

03
2025



化工技术与应用

Chemical Technology and Application

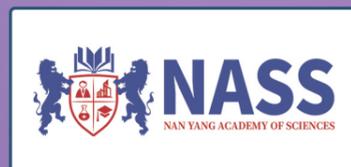
Volume 2 · Issue 3 · June 2025 3060-9291(Print) 3060-9283(Online)



化工技术与应用 Chemical Technology and Application

Volume 2 · Issue 3 · June 2025 3060-9291(Print) 3060-9283(Online)

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
Tel.:+65 62233839
E-mail:contact@nassg.org
Add.:12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819



中文刊名：化工技术与应用

ISSN: 3060-9291 (纸质) 3060-9283 (网络)

出版语言：华文

期刊网址：<http://journals.nassg.org/index.php/cta-cn>

出版社名称：新加坡南洋科学院

Serial Title: Chemical Technology and Application

ISSN: 3060-9291 (Print) 3060-9283 (Online)

Language: Chinese

URL: <http://journals.nassg.org/index.php/cta-cn>

Publisher: Nan Yang Academy of Sciences Pte. Ltd.

《化工技术与应用》征稿函

Database Inclusion



Google Scholar



Crossref

版权声明/Copyright

南洋科学院出版的电子版和纸质版等文章和其他辅助材料，除另作说明外，作者有权依据Creative Commons国际署名—非商业使用4.0版权对于引用、评价及其他方面的要求，对文章进行公开使用、改编和处理。读者在分享及采用本刊文章时，必须注明原文作者及出处，并标注对本刊文章所进行的修改。关于本刊文章版权的最终解释权归南洋科学院所有。

All articles and any accompanying materials published by NASS Publishing on any media (e.g. online, print etc.), unless otherwise indicated, are licensed by the respective author(s) for public use, adaptation and distribution but subjected to appropriate citation, crediting of the original source and other requirements in accordance with the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0) license. In terms of sharing and using the article(s) of this journal, user(s) must mark the author(s) information and attribution, as well as modification of the article(s). NASS Publishing reserves the final interpretation of the copyright of the article(s) in this journal.

Nanyang Academy of Sciences Pte. Ltd.
12 Eu Tong Sen Street #07-169 Singapore 059819

Email: info@nassg.org

Tel: +65-65881289

Website: <http://www.nassg.org>



期刊概况：

中文刊名：化工技术与应用

ISSN: 3060-9291 (Print) 3060-9283 (Online)

出版语言：华文刊

期刊网址：<http://journals.nassg.org/index.php/cta-cn>

出版社名称：新加坡南洋科学院

出版格式要求：

- 稿件格式：Microsoft Word
- 稿件长度：字符数（计空格）4500以上；图表核算200字符
- 测量单位：国际单位
- 论文出版格式：Adobe PDF
- 参考文献：温哥华体例

出刊及存档：

- 电子版出刊（公司期刊网页上）
- 纸质版出刊
- 出版社进行期刊存档
- 新加坡图书馆存档
- 谷歌学术（Google Scholar）等数据库收录
- 文章能够在数据库进行网上检索

作者权益：

- 期刊为 OA 期刊，但作者拥有文章的版权；
- 所发表文章能够被分享、再次使用并免费归档；
- 以开放获取为指导方针，期刊将成为极具影响力的国际期刊；
- 为作者提供即时审稿服务，即在确保文字质量最优的前提下，在最短时间内完成审稿流程。

评审过程：

编辑部和主编根据期刊的收录范围，组织编委团队中同领域的专家评审员对文章进行评审，并选取专业的高质量稿件进行编辑、校对、排版、刊登，提供高效、快捷、专业的出版平台。

化工技术与应用

Chemical Technology and Applications

Volume 2 · Issue 3 · June 2025
ISSN 3060-9291 (Print) 3060-9283 (Online)

主 编

李雪辉

Xuehui Li

编 委

沈来宏 Laihong Shen

张小松 Xiaosong Zhang

钟文琪 Wenqi Zhong

侍洪波 Hongbo Shi

- 1 基于物理约束神经网络的储氢罐泄漏扩散预测
/ 武冠君 张广文 窦晓晓 侯晓静 侯孝波
- 5 苯甲酰甲酸甲酯生产污水处理工艺研究
/ 刘伟 陈江 黄党军
- 8 精细化工行业碳排放特征、核算要点及深度减排策略
/ 朱圣洪
- 11 化工企业安全风险管控体系的构建必要性与措施研究
/ 段升鑫
- 14 溶剂萃取法在化工分离纯化中的应用与优化
/ 贾丽丽
- 17 固体颗粒物多性质红外分析仪在聚烯烃性能分析中的研究和应用
/ 刘国圣 张雅欣 刘文星 胡景芳 赵芳
- 21 一种新的高纯度氟氧头孢酸的制备方法
/ 林敏
- 24 异戊橡胶中顺 1,4- 结构含量对其力学性能的影响
/ 张彬彬 胡文杰
- 27 在湿法脱硫系统中化学分析的重要性
/ 路建军
- 30 基于绿色化学理念的化工工艺优化与节能减排研究
/ 杨亮亮
- 33 化工产品中重金属含量检测方法的研究与优化
/ 曹臻臻 史新宇
- 36 化工安全生产事故发生的原因及防范措施
/ 苏建勋
- 39 基于本质安全理论的化工过程安全管理策略剖析
/ 单龙龙 王青燕
- 42 化工企业安全风险管控体系的构建必要性与对策研究
/ 金飞
- 45 基于本质安全理念的化工安全技术管理体系构建措施研究
/ 刘克武 王晶 陈强
- 48 TA2 等离子焊接工艺研究
/ 叶又鑫
- 51 化工企业安全生产影响因素及管理对策探讨
/ 塞都拉木·阿布都萨拉木
- 54 新型炼焦工艺在焦化厂的应用与节能减排效果研究
/ 丁志强
- 57 含油污泥减量化处理技术研究与应用
/ 张秉伟 朱子健 王天阁 肖金龙 王博
- 60 质谱分析法在钨粉产品检测中的应用进展
/ 郑苑萍 谢明明 王波
- 63 危险化学品企业双重预防机制数字化实施路径
/ 何绍军
- 66 食品兽药残留检测准确度的常见影响因素与管控策略
/ 徐冠楠
- 69 采油气工程突发泄漏事故应急监测技术优化研究
/ 范淮
- 72 安全监督检查模式创新研究：数字化驱动与管理优化
/ 孙浩然
- 75 尿素装置节能减排技术研究与应用
/ 高翔 石新光
- 78 化工容器制造过程中的材料选择与性能分析
/ 冷全佩 杨园园
- 81 涡流气体净化器处理高浓度 NOx 的应用研究
/ 王垂 肖敏 赖龙生 白志坤 雷云
- 84 药物制剂安全性评价问题思考
/ 王瑾 宋艳恒
- 87 抗折压亲肤 PVC 垫的制造工艺优化研究
/ 李伟健
- 90 化工企业工艺改进与安全发展
/ 丁昭辉
- 93 安全信息化系统在纤维素醚行业新项目的实践应用
/ 何新峰
- 96 林业病虫害防治中存在的问题和优化措施分析
/ 丛艳会

- 1 Prediction of temporal and spatial distribution of hydrogen storage tank leakage and diffusion based on physical constraint neural network
/ Guanjun Wu Guangwen Zhang Xiaoxiao Dou Xiaojing Hou Xiaobo Hou
- 5 Study on Wastewater Treatment Process from Methyl Benzoylformate Production
/ Wei Liu Jiang Chen Dangjun Huang
- 8 Carbon emission characteristics, accounting points and deep emission reduction strategies of fine chemical industry
/ Shenghong Zhu
- 11 Study on the necessity and measures of constructing safety risk control system in chemical enterprises
/ Shengxin Duan
- 14 Application and optimization of solvent extraction in chemical separation and purification
/ Lili Jia
- 17 Research and Application of Multi-Property Infrared Analyzer for Solid Particulate Materials in the Performance Analysis of Polyolefins
/ Guosheng Liu Yaxin Zhang Wenxing Liu Jingfang Hu Fang Zhao
- 21 Novel Preparation Method of High-purity Flomoxef Acid
/ Min Lin
- 24 The influence of the content of cis-1,4- structure in isoprene rubber on its mechanical properties
/ Binbin Zhang Wenjie Hu
- 27 The importance of chemical analysis in wet desulfurization systems
/ Jianjun Lu
- 30 Research on optimization of chemical process and energy saving and emission reduction based on green chemistry concept
/ Liangliang Yang
- 33 Study and optimization of heavy metal content detection method in chemical products
/ Zhenzhen Cao Xinyu Shi
- 36 Reasons and preventive measures for chemical safety production accidents
/ Jianxun Su
- 39 Analysis of safety management strategy of chemical process based on intrinsic safety theory
/ Longlong Shan Qingyan Wang
- 42 Study on the necessity and countermeasures of constructing safety risk control system in chemical enterprises
/ Fei Jin
- 45 Study on construction measures of chemical safety technology management system based on the concept of intrinsic safety
/ Kewu Liu Jing Wang Qiang Chen
- 48 Research on TA2 Plasma Welding Process
/ Youxin Ye
- 51 Discussion on the Influencing Factors and Management Countermeasures of Safety Production in Chemical Enterprises
/ Saidulamu Abudusalamu
- 54 Application of new coking process in coking plant and research on energy saving and emission reduction effect
/ Zhiqiang Ding
- 57 Research and application of oil sludge reduction treatment technology
/ Bingwei Zhang Zijian Zhu Tiange Wang Jinlong Xiao Bo Wang
- 60 Progress in the Application of Mass Spectrometry Analysis in the Detection of Tungsten Powder Products
/ Yuanping Zheng Mingming Xie Bo Wang
- 63 The digital implementation path of the dual prevention mechanism for hazardous chemical enterprises
/ Shaojun He
- 66 Common influencing factors and control strategies of food veterinary drug residue detection accuracy
/ Guannan Xu
- 69 Study on optimization of emergency monitoring technology for sudden leakage accidents in oil and gas engineering
/ Huai Fan
- 72 Research on innovation of safety supervision and inspection mode: digital drive and management optimization
/ Haoran Sun
- 75 Research and application of energy saving and emission reduction technology in urea plant
/ Xiang Gao Xinguang Shi
- 78 Material selection and performance analysis in the manufacturing process of chemical containers
/ Quanpei Leng Yuanyuan Yang
- 81 Application research of vortex gas purifier for treating high concentration NO_x
/ Chui Wang Min Xiao Longsheng Lai Zhikun Bai Yun Lei

- 84 Thoughts on safety evaluation of drug preparation / Zhaohui Ding
/ Jin Wang Yanheng Song
- 87 Study on the optimization of manufacturing process of anti-bending and pressure skin contact PVC pad / Xinfeng He
/ Weijian Li
- 90 Process technology improvement and safety development of chemical enterprises
- 93 The practical application of safety information system in new projects of cellulose ether industry
/ Xinfeng He
- 96 Analysis of Problems and Optimization Measures in the Prevention and Control of Forestry Diseases and Pests
/ Yanhui Cong

Prediction of temporal and spatial distribution of hydrogen storage tank leakage and diffusion based on physical constraint neural network

Guanjun Wu^{1,2} Guangwen Zhang^{1,2} Xiaoxiao Dou^{1,2} Xiaojing Hou^{1,2} Xiaobo Hou^{1,2}

1. National Key Laboratory of chemical Safety, Qingdao, Shandong, 266104, China

2. Sinopec Safety Engineering Research Institute Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266104, China

Abstract

The combustible vapor cloud leaked from the hydrogen storage tank is easy to cause combustion and explosion accidents. In order to accurately predict the leakage and diffusion area, the computational fluid dynamics (CFD) tool was used to simulate the leakage and diffusion process, and the prediction model of the spatio-temporal distribution of hydrogen storage tank leakage accidents (HRS-PINN) was established, and compared with the prediction model based on pure data driven. The results show that the percentage error of leakage and diffusion distance of the proposed model is less than 15% compared with that of CFD simulation, and the calculation speed is three orders of magnitude faster, and the prediction accuracy is better than that of the traditional neural network model, which can provide an effective reference for emergency command and decision-making of hydrogen storage tank leakage and diffusion accident.

Keywords

storage tank; leakage and diffusion; artificial intelligence; numerical simulation

基于物理约束神经网络的储氢罐泄漏扩散预测

武冠君^{1,2} 张广文^{1,2} 窦晓晓^{1,2} 侯晓静^{1,2} 侯孝波^{1,2}

1. 化学品安全全国重点实验室, 中国·山东 青岛 266104

2. 中石化安全工程研究院有限公司, 中国·山东 青岛 266104

摘要

储氢罐泄漏的可燃蒸气云易引发燃爆事故, 为准确预测泄漏扩散区域, 使用计算流体力学 (CFD) 工具对泄漏扩散过程进行模拟, 建立储氢罐泄漏事故时空分布预测模型 (HRS-PINN), 并与基于纯数据驱动的预测模型进行对比。结果表明, 本文提出的模型较CFD模拟的泄漏扩散距离百分比误差 $\leq 15\%$, 计算速度快三个数量级, 且预测精度优于传统神经网络模型, 能够为储氢罐泄漏扩散事故应急指挥决策提供有效参考。

关键词

储罐; 泄漏扩散; 人工智能; 数值模拟

1 引言

随着全球能源需求持续增长, 氢气作为一种清洁高效的能源受到广泛关注和重视^[1]。部分国家致力于构建从氢能生产、储存、运输到应用的全产业链, 将其作为未来清洁能源发展的重要方向之一^[2]。目前常见储存容器主要为圆柱形储罐和球形储罐, 球形储罐的应用效果相对较好^[3]。氢气储存过程存在一定安全隐患, 往往因材料腐蚀、阀门失效或疲劳损伤等原因产生裂纹, 从而导致氢气泄漏, 氢气扩散系数高, 极易在空气中迅速扩散, 爆炸极限范围较宽, 为4%-75%^{[4][5]},

泄漏的氢气与空气混合形成爆炸性混合物, 遇到高温或明火等引燃源时极易引发氢气云爆炸^[6]。

国内外学者在氢气泄漏扩散预测领域开展了许多研究, 实验测试方面, 李雪芳^[7]通过数值模拟与实验数据或理论模型计算结果进行了验证评估。经验模型方面, MICHAUX G^[8]引入了带有紊流的浮力射流扩散模型描述氢气扩散动力学过程。数值模拟方面, 胡玮鹏^[9]模拟了纯氢/掺氢天然气管道射流扩散, 并通过试验数据验证了模型计算的准确性。人工智能方面, Karniadakis^[10]提出了物理信息神经网络这一创新计算框架。尽管国内外学者针对氢气泄漏扩散现象开展了多维度研究, 但仍存在以下问题: 实验研究成本高, 经验模型难以准确预测事故演变, 数值仿真方法存在计算效率局限, 人工智能模型依赖大量数据且缺乏可解释性。

【作者简介】武冠君, 硕士, 从事危化品应急响应技术及装备研究。

本文以储氢罐泄漏扩散为研究场景，通过构建包含纳维-斯托克斯方程（N-S 方程）与组分输运方程残差的损失函数，强制网络输出满足物理约束条件，有效减少训练样本，提高模型在物理意义上的解释能力，突破纯数据驱动模型的黑箱局限。

2 储氢罐泄漏扩散的数值模拟

2.1 储氢罐泄漏模型

本文基于 CFD 方法构建了包含多物理场耦合的储氢罐泄漏数值模型，采集了泄漏扩散后的浓度分布、扩散距离数据，通过求解流体控制方程模拟预测泄漏过程，其中液相的体积分数方程可以表示为：

$$\frac{\partial(\rho_p \alpha_p)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_p \alpha_p \vec{v}_m) = -\nabla \cdot (\rho_p \alpha_p \vec{v}_{dr,p}) + \sum_{i=1}^{n_q} (m_{qp}^i - m_{pq}^i) \quad (1)$$

其中 $\vec{v}_{dr,p}$ 为液相相对于混合物质量中心的漂移速度矢量， n_q 为气相中的物质数量， m_{qp}^i 表示气相到液相的传质， m_{pq}^i 表示液相到气相的传质。

Lee 模型^[11]作为多相流相变传热领域的理论模型，通过引入界面能量传递、质量扩散以及相间动量交换等关键物理机制，能够描述沸腾与冷凝的复杂相变问题，已被广泛应用于传质传热的数值模拟研究，公式如下：

$$\begin{aligned} m_{pq} &= \gamma_{eva} \alpha_p \rho_p (T_p - T_{sat}) / T_{sat}, T_p > T_{sat} \\ m_{qp} &= \gamma_{con} \alpha_p \rho_p (T_q - T_{sat}) / T_{sat}, T_p < T_{sat} \end{aligned} \quad (2)$$

CFD 模型的热力学参数设定如下，饱和温度 T_{sat} 设定为 20.28K，该值对应标准大气压下的氢相变临界点；蒸发系数 γ_{eva} 和冷凝系数 γ_{con} 均取 0.25^[12]；在多项流场建模过程中，相间滑移速度的定义采用公式 3 计算，阻力 f 采用公式 4 计算^[13]。

$$\vec{v}_{pq} = \frac{\tau_p}{f} \frac{\rho_p - \rho_m}{\rho_p} \vec{a} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} f &= 1 + 0.15 \text{Re}^{0.687}, \text{Re} < 1000 \\ f &= 0.0183 \text{Re}, \text{Re} > 1000 \end{aligned} \quad (4)$$

其中 τ_p 为液相粒子的弛豫时间，表征流体流动变化的特征时间尺度； \vec{a} 为加速度矢量，与流场速度梯度直接相关； Re 为雷诺数，作为无量纲参数影响流动形态；假设模拟过程不涉及化学反应，用于求解气相中物质的质量分数 Y_q^i 的方程为：

$$\frac{\partial(\alpha_q \rho_q Y_q^i)}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q Y_q^i) = -\nabla \cdot \alpha_q [-(\rho D_{i,m} + \frac{\mu_t}{Sc_t})$$

$$\nabla Y_q^i] + m_{qp}^i - m_{pq}^i \quad (5)$$

其中 Y_q^i 是气相局部质量分数， $D_{i,m}$ 为分子扩散率， Sc_t 为湍流施密特数，表征湍流场中动量输运与质量输运相对效率的无量纲数。

DNS 法求解完整的 N-S 方程，不引入任何湍流模型，该方法能够精准捕捉全尺度湍流涡旋，但计算成本极高，适用于低雷诺数流动；RANS 法对 N-S 方程进行平均计算，通过引入 $k-\varepsilon$ 、 $k-\omega$ 模型闭合，计算成本较低；LES 法直接计算大尺度运动，小尺度运动用亚格子模型近似，计算成本介于 DNS 和 RANS 之间。本文使用 $k-\varepsilon$ 模型进行湍流闭合，方程如下：

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho k u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} [(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_j}] + P_k - \rho \varepsilon \quad (6)$$

$$\frac{\partial(\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho \varepsilon u_j)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} [(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} P_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (7)$$

其中湍流粘性系数 $\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ ， $C_\mu = 0.09$ ， $C_{1\varepsilon}$ 、 $C_{2\varepsilon}$ 为模型常数 $C_{1\varepsilon} = \max[0.43, \frac{1}{11+5}]$ ， $C_{2\varepsilon} = 1.9$ ， P_k 为湍动能生成项， σ_k 和 σ_ε 分别取 1.0 和 1.2。

大气边界层风场采用如下经验公式^[14]， u_0 为 z_0 处的风速：

$$u(z) = u_0 (z / z_0)^\theta \quad (8)$$

湍流动能和湍流扩散率定义为：

$$k(z) = \frac{3}{2} [u(z) i(z)]^2 \quad (9)$$

$$\varepsilon(z) = C_\mu^{\frac{3}{4}} k^{\frac{3}{2}}(z) / l(z) \quad (10)$$

湍流强度计算如下：

$$\begin{aligned} I(z) &= 0.1(z/z_g)^{-\theta-0.05}, z \geq 5m \\ I(z) &= 0.18, z < 5m \end{aligned} \quad (11)$$

z_g 为大气边界层高度， θ 为地面粗糙度系数。

2.2 模拟基准数据集

本文选取 4200m³ 的球形储氢罐作为模拟对象，其直径为 20m，围堰长 100m，宽 60m，高 2m，泄漏方向为 X 轴正方向。模拟储氢罐发生泄漏，泄漏点位于储罐右侧，采用标准化的参数控制体系构建基础数据集：以 1 秒为时间记录间隔，完整捕捉扩散动态演变过程，形成具有时序观测序列；设置 9 个不同泄漏速率等级，针对每个泄漏流量等级，实时采集扩散范围数据，为后续神经网络模型的训练与模拟提供训练样本集，确保模型能够有效学习不同泄漏速率下扩散过程的时空特征规律，为构建高精度的泄漏扩散预测模型奠定

数据基础。

3 基于物理约束神经网络的泄漏扩散时空分布预测

3.1 模型基本结构

长短期记忆神经网络^[15]引入了内部记忆单元 C_i ，实现了状态信息的累计，其最终输出 O_i 受当前时刻输入 X_i 、隐层 H_{i-1} 以及内部记忆单元 C_i 三部分影响，缓解了梯度消失问题，可将卷积神经网络 (CNN) 与长短期记忆神经网络 (LSTM) 融合构建用于预测氢气泄漏扩散过程的混合深度神经网络。本文采用的物理约束长短期记忆神经网络基本组成单元为 5 层全连接 LSTM，第 1 层为输入层，2-4 层为隐层，第 5 层为输出层，每一层的所有神经元都与相邻层的所有神经元相互连接，以 Sigmoid 作为激活函数，如公式 12 所示：

$$\text{Sigmoid}(x) = \frac{1}{1 + e^x} \quad (12)$$

本文建立的 PINN 模型在输入端利用泄漏源强、环境温度以及多种气象数据等参数，组成时间序列数据集，输出层包括速度、空间网格点监测浓度和动态扩散距离等；网络模型架构加入融合 N-S 方程的物理信息项。

3.2 损失函数设计

本研究构建包含数据拟合项与物理约束项的复合损失函数，实现数据驱动建模与物理先验知识的深度融合优化神经网络的权重^[16]，损失函数由数据拟合损失项 (loss_{tra}) 和物理约束损失项 (loss_{phy}) 组成，如公式 13 所示：

$$\text{Loss} = \lambda_1 \text{Loss}_{\text{tra}} + \lambda_2 \text{Loss}_{\text{phy}} \quad (13)$$

其中 λ_1 、 λ_2 为系数项，在训练过程中需要不断进行调整优化； Loss_{tra} 为数据拟合损失项，具体为训练数据于模型预测值之间的拟合偏差，本文使用训练集上的均方误差作为表征神经网络训练性能的损失函数，如公式 14 所示：

$$\text{Loss}_{\text{tra}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (14)$$

其中， N 为训练样本数量， y_i 为第 i 个样本的真实值， \hat{y}_i 为对应预测值。

Loss_{phy} 为物理约束项误差，储氢罐泄漏扩散过程实质上是氢气与空气在开放空间的混合运动，控制方程为多组分理想气体混合物的三维非定常可压缩 N-S 方程，可用以下公式描述：

$$\text{Loss}_{\text{phy}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |G(u^i, c^i, p^i)|^2 \quad (15)$$

控制方程具体包括质量守恒方程 (公式 16)、动量守恒方程 (公式 17)、能量守恒方程 (公式 18) 以及组分运输方程 (公式 19)。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial X_i} = 0 \quad (16)$$

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial X_i} = \rho g - \frac{\partial p}{\partial X} + \frac{\partial T_j}{\partial X_j} \quad (17)$$

$$\frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial[u_i(\rho E + P)]}{\partial X_i} = \frac{\partial \left[\left(k_{\text{eff}} + \frac{c_p \mu_t}{\text{Pr}_t} \right) \frac{\partial T}{\partial X_j} + u_i (T_j)_{\text{eff}} \right]}{\partial X_j} \quad (18)$$

$$\frac{\partial \rho \omega_i}{\partial t} + \nabla(\rho \omega_i u) = \nabla(D \nabla \rho \omega_i) \quad (19)$$

其中， ρ 为密度， P 为压力， u 为速度， T_{ij} 为粘性应力张量， E 为每质量单位的总能量， k_{eff} 为有效导热率， C_p 为比热容， μ_t 为湍流密度， T 为温度， $(T_{ij})_{\text{eff}}$ 为有效粘性应力张量， ω_i 为质量分数， D 为分子扩散系数。

定义边界守恒方程残差 $\Delta_{i,t}$ ，内部区域守恒方程残差 $\Delta_{j,k}$ ，物理约束损失函数项为两项残差和，简化后的物理约束损失函数项可以用公式 20 描述，总体损失函数可用公式 21 描述：

$$\text{Loss}_{\text{phy}} = \lambda_3 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{n_{\text{bon}}} \text{Sigmoid}(\Delta_{i,t}) + \lambda_4 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{n_n} \text{Sigmoid}(\Delta_{j,k}) \quad (20)$$

其中 λ_3 、 λ_4 为系数项， n 为内部区域监测样本数， m 为边界区域监测样本数。

$$\text{Loss} = \lambda_1 \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 + \lambda_2 \left(\lambda_3 \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^{n_{\text{bon}}} \text{Sigmoid}(\Delta_{i,t}) + \lambda_4 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^{n_n} \text{Sigmoid}(\Delta_{j,k}) \right) \quad (21)$$

构建模型后，损失函数系数项等超参数需通过多次训练测试确定。

3.3 模型预测及验证测试

本文使用 HRS-PINN 模型与 BP 神经网络对上述数据进行训练，通过预测结果与模拟结果之间的百分比误差评估模型效能。下图为 HRS-PINN、BP 神经网络分别以 10 秒为间隔得到的预测结果与 Fluent 模拟结果之间的百分比误差。

HRS-PINN 预测值与模拟结果之间的准确率最小为 85.3%，平均误差控制在 $\pm 10\%$ 以内，说明通过在损失函数中内嵌 N-S 方程指导和约束神经网络的学习过程，有效提取了泄漏扩散的典型特征；BP 神经网络预测值与模拟结果之间的准确率最小为 67.5%，平均误差在 $\pm 30\%$ 左右，分析预测失准主要源于两个方面：一是基于梯度下降的权值更新机制易陷入局部最小值，使网络训练难以获得全局最优解；二是纯数据驱动的建模方式在有限样本条件下训练过程存在欠拟合情况。在动态预测过程中，HRS-PINN 模型的平均预测准确率达到 $90 \pm 5\%$ ，较传统 BP 神经网络模型的 $80\% \pm 15\%$ 具有显著鲁棒性优势。且调用训练好的 HRS-

PINN 模型预测所需时间 45.4 秒, BP 神经网络预测所需时间为 32.6 秒, 而数值模拟迭代计算时间超过 15 小时, 效率相差三个数量级, 此外, 调用 HRS-PINN 模型进行预测所需的计算成本也明显降低。

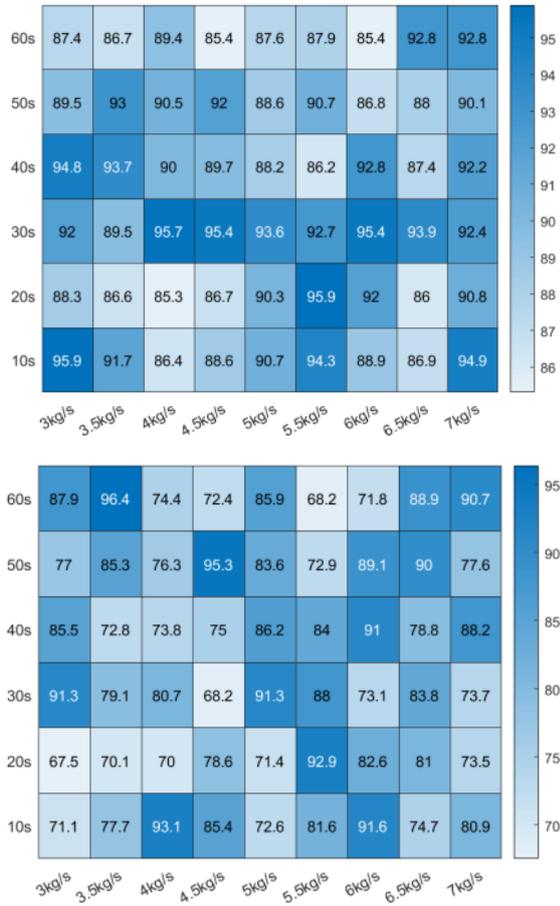


图 1 HRS-PINN 与 BP 神经网络预测值与模拟结果之间的百分比误差

4 结论与展望

本文提出了储氢罐泄漏扩散预测模型 -HRS-PINN, 实现了氢气泄漏扩散过程的秒级实时预测。采用模拟数据对模型进行训练, 通过在损失函数中添加 N-S 方程约束, 强制模型输出满足动量守恒、能量守恒等物理规律, 通过对比分析模型性能发现: 该模型与传统机器学习模型相比能够准确捕捉储氢罐泄漏扩散的时空演化特征, 在维持相同计算效率量级的前提下, 显著提升了泄漏扩散动态过程的模拟精度; 与商业仿真软件相比, 在满足工程计算精度要求时, 计算效率提升三个数量级以上。

将 HRS-PINN 模型应用于实际事故后果预测时, 通过获取实时气象数据与事故装置状态等多源数据, 将其输入 HRS-PINN 模型, 实现泄漏扩散演化趋势快速预测, 为应急决策提供辅助, 后续研究将聚焦于模型在高维复杂工况泄漏扩散场景下的适应性拓展。

参考文献

- [1] 王岚, 王子臻. “双碳”目标下中石化多元化经营探索[J]. 合作经济与科技, 2023, (19): 126-128. DOI: 10.13665/j.cnki.hzjjykj.2023.19.044.
- [2] 济民. 从地下到天空, 中石化发力新能源[J]. 中国石油石化, 2021, (03): 32-33.
- [3] 冯成, 周雨轩, 刘洪涛. 氢气存储及运输技术现状及分析[J]. 科技资讯, 2021, 19(25): 44-46.
- [4] 邝辰, 刘迪, 杨昊, 等. 氢气泄漏后燃爆风险研究现状综述[J]. 安全、健康和环境, 2021, 21(09): 1-5.
- [5] 周树辉, 王秀林, 段品佳, 等. 高压气态储氢技术形势分析[J]. 储能科学与技术, 2023, 12(08): 2668-2679. DOI: 10.19799/j.cnki.2095-4239.2023.0139.
- [6] 王继猛, 崔燕, 王鹏飞, 等. 大气环境影响下的高压氢储罐氢气泄漏爆炸事故后果模拟[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2024, 39(03): 30-35. DOI: 10.13582/j.cnki.1672-9102.2024.03.004.
- [7] 李雪芳. 储氢系统意外氢气泄漏和扩散研究[D]. 清华大学, 2015.
- [8] Shu Z, Liang W, Zheng X, et al. Dispersion Characteristics of Hydrogen Leakage: Comparing the Prediction Model with the Experiment[J]. Energy, 2021, 236(14): 121420. DOI: 10.1016/j.energy.2021.121420.
- [9] 胡玮鹏, 陈光, 齐宝金, 等. 埋地纯氢/掺氢天然气管道泄漏扩散数值模拟[J]. 油气储运, 2023, 42(10): 1118-1127+1136.
- [10] RAISSI M, PERDIKARIS P, KARNIADAKIS G E. Physics informed neural networks: a deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations[J]. Journal of Computational Physics, 2019, 378: 686-707.
- [11] Lee W H. PRESSURE ITERATION SCHEME FOR TWO-PHASE FLOW MODELING[M]. [2025-03-31].
- [12] Jin T, Wu M, Liu Y, et al. CFD modeling and analysis of the influence factors of liquid hydrogen spills in open environment[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2016, 42(1): 732-739. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2016.10.162.
- [13] Mikko M, Veikko T, Sirpa K. On the mixture model for multiphase flow[J]. VTT Publications, 1996, 288.
- [14] Tominaga Y, Mochida A, Yoshie R, et al. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings[J]. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2008, 96(10-11): 1749-1761. DOI: 10.1016/j.jweia.2008.02.058.
- [15] Hochreiter S, Schmidhuber J. Long short-term memory. Neural Comput 1997;9:1735-80.
- [16] Karpatne A, Watkins W, Read J, Kumar V. Physics guided neural networks (PGNN): an application in lake temperature modeling. 2017

Study on Wastewater Treatment Process from Methyl Benzoylformate Production

Wei Liu Jiang Chen Dangjun Huang

Zhejiang Donghai New Material Technology Co., Ltd., Shaoxing, Zhejiang, 312300, China

Abstract

Methyl benzoylformate is an important intermediate in organic synthesis and holds significant importance in various fields such as pesticides and pharmaceuticals. It exhibits broad-spectrum antibacterial activity but possesses poor biochemical activity and cannot be directly decomposed by microorganisms. This presents a challenge for production enterprises of this substance. In this study, wastewater from methyl benzoylformate production was investigated as the research object. The influencing factors of the Fenton process and the iron-carbon micro-electrolysis pretreatment process were studied. Biochemical experiments were further conducted to verify the biochemical degradability improvement achieved by the pretreatment processes. The results indicated that both the Fenton process and the iron-carbon micro-electrolysis pretreatment process could significantly enhance the biochemical degradability of the wastewater. An COD_{Cr} removal rate of 30% was achieved, which is considered to represent a significant improvement in biochemical degradability. Based on the comparison of biochemical experimental data, the iron-carbon micro-electrolysis pretreatment process was found to be more suitable for this wastewater. A biochemical COD_{Cr} removal rate of 71.2% was attained, with the effluent COD_{Cr} concentration $\approx 245 \text{ mg/L}$, which is well below the discharge standard.

Keywords

methyl benzoylformate; fenton pretreatment; iron-carbon micro-electrolysis.

苯甲酰甲酸甲酯生产污水处理工艺研究

刘伟 陈江 黄党军

浙江东海新材料科技股份有限公司, 中国·浙江 绍兴 312300

摘要

苯甲酰甲酸甲酯是一种重要的有机合成中间体, 在农药、医药等多个领域占据重要地位。它具有广谱抗菌活性, 可生化活性差, 不能被微生物直接分解, 成为该物质生产企业的难题。本文以苯甲酰甲酸甲酯生产废水为研究对象, 研究芬顿和铁碳微电解预处理工艺的影响因素, 通过生化实验进一步验证预处理工艺可生化性。结果表明采用芬顿和铁碳微电解预处理工艺均能显著提升污水可生化性, COD_{Cr} 去除率达到30%, 即可显著提升可生化性。根据生化实验数据对比, 铁碳微电解预处理工艺更适合该污水, 污水 COD_{Cr} 生化去除率可达71.2%, 出水 $\text{COD}_{\text{Cr}} \approx 245 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 远低于排放标准。

关键词

苯甲酰甲酸甲酯; 芬顿预处理; 铁碳微电解

1 引言

苯甲酰甲酸甲酯 (Methyl benzoylformate) 是一种重要的有机合成中间体, 具有广泛的应用价值。该化合物因其独特的化学性质和反应活性, 在农药、医药、光固化材料等多个工业领域占据重要地位^[1]。近年来, 随着绿色化学理念的推广和合成技术的进步, 苯甲酰甲酸甲酯它的应用范围得到显著提升和拓展。

在农药合成领域, 苯甲酰甲酸甲酯是重要的中间体, 是除草剂苯噻草酮的合成前体^[2,3]。随着农业生产集约化,

除草剂需求快速增长, 年增长率维持在 5%-7%^[4]。因苯甲酰基能够吸收紫外光辐射, 产生活性自由基, 引发不饱和树脂的快速聚合反应。在 UV 固化型涂料和油墨中作为高效光引发剂具有不可替代的作用。随着环保法规趋严和传统溶剂型涂料替代加速, 预计未来五年该领域对苯甲酰甲酸甲酯的需求年增长率将保持在 10% 以上^[5,6]。它所具有的广谱抗菌活性, 对大肠杆菌、金黄色葡萄球菌、沙门氏菌等多种病原体表现出良好的抑制作用, 这种抑菌特性使其在以下医药相关产品中得到应用, 且随着新型抗菌药物的研发, 需求呈现上升趋势。

苯甲酰甲酸甲酯具有显著的广谱抗菌活性, 该物质生产废水也同样具有抑菌作用, 可生化活性差, 不能用微生物直接降解。这已成为生产加工企业的主要难题。本文以苯甲酰甲酸甲酯生产废水为研究对象, 研究芬顿预处理和铁碳微电解预处理工艺的影响因素, 并通过生化实验进一步验证

【作者简介】刘伟(1985-), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 高级工程师, 主要从事精细化工中间体、光引发剂和 高分子助剂开发及应用研究。

预处理对可生化影响,为工业生产提供参考数据。

2 实验部分

2.1 实验方法

本实验选择苯甲酰甲酸甲酯生产车间排放的废水作为研究对象,拟采用预处理+生化处理组合工艺进行实验研究,预处理选用芬顿预处理和铁碳预处理,再经过生化处理,最终达到排放标准。

芬顿预处理:选用 500 mL 烧杯作为反应器,向烧杯中加入 100 g 水样,向反应体系中加入一定量的双氧水 (H_2O_2) 和硫酸亚铁 ($FeSO_4$) 溶液,投加比例按照摩尔比 $N(H_2O_2):N(FeSO_4)=3:1$,反应 $pH=4$,反应一定时间后停止反应,采用 NaOH 调 pH 至中性,经混凝、沉淀过滤后得上层清液样品,采用 COD_{Cr} 指标作为评价方法,计算反应的降解率。

铁碳预处理:自制 200 mL 铁碳反应设备,有效容积为 200 mL,底部配有曝气装置,曝气能力为 $0.4 \sim 4 L \cdot min^{-1}$ 范围可调,催化剂最大填充量为 150 g。向反应器填充一定量的催化剂,倒入 100 g 模拟水样,采用稀硫酸调节 $pH=4$,开启空气阀门,并调节至设定流速,开始反应,当反应一定时间后,打开取样阀,取出一定量的样品,采用 NaOH 调 pH 至中性,经混凝、沉淀过滤后得上层清液样品,采用 COD_{Cr} 指标作为评价方法,计算反应的降解率。

生化处理:自制生化反应器 500 mL,活性污泥采用城市污水厂 A^2O 工艺中好氧池活性污泥,活性污泥浓度 $MLSS=3500 mg \cdot L^{-1}$, $SV30=40\%$, $pH=7.5 \sim 8$ 范围内, $DO=2.5 \sim 3.5 mg \cdot L^{-1}$,反应初始阶段生化池中水样为自来水,初始 $COD_{Cr}=45 mg \cdot L^{-1}$ 。每日进水后反应时间为 20 h,停止曝气并静置 60 min 后取上层清液,经混凝、沉淀过滤后得上层清液样品,采用 COD_{Cr} 指标作为评价方法,计算反应的降解率。

2.2 实验材料及试剂

实验过程选用的药剂主要包括铁碳催化剂为市售工业级催化剂(杭州拓瑞博科技有限公司提供),硫酸、氢氧化钠和硫酸亚铁等试剂及标准品均为分析纯试剂,水样为生产车间调节池水样,污染物指标分别为 $COD_{Cr}=1500 mg \cdot L^{-1}$, $NH_3-N=15.3 mg \cdot L^{-1}$, $TN=25 mg \cdot L^{-1}$, $TP=5.6 mg \cdot L^{-1}$ 。

3 实验结果与讨论

3.1 芬顿预处理工艺对水样降解率的影响

向芬顿反应器内加入模拟水样 100 g,向反应体系一次性加入一定量的 $FeSO_4$ 溶液,采用硫酸调节反应液 $pH=4$,一次性加入 H_2O_2 开始搅拌反应,反应 180 min 后停止反应,在反应过程中定时取样。实验考察芬顿试剂投加量对水样 COD_{Cr} 降解影响,实验结果如图 1 所示。

由图 1 中可以看出,在相同的反应时间内,随着芬顿试剂投加量增加,污染物的去除率随之增加,但去除 $COD_{Cr}/m(H_2O_2)$ 比值呈现减少趋势,即芬顿试剂的效率下降,随着芬顿试剂投加量越大效率下降越明显。这主要原因是产

生的羟基自由基 ($\cdot OH$) 无选择性,且自由基寿命非常短等因素造成的,当芬顿试剂投加量较大时,受 $\cdot OH$ 寿命影响,击中污染物的概率下降,导致芬顿试剂的效率下降。另外,随着反应时间延长,去除率显著增加,在反应 90 min 后,去除率增加速度减缓。这主要与反应级数有关,在反应初期,芬顿试剂浓度较高,反应受催化剂影响较大,反应级数近似为 1,去除率随时间变化呈现指数上升。随着反应逐渐进行, H_2O_2 逐步消耗, H_2O_2 浓度 ($[H_2O_2]$) 较低时, $[H_2O_2]$ 是控制因素,反应过程近似为 0 级反应。

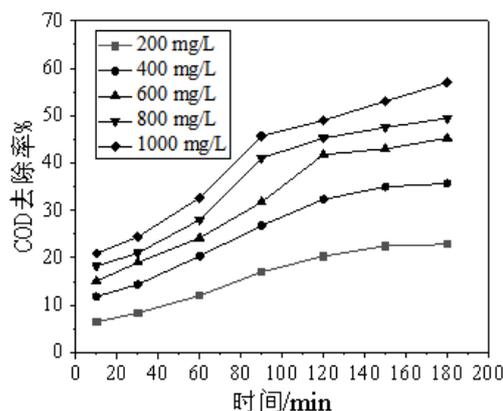


图 1 芬顿试剂投加量对 COD_{Cr} 去除的影响

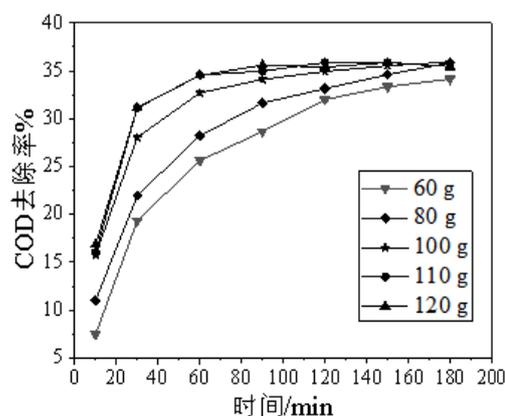


图 2 催化剂投加量对 COD_{Cr} 去除的影响

3.2 铁碳微电解对水样预处理效果研究

向反应器内加入模拟水样 100 g,打开曝气装置,调节曝气量为 $0.4 L \cdot min^{-1}$ 。调节反应 $pH=4$,分别加入 Fe-C 催化剂 60 g、80 g、100 g、110 g、120 g,研究铁碳微电解加量对水样 COD_{Cr} 指标降解影响,实验结果如图 2 所示。

由图 2 可以看出,在反应初期 ($HRT < 30 min$),随着催化剂的投加量增加, COD_{Cr} 降解率随之增大,当反应时间 (HRT) 达到 60 min 后, Fe-C 质量 $\geq 100 g$ 时, COD_{Cr} 降解率并没有随着投加量增加显著升高。由于铁碳微电解反应机制是电极反应,反应速率受电极表面活性位和底物浓度有关,在反应之初 ($HRT < 30 min$), COD_{Cr} 浓度较高,此时反应速率受活性位影响较大,催化剂的活性位与催化剂投加量成

正比,即催化剂越多,反应越快。但随着反应进行, COD_{Cr} 浓度快速下降,反应速率决定因素由活性位数量转为 COD_{Cr} 浓度, COD_{Cr} 浓度高,降解率也会增加。由此可以得出结论,当催化剂投加量不足时,可通过延长停留时间来获取较好的反应转化率,当反应停留时间 ≤ 60 min 时,催化剂和反应液比例按照 $m(Fe-C):m(L)>1:1$ 即可获得较好的降解率。

3.3 生物降解实验研究

反应初始阶段生化反应器内初始 $COD_{Cr}=45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 生物反应器溶解氧 $DO=2-3\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 反应池 pH 控制在 7.0~8.0, 研究预处理工艺对水样可生化性影响。其中 1 号样品为未处理原水, 考虑系统容积负荷的影响, 每日进水量按照 $100\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 。2 号样品为芬顿预处理工艺水样, 反应规模为 5 L, H_2O_2 投加量按照 400 mg/L , 反应时间为 120 min, 反应结束后调节 pH 至中性, 混凝沉淀后待用。生化实验考虑系统容积负荷的影响, 每日进水量按照 $150\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 进水。3 号样品为铁碳微电解预处理工艺水样, 反应规模为 100 mL, 催化剂投加量按照 100 g , 反应时间为 60 min, 重复反应 50 次, 收集每次水样, 调节 pH 至中性, 混凝沉淀过滤后待用。生化实验考虑系统容积负荷的影响, 每日进水量按照 $150\text{ g}\cdot\text{d}^{-1}$ 进水。实验结果如图 3 所示。

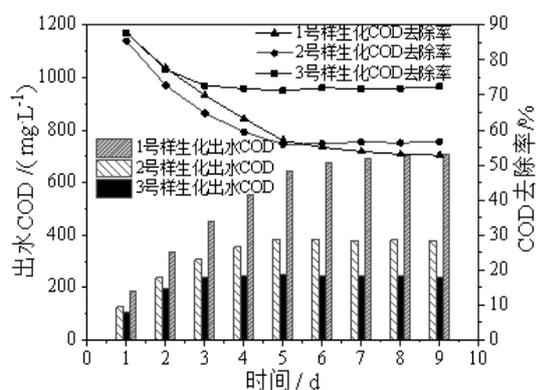


图 3 各水样生化处理对比实验

1 号样为原水, 进水 $COD_{Cr}=1500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 每日进水和出水量为 100 g , 反应初始阶段 $COD_{Cr}=45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 反应初期需要考虑系统稀释作用, 随着每日进水, 系统 COD_{Cr} 持续走高, 进水第 6 d (120 h) 后, 可以忽略反应池初始稀释作用, 此时系统 $COD_{Cr}=645\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 去除率为 57%, 出水已经超过排放标准 ($COD_{Cr}=500\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$)。持续进水 7d 后, 出水趋于平稳, 系统 $COD_{Cr}\approx 700\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 表明原水未经预处理, 经生化无法达到排放标准。

2 号样为芬顿工艺预处理水样, 水样 $COD_{Cr}=1034\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 每日进水和出水量为 150 g , 反应初始阶段 $COD_{Cr}=45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 反应初期需要考虑系统稀释作用, 随着每日进水, 系统 COD_{Cr} 持续走高, 进水第 6 d (120 h) 后, 可以忽略反应池初始稀释作用, 此时系统 $COD_{Cr}=385$

$\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 去除率为 59.4%, 此后随着系统每日进水, 系统趋于平稳, $COD_{Cr}\approx 385\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 表明原水经过芬顿预处理后, 可生化性明显改善, 经生化处理后可以达到排放标准。

3 号样为铁碳微电解预处理水样, 水样 $COD_{Cr}=1015\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 每日进水和出水量为 150 g , 反应初始阶段 $COD_{Cr}=45\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 反应初期需要考虑系统稀释作用, 随着每日进水, 系统 COD_{Cr} 持续走高, 进水第 6 d (120 h) 后, 可以忽略反应池初始稀释作用, 此时系统 $COD_{Cr}=251\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 去除率为 71.2%, 此后生化系统趋于平稳, 出水 $COD_{Cr}\approx 245\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, 表明原水经过铁碳预处理后, 污水可生化性明显改善, 经生化处理后可以达到排放标准。对比芬顿和铁碳预处理后的生化处理结果看, 尽管芬顿预处理去除 COD_{Cr} 能力大于铁碳预处理能力, 并且可根据需要调整芬顿试剂用量, 可提高预处理效果, 但从提高可生化性方面考虑, 铁碳微电解预处理工艺更适合苯甲酰甲酸甲酯生产废水。

4 结论

本文以苯甲酰甲酸甲酯生产废水为模拟水样, 研究芬顿预处理、铁碳微电解预处理工艺, 预处理后的水样进一步采用活性污泥法进行生化处理研究, 结果表明:

原水采用芬顿预处理工艺可以有效的降解污染物, 显著降低污水 COD_{Cr} 指标, 随着芬顿试剂投加量增加, 去除率可以显著提升, 最大去除率可达到 56%。

原水采用铁碳微电解预处理工艺可以有效的降解污染物, 显著降低污水 COD_{Cr} 指标, 随着催化剂投加量提高, 延长反应时间, 去除率可以显著提升, 最大去除率可达到 35.9%。

原水可生化性较差, 未经预处理, 仅依靠活性污泥生化处理无法达到排放标准。采用芬顿和铁碳微电解预处理工艺均能显著提升污水可生化性。根据生化实验数据对比, 表明铁碳微电解预处理工艺更适合苯甲酰甲酸甲酯生产废水。

参考文献

- [1] 李柯,周蜜,朱晨,等. 苯甲酰甲酸乙酯的合成及工艺优化研究[J]. 化学世界,2020,61(2):132-137.
- [2] 颜志刚. 苯甲酰甲酸及其酯的合成研究[D],2002.
- [3] 陈银霞,杨国忠,李静,等. 苯甲酰甲酸乙酯的合成与应用[J].精细与专用化学品,2014,22(11):40-43.
- [4] 廖义鹏,李柯,周蜜,等. 苯噻草酮的合成工艺研究进展[J].农药,2018,57(06):400-402.
- [5] 何相龙. 苯甲酰甲酸甲酯衍生物类LED光引发剂的设计、合成及其性能研究[D].北京化工大学,2021.
- [6] He Xianglong; Gao Yanjing; Nie Jun; et al. Methyl Benzoylformate Derivative Norrish Type I Photoinitiators for Deep-Layer Photocuring under Near-UV or Visible LED [J]. Macromolecules,2021,54 (6):3854-3864.

Carbon emission characteristics, accounting points and deep emission reduction strategies of fine chemical industry

Shenghong Zhu

Jiangxi Jinsusan Engineering Consulting Co., Ltd., Ganzhou, Jiangxi, 341000, China

Abstract

As an important component of the national economy, the carbon emissions of the fine chemical industry are increasingly receiving attention. Fine chemical products are widely used in various fields such as medicine, pesticides, coatings, electronics, etc., and play an irreplaceable role in modern life. However, the production process of this industry is complex and diverse, involving numerous chemical reaction processes, resulting in unique characteristics of its carbon emissions. Exploring deep emission reduction strategies can help the fine chemical industry reduce energy consumption, improve resource utilization efficiency, and enhance the industry's advantage in global green economy competition. This article analyzes the carbon emission characteristics of the fine chemical industry, elaborates on the key accounting points, and further explores deep emission reduction strategies, aiming to promote the low-carbon transformation of the fine chemical industry and address climate change.

Keywords

fine chemical industry; Carbon emission characteristics; Key points of accounting; Deep emission reduction strategy

精细化工行业碳排放特征、核算要点及深度减排策略

朱圣洪

江西锦绣山工程咨询有限公司, 中国·江西 赣州 341000

摘要

精细化工行业作为国民经济的重要组成部分,其碳排放问题日益受到关注。精细化工产品广泛应用于医药、农药、涂料、电子等多个领域,在现代生活中发挥着不可替代的作用。然而,该行业生产工艺复杂、流程多样,涉及众多化学反应过程,导致其碳排放具有独特的特征。探索深度减排策略,有助于精细化工行业降低能耗、提高资源利用效率,增强行业在全球绿色经济竞争中的优势。本文分析精细化工行业的碳排放特征,详细阐述核算要点,进而探讨深度减排策略,旨在促进精细化工行业实现低碳转型、应对气候变化。

关键词

精细化工行业; 碳排放特征; 核算要点; 深度减排策略

1 引言

精细化工行业生产各类精细化学品,如医药中间体、农药、染料、助剂等,这些产品在国民经济的众多领域有着广泛应用,对经济发展和人们生活水平提升起着关键作用。然而,精细化工行业在生产过程中涉及多种复杂的化学反应和能源消耗,不可避免产生碳排放。在全球积极推进碳减排、实现碳中和目标的大背景下,了解精细化工行业的碳排放状况,准确核算碳排放,探索深度减排策略,对于该行业的可持续发展以及全球气候目标的达成具有重要意义。

2 精细化工行业碳排放特征

2.1 能源消耗导致的碳排放

精细化工生产依赖大量能源,包括煤炭、天然气、电力等。以煤炭为例,在一些以煤为能源的精细化工企业中,煤炭燃烧用于提供反应所需的热量和动力,燃烧过程中碳元素被氧化,产生大量二氧化碳排放。天然气作为清洁能源,虽单位热值的碳排放相对较低,但在精细化工生产中用量较大时,其碳排放总量也不容忽视。而电力消耗方面,由于我国电力结构中仍有相当比例来自火电,精细化工企业使用电网电力间接导致碳排放。某生产高性能塑料添加剂的精细化工企业,其能源消耗中电力占比达40%,因电力使用间接产生的碳排放占企业总碳排放的30%左右^[1]。

2.2 工艺过程产生的碳排放

精细化工行业的生产工艺复杂多样,许多化学反应过程会直接产生碳排放。在有机合成反应中,一些原料的转化

【作者简介】朱圣洪(1985-),男,中国江西南康人,本科,工程师,从事化工技术在环保领域的应用研究。

会释放二氧化碳。以生产对苯二甲酸为例，其工艺过程中会发生氧化反应，生成二氧化碳作为副产物。此外，一些化工产品的精制、分离等后续工艺也因使用蒸汽等能源而产生碳排放。不同的精细化工产品生产工艺，碳排放的来源和强度差异显著。生产高附加值的医药中间体的工艺，因反应步骤多、条件苛刻，碳排放强度相对较高；而一些简单的表面活性剂生产工艺，碳排放强度则相对较低^[2]。

2.3 碳排放的分散性与复杂性

精细化工行业企业数量众多，规模大小不一，产品种类繁多。导致碳排放呈现分散性特点，从大型的精细化工集团到小型的专业化学品生产厂都有碳排放。而且不同企业的生产技术、设备水平、管理模式各不相同，使得碳排放的核算和管理难度增大。一些小型精细化工企业可能由于缺乏先进的监测设备和专业的碳排放核算人员，难以准确掌握自身的碳排放情况。同时，由于精细化工产品的多样性，每种产品的生产工艺和碳排放特征都有其独特之处，进一步增加了行业碳排放管理的复杂性^[3]。

3 精细化工行业碳排放核算要点

3.1 核算边界的确定

明确核算边界是准确核算精细化工企业碳排放的基础，核算边界应包括企业的所有生产设施，从原材料采购、运输、储存，到生产过程中的各个环节，再到产品的包装、销售和废弃物处理。对于拥有多个生产基地的企业，要将所有基地的碳排放纳入核算范围。企业内部辅助设施，如锅炉房、自备电厂（如果有）等，其能源消耗产生的碳排放也应计入。还要考虑企业使用的外部电力和热力的间接碳排放。一家跨国精细化工企业在全世界多个国家设有生产工厂，在核算碳排放时，需将各个工厂的直接和间接碳排放按照统一标准进行汇总，确保核算边界清晰完整^[4]。

3.2 排放源的识别与分类

精细化工企业的排放源众多，需进行准确识别和分类。主要排放源可分为能源燃烧排放源、工业生产过程排放源和逸散排放源。能源燃烧排放源如前面提到的煤炭、天然气、燃料油等燃烧设备；工业生产过程排放源包括各类化学反应装置、分离塔等；逸散排放源则包括管道、阀门、储存罐等设备的泄漏排放。对于不同类型的排放源，要采用不同的核算方法。能源燃烧排放可根据燃料的消耗量和相应的碳排放因子进行计算；工业生产过程排放需依据化学反应的物料衡算和特定的排放系数确定；逸散排放则可结合经验数据或专业的泄漏检测设备进行估算^[5]。

3.3 数据收集与质量保证

准确的碳排放核算依赖高质量的数据，企业需建立信息管理平台，收集各类数据，包括能源消耗数据，如每月的煤炭、天然气用量，电力购买量；原材料使用数据，每种原材料的采购量和成分信息；生产过程数据，如反应温度、

压力、产量等。为保证数据质量，企业应建立完善的数据管理体系，规范数据记录和统计流程。定期对能源计量设备、排放监测设备进行校准和维护，确保数据的准确性。同时，要对数据进行审核和验证，对于异常数据要进行分析和处理（图1）。

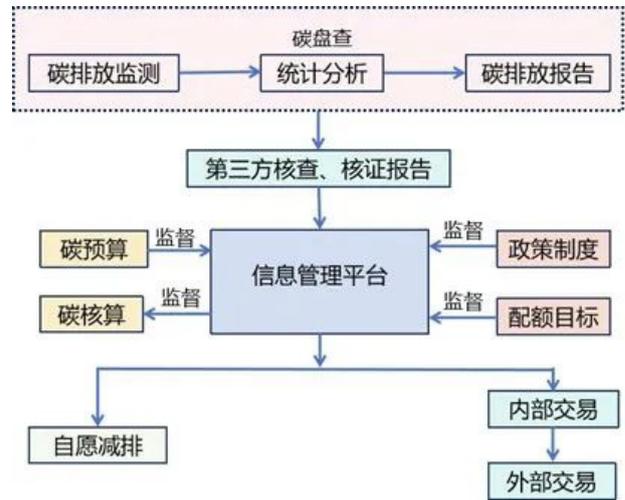


图1 信息管理平台

3.4 核算方法的选择与应用

目前，常用的碳排放核算方法有实测法、物料衡算法和排放系数法。实测法结合直接测量排放气体中的二氧化碳浓度和流量计算碳排放，准确性较高，但成本也高，适用于重点排放源的监测。物料衡算法根据化学反应过程中物质的质量守恒原理，计算投入和产出物质的量来推算碳排放，适用于工艺过程明确、数据完整的生产环节。排放系数法是根据行业统计数据或实验研究得到的排放系数，结合相关活动水平数据（如能源消耗、产品产量等）计算碳排放，操作相对简便，但准确性受排放系数的可靠性影响。精细化工企业应根据自身实际情况，综合运用多种核算方法，确保核算结果的准确性和可靠性。在核算能源燃烧排放时，对于大型锅炉可采用实测法，而对于一些小型加热设备则可采用排放系数法。

4 精细化工行业深度减排策略

4.1 能源结构优化

4.1.1 增加清洁能源使用比例

精细化工企业应逐步提高清洁能源在能源消费中的占比。积极开发和利用太阳能，在企业厂房顶部安装光伏发电装置，为企业生产提供部分电力。某精细化工企业投资建设分布式光伏发电项目，装机容量为5MW，每年可发电500万度，减少约4000吨二氧化碳排放。推广使用风能，在风力资源丰富的地区，企业可参与风电场建设或购买风电绿证，实现电力消费的低碳化。加大天然气在能源结构中的比重，天然气燃烧产生的二氧化碳比煤炭大幅减少。一些精细化工企业将原来以煤炭为燃料的锅炉改为天然气锅炉，有效

降低了碳排放。

4.1.2 提高能源利用效率

精细化工企业要重视能源利用效率的提升,对生产设备进行节能改造,采用高效的反应釜、换热器、泵等设备,减少能源消耗。某企业将传统的列管式换热器更换为新型板式换热器,传热效率提高了30%,能源消耗降低了15%。优化生产工艺,改进反应条件、调整工艺流程等方式,减少能源浪费。在一些精细化工合成工艺中,采用连续化生产替代间歇式生产,不仅提高生产效率,还降低能源消耗。建立能源管理体系,对企业能源消耗进行实时监测和分析,及时发现能源浪费环节并采取改进措施。

4.2 工艺技术创新

4.2.1 研发低碳生产工艺

新型催化剂的研发是实现低碳生产的关键路径之一,在众多精细化工合成反应中,高效催化剂能够显著提升反应的选择性。以某精细化工中间体的合成为例,以往的工艺反应过程中存在大量副反应,不仅消耗额外的原料,还因副产物的处理增加碳排放。研发新型分子筛催化剂,该反应的选择性提高30%,主产物的生成效率大幅提升,同时减少约20%的二氧化碳排放。不仅降低生产成本,还有效减轻环境负担。此外,相较于传统化学合成工艺,生物基工艺具有反应条件温和、能耗低的优势。比如,利用微生物发酵法生产特定的精细化工产品,如氨基酸、酶制剂等。微生物在适宜的环境下,以可再生的生物质为原料进行生长代谢,从而合成目标产物,避免高温高压等严苛条件下的能源消耗,相较于化学合成法,可减少约40%的碳排放,为精细化工行业的绿色转型提供有力支撑。

4.2.2 推进资源循环利用

一方面,建立完善的回收体系是实现资源循环利用的基础。以染料生产企业为例,生产过程中会产生大量废酸。通过先进的回收技术,将废酸进行净化、浓缩处理后,可重新应用于染料生产环节。这一举措不仅减少废酸排放对环境的危害,还降低企业对新酸的采购量,节约资源与成本。据统计,实施废酸回收利用后,企业每年可减少约30%的废酸排放,降低15%的原材料成本;另一方面,产业链上下游合作也是推进资源循环利用的有效途径,精细化工企业可与上下游企业构建紧密的合作关系,实现资源的梯级利用。上游企业生产过程中的某些中间产品或副产品,正是下游企业所需的原料。建立合作机制,将这些资源合理调配,既能减少上游企业的废弃物排放,又能降低下游企业的原料采购难度与成本。

4.3 加强企业管理

4.3.1 制定碳减排目标与计划

精细化工企业应根据自身实际情况,制定明确的碳减排目标和详细的实施计划。设定在未来5年内将单位产品碳排放降低20%的目标,并将目标分解到各个生产车间和部

门。制定具体的减排措施,如能源结构调整、工艺改进、设备升级等,并明确实施时间表和责任人。定期对碳减排目标的完成情况进行评估和考核,对未完成目标的部门和个人进行问责,确保碳减排计划的有效实施。

4.3.2 提升员工环保意识

加强对员工的环保培训,提高员工的碳排放认知和环保意识。组织开展碳排放知识讲座、培训课程,使员工了解碳排放对环境和企业发展的影响,掌握碳减排的方法和技巧。鼓励员工积极参与企业的碳减排工作,提出合理化建议。设立环保奖励制度,对在碳减排工作中表现突出的员工进行表彰和奖励,激发员工的积极性和主动性。

4.4 政策支持与行业合作

4.4.1 争取政策扶持

政府在推动精细化工行业碳减排方面起着重要作用,精细化工企业应积极争取政府的政策支持,如财政补贴、税收优惠、绿色信贷等。政府对采用清洁能源、实施低碳技术改造的企业给予财政补贴,降低企业的减排成本。对碳减排成效显著的企业给予税收减免,鼓励企业加大减排力度。

4.4.2 加强行业合作

精细化工行业协会应发挥桥梁和纽带作用,组织企业开展技术交流、经验分享和合作研发。企业之间可共享低碳技术和管理经验,共同攻克碳减排技术难题。建立行业碳排放数据库,收集和分析行业内的碳排放数据,为企业提供碳排放核算和减排策略制定的参考依据。行业协会还可与科研机构、高校合作,开展产学研合作项目,推动低碳技术的研发和应用,促进整个精细化工行业的碳减排。

5 结论

精细化工行业的碳排放特征受能源消耗和复杂工艺过程影响,具有分散性和复杂性。准确核算碳排放需明确核算边界、识别排放源、保证数据质量并合理选择核算方法。深度减排策略涵盖能源结构优化、工艺技术创新、加强企业管理以及争取政策支持和加强行业合作等多个方面,有利于精细化工行业降低碳排放,实现可持续发展。未来,随着技术的不断进步和政策的日益完善,精细化工行业应持续探索和创新,不断提升碳减排水平,向着低碳、绿色的方向迈进。

参考文献

- [1] 刘丹,张玉冬,李戎.面向“双碳”战略的我国毛纺织行业碳排放实证研究[J].印染,2023,49(7):90-93.
- [2] 雷期林.煤化工工艺过程CO₂排放分析技术研究[J].中国化工贸易,2021(29):97-99.
- [3] 么长慧,马朝君,冯早,等.化工行业碳排放核算及影响因素[J].化工管理,2024(20):96-99.
- [4] 韩磊,闫立新,王一飞,等.石油化工企业碳排放计量技术路径分析[J].内蒙古科技与经济,2024(22):118-121.
- [5] 刘黎黎.基于MDI法的化工生产碳排放强度计算方法[J].化工设计通讯,2023,49(5):60-62.

Study on the necessity and measures of constructing safety risk control system in chemical enterprises

Shengxin Duan

Shandong Caike New Materials Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257200, China

Abstract

As one of the pillars of the national economy, the chemical industry holds a pivotal position in economic development. However, its production process involves numerous hazardous chemicals and complex procedures, leading to consistently high safety risks. This paper delves into the necessity of establishing a safety risk management system for chemical enterprises. It presents a series of targeted and actionable measures based on detailed data and real-world cases, aiming to enhance the safety management level of chemical enterprises, effectively prevent accidents, and promote the safe, stable, and sustainable development of the chemical industry.

Keywords

chemical enterprise; safety risk control system; necessity; construction measures

化工企业安全风险管控体系的构建必要性与措施研究

段升鑫

山东彩客新材料有限公司, 中国·山东 东营 257200

摘要

化工行业作为国民经济的支柱产业之一,在经济发展中占据着举足轻重的地位。然而,其生产过程涉及众多危险化学品与复杂工艺,安全风险长期维持在较高水平。本文深入剖析化工企业构建安全风险管控体系的必要性,并结合详实的数据与实际案例,提出一系列具有针对性与可操作性的构建措施,旨在提升化工企业安全管理水平,有效防范事故发生,推动化工行业安全、稳定、可持续发展。

关键词

化工企业;安全风险管控体系;必要性;构建措施

1 引言

化工企业生产具有高温、高压、易燃、易爆、有毒有害等显著特性,这使得化工生产过程犹如行走在“钢丝绳”上,一旦安全风险失控,引发安全事故,其后果不堪设想。天津港“8·12”瑞海公司危险品仓库特别重大火灾爆炸事故便是一记沉重的警钟,此次事故造成165人遇难、8人失踪、798人受伤,直接经济损失高达68.66亿元。如此惨痛的事故频发,深刻凸显了化工企业加强安全管理、构建科学完善安全风险管控体系的紧迫性与重要性。通过构建安全风险管控体系,能够全面、系统地识别生产过程中的各类风险,准确评估风险程度,并采取有效措施加以控制,从而降低事故发生概率,保障企业安全生产,维护员工生命健康与社会稳定。因此,深入研究化工企业安全风险管控体系的构建必要性与措施,具有极为重要的现实意义。

【作者简介】段升鑫(1984-),男,中国山东淄博人,本科,注册安全工程师,从事化工安全、应急管理研究。

2 化工企业安全风险管控体系构建的必要性

2.1 保障人员生命安全的迫切需求

化工生产中,火灾、爆炸、中毒等安全风险时刻威胁着员工的生命安全。据相关统计数据显示,过去5年,化工行业因安全事故导致的死亡人数平均每年达到[X]人。例如,[具体事故案例]中,某化工企业由于对危险化学品储存管理不善,发生严重的泄漏和爆炸事故,造成[X]名员工当场死亡,[X]人受伤。这些事故不仅让一个个家庭支离破碎,也给社会带来了沉重的伤痛。构建安全风险管控体系,借助全面的风险辨识和评估,能够提前察觉潜在安全隐患,并制定针对性的控制措施,从而有效降低事故发生的可能性,最大程度保障员工生命安全。

2.2 维护企业财产安全的必然选择

安全事故一旦发生,除人员伤亡外,还会给化工企业带来巨大的财产损失。这些损失涵盖设备损坏、生产中断、事故赔偿、环境污染治理等多个方面。据估算,一起重大化工安全事故的直接经济损失可达数千万元甚至数亿元,间接

经济损失更是难以估量。^[1]以[某化工企业事故案例]为例,该事故致使企业主要生产装置严重损坏,直接经济损失高达[X]亿元,企业因停产整顿长达[X]个月,间接经济损失超过[X]亿元,使企业面临严重的经营困境。^[1]通过构建安全风险管控体系,能够及时发现并消除设备设施、工艺流程等方面的安全隐患,避免因事故导致的财产损失,保障企业的正常生产经营和资产安全。^[2]

2.3 满足法律法规要求的基本义务

化工行业受到国家和地方严格的法律法规监管。《中华人民共和国安全生产法》《危险化学品安全管理条例》等一系列法律法规,对化工企业的安全生产条件、安全管理制度、风险管控措施等提出了明确而具体的要求。企业必须依法履行安全生产主体责任,构建完善的安全风险管控体系。^[2]否则,将面临严厉的行政处罚,情节严重的还将追究刑事责任。例如,[列举某企业因违反安全法规受处罚案例],某化工企业因未按规定对安全风险进行辨识和评估,未落实有效的风险管控措施,被安全生产监管部门处以[X]万元罚款,并责令停产整顿。因此,构建安全风险管控体系是化工企业遵守法律法规、避免法律风险的基本义务。^[3]

2.4 推动化工行业可持续发展的重要保障

化工行业的可持续发展离不开安全生产。频繁发生的安全事故不仅影响单个企业的生存和发展,还会对整个化工行业的形象和声誉造成负面影响,引发社会公众对化工行业的担忧和质疑,进而阻碍行业的健康发展。构建安全风险管控体系,有助于提升化工企业的整体安全管理水平,减少事故发生,增强社会公众对化工行业的信心,为化工行业的可持续发展创造良好的外部环境。同时,通过有效的风险管控,可以优化生产流程,提高资源利用效率,降低生产成本,促进化工企业的经济效益与环境效益、社会效益的协调统一,推动化工行业的可持续发展。

3 化工企业安全风险管控体系的构建措施

3.1 明确安全风险管控目标与责任

化工企业应依据自身生产特点和实际状况,制定清晰、明确、可量化的安全风险管控目标。例如,设定未来3年内事故发生率降低[X]%、隐患整改率达到[X]%以上等具体目标。将这些目标层层分解,落实到企业的各个部门、车间、班组以及每个岗位,确保每个员工都明晰自己在安全风险管控工作中的具体任务和目标。同时,建立健全安全生产责任制,明确各级管理人员和员工在安全风险管控中的职责。从企业主要负责人到一线操作人员,都要签订安全生产责任书,将安全风险管控责任与员工的绩效紧密挂钩,实行严格的考核奖惩制度。对安全风险管控工作表现突出的部门和个人给予表彰和奖励,对工作不力、导致安全事故发生的,依法依规严肃追究责任。

3.2 全面开展安全风险辨识与评估

化工企业应综合运用多种科学的风险辨识方法,如工

作危害分析法(JHA)、安全检查表分析法(SCL)、危险与可操作性分析(HAZOP)等,对生产过程中的各个环节进行全面、系统的风险辨识。以某化工企业的生产装置为例,采用JHA对每个操作步骤进行细致分析,详细识别出潜在的危险因素,包括高温烫伤、物料泄漏、机械伤害等;运用SCL对装置的设备设施、安全防护措施等进行全面检查,确保无遗漏;针对复杂的工艺流程,采用HAZOP方法,对工艺参数的偏差进行深入分析,找出可能引发事故的原因和后果。在风险辨识的基础上,采用风险矩阵法、作业条件危险性评价法(LEC)等评估方法,对辨识出的风险进行量化评估,确定风险等级。根据风险等级,将风险分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险,为后续的风险控制提供科学依据。由于化工企业生产过程中存在诸多不确定因素,如工艺变更、设备更新、人员变动等,安全风险也会随之发生变化。因此,企业应定期(如每年)对风险辨识与评估结果进行更新,对于发生重大变更的情况,及时进行专项风险辨识与评估,确保风险管控的有效性。

3.3 制定并实施有效的风险控制措施

根据风险评估结果,化工企业应针对不同等级的风险制定相应的风险控制措施,包括工程技术措施、管理措施、个体防护措施和应急措施等。对于重大风险和较大风险,应优先采取工程技术措施,从源头上消除或降低风险。例如,对于存在易燃易爆物质的生产场所,采用自动化控制系统,减少人工操作,降低事故发生的概率;对可能发生泄漏的设备和管道,采用密封性能好的材质和先进的密封技术,防止物料泄漏。同时,加强管理措施,制定完善的安全管理制度和操作规程,严格执行作业审批制度,加强对特殊作业环节(如动火作业、受限空间作业等)的安全管理。为员工配备符合国家标准个人防护用品,并确保员工正确佩戴和使用,如为接触有毒有害气体的员工配备防毒面具,为从事高处作业的员工配备安全带等。此外,还应制定应急预案,定期组织应急演练,提高员工应对突发事件的能力。

3.4 建立安全风险监测与预警机制

化工企业应利用先进的信息技术和监测设备,建立安全风险监测系统,对生产过程中的关键工艺参数、设备运行状态、安全防护设施等进行实时监测。例如,通过安装温度、压力、流量传感器,对反应釜、管道等设备的工艺参数进行实时监测;利用在线监测系统对设备的振动、噪声、油温等运行状态进行监测。^[3]设置合理的风险预警阈值,当监测数据超出预警阈值时,系统自动发出预警信号,提醒相关人员及时采取措施。同时,建立风险预警信息传递机制,确保预警信息能够迅速、准确地传达给相关部门和人员。例如,某化工企业的安全风险监测系统与企业的应急指挥中心联网,一旦发生预警,应急指挥中心能够立即启动应急预案,组织人员进行应急处置。通过建立安全风险监测与预警机制,能够实现对安全风险的动态管理,及时发现风险变化趋势,提前采取措施,避免事故的发生。

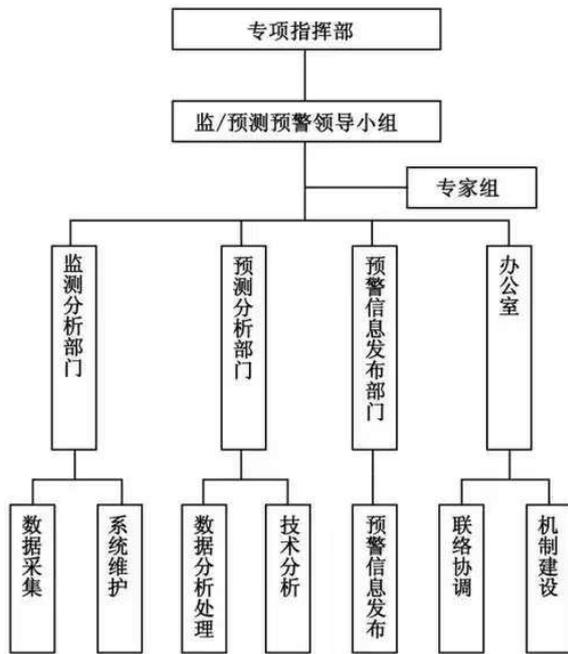


图1 风险预警机制流程图

3.5 加强安全风险管控的培训与教育

化工企业应制定全面的安全风险管控培训计划，定期组织员工参加培训。培训内容包括安全风险辨识与评估方法、风险控制措施、安全管理制度和操作规程、应急处置技能等。针对不同层次和岗位的员工，设计不同的培训课程，确保培训内容具有针对性和实用性。例如，对企业管理人员，重点培训安全风险管控的理念、方法和决策技巧；对一线操作人员，重点培训岗位操作规程、风险识别和防范措施以及应急处置技能。采用多样化的培训方式，如课堂讲授、案例分析、现场演示、模拟演练等，增强培训效果。

4 案例分析

4.1 某化工企业安全风险管控体系构建案例

某大型化工企业主要生产有机化学品，生产过程涉及多种危险化学品和复杂的化学反应。为加强安全管理，该企业积极构建安全风险管控体系。在明确安全风险管控目标与责任方面，企业制定了未来3年将事故发生率降低50%的目标，并将具体责任分解到各个部门和岗位。通过开展全面的安全风险辨识与评估，运用HAZOP、JHA等方法，共识别出各类安全风险[X]项，其中重大风险[X]项，较大风险[X]项。针对这些风险，企业制定了详细的风险控制措施。在工程技术方面，对关键生产设备进行了自动化改造，减少人工

操作；在管理方面，完善了安全管理制度，加强了对特殊作业的审批和监管；为员工配备了高质量的个人防护用品，并加强了应急演练。同时，企业建立了安全风险监测与预警系统，对生产过程中的关键参数进行实时监测，一旦出现异常立即预警。通过定期组织安全风险管控培训与教育，员工的安全意识和风险管控能力得到显著提高。此外，企业强化了安全风险管控的监督与考核，每月对各部门的安全工作进行检查和考核，对表现优秀的部门和个人给予奖励，对存在问题的进行处罚。

4.2 案例效果分析

经过一年的运行，该企业的安全风险管控体系取得了显著成效。事故发生率同比下降了30%，隐患整改率达到了95%以上。在一次设备故障预警中，安全风险监测系统及时发现了关键设备的异常振动，企业迅速启动应急预案，避免了设备的进一步损坏和可能引发的生产事故。员工的安全意识明显增强，主动参与安全风险管控的积极性提高，形成了良好的安全文化氛围。通过构建安全风险管控体系，该企业不仅提高了安全生产水平，也提升了企业的经济效益和社会形象，实现了安全与发展的良性互动。

5 结论

化工企业构建安全风险管控体系具有至关重要的必要性，是保障人员生命安全、维护企业财产安全、满足法律法规要求以及推动化工行业可持续发展的必然选择。通过明确安全风险管控目标与责任、全面开展安全风险辨识与评估、制定并实施有效的风险控制措施、建立安全风险监测与预警机制、加强安全风险管控的培训与教育以及强化安全风险管控的监督与考核等一系列措施，可以构建起科学、完善、有效的安全风险管控体系。实际案例表明，成功构建并运行安全风险管控体系能够显著降低化工企业的安全事故发生率，提高企业的安全管理水平和经济效益，为企业的稳定发展提供有力保障。在未来，化工企业应不断完善和优化安全风险管控体系，充分利用先进的技术和管理理念，持续提升安全风险管控能力，以适应化工行业不断发展变化的安全形势，确保化工企业的安全生产和可持续发展。

参考文献

- [1] 王炳棋.浅谈烟草企业安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制建设[J].中国管理信息化,2019,22(22):120-121.
- [2] 李国为.提高煤炭企业高风险作业安全控制能力的探讨[J].陕西煤炭,2019,38(02):183-185.
- [3] 王文远.化工技改项目风险管理研究[D].福建理工大学,2024.

Application and optimization of solvent extraction in chemical separation and purification

Lili Jia

Liaoning Kailaiying Pharmaceutical Chemistry Co., Ltd., Jinzhou, Liaoning, 121000, China

Abstract

Solvent extraction is a crucial separation and purification technique in chemical processes, widely applied across various fields of the chemical industry due to its high efficiency and selectivity. This paper delves into the fundamental principles and characteristics of solvent extraction and provides a detailed exposition of its applications in petrochemicals, fine chemicals, and hydrometallurgy. Additionally, through case studies, it illustrates the effectiveness of optimized solvent extraction processes in enhancing separation efficiency, reducing costs, and minimizing environmental pollution. Furthermore, it looks ahead to the future development directions of solvent extraction technology, aiming to offer more comprehensive and in-depth insights for professionals in the chemical industry, promoting continuous innovation and development in solvent extraction technology within the chemical sector.

Keywords

solvent extraction; chemical industry; separation and purification; optimization

溶剂萃取法在化工分离纯化中的应用与优化

贾丽丽

辽宁凯莱英医药化学有限公司, 中国·辽宁锦州 121000

摘要

溶剂萃取是化工过程中重要的分离纯化技术, 因其高效率和高选择性, 已被广泛应用于化学工业的各个领域。本文对溶剂萃取法的基本原理和特点进行深入的研究, 并对其在石油化工、精细化工和湿法冶金等领域的应用进行详细的阐述。同时, 结合实例分析, 说明优化后的溶剂萃取工艺在提高分离效率、降低成本和降低环境污染方面的效果。同时, 展望溶剂萃取技术未来的发展方向, 以期为化学工业从业人员提供更全面、更深层次的借鉴, 促进溶剂萃取技术在化工领域的持续创新和发展。

关键词

溶剂萃取法; 化工; 分离纯化; 优化

1 引言

在化工生产中, 为得到高纯度的目标产物, 或者回收有用组分, 经常需要对混合物进行分离提纯。分离纯化工艺的优劣, 不仅影响产品质量, 而且影响生产成本, 还影响资源的利用与环境保护。溶剂萃取作为一种经典的分离方法, 具有操作简单, 分离效率高, 选择性好, 易于连续生产等优点, 可有效地实现液相中不同组分的分离, 特别适合处理复杂体系。随着化学工业的发展, 对产品纯度的要求越来越高, 溶剂萃取技术作为一种重要的化工产品, 已成为一种重要的技术手段。同时, 为适应多样化的化工生产需求, 对溶剂萃取工艺进行优化与改进已成为当前的研究热点。

2 溶剂萃取法的基本原理与特点

溶剂萃取法利用溶质在两种互不相容(或微溶)的溶剂中的溶解度或分配系数的差异, 将溶质从一种溶剂转移到另一种溶剂(图1)。

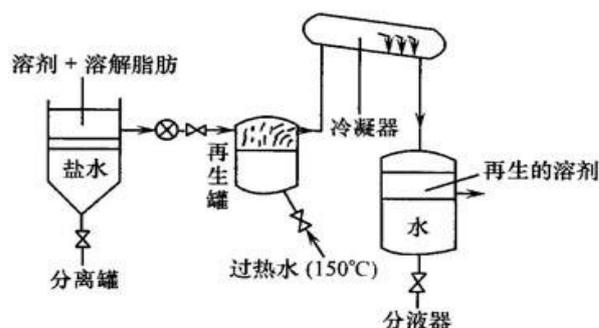


图2-4 溶剂萃取法工艺流程

图1 溶剂萃取法工艺流程

【作者简介】贾丽丽(1987-), 女, 满族, 中国辽宁锦州人, 本科, 工程师, 从事应用化学专业(化工方向)研究。

溶剂萃取法的特点是：①高效率。溶剂萃取法能在较短的时间内实现物质的高效率分离。选择合适的萃取剂，优化萃取条件，使目标物在气液两相中迅速达到分配平衡，达到高效萃取的目的。相较于蒸馏、结晶等传统分离方法，溶剂萃取可有效避免高温等因素对物质性质的破坏，提高分离效率。②选择性好。萃取剂对不同溶质具有不同亲和力，可实现目标物和杂质的高效分离。这一选择性对于复杂的混合体系具有重要意义，可定向提取目标组分，提高产物纯度。③操作简单。溶剂萃取法是一种比较简单的方法，主要有料液和萃取剂的混合、静置分层和分离三个步骤。对设备的要求比较低，常用的萃取装置有混合澄清罐、萃取塔等，这些设备结构简单，安装简单，操作简单，便于维护，适用于大规模工业化生产^[1]。

3 溶剂萃取法在化工领域的应用

3.1 石油化工领域

3.1.1 芳烃萃取

石油炼制过程中，芳烃萃取是获得高纯度芳香烃（如苯、甲苯和二甲苯等）的重要途径。目前对芳烃提取的传统方法主要是采用液-液萃取法，如环丁砜、N-甲酰吗啉等。例如，采用环丁砜作为萃取剂的芳烃萃取过程中，原料油（如转化油）与环丁砜（环丁砜）在萃取塔中逆流接触，芳烃在环丁砜中溶解度远高于原料油，经多步萃取、反萃取等过程可获得高纯度芳烃产物。该技术可将石油馏分中的芳香烃进行有效分离，为后续芳烃深加工提供优质原料，提升石油资源综合利用价值^[2]。

3.1.2 油品脱硫

随着环保要求的不断提高，降低油品中硫含量已成为石化工业亟待解决的问题。溶剂抽提技术对油品脱硫有其独特的优越性。例如，以离子液体为萃取剂，用于汽油和柴油等油品的脱硫。离子液体具有高度可设计性、高选择性和极低的蒸气压等优点。在油品脱硫过程中，离子液体中的阴离子可以与油品中的硫化物发生络合作用，将油品中的硫化物向离子液体相转移，从而达到脱硫的目的。相较于传统加氢脱硫技术，溶剂提取脱硫技术操作条件温和，能耗低，无氢排放，可有效降低油品脱硫成本，降低环境污染^[3]。

3.2 精细化工领域

3.2.1 天然产物提取

从天然动植物中提取活性成分是精细化工领域的一个重要研究方向，溶剂萃取法在天然产物提取中得到了广泛的应用。如从中药中提取有效成分如生物碱类、黄酮类等，要根据目的组分的性质选择合适的萃取剂。针对极性强的生物碱，通常以酸性水溶液为萃取剂，利用生物碱在酸性条件下成盐而在水相中溶解的特点来提取；黄酮类物质的提取可以用乙醇和乙酸乙酯作为溶剂。在此基础上，进一步优化萃取条件，实现对天然产物的提取与纯化，为天然药物、食品添加剂、化妆品等精细化学品的制备提供高质量的原料。

3.2.2 有机合成产物分离

有机合成过程中，产物成分复杂，为获得高纯度的产物，需对其进行分离纯化。溶剂萃取是有机合成产物分离的重要方法。例如，在药物合成中，在反应完成后，产品中可能会含有一些杂质，如未反应的原料、副产物和催化剂。选择适当的萃取剂，可以将待测药物分子从反应液中萃取出来，从而达到从杂质分离的目的。如在合成抗生素时，通过特定有机溶剂提取反应液，利用目标产物与杂质的溶解度差异，将目标产物分离到有机相中，再经反萃取、结晶等操作，获得高纯度抗生素产品^[4]。

3.3 湿法冶金领域

3.3.1 金属离子分离与富集

在湿法冶金中，常采用溶剂萃取法对浸出液中的金属离子进行分离富集。如铜湿法冶炼时，矿石经浸出后可得到含铜离子及其他杂质离子（如 Fe、Zn 等）的溶液。以 Lix 系列羟肟为萃取剂，可以实现对铜离子的选择性萃取。Lix 作为萃取剂，其肟基团可与铜离子形成稳定配合物，在适当的 pH 条件下，铜离子由水相向有机相迁移，其他杂质离子滞留于水相中，从而实现铜和杂质离子的高效分离。采用多级萃取-反萃取工艺，可获得高纯度的铜液，供后续电积等生产金属铜。该工艺可有效地提高金属回收率、降低生产成本、降低环境污染。

3.3.2 稀有金属提取

对于锂、铷、铯等稀有金属的萃取，溶剂萃取法也是一项重要的研究课题。盐湖卤水锂是重要的锂源之一，卤水中含有大量的 Na、K、Mg 等杂质离子，对盐湖卤水锂的开发至关重要。利用冠醚和磷酸酯两种萃取剂实现对锂离子的选择性萃取。冠醚类萃取剂能与锂离子形成稳定的配合物，调控萃取剂浓度、溶液 pH、温度等条件，实现锂离子与其他杂质离子的分离富集^[5]。

4 溶剂萃取法的优化策略

4.1 萃取剂的筛选与优化

4.1.1 新萃取剂的研究与开发

针对传统萃取剂存在毒性大、成本高、选择性差等缺点，本项目拟开展新型萃取剂的研究。近年来，新的萃取剂如离子液体、超临界流体和功能聚合物等备受关注。离子液体具有良好的可设计性、极低的水蒸气压和良好的化学稳定性，通过阴阳离子结构的调控实现对特定溶质的高选择性。以超临界二氧化碳为代表的超临界流体因其高扩散系数、低粘度及可调的溶解性能，在热敏性物质及难挥发性物质的萃取中具有独特的优势。功能化聚合物在目标物质中引入特定功能基团，实现对目标物质的选择性吸附与提取。

4.1.2 萃取剂的合成

通过复配两种或两种以上萃取剂，利用二者的协同效应，提高萃取效率和选择性。例如，通过复合萃取机理不同的萃取剂（如酸-中性）协同萃取金属离子，拓宽萃取体系

的 pH 范围,提高萃取效率。同时,复合萃取剂还改善萃取剂的粘度和相分离速率等物理性能。

4.1.3 萃取剂的改性

在已有萃取剂基础上,引入特殊功能基团或结构,使其性能发生变化,从而提高萃取效果。如通过结构修饰、引入长链烷基基团等手段,提高萃取剂的溶解性、选择性,提高 Cu 的萃取效率与反萃性能。

4.2 萃取工艺的优化

4.2.1 多级萃取与逆流萃取

采用多级萃取与逆流萃取相结合的方法,提高提取率,提高产品的纯度。多级萃取是指将多个萃取单元串联起来,使萃取液和萃余液在不同萃取单元间依次接触,逐步增加萃取液中溶质的浓度。逆流萃取是将萃取液和萃取剂在萃取装置内逆流流动,使萃取液在萃取过程中始终保持较大浓度差,提高萃取效率。例如,采用多级逆流萃取技术,有效地提高芳烃的收率和纯度。

4.2.2 耦合技术的应用

将溶剂萃取与其他分离技术相结合,充分发挥各自的优势,提高分离效率。如将萃取与膜分离相结合,构建萃取膜分离技术,利用膜的选择透过性与萃取剂的萃取性能,实现溶质的高效分离富集。针对含微量有机物的废水,利用萃取膜分离技术高效地提取和富集废水中的有机物,实现萃取剂的循环使用,降低处理成本。同时,将萃取-色谱联用技术相结合,实现对复杂混合物中微量组分的分离分析,提高分离精度和灵敏度。

4.2.3 连续化萃取工艺的改进

对连续化萃取装置及工艺参数进行优化,提高连续化生产的稳定性与效率。利用先进的自动控制技术,对萃取过程中的温度、流速、相比等参数进行实时监控与调整,保证萃取过程始终处于最优操作状态。如在大型石化企业芳烃提取装置中,采用先进的自动控制系统,可实现对萃取过程的精确控制,提高产品品质稳定性,降低能源消耗与人力成本。

4.3 萃取设备的改进与优化

4.3.1 新型萃取设备的开发

开发新的萃取装置,提高萃取效率,强化传质,促进相分离。如微流道提取器利用微流道尺寸小、比表面积大等特点,实现萃取剂-料液快速混合与高效传质,极大地缩短萃取时间,提高萃取效率。离心萃取装置通过离心力加速相分离过程,适合处理密度差异小或易乳化的体系,可有效提升萃取装置的处理能力及分离效果。

4.3.2 现有萃取设备的优化改造

通过改进设备结构和优化内部部件等传统提取设备,

提高设备性能。如采用高效搅拌器、新型导流装置等,可以改善搅拌效果,促进相分离;萃取塔中加装高效填料或塔盘,可增大气-液接触面积,提高传质效率。

4.4 萃取过程的控制与监测

4.4.1 在线监测技术的应用

利用在线监测技术,对萃取过程中溶质浓度、pH、温度、流速等关键参数进行实时监控,实现对萃取过程的优化调控。常用的在线监测方法有光谱分析,电化学分析等。如采用在线红外光谱技术实时监控萃取过程中溶质浓度变化情况,根据监测结果及时调整萃取剂添加量及操作条件,保证萃取过程稳定高效。

4.4.2 自动化控制策略的实施

利用自动控制策略,实现萃取过程的精确控制。在此基础上,采用自适应控制和预测控制等先进控制算法对萃取过程进行自动调整。例如,在萃取过程中,根据 pH 值、金属离子浓度等参数,自动调整酸、碱添加量、萃取剂流速等参数,使萃取过程始终处于最优状态,从而提高萃取效率,提高产品品质。

5 结论

溶剂萃取技术因其高效率和高选择性被广泛应用于化工、精细化工和湿法冶金等领域。本项目拟在此基础上,通过对萃取剂的筛选优化、萃取工艺的优化、设备的升级改造和过程的精确监控,大幅提高分离效率,降低生产成本,减轻环境污染。实例表明,采用优化后的溶剂提取工艺,可使产品的收率和纯度有很大的提高。从长远来看,环境友好型萃取技术是未来的发展趋势,智能化和自动化技术的深度融合将实现精确控制和高效生产,多学科的交叉将促进技术创新。溶剂萃取技术不断创新,为我国化学工业的可持续发展奠定坚实的技术基础,推动我国化工产业迈向高质量发展的新阶段。

参考文献

- [1] 刘少洲. 离子液体与新型溶剂对化工精馏的可分离性能影响分析[J]. 山西化工,2025,45(1):140-142.
- [2] 刘萌萌. 基于膜的非分散溶剂萃取技术及其对高粘度油的分离与回收研究[D]. 浙江:浙江工业大学,2023.
- [3] 赵文博. 低共熔溶剂用于高温煤焦油洗油中喹啉/2-甲基萘的萃取分离研究[D]. 山西:太原理工大学,2023.
- [4] 李飞,彭苗苗,胡智怡,等. 酸溶液中溶剂萃取法分离钼(VI)/铁(III)的研究进展[J]. 矿冶工程,2023,43(2):118-124,129.
- [5] 成洪业,漆志文. 低共熔溶剂用于萃取分离的研究进展[J]. 化工进展,2020,39(12):4896-4907.

Research and Application of Multi-Property Infrared Analyzer for Solid Particulate Materials in the Performance Analysis of Polyolefins

Guosheng Liu Yaxin Zhang Wenxing Liu Jingfang Hu Fang Zhao

Guoneng Baotou Coal Chemical Co., Ltd., Baotou, Inner Mongolia, 014030, China

Abstract

This paper explores the application of a multi-property infrared analyzer for solid particulate materials in the performance analysis of polyolefins. Traditional performance testing of polyolefins is generally conducted using specialized testing tools. This paper discusses the working principle of the multi-property infrared analyzer for solid particulate materials and the performance characteristics of polyolefins, illustrating the application of this technology in the analysis of various properties such as melt flow index, density, yellow index, isotactic index, ash content, and mechanical properties of polyolefins. Research shows that the multi-property infrared analyzer for solid particulate materials can replace traditional analytical instruments, providing fast and accurate performance testing data for polyolefin materials, which serves as an important basis for material performance evaluation, production process control, and product quality control. This technology has broad application prospects in the production and research and development of polyolefins, contributing to the performance optimization of polyolefin materials and the development of new products.

Keywords

Multi-Property Infrared Analyzer for Solid Particulate Materials; Polyolefins; Performance Analysis

固体颗粒物多性质红外分析仪在聚烯烃性能分析中的研究与应用

刘国圣 张雅欣 刘文星 胡景芳 赵芳

国能包头煤化工有限责任公司, 中国·内蒙古 包头 014010

摘要

本文探讨了固体颗粒物多性质红外分析仪在聚烯烃性能分析中的应用。传统聚烯烃性能测试一般通过专用测试工具进行, 本文通过研究固体颗粒物多性质红外分析仪的工作原理和聚烯烃的性能特点, 阐述了该技术在聚烯烃熔融指数、密度、黄色指数、等规指数、灰分、力学性能等各性能分析中的应用。研究表明, 固体颗粒物多性质红外分析仪能够替代传统分析仪器, 快速、准确地提供聚烯烃材料的各种性能测试数据, 为材料性能评估、生产过程控制和产品出厂质量控制等方面提供重要依据。该技术在聚烯烃生产和研发领域具有广阔的应用前景, 有助于推动聚烯烃材料的性能优化和新产品开发。

关键词

固体颗粒物多性质红外分析仪; 聚烯烃; 性能分析

1 引言

聚烯烃作为重要的高分子材料, 在工业生产和日常生活中广泛应用。随着材料科学的快速发展, 对聚烯烃性能的分析 and 表征提出了更高要求。聚烯烃性能分析一般包含熔融指数、密度、黄色指数、等规指数、灰分、力学性能等, 完成一个聚烯烃样品上述多项性质的测定, 须使用我国现行的国家标准和行业标准及其数十种不同测试(包含样品预

处理)设备进行。其中所用到的方法包含: GB/T 1040.1—2018《塑料 拉伸性能的测定第1部分: 总则》、GB/T 1040.2—2022《塑料拉伸性能的测定第2部分: 模塑和挤塑塑料的试验条件》、GB/T 3682.1—2018《塑料 热塑性塑料熔体质量流动速率(MFR)和熔体体积流动速率(MVR)的测定 第1部分: 标准方法》、GB/T 1033.2—2010《塑料 非泡沫塑料密度的测定第二部分: 密度梯度法》、HG/T 3862—2006《塑料黄色指数试验方法》、SH/T 1774—2012《塑料 聚丙烯等规指数的测定低分辨率脉冲核磁共振法》等十余种不同标准。其中所用的样品预处理仪器和测试仪器包含熔融指数仪、压片机、密度梯度仪、黄色指数仪、核磁分析仪、

【作者简介】刘国圣(1984—), 男, 中国山东青州人, 本科, 高级技师, 从事工业分析与检验研究。

注塑机、万能材料试验机等仪器。聚烯烃各性能传统的分析方法往往存在样品处理复杂、分析时间长等局限性,难以满足工艺转切牌号过程生产调整和产品出厂对快速、准确分析的需求。固体颗粒物多性质红外分析仪作为一种新兴的分析技术,凭借其非破坏性、快速、准确等特点,在聚烯烃性能分析领域展现出巨大潜力。本文旨在研究固体颗粒物多性质红外分析仪在聚烯烃性能分析中的应用,建立一种快速测定聚烯烃各性能的分析方法,替代传统分析方法,从而降低分析成本,提高公司效益。

2 固体颗粒物多性质红外分析仪的工作原理

固体颗粒物多性质红外分析仪是基于近红外光谱原理设计的分析仪器。其核心部件包括光学平台、光源模块、准直镜、遮光装置、参比模块、测样附件、光谱检测器和控制电路等。

固体颗粒物多性质红外分析仪是一台光谱测量技术、计算机技术、化学计量学技术与基础测试技术的有机结合的仪器,其基本原理是:样品组成变化引起样品属性变化,同样也引起属性之一光谱的变化。样品成分浓度或性质变化与对应的光谱变化之间存在着相关关系。基于这一相关关系,通过采用化学计量学将光谱与样品成分浓度或性质进行关联,建立光谱变化与样品成分浓度或性质变化之间的定量或定性关系,即定标数据库,即建立定量模型,然后定量模型和未知样品光谱实现定量,预测未知样品一种或多种成分浓度或性质。定量模型采用多元回归的方法建立光谱变量与其指标数值之间的定量关系^[1],偏最小二乘回归(PLS)在光谱定量方面有很好的回归定量效果,为了加强回归模型的稳健性^[2],增强模型的泛化能力,通常在建立分析模型前对光谱进行预处理^[3],常用的预处理方案有:归一化、多元散射校正(MSC)、平滑及求导等。

该仪器的主要技术特点包括简单快速、无损伤无污染分析等。它能够在数十秒钟内完成样品的全谱扫描,可提供一种或多种成分或性质的光谱信息。此外,固体颗粒物多性质红外分析仪还具有操作简便、样品无需复杂前处理等优点,特别适合固体颗粒样品的快速分析。

3 聚烯烃的性能特点与分析需求

聚烯烃是一类由烯烃单体聚合而成的高分子材料,主要包括聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)等。这些材料具有优异的机械性能、化学稳定性和加工性能,广泛应用于包装、建筑、汽车等领域。聚烯烃在生产过程和出厂检测时的主要性能分析包含熔融指数分析、密度分析、等规指数分析、灰分分析拉伸性能分析、冲击性能分析、弯曲性能分析、黄色指数分析、负荷热变形温度分析等因素。这些分析项目虽然大部分为仪器分析,但是自动化程度并不高,部分分析项目需要样品前处理或样品制备。

新产品的开发和切牌号过程中,导致树脂产品生产中控制分析频次增加,如熔指分析由正常4小时/次的频次增加

至1小时/次,密度分析由正常4小时/次的频次增加至2小时/次。按照国家标准的步骤进行分析,熔体质量流动速率完成一个样品至少需要30min;密度至少需要3.5h。生产新产品或切换牌号过程中需根据熔体质量流动速率、密度等参数进行工艺参数调节。为了保障快速指导工艺调整,减少过渡料的产生,因此需要提高聚烯烃各性能检测效率。

聚烯烃产品出厂检测时,测试过程包括采样、注塑、制样、状态调节、检测等阶段,分析过程繁冗耗时(至少需要56小时),导致产品出厂不及时而压仓。因此,需要在保障出厂产品质量的同时提高检测效率势在必行。

在聚烯烃的生产和出厂过程中,聚烯烃各性能指标检测至关重要。传统的分析方法虽然能够提供准确的结果,但往往需要复杂的样品前处理和较长的分析时间。随着聚烯烃应用领域的不断扩大和产品性能要求的提高,开发快速、准确的分析方法成为当务之急。固体颗粒物多性质红外分析仪的出现为聚烯烃性能分析提供了新的解决方案。

4 固体颗粒物多性质红外分析仪在聚烯烃性能分析中的应用

根据生产过程分析和出厂检测两种分析需求,研究固体颗粒物多性质红外分析仪在聚烯烃性能分析中的应用。本文以聚丙烯不同牌号切换过程熔融指数和聚乙烯密度分析为例进行探讨和研究。

4.1 样品数据收集

以聚丙烯由L5E89牌号转切至WL-700X牌号为研究对象进行熔融指数数据的收集,L5E89牌号转切至WL-700X牌号的熔指是由3.5g/10min到80.0g/10min的跨度,因此,在转切牌号过程需要收集大量的树脂粉料和粒料的熔融指数数据,作为固体颗粒物多性质红外分析仪的定标值。

分别扫描L5E89、L5E89H、V30G、WL-Z30S、WL-M500X、WL-M600X、WL-M700X熔融指数指标范围内的熔融指数的光谱谱图,作为不同牌号产品的原始数据库。

4.2 定量模型的建立

基于转切牌号过程中聚丙烯L5E89、L5E89H、V30G、WL-Z30S、WL-M500X、WL-M600X、WL-M700X粉料、粒料的熔融指数数据和泛函分子光谱,建立基于光谱预测样品熔融指数指标的标准曲线,以此作为定标数据库,即建立熔融指数定量模型,同理对聚乙烯DFDA-7042粉、粒料熔融指数的建立定量模型。

聚合物的漫反射近红外光谱特征峰位,各官能团特征峰位的光谱数据之间存在交叉现象,各个样本之间的光谱差异不明显,并且样本光谱存在纵向漂移现象,为了减小因光程变动而造成的光谱漂移的影响,增强样本光谱的差异性与熔融指数的关系,降低光谱噪声的影响,需要在建模近红外测定前对光谱进行预处理。经试验选定回归结果较好的五种光谱预处理方案,下表中A到F为原始光谱和所选定的五种光谱预处理方案。

表 1 聚丙烯各牌号熔融指数范围

| 聚丙烯产品牌号 | L5E89 | L5E89H | V30G | WL-Z30S | WL-M500X | WL-M600X | WL-M700X |
|---------|-------|--------|------|---------|----------|----------|----------|
| 最小值 | 2.5 | 3.5 | 11.0 | 15.0 | 35.0 | 55.1 | 63.0 |
| 最大值 | 4.5 | 5.5 | 22.0 | 35.0 | 55.0 | 63.0 | 80.0 |

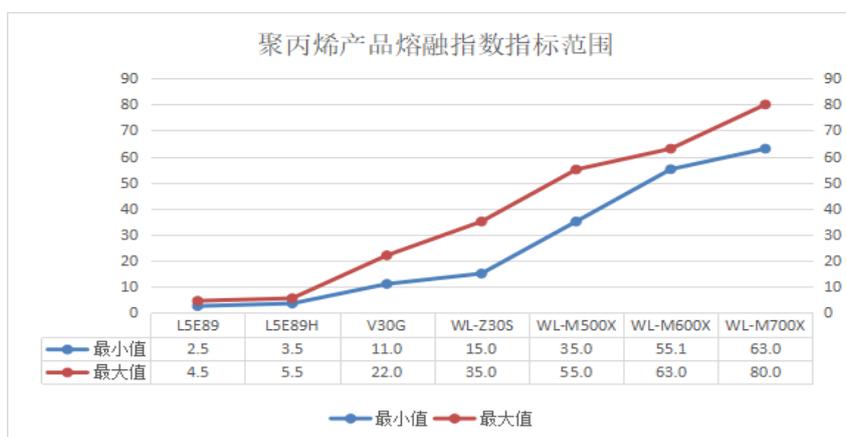


图 1 聚丙烯各牌号熔融指数范围趋势图

表 2 光谱预处理方案表

| 序号 | 预处理方法 |
|----|---|
| A | 原始光谱 |
| B | 多元散射校正 |
| C | 多元散射校正 +Savitzky-Golay 五点二次平滑 |
| D | 多元散射校正 +Savitzky-Golay 五点二次平滑一阶卷积求导 |
| E | 多元散射校正 +Savitzky-Golay 五点二次平滑一阶卷积求导 + 归一化 |
| F | 多元散射校正 +Savitzky-Golay 五点二次平滑二阶卷积求导 |

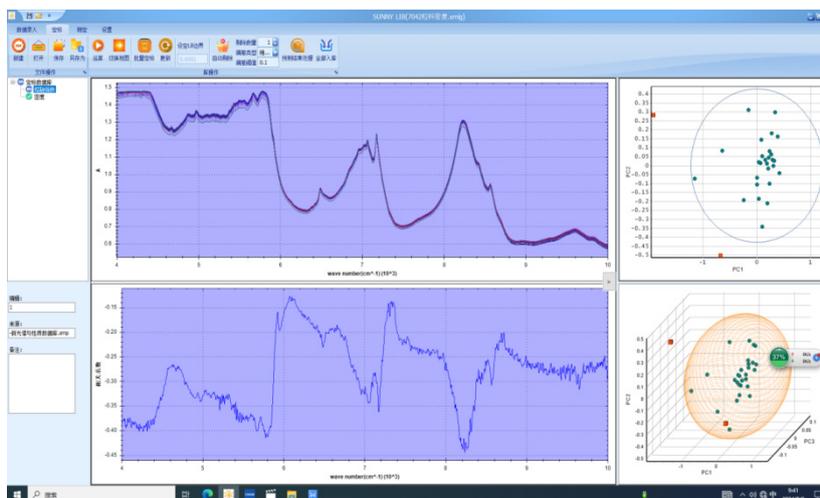


图 2 聚丙烯熔融指数的光谱图和三维 PCA

经过 PCA 计算，图中 2 组红色方块数据超出阈值判定为异常数据予以剔除，剩余收集的数据参与建模。使用该仪器自带化学计量学软件进行数据处理。建模采用最常用的偏最小二乘法，最佳主因子数由交互验证 (Cross Validation) 计算预测残差平方和 (PRESS) 确定。模型性能由校正集相关系数 (RC)、交互验证校正标准偏差 (SECV)

和验证集相关系数 (RP)、预测标准偏差 (SEP) 来评价。其中 RC、RP 越接近 1，SECV、SEP 越接近 0，表明模型性能越好。通过仪器软件得到不同牌号的检测项目的定量模型，从而建立聚烯烃各性能检测的分析方法。

4.3 用标样对该方法进行验证

以聚乙烯 DFDA-7042 标准样品对建立的红外方法进行

验证,采用近红外光谱法测定6组聚乙烯标样的熔融指数标准偏差为0.026g/10min,小于国标法中规定值0.06g/10min,所以该方法符合要求。

表3 聚乙烯 DFDA-7042 标准样品熔融指数验证数据

| 序号 | 聚乙烯标样 (2.07±0.16g/10min) |
|----------------|--------------------------|
| 1 | 2.124 |
| 2 | 2.082 |
| 3 | 2.063 |
| 4 | 2.056 |
| 5 | 2.062 |
| 6 | 2.056 |
| 平均值 (g/10min) | 2.074 |
| 标准偏差 (g/10min) | 0.026 |

4.4 盲样数据比对。

选取 L5E89 产品粒料盲样进行方法数据比对,熔融指数检测结果及数据对比图如下。

表4 聚丙烯 L5E89 盲样熔融指数数据比对

| 序号 | 近红外 (g/10min) | 熔指仪 (g/10min) | 误差 (g/10min) | 相对误差 % |
|-----|---------------|---------------|--------------|--------|
| 1 | 3.35 | 3.23 | -0.12 | 0.91 |
| 2 | 3.44 | 3.39 | -0.05 | 0.37 |
| 3 | 3.38 | 3.33 | -0.05 | 0.37 |
| 4 | 3.27 | 3.30 | 0.03 | -0.23 |
| 5 | 3.34 | 3.24 | -0.10 | 0.76 |
| 6 | 3.43 | 3.32 | -0.11 | 0.81 |
| 7 | 3.52 | 3.45 | -0.07 | 0.50 |
| 8 | 3.43 | 3.37 | -0.06 | 0.44 |
| 平均值 | 3.40 | 3.33 | -0.07 | 0.49 |

选取 DFDA-7042 产品粒料盲样进行方法数据比对,熔融指数检测结果及数据对比图如下。

表5 聚乙烯 DFDA-7042 盲样熔融指数数据比对

| 序号 | 近红外 (g/10min) | 熔指仪 (g/10min) | 误差 (g/10min) | 相对误差 % |
|-----|---------------|---------------|--------------|--------|
| 1 | 2.00 | 1.96 | -0.04 | 0.51 |
| 2 | 2.03 | 1.99 | -0.04 | 0.50 |
| 3 | 1.75 | 1.85 | 0.10 | -1.39 |
| 4 | 1.86 | 1.87 | 0.01 | -0.13 |
| 5 | 2.00 | 1.98 | -0.02 | 0.25 |
| 6 | 2.13 | 2.06 | -0.07 | 0.84 |
| 7 | 2.18 | 2.12 | -0.06 | 0.70 |
| 8 | 2.05 | 2.09 | 0.04 | -0.48 |
| 平均值 | 2.00 | 1.99 | -0.01 | 0.10 |

选取 DFDA-7042 产品粒料盲样进行方法数据比对,密度检测结果及数据对比图如下。

根据以上表述可知,聚丙烯 L5E89 熔融指数近红外测定误差平均值为 -0.07,相对误差平均值为 0.49;聚乙烯

DFDA-7042 熔融指数近红外测定误差平均值为 0.01,相对误差平均值为 0.10,符合该项目的标准检测要求。

表6 聚乙烯 DFDA-7042 盲样密度数据比对

| 序号 | 近红外 (g/cm ³) | 密度仪 (g/cm ³) | 误差 (g/cm ³) | 相对误差 % |
|-----|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------|
| 1 | 0.9209 | 0.9212 | -0.0003 | -0.0081 |
| 2 | 0.9208 | 0.9207 | 0.0001 | 0.0027 |
| 3 | 0.9214 | 0.9213 | 0.0001 | 0.0027 |
| 4 | 0.9214 | 0.9214 | 0.0000 | 0.0000 |
| 5 | 0.9211 | 0.9212 | -0.0001 | -0.0027 |
| 6 | 0.9211 | 0.9211 | 0.0000 | 0.0000 |
| 7 | 0.9210 | 0.9210 | 0.0000 | 0.0000 |
| 8 | 0.9212 | 0.9211 | 0.0001 | 0.0027 |
| 平均值 | 0.9211 | 0.9211 | 0.0000 | -0.0003 |

通过以上阶段的研究和探索,固体颗粒物多性质红外分析仪所建立的快速分析方法,能够快速得出检测结果,保障分析数据快速及时反馈,解决了原有方法分析时间长、分析成本高、耗费人力物力多等劣势,避免了转切牌号过程慢导致过多过渡料的产生,为公司提高了经济效益。

同理,针对聚烯烃产品出厂时的各性能检测,按照以上步骤也能建立定量模型和方法,可以快速检测出厂产品各性能,保障产品质量控制。

5 结论

本文研究固体颗粒物多性质红外分析仪在聚烯烃性能分析中的应用,建立了一种快速测定聚烯烃各性能的分析方法,替代传统分析方法,从而降低分析成本,提高公司效益。固体颗粒物多性质红外分析仪作为一种快速、准确的分析技术,在聚烯烃性能分析中展现出显著优势。

该方法是对传统方法的补充和验证,在工艺切换聚烯烃牌号以及装置生产波动参数调整时,可以较快获得分析数据来验证传统国标法,在实际应用中指导工艺调整具有重要参考。

随着仪器性能的不断提升和分析方法的不断完善,固体颗粒物多性质红外分析仪在聚烯烃生产和研发领域的应用前景将更加广阔。未来,该技术有望在聚烯烃材料的性能优化、新产品开发和质量控制等方面发挥更大作用,推动聚烯烃行业的持续发展。

参考文献

- [1] 苏曼.油品性质近红外建模及模型维护技术研发[D].南京:东南大学,2019.
- [2] 李朵,李佩佩,龙若兰,冯丹,孙菁.建模集选择对近红外光定量检测模型的影响[J].分析试验室,2023,42(1):85.
- [3] 丁震,常博深.面相煤矸石识别的近红外反射光谱数据预处理方法[J].工矿自动化,2021.

Novel Preparation Method of High-purity Flomoxef Acid

Min Lin

Fujian Province FUKANG Pharmaceutical Ltd., Fuzhou, Fujian, 350309, China

Abstract

Objective: To prepare (6R, 7R)-7-(2-difluoromethylsulfanylacetamido)-3-[1-(2-hydroxyethyl)-1H-tetrazol-5-ylsulfanylmethyl]-7-methoxy-8-oxo-5-oxa-1-azabicyclo [4.2.0] oct-2-ene-2-carboxylic acid with high purity. **Methods:** Flomoxef nucleus was used as the starting material to prepare flomoxef acid by five-step synthesis. **Results and conclusion:** The process is simple operation, environment-friendly and suitable for industrial production. The purity of flomoxef acid obtained is above 99.5%.

Keywords

flomoxef acid; flomoxef nucleus; synthesis; crystallization

一种新的高纯度氟氧头孢酸的制备方法

林敏

福建省福抗药业股份有限公司, 中国·福建 福州 350309

摘要

目的: 制备高纯度氟氧头孢酸(6R,7R)-7-(2-二氟甲基硫烷基乙酰氨基)-3-[1-(2-羟乙基)-1H-四唑-5-基硫烷基甲基]-7-甲氧基-8-氧代-5-氧杂-1-氮杂双环[4.2.0]辛-2-烯-2-羧酸。**方法:** 以氟氧头孢母核为起始原料, 通过5步合成制备氟氧头孢酸, 在制备过程中通过萃取结晶方法去除杂质。**结果与结论:** 此工艺操作简单, 环境友好, 适合于工业化生产, 所得氟氧头孢酸纯度达到99.5%以上。

关键词

氟氧头孢酸; 氟氧头孢母核; 合成; 结晶

1 引言

氟氧头孢钠由日本盐野义制药株式会社开发, 氟氧头孢钠是一种广谱的氧头孢烯(氧杂头孢菌素)抗菌药物, 对 β -内酰胺酶十分稳定, 几乎不产生耐药性, 而且肾毒性很低, 对葡萄球菌, 链球菌(肠球菌除外), 肺炎链球菌, 消化链球菌, 卡他球菌, 淋球菌, 大肠杆菌, 克雷白杆菌, 变形杆菌, 流感嗜血杆菌以及拟杆菌等有很好的防治作用。因此氟氧头孢钠的合成具有重要的临床和工业价值。^[1]然而, 我国氧头孢烯类药物开发滞后, 虽然目前国内已有4家医药企业获得了氟氧头孢的生产批文, 但是氟氧头孢的原料药还只能依赖于进口。氟氧头孢于1988年首先在日本上市, 并分别于1992年和1993年在德国和比利时获得注册, 随后在韩国, 荷兰, 菲律宾等国家注册上市。国内专利已于2002年12月到期, 但由于原料药合成难度较大, 步骤比较多, 生产工艺及技术水平要求较高, 目前国内尚无厂家申报。在专利保护期间, 海南省海灵药业作为做氟氧头孢唯一代理商, 以商

品名“氟吗宁”销售, 规格1g/支, 售价185元^[2]。

作为合成氟氧头孢钠的重要中间体, 目前合成氟氧头孢酸的方法主要有以下几种:

①以发酵产物7-氨基-3-氯甲基-氧头孢烯酯类化合物为起始原料的氟氧头孢合成路线^[3]。②以7-苯甲酰胺基-3-氯甲基-氧头孢烯酸二苯甲酯为起始原料的氧头孢酸合成路线^[4]。该路线先引入四氮唑并对其羟基保护, 之后引入甲氧基, 氨基脱保护之后引入二氟甲基硫代乙酰基, 羧基脱保护, 得到产物。初始原料头孢母核保护基团较多, 可能会给产品纯化带来一定困难。③以6-APA为起始原料经过10多步反应合成氟氧头孢酸, 路线虽较长, 但可行性尚可, 只是反应条件较为苛刻^[5]。④起始物料也为氟氧头孢母核, 仅是3位和7位侧链连接顺序做了调整, 并将甲氧基引入方法、四氮唑羟基保护基团脱除方法、二氟硫代乙酰基化合物等做了改进, 收率较高, 是一条良好的工业化工艺。使用硝酸铈铵进行甲醚化、固载青霉素酰化酶PGA-300进行脱苯甲酰基, 具有较大TFA脱去二苯甲基^[6]。

本文采用从氟氧头孢母核为起始原料开始合成是目前公认最优也是工业化较成功的一条路线。这条合成路线首先对氟氧头孢母核进行甲氧基化, 然后在五氯化磷的作用下脱

【作者简介】林敏(1981-), 男, 中国福建诏安人, 硕士, 工程师, 从事药物合成研究与生产工作研究。

苯甲酰保护基, 再和二氟甲基硫代乙酸钾反应在 7 位进行酰化反应, 接着进行 3 位硫化反应, 最后间甲酚的作用下进行脱二苯甲酸保护基, 后处理进行萃取, 结晶得到高纯度的氟氧头孢酸。以此方法制备出来的氟氧头孢酸的纯度达 99.5% 以上, 完全满足制备氟氧头孢钠的要求。

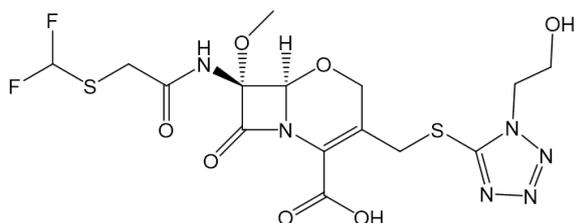


图 1 氟氧头孢酸结构式

由氟氧头孢母核开始制备氟氧头孢酸的合成路线如下:

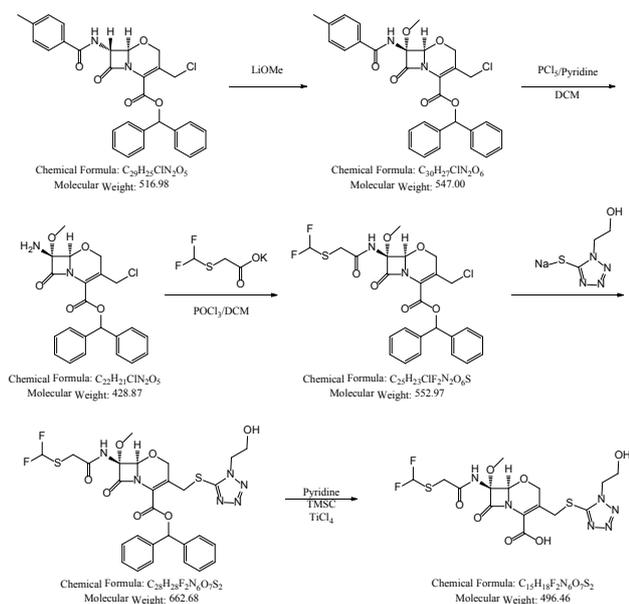


图 2 氟氧头孢酸的合成路线

2 合成方法

2.1 甲氧基化反应 (FS1 制备)

在干净的三口烧瓶中分别投入二氯甲烷 500ml、氟氧头孢母核 40g 搅拌溶解, 控温 -50°C , 加入次氯酸叔丁酯, 在 $-50\sim-60^{\circ}\text{C}$ 反应 20 分钟, 加入 200g10% 甲醇锂溶液, 加

完反应 3 小时, 然后加入醋酸淬灭反应, 用二氯甲烷萃取, 减压浓缩, 用乙醇结晶得白色固体 FS2 中间体 37g, 纯度 95% 以上。

2.2 脱苯甲酰基保护 (FS5 制备)

在干净的三口烧瓶中分别投入二氯甲烷 50ml、12g 五氯化磷和 10g 吡啶, 室温下搅拌溶解, 后加入上步的甲氧基化产物 20g, 室温搅拌 30 分钟后, 冷却至 0°C , 加入 100ml 甲醇, 加完液相检测原料小于 1%。然后加入 300ml10% 的碳酸氢钠水溶液和 200ml 二氯甲烷, 萃取分层, 有机相干燥浓缩待下一步反应。

2.3 7 位甲酰化反应 (FS7 制备)

在干净的三口烧瓶中分别投入二氯甲烷 50ml、10g 二氟甲基硫代乙酸钾和 50g 水, 滴加 10% 盐酸调节 pH 至 1.0, 分层, 有机层用 50g15% 氯化钠洗涤, 5g 硫酸镁干燥 20 分钟, 过滤, 得到二氟甲基硫代乙酸的二氯甲烷溶液。加入 35g 吡啶, 降温至 -20°C , 加入上述浓缩的有机相, 继续加入 16g 三氯氧磷, 加完搅拌 20 分钟后, 液相检测原料反应完全。反应液加入 70ml 水和 50ml 二氯甲烷萃取, 分出有机相待用。

2.4 3 位硫化反应 (FS9 制备)

在干净的三口烧瓶中加入 MTE-Na8g 和 40ml 水, 2gTBAB 和上一步反应液, 室温搅拌均匀后, 加入 30%1g 盐酸, 保温反应 3 小时, 液相检测反应完全后, 静置分层, 有机相干燥浓缩后, 加入甲醇结晶得类白色固体 FS9 中间体 18.3g, 纯度 99% 以上。

2.5 氟氧头孢酸制备 (FS10 制备)

在干净的三口烧瓶中加入 20ml 间甲酚及上一步中间体 10g, 升温至 40°C , 反应 3 小时, 取样检测反应完全后, 加入 20ml 异丁醇, 30ml 乙酸乙酯及 20ml 水进行萃取分层, 有机相浓缩至干后, 加入 30ml 二氯甲烷及 20ml 丙酮进行结晶, 得到氟氧头孢酸 6.5g, 纯度 99.5% 以上。

3 结果

用此方法制备的氟氧头孢酸总重量收率达到 50% 以上, 所得产品纯度 99.8%, 各个单杂均小于 0.1%, 其中 HTT 体 0.03%, DP-N, DP-L, DP-B (RRT0.6), deHTT-dimer, 5R-dimer, 5S-dimer 均小于忽略限, 其他单个杂质 0.08%, 总杂 0.20%, 含量在 101.6%, 具体结果如下见表 1。

表 1 氟氧头孢酸检测结果

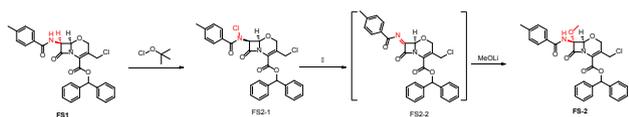
| 样品 | 重量收率 (%) | 含量 (%) | 纯度 (%) | 有关物质 (%) | | | | | | | | |
|----------------------|----------|--------|--------|----------|------|------|-------------|---------|----------|------|------|------|
| | | | | HTT 体 | DP-N | DP-L | deHTT-dimer | 5R-dime | 5S-dimer | DP-B | 其他单杂 | |
| 氟氧头孢酸 (FS10-2303001) | 55 | 101.6 | 99.8 | 0.04 | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | n.a. | 0.08 |

4 工艺开发过程简述

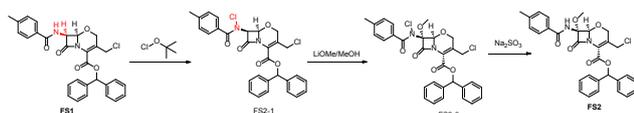
工艺开发过程主要经历两个阶段包括从路线打通到工艺参数优化,开发过程描述如下:

①步骤 1: 通过文献摸索, 将路线打通并推出新的反应机理, 氟氧头孢母核先与次氯酸叔丁酯发生氯代, 之后脱除氯化氢成双键, 再与甲醇锂反应引入甲氧基, 醋酸破坏多余甲醇锂, 次氯酸叔丁酯再次反应引入氯原子, 之后加入亚硫酸钠还原得到 FS2。本反应成功在于次氯酸叔丁酯的含量的确定及合适的投料量, 反应温度和反应速率的控制。

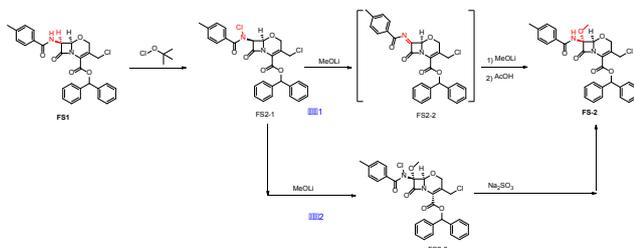
氟氧头孢母核在头孢烯 7- 位碳上引入甲氧基得到 FS2, 文献主要提供了两种方法, 第一种, 硝酸铈铵-甲醇法, 该方法仅有一篇专利报道, 即浙江永宁专利 CN105037393A, 重复该专利实施例 1 及反应温度考察, 无法得到产物。第二种, 甲醇锂法。甲醇锂法需要低温操作, 反应进程推断如下: 氟氧头孢母核先在头孢烯 C-6 位酰胺氮上氯化生成 FS2-1, 再生成酰亚胺活性中间体 FS2-2, 之后与甲醇锂反应生成 FS2, 反应完毕, 后处理加醋酸淬灭, 反应方程式如下:



专利 WO2006006290[10] 对反应进程作了另一番解读: 反应物氯代之后, 与甲醇锂反应生成 FS2-3, 之后用还原剂亚硫酸钠得到 FS2, 反应方程式如下:



由此, 根据文献, 我们初步确定反应路径, 氟氧头孢母核先与次氯酸叔丁酯反应生成中间态 FS2-1, 之后与甲醇锂反应, 可能直接生成 FS2, 也可能生成 FS2-3, 加亚硫酸钠还原得到 FS2, 路线如下:



②步骤 2: 该步骤机理明确, 分三小步, 先氯代, 之后甲酯化, 最后脱除苯甲酸甲酯, 得到 FS5, 各步对 pH 较

敏感。氯代时吡啶量要缚住所有 HCl, 甲酯化时体系中 HCl 促进甲酯化, 加水时体系要保证 pH 6~7, 这样才能顺利得到 FS5。

③步骤 3: 该步骤难度小, FS6 制备成酰氯后与 FS5 顺利形成酰胺得到 FS7。高收率的关键因素为缚酸剂的引入和 FS2 中残留甲醇的控制。

④步骤 4: 该步骤难度小, FS7 与右侧链 FS8 反应顺利合成 FS9, 收率较高。本步骤核心在于提高 FS9 的纯度, 优化各参数均相反应, 减少基因毒杂质形成的条件。

⑤步骤 5: 本步骤脱羧基保护基, 有三氟乙酸法、四氯化钛法和间甲酚法等。三氟乙酸法得到的头孢酸收率和纯度在三者中最低, 四氯化钛法收率和间甲酚法相当, 但头孢酸中的杂质较多, 质量不及间甲酚法。从收率、质量和产品外观综合来看, 间甲酚法是最优的。

⑥工艺确定, 根据小试工艺摸索结合中试经验, 确定的工艺如下: 以氟氧头孢母核为起始原料经甲氧基化、脱氨基保护、接左侧链、接右侧链、脱羧基保护得到氟氧头孢酸。

5 结论

本文所述氟氧头孢酸中间体制备方法中第 2, 3 步未进行结晶处理, 而是采用了有机相直接投料方式, 这样制备出来的氟氧头孢酸收率高, 纯度完全能够满足往下制备氟氧头孢钠的质量要求, 该工艺操作简单, 环境友好, 适合于工业化生产。

参考文献

- [1] 叶天健、陈识峰、陈鑫等. 一种氟氧头孢酸的合成方法: CN, CN105399755A[P]. 2018-05-11.
- [2] 邵波, 氟氧头孢母核的合成[D]. 重庆: 重庆医科大学, 2012.
- [3] DALL'ASTA, LEONE.PROCESS FOR THE PREPARATION OF (1-OXA- OR 1-THIA-)3- CEPHEM DERIVATIVES AND RELATED INTERMEDIATES:WO,WO2007105253A2 [P].2007-09-20.
- [4] TERUJI TSUJI, HISAO SATOH, MASAYUKI NARISADA, et al.SYNTHESIS AND ANTIBACTERIAL ACTIVITY OF 6315-S, A NEW MEMBER OF THE OXACEPHEM ANTIBIOTIC[J]. THE JOURNAL OF ANTIBIOTICS.1984, 38(4): 466-476.
- [5] Yi He, Jian Bo Wu, Fan Lei, et al.Design, synthesis and antibacterial activity of novel 1-oxacephem analogs[J].Chinese Chemical Letters.2012, 23(4): 407-410.
- [6] 叶天健、陈鑫、陈识峰等. 一种氟氧头孢钠的制备方法: CN, CN105399755A[P]. 2017-11-10.

The influence of the content of cis-1,4- structure in isoprene rubber on its mechanical properties

Binbin Zhang¹ Wenjie Hu²

1. Pucheng Shaanxi Coal Technology Research Institute Industrialization Demonstration Industrial Base Co., Ltd., Weinan, Shaanxi, 715599, China

2. Shaanxi Coal and Chemical Technology Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710199, China

Abstract

Isoprene rubber (IR) is widely recognized as the optimal substitute for natural rubber (NR) due to its closest resemblance in microstructure to NR, with mechanical properties serving as the critical determinant for its application scope. The research demonstrates that for IR specimens with cis-1,4-structure content exceeding 94%, this structural parameter emerges as the critical determinant of mechanical performance, with its impact becoming more pronounced at higher concentrations. Notably, when the cis-1,4-structure content surpasses 98%, the performance characteristics of isoprene rubber become comparable to those of No. 5 standard natural rubber (NR), indicating its potential for complete (100%) substitution of natural rubber in practical applications.

Keywords

Isoprene rubber (IR); Natural rubber (NR); Cis-1,4-structure; Mechanical properties

异戊橡胶中顺 1,4- 结构含量对其力学性能的影响

张彬彬¹ 胡文杰²

1. 蒲城陕煤技术研究院工业化示范基地有限公司, 中国·陕西 渭南 715599

2. 陕西煤业化工技术研究院有限责任公司, 中国·陕西 西安 710199

摘要

异戊橡胶因其微观结构与天然橡胶最为相近, 被公认为天然橡胶的最佳替代品, 其力学性能的优劣成为限制其应用范围的核心指标。本文通过对不同规格的异戊橡胶进行综合对比, 研究顺1,4-结构含量对其力学性能的影响。研究表明, 顺1,4-结构含量在94%以上的异戊橡胶, 其顺1,4-结构含量是影响其力学性能的关键因素, 且顺1,4-结构含量越高, 其对力学性能的影响越明显。当顺1,4-结构含量超过98%以上时, 异戊橡胶性能与5号标准天然橡胶性能相当, 可100%替代天然橡胶应用于工业生产。

关键词

异戊橡胶; 天然橡胶; 顺1,4-结构; 力学性能

1 综述

我国受地理位置限制, 天然橡胶年产量不足 100 万吨, 而天然橡胶的年消费量已经突破 600 万吨, 天然橡胶进口依存度超过 80%, 严重威胁我国橡胶战略资源安全^[1]。国产天然橡胶性能也不及泰国、马来西亚、印度尼西亚等国的进口天然橡胶, 进一步影响了我国橡胶行业及其下游延伸制品领域的高质量发展。我国合成橡胶工业的快速发展有效缓解了我国橡胶行业发展困境, 当前合成橡胶总产能已突破 600 万吨, 但也存在低端产品产能过剩, 高端产品依赖进口的现实

问题, 合成橡胶行业整体表现出大而不强的特点^[2,3]。

聚异戊二烯橡胶, 因其微观结构与天然橡胶极为相似, 被公认为天然橡胶的最佳替代品^[4]。我国自 20 世纪 50 年代已经开始了关于异戊橡胶催化剂的研究^[5,6,7], 但直到 2010 年才首次实现工业化^[8,9]。经过五年左右的快速发展期, 我国异戊橡胶产能一度突破 40 万吨/年, 但 2015 年以后, 受天然橡胶价格冲击, 加之国产异戊橡胶性能始终比不上日本、俄罗斯等国的进口异戊橡胶性能, 很多装置停产或选择转产 SIS 等产品。截至 2024 年, 我国异戊橡胶总产能维持在 14.5 万吨/年, 但有部分装置长期处于停车状态, 近五年我国的异戊橡胶生产量约 5 万吨/年。

异戊橡胶的应用领域与天然橡胶基本一致, 主要涉及轮胎、胶管、胶带、鞋材等领域^[10]。力学性能是衡量其可应用领域的关键指标之一, 异戊橡胶的力学性能受顺 1,4-

【作者简介】张彬彬 (1993-), 男, 中国甘肃庆阳人, 硕士, 从事共轭双烯烃催化聚合工艺研究、异戊橡胶性能研究等。

结构(cis-1,4)含量、门尼粘度、凝胶含量等因素的影响,但核心影响因素却鲜有报道。本文认为异戊橡胶力学性能的核心影响因素是 cis-1,4 含量。异戊橡胶的 cis-1,4 含量主要受催化体系、聚合工艺的影响,其中催化体系是决定性因素,因此较难实现单一催化体系下不同 cis-1,4 含量的异戊橡胶性能对比,本文将选取不同规格的异戊橡胶进行综合对比,分析 cis-1,4 含量对其力学性能的影响。

2 实验部分

2.1 原料

1# 异戊橡胶为实验室采用一种新型稀土催化剂自制, 2# 异戊橡胶为日本瑞翁 IR2200 产品, 3# 异戊橡胶为俄罗斯 SKI-3s 产品, 4# 异戊橡胶为抚顺伊科斯 IR70 产品, 5# 天然橡胶为国产 5# 标准胶。

2.2 分析测试方法

2.2.1 凝胶含量的测定

吊网法测聚合物凝胶含量: 将干净的 120 钼镍网在烘箱中烘干冷却, 恒重两次 (W_0); 称取聚合物 250mg (W_p) 溶于 50mL 甲苯中放置 48 小时, 用镍网过滤后用甲苯冲洗三次, 将镍网在真空干燥箱中烘干, 恒重两次 (W_1)。计算凝胶含量: $GC = (W_1 - W_0)100\%/W_p$ 。

2.2.2 胶样 cis-1,4 含量测定

采用 $^1\text{H-NMR}$ 测定胶样的微观结构含量, $^1\text{H-NMR}$ 使用 Bruker Ultra-ShieldTM500MNz 光谱仪测试。取 4~5mg 样品常温下用氘代氯仿溶解配制均相的溶液, 以 TMS 为内标, 室温下测试。

2.2.3 胶样门尼粘度测定

生胶门尼粘度测定参照 GB1232-82, 采用 GT-7OSOSZ 型门尼黏度计测试。门尼黏度采用 $ML_{1+4}(100^\circ\text{C})$, 即试样在 100°C 下, 加热 1 min, 测试 4 min 后的门尼黏度值来表征试样的门尼黏度。

2.2.4 胶样力学性能测定

① 拉伸强度、定伸应力、断裂伸长率。

按 GB/T528-1998 在高铁科技股份有限公司生产的 GT-AI-70005 型电子拉力机上进行, 拉伸速率为 500mm/min。

② 撕裂强度。

采用直角形试样按 GB/T529-1999 在 GT-AI-70005 型电子拉力机上进行, 拉伸速率为 500mm/min。

2.2.5 硫化胶样制备

胶样硫化配方如表 1 所示。

3 结果与讨论

3.1 不同牌号异戊橡胶性能测定

实验选取了 4 种不同牌号的异戊橡胶和 1 种天然橡胶, 分别测试其门尼粘度、凝胶含量、顺,4- 结构含量等基础性能。测试结果如表 2 所示。

表 1 胶样硫化配方

| 原料 | 用量 (质量分数) |
|---------|-----------|
| 生胶 | 100 |
| 硬脂酸 | 2 |
| 氧化锌 | 5 |
| 4010NA | 1 |
| 炭黑 N330 | 35 |
| 硫黄 | 2.25 |
| TBBS | 0.7 |

注: 1-5# 胶样均按照以上配方进行混炼, 尽可能保持炼胶工艺和硫化制样过程一致。

表 2 生胶性能测试

| 胶样编号 | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# |
|------------------------------------|------|--------|--------|------|-------|
| 胶样牌号 | 自制 | IR2200 | SKI-3s | IR70 | 5# 标胶 |
| 生胶门尼 $ML_{1+4}(100^\circ\text{C})$ | 80 | 88 | 74 | 74 | 91 |
| 凝胶含量 (%) | 0.73 | 12.2 | 0.6 | 0.5 | 40.9 |
| cis-1,4 含量 (%) | 98.8 | 98.2 | 97.7 | 94.8 | 98 |

不同牌号的异戊橡胶从 1#-4#, cis-1,4 含量逐渐降低, 2# 凝胶含量达到 12% 以上, 其他胶样均在 1% 以下, 生胶门尼粘度介于 74-88 之间, 5# 为参与对比的 5# 标准天然橡胶。

将不同胶样按统一配方进行混炼、制样, 测试其拉伸强度和撕裂强度, 测试结果如表 3 所示。不同 cis-1,4 含量的异戊橡胶拉伸强度和撕裂强度变化曲线如图 1 所示。

表 3 硫化胶力学性能测试

| 胶样编号 | 1# | 2# | 3# | 4# | 5# |
|-------------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 胶样牌号 | 自制 | IR2200 | SKI-3s | IR70 | 5# 标胶 |
| 拉伸强度 (MPa) | 30.9 | 28.6 | 27.6 | 26.3 | 28.3 |
| 断裂伸长率 (%) | 588.8 | 583 | 617.8 | 621.2 | 517 |
| 撕裂强度 (kN/m) | 70.54 | 59.45 | 58.77 | 45.61 | 74.54 |

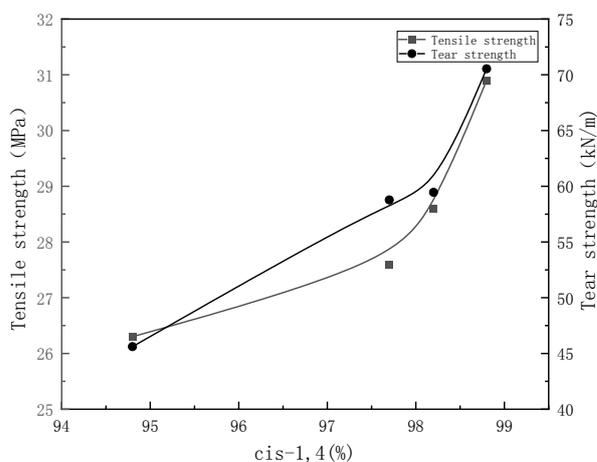


图 1. 拉伸强度 / 撕裂强度随 cis-1,4 含量变化曲线图

从表 3 和图 1 可以发现, 在不考虑凝胶含量和门尼粘度的影响条件下, 随着异戊橡胶中 cis-1,4 含量的提升, 硫

化胶的拉伸强度和撕裂强度均呈现上升趋势。当 cis-1,4 含量 > 98% 以上时, 其拉伸强度超过 5# 标准天然胶, 而撕裂强度低于 5# 标准胶, 推测这主要是天然橡胶独特的自补强特性导致的。从图 1 可以看出, 当 cis-1,4 含量超过 97.5% 时, 拉伸强度和撕裂强度出现急速增高趋势。

3.2 不同门尼粘度异戊橡胶性能测试

表 1 和表 2 中测试了不同牌号的异戊橡胶性能, 因存在门尼粘度不同、凝胶含量高低不同的干扰项, 为了进一步确认异戊橡胶的力学性能是否主要受 cis-1,4 含量的影响, 我们选取了自制的不同门尼粘度的同一种异戊橡胶进行测试, 结果如表 4 所示。门尼粘度对异戊橡胶拉伸强度和撕裂强度的影响趋势如图 2 所示。

表 4 不同门尼粘度的胶样性能测试

| 胶样编号 | 1#-1 | 1#2 | 1#-3 | 1#-4 | 1#-5 |
|-------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 胶样牌号 | 自制 | 自制 | 自制 | 自制 | 自制 |
| 生胶门尼 ML1+4 (100℃) | 60 | 67 | 71 | 80 | 89 |
| 凝胶含量 (%) | 0.65 | 0.50 | 0.54 | 0.73 | 0.84 |
| cis-1,4 含量 (%) | 98.67 | 98.51 | 98.8 | 98.8 | 98.9 |
| 拉伸强度 (MPa) | 29.47 | 29.52 | 29.45 | 30.9 | 30.4 |
| 断裂伸长率 (%) | 614.7 | 612.8 | 594.5 | 588.8 | 565.6 |
| 撕裂强度 (kN/m) | 67.33 | 69.53 | 69.67 | 70.54 | 72.71 |

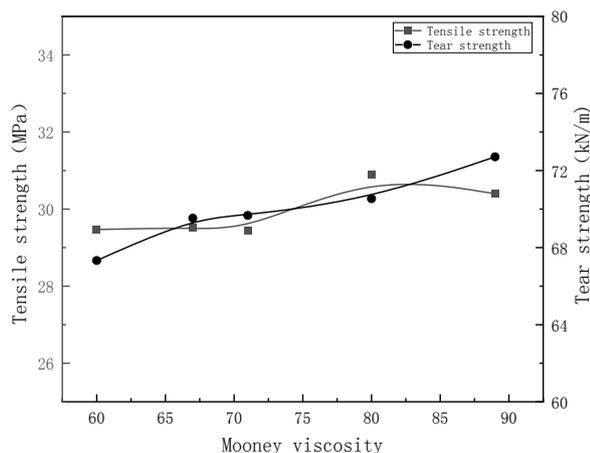


图 2. 门尼粘度对拉伸强度 / 撕裂强度的影响

从表 4 可以看出, 当异戊橡胶的 cis-1,4 含量相对稳定, 凝胶含量 < 1% 时, 在门尼粘度 60-90 的范围内, 不同的门尼粘度对橡胶的拉伸强度、撕裂强度的影响较小。结合图 2 来看, 随着门尼粘度的增高, 拉伸强度基本保持不变, 撕裂

强度增高较为明显, 门尼粘度每增高 5, 撕裂强度平均约增高 1kN/m。而断裂伸长率对门尼粘度的变化较为明显, 随着门尼粘度的增高, 断裂伸长率表现出明显下降趋势, 与表 3 中的测试结果基本吻合。

4 结论

经过对不同 cis-1,4 含量的异戊橡胶进行力学性能测试, 可以得出当异戊橡胶的 cis-1,4 含量 > 94%, 门尼粘度 > 60 时, cis-1,4 含量是影响其力学强度的关键因素。当 cis-1,4 含量 > 98% 时, 其拉伸强度可以超过 5# 标准天然胶。同时验证了当门尼粘度在 60-90 之间, 凝胶含量不超过 12% 时, 二者对异戊橡胶拉伸强度和撕裂强度的影响很小, 基本可以忽略。

由此可以得出, 保证异戊橡胶较高的 cis-1,4 含量是生产出可媲美天然橡胶的高端异戊橡胶的前提, 未来我国的高端异戊橡胶生产, 应该朝着研发空间结构定向能力更强的催化体系, 能够满足聚合更稳定高效、工艺条件更温和的方向继续努力, 助力保障国际橡胶战略资源安全。

参考文献

- [1] 崔小明. 近年我国天然橡胶进出口情况分析[J]. 橡胶科技, 2023, 21(10):473-477.
- [2] 张波, 白雪玉. 我国合成橡胶市场现状及技术进展[J]. 石化技术, 2014, 21(2):6.
- [3] 郑国军. 我国合成橡胶行业发展现状及瓶颈分析[J]. 中国石化, 2022(8):35-36.
- [4] 李泽春, 齐兴国, 项健, 等. 天然橡胶与异戊橡胶支链结构对比分析[J]. 合成橡胶工业, 2024, 47(1):50-52.
- [5] Shen Z, Gong Z Y, Zhong Z Q, Ouyang J. Sci. Sin. (Engl. Transl.) 1964, 13,1339.
- [6] Shen, Z. Progress in coordination polymerization by rare earth catalysts, Inorg.Chim. Acta. 1987, 140, 7.
- [7] 中国科学院长春应化所四室, 稀土催化合成橡胶文集, 北京, 科学出版社, 1980.
- [8] 刘川, 中国石化股份有限公司北京燕山分公司研究院. 世界异戊橡胶生产现状及我国发展前景分析[C]//中国橡胶工业协会. 中国橡胶工业协会, 2010.
- [9] 李金玲, 李树丰, 董长河, 等. 异戊橡胶生产技术研发进展及市场前景展望[J]. 弹性体, 2012, 22(5):80-83.
- [10] 王曙光, 宗成中, 王春英. 顺式-1,4-聚异戊二烯橡胶研究进展[J]. 中国橡胶, 2007, 23(005):37-40.

The importance of chemical analysis in wet desulfurization systems

Jianjun Lu

Taiyuan No.1 Thermal Power Plant, Shanxi Electric Power Co., Ltd. of National Energy Group, Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

In the operation of flue gas desulfurization (FGD) systems, chemical analysis is of great significance. During hot-state commissioning and normal operation, establishing a chemical analysis monitoring program and conducting relevant analyses are crucial for ensuring the system operates well. The objectives include calibrating online instruments to ensure data accuracy; assisting in daily process control and operation to maintain system stability; promptly identifying and analyzing disturbances and issues to reduce fault risks; evaluating and optimizing system performance to enhance desulfurization efficiency; establishing initial characteristic and performance data for subsequent comparative analysis; and monitoring wastewater and by-products to ensure compliance with environmental standards. Chemical

Keywords

wet desulphurization system; chemical analysis; importance

在湿法脱硫系统中化学分析的重要性

路建军

国家能源集团山西电力有限公司太原第一热电厂, 中国 · 山西 太原 030000

摘要

在湿法脱硫 (FGD) 系统运行中, 化学分析意义重大。热态调试及正常运转时, 建立化学分析监测程序并开展相关分析, 是保障系统良好运行的关键。其目的涵盖校验在线仪表, 确保数据精准; 辅助日常工艺控制与运行, 维持系统稳定; 及时确定并分析干扰及问题, 降低故障风险; 评价与优化系统性能, 提升脱硫效率; 建立初始特性与性能数据, 便于后续对比分析; 监测废水和副产品, 保证符合环保标准。化学分析为 FGD 系统稳定、高效、环保运行提供了有力支撑。

关键词

湿法脱硫系统; 化学分析; 重要性

1 FGD 化学分析可分为四类

1.1 运行和控制工艺系统的常规分析

这类分析的主要目的是校验在线运行仪表, 为工艺控制和运行提供快速的反馈, 例如吸收塔 PH 计, 密度计, 料位计, 液位计等。如果使用了增强性能的添加剂, 那么要增加添加剂的浓度。这类分析取决于工艺和参数的变动情况, 一般一天或一周分析数次 [1]。

1.2 监测 FGD 系统性能的日常分析

这类分析监测吸收塔和其他辅助系统如石灰石浆液的制备, 真空脱水机系统等。目的是确定他们是否符合设计性能以及当 fgd 系统性能发生变化或恶化时较早得到提示。例如: 1 固相分析可以确定吸收剂的利用率和亚硫酸根离子的

氧化程度; 2 液相分析可以确定石膏浆液的相对饱和度和几种重要可溶物潜在的结垢情况, 3 可溶性离子如硫酸根离子, 氯离子, 镁离子钙离子的液相分析可以评价液相二氧化硫的吸收能力和潜在的腐蚀情况等 [2]。

监控 FGD 工艺辅助系统的分析例子包括石灰石粒径分布, 脱水机给浆含固量, 滤饼含固量等。准确的分析和分析频率取决于 FGD 系统, 工艺变量和监测的目的, 这类分析的最大特点是在整个 FGD 系统运行寿命里是例行分析, 每天, 2 次每周、一次。

1.3 评价 FGD 工艺性能、说明 FGD 系统工艺特性及进行 FGD 工艺性能优化的分析

这类分析是为了进一步地评价和说明 FGD 系统工艺特性、通常在 FGD 系统启动时和最初的性能测试阶段进行, 它提供了基本的性能和工艺特征信息。这类分析可以帮助确定和解决工艺问题。对 FGD 工艺进行优化, 包括吸收塔浆液, 工艺水、石灰石、石膏副产品、脱硫废水等各种成分的分析 [3]。

【作者简介】路建军 (1975-), 男, 中国山西太原人, 本科, 工程师, 从事除灰脱硫运行优化研究。

1.4 监测废水和副产品是否符合环保要求，分析频率可能是每天、每季度或每年

在FGD系统运行中对吸收剂、各种浆液及石膏成分等进行必要的分析是十分重要的工作，它可以帮助运行人员及时判断FGD系统的运行状态是否正常，找出许多问题如脱硫率下降，管道堵塞，管道磨损等原因，并及时正确地调整各个运行参数，从而使FGD系统在较优的状态下运行，达到设计要求。另外，对石灰石旋流器和石膏旋流器的底流、溢流的含固量做大量分析以校验仪表及调整运行参数。

2 化学分析的作用

在使用FGD系统的早期，化学功能和机械功能经常被分离开，甚至到现在，fgd的化学分析是由实验室人员定期检验pH值和取样分析，很少有人会结合脱硫系统运行现状对化学分析结果详细分析，从而对系统进行针对性的操作[4]。FGD系统的管理人员及运行和检修人员把注意力大部分集中在机械问题上，如清理堵塞的喷嘴、管线及塔壁的结垢，除雾器堵塞，更换、修补腐蚀的箱罐的防腐涂层，泄露的浆液管线。殊不知，化学分析是解决许多严重机械问题的根本，许多严重的机械问题都可以通过化学分析的结果来进行预防，通过调整FGD运行参数，可以解决吸收塔和除雾器结垢、石灰石吸收剂利用率低；脱硫效率低及系统的腐蚀问题。可提高FGD系统可靠性和安全性，并节省运行和检修费用

2023年11月，榆次电厂1号炉脱硫系统石膏浆液密度异常升高，pH值下降到4.5，一开始怀疑石膏旋流器出力不够，加装一台石膏旋流器，密度也降不下来，又更换口径更小的旋流子，效果也不明显，通过抛浆后密度降下来，过两天密度又升高。最高达到 $1204\text{kg}/\text{m}^3$ ，通过对吸收塔浆液化验，发现氯离子达到 $20000\text{mg}/\text{l}$ ，溶液中的 Cl^- 离子具有排斥 HSO_3^- 、 SO_3^- 根离子的作用，从而影响 SO_2 的溶解（物理吸收）和反应（化学吸收）的进行，这样在整个 SO_2 的吸收过程中产生“瓶颈”，从而影响脱硫效率。

2.1 氯对FGD系统的影响

①能引起金属的孔蚀、缝隙腐蚀、应力腐蚀及选择性腐蚀。特别当其浓度富集到一定程度后，会严重影响系统的运行经济性、可靠性和使用寿命。

②抑制吸收塔内物理和化学反应过程，改变吸收浆液的pH值（水解作用），影响 SO_2 吸收的传质过程，降低 SO_2 的去除率。

③脱硫剂的消耗量随氯化物浓度的增高而增大，同时，氯化物抑制吸收剂的溶解。

④氯化物会引起后续石膏脱水困难，导致成品石膏中含水量增大（一般要求石膏含水量 $<10\%$ ）。

⑤吸收浆液中氯化物浓度增高，引起石膏中剩余的脱硫剂 CaCO_3 ，量增大一般要求石膏中过剩 CaCO_3 含量不大

于3%

2.2 吸收塔密度大的原因

一是由于系统采用过滤水制浆，由于脱水机脱水后的过滤水又打回湿式球磨机制浆，这样溶液中的可溶物又随石灰浆液回到吸收塔中，造成吸收塔浆液中可溶物富集，从而使吸收塔密度间接升高。

二是通过对石灰石采样分析，发现镁离子超标严重，同时石料中黄土含量比较大，由于镁盐极易溶于水。

三是脱硫废水系统由于药品不合适，停运半个月，造成废水没有外排。

四是炉除尘器效果不好，有大量粉尘进入吸收塔，使吸收塔浆液中，不溶物增加，同时灰尘中的三氧化二铝会在酸性溶液中溶解，生成铝离子，和浆液中的氟离子发生化学反应，判断浆液中是否有铝离子的快速方法可以取少量吸收塔浆液澄清液，加入适量氢氧化钠溶液，有絮状沉淀出现，再加入过量氢氧化钠溶液，沉淀消失，这时沉淀又溶解，可以判断溶液中有铝离子，同时和除尘运行加强沟通，当电除尘参数不正常时，加强沟通，及时调整运行参数

铝离子和F离子对FGD系统可能发生的最大影响是“氟化铝致盲”现象，即电除尘后飞灰、石灰石粉及工艺水中的氟和铝含量较高时，会在吸收塔浆池内发生复杂的反应，生成氟化铝整合物 AlF_n （n一般在2~4摩尔/L之间）。该络合物吸附在石灰石颗粒表面，极大地阻碍石灰石的溶解和反应，使其化学活性严重降低，导致石灰石调节pH值的能力下降，脱硫率降低，石膏中的残余 CaCO_3 ，含量增加，石膏晶体颗粒粒径变小，并随着液相中F和 Al^+ 离子浓度的增加，负面影响加剧。它们单独存在时对石灰石的活性影响不大，但当它们共存时，较小浓度下活性就急剧下降，因此运行中应尽量降低飞灰含量/适当增大废水排放[5]。

由化学平衡方程计算和实验室的结果表明，当吸收液的pH值控制在5.0以内，液相中 AlF_3 是主要的成分，其次是 AlF 和 AlF_2 ，游离状态存在的F和Al几乎为零，此时没有固态 CaF_2 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 产生；当pH值高于5.0时，液相中 AlF 和 AlF' 等急剧下降几乎全部为固态 CaF_2 和 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 因此，湿法FCD系统可通过提高吸收液pH值来分解 AlF_n ，从而消除其对FGD操作带来的不利影响。

2.3 解决办法

一用透明的量筒取500ML石膏浆液，静置半小时，如果浆液快速沉淀，看有无分层，如果有分层说明浆液品质高，脱水效果好，抽取100ml量筒中的澄清液，用蒸发的方法取得溶液中的可溶物。

通过测试可以得出吸收塔密度虚高的根本原因是一脱硫废水系统停运一段时间浆液中的可溶物富集造成的，可溶物主要包括氯化钙及硫酸镁等，这两种盐极易溶于水，石料中氧化镁含量高。严把石料质量关，使石料中氧化钙含量大于90%，氧化镁含量在脱硫废水系统投运后一段时间后，

吸收塔浆液密度逐渐恢复正常。通过这个教训,在以后得脱硫系统运行中可以有两种应急办法处理 1 由于电厂的过滤水箱来水包括滤布滤饼冲洗水,废水旋流器底流,及脱水机过滤水,溶液中固体含量高,不能直接外排,可以通过从真空皮带机汽水分离器出口管处加装旁路(带阀门),把过滤水不经过过滤水箱直接外排(此处的过滤水中固体含量低),同时用工艺水代替过滤水制浆,这样就可以把系统中的可溶物排出系统。二可以把三分之一的吸收塔浆液用石膏排出泵临时打到事故浆液箱,在事故浆液箱 5 到 5.5 米处安装外排口,当浆液置换到事故浆液箱后,停止搅拌器运行,使浆液进行沉淀,上清液通过外排口排出,然后再补充外排废水相同量的工艺水,通过事故返回泵打回吸收塔。

3 当前湿法脱硫系统中化学分析存在的问题

3.1 分析方法与设备局限性

部分企业采用的化学分析方法较为传统,操作繁琐,分析周期长,无法满足实时监测的需求。例如,一些企业仍使用滴定法测定浆液中碳酸钙含量,该方法耗时长,且受人为操作因素影响较大,分析结果准确性和重复性较差。同时,部分化学分析设备老化、精度不足,难以精确检测微量成分,影响数据的可靠性。

3.2 人员专业素质不足

化学分析工作需要专业的技术人员操作,但目前部分企业从事化学分析的人员专业知识欠缺,对分析方法和设备的操作不熟练,容易出现操作失误,导致分析结果偏差。此外,一些人员缺乏对化学分析数据的综合分析能力,无法从数据中准确判断系统运行状况,不能为系统优化提供有效建议。

3.3 数据管理与应用不充分

企业虽然进行了大量的化学分析工作,但对分析数据的管理和应用不够重视。数据记录不规范、存储分散,缺乏有效的数据整合和分析平台,导致数据利用率低。无法通过对历史数据的分析总结系统运行规律,难以实现对系统的预测性维护和优化调控。

4 优化湿法脱硫系统中化学分析的策略

4.1 改进分析方法与设备

传统化学分析方法与陈旧设备已难以满足湿法脱硫系统高效运行需求,改进分析方法与设备迫在眉睫。在分析方法上,应积极引入先进的仪器分析技术,替代耗时且误差大的传统化学分析法。例如,用离子色谱法替代滴定法测定脱

硫废水中的阴离子浓度,不仅分析速度大幅提升,还能同时测定多种离子,显著提高分析效率与准确性;采用 X 射线荧光光谱法(XRF)快速测定石灰石粉中碳酸钙及杂质含量,可在短时间内获取全面成分信息,为原料品质把控提供即时数据支持;设备方面,大力推广在线分析仪器的应用。在吸收塔系统安装在线 pH 计、氧化还原电位(ORP)仪,实时监测浆液酸碱度与氧化还原状态,及时调整运行参数;配置激光粒度分析仪,在线监测石灰石粉和石膏晶体的粒度分布,优化浆液制备与石膏脱水工艺。此外,引入傅里叶变换红外光谱仪(FTIR)、质谱仪等高端分析设备,实现对痕量物质和复杂成分的精准检测,助力深入研究脱硫过程中的化学反应机理。同时,建立设备定期维护与校准机制,利用物联网技术对设备运行状态进行远程监控,确保分析设备稳定可靠运行,为湿法脱硫系统的精准调控与优化运行筑牢技术根基。

4.2 加强人员培训与管理

加强对化学分析人员的专业培训,定期组织理论知识和实操技能培训,提高人员的专业素质和操作水平。培训内容包括化学分析原理、仪器操作、数据处理等方面。建立完善的考核机制,对分析人员进行定期考核,确保其能够熟练掌握分析技能,准确完成分析工作。同时,鼓励员工参加行业交流活动,学习先进的分析技术和经验。

4.3 完善数据管理与应用体系

建立化学分析数据管理平台,对数据进行集中存储、管理和分析。规范数据记录格式,确保数据的完整性和准确性。利用大数据分析技术,对历史数据进行深度挖掘,分析系统运行规律,建立数学模型,实现对系统运行状态的预测和优化。例如,通过分析不同工况下的化学分析数据,建立脱硫效率与各参数之间的关系模型,为系统运行参数的调整提供科学依据。

参考文献

- [1] 王玉蝶.燃煤电厂湿法脱硫系统中痕量元素的迁移分布规律及环境效应[D].安徽:中国科学技术大学,2023.
- [2] 李乃霞,韩飞,刘翠甜.钙基脱硫灰在石灰石-石膏湿法脱硫系统中的应用[J].烧结球团,2024,49(1):113-118.
- [3] 徐贤.燃煤电厂湿法脱硫系统在线离线协同运行优化研究[D].华北电力大学,华北电力大学(保定),2022.
- [4] 张锦航,乔宗良,司凤琪,等.火电厂湿法烟气脱硫系统特性分析及故障仿真[J].发电设备,2022,36(5):322-327.
- [5] 杨志忠,吕丽丹,孔晓玲,等.高硫煤烟气湿法脱硫氧化空气风机设计技术经济分析[J].东方电气评论,2023,37(2):61-66.

Research on optimization of chemical process and energy saving and emission reduction based on green chemistry concept

Liangliang Yang

Shanxi Linxin Coal Coking Co., Ltd., Linfen, Shanxi, 042509, China

Abstract

Green chemistry is a crucial field for achieving sustainable development, aiming to reduce or eliminate the negative environmental impacts of chemical processes to promote environmental protection and resource conservation. As industrialization advances, the chemical industry has become one of the primary sources of global energy consumption and pollution emissions. How to ensure production efficiency while reducing energy consumption and pollution emissions has become a critical issue that the chemical industry urgently needs to address. Research on process optimization and energy conservation in chemical engineering based on the principles of green chemistry not only helps promote the sustainable development of the chemical industry but also holds significant importance for achieving global energy conservation and emission reduction goals. This paper starts from the basic principles of green chemistry, discusses energy-saving and emission reduction strategies in chemical processes, and analyzes practical cases of improving energy efficiency and reducing emissions through process optimization, catalyst development, and resource recycling. The research results show that the introduction of green chemistry concepts effectively promotes the green transformation and sustainable development of the chemical industry.

Keywords

green chemistry; chemical process; energy saving and emission reduction; sustainable development; process optimization

基于绿色化学理念的化工工艺优化与节能减排研究

杨亮亮

山西瀚鑫煤焦化有限责任公司, 中国 · 山西 临汾 042509

摘要

绿色化学是实现可持续发展的重要领域,旨在减少或消除化学过程中对环境的负面影响来促进环保和资源节约。随着工业化进程的不断推进,化学工业成为全球能源消耗和污染排放的主要来源之一,如何在保证生产效率的同时降低能源消耗和污染排放,已经成为化工行业亟待解决的关键问题。基于绿色化学理念的化工工艺优化与节能减排研究,不仅有助于推动化工行业的可持续发展,也对全球节能减排目标的实现具有重要意义。本文从绿色化学的基本原则出发,探讨了化工工艺中的节能减排策略,分析了通过工艺优化、催化剂开发、资源循环利用等手段实现能效提升和排放降低的实际案例。研究表明,绿色化学理念的引入有效推动化学工业的绿色转型和可持续发展。

关键词

绿色化学; 化工工艺; 节能减排; 可持续发展; 工艺优化

1 引言

随着全球工业化进程的加快,化工行业在推动社会经济发展的同时,也对环境和能源资源造成了巨大压力。化学工业不仅是能源消耗的主要领域,也是废水、废气和固体废弃物排放的主要来源之一。根据国际能源署(IEA)的数据显示,化学工业的能源消耗占全球能源需求的约 10%,而且排放的温室气体占全球排放总量的约 5%。因此,如何在

保证生产效率的前提下,降低能源消耗和减少污染排放,成为化学行业在可持续发展道路上面临的重大挑战。

绿色化学作为一项新的科学理念,旨在通过设计更加环保的化学工艺,减少或消除生产过程中有害物质的使用和排放,降低能源消耗,推动化学产业的绿色转型。绿色化学的基本原则包括:设计更加高效的化学反应、使用可再生资源、减少废物产生、改进催化剂的选择和使用等。绿色化学不仅关注生产过程中的节能减排问题,还关注资源的合理利用和废弃物的回收再利用。

在这种背景下,基于绿色化学理念的化工工艺优化与节能减排研究变得尤为重要。通过优化化工工艺、提高催化

【作者简介】杨亮亮(1987-),男,中国山西临汾人,本科,工程师,从事化工工艺研究。

反应效率、加强资源的循环利用,能够有效地减少能源消耗、减少污染排放,并实现经济效益与环境效益的双赢。本文将结合绿色化学理念,探讨在化工工艺优化过程中如何通过节能减排措施实现资源的可持续利用,进一步推动化工行业的绿色发展。

2 绿色化学理念概述

2.1 绿色化学的基本原则

绿色化学是一种通过化学方法减少或消除对环境有害的物质使用和排放的科学理念。绿色化学的基本原则包括以下几个方面:

预防废物的产生:在化学反应过程中尽可能减少废物的生成,而非事后处理。这意味着要设计更为高效的反应路径,避免不必要的副反应和不完全反应,从源头上减少废弃物的产生。

减少使用有毒物质:通过选择无毒或低毒的原料,减少对环境和人类健康的负面影响。例如,选择无害的溶剂和催化剂替代传统的有毒化学品,以降低生产过程中的环境污染。

能源效率:通过优化反应条件和工艺参数,减少化学反应过程中的能量消耗。例如,采用低温、低压条件下的催化反应,以减少能源需求。

使用可再生资源:选择可再生的原料代替不可再生资源,促进资源的循环利用和可持续发展。生物质原料、废弃物资源等可再生资源的应用,能够减少对石油、煤等有限资源的依赖。

绿色催化剂的应用:催化剂的选择和优化是绿色化学中的重要内容,使用高效、选择性强的催化剂能够显著提高反应效率,减少副产品的产生,降低能源消耗。

2.2 绿色化学在化工工艺中的应用

绿色化学理念的应用促进了化工工艺的优化,推动了化工行业在实现可持续发展目标方面的重要进展。随着环境问题日益严峻,绿色化学技术的应用成为化工企业降低环境负担和提高工艺性能的有效手段。通过将绿色化学理念融入化学工艺中,化工企业不仅能提高生产效率,还能在降低能源消耗的同时减少污染物排放和资源浪费。例如,在现代煤化工、石油化工、制药、塑料生产等行业,绿色化学通过改进生产工艺、优化反应条件等方式,帮助企业实现了节能减排和环境保护的目标。在这些行业中,绿色化学的应用不仅限于减少有害排放,还注重原料的绿色替代、反应条件的优化以及废弃物的回收再利用,从而减少资源消耗、降低环境污染,并推动了资源的循环利用。

在化学反应的选择性和效率方面,绿色化学的一个核心目标是优化反应条件,确保反应的高效性与环保性。绿色化学强调通过提高反应的选择性来减少副产品的产生,从而降低废气、废水等有害排放。例如,在有机合成过程中,绿

色化学鼓励采用温和的反应条件和无害的催化剂,以实现高转化率和高产率,同时减少不必要的废物排放。这种高效选择性的反应方式不仅减少了对环境的负面影响,还降低了生产中的能量和物料消耗,提升了整体的工艺效率。此外,绿色化学也着重发展新的催化材料和催化剂系统,以替代传统的重金属催化剂,进一步减少对环境的污染,增强工艺的绿色性和经济性。通过采用这些绿色催化剂,化学反应不仅能在更温和的条件下进行,而且催化剂的可再生性和高选择性使得资源的利用更加高效。

通过采用绿色化学理念,化工行业的能源利用率得到了显著提高,同时在减少废物和有害气体排放方面也取得了良好的效果。这种改变不仅符合环保要求,也为化工企业带来了显著的经济效益。随着绿色化学的不断发展和技术的创新,化工企业可以通过优化生产过程、提高资源利用率来降低生产成本,提高市场竞争力。同时,绿色化学有助于企业在遵守环境法规的同时,降低因污染治理所带来的额外支出,提升企业的整体利润。此外,绿色化学理念的推广也为行业的长远发展奠定了基础,推动了产业向更高效、低碳、环保的方向转型。因此,绿色化学不仅促进了环保和资源节约,还在提升企业竞争力、优化产业结构方面发挥了重要作用。

3 化工工艺优化与节能减排措施

3.1 化工反应过程的优化

化工工艺中的反应过程优化主要包括反应温度、压力、催化剂选择以及反应时间等方面的调整。绿色化学的目标是在保证反应效果的前提下,尽可能降低能源消耗和减少副产品的产生,从而减少对环境的负面影响。在传统化工过程中,很多反应需要在高温高压的条件下进行,这不仅消耗大量能源,还可能产生一些对环境有害的副产品。因此,绿色化学倡导通过优化反应条件,采用低温、常温或者温和条件下的反应方法来降低能源消耗。通过合理选择反应温度和压力,反应速率可以在保持高效反应的同时降低能量消耗。[1]

在催化剂的应用方面,催化剂在化工反应中的作用不可忽视。绿色化学强调开发高效、选择性强、环境友好的催化剂。例如,催化剂的选择不仅要考虑其催化效果,还要确保其环保性和可再生性。开发水相催化反应、可再生催化剂等,可以有效降低能耗并提高反应效率。催化剂的高性能能够减少原料的浪费,提升反应的经济效益和环境效益。此外,催化剂的再生与循环使用也能减少废弃物的产生,提升反应过程的资源利用率,这不仅优化了化工生产的成本,也减少了生产过程中所需的资源消耗。

另外,通过优化反应路径,选择更为高效的反应机制,也能减少副产品的生成,降低废气和废水的排放。绿色化学通过设计更为环保的反应路径,能够在确保反应效率的同时,减少对环境的污染。例如,利用新的反应体系,既能够提高

目标产物的产率,又能够减少不必要的副反应,从源头上减少废弃物的排放。这些优化措施将有助于化工行业实现更高效的生产模式,同时符合绿色化学的可持续发展要求。[2]

3.2 废弃物处理与资源回收利用

废弃物的处理和资源回收利用是实现节能减排的关键措施之一。在化工生产中,废弃物通常占用了大量的资源和能源,因此,提高废弃物的利用率、降低废弃物排放对环境的影响是非常重要的。绿色化学通过技术创新,使废弃物得到有效回收与再利用,最大限度地减少资源浪费。

废弃物的资源化利用是绿色化学中的重要组成部分。通过对工业废气、废水和固体废弃物的处理,能够将其转化为有价值的资源。例如,将废气经过净化处理后回收,再用作原料或能源进行再利用,不仅减少了环境污染,还能有效降低生产成本。绿色化学的废物管理理念要求不将废弃物视为无用的垃圾,而是通过先进技术使其转化为可用的资源,促进资源的循环利用,减少对自然资源的消耗。

在绿色化学中,绿色溶剂的使用也是废弃物处理与资源回收的重要方面。传统溶剂大多数为挥发性有机物(VOCs),在使用过程中会挥发成有害气体,危害环境和人体健康。绿色化学推崇使用水基溶剂、超临界流体等绿色溶剂,这些溶剂不仅环保,而且具有较强的回收再利用能力。通过使用绿色溶剂,可以减少对环境的负担,同时提高溶剂的使用效率,降低溶剂的消耗。[3]

废热的回收和利用是另一项重要的节能技术。在化工生产过程中,经常会产生大量废热,绿色化学倡导废热回收和利用,减少能源浪费。通过优化设备与工艺,废热可以被有效地回收并用于供热、发电等领域,实现能源的循环利用。例如,废热可以通过热交换器将其转化为有用的能量,用于加热其他反应过程,降低生产所需的外部能源输入,从而提高整个系统的能源利用效率。

3.3 能效提升与节能技术的应用

在化工行业中,节能减排的核心目标是通过提升能源使用效率,减少能源浪费,从而降低生产过程中的能源消耗和温室气体排放。绿色化学通过采用先进的节能技术和设备,来提高化工工艺的能效,从而降低生产成本并减少对环境的负面影响。通过能效提升,化工企业可以在确保生产质量的同时,降低对资源的消耗,提高经济效益。

高效热交换技术是提高化工工艺能效的有效手段之一。在化工生产过程中,热交换通常是一个高能耗环节。通过采

用高效热交换技术,可以显著提高热能的回收利用率,从而减少对外部能源的需求。例如,采用复合式热交换器、增强传热表面等技术,可以有效提高热交换效率,减少热能的浪费。这不仅有助于节约能源,还能够减少温室气体的排放,符合绿色化学的环保目标。

此外,绿色化学还提倡使用低能耗设备,如高效压缩机、低功耗泵等,来降低设备运行过程中能源消耗。低能耗设备的使用能够在确保设备性能和生产效率的前提下,最大限度地减少能源的浪费。通过设备的优化和升级,可以显著提高整个生产过程的能源利用效率。

过程集成与优化也是节能技术的核心内容。通过对化工过程的集成与优化设计,能够减少多次能源传递和转换过程,进一步提高整体能源利用效率。例如,通过热集成技术,将不同工艺阶段的热能进行合理匹配和利用,降低能源的总消耗。通过对流程的优化和合理配置,能够实现不同能源形式的高效利用,减少能源的浪费,同时降低运行成本。集成与优化不仅有助于提高生产效率,还能减少生产过程中的温室气体排放,达到节能减排的目标。[4]

4 结语

基于绿色化学理念的化工工艺优化与节能减排研究为化工行业的可持续发展提供了切实可行的路径。通过优化化工反应过程、加强废弃物回收和资源利用、提升能效等手段,能够显著减少能源消耗、降低排放,并提高资源利用率。绿色化学不仅推动了化学工艺的技术创新,还为应对全球环境问题提供了重要的解决方案。随着技术的不断进步,绿色化学理念将进一步推动化工行业的绿色转型,实现经济效益与环境效益的双赢。在未来的发展过程中,绿色化学将为化工行业带来更加环保、高效的生产模式,为全球环境保护和可持续发展做出更大的贡献。

参考文献

- [1] 梁丽宁.绿色技术经济与企业的可持续发展[J].南京化工大学学报(哲学社会科学版),2001(03):61-64.
- [2] 梁诚.为氯碱行业节能减排、发展循环经济献策[J].中国石油和化工经济分析,2007(19):31-38.
- [3] 盖志广.环保理念下化工工艺中的节能措施研究[J].民营科技,2014(04):48.
- [4] 芮国芬.化工工艺中所涉及的常见节能降耗技术的相关对策研究分析[J].化工管理,2015(06):207-208.

Study and optimization of heavy metal content detection method in chemical products

Zhenzhen Cao Xinyu Shi

Zibo Institute of Inspection, Testing and Metrology, Zibo, Shandong, 255060, China

Abstract

In the quality control of chemical products and environmental safety supervision, heavy metal content detection technology holds a significant position. Although traditional detection methods have a certain application foundation, they are limited in sensitivity, accuracy, and operational efficiency, making it difficult to fully meet the complex sample analysis requirements. This paper focuses on the current development status of heavy metal detection technology, delving into the application performance and technical points of atomic absorption spectroscopy, inductively coupled plasma emission spectroscopy, and X-ray fluorescence spectroscopy. It emphasizes research progress in key areas such as pretreatment optimization, interference control, parameter adjustment, and automation integration. The paper proposes standardized and modular optimization strategies for testing methods targeting various types of chemical products, aiming to enhance the reliability and engineering adaptability of test results, and to promote the development of testing systems towards higher efficiency, standardization, and intelligence.

Keywords

heavy metal detection; chemical products; spectroscopic analysis; method optimization; standardization

化工产品中重金属含量检测方法的研究与优化

曹臻臻 史新宇

淄博市检验检测计量研究总院, 中国·山东 淄博 255060

摘要

在化工产品质量控制与环境安全监管中, 重金属含量检测技术具有重要地位。传统检测方法虽具备一定应用基础, 但在灵敏度、准确性、操作效率等方面存在局限, 难以全面满足复杂样品分析需求。本文围绕重金属检测技术的发展现状, 深入剖析原子吸收光谱法、电感耦合等离子体发射光谱法与X射线荧光光谱法的应用性能与技术要点, 重点探讨前处理优化、干扰控制、参数调节及自动化集成等关键环节的研究进展, 提出面向多类型化工产品的检测方法标准化与模块化优化策略, 以期提升检测结果的可靠性和工程适应性, 推动检测体系向高效、规范、智能方向发展。

关键词

重金属检测; 化工产品; 光谱分析; 方法优化; 标准化

1 引言

化工行业在生产过程中普遍涉及多种重金属元素的引入与转化, 部分重金属具有毒性强、生物累积性高、迁移能力强等特征, 其含量控制直接关系到产品安全性、环保指标及下游应用合规性。因而, 精准高效的重金属检测方法不仅是行业监管的重要技术支撑, 也构成绿色制造与清洁生产体系的核心环节。当前主流的检测方法如原子吸收光谱法、电感耦合等离子体发射光谱法及X射线荧光光谱法等虽在实验室环境下成熟稳定, 但在实际应用中仍面临复杂基体干扰、痕量元素识别能力不足、设备操作要求高等难点问题。针对这些技术瓶颈, 亟需从样品前处理流程、仪器参数优化、

数据分析系统等多个层面进行系统研究, 构建科学、规范、适应性强的检测优化路径, 为化工产品的质量控制与环保评价提供坚实保障。

2 重金属检测的基本原理与分类

重金属元素在化工产品中表现出较强的化学稳定性、挥发性及复杂的络合行为, 易与有机基团或其他无机离子结合形成多种形态, 导致检测过程复杂度增加。部分重金属如铅、镉、汞等对人体和生态系统具有明显毒性, 其含量即使微量亦需严格监控。在化工生产过程中, 这些元素可能以杂质、催化剂残留或副产物形式存在, 其定量检测对保障产品质量具有决定性作用。检测过程需兼顾灵敏度、选择性与稳定性, 适应多组分、复杂基质背景下的分析需求, 对样品前处理、方法灵敏度、抗干扰能力及仪器适配性提出高要求, 促使检测方法不断向高精度、高通量与多元素同步分析方向

【作者简介】曹臻臻(1982-), 女, 中国山东淄博人, 本科, 高级工程师, 从事化工检验研究。

发展。电感耦合等离子体法适应元素范围广,具备多元素同时测定能力。X射线荧光法适合无损检测及固体样品分析。以上方法各具优劣,其适用范围取决于样品形态、元素浓度、背景基体及所需灵敏度,在实际应用中往往需结合样品特征与检测目标进行合理选择与搭配。

3 当前主流重金属检测方法分析

3.1 原子吸收光谱法的应用特点与局限性

原子吸收光谱法基于重金属元素对特定波长光的吸收特性,通过测量吸收强度与浓度之间的线性关系进行定量分析,在测定铅、镉、铜等元素中具有良好的准确性和重复性。该方法检测限普遍在 0.001mg/L 至 0.01mg/L 之间,适用于痕量分析和单元素精确定量。火焰原子化系统适合检测范围在 0.1mg/L 至 10mg/L 的中高浓度样品,而石墨炉原子化系统可将灵敏度提高至 0.0005mg/L。该法操作简便,设备成本低,适用于常规实验室环境。局限性在于无法实现多元素同时检测,通量受限,对样品基体有较高要求。在复杂化工基体中,背景干扰信号可使误差扩大至 10% 以上,需要增加背景校正模块进行干扰补偿。此外仪器自动化程度较低,不利于高通量连续检测流程。面对多组分快速测定需求,原子吸收光谱法在效率与功能上存在一定技术瓶颈。

3.2 电感耦合等离子体发射光谱法的性能剖析

电感耦合等离子体发射光谱法采用高频电场激发氩气形成等离子体,将样品中金属元素激发至高能态,分析其发射谱线强度以实现多元素同步定量,适用于几乎所有重金属元素,检出限可达 0.0001mg/L,精密度在 2% 以内。该方法具有极高的灵敏度与动态线性范围,最高可覆盖从 0.0001mg/L 至 100mg/L 的检测区间,尤其适用于高通量样品筛查任务。ICP-OES 系统支持一次检测 20 种以上元素,显著提升检测效率,在检测周期小于 10 分钟条件下实现大批量样本处理。设备集成化程度高,配套自动进样系统与光谱数据库,可完成自动定标与干扰识别。技术限制在于仪器结构复杂,维护成本高,运行氩气消耗达 15L/min,对实验室气源与电源要求较高,部分强酸基体样品处理不当可能引发等离子体不稳定。尽管如此,该方法在工业质量控制与环境监测中仍为主力技术手段。

3.3 X 射线荧光光谱法的技术机制与适用场景

X 射线荧光光谱法以激发样品中重金属元素产生特征荧光信号为基础,通过测量荧光强度判断元素含量,广泛应用于固体、粉末及部分液体样品的快速无损检测。该法检测下限通常在 1mg/kg 至 10mg/kg,适合中高浓度快速筛查,对样品形态适应性强,分析速度小于 5 分钟。台式与手持式 XRF 设备均支持无前处理直读,适用于生产现场、仓储环节及质量抽检。多元素同步扫描能力可覆盖 20 种以上金属元素,具有良好重现性与稳定性。该法无需化学试剂,避免二次污染,操作成本低,但对轻元素如钠、镁等响应不敏感,

检测误差可达 20% 以上。复杂有机基体及样品表面不均一性可能引起散射信号干扰,影响定量准确性。在需要高通量快速判别和无损测试的场景下,X 射线荧光光谱法具有显著优势,但在精密痕量分析和复杂基质识别中需与其他方法联合使用以提高检测可靠性。

4 检测技术的灵敏度与干扰控制研究

4.1 样品前处理技术的改进路径

化工产品中重金属检测的准确性在很大程度上取决于样品前处理效率与纯化效果。酸消解法在重金属释放方面仍是主流技术,通过硝酸、盐酸与过氧化氢复配可实现对 95% 以上金属元素的完全溶解。微波消解系统在处理 100mL 样品时可将消解时间控制在 30 分钟内,并将残留率降低至 2% 以下。在含油、有机类复杂化工样品中,酶促降解与有机溶剂辅助破乳技术可提升分离效率 20%。固液分离过程中,采用超滤膜孔径控制在 0.45 μm 范围内能够显著减少粒径干扰。在金属形态分析前,螯合剂预处理可将自由离子与配位络合物区分开来,提高 ICP 检测选择性。自动化进样系统结合程序控温模块,在保持处理温度在 180 $^{\circ}\text{C}$ 、压力控制在 30bar 条件下可有效提升酸解效率并抑制过氧化副反应。在优化前处理路径的同时,需要控制酸耗、样品损耗与污染源风险以提高整体处理效率与环境友好性。

4.2 基体干扰的识别机制与抑制策略

重金属检测中基体干扰主要表现为共存离子的光谱重叠、化学抑制与信号吸收等效应,可能造成测量误差超过 30%。ICP 检测中,钠、钾等碱金属离子浓度超过 100mg/L 时会抑制锌、铬的信号发射,需采用内标法进行校正。背景扣除算法可通过测定空白样品基线变化,对信号偏移进行校准,误差控制精度可达 $\pm 2\%$ 。在原子吸收光谱法中,使用氘灯背景校正技术可有效抑制分子吸收干扰,信噪比提升 30% 以上。化学抑制剂如 EDTA、三乙醇胺等可在样品中形成稳定络合物,阻止共存金属离子的共沉淀干扰。在 X 射线荧光法中,通过激发强度归一化处理、多点校准及标准样本响应调节技术可将基体效应误差由 15% 降至 5%。采用标准加入法进行定量可有效消除基体复杂度带来的波动问题,适用于多种高盐、有机质和粘稠物质样本。

4.3 痕量检测中的灵敏度增强手段

为提高痕量重金属元素的检测灵敏度,需从样品富集、信号放大及仪器调校多个层面进行技术干预。在原子吸收光谱分析中,采用石墨炉进样系统比火焰系统提高灵敏度 10 倍以上,最低检出限可达 0.0001mg/L。通过固相萃取富集步骤将目标金属富集倍数提升至 100 倍,在浓缩体积控制在 5mL 以内条件下可有效抑制背景噪声。ICP 系统中增加氩气辅助通道将等离子体稳定性维持在温度 7000K 范围内,有助于提升弱发射信号强度并降低漂移误差。应用信号积分扩展算法对弱信号进行时域积累处理,可提升检测灵敏度约

40%。采用同步多波长检测策略提高分辨率，精度提升幅度达15%。使用标准化曲线进行双重校准配合自动漂移修正程序，可以在低浓度条件下稳定输出数据。引入高灵敏度探测器如电荷耦合器件可将信号放大倍率扩展至1000倍，为超痕量元素分析提供数据保障。

5 检测设备参数与操作流程优化

5.1 仪器参数调节对检测准确度的影响

检测设备运行过程中各项参数的设置对分析结果具有直接影响。光谱仪器中，波长设定误差超过0.2nm会导致信号偏移与背景干扰显著上升。火焰原子吸收系统中，空气与乙炔比例调节至13:1时可获得最佳燃烧稳定性，火焰温度可维持在2300℃，提高金属原子化效率。石墨炉升温程序中控温速率若超过200℃/s，易造成样品喷溅损失，建议设定为150℃/s以内以保障完整性。ICP系统中，射频功率设定为1200W至1500W之间时，等离子体激发效率最佳。喷雾器进样速率控制在1mL/min以内可减小基体效应。在X射线荧光系统中，高压管电压设定为50kV，电流维持1mA可实现最佳激发效果。优化仪器参数可将检测误差压缩在5%以内，有效增强数据的稳定性和可重复性。

5.2 自动化控制系统在检测流程中的嵌入式改良

自动化控制系统的嵌入有助于提升检测效率与数据一致性，在多样品并行处理与过程稳定性方面表现突出。采用程序设定控制消解、进样、清洗与检测过程，可实现一次性处理40个以上样本，平均单样本处理时间缩短至7分钟。在ICP检测系统中，自动进样器与多通道切换阀结合可支持连续分析，不间断运行时间可达10小时以上。石墨炉中引入PID温控算法使加热曲线与设定程序高度吻合，升温偏差控制在±2℃。自动背景扣除与光强自适应功能可实时调整检测通道灵敏度，提升信噪比。XRF系统配置电动样品转台后可避免单点照射误差，提高取样均匀性。检测流程中的操作一致性可显著提高数据的重现性与可追溯性，为复杂样本的标准化分析提供有力支撑。

5.3 数据采集与分析软件的协同优化方案

数据采集与分析软件在检测流程中承担着信号解析、

谱图拟合与定量运算的关键角色，优化其协同能力可有效提升整体工作效率。光谱数据采集系统应具备实时多通道监测功能，采样频率应控制在1Hz至10Hz之间，以获取稳定信号并减少漂移。引入自动基线拟合与峰识别算法可将人工操作误差压缩至1%以内。数据分析平台支持标准曲线自动拟合、背景扣除、灵敏度校准与漂移补偿模块，可在3秒内完成全流程计算输出。软件系统与仪器运行控制实现数据链路互通后，可将异常信号反馈至进样系统进行排查重测，实现闭环控制。在ICP系统中，配备数据库比对功能后可将识别正确率从85%提高至97%以上。通过可视化界面与参数实时调节模块，用户可快速识别问题点并进行修正，增强系统适应性与扩展能力。

6 结语

重金属含量检测在化工产品质量管控与安全评估体系中占据关键地位，检测技术的进步直接关系到行业标准的执行效果与环境风险防控能力。通过对原理机制、仪器性能、前处理方式、干扰控制路径及自动化运维系统的系统性优化，能够有效提升检测灵敏度与准确度，降低误差水平与人为干预比例。不同检测方法在应用场景与数据需求上的互补性，为建立多维度、高通量、智能化的检测系统提供了现实基础。面向未来，检测方法标准化与模块化路径将不断推进，实现从单一元素定量向复杂体系识别的转变，为化工行业绿色高效发展提供更强的技术支撑与质量保障。

参考文献

- [1] 王莹莹.微波消解—原子吸收光谱法在化工废水重金属离子检测中的应用[J].纯碱工业,2025(02):27-29.
- [2] 姚京裕,李玉锋,徐久盛,杨宁宁.化工废水中重金属离子检测与去除技术研究[J].中国轮胎资源综合利用,2025(03):112-114.
- [3] 胡芬静,裘金燕,宋立玲.化工产品重金属含量光谱快速检测方法的优化研究[J].化工设计通讯,2025,51(01):84-86.
- [4] 邓江华.化工园区土壤环境监测中有害重金属残留的检测[J].山西化工,2024,44(12):204-205+239.
- [5] 廖颖敏,宋道冲,黄晓佳.磁性萃取材料在重金属检测及形态分析中的应用进展[J].分析化学,2024,52(10):1379-1389.

Reasons and preventive measures for chemical safety production accidents

Jianxun Su

China Special Logistics Intelligent Emergency Monitoring Platform Co., Ltd., Fushun, Liaoning, 113000, China

Abstract

Chemical production safety accidents are frequent and highly hazardous, becoming a critical factor that constrains the sustainable development of the industry. Accidents often stem from multiple factors such as equipment aging, operational errors, and institutional deficiencies. In high-temperature, high-pressure, flammable, and explosive working environments, even minor hazards can lead to catastrophic consequences. This paper systematically analyzes typical accident causes and delves into the intrinsic mechanisms of accident formation from three aspects: technology, management, and emergency response. Based on this analysis, it proposes practical

Keywords

chemical production; accident cause; safety management; risk control; emergency prevention

化工安全生产事故发生的原因及防范措施

苏建勋

中资特种物流智慧应急监测平台有限公司, 中国·辽宁 抚顺 113000

摘要

化工安全生产事故频发性高、危害性强,已成为制约行业可持续发展的关键因素。事故发生往往源于设备老化、操作失误、制度缺陷等多重因素交织,在高温、高压、易燃、易爆的作业环境中,任何微小隐患都可能引发灾难性后果。本文基于典型事故诱因的系统性分析,从技术、管理与应急三方面深入探讨事故成因的内在机制,并在此基础上提出具有可操作性的防范对策。研究指出,推动本质安全设计、完善风险管控机制、强化员工培训与应急响应,是降低事故发生率的有效路径。通过对事故诱因链的解析与干预点的定位,可为化工企业建立更具韧性的安全管理体系提供理论依据与实践支撑,切实提升行业本质安全水平。

关键词

化工生产; 事故诱因; 安全管理; 风险控制; 应急防范

1 引言

化工行业作为国民经济的支柱性产业,涉及种类繁多的危险化学品,其生产环节普遍伴随高温高压、易燃易爆、有毒有害等复杂条件,安全生产问题尤为突出。近年来,尽管国家不断加强安全监管,行业规范持续完善,化工安全事故仍时有发生,造成人员伤亡与重大财产损失,暴露出当前安全管理体系在制度落实、风险识别与应急响应等方面的深层次问题。事故发生往往非单一因素导致,而是设备缺陷、操作失误、监管盲点等多因素耦合的结果,体现出强烈的系统性与不可预测性。在此背景下,研究化工安全事故发生的内在成因,探讨系统化、前瞻性的防控机制,对于优化行业结构、提升本质安全水平、实现高质量发展具有重要现实意义与长远价值。

【作者简介】苏建勋(1985-),男,中国山东济宁人,硕士,工程师,从事安全生产技术研究。

2 化工企业安全生产的基本特征

2.1 生产工艺的高危性与系统复杂性

化工生产涉及多种连续或间歇反应过程,通常伴随高温、高压及剧烈放热现象,稍有控制不当便可能引发严重安全事故。工艺流程普遍具有长链条、高集成、强耦合等特点,多个环节之间呈现出显著的相互依赖性,一处环节的异常可能迅速扩散至整个系统,引起连锁反应。在实际运行中,工艺控制不仅依赖设备运行状态,还需高度依靠操作人员的规范执行与实时监控系统的协调配合。由于过程变量多、物料性质复杂,加之控制手段的局限,使得整个系统存在一定的不确定性与风险隐蔽性,难以实现完全的自动感知与自适应调节,造成事故隐患呈现隐蔽、突发和动态变化等特征,进一步加剧安全管理难度。

2.2 原材料与产品的易燃易爆性

化工原料多为有机溶剂、气体或粉体,具备较低的闪点与爆炸极限,在空气中易形成可燃混合物,一旦遇明火、

电火花或高温热源即可能迅速引发燃烧爆炸。部分反应中间产物具有极高的不稳定性，遇水、遇氧或剧烈摩擦也可导致分解、自燃等现象。成品中不少为氧化剂、还原剂或催化剂，其本身亦具备极强反应活性，不仅对储存和运输环境有严苛要求，还需全过程动态监测其状态变化。在实际应用中，一些材料由于气体扩散性强或液体渗透性高，更易穿透容器缝隙或系统接头引发泄漏，形成爆炸性气氛。在原材料多样化与产线复合化背景下，反应物的不稳定性与相互作用的不确定性，使整个作业场景始终处于高风险暴露之中，增加安全保障的系统负担。

3 化工安全事故的常见诱因分析

3.1 设备老化与维护不到位

化工设备长期处于高温、高压、腐蚀、磨损等复杂工况下运行，其结构强度和密封性能易随着时间推移而劣化。反应釜、储罐、管道及阀门等关键部件的老化不仅降低使用寿命，更严重威胁系统完整性。在部分企业中，由于成本控制或维护意识薄弱，设备定检周期延长、维修记录不完整、替换标准不明确，导致故障隐患未能及时发现和处理。当密封圈老化、法兰螺栓松动、压力表失灵等情况叠加时，极易发生介质泄漏、设备爆裂等恶性事故。若设备运行时未配置高效监控系统，缺少温压报警与自动停机机制，一旦关键参数偏离将难以及时干预。缺乏规范化的维修制度与检修技术支持，使得设备问题在日常运行中被不断累积，形成隐患堆积的高压状态，事故发生的概率显著增加。

3.2 操作规程执行不严与员工违规作业

化工生产对操作规范性要求极高，一旦员工偏离操作规程即可能触发系统失控。部分企业在实际生产中存在操作流程简化、标准不统一、执行随意性强的问题，作业人员对设备工况判断不足，对异常处置经验缺乏，常以经验代替制度，致使操作行为风险频发。新员工未接受系统培训即上岗、岗位交接未做到位、特殊工种证照不全等情况并不少见，在连续值守或突发事件下，操作失误率明显上升。部分环节如添加物料、清洗设备、启停工序等未配套视频监控与双人核查机制，使得违规行为难以识别与预防。企业文化中若对安全不予重视，考核中以效率优先、忽视操作过程的规范性，容易形成“习惯性违章”的集体行为偏差，导致系统性违规积聚，事故潜势显著增强。

3.3 危险品储运与处置管理缺失

化工企业普遍涉及各类危险化学品的采购、储存、运输与废弃处理环节，其管理复杂程度与事故敏感性不容低估。在原料接收与成品出库过程中，若缺乏清晰标识与分类储存机制，极易出现异类物料混放、化学反应触发等风险。仓储环境温湿控制不达标、消防设施不健全、危化品堆码不规范，是导致自燃、爆炸、泄漏事故的重要诱因。运输过程中若未采用专用容器、专人押运、路线备案等合规措施，则易因颠簸、碰撞或高温引发车载化学品泄漏或燃爆。废液、废气、废渣等危险废弃物若未按环保标准分类处理，非法倾

倒或长时间堆存亦可能引发次生灾害。在全生命周期管理中若缺少动态台账、实时追踪与闭环控制机制，危险品管理失控将成为事故频发的源头。

4 管理层面导致事故的深层原因

4.1 安全管理制度不健全或执行力不足

化工企业在制度层面若缺乏完整的安全管理体系，往往表现为制度覆盖范围不足、层级责任模糊、具体要求缺乏可操作性，致使日常管理 with 现场执行出现断层。即使部分企业已建立较为全面的制度体系，但在执行过程中由于内部监管松散、考核体系不严，导致制度流于形式，不能形成真正的行为约束。管理层对安全重视程度不够，未将安全绩效纳入经营决策和员工激励体系，造成一线员工对制度要求的遵从度低，形成“制度挂墙上，行为靠经验”的现象。在变更管理、特殊作业、工艺调整等关键环节，若未能严格落实制度规定，则极易出现程序简化、信息误传或审批缺失等问题，进而引发系统性失误与风险叠加。安全管理缺乏闭环思维与持续改进意识，使制度的实际防控能力长期处于低效状态。

4.2 风险评估体系缺失与隐患排查不彻底

有效的风险识别与动态评估体系是化工企业预防事故的核心工具，但许多单位在实际运行中对此缺乏系统化建设。一方面，风险评估常以年度或季度为单位开展，频次不足，手段单一，难以捕捉到生产过程中实时变化带来的新风险。另一方面，隐患排查多依赖人工巡视和纸质记录，缺少智能辅助与数据分析支持，造成识别能力低、记录不全、整改流于表面。在交叉作业、高空作业、有限空间作业等高风险场景中，风险点未细化、警示不到位、监控手段缺失等问题普遍存在，形成隐患暴露而未被控制的状态。部分企业在隐患整改过程中缺乏追踪闭环与责任落实，整改流于走形式、打“补丁”，反复出现同类问题，降低员工对风险管理的信任度。系统性评估工具缺失、技术支撑滞后与组织机制不完善共同削弱了风险控制能力。

4.3 应急预案编制形式化与演练机制薄弱

化工事故突发性强、波及范围广，对应急响应的及时性与专业性要求极高，但不少企业在应急管理体系建设中仍存在明显短板。预案编制过程中常采用模板式照搬或泛泛而谈，缺乏与实际装置、物料性质、作业场景的具体匹配，导致预案在实战中难以指导有效处置。预案体系内部条块分割严重，通信、指挥、疏散、抢险、医疗等环节缺少联动机制，导致一旦发生事故，现场指挥调度混乱，应急资源调配滞后，错失最佳处置时机。在应急演练方面，多以演示型或检查应付式开展，缺乏真实情境与压力测试，演练结果未能纳入绩效评估与能力提升体系，使演练流于表演，不能反映实际响应能力。部分企业在多班组、夜间或假期值守期间未制定专项应急响应方案，进一步削弱预案的覆盖力与实用性，难以有效应对复杂突发情形，图1为化工安全事故发生的原因剖析图。

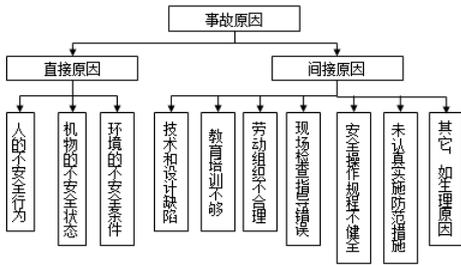


图1 化工安全事故发生的原因剖析图

5 化工安全事故的系统防范与控制策略

5.1 强化本质安全设计与自动化控制应用

在化工安全管理中推动本质安全设计是实现源头风险控制的关键途径。通过对工艺流程进行固有安全性评价，在装置设计阶段即规避使用高毒性、高爆炸性、高腐蚀性的原材料，并替代为反应活性更稳定的替代物，可有效降低系统整体风险水平。在设备布局方面，合理划分功能区域，优化管道走向与阀门布置，避免交叉作业与连带失效的风险传播路径，提升区域独立性与隔离能力。强化自动化控制系统建设，全面引入分散控制系统（DCS）、安全仪表系统（SIS）和实时监控平台，通过数字化手段对关键参数如温度、压力、液位、流速进行动态监测与预警分析。将工艺控制、报警连锁与自动停机装置有机融合，构建具备冗余容错与自诊断能力的智能控制平台，能够在突发情况下迅速做出响应，打破以往对人工依赖的被动防控模式，提升事故防范的实时性和有效性。

5.2 构建全过程的安全培训与监督机制

化工生产涉及多个岗位与工种，人员的安全意识与操作能力直接关系事故发生概率，因此必须构建贯穿全生命周期的培训与监督体系。对新员工、转岗人员和外协作业人员开展入职前集中培训和岗位技能考核，强化其对装置原理、作业风险、应急操作的掌握程度，确保每一位人员具备合格上岗资质。在日常运行中实施分级分岗的差异化培训策略，根据岗位风险等级设置不同的培训周期和考核内容，实现持续赋能与能力动态更新。通过模拟仿真系统对关键工艺和突发事件进行情景演练，使员工在非实操状态下获得实战经验，提高面对突变的判断与应对能力。在监督方面，建立内部安全巡查制度，设立专职安全员负责现场行为监管与隐患纠偏，同时依托视频监控、电子签到、工艺数据回放等工具，增强对操作行为的全过程记录与追溯能力，将培训与监督有机联动，推动安全行为固化为习惯。

5.3 建立多层级响应的应急联动体系与处置流程

面对化工事故的突发性与复杂性，需构建覆盖厂内、园区及区域联动的多层级应急响应体系，确保各类事故能够在最短时间内得到有效控制与处置。企业应根据自身风险清单制定对应的专项应急预案，将火灾爆炸、有毒气体泄漏、高处坠落等风险纳入情景库并细化处置流程，涵盖报警机制、组织响应、资源调配、疏散引导、后期评估等关键环节。构建扁平化应急指挥体系，设立多部门协同的应急指挥中心，明确指挥链条、响应等级与人员职责，确保突发事件处

理的协调高效。应急资源应包括充足的防护器材、灭火器材、应急药品与疏散工具，并定期检修、登记造册，形成动态台账管理。推动与政府部门、园区单位、周边企业的联动机制建设，开展区域协同演练与应急资源共建共享，增强外部支援能力。通过信息化平台实时汇集监控数据与报警信号，实现响应动作的智能触发与自动协同，提高整体事故应对效率，图2为化工企业安全生产事故灾难应急预案流程图。

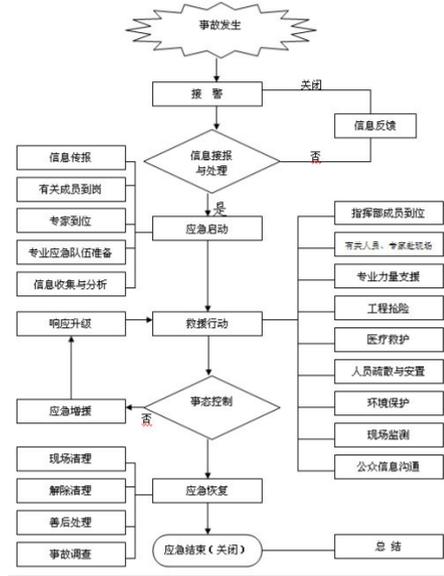


图2 化工企业安全生产事故灾难应急预案流程图

6 结语

化工安全生产事故的预防不仅关乎企业经济效益，更直接关系从业人员生命安全与社会公共安全。事故的发生往往是管理疏漏与技术短板交织作用的结果，暴露出传统安全体系在多维场景下的脆弱性。构建高效的安全保障体系，需要在源头设计、操作规范、风险识别与应急响应等各环节形成闭环联动，通过制度刚性约束与技术柔性渗透共同驱动治理效能提升。推动管理理念升级、加强全员培训意识、完善智能化监控平台，是提升行业安全韧性的现实路径。只有将安全作为贯穿全流程的核心要素，才能真正构筑起系统稳定、响应及时、运行可控的化工安全防线，实现可持续发展的目标。

参考文献

- [1] 段品卉.化工安全生产事故发生的原因及防范措施[J].大众标准化,2025(06):91-93.
- [2] 树成洋.化工安全生产事故原因分析及预防措施[J].化工时刊,2024,38(02):36-39.
- [3] 马鑫.基于HFACS模型的化工企业安全生产事故致因因素研究[D].导师:刘金发.曲阜师范大学,2024.
- [4] 王长宇.化工安全设计在预防化工事故发生中的重要性[J].化工设计通讯,2022,48(06):155-157.
- [5] 魏鲁东.化工安全生产事故原因及处理研究[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(11):56-58.

Analysis of safety management strategy of chemical process based on intrinsic safety theory

Longlong Shan¹ Qingyan Wang²

1. Shandong Jinxin Security Technology Service Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257092, China

2. Dongying Xintang Electronic Technology Co., Ltd., Dongying, Shandong, 257091, China

Abstract

Strengthening safety management and improving its effectiveness in the production and operation of chemical enterprises is essential. The intrinsic safety theory can guide the optimization of safety management strategies for chemical processes, enhancing the quality of such management. This article focuses on this topic, primarily discussing three aspects: principles of chemical process safety management based on intrinsic safety theory, elements of chemical process safety management under intrinsic safety theory, and strategies for chemical process safety management under intrinsic safety theory. It is hoped that this will provide a reference for relevant personnel, enabling them to make scientific adjustments to safety management strategies, better ensuring production safety and preventing accidents.

Keywords

essential safety; chemical enterprise; safety management; implementation path

基于本质安全理论的化工过程安全管理策略剖析

单龙龙¹ 王青燕²

1. 山东金信安全技术服务有限公司, 中国·山东 东营 257092

2. 东营欣邦电子科技有限公司, 中国·山东 东营 257091

摘要

在化工企业生产运营的过程中加强安全管理、提高安全管理效能是十分必要的,而本质安全理论则可以为化工过程安全管理策略的优化指明方向,提升化工过程安全管理质量。本篇文章也将目光集中于此,主要从基于本质安全理论的化工过程安全管理原则、本质安全理论下化工过程安全管理要素及本质安全管理安全理论下化工过程安全管理策略三个方面展开论述,希望可以为相关工作人员提供参考,对安全管理策略作出科学调整,更好地保障生产安全,避免安全事故的出现。

关键词

本质安全; 化工企业; 安全管理; 落实路径

1 引言

化工生产因生产原料、技术等多重因素的影响存在的风险隐患相对较多,加强化工过程的安全管理可以更好地规避安全事故带来的人员伤亡和财产损失,而本质安全理论则可以为化工过程安全管理提供更多的借鉴和参考,保证化工过程安全管理的时效性,可依据本质安全理论确定化工过程安全管理原则、要素,最后制定具体策略。

2 基于本质安全理论化工过程安全管理原则

所谓的本质安全是指在企业安全管理中应以从根源上

消除、减少危险有害因素为目标,降低对于外部防护和人为干预的依赖性,最大程度地消除安全隐患。在本质安全理论下化工过程安全管理应遵循如下几条原则:

首先,应遵循源头控制原则,所谓的源头控制是指在化工过程安全管理的过程中应当通过工艺、设备、材料的有效优化和调整更好地消除或代替危险物质,避免在工业化工过程生产过程中过于依赖安全阀、灭火器、警示标识等相应被动防护措施,从源头上减少安全风险和安全隐患。

其次,在本质安全理论下化工过程安全管理应遵循系统性原则,从化工生产运营的全过程出发,明确各个环节可能存在的安全风险,分析安全风险的规避方式和安全化工过程安全管理落实路径,避免因要素遗漏导致安全管理实际效能与预期目标存在较大差距。

最后,本质安全理论下化工过程安全管理应当遵循与时俱进原则,借助数字孪生技术、自动化控制技术等相应现

【作者简介】单龙龙(1992-),男,中国山东东营人,本科,中级注册安全工程师,从事化工生产的安全管理和本质安全化的化工生产技术研究。

代化技术进一步提高化工过程安全管理质量和效能。

3 本质安全理论下化工过程安全管理要素分析

为更好地贯彻系统性原则、源头控制原则等相应的基本原则,提高化工过程安全管理效能,在化工过程安全管理工作的过程中相关工作人员应抓住如下几个关键要素做好要素协调,如图1所示。



图1 本质安全理论下化工过程安全管理要素分析

首先,应当抓住人员因素,工作人员始终是化工生产的最终落脚点,工作人员的素养能力、观念意识对于化工过程安全会起到至关重要的影响,若相关工作人员对于化工生产技术了解不足、素养能力不达标或相关工作人员在实践工作落实的过程中工作态度不够端正都很容易会导致安全风险的出现。因此在化工过程安全管理应紧抓人员因素分析如何通过人员管理为化工过程安全提供人才支持,可紧抓观念教育、技能培训、工作规范等相应关键要件调整人员管理侧重点。

其次,应关注设备因素,化工企业的生产规模在不断扩大,为提高生产效率,很多化工企业也引入了大量的先进仪器设备,这些先进仪器设备在提高化工生产效率的同时也埋下了安全隐患,若设施设备选择不当、设计不科学或安装维护工作落实不到位、操作不当都很有可能会影响化工生产安全。尤其是在化工生产中部分设备需要在高温高压等极端环境作业,若不做好设备控制和管理,则很容易会带来较大的人员伤亡和财产损失。因此需要从设备设计选型、安装、维护、操作等多个维度来明确设备管理要点,提高设备管理效能。

再次,应关注技术因素,技术因素对于化工过程安全也会起到至关重要的影响。在化工生产的过程中可能会涉及化学反应等相应的操作内容,技术危险性较高,为此,一方面需通过技术筛选和危险性分析来明确不同生产工艺的生产安全性,提前做好风险摸排,尽可能保障技术自身的安全性。另外一方面需确保生产技术应用规范性,避免因生产技术操作不当出现生产安全事故。此外,在技术分析和工艺分析的过程中分析对象不仅包含工作人员,也需考量机械设备控制问题,分析控制系统是否完善,响应能力是否达标。

最后,需关注环境因素。一方面生产环境与化工生产需求是否适配对于化工生产安全以及生产效率和质量会起到较大的影响。另外一方面在化工生产的过程中很有可能会

因生产工艺、生产原料等多重因素的影响引发生态污染,因此在环境因素分析和考量的过程中应当从化工生产对生态环境的影响出发,判断环境保护控制策略和控制重点,提高环境管理能力和效果^[1]。

4 本质安全理论在化工过程安全管理中的应用

4.1 加强人才管理

作为生产工作执行者,工作人员的素养能力、观念意识对于化工过程安全管理效能及安全事故出现概率都会产生较大的影响,因此加强人员管理和人才建设是十分必要的,而在人才管理建设的过程中应抓住如下几个关键点。首先,必须加强意识建设和观念引导,这是人才建设与管理重中之重。一方面可通过加强氛围建设和制度建设帮助相关工作人员更好地明确化工过程安全管理的重要性及在化工生产各环节可能存在的风险和隐患,并通过列举事例帮助相关工作人员明确化工安全的重要性与影响,使生产安全成为深入人心的基本工作原则。

其次,在人才建设的过程中应当通过系统化培训的方法帮助相关工作人员掌握化工生产工艺,了解在不同环节中应当注意的问题,以提高从业人员专业素养和技术能力为中心优化人才培养内容,避免因相关工作人员素养能力不足导致安全事故频发。同时在培训的过程中可通过培训内容的丰富和延伸引入国内外最新的研究成果和生产技术,帮助相关工作人员了解最新的化工生产技巧、安全管理方法理论进而强化专业素养。

再次,可通过责任机制划分及明确工作规范约束工作行为,尤其是在基层生产人员和安全管理工作人员的工作责任划分中必须确保责任划分精确清晰,配合监督机制提高规章制度执行效率,进而保障各项工作落实的规范性,加强行为管理,保障生产安全。

最后,在人才建设中应当紧抓安全应急处理能力这一关键点,这就需要安全管理工作提前做好风险摸排和风险分析,明确在化工生产过程中可能存在的安全隐患及不同安全隐患所带的所产生的影响,对风险进行分级分类处理。在此基础上紧抓重点风险和关键风险调整化工过程管理策略。并通过培训工作的有效落实帮助相关工作人员更好地明确不同风险的构成原因及遇到特定风险时的应急策略,在提高相关工作人员风险规避能力的同时也提升相关工作人员的风险应对能力,配合定期演练最大化地降低各类风险出现时给相关工作人员带来的人身威胁和对于企业产生的财产威胁。

4.2 加强设备管理

在设备管理中需抓住如下几个关键点,首先需紧抓设备设计这一关键点加强设计管理。本质安全理论强调从本源上减少风险问题,而设备设计对于生产效率和生产安全会起到至关重要的影响。在设备设计的过程中应紧抓装置材

料、结构、耐压耐温性能和极端条件下工作稳定性等多个关键点分析设施设备存在的设计缺陷和安全隐患，对设施设备进行评估和分析，结合企业生产环境生产需求判断设施设备是否满足需要，是否需要作出调整^[2]。

其次，安装管理，设备安装不规范也很会影响设备的正常运转，继而增加安全事故出现的概率，埋下较多的安全隐患，在安装管理的过程中化工企业应聘请专业的设备安装工作人员，严格按照设备安装规范和安装要求落实设备安装工作，在安装结束以后还需落实质量验收工作，及时发现安装问题，确保安装质量。

最后，在设备安装结束以后应加强设备运维管理，化工企业可以结合企业生产规模建设设施设备维修保养部门，聘请专业工作人员落实设施设备运维管理工作，还可借助物联网技术等相应现代化技术辅助设备管理，实时收集设备的运行信息，了解设备的运转情况，并制定设备维修规划，定期定向开展设置设备检修维护工作，确保设置设备始终处于最佳运行状态。在此基础之上维修部门工作人员可定期举办设备操作培训，帮助操作人员明确不同设备的操作要点，避免因设备操作不当引发安全问题。

4.3 工艺管理

在化工过程安全管理中需通过工艺安全评估及管理保障生产安全。在评估工作落实的过程中需分析可能引发危险和安全事故的因素及不同工艺危险所带来的影响，在此基础上确定操作程序、操作标准和应急预案，为风险预防、事故控制提供更多的帮助。在工艺安全评估中安全管理人员需注意工艺安全评估的频次调整，定期复审，结合设施设备检修维护信息及物联网显示的设备运行信息来不断地调整评估内容，确定评估重点，实现动态评估，根据评估结果调整管理方案，并适当优化机械系统，例如引入自动安全关断系

统、报警系统、压力释放系统、防泄漏系统等规避安全事故^[3]。

在工艺安全评估后需加强作业现场工艺管理，规范操作人员工作行为，在该环节可通过安全部门、生产部门、维修部门、工程部门通力合作来提高现场工艺管理效果。

4.4 环境管理

首先，需紧抓原料使用及能源利用两大关键点加强环境控制，避免在化工生产引发环境污染问题，在能源及材料调整中可引入绿色材料和绿色工艺以及清洁能源，减少污染物的排放。

其次，可借助传感器技术等相应现代化技术收集实时数据，更好地了解化工生产的现场状态，配合自动报警系统及人工智能技术、专家系统提高风险响应能力，实现作业环境管理自动化、智能化建设。

最后，需建立完善的废物处理系统，提升化工废水、废气、废渣处理能力，确保处理后的排放物符合相应的排放标准和排放要求。

5 结语

本质安全理论在化工过程安全管理中有效应用可更好地提高安全管理效能和管理质量，应引起关注和重视，相关工作人员可紧抓人员因素、设备因素、工艺因素、环境因素四大关键重点结合化工企业实际情况明确化工过程管理要点，提高管理质量和管理效能。

参考文献

- [1] 郑宗娟,刘凯利. 本质安全理论支持下的化工过程安全管理分析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2024, 44 (17): 76-78.
- [2] 酒江波,刘尚志,鞠松霖,等. 基于本质安全理论的化工过程安全管理研究[J]. 安全与环境工程, 2023, 30 (05): 11-18.
- [3] 北京联合普肯工程技术股份有限公司. 危险化学品企业过程安全管理实务[M]. 化学工业出版社: 202008. 217.

Study on the necessity and countermeasures of constructing safety risk control system in chemical enterprises

Fei Jin

Jiangsu Suopu New Material Technology Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

Abstract

The chemical industry is a high-risk sector, involving numerous flammable, explosive, toxic, and harmful chemicals in its production processes. The procedures are complex, and the operation of equipment has stringent requirements. Any minor oversight can lead to major safety incidents, causing severe casualties and environmental pollution. In recent years, although the state has continuously increased its regulatory efforts on chemical safety, the frequent occurrence of accidents has not been effectively curbed. This clearly highlights significant shortcomings in the construction of safety risk management systems within enterprises. This paper delves into the practical necessity of building a safety risk management system for chemical enterprises, identifies existing issues, and proposes targeted improvement measures. These efforts aim to help companies establish a safety management system that aligns with industry characteristics and development needs, thereby genuinely enhancing overall safety levels.

Keywords

chemical industry; safety risk; control system

化工企业安全风险管控体系的构建必要性与对策研究

金飞

江苏索普新材料科技有限公司, 中国·江苏·镇江 212000

摘要

化工企业属于高危行业, 其生产过程中会涉及诸多易燃、易爆、有毒以及有害的化学物质, 并且工艺流程繁杂, 设备运行有着较高要求, 只要稍有不慎就可能引发重大安全事故, 造成严重的人员伤亡以及环境污染。近些年来, 虽说国家持续加大了对化工安全的监管力度, 然而事故频繁发生的态势依旧没能得到有效的遏制, 这充分暴露出企业在安全风险管控体系建设方面存在着十分突出的短板。本文围绕化工企业安全风险管控体系构建的现实必要性来展开深入分析, 结合当前所存在的问题, 提出有针对性的改进对策, 以此帮助企业构建契合行业特性以及发展需要的安全管理体系, 切实提高整体安全水平。

关键词

化工企业; 安全风险; 管控体系

1 引言

化工企业安全风险管控体系把风险预防当作核心内容, 依靠全员、全过程以及全方位的管理机制来提供支撑, 强化源头控制、过程管控以及末端治理之间的协调联动, 以此提升企业针对安全风险的识别、评估以及应对能力, 促使管理重心从事故处置朝着风险预控转变, 从经验型管理朝着制度化、标准化和信息化方向升级。

2 化工企业安全风险管控体系构建的必要性

2.1 化工行业的高风险特性

化工生产流程复杂, 且大量使用多种危险化学品, 其

高风险属性致使在安全管理上遭遇更严峻挑战。化工企业于原材料运输、储存、生产反应、设备运行及废物处理等各环节皆潜藏安全隐患, 一旦某个环节失控, 便极易引发爆炸、火灾、有毒有害物质泄漏等严重事故, 甚至会影响周边环境与居民安全, 造成难以估量的经济和社会损失^[1]。在有高温高压、易燃易爆、有毒有害物质的操作中, 任何细微操作失误或设备故障都可能引发灾难性后果, 化工企业要高度重视风险识别与控制, 构建系统、科学、动态的安全风险管控体系, 以从源头降低事故发生概率。

2.2 安全事故对企业的严重影响

安全事故首先会造成人员伤亡以及财产损失, 这直接冲击企业正常生产秩序, 还可能致使生产线长时间停滞, 影响产品交付以及客户信任, 造成市场份额流失。事故发生后大多时候伴有巨额赔偿责任与行政处罚, 企业经济负担陡然增加, 甚至可能面临破产清算风险, 更严重的是企业品牌信

【作者简介】金飞(1976-), 男, 中国江苏镇江人, 本科, 工程师, 注册安全工程师, 从事化工安全生产研究。

誉与社会形象会受损，公众对企业安全管理能力的质疑持续发酵，投资者和合作伙伴信心也会遭受严重打击，企业未来发展空间被大幅压缩。在一些典型事故案例里，相关企业事故后即便恢复生产，也很难在短时间内重新获得市场和社会广泛认可，这种无形损失远超直接经济损失。构建健全安全风险管控体系不只是防止事故发生的技术手段，更是维护企业长远利益与社会责任的战略抉择。安全风险应急处置程序如图1所示。

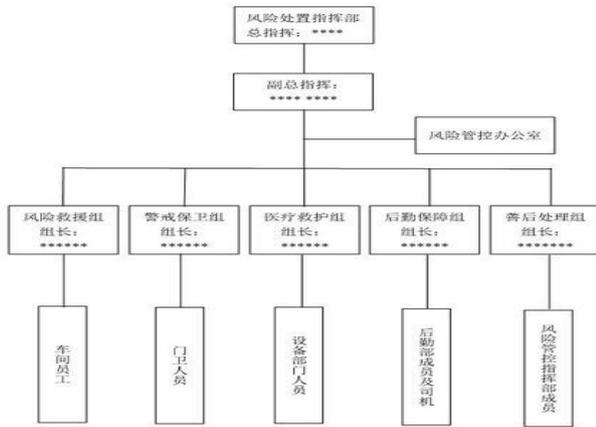


图1 安全风险应急处置程序

2.3 提升企业竞争力的需要

在当前市场竞争越激烈且公众安全意识持续提升的形势下，安全管理已然成为衡量企业综合实力的一项关键指标。拥有高效安全风险管控机制的企业，可保障生产过程稳定且连续，降低非计划停工时间，提升资源利用效率以及产品质量，提高客户满意度与市场响应能力。在国际化经营布局方面，跨国客户与合作伙伴极为看重企业的安全管理体系，唯有有完善安全管理制度的企业，方可顺利借助各类行业认证及审核，获取进入高端市场的资格。安全文化建设能提高员工的归属感与责任意识，营造良好的企业内部管理氛围，减少人员流动率，提高组织运行效率。

3 化工企业安全风险管控体系的构建策略

3.1 健全安全管理组织架构

企业要清晰界定安全管理工作的层级责任以及职能分工，构建起以主要负责人为核心的安全领导体系，形成从高层决策直至基层执行的闭环管理链条。企业主要负责人需切实承担起安全生产的首要责任，全面统筹安排安全管理工作，以此推动全员安全意识得以提升。安全管理部门作为执行与监督机构，应配备专业的安全管理人员，这些人员要拥有扎实的专业知识以及丰富的现场经验，可独立开展隐患排查、风险评估、培训教育等相关工作^[1]。各事业部应组建专职或者兼职的安全小组，负责本单位的日常安全管理事务，保证安全制度和操作规程落地施行。组织架构的设置应依照企业实际规模、工艺复杂程度以及风险等级给予优化调整，

防止职能重叠或者职责空缺，提升组织运行的效率以及反应速度。同时，还可凭借设立专门的安全例会制度以及信息汇报机制，保证各级管理人员可及时知晓安全动态，迅速响应突发事件，提升组织体系的动态调整能力以及风险应对能力。

3.2 完善安全生产规章制度

化工企业需要依照行业标准并结合自身实际情况，对现有的规章制度展开系统的梳理工作，从中查找存在的漏洞以及不足之处。基于此，构建一套安全管理制度体系，该体系有覆盖范围全面、逻辑严谨且层次清晰的特点，制度内容包含生产运行、设备管理、作业许可、隐患排查、事故应急、教育培训、承包商管理等多个方面，以此保证各类作业活动都拥有明确的安全规范以及操作指引。在制度制定过程中，要组织相关技术人员、安全管理人员以及一线员工代表共同参与，以此保障制度可操作性以及现场适应性。制度文本运用清晰明了的语言，防止出现模糊表述，方便员工理解与执行，制度应当保持动态更新，管理层需定期组织复审，依据工艺变化、新增设备、事故教训以及监管要求及时进行修订，保证规章制度始终契合企业发展实际以及风险防控需求。另外制度落地依赖于标准化作业的推行，企业要结合规章制度，编制各类作业指导书以及操作规程，借助现场标识、卡片管理等手段，达成制度在操作层面的细化落实，切实将制度转变为员工日常行为的准则与习惯。

3.3 强化安全风险识别评估

要强化风险识别评估工作就需要从企业生产的整个流程以及各个环节入手，结合装置运行的特点、工艺流程的复杂程度以及物料的危险特性，全面系统地梳理潜在的危险因素。在实际操作时企业应当组织有专业能力技术人员，对生产装置、储运设施、管道系统等关键部位展开全覆盖排查，找出可能引发事故的风险源。比如对于涉及高温高压、有毒有害、易燃易爆物质的工艺环节，要结合历史事故数据、行业经验以及装置的运行状态，评估其风险等级以及事故发生的概率。运用HAZOP、LOPA等系统性风险评估方法可提高风险识别的全面程度和科学程度，在识别过程中要注重动静静态相结合，要关注设计与规范要求，还要结合设备老化、操作习惯、管理漏洞等动态因素，评估其对安全运行产生的影响^[1]。同时企业应该定期组织操作人员、安全管理人员参加风险识别和评估培训，凭借事故案例分析、现场实操演练等方式提高他们识别隐患的能力。管理层需要加强对评估结果的理解与应用，把评估结果纳入日常生产决策以及安全管理计划当中，让风险评估不只是停留在文件层面，而是真正落实到操作与管理实践里。

3.4 实施安全风险分级管控

化工企业需依据风险评估结果，把各类安全风险按照其可能造成的后果严重程度、发生的概率以及可以控制的程度划分成不同的等级，制定分级管理的标准。对于重大风

险,企业要配置专门的技术团队来负责管控,明确具体的责任人,落实专人值守、实时监测、定期检修等一系列措施,以此保证风险处于可控制的状态。这类风险在管控措施的制定方面应当体现出“高标准、高频次、强干预”的原则。比如,在高危反应釜运行的时候安排24小时的工艺监控、实时数据采集系统以及应急切断装置等。对于中等级别的风险,要建立标准化的操作程序以及巡检机制,保证关键节点得到控制,防止因为操作失误或者设备出现异常而演变成更高等级的风险。低等级风险则应该结合日常的管理开展常态化的监管,避免由于忽视而积累形成系统性的隐患。风险分级管控体系的建设不能仅仅依靠纸面的制度,还应该在组织架构、管理流程、技术手段等多个方面形成支撑。企业要设立风险分级响应机制,将不同级别的风险对应不同的响应层级以及资源配置,保证出现异常情况的时候可快速做出响应、进行有效的处置。分级管控流程如图2所示。



图2 分级管控流程

3.5 建立安全应急响应机制

企业需在全面识别并评估风险的前提下,依据可能出现的火灾、爆炸、泄漏、中毒等事故种类,构建有较强针对性和较高操作性的应急预案体系。应急预案要包含应急响应程序,而且要明确各类突发事件的预警信号、启动条件、应急组织体系、职责分工、应急资源调配以及善后处置流程。

企业要设立专门的应急管理机构,全面统筹协调应急准备、演练、响应以及恢复等各项工作,保证一旦发生事故,各相关部门可快速进入应急状态,达成协调联动、高效处置的目标。企业要建立应急物资储备清单,配备齐全必要的防护装备、消防器材、应急药品、封堵工具等物资,并定期检查物资状态,保证在紧急状况下可立刻启用。企业还应与属地政府、消防、环保、医疗等部门建立联动机制,定期开展联合演练,提高跨部门协同能力。事故发生后,响应机制应迅速转入事故处置与善后恢复阶段,组织专业技术力量进行现场处置,防止事故扩大,并及时开展环境监测、舆情控制与员工心理疏导等工作,保障生产秩序尽快恢复。

4 结语

总之,化工企业只有全面构建安全风险管控体系,并持之以恒抓好落实,才能筑牢安全生产防线,实现安全发展、绿色发展、可持续发展。化工企业要以对人民生命财产高度负责的态度,以对国家经济社会发展高度负责的使命感,切实把安全风险管控体系构建工作抓紧抓实抓出成效,为推动化工行业高质量发展作出应有贡献。

参考文献

- [1] 李琼, 庞敏, 钟虹, 王好, 张益畅. 融合N-K模型社会网络的化工企业爆炸风险因素耦合研究[J]. 安全与环境学报, 2024, 24 (12): 4581-4590.
- [2] 方斌. 基于物联网的石油化工企业专职消防队智慧应急救援体系构建策略研究[J]. 消防界(电子版), 2024, 10 (23): 22-24.
- [3] 王庭宁, 冯林海, 王伟, 孙强, 吴远惠, 王璐. 化工企业液化烃储罐区安全风险识别与综合防治策略研究[J]. 当代化工研究, 2024(21): 194-196.
- [4] 郑付同. 雷尼镍催化剂在医药化工中应用的自然风险分析与灭活方法研究[J]. 化工安全与环境, 2024, 37 (11): 34-37.
- [5] 陈煜皓, 韩玉斌. 筑牢夏季特种设备安全防线 山东烟台蓬莱区扎实开展特种设备安全隐患整治[J]. 中国质量监管, 2024(06): 49.

Study on construction measures of chemical safety technology management system based on the concept of intrinsic safety

Kewu Liu¹ Jing Wang² Qiang Chen¹

1. Lianhua Technology (Linhai) Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang, 317000, China

2. Zhejiang Taizhou Xiuchuan Technology Co., Ltd., Taizhou, Zhejiang, 318000, China

Abstract

The development of the chemical industry is characterized by a certain level of complexity and risk. As the industry's standards continue to rise, safety issues in chemical production have garnered significant attention from all sectors of society. The concept of intrinsic safety has only been proposed in recent years and is widely applied in chemical safety management. This philosophy emphasizes integrating safety factors into the design, construction, and operation of chemical facilities to achieve intrinsic safety of the system. Implementing this concept requires a chemical safety technology management system as its foundation. Therefore, this paper provides a detailed analysis of measures for building a chemical safety technology management system based on the intrinsic safety concept, aiming to enhance the safety management level of chemical enterprises during their daily operations and development, for reference.

Keywords

intrinsically safe concept; chemical safety technology; management system

基于本质安全理念的化工安全技术管理体系构建措施研究

刘克武¹ 王晶² 陈强¹

1. 联化科技(临海)有限公司, 中国·浙江 台州 317000

2. 浙江台州秀川科技有限公司, 中国·浙江 台州 318000

摘要

化工领域的发展具有一定的复杂性和危险性。在化工领域发展水平不断提高的形势下, 化工生产过程中的安全问题也受到社会各界的高度关注。本质安全理念是一种近几年来才被提出的安全管理理念, 在化工安全管理中的应用非常广泛。这种理念的应用强调将安全因素融入化工设计、化工建设与化工运营等环节当中, 实现系统的本质安全。而本质安全理念的落实, 需要以化工安全技术管理体系为载体。所以, 本文重点针对基于本质安全理念的化工安全技术管理体系构建措施进行了详细的分析, 旨在提高化工企业日常生产与发展过程中的安全管理水平, 以供参考。

关键词

本质安全理念; 化工安全技术; 管理体系

1 引言

化工产业是我国经济发展体系中的支柱型产业。化工生产过程中涉及的生产原材料、生产设备以及生产工艺等均存在较大的危险隐患。化工生产过程中的安全管理备受关注。近几年来, 在技术工艺发展水平不断提高, 化工生产工业化进程不断推进的形势下, 传统的化工生产安全管理模式也已经表现出了明显的滞后性。本质安全理念则逐渐渗透到化工领域当中, 成为化工安全管理的主流。但是, 如何在本职安全理念的指导下, 构建化工安全技术管理体系, 依然是一个值得深入思考的问题。

2 本质安全理念对于化工安全技术管理体系构建中的应用体现

所谓本质安全理念, 其实就是一种从源头上对风险事故进行预防的现代化安全思想, 强调从设计、技术、管理等方面入手保证安全管理的系统性、全面性与有效性。本质安全理念在化工安全技术管理体系构建中的应用主要体现在以下四方面。

首先, 本质安全理念包含工艺本质安全, 即通过化工设计阶段的优化, 对化工生产工艺运行中存在的风险因素予以消除或控制。在工艺本质安全理念下, 需要在化工项目初期阶段, 从安全生产的角度出发, 对化工生产原材料、中间体和产品的安全性予以把关, 通过化工反应条件的优化来保证化工反应的稳定性与安全性。另外, 还需要对化工反应过

【作者简介】刘克武(1984-), 男, 中国甘肃陇西人, 硕士, 工程师, 从事化工安全技术与管理研究。

程中的副反应与异常情况予以重点关注，并采取针对性的预防控制措施。

其次，本质安全理念包含设备本质安全，即通过合理选择与维护化工生产设备的方式，降低化工生产过程中因为设备故障而引发的风险事故发生几率。例如，在设备选型的时候，需要优先选择具备自我诊断功能的智能化生产设备，或者符合国际安全标准的进口生产设备。再例如，针对设备的保养，可以制定出针对性的设备管理制度，对设备的检查频率、维修保养要点以及报废更新流程等进行明确，提升设备的运行性能。

再次，本质安全理念包含人因工程学，即对人与工作环境之间的相互作用予以关注，然后再对工作界面进行优化，对劳动条件进行改善，以减少人为操作失误引发的风险事故发生频率^[1]。在化工生产领域中，以人因工程学原理为指导对化工生产操作界面进行优化，提高其直观性和易操作性，对相关工作流程进行简化，提高操作的便捷性与高效性，并对员工的心理健康予以积极的指导和教育，通过心理辅导与心理支持等手段，提高员工的抗压能力，可以降低员工异常情绪对化工生产的负面影响。

最后，在信息技术不断发展的今天，人工智能技术和大数据技术在化工安全管理领域中的应用也越来越广泛。对化工企业的历史数据进行收集与分析，可以对未来化工生产过程中安全事故的发生类型与发生概率进行预测，并将预警信号发送给相关人员。同时，对机器学习算法进行有效的应用，还可以对化工企业中的异常情况进行自动化的识别，并对异常情况的形成原因进行明确，为安全事故的预防与控制提供支持。另外，在大数据技术和人工智能技术的辅助下，构建安全预警系统，还可以对化工生产过程进行远程化控制，进一步提高化工生产安全管理的效率与质量。图1为本质安全理念在化工安全技术管理体系构建中的应用主要体现。

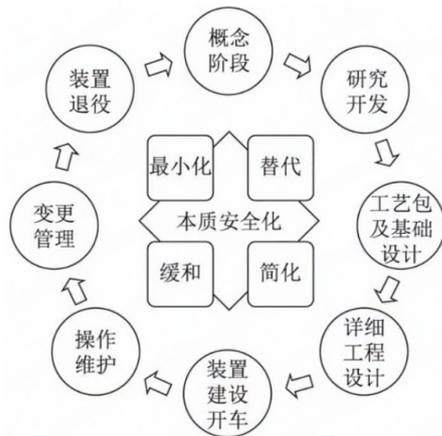


图1：本质安全理念在化工安全技术管理体系构建中的应用主要体现

3 基于本质安全理念的化工安全技术管理体系构建原则

3.1 全面考虑原则

化工生产具有一定的复杂性和系统性，涉及原材料采购、原材料生产加工以及产品存储与运输等环节。化工安全技术管理体系的构建，也应当对这些环节之间的相互联系与影响予以重点考虑，并在此基础上进行安全管理方案的规划与制定，以保证每一个环节的安全隐患都能够得到有效的消除。图1为基于本质安全理念的化工安全技术管理体系构建流程。



图1：基于本质安全理念的化工安全技术管理体系构建流程

3.2 预防为主原则

化工事故的发生往往会引发极为严重的后果，加强化工安全技术管理体系的构建，应当遵循预防为主的原则，即利用风险评估手段、危害识别技术等，对化工生产过程中存在的潜在安全威胁予以及时发现，并通过生产工艺优化、生产设备维护等措施，将化工生产事故的发生概率降到最低。

3.3 遵守国家法规原则

化工生产领域的发展受到法律法规的监管，受到行业标准规范的约束。要想有效构建化工安全技术管理体系，必须严格按照国家及当地相关部门制定的安全生产、环境保护与职业健康规定，对企业内部现有的安全技术管理进行科学合理的优化与调整，为化工企业的稳定健康可持续发展提供支持。

3.4 持续更新原则

在化工生产工艺技术不断进步的今天，化学领域的生产工艺与生产设备也在不断更新。在这种情况下，化工企业要想提高化工生产安全技术管理质量，还需要根据当下最新的法规政策和前沿技术，对化工企业的安全管理技术手段予以更新。

4 基于本质安全理念的化工安全技术管理体系构建措施

4.1 严格遵守国家法律法规和行业标准规范

在本质安全理念的指导下，要想成功构建化工安全技

术管理体系,需要严格遵守国家法律法规与行业标准规范。首先,无论是国内,还是国外,都围绕化工安全生产制定出了一系列法律法规,例如《安全生产法》《危险化学品安全管理条例》等,这些法律法规中,对化工生产过程中的原材料采购、生产、存储、运输以及产品使用等环节提出了明确的安全要求和安全责任^[2]。化工企业必须根据这些法律法规中的相关要求,进行化工安全技术管理体系的构建。其次,在化工行业的发展过程中,也总结出了一些行业标准规范。例如,针对化工设备方面,有设计安全标准、制造安全标准和安装安全标准;针对危险品,有分类标准、标识标准和包装标准等。这些标准和规范,都从技术层面为化工企业成功构建化工安全技术管理体系提供了支持。化工企业需要严格按照这些标准和规范,对化工生产工艺进行合理的选择,对化工生产材料与设备进行严格的控制,并给出针对性的化工生产安全操作规程。

4.2 加强企业员工的安全素质培训

员工是化工企业内部化工安全技术管理体系得以顺利运行的关键因素。化工企业员工的专业知识储备情况、化工工艺应用情况、化工生产设备操作、化工生产安全管理意识等均会对化工生产安全管理资料的提高有着直接的影响。在本质安全理念的指导下,要想成功构建化工安全技术管理体系,需要加强企业员工的安全素质培训。首先,在人员招聘环节,就需要对应聘者的安全意识以及安全管理背景予以重点关注^[3]。其次,对企业内部现有员工进行持续的培训,通过新人入职培训、在职定期培训和特殊岗位专项培训等方式,确保员工都能够具备深厚的本质安全理念,能够从根源上了解到消除化工生产风险因素的重要性。同时,对员工的化工安全技术操作水平进行定期的培训和提升,使其能够严格按照相关标准进入化工生产线中,并对生产设备进行规范化操作。再次,加强员工的安全事故应急处理培训,使其具备较高的突发事故处理能力。最后,对员工进行安全文化知识培训,并在企业内部打造一个浓厚的安全生产工作氛围,确保每一位员工都能够积极主动地参与到安全技术管理体系的运行当中。

4.3 加强化工生产设备的维护与更新

4.3.1 加强设备故障诊断与预测技术的应用

在化工生产过程中,对设备故障诊断与预测技术进行有效的应用,可以及时发现设备运行过程中的故障隐患,并对设备故障率进行预测,将设备运行故障的发生概率降到最低。在传统的化学生产管理模式下,主要是借助管理人员的

工作经验和设备的以往历史数据,对设备的故障率进行主观判断,判断准确率并不高。而引入现代化的人工智能技术和数据分析技术,对设备的故障率进行自动化诊断,并构建设备的运行故障诊断模型,则能够有效发现设备运行中发生故障事故的概率,并给出针对性的应对建议^[4]。同时,还可以对设备的使用寿命进行评估,及时预测设备发生故障的时间点与故障原因,为工作人员更好地管理设备提供支持。

4.3.2 加强设备安全性能的提升与改造

在化工生产过程中,设备在使用一段时间后必然会出现一定程度的老化问题和磨损问题,并增大各类故障的发生概率。为了提高设备的运行安全性能,需要对设备进行定期的检修与维护。首先,借助材料衬里、特种涂层等方式对设备的耐腐蚀性进行强化,以延长设备的使用寿命。其次,对设备结构进行改造、对设备设计进行优化,并在此基础上提高设备的运行安全性。例如,可以将更加安全、稳定的材料应用到设备结构当中。或者对老化比较严重的设备进行全面的性能评估和检测,并制定出针对性的改造与维护方案。最后,随着时代的发展,还需要借助先进的技术手段,对设备性能与功能进行持续的提升与完善。例如,可以加强现代化安全监测技术的研发与应用,借助现代化的技术手段,对化工设备运行过程中可能出现的故障点进行准确、实时的监测,并及时采取针对性的故障预防措施。

5 结语

综上所述,本质安全理念是一种非常先进的安全理念,在化工生产安全管理工作中有着极为广泛的应用前景。但是,在这一安全理念的指导下,化工企业需要在全面考虑、预防为主、遵守国家法规与持续更新等原则的指导下,严格按照国家法律法规和行业标准规范构建科学合理的化工安全技术管理体系,还要加强企业员工的安全素质培训,加强化工生产设备的维护与更新。只有这样,才能够保证化工安全技术管理体系的运行价值得以有效体现。

参考文献

- [1] 谈朋,刘畅,吴宏描,等.以化工本质安全为核心的化工安全工程专业建设[J].化工高等教育,2024,41(3):14-18.
- [2] 刘元祺.运用现代安全管理理论,构建事件事故管理体系[C]//第二届中国石油石化健康、安全与环保(HSE)技术交流大会论文集.2015:344-348.
- [3] 黄雪松.涂料化工企业生产的本质安全管理[J].化纤与纺织技术,2023,52(12):93-95.

Research on TA2 Plasma Welding Process

Youxin Ye^{1,2}

1. Guangxi Bosco Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530007, China
2. Guangxi Kejia Equipment Technology Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530007, China

Abstract

TA2 (industrial pure titanium) is widely used in chemical, aerospace, marine engineering, and medical fields due to its light weight, high strength, and excellent corrosion resistance. Plasma welding, as a high-energy beam welding method, has advantages such as energy concentration, strong penetration, and small heat affected zone, and is suitable for welding TA2. Due to the high reactivity of TA2, strict requirements are placed on the welding environment, temperature control, shielding gas, process parameters, and other aspects when implementing TA2 plasma welding. This article systematically analyzes the advantages and disadvantages of TA2 plasma welding, explores the key control points, process control points, and quality control measures in the welding process, and provides reference for practical production.

Keywords

TA2 welding; Plasma welding; Welding temperature; Protective gas; Post weld inspection

TA2 等离子焊接工艺研究

叶又鑫^{1,2}

1. 广西博世科环保科技股份有限公司, 中国·广西 南宁 530007
2. 广西科佳装备科技有限公司, 中国·广西 南宁 530007

摘要

TA2 (工业纯钛) 因其比重轻、强度高、优异的耐腐蚀性能广泛应用于化工、航空航天、海洋工程及医疗领域。等离子焊接作为一种高能束焊接方法, 具有能量集中、穿透力强、热影响区小等优势, 适用于TA2的焊接。由于TA2的活泼性较强, 在实施TA2等离子焊接时, 对焊接环境、温度的控制、保护气体、工艺参数等方面要求严格, 本文将系统分析了TA2等离子焊接的优缺点, 探讨了焊接过程中的关键控制点、工艺控制要点及质量控制措施, 为实际生产提供参考。

关键词

TA2焊接; 等离子焊接; 焊接温度; 保护气体; 焊后检验

1 引言

1.1 研究背景与意义

TA2 作为重要的战略金属材料, 因其优异的综合性能, 在国防军工、航空航天、能源化工、造纸、海洋工程等领域占据不可替代的地位。TA2 属于工业纯钛, 其焊接性能良好, 具有适中的强度、良好的塑性和卓越的耐蚀性, 特别是在氯化物介质中的抗点蚀和应力腐蚀性能显著优于不锈钢, 使其成为化工装备、管路、海洋工程等腐蚀环境中的首选材料。随着我国航空航天、造纸、大型化工装备和清洁能源等领域的快速发展, TA2 需求爆发式增长, TA2 焊接质量至关重要, 关系到设备的稳定运行和性能。传统 TA2 焊接主要采用钨极氩弧焊 (TIG), 存在熔深浅、效率低、对作业人员技能

要求高、变形大、质量控制不稳定等问题。等离子弧焊 (PAW) 作为一种高能束焊接方法, 通过机械压缩、热压缩和电磁压缩三重效应将电弧约束为高能量密度的等离子弧, 温度可达 24000-50000K, 能量密度达 $10^5 - 10^6$ W/cm², 具有超强的熔透能力。实际应用中 TA2 等离子焊 ($\delta < 12$ mm), 在不开坡口的前提下, 可实现单面焊双面成形, 焊接速度可达 10-30cm/min, 效率较钨极氩弧焊提高 2-3 倍。同时, 等离子焊接参数窗口窄, 工艺控制不当易产生气孔、未熔合等缺陷。因此, 系统研究 TA2 等离子焊接工艺优化与质量控制具有重要的工程应用价值。

1.2 TA2 材料特性与焊接性分析

TA2 主要元素: 钛 (Ti) $\geq 99.2\%$, 其他元素: 铁 (Fe) $\leq 0.30\%$, 氧 (O) $\leq 0.25\%$, 氮 (N) $\leq 0.03\%$, 碳 (C) $\leq 0.1\%$, 氢 (H) $\leq 0.015\%$ 。其他特性: 密度 4.51g/cm³、熔点 1668°C、热导率 16.4W/m·K、线膨胀系数 8.6×10^{-6} /°C、弹性模量 106GPa。与不锈钢相比, TA2 具有密度小、熔点高、热导率低、线膨胀系数小和弹性模量低等特点, 同时具有较

【作者简介】叶又鑫 (1990-), 男, 中国广西钦州人, 本科, 工程师, 从事钛焊接、不锈钢焊接、碳钢焊接、机械加工研究。

好的机械加工性能。这些特性决定了其独特的焊接行为：熔池金属高温停留时间长、粘度大、残余应力高、易变形，晶粒长大倾向明显；高温下（>300℃）对 O、N、H 等间隙元素吸收强烈^[1]。

2 TA2 等离子焊接的优缺点分析

2.1 等离子焊接优点

等离子焊接是用等离子弧作为热源来熔化两金属连接处的一种焊接法，等离子弧经过压缩的电弧，能量密度高，温度高，高能量输入使 TA2 焊接时能够形成稳定的熔池和小孔效应，特别适合于中厚板单面焊双面成形。具有优异的工艺稳定性和成形控制能力。等离子焊接主要优点如下：

①电弧能力密度高，等离子弧温度可达 20000 ~ 30000℃，熔透能力强，焊缝深宽比大（深宽比可达 3:1），截面积小，特别适合化工容器、压力管道等对焊缝全焊透要求严格的场合。

②焊接速度快，适用于自动化生产，热影响区小，薄板焊接变形小；高焊接速度结合较小的热输入（通常控制在 0.8-1.5kJ/mm）可有效抑制热影响区晶粒长大，减少高温停留时间，降低氧、氮等杂质元素的吸收量。测试数据显示，等离子焊接 TA2 接头的热影响区宽度约为 TIG 的 60%，高温（>800℃）区域面积减少 45%，有利于保持接头塑性和耐腐蚀性。

③电弧方向性强，挺度好，稳定性好，电弧容易控制。

④钨极内缩在喷嘴内部，不能与工件接触，可杜绝焊缝夹钨，焊缝质量高。

⑤高能量输入使得 TA2 焊接时能够形成稳定的熔池和小孔效应，通过小孔效应，可以正面焊接获得良好的单面焊双面成形效果，成形稳定，提升焊接效率和焊接品质。

⑥熔深大、成形好，气孔和裂纹倾向低，焊缝质量高。

2.2 等离子焊接缺点

等离子焊接除了诸多优点以外，相比其他焊接方式，等离子焊接也存在缺点，主要如下：

①焊接时同时需要保护气和等离子气两股气流，焊接过程控制难度较高，焊枪结构复杂。

②工艺复杂，需精确控制电流、气体流量等参数，装配精度要求高，错边量过大易导致未焊透或烧穿，对焊接操作人员的技术要求较高。

③等离子焊接系统由专用电源、等离子发生器、水冷系统、高精度送气装置和专用焊枪等组成，设备投资是常规 TIG 的 2-3 倍，价格昂贵，TA2 焊接必须使用高纯氩气（≥99.99%）进行保护，保护气成本高。

④参数窗口窄、工艺控制难度大。等离子焊接涉及离子气流量、保护气流量、电弧电流、电压、焊接速度等多参数协同控制，各因素间存在复杂耦合关系。研究表明，离

子气流量偏差超过 ±0.2L/min 或焊接速度变化超过 ±2cm/min，都可能导致小孔不稳定甚至消失，影响熔透效果^[2]。

3、TA2 等离子焊接注意事项

3.1 施焊环境

施焊应在空气洁净、无尘、无烟环境下进行，且焊接场所应具有独立区域。焊接过程风速过大，容易造成保护气掺杂进其他气体造成焊接质量缺陷，相对湿度过大易造成焊接气孔、飞溅增大等问题，存在以下任一情况时应禁止施焊：

- ①风速 ≥1.5m/s。
- ②相对湿度 > 80%。
- ③焊件温度低于 5℃。

3.2 焊接前准备

①施焊人员应穿戴白细纱布手套和洁净的工作服，没有油污。

②焊缝两侧各 25mm 处用不锈钢刷去除表面氧化膜、杂质，刷至金属光亮，钢刷严禁采用碳钢等其它有污染的材质；机械清洁完成后用丙酮或者酒精进行脱脂处理，如清洗后 4h 未焊，需重新清洗。

③焊丝需脱脂处理，避免带入杂质。

④钛板对接边缘需平整，间隙均匀，避免装配不良导致焊接缺陷。

3.3 焊接保护及杂质气体影响

3.3.1 焊接气体保护

等离子焊接过程中，焊接接头由于高温，TA2 性能极为活泼，与氧、氢、氮快速反应，温度在 300℃以上时能快速吸氢、温度在 450℃以上时能快速吸氧、温度在 600℃以上时能快速吸氮。在焊接时，如果熔池中侵入氧、氮、氢、碳等有害气体，会导致焊接接头塑性、韧性改变，表面颜色发蓝发紫，机械性能显著下降，过热倾向增高。故施焊时对熔池、熔滴及高温区，正面、反面都应选用纯度 ≥99.99% 的氩气和合适的保护拖罩进行气体保护，拖罩建议使用铜垫板、气孔通气，防止焊区周围的有害气体进入熔池，焊接停止后应继续通保护气，待焊缝和热影响区温度低于 250℃后方可停止气体保护。

3.3.2 杂质气体、元素的影响

TA2 焊接常见缺陷有气孔、裂纹、焊缝和热影响区氧化等。产生这些缺陷的原因主要有气体纯度不足、存在氢气、氮气、氧气等有害气体，焊件、焊丝表面污染、存在油污、水汽等。其中产生“气孔”的原因主要是由于焊件和焊丝上的油污及保护气体中的杂质，产生裂纹的原因主要是由于水分和油污的污染。焊缝和热影响区氧化主要由于保护气体不纯，保护拖罩问题、环境气流扰动造成保护气混入氧气、氮气等有害气体，导致焊缝和热影响区氧化，降低接头的强度、韧性。

4 TA2 等离子焊接工艺控制

4.1 焊接电流

焊接电流是根据板厚或熔透要求来选择, TA2 薄板(1~3mm)推荐电流60~120A, 中厚板(4~10mm)需150~300A。焊接电流过小, 难于形成小孔效应; 焊接电流增大, 等离子弧穿透能力增大, 但电流过大会造成熔池金属因小孔直径过大而坠落, 难以形成合格焊缝, 甚至引起双弧, 损伤喷嘴并破坏焊接过程的稳定性。因此, 在喷嘴结构确定后, 为了获得稳定的小孔焊接过程, 焊接电流只能在某一个合适的范围内选择, 而且这个范围与离子气的流量有关。

4.2 喷嘴与工件距离

喷嘴与工件距离一般控制在3~5mm, 喷嘴离工件的距离过大, 熔透能力降低; 距离过小易造成喷嘴被飞溅物堵塞, 破坏喷嘴正常工作。

4.3 焊接速度

焊接速度推荐5~20cm/min, 需要根据不同板厚选择不同焊接速度, 过快的焊接速度容易导致焊接未完全熔化等不良焊接, 焊速过慢易导致过度热输入和焊缝的过多熔化。

4.4 焊接离子气流量

等离子气流量通常为0.5~2.5L/min, 离子气流量决定了等离子流力和熔透能力。等离子气的流量越大, 熔透能力越大。但等离子气流量过大会使小孔直径过大而不能保证焊缝成形。因此, 应根据喷嘴直径、等离子气的种类、焊接电流及焊接速度选择适当的离子气流量。利用熔入法焊接时, 应适当降低等离子气流量, 以减小等离子流力。

4.5 熔池与焊缝成形控制

熔池应呈明亮、流动性适中的圆形, 若发暗或者沸腾, 需要调整参数。焊枪角度控制在(80°~90°)、行走轨迹, 避免咬边、驼峰、焊偏等缺陷。

4.6 层间清理

多层焊接时, 层间温度需≤150℃, 前道焊缝冷却至70℃以下再焊下一层, 每道焊完后需用不锈钢刷清理表面氧化色, 避免夹渣。

4.7 华恒 iArc 5000-PAW 等离子焊接电源工艺参数控制

等离子自动焊接根据不同板厚选择工艺参数, 母材采用无坡口对接, 对接间隙C=0mm; 焊接完成后需检查焊缝两面是否存在焊瘤、气孔、焊偏等缺陷, 对发现的缺陷需手工氩弧焊修补^[3], 3-10mm厚板材焊接参数见表1。

5 焊后检验

5.1 焊缝成形检验

焊缝盖面完成后对焊缝成形进行检验, 对未融合、弧坑、

夹杂、气孔、裂纹等缺陷进行手工焊接修复, 去除飞溅物。

5.2 钛焊缝及热影响区焊接完工表面颜色检验

钛焊缝及热影响区焊接完工对焊缝及热影响区表面原始颜色进行检验, 按表2的规定判断是否合格与进行处理。

表 1

| 材质 | 板厚度 δ (mm) | 工艺参数 (调节范围 ±5%) | | |
|-----|---------------|-----------------|-------------|-------------|
| | | 电流 (A) | 离子气 (L/min) | 焊速 (mm/min) |
| TA2 | 3 | 130 | 3.2 | 290 |
| | 4 | 140 | 4.0 | 300 |
| | 5 | 250 | 4.4 | 250 |
| | 6 | 230 | 5.2 | 230 |
| | 8 | 210 | 6.0 | 210 |
| | 10 | 175 | 5.6 | 175 |

表 2

| 焊缝与热影响区表面颜色 | 氩气保护情况 | 合格判定 | 处理方法 |
|-------------|--------|-----------|--------------|
| 银白色 | 良好 | 合格 | 不用其他处理 |
| 金黄色(致密) | 尚好 | 合格 | 不用其他处理 |
| 蓝色 | 稍差 | 只可用于非重要部位 | 去除蓝色 |
| 紫色 | 较差 | 常压设备 | 去除紫色, 去掉掉处返修 |
| 灰色 | 差 | 不合格 | 返修 |
| 黄色粉状物 | 很差 | 不合格 | 返修 |

6 焊后处理

焊接区域的表面颜色检验合格的可不作处理, 对保护效果不理想的接头, 应根据实际情况进行必要的质量处理, 一般情况下, 氧化效果较轻时可用不锈钢丝刷将氧化部位刷至金属光亮色(银白色)或进行酸洗处理, 以保证内部金属不被继续氧化。对设备内、外部进行清洗, 提升设备整体观感。

7 结语

TA2 等离子焊接具有能量集中、变形小、效率高等优势, 但需严格控制工艺参数及保护措施。通过做好焊接区域表面清洁, 使用高纯度氩气保护, 将钛与氮、氢、氧等气体及铁、碳元素间的吸收和溶解降至最低, 优化热输入及焊接速度, 合理控制焊接温度的变化, 从而获得高质量的焊接接头^[4]。

参考文献

- [1] 中国机械工程学会焊接学会 编. 焊接手册(第3版修订本). 北京: 机械工业出版社, 2015.
- [2] 国家标准 GB/T 3620.1—2016《钛及钛合金牌号和化学成分》
- [3] JB/T 4745—2002 钛制焊接容器
- [4] 戚运莲, 洪权, 刘向, 赵永庆. 钛及钛合金的焊接技术[J]. 钛工业进展, 2004.

Discussion on the Influencing Factors and Management Countermeasures of Safety Production in Chemical Enterprises

Saidulamu Abudusalamu

Yili Polytechnic College, Yining, Xinjiang, 835000, China

Abstract

With the rapid development of the chemical industry, the issue of safe production in chemical enterprises has received increasing attention. Due to their special production processes and the use of hazardous chemicals, chemical enterprises are facing huge challenges in terms of safe production. In order to effectively prevent and control the occurrence of accidents, it is necessary to conduct an in-depth analysis of various factors affecting the safe production of chemical enterprises and propose scientific management countermeasures. This article analyzes the influencing factors of safe production in chemical enterprises from multiple aspects such as technology, personnel, management system and environment, and proposes targeted management countermeasures in combination with actual cases, aiming to provide references for the safety management of chemical enterprises, reduce the occurrence of safety accidents, and ensure the production of enterprises and the life safety of employees.

Keywords

chemical enterprises; Safety production; Influencing factors; Management strategies; accident prevention

化工企业安全生产影响因素及管理对策探讨

塞都拉木·阿布都萨拉木

伊犁职业技术学院, 中国·新疆 伊宁 835000

摘要

随着化工行业的快速发展, 化工企业的安全生产问题日益受到重视。化工企业由于其特殊的生产工艺和使用的危险化学品, 使得安全生产面临着巨大的挑战。为了有效防控事故发生, 必须深入分析影响化工企业安全生产的各种因素, 提出科学的管理对策。本文从技术、人员、管理制度和环境等多个方面分析了化工企业安全生产的影响因素, 并结合实际案例提出了针对性的管理对策, 旨在为化工企业的安全生产管理提供参考, 减少安全事故的发生, 保障企业生产和员工的生命安全。

关键词

化工企业; 安全生产; 影响因素; 管理对策; 事故预防

1 引言

化工企业是国民经济中至关重要的组成部分, 其产品广泛应用于各行各业, 促进了经济的持续发展。然而, 由于化工行业的特殊性, 安全生产问题一直以来是其发展的重要课题。化工生产过程往往涉及大量的危险化学品和复杂的生产工艺, 一旦发生事故, 后果不堪设想, 不仅会对生产环境造成严重破坏, 还会危及员工的生命安全, 甚至影响社会的稳定。

近年来, 尽管国家对化工企业的安全生产采取了一系列的管理措施, 化工企业的安全生产形势仍然严峻。频繁发生的爆炸、泄漏、火灾等安全事故提醒我们, 化工企业在安全生产方面仍存在不少薄弱环节。分析化工企业安全生产的

影响因素, 提出切实可行的管理对策, 是确保化工企业长远发展的基础。

本文将从技术、人员、管理制度和环境等方面系统分析影响化工企业安全生产的主要因素, 进而提出相应的管理对策, 旨在为化工企业的安全生产管理提供理论支持和实践指导。

2 化工企业安全生产的影响因素

2.1 技术因素

技术因素是影响化工企业安全生产的重要因素之一。化工生产的全过程涉及复杂的技术设备和化学反应, 如果技术装备不完善或技术操作不当, 很容易导致安全事故的发生。首先, 设备的老化和技术的落后常常是事故发生的诱因。化工企业的生产设施多数是长期运作, 设备的老化问题较为严重, 尤其是管道、储罐、压力容器等关键设备, 一旦发生设备故障, 可能导致泄漏、火灾或爆炸等重大事故。因此,

【作者简介】塞都拉木·阿布都萨拉木(1992-), 男, 维吾尔族, 中国新疆伊宁人, 本科, 初级, 从事应用化工研究。

设备的更新和技术改造是防范事故发生的首要措施。

此外,工艺技术的安全性也是决定化工企业安全生产水平的重要因素。化学反应的控制、温度和压力的调控、物料的输送和储存等环节都涉及大量的技术要求。任何环节的失误,都可能引发连锁反应,最终导致事故。因此,企业必须严格控制生产工艺,完善技术规范,提高生产过程的可控性和稳定性。

2.2 人员因素

人员因素是化工企业安全生产中不可忽视的关键因素。化工企业的生产过程复杂且危险,要求员工具备较高的专业技术水平和应急处置能力。许多化工事故的发生都与操作人员的素质、经验以及对安全操作规程的遵守情况密切相关。人员的疏忽、误操作、管理松懈等问题常常导致灾难性的后果。

首先,操作人员的安全意识和技能水平直接影响企业的安全生产水平。如果员工未经过专业的培训,或在工作中忽视安全操作规程,容易造成操作失误,进而引发事故。其次,企业应加强员工的安全教育和培训,提高员工对生产过程的安全认识,确保每一位员工都能够熟练掌握应急预案,处理突发事件。此外,员工的心理素质、工作态度、责任心等也对安全生产产生重要影响。因此,加强对员工的管理和激励机制,培养高素质的安全管理队伍,对提高企业的安全生产能力至关重要。

2.3 管理制度因素

管理制度是保障化工企业安全生产的基础。健全的安全管理制度能够规范生产操作,确保各项安全措施落实到位。然而,许多化工企业由于安全管理制度不完善、执行不力或监管不到位,导致安全生产管理混乱,增加了事故发生风险。具体而言,管理制度的影响主要体现在以下几个方面:

首先,缺乏完善的安全生产责任制。在一些企业中,安全生产责任落实不到位,安全责任界定模糊,导致事故发生时无法追究责任,造成企业管理层和员工的安全意识松懈。其次,部分企业的安全管理制度缺乏针对性和可操作性,安全检查、隐患排查、应急演练等环节形同虚设,无法有效应对实际生产中的安全隐患。此外,部分企业的安全投入不足,缺乏足够的资金和资源来保障安全设施的建设和维护。

因此,完善企业的安全管理制度,建立健全的安全责任制和应急响应机制,强化安全生产管理是提高化工企业安全生产水平的关键。

2.4 环境因素

化工企业的生产环境直接影响安全生产的顺利进行。生产环境中的安全隐患主要包括设备的老化、生产设施的安全保障不充分、环境监测不完善等。生产环境的不安全因素往往会在不经意间积累,最终引发安全事故。特别是在化工企业中,生产环境涉及大量易燃、易爆、腐蚀性物质的储存

与使用,一旦环境条件不符合安全标准,极易引发安全事故。

此外,气候、地震、火灾等外部自然环境因素也是化工企业安全生产面临的挑战。气温过高、过低、地震等极端天气或自然灾害都会影响化工企业的安全运行。特别是在一些高危化工企业,极端天气条件可能导致设备故障,或者直接影响化学反应的稳定性,从而引发事故。

3 化工企业安全生产管理对策

3.1 加强技术管理与设备维护

为了确保化工企业的安全生产,必须加强对技术管理和设备维护的重视。首先,设备的定期检查与维护是保障安全生产的基础。化工企业的生产设备常常在恶劣环境下长时间运行,这会导致设备老化、磨损甚至失效,增加安全隐患。因此,企业应建立设备的定期检查、维护和保养制度,确保关键设备如压力容器、储罐、管道、泵、阀门等始终处于良好的运行状态。在关键设备上,企业应设置监测装置,对设备的运行状态进行实时监控,及时发现潜在故障和隐患,确保生产安全。此外,企业还需确保维修人员具备专业的技术知识,能够准确识别设备故障,并采取相应的维修措施,以延长设备的使用寿命。

其次,企业应不断优化工艺技术,提高生产过程的安全性。通过引入先进的自动化、信息化技术,加强对生产过程的实时监控,利用传感器和自动控制系统监测温度、压力、流量等参数,及时发现并处理潜在的安全隐患。尤其在涉及高温、高压、危险化学品的生产过程中,自动化技术可以有效降低人为失误的风险,增强生产过程的稳定性。例如,智能化系统能够自动调整生产工艺,避免过量的危险化学品反应、物料泄漏等风险。随着数字化和智能化技术的进步,化工企业可以进一步提高生产效率的同时减少安全风险,优化生产流程和工艺布局,降低设备故障和事故发生的概率,从而保证企业的安全生产。

3.2 提高人员素质与安全培训

化工企业的安全生产离不开高素质的操作人员。为此,企业应加强员工的安全意识教育和专业技能培训。员工是生产安全管理中的重要一环,只有通过不断提升员工的安全素质和专业技能,才能有效减少操作失误和人为因素带来的安全隐患。因此,企业应为员工提供定期的安全培训课程,确保每位员工都能熟练掌握操作规程和安全操作步骤。对于新员工,必须进行严格的安全上岗培训,确保其具备处理突发安全事件的基本能力。

此外,企业应加强对操作人员的心理疏导和应急能力培训,帮助员工保持良好的心理状态,避免情绪波动或压力过大导致的错误操作。心理素质的好坏直接影响员工在紧急情况下的反应能力。化工生产往往存在较大的工作压力,员工容易产生心理负担,这会影响他们的判断力和操作精度。为了降低此类风险,企业应采取定期的心理健康辅导措施,

缓解员工的工作压力,帮助员工保持冷静,避免人为失误。与此同时,化工企业应鼓励员工提出安全建议,并将其纳入企业的安全管理体系中,形成安全生产的良性循环。员工的主动参与能增强其对安全管理的责任感,促进安全文化的建设。

3.3 完善安全管理制度与责任制

完善的安全管理制度是保障企业安全生产的重要基础。化工企业应建立健全的安全生产责任制,明确各级管理人员的安全职责,做到责任落实到人。每一个管理层级都应负起相应的安全责任,确保安全管理工作不留死角。企业应设立专门的安全生产管理部门,负责日常的安全检查、隐患排查以及事故处理等工作,同时确保各部门在安全工作中的协调合作,形成全员、全方位的安全管理体系。

此外,企业还需要强化对安全管理制度的执行力度,确保各项安全生产措施得到有效落实。仅仅建立安全管理制度是远远不够的,企业必须确保这些制度能在生产中得到切实执行。定期的安全检查、隐患排查、问题整改等工作应形成常态化管理,并且严格按照规定的时间节点完成。企业可以通过设置激励机制,鼓励员工参与安全检查,发现安全隐患并提出改进意见;同时,也要通过惩罚机制,确保对安全管理失职的行为进行追责。建立健全的安全事故追责机制,能有效提高员工的安全意识,减少事故的发生。

化工企业应建立详细的应急预案,并定期进行应急演练,确保在突发情况下能够迅速反应,减少事故损失。应急预案不仅应包括常规的火灾、爆炸等事故的应急处理,还应涉及化学品泄漏、环境污染等特殊情况的应急处理。定期的应急演练能够帮助员工熟悉应急处理流程,提高应急处置能力,确保在面对突发事件时能够从容应对,快速恢复生产,保障企业和员工的安全。

3.4 优化生产环境与应急管理

企业应改善生产环境,确保设备运行和生产工艺符合安全标准。化工企业的生产环境通常存在较多的危险因素,如易燃易爆气体、有毒化学品的泄漏等,因此,必须对生产环境进行严格的监控和管理。尤其是在储存、运输和使用危险化学品时,企业必须采取必要的防护措施,防止泄漏、爆炸等事故的发生。例如,在危险品存储区域,要配置完备的防护设施,如隔爆墙、防火门、防泄漏设备等。同时,化工

生产环境中的温度、湿度、通风等条件也需要严格监控,确保在安全范围内运行,以减少外界环境因素对生产的影响。

企业还应加强与政府、消防、环保等相关部门的协调与合作,建立联合应急响应机制,共同应对可能发生的安全问题。尤其是在发生突发事件时,企业需要与地方政府及专业应急救援机构快速联系,协调资源,最大程度减少事故带来的损失。对于极端天气、自然灾害等可能导致的安全隐患,企业应提前制定相应的预防措施和应急预案,确保能够及时应对。

此外,化工企业应加强对环境监测的投入,及时获取生产环境的数据,为安全决策提供有力依据。通过引入智能化的环境监测系统,企业可以实时了解生产现场的温湿度、气体浓度等关键数据,一旦发生异常,系统能够发出警报,自动进行调整或启动应急措施,提升企业的应急响应能力和处理效率。

4 结语

化工企业的安全生产关乎企业的可持续发展、员工的生命安全和社会的稳定发展。通过深入分析化工企业安全生产的影响因素,结合技术管理、人员培训、制度建设等方面的有效对策,能够有效降低安全事故的发生率,保障企业的生产安全。在未来的发展中,化工企业应继续强化安全管理工作,创新技术,完善应急预案,全面提升安全生产水平,为企业的长远发展奠定坚实的基础。同时,政府和行业协会也应加强对化工企业的安全监管,推动化工行业的安全生产标准化建设,确保行业健康发展。

参考文献

- [1] 陆文伟.化工企业的防雷保护[J].劳动保护,1979(07):20-23.
- [2] 于廉.全面质量管理与化工生产完善化(一)[J].河北化工,1980(03):64-67+63.
- [3] 董大恭.对提高我省化工企业经济效益的几点看法[J].河南化工,1982(03):10-14.
- [4] 朱松源.化工生产环境条件及其对电工产品的要求[J].电工技术杂志,1983(01):1-5.
- [5] 贾庆礼.贾庆礼副部长在全国化工安全卫生工作座谈会上的总结讲话(摘要)[J].化工劳动保护(工业卫生与职业病分册),1983(04):1-8.

Application of new coking process in coking plant and research on energy saving and emission reduction effect

Zhiqiang Ding

Xilai Feng Branch of Coal Coking Co., Ltd., National Energy Group, Wuhai, Inner Mongolia, 016000, China

Abstract

This study addresses the high energy consumption and pollution issues of traditional coking processes by systematically analyzing the technical principles of a new coking process and its application in coking plants. The new process, which focuses on negative pressure coking, intelligent combustion control, and dry quenching, demonstrates significant advantages in optimizing thermal energy recovery, reducing pollutant emissions, and improving energy efficiency. Through industrial comparative experiments, the study compares energy consumption and pollutant emission data, revealing that the new coking process can effectively reduce SO₂, NO_x, and CO₂ emissions, significantly lower energy consumption per ton of coke, and markedly improve coke oven thermal efficiency. This process offers excellent environmental benefits and economic feasibility. The research findings provide a reliable technical pathway and engineering demonstration for achieving energy conservation, carbon reduction, and green transformation in the coking industry, which is of great practical significance to advancing the 'dual carbon' goals.

Keywords

new coking process; application in coking plant; energy saving and emission reduction; industrial experiment; green transformation

新型炼焦工艺在焦化厂的应用与节能减排效果研究

丁志强

国家能源集团煤焦化有限责任公司西来峰分公司焦化厂，中国·内蒙古 乌海 016000

摘要

本研究针对传统炼焦工艺存在的高能耗、高污染等问题，系统分析了新型炼焦工艺的技术原理及其在焦化厂中的应用效果。该工艺以负压炼焦、智能燃烧控制、干法熄焦等技术为核心，在优化热能回收、降低污染物排放和提升能源利用率方面表现出显著优势。通过工业对照实验对能耗与污染物排放数据进行对比分析，结果表明新型炼焦工艺可有效降低SO₂、NO_x和CO₂排放，吨焦能耗大幅下降，焦炉热效率显著提高，具备良好的环境效益与经济可行性。研究成果为实现焦化行业节能降碳、绿色转型提供了可靠的技术路径和工程示范，对“双碳”目标的推进具有重要的现实意义。

关键词

新型炼焦工艺；焦化厂应用；节能减排；工业实验；绿色转型

1 引言

焦化行业作为高能耗、高污染产业，其传统炼焦工艺长期面临煤炭资源利用率低、污染物排放量大等瓶颈问题。据统计，我国炼焦能耗占全国能源消耗总额的1.14%，且焦炉烟气中NO_x、SO₂等污染物排放量大，环境负荷重。在“双碳”战略背景下，行业亟需通过技术创新实现绿色低碳转型。本研究聚焦该工艺在焦化厂的具体应用实践，系统评估其在节能减排方面的技术优势，旨在为行业可持续发展提供科学依据。

2 新型炼焦工艺技术原理

2023年1-7月全国焦炭产量达2.84亿吨，同比增长1.9%，但焦炭价格下行，企业效益下滑。新型炼焦工艺以负压控制为核心，炭化室运行压力为-0.02~-0.03MPa，蓄热室采用堇青石-莫来石材质与分阶段换向技术，废气显热回收效率超82%，有助于提升效率与竞争力。

3 焦化厂场景应用

3.1 控制合理的焦饼中心温度

从炭化室推出的赤热焦炭所带走的热量是焦炉热量支出中的最大部分。它的大小主要决定于焦饼中心温度的高低和均匀程度。目前多数焦化厂焦饼中心温度控制在1070℃，如果能降至1000℃，则耗热量可降约105KJ/kg。要降低焦饼中心温度，就要选择合适的标准火道温度并使炉温均匀稳定、焦饼均匀成熟和正点推焦等。

【作者简介】丁志强（1990-），男，中国内蒙古五原人，本科，助理工程师，从事煤化工研究。

3.2 控制炉顶空间温度

在生产条件相同的条件下,炉顶空间的温度主要决定于炉体加热水平的高低和焦饼高向加热的均匀程度。在生产中,改变炭化室煤的装满程度和炼焦煤的收缩度,也可使炉顶空间温度产生一定的变化。所以在保证焦饼高向加热均匀和化学产品要求的前提下,应降低焦饼上部温度,减少荒煤气在炉顶空间的停留时间,降低炉顶空间温度,从而减少荒煤气从炭化室带走的热量。

3.3 合理的配煤比和配煤水分

在相同结焦时间和加热制度下,当配合煤中气煤从10%增至30%炼焦耗热量将增加54KJ/kg,生产实践证明当配合煤的可燃基挥发分为22~24%时耗热量为最少。入炉煤的堆比重从0.6g/cm³增加到0.9g/cm³时耗热量减少2.4%。减少配合煤的水分,能降低炼焦耗热量。配合煤水分每变化1%,每公斤煤的炼焦耗热量相应增减60~80KJ。另外,配合煤水分的变化,不仅对炼焦耗热量影响较大,而且还影响焦炉加热制度的稳定和入炉煤堆比重的改变。当配合煤水分波动频繁时,为保证正常生产,势必要采用较高的标准温度,这就会进一步增加炼焦耗热量。要降低配合煤水分可采取加强煤场管理,搞好贮煤场的排水设施,对于多雨的南方,采用室内贮煤槽,以及增设煤干燥设备和煤调湿装置均能较好地达到降低和稳定配合煤的水分能大大节约能源增加产品产量和稳定焦炉操作。

3.4 加热煤气的种类

在一般情况下,焦炉用高炉煤气加热时,其耗热量比用焦炉煤气加热多12~15%。这主要是因为用高炉煤气加热时废气量多,带走的热量增加(约5%)。加热用高炉煤气时,不严密处的漏失,从蓄热室封墙不严密处漏入空气与煤气燃烧以及煤气不完全燃烧等造成的热损失也会增加。从炼焦耗热量上看,焦炉用焦炉煤气加热消耗的热量要少一些。但因焦炉煤气是优质的。

3.5 合理的加热制度

加热制度是否合理对炼焦耗热量的影响是比较大的。而影响加热制度的主要指标是选择合适的空气系数并保持其均匀稳定,以避免废气中物理和化学热的损失。若空气系数过低或不均匀稳定,在一般情况下如果废气中含有1%的一氧化碳,按高炉煤气低热值3950kJ/m³、空气系数为1.15计算,则相当于5.8%的加热用高炉煤气的热量没有被利用而损失掉。当空气系数过大时,在正常条件下如废气中的含氧量改变1%(相当于空气系数增加约0.13),则因废气体积增加而相当于约1%的加热用高炉煤气的热量损失掉。焦炉各火道的空气系数,由于种种原因是容易不均匀的。其差值大小随焦炉设计、施工和操作水平而异,一般为0.1左右,最大的相差有时可达0.2~0.3。即使同一火道,在正常操作情况下,空气系数也随着换向初期到末期而逐渐变小。在正常生产情况下,空气系数应为1.15~1.25。

3.6 废气带走的热量

降低从小烟道排出的废气温度,减少废气带走的热损失,可以提高焦炉热效率和降低炼焦耗热量。在一般条件下,小烟道出口的废气温度升高25℃时,焦炉热效率约降低1%,每公斤煤的炼焦耗热量增加25~30KJ。炉体严密,蓄热室单位换热面积加大、气体在蓄热室格子砖中分配均匀合理、换向周期长短适中以及焦炉压力制度合理、稳定等,都有利于降低废气温度。其中最有效的办法是增加蓄热室的换热面积,新的JN70型焦炉采用薄壁格子砖后,单位换热量的蓄热面积增加了27%。废气温度可降低约50℃,每公斤煤的炼焦耗热量降低约60KJ。废气温度不能无限制地降低,因为废气中的酸性物质,其中主要是SO₂或SO₃在温度较低条件下,可能形成硫酸和亚硫酸,从而腐蚀焦炉小烟道、烟道和烟囱的砌体及有关设备。此外废气具有一定的温度,使烟囱产生吸力,维持焦炉生产,其本身就是低热量的有效利用。所以一般认为,小烟道出口处废气温度应不低于250℃。

3.7 炉体状态的好坏

炉体状态的好坏对炼焦耗热量及热效率的高低有直接影响。蓄热室漏气率的增加,将使加热煤气量增加,炼焦耗热量提高。炭化室墙漏气率加大,荒煤气在立火道燃烧,可能使炼焦耗热量有所减少,但是荒煤气漏失量与荒煤气发生量有关,在结焦前半期煤气发生量大,漏失量也大,在加热系统中势必燃烧不完全,部分可燃物随废气离开焦炉而造成总能源的损失。所以加强炉体的热修维护,使炉体保持完好状态,减少炉体的窜漏,对保证热平衡结果的准确和节省能源等均是一件很有意义的工作。

3.8 减少炉体表面散热

焦炉表面散失热量占供入焦炉热量的百分比,与炉型的大小和结焦时间的长短等有关。其中单位面积散热量最多的是装煤孔盖、座和看火孔盖、座等。在正常情况下,其散失热量主要取决于在焦炉设计中所采取的隔热措施和有关部位的炉体结构。但在现有生产焦炉上,也可根据具体条件,采取一些措施,以减少炉体表面的散热损失。加强蓄热室封墙的隔热与严密性,现有生产焦炉蓄热室封墙大部分没有隔热罩装置。从有些厂的试验结果看,在封墙上贴上一层适当厚度的高硅氧纤维,封墙表面温度降低20~30℃,不但可减少封墙表面的散热损失,改善操作环境,还可提高炉头火道温度。其效果是比较明显的。蓄热室封墙粘土砖的膨胀率及其温度均低于硅砖主墙,烘炉后往往产生裂缝,在生产过程中常因测温测压对测压孔产生振动,以及换向期间该部位温度变化,容易产生裂缝造成冷空气漏气加热系统,然后以热废气方式排放增加废气带走热量,特别是煤气蓄热室封墙漏入空气,将加热炉头煤气烧掉,结果使炉头温度明显下降。所以对蓄热室封墙应及时勾缝封严。装煤孔盖表面温度一般达300~400℃,不但造成大量散热损失,还使炉顶操作条

件恶化。

3.9 采用温度自动调节系统

在现有焦炉生产中,加热煤气是按体积流量供入的。煤气的成分、湿度和温度等经常变化,使煤气的热值产生波动。如鞍钢高炉煤气低热值的波动范围为 3600 ~ 4400KJ/m³,焦炉煤气为 9240 ~ 19300KJ/m³;首钢高炉煤气低热值则为 2850 ~ 3990KJ/m³。这样在控制加热煤气体积流量的情况下,实际上单位时间供入焦炉加热的总热量是变化的。而采用热值指数自动调节装置,则可保持单位时间供入焦炉加热的总热量的稳定。燃烧用空气量的自动调节装置,是在供给焦炉加热的总热量不变的条件下,保持分烟道废气中空气系数的稳定,以达到立火道煤气的合理燃烧和减少废气带走的热损失。一般条件下采用温度自动调节系统,对用混合煤气和高炉煤气加热的焦炉,可降低炼焦耗热量约 80 ~ 120KJ/kg(湿煤)。

3.10 回收余热

第一,采用汽化冷却的上升管,回收荒煤气带走的热量。

离开炭化室的荒煤气温度高达 700 ~ 800℃。现有生产的大部分焦炉为减少上升管的对外散热,改善炉顶操作环境,在上升管外壁处设置隔热罩。国内现正逐渐推广的上升管汽化冷却装置,每吨焦可发生 0.1 ~ 0.12t 约 0.5Mpa 压力的饱和蒸汽,相当于每公斤入炉煤回收余热约 270KJ,荒煤气温度可由 750℃左右降至约 450℃,上升管外表温度可降至 50℃左右。这对回收炼焦产品余热、减少冷却氨水用量、改善炉顶操作环境,都有较好的效果,但也增加维修工作。

第二,回收焦炭显热。

为了回收温度约为 1000℃的焦炭带走的显热,干法熄焦是目前一种非常有效、非常成功的方法。它可回收焦炭带走热量的 85 ~ 90%,生产一吨焦炉可产生过热温度约 300℃、1.4Mpa 压力的动力蒸汽 0.4 ~ 0.5t,相当于每公斤入炉煤回收余热 95kJ 以上。与湿法熄焦比较,干法熄焦还可提高焦炭质量和消除熄焦水汽与粉尘对环境的污染。目前干熄焦已经成为国内焦化企业尤其是钢铁企业的标准配置。

3.11 其他节能方法

除上述介绍的以外,在降低炼焦能耗、回收炼焦产品余热上,还有其他一些措施,如煤调湿、烟道废气回收等。据国外有关资料介绍,使用计算机控制焦炉加热、焦炉程序加热以及装入煤的深度干燥和煤的预热等均有一定的节能效果,但在目前情况和现有生产焦炉条件下,这些措施在工艺和技术等方面均存在一定的困难,还有待于进一步试验研究。

4 实验验证

4.1 实验设计

河北某焦化企业年产 150 万吨,原用 6.78 米顶装焦炉,热效率 62%,吨焦能耗 128kgce。为响应环保政策,改造部分焦炉为新型负压系统,配套智能燃烧与干法熄焦;对照组保持原工艺。两组原料煤配比一致,均产三级冶金焦。

4.2 结果分析

能耗与排放对比核心数据如表 1 所示。实验结果显示,在 SO₂ 和 NO_x 两项主要指标上,分别实现 80% 以上的减排率,CO₂ 排放强度降低至 0.27t/t 焦,碳足迹显著优化。

表 1: 能耗与排放对比核心数据

| 指标 | 对照组 | 实验组 |
|-----------------------------|------|------|
| 吨焦能耗 (kgce) | 127 | 95 |
| 焦炉煤气热效率 (%) | 62 | 80 |
| SO ₂ 排放 (kg/t 焦) | 0.31 | 0.06 |
| NO _x 排放 (kg/t 焦) | 0.44 | 0.11 |
| CO ₂ 排放 (t/t 焦) | 0.38 | 0.27 |

该实验验证新型炼焦工艺可使焦化厂达到《炼焦化学工业污染物排放标准》(GB16171-2012)特别排放限值 (SO₂≤50mg/m³、NO_x≤150mg/m³),同时实现 3.8 年内收回技改投资,具备大规模推广价值。

5 结论

本研究系统验证了新型炼焦工艺在焦化厂的工程应用价值,通过负压炼焦,双联火道优化及智能燃烧控制等技术革新构建覆盖装煤、炼焦、熄焦全流程的节能减排体系,工业实验表明该工艺通过密闭负压装煤实现粉尘源头捕集,依托燃烧模型动态优化降低过程能耗,验证了技术路径的科学性与工程可行性,为焦化行业绿色升级提供了可复制的解决方案。

参考文献

- [1] 于晓珊,常海霞. 浅析炼焦化工传统工艺与创新技术应用 [J]. 中国石油和化工, 2025, (02): 77-79.
- [2] 乔通. 炼焦工艺对焦炭质量影响的试验研究 [J]. 山西化工, 2024, 44 (08): 136-137+140.
- [3] 郝瑛轩,王起,关俊果,等. 基于干熄焦焦末含量分析的炼焦工艺优化与实践 [J]. 河南化工, 2024, 41 (06): 44-46.
- [4] 陈哲文,张筱松,高林,等. 新型炼焦系统性能分析 [J]. 工程热物理学报, 2016, 37 (03): 455-458.
- [5] 崔军,李秀峰. 改善炼焦工艺管理,扩大炼焦用煤范围 [J]. 山西化工, 2010, 30 (05): 42-43+54.

Research and application of oil sludge reduction treatment technology

Bingwei Zhang Zijian Zhu Tiange Wang Jinlong Xiao Bo Wang

China National Petroleum Changqing Oilfield Branch No.11 Oil Production Plant, Qingyang, Gansu, 745000, China

Abstract

Sludge is a type of oily solid waste generated during the processes of oil extraction, transportation, refining, and oily wastewater treatment. Due to its high content of petroleum substances, heavy metals, benzene compounds, and other harmful substances, improper disposal can pose serious threats to the environment and human health. This paper compares various historical methods of sludge disposal, considering the inherent physical properties of oily sludge, and focuses on pyrolysis as the core technology. By implementing four key processes, it significantly enhances the reduction rate of oil sludge and the recovery rate of crude oil, while also greatly reducing the disposal cycle and energy consumption, achieving the goals of reducing, detoxifying, resource utilization, and maximizing benefits from oily sludge.

Keywords

oily sludge, reduction, pyrolysis

含油污泥减量化处理技术研究与应用

张秉伟 朱子健 王天阁 肖金龙 王博

中国石油天然气集团公司长庆油田分公司第十一采油厂, 中国·甘肃 庆阳 745000

摘要

油泥是在石油开采、运输、炼制及含油污水处理过程中产生的含油固体废物。由于其含有大量的石油类物质、重金属、苯系物等有害物质, 如果处置不当, 会对环境和人类健康造成严重威胁。本文通过对比历来油泥处置方法, 结合污油泥本身物性特征, 以热解法为核心, 采用四项核心工艺, 卓有成效地提高了油泥减量率与原油回收率, 同时大幅缩短了处置周期并降低了能耗, 实现污油泥的减量化、无害化、资源化、效益化。

关键词

含油污泥、减量化、热解法

1 背景介绍

油泥是在石油开采、处理过程中形成的含油固态废弃物, 现已列入国家《危险废物管理名录》, 污油泥处置面临数量大、分解难、费用高、回收低、强污染、风险高、严监管等诸多难题。

1.1 污染困境

污油泥内含有大量低沸点烃类物质, 释放到大气中, 造成空气污染; 散落和堆放的含油污油泥污染地表水甚至地下水, 使水中石油烃严重超标; 污油泥内主要含有7种重金属, 造成土壤板结, 生态环境受到严重影响; 生产过程中油泥在脱水和污水处理系统中循环, 造成工况恶化, 注入水水质超标致使注入压力增大, 影响油田正常生产。【1】

1.2 管理困境

随着环保压力不断增大, 油泥有着安全隐患高、污染风险大、储存标准严苛的难点, 国家制定法律法规2部, 部门规章2部, 执行标准13部, 建立源头严防、过程监管、后果严惩的管理体系。油泥检查已成为环保检查的必查项目。2024年第十一采油厂已与物联网连接, 地方政府、上级单位实现从称重、入库、堆放、外运处置的全过程视频监督, 对油泥管理提出更高的要求。近2年以来第十一采油厂累计产生油泥**万吨, 年平均产生量为**万吨, 产生量巨大。

1.3 处置困境

油泥中含有大量的胶质、沥青质、FeS盐形成乳化剂, 造成含油污油泥性能非常稳定; 油泥外运处置费用约1150元/吨, 年平均处置费用1643万元, 处置费用高昂; 油泥中油泥中含油量为20%~50%, 含水量为30%~80%, 均当做危险废物进行处置, 造成资源严重浪费。

【作者简介】张秉伟(1992-), 男, 中国宁夏固原人, 本科, 工程师, 从事石油工程研究。

2 处置方式对比

为将油泥高效减量化,分别对比历来处置方法(压滤法、萃取法、微生物分解法以及热解法),经过成效对比,热解法具备减量率高、油水分离完全、运行周期短暂、运行成本低廉、操作简便易行的特性,符合减量化管理要求。

压滤法:①处置量小(约 15 吨/天);②运行成本高(约 600 元/吨);③处置效果差(含水约为 40%,减量率 30%)。

沉降法:①处置周期长(约 3 天/次);②油水分离不彻底无法进行原油回收;③能耗高(需加温至 200℃以上)。

微生物法:①处置周期长(约 7 天/次);②运行成本高(约 800 元/吨);③操作复杂(需专项操作人员 3 人)

热解法:①减量率高 80%-90%;②运行成本低(约 330 元/吨);③油水分离彻底

3 工艺原理

将油泥与自研药剂混合搅拌后流状物质,经过离心分解、自然沉降以及高温压滤等工序,实现原油、水、泥渣的

高效分离。根据第十一采油油泥成分现状,撬装减量化装置,由调节模块、分离模块、压滤模块、储存模块,设计处理能力为 150 吨/天,处置时间为 3-4 小时。【2】

3.1 二级压滤技术 – 提升减量率

为提升油泥减量率,采取二级处理工艺,对一级处理后含油混合液再次高温压滤,将油泥减量率从 72% 提升至 90%。

3.2 气浮技术 – 降低处置时间

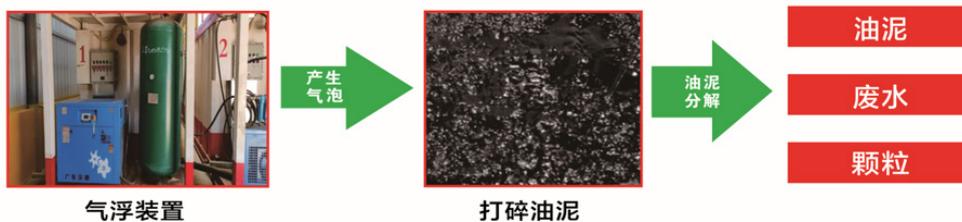
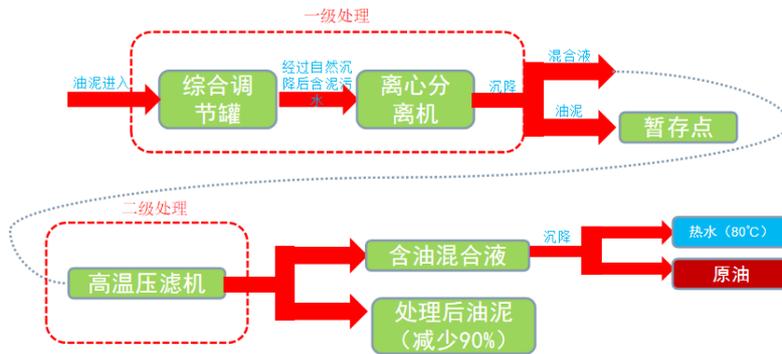
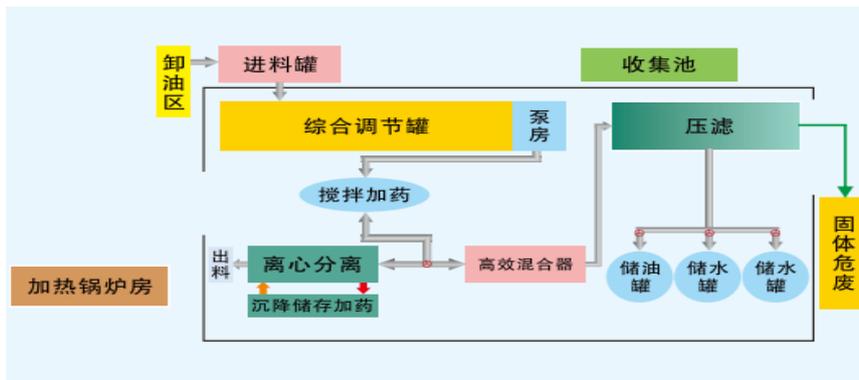
在一级处理阶段使用气浮装置产生气泡,气泡将油泥间的结合力打碎,并将油滴带至液面,快速实现油泥分离,将处置由 7 小时降低至 4 小时。

3.3 自研分离药剂 – 提升原油回收率

针对第十一采油厂产生油泥具有较高的含水量和粘性,在处理过程加入自研药剂破胶 GCMC,该药剂具有较好油水分离和破乳效果,将原油回收率由 9.94% 提升至 11.8%。【3】

3.4 蒸汽加温技术 – 降低处置时间

为降低需求能耗,对油泥采取蒸汽加温进行润化分解,相较于传统直接热解方式,降低能耗 18 倍。





蒸汽加温与常规热解成效与能耗对比

| 序号 | 常规热解 | | | 蒸汽加温 | | |
|----|------|-----|-------|------|-----|--------|
| | 需求温度 | 减量率 | 需求能量 | 需求温度 | 减量率 | 需求能量 |
| 1 | 500 | 78% | 36w焦耳 | 80 | 81% | 2.1w焦耳 |
| 2 | 520 | 81% | | 100 | 85% | |
| 3 | 550 | 86% | | 120 | 92% | |

4 结论

减量化装置将热解技术作为核心，融合运用四项核心技术，卓有成效地提高了油泥减量率与原油回收率，同时大幅缩短了处置周期并降低了能耗，达成油泥处置“四化”管理要求。

①减量化：自投运以来累计处置各类油泥 ** 吨，减量处置后为 ** 吨，综合减量率为 90.4%，尤其对含水较高油泥减量效果较好。

②资源化：坚持污油泥也是一种资源的思路，将减量处理后的原油回收系统、热水用于维护作业，泥土制作建筑材料，有效的将油泥资源化。

③无害化：始终聚焦油泥无害化处理，严把加药、离心、沉降、压滤四个关键步骤，严控运行温度、加药浓度，确保处理后的水质、原油品质，泥土含油率远高于行业要求，更

好实现油泥无害化。

④效益化：油泥减量化装置投运后，形成前端减少运行费用，中端降低处置费用，后端形成增值效应，合计节省费用 1402.9 万元，产生良好的经济效益。

参考文献

- [1] 马立军,陈彦云,鄢长灏,李建中,邓良,雷虎,林杨峰.含压裂返排液污油泥减量化处理技术研究及应用[J].应用化工, 2019, 48(S01):304-307.
- [2] 赵登飞.靖边采油厂含油污泥减量化处理技术研究与应用[C]//采油工程降本增效技术、管理及实践研讨会.;中国石油学会;;, 2017.
- [3] 叶晓明,吴云鹏,孙丽琳,等.某炼油厂固废减量化技术措施的应用[J].四川化工, 2023, 26(5):44-48.DOI:10.3969/j.issn.1672-4887.2023.05.012.

Progress in the Application of Mass Spectrometry Analysis in the Detection of Tungsten Powder Products

Yuanping Zheng Mingming Xie Bo Wang

Jinduicheng Molybdenum Group Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710077, China

Abstract

This article provides a systematic review of the advancements in the application of glow discharge mass spectrometry (GDMS) and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) in the detection of tungsten powder products from 2000 to 2024. The study shows that GDMS, using solid direct injection, can achieve full-element synchronous analysis (such as the detection of 66 trace elements by Li Baocheng et al.) and a detection limit at the ng/g level, significantly enhancing the efficiency and accuracy of impurity analysis in high-purity tungsten ingots. After optimizing parameters (such as a discharge current of 45mA and an argon gas flow rate of 0.44L/min), the relative standard deviation (RSD) can be controlled within 50%. ICP-MS technology, through innovative pre-treatment methods and anti-interference strategies, effectively overcomes multi-atomic ion interference and matrix suppression effects, achieving a detection limit of 0.03–0.45 μ g/g for 26 trace elements with a recovery rate of 88%–116%.

Keywords

Tungsten; Mass spectrometry; GDMS; ICP-MS; Tungsten powder

质谱分析法在钨粉产品检测中的应用进展

郑苑萍 谢明明 王波

金堆城钼业股份有限公司, 中国·陕西 西安 710077

摘要

本文系统综述了2000-2024年辉光放电质谱法(GDMS)和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)在钨粉产品检测中的应用进展。研究表明, GDMS应用固体直接进样, 有着全元素同步分析能力(如李宝城等实现66种痕量元素检测)和ng/g级检出限, 显著提升了高纯钨锭杂质分析的效率与准确性。优化参数后(如放电电流45mA、氩气流量0.44L/min), 其相对标准偏差(RSD)可控制在50%以内。ICP-MS技术则通过创新前处理方法和抗干扰策略, 有效克服了多原子离子干扰和基体抑制效应, 使26种痕量元素的检出限达0.03–0.45 μ g/g, 回收率达88%–116%。

关键词

钨; 质谱; GDMS; ICP-MS; 钨粉

1 引言

金属钨因具有高熔点、高硬度、耐腐蚀、耐磨和热膨胀系数小等优点而被广泛应用于制备各种合金材料^[1]。难熔金属钨由于电子迁移抗力强、高温稳定性好以及电子发射系数高等优点, 在半导体制造中被用于制备溅射薄膜材料的钨和钨合金靶材^[2]。钨溅射靶材是实现制备低电阻率钨薄膜的关键材料, 其性能在一定程度上取决于原料高纯钨粉的性质。高纯钨溅射靶材要求钨粉具有纯度高(5N)^[3]。钨粉国家标准 GB/T 3458-2006^[4]规定: 钨粉按化学成分和用途不同, 分为 FW-1、FW-2、FWP-1 三个牌号。钨粉的化学成分分析方法按 GB/T 4324 的规定进行。GB/T 4324.1 ~ 28-2012^[5]钨化学分析方法中包含 28 种分析检测方法, 涵盖火焰原子吸

收光谱法、电感耦合等离子体原子发射光谱法、脉冲加热惰气熔融-红外吸收法等多种检测方法。

电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)是一种基于电感耦合等离子体发射光谱(ICP-OES)和质谱法(MS)的综合性分析检测技术, 拥有较低检出限、高灵敏度、分析速度快、可同时检测多种金属元素等优势, 在工业样品金属元素检测方面具有广阔的应用前景^[6]。

GDMS是辉光放电质谱法(glow discharge mass spectrometry)的简称。是利用辉光放电电源作为离子源与质谱仪器联接进行质谱测定的一种分析方法。GDMS已成为无机固体材料, 尤其是高纯材料杂质成分分析的强有力方法^[7]。

本文主要对2000-2024年我国钨粉产品GDMS和ICP-MS质谱分析方法在钨粉产品检测分析中的应用进展情况进行分析。

【作者简介】郑苑萍(1984-), 女, 中国陕西大荔人, 本科, 工程师, 从事金属材料研究。

2 GDMS 在钨粉产品检测中的应用

电感耦合等离子体质谱联用技术本身属于一种实现了4级杆质谱仪快速灵敏扫描和ICP高温电离特性综合后的一同位素分析技术^[8]。

行业标准YS/T 901-2013^[9]中将试料作为阴极进行辉光放电、其表面原子被溅射而脱离试料进入辉光放电等离子体中、离子化后再被导入质谱仪中进行测定。在每一元素同位素质量数处以预设的扫描点数和积分时间对相应谱峰积分、所得面积即为谱峰强度。在缺少标准样品时、计算机根据仪器软件中的“典型相对灵敏度因子”自动计算出各元素的质量分数;有标准样品时、则需要通过在与被测样品相同的分析条件、离子源结构以及测试条件下对标准样品进行独立测定获得相对灵敏度因子、应用该相对灵敏度因子计算出各元素的质量分数。

余琼、翟宇鑫等^[10]通过优化辉光放电工艺参数、选择合适的同位素及分辨率,建立了辉光放电质谱法(GDMS)测定高纯钨中10种痕量杂质元素的分析方法。优化后的放电条件为:放电电流3.0 mA、放电气体流量500 mL/min、预溅射时间20 min。为提高痕量杂质元素的检测准确度,利用高纯钨标准样品对10种元素的相对灵敏度因子(RSF)进行了校正,获得了与基体匹配的RSF。方法中10种元素的检出限为0.005~0.019 $\mu\text{g/g}$ 、定量限为0.017~0.064 $\mu\text{g/g}$ 。按照实验方法测定高纯钨中10种杂质元素,并用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)的测定结果作为比较以验证准确性。结果表明:样品中杂质元素的含量为0.027~155.07 $\mu\text{g/g}$ 、质量分数小于100 $\mu\text{g/g}$ 的杂质元素,其结果相对标准偏差(RSD、n=6)均小于30%;质量分数大于100 $\mu\text{g/g}$ 的杂质元素,其结果RSD(n=6)小于10%。除Mg、Sn、Pb低于ICP-MS的检出限外,其余各杂质元素的测试结果与ICP-MS结果基本一致。

汤云腾、张其凯等^[11]采用辉光放电质谱法直接测定钨钼合金中的杂质元素。对放电电流、气体流量和预溅射时间等条件进行优化、用仪器内置的标准相对灵敏度因子(RSFstd)进行半定量分析。同时用已定值的钨钼合金作为标样校正仪器、获得校正后的相对灵敏度因子(RSFWTi)、再应用于定量分析。结果表明、未校正测量值与参考值比值在0.5~1.6之间、相对标准偏差(RSDs)小于5%、满足半定量分析要求。经RSFWTi校正的测量值与电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测得的结果比较、相对偏差(RD)小于20%、该方法适用于合金中杂质元素定量分析。

李宝城、刘英等^[12]采用辉光放电质谱法(GD-MS)同时测定了高纯钨锭中66种痕量杂质元素。主要杂质元素(K、Ba等)的测定值与电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)定量分析结果经F检验和T检验均验证在显著性水平为10%时、两者无显著性差异。试验表明GD-MS法对高纯钨锭的无标准样品的快速分析有较高的准确度。与ICP-MS法相比、GD-MS能直接分析固体样品、并具有分析元素多、测定范

围广、检测限低、分析速度快等众多优点、已被公认为是最佳的高纯金属痕量杂质元素分析方法之一。对于高纯钨、选定的仪器工作条件为:放电电流:45mA、放电气体流量:0.44L/min。GD-MS法对于以上三种高纯金属中的大多数杂质元素的检出限可以达到ng/g量级、测定值在0.005 $\mu\text{g/g}$ ~127.3 $\mu\text{g/g}$ 之间、相对标准偏差能保证在50%以内、能够满足高纯金属钨样品的分析测试需要^[13]。

3 ICP-MS 在钨粉产品检测中的应用

吴辛友、章坚等^[14]研究了99.999%高纯钨粉中15个痕量杂质元素的分析检测方法、对电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)仪器工作参数进行优化、研究了基体效应、介质影响、并采用内标法、标准加入法消除基体效应、直接测定高纯钨粉中15个待测痕量元素、取得较好的效果。V、Ni、Co、Mn、As、Sb、Bi、Ag、Cu等多种元素检测范围达到0.10~1.0kg。

张璇等^[15]采用单四极杆ICP-MS法测定高纯钨中Nb、Re和高纯钨中Ta、Pt、Au时、各元素受到基体的复合离子、双电荷离子质谱干扰、需要采用一些手段消除干扰、以实现受干扰元素的准确测定。本文探索了基体分离的方法、优化选择了各项实验条件、建立了基体分离-ICP-MS测定高纯钨中、高纯钨中痕量杂质元素的检测方法。采用钨酸铅沉淀法分离钨基体、主要研究了溶样试剂、沉淀剂用量、酸度、沉淀温度、加热时间、内标元素等实验条件、优化后的条件为:采用硝酸-氢氟酸混酸溶样、沉淀温度为95℃、滴加2.7 mL·10 mg/mL醋酸铅溶液并持续加热5min、整个分离周期约10 min;选择以Cs作为内标进行测定。建立的方法简单快速、测定溶液中钨残留量低于1 $\mu\text{g/mL}$ 、Nb和Re的定量限分别为0.023 $\mu\text{g/g}$ 和0.12 $\mu\text{g/g}$ 、加标回收率在94%~108%之间、加标样品平行测定5次的RSD在0.7%~6.7%之间。采用氢氧化钨沉淀法分离钨基体、主要研究了氢氟酸用量、酸度、静置时间等实验条件、优化后的条件为:5 mL硝酸和1.25 mL氢氟酸混酸溶样、滴加1.0 mL氨水(1+1)、静置10 min;整个分离周期约20 min、测定溶液中钨残留量低于5 $\mu\text{g/mL}$ 、Pt的定量限为0.24 $\mu\text{g/g}$ 、加标回收率为102%、RSD为4.8%。采用离子交换法分离钨基体、主要研究了进样量、上柱(淋洗)酸度、淋洗流速、洗脱液浓度、洗脱流速等实验条件、优化后的条件为:上柱(淋洗)溶液为10%(V/V)HNO₃-5%(V/V)HF溶液、淋洗流速为1 mL/min、Ta洗脱液为10 mL 2 mol/L NH₄Cl-2 mol/L NH₄F溶液、Pt、Au洗脱液为20 mL 60 g/L 硫脲热溶液、洗脱流速为2 mL/min、进样量为10 mg、整个分离周期约为50 min;Ta洗脱液中钨残留量低于5 $\mu\text{g/mL}$ 、Pt、Au洗脱液中的低于0.5 $\mu\text{g/mL}$ 、Ta、Pt、Au的定量限分别为0.85 $\mu\text{g/g}$ 、0.72 $\mu\text{g/g}$ 和1.1 $\mu\text{g/g}$ 、加标回收率在82%~109%之间、加标样品平行测定5次的RSD在2.6%~13%之间。

李明、蔡玉曼等^[16]建立了用氧化镁烧结分解-水提取、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定钨矿石、钼矿石中

铷的方法。测定范围为 0.05 ~ 300 $\mu\text{g/g}$ 、检出限为 0.005 $\mu\text{g/g}$ 。黄冬根, 廖世军等^[17]用 ICP-MS 法同时测定钨精矿中 Sn, P, Ca, Nb, Ta, Mo, Cu, Pb, Zn, As, Mn, Bi, Fe, Sb 14 种杂质元素含量。钨精矿试样经 NaOH-Na₂O₂ 碱熔后, 加入硝酸, 钨以钨酸的形式从溶液中沉淀而分离, 消除了钨基体的干扰。在样品溶液中加入内标元素 45Sc, 115In, 205Tl, 采用内标法进行校正, 有效克服了基体效应、接口效应及仪器波动所产生的影响; 通过优化仪器工作参数, 选择适当待测元素的同位素, 有效地克服了因质谱干扰所带来的影响。该方法加标回收率为 90.5% ~ 101.5%, 相对标准偏差为 1.2% ~ 7.8%, 分析结果与国家标准方法结果相吻合, 具有快速、简便、准确等特点, 可用于钨精矿及钨产品中杂质元素分析。

雷天宇^[18]采用了激光剥蚀电感耦合等离子体质谱 (LA-ICP-MS) 法测定纯钛样品中的痕量元素。实验中优化了仪器工作条件: 激光能量为 85%、激光脉冲频率为 20Hz、激光剥蚀孔径为 150 μm 、测定纯钛时的激光扫描速率为 40 $\mu\text{m/s}$ 、纯钨为 60 $\mu\text{m/s}$ 、测定纯钛的氦气流量为 650 L/min、纯钨为 700 L/min。通过采集激光未剥蚀时的载气空白信号值计算出的各元素的检出限可以达到 10⁻⁸ ~ 10⁻⁹ 量级、满足纯钛的样品的分析测试需求。钛样品中各元素的含量值为 0.10 $\mu\text{g/g}$ ~13 $\mu\text{g/g}$ 、相对标准偏差为 8.2%~56%。杂质元素总含量为 61 $\mu\text{g/g}$ 、采用差减法求出纯钛样品的纯度为 99.994%; 钨样品中各元素的含量值为 0.071 $\mu\text{g/g}$ ~12 $\mu\text{g/g}$ 、相对标准偏差为 6.9%~63%。杂质元素总含量为 41 $\mu\text{g/g}$ 、采用差减法求出纯钨样品的纯度为 99.996%。

张颖、熊静等^[19]采用电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 测定高纯钨中 26 种痕量杂质元素、讨论了溶样方式、研究了质谱干扰和钨基体效应、应用屏蔽炬技术消除 56Ar⁺ 等多原子离子对 Fe、Ca、K 等元素的干扰、采用在线样品标准加入法消除基体效应。各元素的方法检出限 (15 σ) 为 0.03 ~ 0.45 $\mu\text{g/g}$ 、对样品加标 0.5 $\mu\text{g/g}$ 的回收率在 88%~116% 之间。方法适用于纯度为 99.999% 的高纯钨中痕量杂质元素的测定。

钟道国、潘建忠等^[20]采用 ICP-MS 直接测定纯钨制品中 19 种杂质元素的新方法。对测定中的试液酸度、质谱干扰和基体效应进行了详细考查。采用 In 作内标和标准加入法、可有效地补偿钨基体的抑制效应。方法的检出限范围在 0.01 ~ 0.05 ng/mL; 相对标准偏差 (RSD)<10%; 标准加入回收率 95% ~ 108% 之间。解决了国家标准《钨化学分析方法》(GB4324-84) 存在的测定方法众多、预处理流程长、手续繁杂、要做齐所有元素须花费大量的人力、物力和时间的不足。并且本方法测定下限更低、测定范围更宽。该项目提交了试验报告并对检测方法进行了确定、其检测下限及测定范围等技术指标优于 GB4324-1984。

黄冬根、廖世军等^[21]采用电感耦合等离子质谱技术、研究了钨精矿中 Sn、P、Ca、Nb、Ta、Mo、Cu、Pb、Zn、

As、Mn、Bi、Fe、Sb 14 种杂质元素含量的质谱分析方法。钨精矿样经 NaOH-Na₂O₂ 碱熔后、加入硝酸、钨以钨酸的形式从溶液中沉淀而分离、消除了钨基体的干扰。在试样溶液中加入内标元素 Sc、In、Tl、采用内标法进行校正、有效克服了基体效应、接口效应及仪器波动所产生的影响; 通过优化仪器工作参数、选择适当的待测元素的同位素、有效地克服了因质谱干扰所带来的影响。方法的加标回收率为 90.5% ~ 101.5%、相对标准偏差为 1.2% ~ 7.8%、分析结果与按国家标准方法分析的结果相吻合、且具有快速、简便、准确等特点、可用于钨精矿及钨产品中杂质元素含量分析。

邓必阳, 张展霞等^[22]报道了高纯氧化钨中铅、铋、镍、锰等微量杂质的电感耦合等离子体质谱测定方法。选择了仪器最佳操作参数, 考察了质谱干扰和基体效应, 选用标准加入法可克服基体效应。方法不经分离富集, 各元素测量值与标准值相吻合, 相对误差小于 5%, 方法快速、准确。

4 展望

未来, GDMS (辉光放电质谱法) 在高纯金属分析中的应用非常广泛, 高纯钨产品中杂质元素分析越来越多地采用 GDMS 分析。GDMS 通过固体直接进样方式, 无需对样品进行复杂的预处理, 大大简化了分析流程, 提高了分析效率。此外, GDMS 能够实现无标样定量, 降低了分析成本, 并且能够全元素同时分析, 无论是主要元素还是痕量元素, 都能够一次性得到准确的分析结果。作为准确测定的湿法分析检测, ICP-MS 在高纯金属分析中也将作为主流检测分析测试手段应用于高纯金属材料分析, ICP-MS 可以分析钨金属中的多种痕量元素, 实现多元素同步测定。

参考文献

- [1] 刘柏雄, 魏民国, 赵文敏. 钨粉制备及其对钨合金性能影响的研究进展[J]. 江西冶金, 2024, 44 (01): 1-10.
- [2] 顾晓倩, 滕海涛, 曲鹏, 丁照崇, 贾倩, 吕保国. 微纳钨粉制备方法研究评述[J]. 稀有金属, 2023, 47 (10): 1427-1436.
- [3] 顾晓倩. 高纯钨粉纳米化制备工艺及机理研究[D]. 导师: 吕保国. 北京有色金属研究总院, 2021.
- [4] GB/T 3458-2006, 钨粉[S].
- [5] GB/T 4324.1 ~ 28-2012, 钨化学分析方法[S].
- [6] 王宾, 刘毅, 左芳, 陈莉莉, 杨云霞, 郭倩, 温锦荣, 门靖. ICP-MS 在工业领域金属元素检测中的应用研究进展[J]. 化工与医药工程, 2024, 45 (01): 76-81.
- [7] Glow Discharge Mass Spectrometry (GDMS). eaglabs [引用日期2012-09-14]
- [8] 赵兰涛. 电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS) 联用技术的应用[J]. 化学工程与装备, 2022, (06): 226-227+233.
- [9] YS/T 901-2013, 高纯钨化学分析方法 痕量杂质元素的测定 辉光放电质谱法[S].
- [10] 余琼, 翟宇鑫, 连危浩, 马兰, 李爽, 李明利. 辉光放电质谱法测定高纯钨中10种杂质元素[J]. 冶金分析, 2022, 42 (11): 8-14.

The digital implementation path of the dual prevention mechanism for hazardous chemical enterprises

Shaojun He

PetroChina Urumqi Petrochemical Company, Urumqi, Xinjiang, 830019, China

Abstract

With the rapid development of science and technology, digital transformation has become a key driving force for various industries to improve their competitiveness and management level. In the field of hazardous chemical enterprises, safe production is very important, and the digital implementation of the dual prevention mechanism, as an important means to ensure safe production, has significant necessity and urgency. This paper deeply analyzes the current situation of safety production in hazardous chemical enterprises, expounds the importance of the digitalization of the dual prevention mechanism, and comprehensively discusses its digital implementation path from the aspects of building a scientific work promotion mechanism, improving the safety risk classification control and hidden danger investigation and management system, building an online and offline integrated information system, and establishing an effective incentive and restraint mechanism, aiming to provide a useful reference for hazardous chemicals enterprises to improve the level of safety production management.

Keywords

hazardous chemical enterprises; dual prevention mechanisms; Digitization; Implementation path

危险化学品企业双重预防机制数字化实施路径

何绍军

中国石油乌鲁木齐石化公司, 中国·新疆 乌鲁木齐 830019

摘要

随着科技的飞速发展,数字化转型已成为各行业提升竞争力和管理水平的关键驱动力。在危险化学品企业领域,安全生产至关重要,双重预防机制作为保障安全生产的重要手段,其数字化实施具有显著的必要性和紧迫性。本文深入剖析危险化学品企业安全生产现状,阐述双重预防机制数字化的重要意义,并从构建科学工作推进机制、完善安全风险分级管控与隐患排查治理体系、打造线上线下融合信息化系统以及建立有效激励约束机制等方面,全面探讨其数字化实施路径,旨在为危险化学品企业提升安全生产管理水平提供有益参考。

关键词

危险化学品企业; 双重预防机制; 数字化; 实施路径

1 引言

危险化学品企业由于其生产经营过程中涉及大量危险化学品,具有易燃易爆、有毒有害等特性,一旦发生安全事故,往往会造成严重的人员伤亡、财产损失和环境污染。近年来,尽管我国在危险化学品企业安全生产监管方面不断加强力度,出台了一系列法律法规和政策措施,但安全事故仍时有发生,安全生产形势依然严峻。传统的安全管理模式在面对复杂多变的安全风险时,逐渐暴露出信息传递不及时、风险识别不全面、隐患排查治理效率低等问题。在此背景下,双重预防机制应运而生,它通过对安全风险进行分级管控,

从源头上预防事故的发生,同时加强隐患排查治理,及时消除潜在的安全隐患。而将数字化技术引入双重预防机制,能够充分利用其高效的数据处理能力、实时的信息传输优势和精准的分析预测功能,打破传统管理模式的局限,为危险化学品企业安全生产提供更有力的保障。

2 危险化学品企业安全生产现状及双重预防机制数字化的必要性

2.1 危险化学品企业安全生产现状

当前,危险化学品企业在生产、储存、运输、使用等各个环节都面临着诸多安全风险。一方面,危险化学品本身的特殊性质决定了其在生产过程中极易受到温度、压力、湿度等环境因素的影响,稍有不慎就可能引发事故。例如,某些化学品在高温环境下可能发生分解、爆炸等反应。另一方面,企业在安全管理方面还存在一些薄弱环节,如安全管理

【作者简介】何绍军(1969-),男,中国新疆克拉玛依人,本科,工程师,从事危险化学品安全管理,化工安全技术研究,安全劳保技术研究。

制度不完善、安全培训不到位、安全设施设备老化等。部分企业虽然制定了安全管理制度,但在实际执行过程中往往打折扣,未能真正将制度落实到每一个生产环节^[1]。此外,随着企业规模的不断扩大和生产工艺的日益复杂,安全风险的种类和数量也在不断增加,给企业的安全生产管理带来了更大的挑战。

2.2 传统安全管理模式的局限性

传统的安全管理模式主要依赖人工巡查、经验判断和纸质记录等方式。在隐患排查方面,人工巡查受限于人员的专业知识和工作态度,可能无法及时发现一些隐蔽性较强的安全隐患。而且,人工记录容易出现遗漏、错误等情况,导致隐患信息的准确性和完整性难以保证^[2]。在风险管控方面,由于缺乏有效的数据支持和科学的分析方法,往往只能对一些常见的、明显的风险进行管控,对于潜在的、深层次的风险难以做到全面识别和有效应对。此外,传统管理模式下信息传递不及时,各部门之间信息共享不畅,导致安全管理工作效率低下,无法及时对安全风险做出响应。

2.3 双重预防机制数字化的重要意义

双重预防机制数字化能够实现对安全风险和隐患的实时监测、动态评估和精准管控。通过数字化技术,企业可以将各类安全数据进行整合分析,快速准确地识别出安全风险点,并根据风险的严重程度制定相应的管控措施。同时,在隐患排查治理方面,利用移动终端、传感器等设备,能够实现隐患信息的实时上传和跟踪处理,大大提高了隐患排查治理的效率和效果。此外,数字化的双重预防机制还可以为企业的安全决策提供科学依据,通过对历史数据的分析和挖掘,预测安全事故的发生趋势,提前采取预防措施,降低事故发生概率。从宏观层面来看,双重预防机制数字化有助于提升整个危险化学品行业的安全生产水平,促进产业的可持续发展^[3]。

3 危险化学品企业双重预防机制数字化实施路径

3.1 构建科学完善的工作推进机制

企业应基于自身生产规模、工艺特点与安全管理现状,严格对照应急管理部《危险化学品企业双重预防机制数字化建设工作指南(试行)》等标准,制定双重预防机制数字化建设实施方案。方案需明确建设目标、实施步骤、责任分工及时间节点,确保建设工作有序推进,如分阶段完成风险辨识评估、系统选型对接和全员培训等核心任务。成立由企业主要负责人牵头的建设领导小组,统筹协调资金投入、技术难题及部门协作等关键问题。明确各部门职责,建立部门间沟通协调机制,如安全管理部门负责制度制定与风险管控,信息技术部门负责系统建设维护,生产部门提供数据并配合排查,形成协同工作合力。同时,建立评估机制,定期对方案执行、部门成效、系统运行及数据质量进行评估,针对进

度滞后、系统缺陷等问题及时调整优化,保障建设工作高效推进^[4]。

3.2 完善安全风险分级管控和隐患排查治理体系

组织专业人员运用工作危害分析法(JHA)、安全检查表分析法(SCL)等科学方法,全面辨识企业生产经营各环节、岗位的安全风险,覆盖生产工艺、设备设施、作业环境及人员操作等方面。采用风险矩阵法等工具评估风险,依据事故可能性与后果严重性,划分重大、较大、一般和低风险四个等级,形成详细的安全风险分级管控清单。针对不同等级风险,制定涵盖工程技术、管理、培训教育、个体防护和应急处置的多元管控措施,如对重大风险专人负责、高频检查。依据风险管控清单制定隐患排查任务清单,明确排查内容、标准、周期和责任人,排查风险管控落实、设备运行及人员操作情况,按风险等级合理设置排查频次,确保隐患排查工作责任明确、落实到位,排查结果及时录入数字化系统。

3.3 打造线上线下融合的信息化系统

企业可根据自身实际情况,选择适合的双重预防机制信息化平台。目前,市场上有多种类型的信息化平台可供选择,包括自主开发的平台、第三方专业平台以及应急管理部化学品登记中心开发的统一平台等。在选择平台时,应综合考虑平台的功能完整性、稳定性、易用性、可扩展性以及成本等因素。平台应具备安全风险分级管控、隐患排查治理、数据分析统计、预警提醒、移动应用等基本功能。例如,能够实现风险信息的实时录入和更新,根据风险等级自动生成隐患排查任务并推送给相关责任人,对隐患排查数据进行统计分析,及时发现安全管理中的薄弱环节,并通过短信、弹窗等方式向管理人员发送预警信息^[5]。同时,平台应支持移动终端操作,方便员工在现场进行隐患排查和信息上传。利用传感器、智能仪表、移动终端等设备,实现安全数据的实时采集。例如,通过在关键设备设施上安装传感器,实时采集设备的运行参数,如温度、压力、流量等;员工在进行隐患排查时,利用移动终端扫描设备设施上的二维码,即可获取相关信息,并将发现的隐患信息实时上传至信息化系统。建立稳定可靠的数据传输网络,确保采集到的数据能够及时、准确地传输到信息化平台。数据传输应采用加密技术,保障数据的安全性和完整性。同时,要对数据进行清洗和预处理,去除无效数据和错误数据,提高数据质量,为后续的数据分析和应用提供可靠支持。将双重预防机制信息化系统与企业现有的其他管理系统,如安全生产管理系统、设备管理系统、人员管理系统等进行集成,实现数据的共享和交互。通过系统集成,能够避免数据的重复录入,提高工作效率,同时也便于从多个维度对企业的安全生产状况进行综合分析。例如,在隐患排查治理过程中,信息化系统可以自动从设备管理系统中获取设备的维修记录和保养情况,从人员管理系统中获取排查人员的资质信息,为隐患排查和风险评估提供更全面的依据^[6]。

4 建立奖惩分明的激励约束机制

4.1 制定明确的考核标准

企业应制定详细的双重预防机制数字化建设考核标准,明确考核内容、考核方式、考核指标及评分标准等。考核内容应涵盖安全风险辨识与评估的准确性、风险管控措施的落实情况、隐患排查治理的及时性和有效性、信息化系统的使用情况、员工的参与度等方面。考核方式可采用定期检查与不定期抽查相结合、线上考核与线下考核相结合的方式。考核指标应具有可量化性,便于准确评估工作成效。例如,将安全风险分析完成率、排查任务完成率、隐患整改率、信息化系统数据录入准确率等作为考核指标,并设定相应的目标值。根据各项考核指标的完成情况进行评分,将考核结果分为优秀、良好、合格、不合格四个等级^[7]。

4.2 实施有效的奖励措施

对于在双重预防机制数字化建设工作中表现优秀的部门和个人,企业应给予相应的奖励。奖励方式可以包括物质奖励和精神奖励。物质奖励可设立专项奖金,根据考核结果对表现突出的部门和人员进行奖励;也可以给予奖品、晋升机会、培训机会等。精神奖励方面,可通过表彰大会、内部通报表扬、颁发荣誉证书等方式,对优秀部门和个人进行公开表彰,增强其荣誉感和责任感。例如,对于在隐患排查治理工作中及时发现并消除重大安全隐患的员工,给予一次性奖金奖励,并在企业内部进行通报表扬;对于安全风险分级管控工作做得好的部门,给予该部门一定的培训经费,用于提升员工的安全生产水平。通过有效的奖励措施,激发员工参与双重预防机制数字化建设的积极性和主动性^[8]。

4.3 落实严格的惩罚机制

对于在双重预防机制数字化建设工作中敷衍了事、工作不力的部门和个人,要实施严格的惩罚机制^[9]。惩罚措施可包括警告、罚款、扣减绩效奖金、降职等。对于因工作失误导致安全事故发生的,要依法依规追究相关责任人的责任。例如,如果发现某个部门未按照规定的时间和要求完成隐患排查任务,对该部门进行警告,并扣减一定比例的绩效奖金;如果员工在使用信息化系统时故意录入虚假数据,给予罚款和警告处分。通过严格的惩罚机制,促使员工认真履行职责,确保双重预防机制数字化建设工作的顺利开展^[10]。

5 结论

危险化学品企业双重预防机制数字化建设是提升企业安全生产管理水平、保障企业可持续发展的必然选择。通过构建科学完善的工作推进机制,能够确保数字化建设工作有序开展,完善安全风险分级管控和隐患排查治理体系,为安全生产提供坚实的基础;打造线上线下融合的信息化系统,实现安全管理的高效化和智能化;建立奖惩分明的激励约束机制,充分调动员工的积极性和主动性。在实施过程中,企业应结合自身实际情况,因地制宜地采取相应措施,不断优化和完善双重预防机制数字化建设工作。同时,政府部门也应加强对危险化学品企业的指导和监管,推动双重预防机制数字化建设在全行业的广泛应用,共同提升危险化学品行业的安全生产整体水平,为经济社会的稳定发展创造良好的安全环境。

参考文献

- [1] 张源,厉建祥,王浩,等.危化品企业双防机制数字化建设运行效果评估模型构建[J].安全、健康和环境,2025,25(01):59-65.
- [2] 徐杨,张源,王昭华.数字化系统在危化品企业双重预防机制建设中的应用[J].石化技术,2024,31(03):290-292.
- [3] 王浩,孙青松,厉建祥,等.危险化学品企业双重预防机制数字化建设研究[J].安全、健康和环境,2024,24(03):21-26.
- [4] 孙心,姜兴剑,马光显.危险化学品企业双重预防机制建设现状问题剖析及优化建议[J].石化技术,2023,30(12):221-223+150.
- [5] 马旭.双重预防机制信息化系统在危险化学品企业安全管理中的应用[J].化工设计通讯,2023,49(07):136-138.
- [6] 夏立伟.危险化学品企业双重预防机制建设的思考[J].石化技术,2023,30(02):182-184+148.
- [7] 方联殷.危险化学品企业双重预防机制数字化建设[J].化工管理,2023,(05):72-75. DOI:10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2023.05.022.
- [8] 杨瑞霞,杨倩,徐小峰.危险化学品企业风险点管理模型研究[J].广州化工,2022,50(12):249-253.
- [9] 肖来朋,郑小荣.用好双重预防机制防范化解安全风险[N].中国应急管理报,2022-05-27(004). DOI:10.28046/n.cnki.ncaqs.2022.001650.
- [10] 应急管理部有序推进危险化学品企业安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制建设试点工作[J].安全与健康,2021,(09):9.

Common influencing factors and control strategies of food veterinary drug residue detection accuracy

Guannan Xu

Wuhan Huace Testing Technology Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430205, China

Abstract

Veterinary drugs are widely used in animal production. However, the issue of veterinary drug residues poses a significant threat to food safety and can cause long-term health risks to humans and environmental damage. Therefore, it is crucial to conduct appropriate testing for veterinary drug residues in food. However, in practice, factors such as inadequate sample collection and improper pre-treatment can lead to insufficient test accuracy, failing to provide essential evidence for relevant work. Relevant testing departments should adopt appropriate control strategies, improve standardization, enhance personnel training, and clarify key points in each testing process to improve test accuracy. This study provides a brief overview of food veterinary drug residue testing technology, analyzes common influencing factors, and proposes several effective control strategies for reference by relevant personnel

Keywords

food; veterinary drug residue; detection accuracy

食品兽药残留检测准确度的常见影响因素与管控策略

徐冠楠

武汉市华测检测技术有限公司, 中国·湖北 武汉 430205

摘要

兽药在动物生产中的应用十分广泛,然而兽药残留问题成为食品安全的重要隐患,会对人体健康造成长期危害,影响生态环境。因此针对食品的兽药残留问题采取恰当的检测工作,尤为关键。不过在具体应用中还存在一些影响因素,样品采集不到位、前处理不当等,导致检测准确度不足,无法为相关工作提供重要依据。相关检测部门要采取适当的管控策略,完善规范建设,加强人员培训,明确检测各流程的要点,从而提高检测的准确度。开展本文的研究工作,简单概述食品兽药残留检测技术,分析常见的影响因素,提出几点有效的管控策略,以供相关人员参考。

关键词

食品; 兽药残留; 检测准确度

1 引言

近些年,我国食品安全事故时有发生,其中一些事故是由动物性食品中兽药残留超标或者违规使用禁药所导致的,因此针对食品兽药残留的检测工作尤为关键。在具体的检测工作中,受到检测技术、检测人员和管控措施等方面的影响,导致效果不佳。因此相关部门要提高重视分析影响因素,加强管理建设,提高检测的准确度,可以为食品安全管理提供更加可靠的依据,减少食品安全事故的发生。

2 食品兽药残留检测技术分析

2.1 免疫分析技术

免疫分析技术是基于抗原与抗体特异性识别原理的一

项快速检测技术,主要包括酶联免疫吸附测定、免疫荧光法和免疫磁性粒子法。酶联免疫吸附测定是一种最常用的免疫分析技术,主要是通过酶促反应产生的颜色变化来定性或者定量检测目标物质。该方法灵敏度高、特异性强、重复性好,因此在农兽药残留检测中应用十分广泛。免疫荧光法是利用荧光标记的抗体和样品中的抗原结合,通过检测荧光信号确定目标物的含量。免疫磁性粒子法是将抗体固定在磁性纳米颗粒表面,利用磁场可以快速分离和富集目标物质,显著提升检测的效率和灵敏度^[1]。

2.2 色谱质谱联用技术

色谱质谱联用技术的应用也十分广泛,先使用色谱技术有效分离样品基质中的目标兽药和干扰物质,然后使用质谱技术对目标物进行定性定量分析。该方法已具有高灵敏性和高选择性。两种方法同时检测数10种,甚至上百种农兽药残留物。高分辨质谱的出现,使得兽药残留检测准确度进一步提升。不过该方法也存在专业性强、仪器昂贵等缺点,

【作者简介】徐冠楠(1997-),男,中国湖北武汉人,本科,初级,从事理化检验研究。

在快速筛查和现场检测的应用中受限。



图1 色谱质谱联用技术的应用

2.3 光谱分析技术

光谱分析技术有着独特的分子结构表征能力，因此在兽药残留快速检测中的应用广泛，主要包括拉曼光谱、荧光光谱和近红外光谱技术，电磁辐射与物质相互作用时，产生能量转化和光学响应。光谱技术则通过分析特征光谱信号快速检测目标物。拉曼光谱技术基于分子振动和转动能级变化引起的散射光谱，应用纳米材料，增强拉曼信号扩展检测范围^[1]。该技术对水分子干扰并不敏感，因此可以应用于水溶液体系的检测中。荧光光谱分析技术主要利用分子的荧光发射特性进行检测。在具体应用中可以选择应用新型荧光材料，提高检测的稳定性和准确性。近红外光谱技术的样品预处理比较简单，可以实现无损检测。现阶段开发了便携式近红外光谱仪，可以应用于现场快速检测中。

2.4 生物传感器分析技术

生物传感器技术是一种新兴的技术主要借助于生物分子的特异性识别功能，可以将生物分子固定在电化学、光学、声学等传感器的表面。然后与兽药残留分子相结合，传感器的信号发生变化，然后开展快速灵敏的检测。该方法以生物活性物质，例如抗体、酶、核酸等作为识别原件。该方法快速、实时、灵敏，在短时间内可以得到结果，因此应用于现场及时检测中。传感器的便携性强、体积小、操作简单，有着一定的应用优势。但与此同时也会受温度、pH值等环境因素的影响，导致生物元件的稳定性有限，检测范围比较窄。

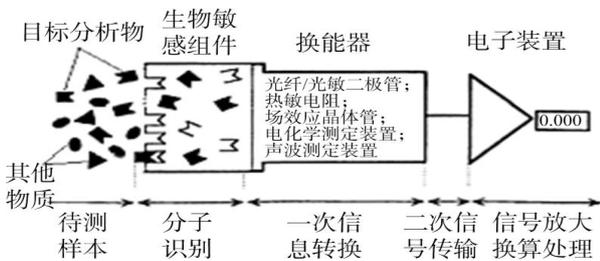


图2 生物传感器原理

3 食品兽药残留检测准确度的常见影响因素

3.1 检测范围有限和灵敏度不高

现阶段针对食品兽药残留检测工作开发了各类的技术，

不过在具体应用中，一些技术的检测范围有限，灵敏度不高，从而影响到检测的准确度。现阶段我国畜禽养殖过程中使用的兽药品种不断增多，包含了常规的抗生素、激素类、抗炎类、抗寄生虫类药物等^[1]。这些药物进入动物体内，通过代谢转化，形成了十分复杂多样的残留物，因此阻碍了现阶段的检测工作。现有的一些检测方法主要针对几种常用的药物，而针对新型药物和违禁药物缺乏系统性的研究，因此也缺乏针对合理的检测技术，检测范围有限，受到多重残留物影响，导致整体的灵敏度和准确度不高。在食品安全检测工作中，难以及时发现其中的低质量浓度的兽药残留，这埋下了一定的安全隐患。

3.2 检测人员素养参差不齐

检测人员在兽药残留检测工作中发挥重要的作用。工作人员的素养参差不齐，也会导致检测准确度不高。在具体的操作过程中，检测人员出现人为操作失误的情况，可能会影响到整体质量。例如样品混合不均匀、温度控制不到位，导致结果重现性差。在应用一些先进检测技术时，涉及的环节比较复杂，如果人员缺乏相关的专业培训，无法熟练地掌握技术，明确其中的规范。可能人为操作失误会导致最终结果出现较大的偏差。

3.3 检测质量管控不到位

检测质量管控工作中缺乏完善的规章制度，对流程和各环节的管控不到位，因此会影响检测的准确度。一些基层检测机构在样品采集运输存储以及前处理环节操作不到位又缺乏完善的管控措施，导致前期准备的质量不佳。在各环节检测的关键质控点不明确，相关措施落实不到位，过程监督和结果核查机制不完善，因此导致检测数据的可靠性降低。

3.4 样品采集与保存不当

采样环节工作人员并没有按照标准随机采样，因此代表性不足结果无法反映整体残留水平。样品储存环节温度过高，时间过长或者运输过程中振动污染，会导致兽药降解或者发生化学反应，因此干扰到检测的准确度。

3.5 样品前处理不佳

样品前处理环节尤为关键，然而在这一阶段也存在一些影响因素。首先提取效率不足。提取溶剂选择不当、用量不足或者时间温度不够，导致残留未完全释放，检测结果会出现假阴性。其次，净化过程会受到干扰，例如净化柱选择不当操作失误，导致目标物损失或者杂质并没有有效去除，引入基质干扰^[4]。仪器检测信号受干扰，出现定量偏差，导致结果并不准确。

4 食品兽药残留检测准确度的管控措施

4.1 开发灵敏度高的技术方法

加强技术研发，优化检测方法，从而提高食品兽药残留检测的准确度。相关科研机构、企业等应当加强对高灵敏

度、高通量检测方法的研究工作。分析现阶段检测技术的不足之处,通过优化技术弥补缺点,从而提高检测的灵敏度。技术人员分析基层和现场的检测要求,开发便携式快速检测技术。扩大检测范围,消除环境等的影响因素,从而高效应用于兽药残留检测工作中,提高检测的准确度,为食品监管提供依据。

4.2 加强人员培养

检测人员的素养关系到检测的整体质量,因此相关部门还需要加强对检测人员的培训工作。首先注重人才的引进,做好岗前培训,确保检测人员具备岗位所具备的各项知识技能水平。其次定期开展培训工作,结合行业的发展特点和更新的技术标准,制定合适的培训计划,督促检测人员加强学习,明确新技术新方法的应用。工作人员了解检测标准和管理要求的更新情况,能够应用新技术新知识开展各项工作,消除人为因素的影响,提高检测的准确性。此外,相关机构也可以通过加强学习互访交流,推广优秀实验室的先进做法和成功经验。为检测人员提供参与国际交流与合作的机会,不断地开阔视野,提高综合素养,打造一支高素质的队伍,为兽药残留检测工作提供人才保障。

4.3 完善质量管控机制

相关部门还需要建立标准化的检测流程和完善的质量控制体系。首先引入最新的研究成果,进一步完善样品制备仪器分析等一些关键环节的操作要求制定标准体系,用于规范检测的各个环节。又细化关键参数的控制范围,确保全流程标准化和可追溯性。其次,系统地构建质量管理体系,涉及人员设备试剂耗材样品检测过程等各方面的管理工作。明确质量管理的职责,强化全员质量意识。通过过程管控和结果评定,可以及时发现纠正检测过程中的偏差问题,保障检测的准确性。通过不断地完善,形成更加严谨规范的质量管控机制,确保兽药残留检测工作顺利开展。

4.4 加强样品全生命周期管控

食品兽药残留检测中受到样品质量的影响,导致检测准确度不足,因此相关部门需要构建全流程质量管控体系。

开展全生命周期管控工作,保障样品质量。首先实现采样的标准化,保障样品的代表性。制定严格的采样规程,明确采样工具点位、数量、分析方法等的应用情况。加强采样过程的管控工作,使用专门的仪器设备控制运输过程中的温度和湿度,确保样品能够在两小时内进入冷链。其次,加强储存运输过程的管控工作。可以选择聚丙烯或玻璃容器,避免塑料增塑剂污染样品。样品分装为检测样和备份样,做好标注信息运输。过程中使用保温箱和冰袋结合的方式,避免剧烈振动导致细胞破裂,释放干扰物质。

4.5 做好样品前处理工作

样品前处理环节是检测过程中最耗时也最容易引入误差的关键环节。因此在管理工作中需要加强样品前处理环节的管控工作。首先要实现提取条件的精准化,可以选择国标或行标方法中的相关规定,如果没有明确标准时,可通过正交试验优化提取参数。引入自动化处理系统,减少手动操作的误差。其次采用净化技术适配。关注机制匹配净化,选择合适的技术方法,处理高脂肪基质和高糖基质,还有设置空白验证,确保净化后的机制干扰信号低于定量限的1/5。

5 结语

综上所述,食品兽药残留检测是保障食品质量安全的关键环节,样品采集、样品前处理、检测过程中的影响,导致检测准确度不足。因此在具体的工作中,相关部门要高度重视完善全过程的监测工作,规范人员管理,加强管控,提高检测准确性,筑牢食品安全防线。

参考文献

- [1] 魏雪娜. 食品检验检测中兽药残留检测准确度的控制措施[J]. 现代食品,2025(4):204-206.
- [2] 王国海. 基于高分辨质谱的动物源食品兽药残留检测探讨[J]. 食品安全导刊,2024(33):171-174.
- [3] 陈琪琪. 动物源性食品中多种兽药残留检测研究进展[J]. 兽医导刊,2020(14):55.
- [4] 余红伟,邓惠丹,杨华,等. 动物源性食品中兽药残留检测技术及兽药残留污染状况分析[J]. 浙江农业学报,2025,37(1):203-216.

Study on optimization of emergency monitoring technology for sudden leakage accidents in oil and gas engineering

Huai Fan

Production and Operation Department, First Oil Production Plant, Daqing Oilfield Co., Ltd., Daqing, Heilongjiang, 163000, China

Abstract

As the scale of oil extraction continues to expand, the risk of sudden leaks is also increasing, posing a serious threat to the ecological environment and human health. Currently, emergency monitoring technology plays a crucial role in accident response, but it faces various challenges. This paper analyzes the shortcomings of existing emergency monitoring technologies and proposes a series of optimization measures by integrating advanced technologies such as the Internet of Things (IoT), big data, and artificial intelligence. These optimized emergency monitoring technologies can ensure higher reliability and effectiveness in handling sudden leaks in oil and gas extraction projects, providing strong support for rapid accident control and minimizing environmental damage.

Keywords

oil and gas production engineering; sudden leakage; emergency treatment

采油气工程突发泄漏事故应急监测技术优化研究

范淮

大庆油田有限责任公司第一采油厂生产运行部, 中国·黑龙江 大庆 163000

摘要

随着石油开采规模的不断扩大, 突发泄漏事故的风险也随之增加, 这对生态环境和人类健康构成了严重威胁。当前, 应急监测技术在事故响应中发挥着关键作用, 但存在各种问题。本文通过分析现有应急监测技术的不足, 结合物联网、大数据、人工智能等先进技术, 提出一系列优化措施。基于这些优化措施的应急监测技术, 能够确保采油采气工程突发泄漏事故处理中表现出更高的可靠性和有效性, 为快速控制事故、减少环境损害提供了有力支持。

关键词

采油采气工程; 突发泄漏; 应急处置

1 引言

采油采气工程作为国家能源战略的重要组成部分, 对于保障能源安全、促进经济发展具有重要意义。但随着石油开采活动的日益频繁, 突发泄漏事故的风险也显著增加, 而在四川达州、巴中区块的油气开采中, 受地质灾害等因素的影响, 可能发生突发泄漏风险。因此, 建立一套高效、准确的应急监测技术体系, 能够最大限度地减少泄漏事故对环境 and 人类的影响。

2 采油采气工程突发泄漏事故应急监测技术应用中存在的问题

2.1 监测精度方面

在对四川达州、巴中区块的油田开采中, 受地质灾害的影响, 部分监测设备在精度方面尚无法满足实际应急需求, 主要表现为传感器性能不足和监测手段存在一定局限。作为数据采集的核心组件, 传感器的灵敏度与稳定性直接影响监测结果的准确性。但在实际应用中, 传感器因制造工艺或设计缺陷, 难以捕捉到泄漏初期微量物质的变化信号^[1]。例如, 在气体泄漏监测中, 某些气体检测装置对低浓度油气成分反应迟钝, 导致漏检风险增加, 同时, 长期运行于高温、高压或腐蚀性环境中, 也会加速传感器老化, 影响其测量精度。此外, 现有监测方法在应对复杂多变的泄漏场景时也表现出一定局限, 传统的人工巡检方式虽然适用于表面可见泄漏点的发现, 但对隐蔽性强或位置偏远的泄漏情况则显得力不从心。而部分化学分析法在实验处理过程中, 受试剂纯度、

【作者简介】范淮(1974-), 男, 中国吉林镇赉人, 本科, 工程师, 从事应急管理、应急预案编制评审、应急演练、应急能力评估研究。

环境温度湿度等因素干扰,易引入人为误差,从而降低整体监测数据的可靠性,影响后续应急决策的科学性。

2.2 响应速度方面

目前,部分监测设备启动流程繁琐,往往需要较长时间完成预热、调试和校准等操作,这在突发事故发生后极易延误最佳应对时机。例如,部分高精度仪器在启用前必须进行复杂的初始化设置,整个过程可能耗时几十分钟,而在这一时间段内,泄漏物可能已迅速扩散,扩大危害范围。同时,数据传输延迟也是制约响应速度的重要因素之一,由于采油现场分布广泛,且部分区域通信基础设施薄弱,导致监测数据无法及时上传至指挥中心。尤其是在大规模事故中,数据量激增、网络拥堵等问题频发,进一步加剧了信息传递的滞后现象。若指挥系统无法第一时间获取准确的现场数据,将直接影响应急调度和处置策略的制定。

2.3 智能化水平方面

尽管智能技术已在多个行业广泛应用,但在采油采气工程应急监测领域,其智能化程度仍有较大提升空间^[2]。当前大多数系统缺乏自动预警能力,不能基于实时数据快速识别潜在风险并发出警报,依然依赖人工干预进行异常判断,不仅效率低下,还容易出现误判或漏判。在数据分析层面,许多监测平台尚未实现自动化深度处理,面对海量监测数据时,难以高效提取关键信息用于辅助决策。同时,智能决策支持功能缺失,使得应急指挥人员在面对复杂事故时,通常只能依靠经验做出判断,缺乏科学依据支撑,增加了决策失误的可能性。

2.4 系统兼容性方面

不同监测设备之间存在较大的异构性,导致系统间的数据互通困难,形成“信息孤岛”现象。采油采气工程中的监测体系涵盖多种类型设备,包括地面传感器、遥感卫星、无人机等,但由于各设备采用的数据格式、通信协议及接口标准不统一,致使采集到的信息难以有效整合和共享。而各部门所使用的监测平台往往独立建设,彼此之间缺乏统一的数据交换机制,造成资源重复投入和技术壁垒。在突发事故中,这种信息割裂状态严重影响了跨部门协作效率,不利于形成高效的联合应急响应机制,进而削弱了整体应急处置能力。

3 采油采气工程突发泄漏事故应急监测技术优化方案

3.1 监测设备优化

在采油采气工程突发泄漏事故的应急监测技术优化过程中,监测设备的优化配置起着至关重要的作用。首先,在传感器的选择与改进方面,考虑到突发泄漏中物质种类多样、现场环境复杂多变,应优先选用具备高精度和高灵敏度的传感设备。例如,在油气泄漏监测中,宜采用具有优异检测性能的气体传感器,能够迅速识别微量油气成分的变化^[3]。

而在液体泄漏(如原油)场景下,则应配备响应速度快、灵敏度高的液体传感器,以实现泄漏情况的及时感知。此外,还需根据具体工况进行定制化设计,若监测点处于高温高压区域,传感器应具备耐受极端条件的能力,对于腐蚀性介质,其外壳及内部元件应采用防腐材料,从而提高设备稳定性,保障数据采集的准确性和持续性。在设备集成方面,则推动多种监测功能一体化,有助于提升整体监测能力,通过将气体、液体、温度、压力等各类传感器整合至统一平台,可实现对泄漏类型、浓度水平以及周围温压变化等多项参数的同时获取,为事故评估提供全面的数据支撑。而该集成方式不仅减少了设备数量和安装空间,还有效降低了后期维护成本,并避免了因设备分散布置而导致的信息滞后或监测盲区问题,显著提高了应急响应效率。此外,通过为监测装置加装智能芯片和通信模块,使其具备自动校准功能,能在设定周期内自我调节参数,确保测量精度。同时引入故障自诊断机制,实时监控运行状态,提前预警潜在问题,结合远程控制技术,操作人员可在控制中心实现设备启停、参数调整等指令下达,极大提升了系统的自动化程度和远程操控能力,使应急监测更加高效、智能和便捷。

3.2 监测方法优化

在采油采气工程应对突发泄漏事故的应急监测技术优化方案中,监测方法的改进与完善具有重要意义。在多种监测方式协同应用方面,传感器监测具备直接、精准获取局部信息的优势,能够实时反映泄漏点附近的浓度、流量等关键参数。而遥感技术则借助卫星或航空平台搭载的探测设备,从宏观层面实现对大范围区域的快速扫描,有助于掌握泄漏物质的扩散趋势和影响范围,无人机监测因其机动性强,可深入复杂或高风险区域,获取现场高清影像和视频资料,为决策提供直观依据。将这三类技术有机结合,可实现优势互补、多层次覆盖的监测效果。例如,在事故发生初期,可优先派遣无人机赶赴现场,快速获取初步图像,同时通过地面传感器对泄漏源进行精确定量分析^[4]。遥感系统则负责远距离追踪污染扩散路径,从而构建起立体化的监测体系,显著提升数据采集的全面性与准确性。

在动态监测与预警机制方面,建立灵活的动态模型时,可根据泄漏事故的发展态势,如泄漏速率变化、扩散方向偏移等情况,自动调整监测频率与关注重点。当检测到泄漏强度突然上升时,系统应自动加密采样频次,以便更精确捕捉异常变化,若发现扩散路径发生偏移,则及时调整监测区域,聚焦新的潜在影响带。一旦相关指标突破预设阈值,系统应立即触发预警机制,向相关部门发送警报信息,为突发事件的快速响应赢得宝贵时间。此外,基于大数据的智能分析也为监测工作提供了有力支撑,利用大数据技术强大的存储、处理与挖掘能力,对长期积累的历史数据和实时采集的监测信息进行深度分析,有助于识别泄漏事件的发生规律和发展趋势,例如高发时段、常见诱因等。如图这些分析结果可为

应急管理提供科学的数据支持,辅助制定更具针对性的预防措施和处置策略,可进一步提升应急响应的效率与水平。

3.3 监测系统优化

在采油采气工程应对突发泄漏事故的应急监测技术优化中,监测系统的完善是提升应急响应效率和处置能力的重要支撑。首先,在构建应急监测网络方面,应科学统筹、全面布局,形成覆盖整个作业区域的监测体系。该体系需重点涵盖采油站点、输油管线、储油罐区等高风险区域,并通过合理设置监测点位,确保监测无死角、全覆盖。借助5G、光纤等高效通信手段,可实现各监测节点数据的实时传输与集中汇总,确保信息快速送达指挥中心。同时,还应建设统一的数据共享平台,打通各部门之间的信息壁垒,使得相关单位能够及时获取所需监测信息。一旦事故发生,各方可根据实时、一致的数据开展协同应对,例如抢修队伍依据泄漏位置迅速规划最优路线,环保部门则能同步评估污染影响范围,显著增强应急联动能力和反应速度。

其次,开发智能化监测平台是系统优化的核心内容,该平台应具备自动预警能力,通过对各类监测数据的持续分析,发现异常时可即时触发警报机制,通知相关人员采取应对措施。平台还需集成数据分析模块,能够对大量监测信息进行深度处理,识别泄漏事件的发展趋势与潜在风险^[5]。同时提供决策支持功能,基于数据分析结果生成应急方案建议,如资源调度策略、现场处置措施等,辅助指挥人员做出科学判断。此外,平台应实现数据可视化展示,利用图形、地图等形式将泄漏位置、浓度分布、影响范围等关键信息直观呈现,为指挥调度提供清晰、高效的决策依据。最后,系统设计中还需重视兼容性与扩展性,一方面,要确保监测平台能够兼容不同品牌、不同类型的数据采集设备,实现无缝对接,避免因设备差异造成的信息孤岛。另一方面,系统架构应具有好的扩展能力,便于未来接入新型传感器、升级算法模型或引入其他先进技术,从而适应不断发展的应急监测需求,保持系统的先进性和可持续性。

3.4 人员培训与管理优化

在采油采气工程人员培训与管理优化环节,首先,在专业能力提升方面,应制定科学系统的培训计划,定期对应急监测人员进行全方位培训。培训内容不仅要包括突发泄漏事故的基础知识,如泄漏物质的理化性质、潜在危害及扩散机理等,还应强化实际操作技能的训练。通过理论授课与现场实操相结合的方式,使参训人员深入了解各类监测设备的工作原理,掌握气体传感器、液体检测仪等关键仪器的操作

方法和日常维护要点。同时,还需加强对先进技术手段的应用培训,例如,遥感技术和无人机巡检系统的使用技巧,以提升队伍的技术应用水平。此外,邀请经验丰富的行业专家开展典型案例剖析和实战经验交流,有助于参训人员从真实事件中总结经验,增强处理复杂突发事件的能力。

其次,在应急机制建设方面,应建立结构清晰、职责明确的应急响应预案体系。预案需细化各相关部门和岗位在泄漏事故发生时的具体任务和协同流程,确保一旦发生事故,各相关单位能够迅速进入状态,实现高效联动。同时,应定期组织多场景、全流程的应急演练,涵盖从信息上报、设备启动、数据采集到分析研判和指挥调度的各个环节。通过模拟实战,不断检验并优化应急预案的可操作性和协调性,全面提升应急队伍的实战反应能力和协同处置效率。最后,在人员管理方面,应构建完善的考核与激励机制,考核体系应覆盖工作人员的职业素养、技术能力以及应急表现等多个维度,并将考核结果与绩效评估、岗位晋升等挂钩,形成有效的约束与激励机制。并设立专项奖励制度,对在应急监测工作中表现优异、提出创新建议或有突出贡献的个人或团队给予相应的物质和精神鼓励,从而激发员工的积极性与责任感,持续提升整体队伍的专业化水平,为采油采气工程突发泄漏事故的应急监测工作提供坚实的人才支撑。

4 结语

针对采油采气工程突发泄漏事故应急监测技术的优化研究,以此提出了一系列具有创新性和实用性的改进措施。通过引入高精度传感器、构建快速响应机制、利用大数据分析和人工智能算法等手段,有效提升了应急监测技术的精度、速度和数据处理能力。模拟实验和现场应用验证表明,优化后的应急监测技术在采油采气工程突发泄漏事故中表现出色,能够为快速控制事故、减少环境损害提供有力保障。

参考文献

- [1] 徐俊,吴蔓,张翼峰,等.管式膜处理聚合物驱采油废水的新型清洗技术与机理研究[J].南阳师范学院学报,2025,24(03):35-41.
- [2] 赵家新,张吉库.压缩卷心菜废弃物滤层处理采油废水效果研究[J].供水技术,2025,19(01):44-50.
- [3] 张超.物联网技术在采油工程实时数据处理中的应用[J].化学工程与装备,2024,(12):181-183.
- [4] 卢才通,周雄.海上油田采油平台污水处理工艺研究[J].化工管理,2025,(03):77-79+104.
- [5] 徐从武.采油工程中注水工艺存在的问题与处理探讨[J].化学工程与装备,2018,(01):60+33.

Research on innovation of safety supervision and inspection mode: digital drive and management optimization

Haoran Sun

Huazhong Branch of National Pipeline Network Group, Xianning, Hubei, 437000, China

Abstract

Long-distance oil and gas pipelines, as a critical component of national energy transmission, the innovation in their safety supervision and inspection models is essential for ensuring energy security and enhancing corporate competitiveness. This study integrates safety management theory with risk management theory to explore innovative approaches to the safety supervision and inspection of long-distance oil and gas pipelines in the context of digital transformation. By employing digital technologies such as smart supervision platforms and intelligent analysis models, the study aims to achieve real-time monitoring of pipeline operations and dynamic risk prediction. Additionally, it seeks to optimize risk management by enhancing a multi-dimensional risk assessment system and implementing differentiated risk control measures. The research indicates that digitalization and enhanced risk management can improve the accuracy of identifying safety hazards and the efficiency of resource allocation. Future research could focus on the application of emerging technologies like quantum computing, the refinement of risk assessment systems, and the standardization of industry collaborative governance, to provide more comprehensive theoretical and practical support for the safety management of long-distance oil and gas pipelines.

Keywords

long distance oil and gas pipeline; safety supervision and inspection; digital transformation

安全监督检查模式创新研究：数字化驱动与管理优化

孙浩然

国家管网集团华中分公司，中国·湖北 咸宁 437000

摘要

长输油气管道作为国家能源输送的关键设施，其安全监督检查模式创新对保障能源安全与企业竞争力至关重要。本研究结合安全管理理论与风险管理理论，探讨数字化转型背景下长输油气管道安全监督检查模式的创新路径。通过构建智慧监督平台、开发智能分析模型等数字化技术应用策略，实现管网运行状态实时监控与风险动态预测；同时，通过完善多维度风险评估体系、实施差异化风险管控措施优化风险管理。研究表明，数字化驱动与风险管理强化可提升安全隐患识别精准度与资源配置效率。未来研究可聚焦量子计算等新兴技术应用、风险评估体系完善及行业协同治理标准化，为长输油气管道安全管理提供更全面的理论与实践支持。

关键词

长输油气管道；安全监督检查；数字化转型

1 引言

1.1 研究背景与意义

长输油气管道作为能源输送领域的关键设施，承担着保障国家能源稳定供应的重任。其涵盖油气长输管道、储存设施等，点多、线长、面广，安全风险复杂多样，任何安全事故都可能导致能源供应中断、环境污染，甚至威胁人民生

命财产安全。近年来，随着能源需求的持续增长，长输油气管道的运营规模不断扩大，安全监督检查工作的难度和压力也与日俱增。

创新安全监督检查模式对于保障能源输送安全具有至关重要的意义。通过创新，可以更精准地识别潜在的安全风险，及时发现并消除安全隐患，有效预防各类安全事故的发生，确保能源输送的连续性和稳定性，为国家能源安全战略的实施提供坚实保障。在当前能源市场竞争日益激烈的背景下，安全管理水平已成为企业竞争力的重要组成部分。创新安全监督检查模式有助于提升企业的安全管理效能，降低运营成本，树立良好的企业形象，增强市场信誉，从而在激烈的市场竞争中脱颖而出，实现可持续发展。

【作者简介】孙浩然（1987-），男，汉族，吉林长春人，本科学历，工程师，主要从事安全环保管理体系与机制、管道安全运行与风险防控和管道保护技术与创新等方面的研究。

1.2 研究方法

本论文采用多种研究方法,确保研究的全面性和深入性。通过对长输油气管道深入剖析存在的问题以及创新模式的实施效果。同时,广泛收集相关文献资料,梳理安全监督检查模式的发展脉络和研究现状,为论文提供理论支持和研究思路。

2 安全监督检查模式创新的理论基础与方向探索

2.1 相关理论基础

安全管理理论在安全监督检查模式创新中起着基础性的指导作用。海因里希事故因果连锁理论指出,事故的发生是一连串事件按一定顺序互为因果依次发生的结果,人员伤亡的发生是事故的结果,事故的发生是由于人的不安全行为和物的不安全状态。这启示在安全监督检查中,不仅要关注表面的安全问题,更要深入挖掘背后的深层次原因,从人的行为和设备设施的安全状态等多方面进行检查和管理。在对站场设备进行检查时,不仅要查看设备是否正常运行,还要检查操作人员是否按照规范进行操作,是否存在违规行为,从源头上预防事故的发生。

风险管理理论为安全监督检查模式创新提供了重要的方法和思路。该理论强调对风险的识别、评估和控制,通过对安全风险的全面识别和科学评估,确定风险的等级和影响程度,从而有针对性地制定风险控制措施。在长输油气管道的安全监督检查中,可以运用风险矩阵等工具,对管道运行、站场作业等各个环节的风险进行量化评估,根据评估结果确定检查的重点和频率。对于高风险的区域和作业环节,增加检查的频次和深度,加强风险监控,确保风险始终处于可控状态。同时,根据风险评估结果,合理分配安全监督检查资源,提高资源利用效率,使安全监督检查工作更加科学、有效^[1]。

2.2 数字化转型

在当今数字化时代,利用大数据、物联网、人工智能等技术实现安全监督检查的数字化,已成为长输油气管道安全管理的必然趋势。大数据技术能够对海量的安全数据进行高效存储、管理和分析。通过收集长输油气管道各个环节的安全数据,包括设备运行数据、巡检记录、事故报告等,运用大数据分析算法,可以挖掘出数据背后隐藏的安全风险模式和趋势。通过对管道压力、流量等运行数据的长期分析,能够预测管道可能出现泄漏或堵塞的位置和时间,提前采取预防措施,避免事故发生。

物联网技术的应用则为安全监督检查带来了实时性和全面性的变革。在长输油气管道的管道、站场等关键设施上部署大量的智能传感器,这些传感器能够实时采集设备的运行状态、温度、压力、振动等数据,并通过无线网络将数据传输到监控中心。管理人员可以通过监控平台实时了解设备的运行情况,一旦发现异常数据,系统能够立即发出预警,

通知相关人员进行处理。在站场的消防系统中,通过物联网技术连接消防设备,实现对消防设备状态的实时监测,如消防栓水压、灭火器压力等,确保在火灾发生时消防设备能够正常运行^[2]。

人工智能技术在安全监督检查中也发挥着重要作用。利用人工智能的图像识别技术,可以对监控视频进行实时分析,自动识别出人员的违规行为,如未佩戴安全帽、擅自进入危险区域等;利用智能语音识别技术,能够对员工的操作指令进行实时监测,判断操作是否符合规范。人工智能还可以通过机器学习算法,不断学习和优化安全风险预测模型,提高预测的准确性和可靠性。

3 长输油气管道安全监督检查模式创新策略

3.1 数字化技术应用策略

3.1.1 构建智慧监督平台

长输油气管道充分利用物联网、大数据技术,构建了全方位、多层次的智慧监督平台,实现了对管网运行状态的实时监控和数据的高效共享。通过物联网技术采集到的数据,借助5G、卫星通信等高速通信网络,被实时传输到智慧监督平台的大数据中心。智慧监督平台具备强大的数据共享功能,打破了公司内部各部门之间的数据壁垒,实现了数据的实时共享和交互。

3.1.2 开发智能分析模型

为了提高安全隐患的预测和预警能力,长输油气管道运用人工智能算法,开发了一系列智能分析模型。在机器学习算法的应用方面,公司利用历史安全数据和设备运行数据,对机器学习模型进行训练。当输入新的管道相关数据时,模型能够根据学习到的规律,预测该管道发生泄漏的可能性,并给出相应的风险等级。同时,深度学习算法在智能分析模型中也发挥着重要作用。智能分析模型能够与风险评估体系相结合,实现对安全风险的动态评估。根据实时采集到的数据和预测结果,模型能够不断更新风险评估结果,及时调整安全监督检查的重点和频率。当智能分析模型预测某段管道存在较高的泄漏风险时,风险评估体系会相应提高该管道的风险等级,安全监督检查部门会根据风险等级增加对该管道的检查频次和深度,加强对该区域的安全监控,采取针对性的防范措施,如加强管道防腐、定期进行内检测等,降低安全风险。

3.2 风险管理优化策略

3.2.1 完善风险评估体系

长输油气管道通过多维度的数据收集与分析,建立了一套科学、全面的风险评估体系。在数据收集方面,公司不仅收集设备运行数据、历史事故数据等内部数据,还广泛收集外部环境数据,如地质灾害数据、气象数据、周边人口密度数据等。对于穿越山区的管道,收集该地区的地震活动数据、山体滑坡历史数据等,以便全面评估管道在复杂地质条件下的安全风险;收集管道周边的人口密度数据,分析在不

同区域发生事故时可能造成的人员伤亡和社会影响。

在风险量化评估方面,公司采用先进的风险评估模型和方法,对不同类型的安全风险进行量化分析。运用故障树分析(FTA)方法,对管道泄漏事故进行分析,找出导致事故发生各种基本事件,并通过逻辑关系计算出事故发生的概率;利用风险矩阵,将风险发生的可能性和后果严重程度进行量化评估,确定风险等级。根据管道压力、流量、温度等运行参数的变化,结合设备的老化程度、维护记录等因素,运用风险评估模型计算出管道在当前状态下的风险值,为安全决策提供科学依据^[3]。

为了确保风险评估的准确性和时效性,公司还建立了动态更新机制。随着业务的发展、技术的进步以及外部环境的变化,及时更新风险评估体系中的数据和参数,重新评估安全风险。当长输油气管道新建一条管道时,需要根据新管道的设计参数、施工环境、周边设施等因素,对该管道的安全风险进行重新评估,并将评估结果纳入风险评估体系;定期对现有管道的风险评估结果进行复查,根据设备的运行状况、维护情况以及外部环境的变化,调整风险等级,确保风险评估始终与实际相符^[4]。

3.2.2 加强风险管控措施

针对不同风险等级,长输油气管道采取了差异化的管控措施,以确保风险可控。对于高风险区域和设备,公司制定了严格的安全管理制度和操作流程,加强日常巡检和维护。在穿越人口密集区的管道沿线,增加巡检频次,采用智能巡检设备,实现24小时实时监控;对关键设备设施,如大型压缩机、阀门等,制定详细的维护计划,定期进行设备检测和维修,确保设备的安全运行。建立高风险区域的应急响应机制,配备专业的应急救援队伍和物资,定期组织应急演练,提高应对突发事件的能力。

对于中风险区域和设备,公司在加强日常管理的基础上,采取针对性的风险降低措施。优化设备的运行参数,提高设备的运行效率和安全性;加强员工的培训,提高员工的操作技能和安全意识。在某站场,通过优化天然气压缩机的运行参数,降低了设备的故障率,减少了安全风险;定期组织员工参加安全培训和技能竞赛,提高员工对安全风险的识别和应对能力。同时,建立中风险区域的风险预警机制,当风险指标达到预警阈值时,及时发出预警信号,提醒相关人员采取措施进行处理^[5]。

对于低风险区域和设备,公司主要采取常规的安全管理措施,定期进行检查和维护,确保设备的正常运行。制定低风险区域和设备的检查标准和流程,明确检查的内容、方法和频率;加强对员工的安全教育,提高员工的安全意识,防止因人为因素导致安全风险的增加。在普通管道段,按照规定的检查频率进行巡检,及时发现并处理一些小的安全隐患;通过安全宣传栏、内部培训等方式,向员工宣传安全知识,强化员工的安全意识,形成良好的安全文化氛围。

4 结论与展望

4.1 研究结论

本研究围绕长输油气管道安全监督检查模式创新展开,结合相关理论和技术发展趋势,提出并论证了创新模式的策略与实践路径。

在创新方向上,数字化转型、强化风险管理成为关键路径。数字化转型利用大数据、物联网、人工智能等技术,实现了安全监督检查的智能化和信息化,提高了数据处理效率和风险预测能力。强化风险管理通过完善风险评估体系和加强风险管控措施,对安全风险进行全面识别、评估和控制,将风险管理贯穿于监督检查全过程。

长输油气管道在安全监督检查模式创新实践中,采取了一系列切实可行的策略。在数字化技术应用方面,构建智慧监督平台,实现了对管网运行状态的实时监控和数据共享;开发智能分析模型,提升了安全隐患的预测和预警能力。在风险管理优化方面,完善风险评估体系,多维度收集数据,采用先进评估方法,实现风险量化评估和动态更新;针对不同风险等级采取差异化管控措施,确保风险可控。

4.2 未来展望

未来安全监督检查模式创新的研究可以从以下几个方向展开。在技术创新方面,持续关注新技术的发展,如量子计算、边缘计算等,探索其在安全监督检查中的应用潜力,进一步提升数据处理和分析能力。加强对智能设备的研发和优化,提高设备的稳定性、可靠性和兼容性,确保数字化技术在安全监督检查中的高效应用。在风险管理方面,深入研究新兴风险因素,建立更加全面、科学的风险评估指标体系,完善风险预警和应急处置机制,提高对各类安全风险的应对能力。在协同治理方面,进一步完善协同机制,加强各方之间的信息共享和沟通协调,建立常态化的合作交流平台,促进协同工作的高效开展。还可以探索建立安全监督检查的标准化体系,推动行业内安全监督检查模式的规范化和统一化,提高整个行业的安全管理水平。加强对员工安全文化的培育,通过开展多样化的安全培训和宣传活动,提高员工的安全意识和责任感,营造良好的安全文化氛围,为安全监督检查模式创新提供坚实的文化支撑。

参考文献

- [1] 省能源局石油天然气处党支部.三个发力推动油气长输管道保护见实效[EB/OL].四川机关党建网,2024-12-26[2024-12-26].
- [2] 嘉兴市油气管道保护工作情况[EB/OL].嘉兴市发展和改革委员会,2024-10-16[2024-10-16].
- [3] 市发展改革委深入油气长输管道现场查隐患保安全[EB/OL].平凉市发展和改革委员会,2024-08-27[2024-08-27].
- [4] 广东五条防线探索建立输油气管道安保长效机制[EB/OL].国家发展和改革委员会,2013-09-10[2013-09-10].
- [5] 临泽县人民政府-县发改局:“三强化”保障油气管道持久安全[EB/OL].临泽县人民政府,2024-12-27[2024-12-27].

Research and application of energy saving and emission reduction technology in urea plant

Xiang Gao Xinguang Shi

Hainan Ocean Oil Fudao Co., Ltd., Dongfang, Hainan, 572600, China

Abstract

As a critical component of the fertilizer industry, urea plants face high energy consumption and concentrated emissions during operation, necessitating systematic research and promotion of energy-saving and emission reduction technologies. This paper focuses on the key energy-consuming stages and pollutant emission characteristics in urea production, reviews existing energy-saving measures and emission reduction strategies, and analyzes their practical application in plant operations. By systematically studying core technologies such as waste heat recovery from synthesis towers, optimization of condensation systems, and exhaust gas purification and emission control, the paper explores an integrated solution for energy conservation and emission reduction. Additionally, it discusses a long-term mechanism for energy conservation and emission reduction supported by policy guidance, management mechanisms, and standard systems, providing a theoretical foundation and practical reference for promoting the efficient and clean operation of urea plants. The study indicates that the coordinated advancement of energy-saving technologies and emission reduction measures is crucial for the green and low-carbon transformation of the urea industry.

Keywords

urea plant; energy saving technology; emission reduction measures; process optimization; clean production

尿素装置节能减排技术研究与应用

高翔 石新光

海洋石油富岛有限公司, 中国·海南 东方 572600

摘要

尿素装置作为化肥工业的重要单元,其运行过程能耗高、排放集中,亟需开展系统性节能减排技术与推广应用。本文聚焦尿素生产过程中的关键能耗环节与污染物排放特征,梳理现有节能措施和减排路径,分析其在装置运行中的实际应用效果。通过对合成塔余热回收、冷凝系统优化、尾气净化与排放控制等核心技术的系统研究,探索节能减排一体化集成方案。同时,探讨在政策引导、管理机制与标准体系支撑下的节能减排长效机制,为推动尿素装置高效清洁运行提供理论基础与实践参考。研究表明,节能技术与减排手段协同推进是实现尿素行业绿色低碳转型的关键方向。

关键词

尿素装置; 节能技术; 减排措施; 工艺优化; 清洁生产

1 引言

随着“双碳”战略的深入推进,化工行业面临着前所未有的节能减排压力,作为高耗能、高排放的典型代表,尿素装置运行效率的提升与污染控制成为研究热点。传统尿素生产过程中,能源消耗主要集中于合成、冷凝、压缩等环节,而氨逃逸、尾气排放及废水污染问题亦不容忽视。尽管部分企业已引入节能设备与环保工艺,但由于系统集成度不高、管理机制不健全,整体节能减排效果仍有限。本文旨在系统分析尿素装置当前能耗结构与排放现状,挖掘可行的节能与减排技术路径,并结合运行数据与工程经验,提出具有实际

指导意义的综合解决方案,以期为行业绿色转型提供支撑。

2 尿素装置能耗现状与排放问题分析

2.1 尿素生产流程中的主要能耗环节

尿素装置的能耗主要集中在合成反应和物料循环过程中。氨和二氧化碳在高压高温下合成尿素需要大量热能支持,同时反应后混合物需多次冷凝分离回收未反应原料,冷凝系统和氨泵、循环泵的运行持续消耗电力。原料气体加压、换热及中间产品输送同样构成显著能耗来源。在部分装置中,反应效率较低、热量损失严重、设备能效水平偏低,使单位产尿素能耗居高不下。部分老旧装置未配备有效的能量回收系统,导致热能利用率偏低,综合能源利用效率不足,形成行业普遍存在的能耗压力。

【作者简介】高翔(1985-),男,中国湖北广水人,本科,工程师,从事尿素装置安全生产研究。

2.2 装置运行过程中的污染物排放特征

尿素装置在运行中会产生多种形式的污染排放，尾气中含有未反应氨、二氧化碳和微量氮氧化物等成分，具有挥发性、腐蚀性和温室效应。液体废水中主要含有氨氮、尿素残留及油类杂质，对水体污染影响显著。排水系统如未设置回收或处理单元，易造成氮污染超标。颗粒物排放则多来源于物料转运与包装环节，粉尘无组织排放对厂区环境构成压力。同时，系统泄露和阀门密封性不足易引发微量氨气逸散，增加周边空气中碱性气体浓度，对操作环境与周边生态带来一定程度危害。

2.3 当前节能减排工作的瓶颈与难点

当前尿素装置节能减排推进受限于装置系统复杂性与工艺集成水平不足。部分装置设计阶段未充分考虑热能利用结构，导致现有流程热耦合程度差，难以实现高效余热回收。在减排方面，尾气治理设备运行不稳定，吸收塔吸附能力有限，处理效率不均，制约了污染物去除效果。此外，企业对节能改造投资回报周期顾虑较多，部分装置运行年限较长、设施老化严重，缺乏统一标准与专业运维队伍，提升改造难度较大。监测数据获取不及时、管理决策缺少数据支撑也是当前节能减排工作亟待解决的问题。

3 尿素装置节能技术与工程优化

3.1 合成热能回收与余热利用技术

合成反应过程中释放的大量热能可通过换热系统实现高效回收与循环利用，提高整体能效。采用高效换热器对反应热进行回收，将热量用于预热进料、驱动蒸发系统或供暖系统，有效降低外部热源依赖。部分先进装置已配置热集成系统，实现反应区、冷凝区与分离区之间的能量再分配，减少热量损失。余热锅炉可作为辅助单元，回收冷凝过程中释放的中低温热源，转换为蒸汽供其他单元使用，提升能源使用梯级化水平。合理设计热回收路径与参数匹配，是优化热能利用的关键。

3.2 冷凝系统节能改造与压缩能耗控制

冷凝系统作为尿素工艺中循环物料分离的核心环节，其节能改造潜力较大。通过更换高效冷凝器、优化冷却水循环流程，可显著降低冷凝热损失和冷却负荷。在压缩系统方面，引入变频驱动压缩机、提升压缩机效率和密封性，有助于减少不必要的气体压缩功耗。系统管道布局与节流阀调控方式也对能耗产生直接影响，减少压力损失和不合理流动路径是节能改造的重要方向。在确保工艺稳定性的基础上，实现压缩负载调节与冷凝负荷动态匹配，是提高系统运行能效的核心策略。

3.3 先进自控系统对能效提升的辅助作用

自控系统在尿素装置节能运行中发挥着关键作用，实时数据采集、动态参数调控与能效反馈构成节能运行的基础保障。通过布设传感器网络与工艺模型分析平台，可实时监

测压力、温度、流量等核心参数，并根据变化趋势自动调整工艺参数，避免系统过载或浪费。现代控制系统支持多变量联动控制，实现反应、分离、回收过程的协同优化。能耗分析模块可评估各子系统运行效率，为运维人员提供调整依据。自动化程度提升不仅提高了能效水平，也降低了运行波动，增强了系统稳定性与能源利用精度。

4 尿素装置减排技术路径与污染控制

4.1 尾气吸收与净化装置技术路线优化

尿素装置尾气中含有氨气和微量二氧化碳，对大气环境影响明显，需通过高效吸收与净化设备进行处理。常用吸收技术包括冷凝吸收、喷淋塔吸收及碱液洗涤系统，通过选择性吸附和化学反应去除有害成分。部分装置采用多级串联吸收系统，提高尾气净化效率并延长处理寿命。塔内填料、气液比控制及喷淋均匀性对吸收效率影响显著，需根据实际工况合理配置。对于低浓度持续排放，应配套微负压收集系统，防止逸散进入作业区。尾气净化装置技术路径应根据气体组分、流量及目标排放标准综合确定。

4.2 氮氧化物减排与过程控制协同机制

氮氧化物排放主要来源于高温反应或燃烧过程中的副反应，控制其排放需从源头控制反应条件并加强过程调控。在装置设计阶段应优化反应温度和反应器结构，降低氮氧化物生成速率。运行中可通过调节氨气配比、反应时间和压力参数，实现低氮操作。引入脱硝设备或还原剂注入系统是后端治理的常用手段，通过选择性催化还原反应将NO_x还原为氮气和水。过程控制系统通过实时监控氮氧化物浓度和运行指标，动态调节反应参数，形成前后端协同治理机制，确保减排效果的稳定性和持续性。

4.3 装置排水与固废治理技术集成方案

尿素装置运行中产生的废水多为含氨氮、油类和微量尿素的工艺排水，需通过物化与生化联合处理工艺进行有效净化。设置中和池、气浮池、膜分离装置等可实现对不同污染物的分阶段处理。固废方面主要为过滤残渣、检修废料与包装废弃物，应分类收集与无害化处置。鼓励将废水中氨氮回收再利用，构建循环用水系统以减少新鲜水消耗。技术集成重点在于处理装置与生产系统的协同布置，实现污染物回收与处置资源化。综合治理方案应兼顾处理效率、运行成本与安全性，实现清洁生产与环境友好并重的目标。

5 节能减排技术在尿素装置中的集成应用

5.1 整体系统节能方案的设计与实施

在节能减排技术不断推进的背景下，高效尿素合成工艺技术的集成应用已成为提升尿素装置运行效率的关键途径。中国化学所属中国五环研发的该项技术，连续入选国家工业和信息化领域节能降碳技术装备推荐目录，展现出显著的节能降耗优势。该技术每吨尿素2.5MPa蒸汽消耗低于600千克，较行业平均水平降低30%以上，达到世界领先

水平,为尿素装置的整体系统节能方案提供了强有力的技术支撑。在具体设计中,该技术体现出能耗低、操作弹性高、设备投资少、建设周期短等突出特点,能够在保持生产稳定性的同时,有效降低企业运行成本和装置综合能耗。经权威机构鉴定,该技术可使每吨尿素的生产成本降低60元,年节省成本约6000万元,并可减少碳排放近10万吨,为传统尿素装置的系统升级提供了明确路径。在实际应用层面,该工艺已成功应用于华鲁恒升等18个大型项目,成为我国化肥工业节能降碳的示范成果。在国际推广方面,中国五环承接的赞比亚年产30万吨尿素EPC项目,填补了当地现代化化肥生产的技术空白,为装置节能方案的国际化输出积累了宝贵经验。通过将高效合成技术深度融合入系统节能设计,不仅推动了国产化尿素技术装备自主化,也为构建绿色高效的化肥产业体系提供了有力支撑,图1为该系统节能减排技术在尿素装置流程。

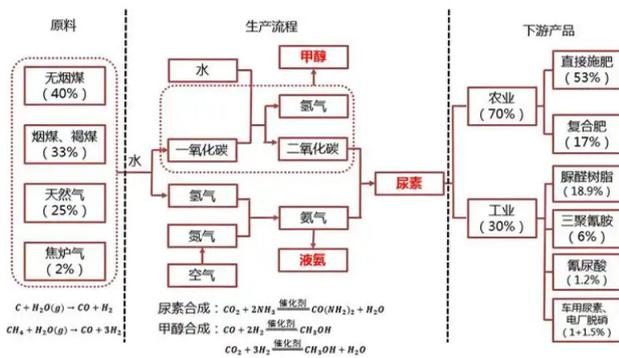


图1 节能减排技术在尿素装置流程

5.2 装置运行能效评估与节能潜力挖掘

尿素装置运行期间能效评估需要建立以关键能耗指标为核心的动态监测机制,通过热平衡计算、质量流动分析与装置负荷实测数据对比,识别系统中存在的能量浪费点与冗余配置。以单位产品能耗、热量回收率与装置运行系数为评估指标,结合每日能耗分布图与操作记录,分析不同工况下的能源利用效率变化趋势。能源管理平台应设置数据采集模块,对反应压力、进出塔温度、冷凝负载及电机功率等参数进行连续采样,构建多维能效评估模型。对于高耗环节如循环压缩、氨泵运行与冷凝冷却系统,应通过引入变频控制、系统旁路调节与工艺时间窗口再配置等方式,降低单位产量能耗。在系统评估基础上,可对部分设备运行工况实施动态模拟,通过对比不同操作模式下的能耗响应,判断节能空间与改造优先级。能效评估过程中也应考虑设备老化、热损耗

增长与工艺波动等长期因素,构建包含静态结构、动态运行与环境耦合的能耗评价体系,确保评估结果的精准性与指导性,为节能技术持续优化提供决策支撑。

5.3 减排技术耦合下的运行可靠性分析

在节能与减排技术集成应用过程中,装置运行的稳定性与可靠性成为衡量技术成熟度与可推广性的关键标准。减排措施如尾气吸收系统、废水回用设备与氨气回收装置需与核心工艺参数高度耦合,任何吸收效率下降或处理负荷超限都可能引发系统波动、反应失衡甚至安全隐患。因此,在技术配置时应对系统进行负荷平衡分析与极限工况模拟,确保污染控制装置在不同工况下均能稳定运行。可靠性分析需结合设备故障数据、维护记录与运行工况,构建基于寿命周期的评估模型,识别减排系统运行中的薄弱环节。针对多级处理工艺,应合理配置冗余系统与故障切换机制,在部分设备故障时保障系统连续运行。自动控制系统的联动精度亦是保障稳定性的核心,应实现对污染物浓度、液位、流量等指标的实时监控与多级联控,避免控制延迟导致排放超标。在运行维护阶段,必须制定详尽的点检计划与预警机制,提升故障响应速度与修复效率。减排设备的长期运行可靠性还依赖于操作规范化与人员培训制度的落实,通过制度保障与技术冗余,构建可持续、高可靠性的绿色运行体系。

6 结语

尿素装置节能减排技术的系统研究与集成应用,是推动化工行业绿色低碳发展的重要实践方向。通过优化能量结构、提升工艺效率与完善污染治理路径,不仅实现了资源的高效利用,也为环境保护提供了坚实支撑。在装置运行过程中,将节能技术与减排措施协同推进,有助于构建稳定、安全、高效的生产体系。未来,应持续深化技术集成与智能化管控水平,推动节能减排由局部改进向系统优化转变,助力尿素产业实现清洁化、集约化与可持续化发展。

参考文献

- [1] 曾利刚,张亚妮,苏坤,王利丹,赵志诚,康树林,姜在军.尿素装置的污染源治理与管控措施[J].化工安全与环境,2025,38(06):43-47.
- [2] 杨哲林,金萍,杜宇明,张恒浩.尿素装置节能降耗技术改造总结[J].氮肥技术,2014,35(06):18-20.
- [3] 沈华民,刘国胜,王世平,李洪涛.用自主创新的节能减排技术改造传统水溶液全循环法尿素装置[J].化工设计通讯,2013,39(04):48-52.
- [4] 庄肃霞.尿素装置高位能回收技术[J].氮肥技术,2012,33(05):10-13.

Material selection and performance analysis in the manufacturing process of chemical containers

Quanpei Leng Yuanyuan Yang

Henan Xinlianxin Intelligent Equipment Technology Co., Ltd., Xinxiang, Henan, 453731, China

Abstract

The material selection and performance analysis of chemical containers directly affect the safety, reliability, and service life of equipment. This article systematically explores the material classification, selection principles, and common material characteristics in the manufacturing of chemical containers, with a focus on analyzing key indicators such as corrosion resistance, mechanical properties, and thermal properties of materials. Through practical cases, the application effects of different materials in chemical containers were compared, and corresponding countermeasures were proposed for the challenges in material selection and performance optimization. Research has shown that scientific and rational material selection requires comprehensive consideration of medium characteristics, working conditions, and economic factors, while the optimization of material performance needs to be achieved through multiple approaches such as composition design, process improvement, and surface treatment, providing guarantees for the safe operation and long-term service of chemical containers.

Keywords

chemical containers; Material selection; performance analysis

化工容器制造过程中的材料选择与性能分析

冷全佩 杨园园

河南心连心智能装备科技有限公司, 中国·河南新乡 453731

摘要

化工容器的材料选择与性能分析直接影响设备的安全性、可靠性和使用寿命。本文系统探讨了化工容器制造中的材料分类、选择原则及常见材料特性,重点分析了材料的腐蚀性能、机械性能和热性能等关键指标。通过实际案例,对比了不同材料在化工容器中的应用效果,并针对材料选择与性能优化过程中的挑战提出了相应对策。研究表明,科学合理的材料选择需综合考虑介质特性、工况条件及经济因素,而材料性能的优化则需要通过成分设计、工艺改进和表面处理等多途径实现,为化工容器的安全运行和长周期服役提供保障。

关键词

化工容器; 材料选择; 性能分析

1 引言

化工容器作为承压设备,其材料选择与性能直接影响生产安全与经济效益。随着化工行业向高温、高压、强腐蚀等极端工况发展,传统材料已难以满足新需求。本文基于化工容器典型失效案例,系统分析材料选择的关键因素及性能评价方法,旨在为设计、制造和使用环节提供理论依据。通过剖析材料性能与容器失效模式的关系,探索材料优化方向,并结合实际应用案例,验证不同材料在特定工况下的适用性,以推动化工容器材料的科学选型与性能提升。

2 化工容器制造过程中的材料选择

2.1 材料分类及特性

化工容器材料根据其化学成分和使用特性可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。金属材料主要包括碳钢、低合金钢、不锈钢、镍基合金、钛及钛合金等,具有优异的机械强度和加工性能,是化工容器制造的主流选择。非金属材料玻璃钢、陶瓷、石墨等,在特定腐蚀环境下展现出独特优势,但机械性能相对较弱。复合材料则通过不同材料的组合,兼具金属材料的强度和非金属材料的耐腐蚀性,玻璃钢衬里容器、金属基复合材料等^[1]。各类材料在耐腐蚀性、机械性能、热稳定性、加工工艺性等方面表现出显著差异,需要根据具体使用环境进行针对性选择。随着新材料技术的发展,新型高性能材料双相不锈钢、哈氏合金、锆合金等在极端工况下的应用日益广泛。

【作者简介】冷全佩(1987-),中国河南新乡人,本科,助理工程师,从事压力容器制造研究。

2.2 材料选择原则

化工容器材料选择需要遵循安全性、适用性和经济性三大基本原则。安全性原则要求材料必须满足设计压力、温度等基本强度要求，具有足够的韧性储备和良好的焊接性能。适用性原则强调材料必须与介质特性相匹配，重点考虑材料的耐腐蚀性能、耐高温性能和抗氢脆性能等。经济性原则要求在满足安全和性能要求的前提下，综合考虑材料成本、制造费用和维护成本，实现全生命周期成本最优化。在实际选材过程中，还需考虑材料的可获取性、加工工艺性和标准化程度等因素。对于特殊工况，低温环境、核辐射环境等，还需额外考虑材料的低温韧性、抗辐照性能等特殊要求。科学的选材流程应当基于详尽的工况分析，通过多方案比较和风险评估确定最优选择。

2.3 常见化工容器材料介绍

碳钢和低合金钢因其良好的机械性能和较低的成本，广泛应用于中低压、非强腐蚀性介质的化工容器^[2]。Q345R、16MnDR等压力容器用钢具有良好的焊接性和中温强度，是化工容器的常用材料。奥氏体不锈钢304、316L凭借优异的耐腐蚀性，成为处理腐蚀性介质的首选材料。双相不锈钢2205兼具奥氏体和铁素体的优点，在耐氯化物应力腐蚀方面表现突出。镍基合金如哈氏合金C-276在强酸、强碱等极端腐蚀环境下具有不可替代的作用^[3]。钛及钛合金因其卓越的耐海水和氯化物腐蚀性能，在海洋工程和氯碱工业中广泛应用。非金属材料中，玻璃钢因其轻质、耐腐蚀的特点，在储罐和管道系统中占据重要地位。近年来，复合材料不锈钢衬里容器、爆炸复合板等在兼顾强度与耐蚀性方面展现出独特优势，成为化工容器材料发展的重要方向。

3 化工容器制造过程中的性能分析

3.1 腐蚀性能分析

化工容器的腐蚀性能直接决定了设备在恶劣化学环境中的使用寿命和安全性。腐蚀分析需要全面考察材料在特定介质中的均匀腐蚀速率、点蚀倾向、缝隙腐蚀敏感性以及应力腐蚀开裂风险等关键指标。在实际工况中，温度、压力、流速等参数都会显著影响腐蚀行为，高温会加速腐蚀速率，而流动介质可能导致冲刷腐蚀。针对不同腐蚀类型，需采取相应的防护措施，选用耐蚀材料、设计合理的腐蚀裕量、采用阴极保护或表面涂层技术等。特别值得注意的是，多组分介质可能产生协同腐蚀效应，这要求工程师不仅要了解单一介质下的材料表现，更要掌握复杂化学环境中的腐蚀规律。通过实验室加速腐蚀试验与现场挂片试验相结合的方式，可以更准确地预测材料在实际服役条件下的腐蚀行为，为选材决策提供可靠依据。

3.2 机械性能分析

化工容器的机械性能分析是确保设备结构完整性的关键环节，主要包括强度、韧性、疲劳性能和蠕变性能等方面

的评估。强度分析需要考虑材料在常温及工作温度下的屈服强度、抗拉强度和持久强度，确保容器在各种载荷条件下都具有足够的安全裕度。韧性评估则重点关注材料在低温或冲击载荷下的抗断裂能力，防止脆性断裂事故的发生。对于承受循环载荷的容器，疲劳性能分析尤为重要，需要计算在设计寿命内的累积损伤程度。高温工况下还需考虑材料的蠕变性能和应力松弛行为，预测长期服役后的尺寸稳定性和强度衰减情况。现代分析技术有限元模拟可以更精确地预测复杂应力状态下的机械响应，而断裂力学方法则为评估含缺陷容器的安全性能提供了科学依据。机械性能分析必须结合具体工况和失效模式，才能得出准确可靠的分析结论^[4]。

3.3 热性能分析

化工容器的热性能分析涉及材料的热传导、热膨胀和高温强度等多个方面，对设备的热力耦合行为和温度应力分布具有决定性影响。热传导性能决定了容器的温度梯度分布，直接影响传热效率和热应力水平，在高温换热设备中尤为重要。热膨胀系数则关系到容器在温度变化时的尺寸稳定性，不同材料间的热膨胀差异可能导致连接部位的应力集中。高温强度分析需要考察材料的抗氧化性、高温蠕变抗力和组织稳定性，确保设备在长期高温服役过程中保持足够的机械性能。对于经历周期性温度变化的容器，还需评估材料的热疲劳性能，预测在反复热循环下的损伤累积情况^[5]。热分析通常需要结合计算流体力学和热应力分析，模拟实际工况下的温度场和应力场分布。通过优化材料选择和结构设计，可以显著改善容器的热性能，提高设备在极端温度条件下的可靠性和使用寿命。

4 案例分析

4.1 化工容器制造企业的材料选择策略与实践

大型化工装备制造集团在承接海外氯碱工程项目时，针对高温湿氯气腐蚀环境制定了系统的材料选择策略。项目团队首先对介质成分、操作参数和预期寿命等关键因素进行详细分析，确定耐氯化物腐蚀和抗应力腐蚀开裂为主要选材标准。通过建立多维度评价体系，对候选材料进行技术经济性比较，最终确定采用双相不锈钢作为主体材料，关键部位选用镍基合金衬里结构。在实施过程中，企业创新性地采用了材料生命周期成本分析方法，不仅考虑初始采购成本，更评估了维护费用和预期使用寿命带来的综合效益。同时，针对材料加工难点，专门开发了配套焊接工艺和热处理方案，确保材料性能得到充分发挥。该项目实施后，设备使用寿命较传统材料方案提升显著，验证了科学选材策略的重要性^[6]。这一案例表明，成功的材料选择需要建立在对工况条件的深入理解基础上，通过系统化的评估方法和创新的工艺解决方案，才能实现技术可行性与经济合理性的最佳平衡。

4.2 不同材料化工容器的性能对比分析

在炼化企业加氢反应器的选材过程中，工程师对

2.25Cr-1Mo 钢、321 不锈钢和 625 合金三种候选材料进行了全面的性能对比分析。在腐蚀性能方面,模拟实际含硫介质环境下的测试表明,625 合金表现出最优异的抗硫化物应力腐蚀性能,而 2.25Cr-1Mo 钢则需要依赖表面堆焊保护层。机械性能对比显示,2.25Cr-1Mo 钢在高温强度方面具有明显优势,但在低温韧性上不及奥氏体不锈钢。热性能分析则发现 321 不锈钢的热膨胀系数显著高于其他两种材料^[7],在温度波动工况下可能产生更大的热应力。通过建立包含安全系数、预期寿命和维护成本在内的综合评价模型,项目团队最终确定了基体采用 2.25Cr-1Mo 钢、内壁堆焊 625 合金的复合结构方案。这一对比分析过程突显了化工容器选材的复杂性,说明单一性能指标的优越性并不能直接转化为材料选择的决定因素,必须通过多参数系统评估,才能找到最适合特定工况的解决方案。此类对比分析为化工容器的科学选材提供了有价值的参考框架。

5 化工容器制造过程中的材料选择与性能优化的挑战与对策

5.1 材料选择与性能优化的挑战

化工容器材料选择与性能优化面临多方面的现实挑战。极端工况条件的日益严苛使得传统材料的适用性不断受到挑战,深冷环境下的脆性断裂风险、高温高压下的蠕变损伤等问题亟待解决。新材料研发周期长、成本高,且缺乏长期服役数据支撑,导致工程应用存在不确定性。多组分复杂介质环境下的腐蚀机理研究尚不充分,难以准确预测材料的长期腐蚀行为。材料性能优化过程中,强度与韧性、耐蚀性与可焊性等性能指标往往存在此消彼长的矛盾关系,平衡各项性能指标成为技术难点。此外,材料标准体系更新滞后于技术发展,部分高性能材料缺乏统一的技术规范和评价方法。在全球化供应链背景下,关键材料的可获得性和质量稳定性也成为制约因素,特别是一些特种合金材料受地缘政治影响存在供应风险。全生命周期成本控制要求与高性能材料的高成本之间的矛盾,使得材料选择决策变得更为复杂。

5.2 对策与建议

针对材料选择与性能优化的挑战,建议采取系统性的解决方案。建立基于大数据的材料性能数据库,整合实验室测试数据、现场服役经验和失效案例,为材料选择提供数据支撑。推动产学研协同创新,加速新材料的工程化应用,通过试点项目积累实践经验。完善材料评价体系,发展加速试

验方法,建立更精确的寿命预测模型^[8]。在性能优化方面,采用材料基因组工程方法,通过计算模拟指导合金设计,实现性能的精准调控。发展复合材料和表面工程技术,通过材料组合和表面改性实现性能互补。推动材料标准化建设,及时将新材料、新工艺纳入标准体系。建立多元化的供应链体系,确保关键材料的稳定供应。在成本控制方面,推广全生命周期成本分析方法,综合考虑采购、制造、维护和报废处理各环节费用。加强工程技术人员培训,提升材料选择与应用的系统思维能力。通过建立跨学科的技术团队,整合材料科学、腐蚀工程、力学分析和制造工艺等多领域专业知识,形成更科学的材料决策机制。

6 结论

化工容器的材料选择与性能优化是保障设备长周期安全运行的关键。研究表明,不锈钢、镍基合金及复合材料等在耐腐蚀性、机械强度和热稳定性方面各具优势,需根据具体工况合理选用。未来,随着新材料开发和表面处理技术的进步,化工容器的材料性能将进一步提升。同时,建立材料数据库和寿命预测模型,推动标准化选材流程,将是行业发展的重要方向。通过材料科学与制造技术的深度融合,化工容器的可靠性和经济性将得到显著提高,为化工行业的安全高效发展奠定基础。

参考文献

- [1] 弋楠,晁静. 研究化工机械高压容器筒体的制造工艺 [J]. 粘接, 2020, 43 (09): 133-136.
- [2] 陶彦文,朵元才,杜金涛,等. 焦炭气化甲醇装置钛材换热器研制 [J]. 中国化工装备, 2020, 22 (04): 29-35.
- [3] 张超. 压力容器制造质量管理控制要点分析 [J]. 化工设计通讯, 2020, 46 (06): 128+149.
- [4] 白翠翠,张红岩. 化工压力容器设计选材问题解析 [J]. 石化技术, 2020, 27 (05): 91+7.
- [5] 康聪聪,王秋利. S22053双相不锈钢压力容器的制造工艺 [J]. 甘肃科技, 2020, 36 (09): 52-54.
- [6] 袁承春. 承压设备接管锻件圆钢无损检测问题研究 [J]. 化工设备与管道, 2020, 57 (01): 25-28.
- [7] 宋义鹏,张振涛. 纯碱厂蒸吸的化工过程及设备的研究 [J]. 化工管理, 2020, (05): 146-147.
- [8] 徐冠元,王宇,程倩倩. 化工机械高压容器筒体的制造分析 [J]. 化工管理, 2019, (24): 131-132.

Application research of vortex gas purifier for treating high concentration NO_x

Chui Wang¹ Min Xiao¹ Longsheng Lai¹ Zhikun Bai² Yun Lei¹

1. Sinopec Catalyst Co., Ltd. Changling Branch, Yueyang, Hunan, 414012, China

2. Sinopec Catalyst (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin, 300000, China

Abstract

High concentration NO_x treatment is a key issue that needs to be addressed in the production process of catalyst products. Currently, research in related areas at home and abroad is relatively lagging behind, especially in the field of process innovation, which is not deep and systematic enough. The current exhaust treatment mainly uses a two-stage spray of alkali and urea mixed solution, but due to limitations such as small gas-liquid contact area and short time, the efficiency of spray absorption is not high, and yellow smoke is easily present in the exhaust, posing a risk of environmental protection exceeding the standard. This article takes the process of high-temperature calcination of RISO-C superacid isomerization catalyst carrier and other products in a shuttle kiln of a certain enterprise as an example. In response to the problem of exhaust gas treatment in current process operation, a vortex gas purifier test method is adopted to explore a new way of treating high concentration NO_x. This provides a reference for production technology improvement and plays a necessary role in promoting the innovation of catalyst production process in China.

Keywords

Vortex gas purifier; Spray absorption; High concentration NO_x

涡流气体净化器处理高浓度 NO_x 的应用研究

王垂¹ 肖敏¹ 赖龙生¹ 白志坤² 雷云¹

1. 中国石化催化剂有限公司长岭分公司, 中国·湖南岳阳 414012

2. 中石化催化剂(天津)有限公司, 中国·天津 300000

摘要

高浓度NO_x处理是催化剂产品生产工艺需要解决的重点问题,当前国内外相关方面的研究都较为滞后,尤其是在工艺革新方面的研究,还不够深入和系统。当前尾气处理主要是采用碱和尿素混合溶液进行两级喷淋,但受气液接触面积小、时间短等因素的限制,喷淋吸收的效率不高,尾气中极易出现黄烟,发生环保超标风险。本文以某企业梭式窑高温焙烧RISO-C超强酸异构化催化剂载体等产品工艺为例,针对当前工艺运行中尾气处理问题,采用涡流气体净化器试验方式,探索处理高浓度NO_x新型方式,以此为生产技术改进提供参考,为推动我国催化剂生产工艺革新起到应有促进作用。

关键词

涡流气体净化器; 喷淋吸收; 高浓度NO_x

1 引言

NO_x是工业生产中大气污染源的重要组成部分,对自然环境和人体健康都会产生显著影响。催化剂生产工艺中,部分产品载体成型过程中会加入硝酸作为胶黏剂,在高温焙烧时会由于受热在尾气中含有高浓度NO_x。针对传统运行方式中存在的问题,某企业采用引进涡流气体净化器方式处理尾气,取得良好应用成效,技术应用具有较高推广价值。

2 研究现状及应用背景

2.1 研究现状

当前国外催化剂产品生产中,多是关注工程化推进和绿色工艺革新等方面,通过结构化载体开发提升催化效果;通过超酸精准合成实现对产品的分子级精准控制,减少副产物;通过废物资源化工艺,实现“以废治废”目标。我国相关方面的研究,则是集中于催化技术革新,催化剂壳体结构优化、生产成本控制等方面^[1]。但是从整体上而言,关于生产过程中能耗控制、尾气处理等方面的研究相对还较为滞后。在化工产业绿色低碳循环高质量发展导向下,必须要通过工艺革新和新型设备应用,创新尾气处理方式,进行减少高浓度NO_x带来的影响,提升企业生产经营效益。

【作者简介】王垂(1987-),男,中国湖南溆浦人,本科,工程师,从事催化剂研发及制备领域研究。

2.2 应用背景

针对当前催化剂生产中尾气中高浓度 NO_x 含量过高, 处理难度较大等实际问题, 某企业采取引进涡流气体净化器方式进行处理。该设备利用涡流室内发达的相接触表面, 通过剧烈搅拌和旋转气层的高分散性, 提升净化器吸收尾气中粉尘和酸性气体效果, 净化效率可以提升至 90% 以上^[2]。为确保涡流气体净化器安全稳定运行, 在完成前期安装作业后, 必须要进行试运行试验, 检验处理效果并调整运行工艺和参数, 以有效解决传统生产工艺中存在的问题, 在提升装置生产效率, 降低运行能耗基础上, 有效解决尾气排放带来的环境污染问题。

3 实验设计与分析

3.1 实验前准备

3.1.1 涡流气体净化器安装

涡流气体净化器运送至作业现场后, 需先进行现场配电、管线连接、阀门及附件安装等作业, 并与厂家充分讨论, 确定初步试运行方案。本次实验中, 从生产实际情况出发, 将网带窑尾气和制带尾气断开, 重点分析涡流气体净化器对梭式窑尾气的处理效果。基本流程为梭式窑尾气与冷空气混合均匀, 先进入涡流气体净化器处理, 再经过还原尾气喷淋系统碱吸收处理, 以确保进入烟囱的尾气达到排放标准。改造后的尾气处理流程简图如图 1 所示。

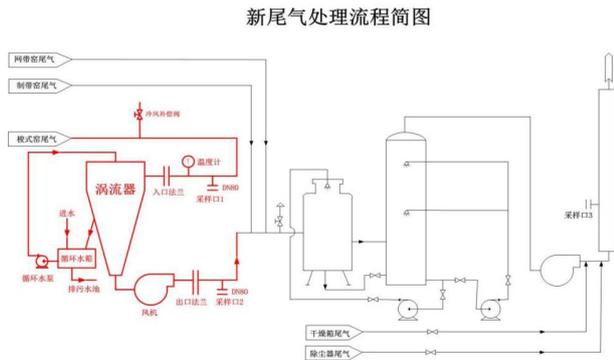


图 1 加装涡流气体净化器后尾气处理流程简图

3.1.2 涡流气体净化器单机试运

在正式实验前, 先进行单机试运行, 检查设备是否运行正常, 调节好冷风补偿阀开度, 测定气体流量。在试运行中需注意逐台启动循环泵、风机、涡流气体净化器等设备, 依照设计标准设定运行压力、流量等参数^[3]。开机前需检查设备润滑情况、地脚螺栓紧固情况等; 清理现场物件并做好加水。小型设备运行时间不少于 30min, 大型设备运行时间不少于 60min, 由专人做好设备运行状况、振动、声音、压力、密封、电流等情况检查, 全面准确记录相关参数。

3.1.3 梭式窑进料及升温控制

梭式窑尾气处理流程完善后, 即可进料升温。本实验共有 4 台梭式窑, 采用每次 2 台同时满负荷运行方式进行试

验, 每台焙烧物料约 250kg。在检查热偶位置无误, 窑门全部关闭, 设备供电正常后, 开始升温。

3.1.4 涡流气体净化器考察方案

本实验主要包括如下考察内容: (1) 涡流气体净化器对尾气中 NO_x 的处理效率, 从采样口 1 和采样口 2 进行气体检测。(2) 若经涡流气体净化器处理后的尾气 NO_x 不能达标, 则考察再经过两级碱喷淋吸收后的处理效率, 从采样口 1 和采样口 3 进行气体检测, 并观察烟囱外排尾气的颜色。(3) 若涡流气体净化器 (或涡流气体净化器 + 两级碱喷淋) 能达到预期效果, 则考察药剂和碱液的更换周期, 核算新尾气处理装置的运行成本。在实验过程中, 依照设计的梭式窑尾气采样检测登记表, 定时做好相关参数和浓度数据采集。

3.2 实验与分析

3.2.1 第一次实验及结果分析

第一次实验配制喷淋吸收液, 在涡流器水箱中加入 50kg 片碱和 330L 净水, 液碱浓度约 15%, PH=14, 原喷淋塔为 10% 液碱 + 100kg 尿素混合溶液。2 台梭式窑满负荷运行 (焙烧物料 500kg), 尾气流量 2500 m³/h。检测点设置为涡流器入口 (采样口 1)、涡流器出口 (采样口 2)、总排口 (采样口 3)。梭式窑焙烧尾气处理参数如表 1 所示。

表 1 梭式窑焙烧尾气处理参数、

| 项目 | 参数 | 备注 |
|---------------------------|-------|------------------|
| 焙烧物料重量 (kg) | 500 | |
| 液碱浓度 (%) | 15 | 加入片碱 50kg, PH=14 |
| 尾气流量 (m ³ /h) | 2500 | 风机频率 35 |
| 循环水流量 (m ³ /h) | 8.8 | |
| 尾气入口温度 (°C) | 47-50 | |

通过对实验结果分析, 发现涡流器入口 / 出口 NO_x 浓度基本无变化 (474 → 448 mg/m³), 表明气液接触反应未发生。分析该问题产生原因主要为: (1) 缺乏高效氧化剂, NO 难以转化为可被碱液吸收的 NO₂; (2) 尾气流量过高 (2500 m³/h), 停留时间过短 (仅 0.04-0.09s), 气液混合不充分。

3.2.2 第二次实验及结果分析

第二次实验在第一阶段实验基础上, 采取两种优化措施: (1) 喷淋吸收液中加入了黄烟去除剂, 涡流器水箱药剂占比 29.4%, 喷淋塔 47.2%; (2) 通过调节尾气流量, 增加尾气在涡流气体净化器及喷淋塔中的停留时间, 保证气液充分接触反应, 从而提高喷淋吸收效率。实验结果显示: (1) NO_x 总去除率 > 90%, 总排口浓度 < 100 mg/m³; (2) 烟囱无可见黄烟。分析效率提升原因, 主要是黄烟去除剂强化 NO 氧化为 NO₂, 大幅提升碱液吸收效率; 降低流量后, 停留时间增加 (涡流器 0.09s → 0.13s), 气液接触更充分。以此可以看出, 尾气在涡流器中的停留时间虽仅为喷淋塔的 1%, 但去除率有明显提升, 证明其具有高效混合能力。

3.2.3 第三次实验及结果分析

第三次实验在第二阶段实验基础上继续改进, 通过添

加多涡流反应器；将风机由立式改为卧式两种改造方式，增加气体在涡流器中的停留时间，有效提升涡流器对 NO_x 的处理效率，同时还能够有效防止叶轮蜗壳漏液至风机上，烧坏电机。改造后的涡流气体净化器形式如图 2 所示。

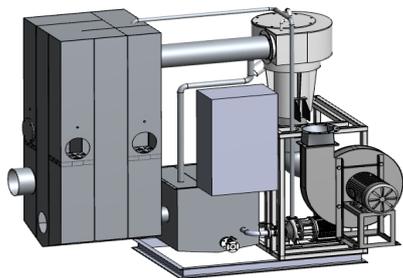


图 2 涡流气体净化器改造示意图

通过数据分析可以看出，改造后的格栅涡流器能够延长烟气停留时间，促进 NO 转化，脱除效率有明显提升。但是改造后的格栅涡流器阻力增加，会导致风量下降 30% 左右，由此使得污染物浓度上升，需采取措施进行预处理，降低进入涡流气体净化器的污染物浓度。同时由于梭式窑补风不足，还导致入口 NO 浓度异常升高，在 $> 700 \text{ mg/m}^3$ 时，总脱除效率下降。

3.3 实验结论

从上述实验过程和结果可以看出，涡流气体净化器结合专用药剂可高效处理高浓度 NO_x 。通过添加黄烟去除剂，将 NO_x 总去除率提升至 90% 以上，总排口浓度 $< 100 \text{ mg/m}^3$ ，满足排放标准。改造后烟囱无可见黄/白烟，水汽夹带显著降低。但在实际运行中，入口 NO 浓度需 $< 700 \text{ mg/m}^3$ ，如超出此边界条件，总效率会由于 NO 氧化不足而下降。在 4 台窑满负荷运行状态下，需采取措施进行预处理，降低进入涡流气体净化器的污染物浓度，否则出口浓度临界超标。

4 存在问题及改进建议

4.1 存在问题

从试运行结果分析可以看出，涡流气体净化器的改造，对提升高浓度 NO_x 处理效果有显著促进作用，但在实际运行中，仍存在如下方面的问题：（1）风阻过大，在增加格栅涡流器增加后，系统阻力上升，风机频率调节无效，风量下降 30%，导致入口污染物浓度被动升高。（2）入口 NO 浓度失控，梭式窑补风不足致入口 NO 浓度异常升高（超 700 mg/m^3 ），超出设备处理极限，效率下降 25% 以上。（3）

检测盲区， NO_x 浓度 $> 1300 \text{ mg/m}^3$ 时检测数据失真，影响入口浓度精准控制。

4.2 改进建议

针对试运行阶段出现的问题，本研究中提出，在正式投运前，需做好如下方面优化改进，以确保改造效果完全发挥出来。一是通过补风系统优化，重点解决风阻和浓度问题，通过在梭式窑尾气出口强制补氧，促进 NO 向 NO_2 氧化，降低入口浓度，确保排放时浓度控制在 100 mg/m^3 以下。二是对设备进行适应性改造，通过更换高压头风机方式，匹配格栅涡流器阻力特性，实现设计风量可调。对格栅涡流器结构进行优化，采用蜂窝状导流板替代实心格栅，将阻力降低 30% 以上。三是结合自动监控技术进行改造，通过安装在线浓度仪方式，实现对入口 NO_x 浓度的实时监测，在超出 700 mg/m^3 时自动触发预处理系统^[4]。对检测设备进行校准，将检测范围限定在 1300 mg/m^3 以下，在超限时可以采用化学吸收法等方法进行检测。四是在后续运行管理中，需做好喷淋液氨氮含量的连续监测，测定药剂失效阈值，在 $> 150 \text{ mg/L}$ 时及时更换，以确保处理效果达到设计要求。在条件具备情形下，可以测试尿素替代黄烟去除剂的可行性及经济性，通过对比分析，选择更为合适的药剂方案。

5 结语

从上述实验可以看出，针对催化剂传统生产工艺运行中存在的问题，通过添加涡流净化器和专属药剂，并进行针对性改造，能够有效除去尾气中的黄烟，当入口 NO 浓度 $< 700 \text{ mg/m}^3$ 时，现有设备可实现 NO_x 达标排放。在后续生产运行中，根据本实验中出现问题，进一步采取必要的处理措施，能够有效降低 NO 浓度，确保总出口达标排放。本研究中所提出的改造工艺，对处理高浓度 NO_x 具有显著应用成效，具有较高推广价值。

参考文献

- [1] 杨衡. 改性钒基催化剂选择催化还原高浓度 NO_2 性能研究[D]. 中国矿业大学, 2024.
- [2] 侯建勇, 严厚华. 含高浓度污染物的球团烟气净化技术进展与选择[J]. 河南冶金, 2021, 29(01): 6-10+48.
- [3] 马坚. 催化剂中高浓度 NO_x 废气的分级治理[J]. 精细石油化工进展, 2020, 21(01): 49-52.
- [4] 许永, 宋文涛. 氮氧化物 (NO_x) 治理技术研究[J]. 矿冶, 2017, 26(01): 79-82.

Thoughts on safety evaluation of drug preparation

Jin Wang Yanheng Song

Zhengda Tianqing Pharmaceutical Group Co., Ltd., Lianyungang, Jiangsu, 222000, China

Abstract

Oral or non-oral drug formulations often pose safety issues during administration, such as blood concentration, local toxicity, irritation, systemic allergic reactions, and hemolysis. To reduce the risks associated with clinical drug use, it is essential to conduct safety evaluations of drug formulations. This includes a comprehensive analysis of any non-compliance with guidelines and the optimization of these evaluations to ensure the safety of clinical trials and medication use. The article analyzes the problems in the safety evaluation of drug formulations to enhance the effectiveness of these evaluations.

Keywords

drug preparation; safety; evaluation; problem

药物制剂安全性评价问题思考

王瑾 宋艳恒

正大天晴药业集团股份有限公司, 中国·江苏 连云港 222000

摘要

口服或非口服给药的药物制剂, 给药过程中往往会产生由血药浓度引起的, 或者局部毒性、刺激性、全身过敏性、溶血性等安全问题。基于此, 为了减少药物临床用药风险, 需要组织开展药物制剂安全性评价工作, 尤其要对安全性评价中的不规范、不符合指导原则要求的问题进行全面性分析, 并优化安全性评价工作, 为临床试验、用药安全提供保障。文章主要对药物制剂安全性评价中的问题进行分析, 从而有效提高药物制剂安全性评价效果。

关键词

药物制剂; 安全性; 评价; 问题

1 引言

药物制剂安全性就是药物通过非口服方式给药后, 用药局部或者全身产生的毒性, 其毒性来源主要为药物活性成分、代谢物等理化性质, 进而引起过敏性、溶血性等问题。因此要做好药物制剂安全性评价工作, 对评价工作中存在的问题进行分析, 以便保障药物制剂安全性评价工作的有序进行。

2 药物制剂安全性评价的必要性

通常情况下, 非口服给药途径的药物需要获得充足的非临床制剂安全性信息, 但是当前部分申请人对制剂安全性研究工作不重视, 或者制剂安全性评价程序不规范, 难以以为临床试验提供安全性风险提示, 危害用药安全。药物制剂安全性评价是进行药物研发的重要步骤, 只有这样才能保障临床用药安全性。在药物制剂安全性评价工作中, 需要展开精确的药物动力学分析和药效学分析工作, 这样才能精准预测

避免出现药剂安全问题。此外由于不同患者存在一定的个体差异, 也会在一定程度上影响药物安全性, 因此要保障药物制剂安全性评价工作的标准性开展, 同时对生物标志物、人工智能等新兴技术进行优化应用, 从而保障评价准确性, 保障患者安全^[1]。药物制剂安全性评价是相关都法律法规的必然要求, 同时是保障患者用药安全性、有效性的重要前提。因此, 要严格按照相关评价流程, 实现药物整个生命周期的安全性监控, 遵循统一指导原则, 提升药物评价效率和一致性。其中, 非临床药物安全性评价重要性如表 1 所示。

表 1 非临床药物安全性评价重要性

| 非临床药物安全性评价重要性 | |
|---------------|---|
| 重要性 | 描述 |
| 判断毒性的可逆性 | 了解药物对机体的毒性作用是否可以恢复以及恢复的程度和所需时间, 为临床用药指导提供依据。 |
| 确定毒性靶器官 | 为临床药物毒副作用的监测提供依据, 为后期新药优化中药物结构的修改提供思路。 |
| 确定毒性剂量 | 了解单次给药和多次给药的毒性剂量, 为进一步毒性研究和/或临床研究剂量设计提供依据 |
| 确定安全剂量范围 | 了解单次或多次给药(剂量增大时)时药物有效且无毒副作用的剂量范围, 为进一步的毒性研究和/或临床研究提供安全支持。 |
| 确定毒性作用 | 收集动物对药物的毒副作用, 为临床安全观察指标设计提供依据, 并提前预防毒副作用。 |

【作者简介】王瑾(1988-), 女, 中国宁夏人, 硕士, 副高级工程师, 从事药物制剂研究。

3 药物制剂体外评价与体内评价相关性分析

在药物制剂研发和安全性评价过程中，体外与体内检测研究是药物开发的关键环节，利用药物制剂的体外与体内性能评估，能够帮助研发人员更加全方位的了解药物溶解性、稳定性、体外释放特性、体内药代动力学行为等重要参数，为药物制剂的合理设计、制定用药方案提供科学依据。体外评价可以提供药物理化性质、稳定性、释放行为等基础数据，体内药效研究能够反应药物在生物体内的实际作用效果。

体外评价研究就是在药物制剂在模拟生理环境下的性能进行测试和分析，其中体外评价包含：（1）溶解度评价，药物溶解度在特定温度环境下，单位溶媒中最大可溶解的药物量。溶解度测定方法有热力学法、电导法、高效液相色谱法等，对药物溶解度进行评估，能够预测药物溶解速率和吸收性能，为药物制剂设计提供依据。（2）离子化度评价，就是药物在溶液中以离子形式存在的程度，药物离子化度与药物溶解度、吸收速度、生物利用度息息相关。离子化度的测定方法有pH分配图法、亲水性指标法等。（3）稳定性评价，即评估药物在制剂或体外环境中的化学稳定性，主要包含药物降解动力学、降解产污的鉴定等。利用稳定性评价，能够了解药物降解途径、降解速度、影响药物稳定性的因素等，促进药物制剂研发工作的有序进行。（4）细胞实验，这是药物安全性评价的重要体外方法之一，把药物作用于特定的细胞系，然后对细胞生长、形态、代谢等变化进行观察，进而初步判断药物作用效果，同时还能够评估其潜在毒性。（5）酶学实验，就是检测药物对体内各种酶的活性影响，进而检测酶的活性变化，了解药物在体内代谢过程以及可能产生的不良反应。

体内药效研究：（1）药物动力学研究，就是测定药物在体内的吸收、分布、代谢、排泄过程，了解药物动态变化，评估药物疗效和安全性。（2）药效学实验，可以了解药物对疾病的治疗作用，通过体内药效实验，观察药物对疾病模型的疗效，验证药物疗效和安全性。

体外评价与体内药效实验结果存在一定的相关性，对两者相关性进行分析，需要构建预测模型，以便对药物在体内的实际疗效进行精准预测。不同患者的生理状况、疾病类型和严重程度等因素会影响药物在体内作用效果，利用体外评价，并根据患者的具体情况，能够促进个体化治疗，提高药物疗效。

4 药物制剂安全性评价的常见问题

通常情况下，药物制剂安全性评价包含过敏性、溶血性试验等方面，对试验中给药剂量、给药体积等指标进行科学设计。其中，非临床安全性评价试验种类及内容如表2所示。

表2 非临床安全性评价试验种类及内容

| 非临床安全性评价试验种类及内容 | |
|-----------------|---|
| 试验种类 | 研究内容 |
| 安全药理学 | 观察药物对主要生命器官功能的影响，主要观察中枢神经系统、呼吸系统、循环系统功能 |
| 单次给药毒性试验 | 观察单次给药后或24小时内多次给药后一定时间内的动物毒性反应及死亡情况 |
| 重复给药毒性试验 | 通过较高剂量较长周期的重复给药来考察动物接受药物后表现的毒性特征 |
| 毒代动力学 | 包括以下几个方面：1)方法学建立与验证；2)血药浓度测定并评估药物在体内的暴露量与毒性的关系 |
| 生殖毒性试验 | 观察供试药物对哺乳动物生殖功能和发育过程的影响，预测其可能产生的对生殖细胞、受孕、妊娠、分娩、哺乳等亲代生殖机能的不良影响，以及对子代胚胎-胎儿发育、出生后发育的不良影响 |
| 遗传毒性试验 | 通过系列的体外、体内试验考察受试物对生物细胞的结构和功能的变化，导致机体遗传信息的改变的有害效应 |
| 致癌试验 | 检测受试药物是否诱发动物发生肿瘤的风险 |
| 局部毒性试验 | 观察药物对给药部位如皮肤、粘膜、眼、肌肉、皮下等刺激性损伤的试验 |
| 免疫原性及免疫毒性试验 | 根据药物特点设计一系列免疫学试验或结合一般毒性试验，评估供试品对机体免疫系统的影响，包括但不限于主动全身过敏反应、皮肤被动过敏反应等试验研究 |

4.1 试验动物数量不足

在药物制剂安全性评价设计中，在确定动物数量时，需要以实验动物理论“3R”原则为依据。例如，在某葡萄糖钙注射液的仿制品种开展刺激性试验过程中，选择了2雌2雄四只白兔进行实验^[4]。通过实验结果可知，该实验选择的动物数量较少，与统计学要求不相符，加大了后续观察中阳性结果分析难度。因此，在该类实验过程中，需要综合性考量给药期末、恢复期末的2个解剖观察时间点。

4.2 刺激性试验问题

在制剂刺激性试验过程中常见问题有：没有按照临床拟用给药方式进行规范性操作；给药频率设计实验不标准；在应用多样化临床给药方式时缺乏全面研究；在药物制剂安全性评价中，临床拟用给药方式在动物中无法模拟，或者操作困难。

4.3 过敏性试验问题

过敏性又叫超敏反应，在局部给药发挥全身作用的药物，要求按照相关要求综合性考察I型过敏反应，例如注射剂需要开展主动全身过敏试验和被动皮肤过敏试验；在吸入途径试验中需要利用刺激实验进行操作^[5]。但是在实际实验过程中还存在一定的问题，如在过敏性试验中，往往会出现供试品毒性、特殊药理作用较强引起动物死亡等异常现象；难以精准识别过敏反应风险等问题。针对以上问题，需要在制剂过敏性试验评价中优化设计试验方案，才能保障过敏性试验的顺利进行。

4.4 溶血性试验问题

溶血性试验过程中，需要结合实际情况，采取差异化的试验方法，其中涉及体外试验、体内试验。在具体操作中，要通过体外试管法开展，即利用人血红细胞悬液体系，供试品达到临床拟用最高浓度；此外，在开展仿制药试验环节中，需要通过参比制剂对照方式开展；在试验阳性结果分析中，需要结合动物体内毒理学观察溶血反应的指标，如胆红素等，一旦发生体内溶血问题，需要深入开展制剂溶血风险研

究工作。

4.5 其他安全性评价问题

(1) 创新药安全性评价问题,具体的评价方法包含两种:单独评价,或者在重复给药毒性试验数据基础上进行。在实际评价作业中,要把制剂临床最高拟用浓度纳入进来,一旦实际评价中的制剂浓度与设计需求不相符,会严重降低实验结果准确性,因此通常需要单独开展制剂安全性评估工作。(2) 改剂型产品,例如在对部分改进型产品进行申报临床试验时,把已经上市的注射剂改成小容量注射剂,但是没有对小容量制剂进行安全性评价,因此要对新报制剂进行制剂进行安全性评价和研究^[6]。

5 药物制剂安全性评价优化策略

5.1 引进新兴技术

(1) 生物标志物,可以指示生物过程、病理过程、药物反应的客观可测量指标。在安全性评价中,对特定生物标志物进行动态监测,能够及时发现药物可能引起的毒性反应,这样能够在临床试验阶段就采取针对性的预防措施。生物标志物的应用,还能够及时监测药物疗效和患者治疗的反应,减少复发风险。生物标志物在个性化医疗中发挥了重要作用,能够为患者量身定制治疗方法,保障治疗安全性,为药物制剂安全性评价提供依据。(2) 人工智能与大数据在风险预测中的应用,在大数据技术支持下,能够对海量临床试验数据、药物不良事件报告、患者医疗记录进行综合性分析,然后利用人工智能技术对可能存在的安全风险信号进行精准识别,尤其可以利用深度学习模型对非结构化数据进行优化处理,并在社交媒体、医学文献中提取有价值信息,保障药物制剂安全性的全面性评估。

5.2 优化评价流程

在药物制剂安全性评价中,实现评价流程的持续性优化,能够进一步提高评价效率,控制评价成本。尤其可以对体外细胞培养和高通量筛选技术进行合理应用,遮掩可以缩

短药物制剂安全性评价时间,这样能够减少安全性评价中的动物使用量。

5.3 实现跨学科合作

在药物制剂安全性评价中,还需要强化跨学科合作,尤其要对药理学、毒理学、统计学等各个领域的专业知识进行优化整合,构建精确的预测模型。在实际作业中,可以利用机器学习算法,对海量临床数据进行深度分析和挖掘,对药物潜在副作用进行精准识别,进而做好药物开发早期风险评估工作。

6 结语

综上所述,为了提升药物制剂安全性,需要对药物制剂安全性评价工作中存在的问题进行全面分析,并提出科学合理的优化策略,引进新兴技术,优化评价流程,实现跨学科合作,保障药物制剂安全性评价工作的有序开展,真实体现临床用药实际情况,为临床用药安全提供风险控制信息,促进临床与用药安全。

参考文献

- [1] 郭文兰,陈雪君,王珊珊,等. 儿科药物制剂常见辅料的安全性评价及其应用中的挑战[J]. 儿科学杂志, 2024, 30 (06): 45-50.
- [2] 陈美灵,王庆利,光红梅,等. 药物制剂安全性评价及常见问题分析[J]. 中国临床药理学杂志, 2024, 40 (01): 139-143.
- [3] 韩运祺,肖云峰,王娜,等. 药代动力学在新药安全性评价中的应用研究[C]// 中国药理学学会安全药理学专业委员会. 第四届(2023年)中国安全药理学学术年会论文集. 内蒙古医科大学药学院;内蒙古医科大学新药安全评价研究中心;, 2023: 106-107.
- [4] 尹茂山,李峥,尹华静,等. 药物制剂安全性研究评价的常见问题讨论[J]. 中国临床药理学杂志, 2023, 39 (11): 1667-1672.
- [5] 高坤坤,高扬,高立芳. 磺丁基醚- β -环糊精在药物制剂中的应用及安全性研究[J]. 广州化工, 2022, 50 (04): 20-23.
- [6] 爱尔兰提示含鞣酐药物制剂应慎用于有血栓形成倾向患者[J]. 中国医药导刊, 2020, 22 (10): 722.

Study on the optimization of manufacturing process of anti-bending and pressure skin contact PVC pad

Wei Jian Li

Guangdong Yuanhua New Material Co., Ltd., Foshan, Guangdong, 528531, China

Abstract

This paper focuses on the manufacturing process of anti-folding and pressure-resistant skin-friendly PVC pads, aiming to address issues such as poor skin-friendliness, insufficient anti-folding and pressure resistance, and the tendency for plasticizers to leach out in traditional PVC pads. The study uses two PVC resin powders with different average polymerization degrees as the main raw materials, achieving a molecular-level 'graded' effect through precise blending. It also introduces environmentally friendly plasticizer DINCH and modified fillers to optimize the synergistic effect of each component. In terms of the process flow, the order and viscosity of slurry mixing are strictly controlled, and a layered coating and multi-stage temperature increase foaming strategy is employed, with meticulous management of parameters at each stage. The performance test results show that the optimized PVC pad has a tensile strength of 12.0 MPa, an anti-folding and pressure rebound rate of 82%, and a low migration amount of plasticizer to 0.28 mg/cm², with significant improvements in all performance metrics.

Keywords

PVC Pad; Process optimization; Foaming temperature control; Resistance to bending pressure

抗折压亲肤 PVC 垫的制造工艺优化研究

李伟健

广东远华新材料股份有限公司, 中国·广东 佛山 528531

摘要

本文围绕抗折压亲肤 PVC 垫的制造工艺展开研究,旨在解决传统 PVC 垫亲肤性差、抗折压性能不足以及增塑剂易析出等问题。研究采用两种不同平均聚合度的 PVC 糊树脂粉作为主体原料,通过精准配比实现分子级“级配”效应,同时引入环保型增塑剂 DINCH 及改性填料,优化各组分协同作用。在工艺流程方面,严控浆料混合顺序与粘度,采用分层涂布与多阶段升温发泡策略,精细化管理各环节参数。性能测试结果表明,优化后的 PVC 垫拉伸强度达 12.0 MPa,抗折压回弹率达 82%,增塑剂迁移量低至 0.28 mg/cm²,各项性能显著提升。

关键词

PVC 垫; 工艺优化; 发泡温控; 抗折压

1 引言

聚氯乙烯 (PVC) 材料因其良好的弹性、较高的强度、较好的耐化学腐蚀性以及相对较低的生产成本,在众多领域得到了广泛的应用,尤其是在瑜伽垫、运动垫等产品中,PVC 材料凭借其成本优势和相对较好的物理性能,占据了较大的市场份额。随着消费者对产品质量和使用体验要求的不断提高,现有 PVC 垫在实际使用过程中逐渐暴露出一些问题,严重制约了其进一步的应用和发展。由于 PVC 材料本身的特性,在与皮肤直接接触时,往往会给人一种生硬、冰冷的感觉,长时间使用容易导致使用者出现不适感,如皮肤瘙痒、过敏等现象,这在很大程度上降低了使用者在运动

过程中的舒适度,影响了产品的使用体验。^[1]在实际使用过程中,瑜伽垫或运动垫常常需要进行折叠、弯曲等操作,而传统的 PVC 垫在经过反复折叠后,容易在折痕处出现折纹,且难以恢复原状,使得产品在后续使用过程中容易在折痕处出现破损,从而缩短了产品的使用寿命,增加了消费者的使用成本。

本研究通过对 PVC 材料组成和制备工艺的深入研究,揭示了不同原材料和工艺参数对 PVC 垫性能的影响机制,丰富了 PVC 材料科学领域的理论知识,为后续的材料研发和性能优化提供了有力的理论支持。从实际应用角度来看,成功开发出的抗折压亲肤 PVC 垫能够有效解决现有 PVC 垫存在的诸多问题,显著提高了 PVC 垫的使用性能和用户体验,满足了市场对高品质、环保型 PVC 垫产品的需求,有助于推动 PVC 材料在瑜伽垫、运动垫等领域的广泛应用,促进相关产业的升级和发展。

【作者简介】李伟健 (1987-), 男, 中国广东佛山人, 硕士, 工程师, 从事化工工艺技术研究。

2 材料与方法

本研究所使用的主要成膜材料为聚氯乙烯(PVC)糊树脂粉,为了实现PVC垫在抗折压性能与亲肤性之间的平衡,选用了两种具有不同平均聚合度的PVC糊树脂作为主体原料。第一种PVC糊树脂粉的聚合度控制在1500~1700之间,具备较高的分子链长度,提供较强的力学强度和骨架支撑能力;第二种PVC糊树脂粉的聚合度则控制在1000~1200之间,具有更好的流动性和柔韧性,便于加工与涂布。^[2]两种糊树脂的质量份配比范围均为120~140份,通过聚合度差值控制在300~700的范围内,从而实现分子级“级配”效应,增强链段交联程度,使得最终发泡结构具有优异的弹性和韧性。这种“错位聚合度”的策略是本研究材料体系中的关键创新之一,不仅提高了产品的抗折压能力,也为结构的柔顺性和肤感提供了保障。

为进一步优化成品垫体的物理性能和使用体验,本研究在配方中引入了新型环保型增塑剂——环己烷-1,2-二羧酸二异辛酯(DINCH),其用量控制在270~330份范围内。DINCH具有较大的分子量和极佳的相容性,其独特的环己烷结构能够与PVC的分子链段发生有效的缠绕和嵌入作用,不仅增强了PVC分子间的柔性连接,还能有效避免在使用过程中因外部应力或高温条件导致的增塑剂迁移现象。^[3]实验过程中进一步发现,DINCH的存在显著提升了垫体的肤感特性,在手触试验中表现出良好的柔顺度和亲肤性。配方中还添加了10~12份的发泡剂,以形成闭孔型的弹性结构;稳定剂则控制在7~8份之间,用于在高温发泡过程中保持分子链结构的稳定,防止热降解或相分离现象的发生。通过对发泡剂与稳定剂之间的比例关系精确控制,实现了优质的泡孔结构与材料整体均匀性。

为提升垫体的综合力学性能与表面亲肤质感,本研究还引入了20~30份的无机改性填料。选用的填料包括轻质碳酸钙、白炭黑、钛白粉等常见增强材料,这些填料首先经由有机硅改性环氧树脂处理后,获得了良好的表面活性与树脂相容性,在结构上呈现出球形颗粒状、粒径分布在2000~2500目之间。这种表面改性可在涂布与发泡过程中保持粒子在浆料体系中的均匀分散,避免出现聚团沉淀的问题,不仅增强了发泡层的结构支撑作用,还通过表面微观结构变化提升了亲肤性能。改性填料还兼具增强耐磨、抗紫外老化的效果,有效延长了产品的使用寿命。在实验方法方面,采用半连续混炼或高速搅拌机对原料进行混合制浆。初始阶段将PVC树脂粉与增塑剂等干粉原料按一定顺序投入搅拌设备中进行初步混合。搅拌时间设定为10~15分钟,转速控制在300~400r/min,以确保干粉原料能够充分接触并均匀混合,为后续加工奠定良好基础。依次加入发泡剂、稳定剂以及改性填料等其他组分,继续进行搅拌操作,直至所有原料均匀融合在一起,形成均匀一致的浆料体系。^[4]搅拌时间延长至20~30分钟,转速提升至500~600r/min,以保证各组

分能够在浆料中充分分散和均匀混合。为了准确评估浆料的流变特性,实验过程中使用旋转粘度计测量浆料的粘度,特别关注底层浆料的粘度是否达到预定要求,即粘度不低于20000 mPa·s。

首先将底层浆料涂覆于涤纶丝网布上。涂刮时,务必使底层浆料较完全地渗透至涤纶丝网布的下方,但又不掉浆。底层浆料涂刮完成后,先在100~110℃下塑化定型,定型时间为3-5分钟。定型结束后,再涂刮面料层浆料,涂刮完成后,送入发泡炉中发泡。发泡炉中各区温度为:一区温度185-190℃、二区温度210-215℃、三区温度210-215℃、四区温度160-165℃,发泡时间为10-15分钟。发泡结束后,得到抗折压亲肤PVC垫。各组样品配方和混合步骤需在恒温下进行,以保证数据可比性。

3 工艺流程与优化策略

制备过程始于底层浆料的制作,需先将底层原料按配比投入搅拌设备,以300-400r/min的转速持续搅拌10-15分钟,直至混合均匀。随即使用旋转粘度计测量粘度,严控底层浆料粘度不低于20000 mPa·s,防止涂布作业因高聚合度PVC过早凝胶化而影响质量。在底层浆料制备达标后,紧接着按配比投料制备面层浆料,同样以300-400r/min转速搅拌10-15分钟至均匀,随后备用。实践证明,此搅拌顺序可规避高聚合度PVC过早凝胶化风险,同时确保底层与面层间黏附紧密,为后续加工工序筑牢根基。

浆料粘度控制,底层浆料粘度过高易致流挂、涂层不均,过低则易渗漏、结构受损。通过调整溶剂用量与搅拌时间精细控制粘度,确定底层浆料粘度不小于20000 mPa·s为宜。在实验操作中,利用粘度计在线实时监测粘度变化,一旦偏离目标区间,便分批、少量添加增塑剂或溶剂进行微调。当粘度略低时,缓慢滴加少量增塑剂,边加边搅拌,直至粘度回至合规范围;反之,若粘度过高,适当添加溶剂予以稀释。^[5]

双层结构涂布工艺采用刮刀在涤纶网布上实施分层涂布,先将底层浆料均匀涂覆于平整的涤纶丝网布之上,随即送入预热区,在100-110℃下塑化定型3-5分钟,使其达半固化状态。以此为基底,再涂刮面层浆料,完成双层叠加,使底层有力承托并赋予回弹力,面层则优化触感与外观。为精准控厚,调节刮刀与基材间隙,参考PVC发泡壁纸工艺,将涂布厚度锁定在0.6-1.2mm,同步调整涂布速度,如在涂布速率偏快时适度放缓,保障厚度均匀。涂布完成后送入预烘箱,150℃下预塑化3-5分钟,促使PVC树脂充分塑化但不完全发泡,最后将双层网带送入分段控温的发泡炉,总体温度160-220℃,借鉴PVC人造革工艺,多阶段升温,依次设温约172-178℃、187-192℃、218-224℃,每阶段停留2~3分钟,让PVC树脂分步渐进塑化发泡,规避温度骤升破泡,促使泡孔结构均匀细腻。发泡完成后,缓慢冷却定型,成品PVC垫便得以成型。

4 性能测试与分析

拉伸强度测试作为衡量 PVC 垫力学性能的核心指标，采用了 GB/T 1040 标准的万能材料试验机，对制备样品的纵横两个方向进行极限拉伸试验。每组样品至少开展三次独立试验，记录断裂时的最大拉力与相应的断裂伸长率，并计算平均值与标准偏差。试验结果不仅反映了 PVC 树脂聚合度配比和填料添加对力学性能的调控效果，也为优化发泡温度和涂布厚度提供了数据支撑。为直观揭示材料在连续应力作用下的变形与断裂特征，配合高分辨率摄像系统同步记录样品拉伸破坏过程，为后续断裂机理分析奠定了基础。

在本研究中，我们设计了“200次双向折叠—静置恢复”循环试验，并利用光学显微镜对折叠部位的表面微观皱痕进行图像采集与深度测量，同时采用 ISO 2439 标准的回弹率测试方法，评估样品在压力解除后恢复原状的效率。测试结果揭示了双层涂刮结构与分段升温发泡工艺对泡孔结构完整性和整体回弹性的强化作用。通过对比不同工艺条件下折痕深度及回弹率的显著差异，我们能够量化各工艺优化措施对抗折性的提升程度，为后续工艺参数的精细化调控提供

参考。

5 对比实验与讨论

在本研究中，为系统评估 PVC 聚合度配比、改性填料含量及发泡温控策略对成品性能的综合影响，我们设计了四组对比实验：

A 组（基准配方）：PVC1:PVC2 = 1:1，无改性填料，恒温发泡（200℃）；

B 组（聚合度调整）：PVC1:PVC2 = 1:1.5，无改性填料，恒温发泡；

C 组（填料添加）：PVC1:PVC2 = 1:1，加改性填料 25 份，恒温发泡；

D 组（综合优化）：PVC1:PVC2 = 1:1.5，加改性填料 25 份，分段升温发泡（180℃→210℃→160℃）。

各组样品按相同的混炼、涂刮与预塑化流程制备，所有数据均为三次试验平均值，并计算了标准偏差。主要测试指标包括：拉伸强度、断裂伸长、抗折压回弹率及增塑剂迁移量四项，如表 1 所示。

表 1 测试数据

| 样品组别 | 拉伸强度 (MPa) | 断裂伸长 (%) | 抗折压回弹率 (%) | 增塑剂迁移量 (mg/cm ²) |
|------|------------|----------|------------|------------------------------|
| A 组 | 8.5 ± 0.2 | 180 ± 5 | 65 ± 3 | 0.45 ± 0.02 |
| B 组 | 9.8 ± 0.3 | 165 ± 4 | 68 ± 2 | 0.42 ± 0.03 |
| C 组 | 10.2 ± 0.4 | 175 ± 6 | 75 ± 3 | 0.30 ± 0.01 |
| D 组 | 12.0 ± 0.5 | 160 ± 5 | 82 ± 2 | 0.28 ± 0.02 |

从表 1 的数据可以看出：

聚合度配比影响：将 PVC1:PVC2 由 1:1 调整为 1:1.5（A 组→B 组），样品的拉伸强度提升约 15%，显示更高聚合度树脂的强化作用；但断裂伸长略有下降（180%→165%），表明柔韧性有所折中；抗折压回弹率小幅提升，增塑剂迁移量则略降，说明 DINCH 在不同树脂网络中都能有效抑制迁移。

改性填料作用：在 A 组基础上添加 25 份球形改性填料（C 组），拉伸强度增至 10.2 MPa（较 A 组增长 20%），回弹率提升至 75%，且增塑剂迁移量显著下降至 0.30 mg/cm²，表明填料不仅增强了泡层刚性，还通过表面结构改善，进一步抑制了增塑剂析出，同时保持了较高的断裂伸长。

分段升温优化：综合采用聚合度 1:1.5、25 份改性填料和分段加热发泡（D 组），样品性能达到最优：拉伸强度 12.0 MPa，抗折压回弹率 82%，断裂伸长 160%，增塑剂迁移量最低仅 0.28 mg/cm²。分段升温使得泡孔结构更均匀、网格支撑更牢固，从而在保持合适柔韧性的同时，实现了最佳的力学性能和环保指标。

6 结语

通过对抗折压亲肤 PVC 垫制造工艺的系统优化，成功克服了传统 PVC 垫的多项性能瓶颈，实现了材料性能与环保特性的协同提升。在材料选择上，两种不同聚合度 PVC

糊树脂粉的搭配使用，为 PVC 垫提供了优异的力学支撑与柔韧性平衡。改性填料的应用进一步强化了材料的综合性能，提升了耐磨性与抗紫外老化能力，延长了产品使用寿命。在工艺优化方面，浆料混合顺序的合理安排与粘度精准控制，确保了涂布质量与涂层均匀性。双层结构涂布工艺结合多阶段升温发泡策略，使泡孔结构均匀细腻，材料回弹性显著增强。对比实验数据充分证实了优化方案的有效性，各项性能指标均达到优良水平。

总体而言，本研究不仅为抗折压亲肤 PVC 垫的工业化生产提供了科学依据与技术指导，还为 PVC 材料在高端应用领域拓展奠定了坚实基础。

参考文献

- 郭琦. 发泡 PVC 的生产工艺及其在装饰材料中的应用[J]. 合成树脂及塑料, 2023, 40(2):78-81.
- 吉玉碧, 蒋杰, 武涛, 等. 增塑剂对 PVC 溶胶发泡性能的影响[J]. 塑料, 2023(5):46-50.
- 高贺勇, 郭超, 高贺昌, 等. 两种增塑剂在 NBR/PVC 发泡材料中的应用研究[J]. 化工新型材料, 2023, 51(S02):613-617.
- 黄东, 丁国军, 张维芳. PVC/无机复合发泡材料的制备及性能研究[J]. 聚氯乙烯, 2024, 52(5):9-12.
- 刘洁, 张丽丽, 邹鹏飞, 等. 环境温度对 PVC 低发泡板性能的影响[J]. 当代化工研究, 2022(24):57-59.

Process technology improvement and safety development of chemical enterprises

Zhaohui Ding

Anhui Quanjiao Economic Development Zone Management Committee, Huaibei, Anhui, 235100, China

Abstract

In the context of global economic transformation and the growing emphasis on green and sustainable development, chemical enterprises, as high-energy-consuming and high-risk industries, urgently need to achieve breakthroughs in technological innovation and intrinsic safety. This article focuses on optimizing chemical process technology and systematically explores key strategies for improving production efficiency, reducing energy consumption and emissions, and ensuring safe production in the current chemical industry. Additionally, it emphasizes the importance of risk identification, hazard management, and institutional development during technological improvements, all centered around the theme of safe development. By analyzing the deep integration of process and safety, the article argues that for chemical enterprises to achieve high-quality development, they must use technological innovation as a driving force, with safety governance as the baseline, to continuously optimize their process systems, thereby building a modern chemical industry system that is sustainable, safe, and efficient.

Keywords

chemical industry; process technology improvement; safe development; essential safety; technological innovation

化工企业工艺改进与安全发展

丁昭辉

安徽全椒经济开发区管理委员会, 中国·安徽 淮北 235100

摘要

在全球经济转型升级及绿色可持续发展要求日益增强的背景下, 化工企业作为高能耗、高风险行业, 亟须在技术创新和本质安全方面寻求突破。本文以化工工艺技术优化为核心, 系统探讨了当前化工行业在提升生产效率、降低能耗排放以及保障安全生产等方面的关键路径。同时, 围绕安全发展这一主轴, 探讨了企业在技术改进过程中需同步推进的风险识别、隐患治理和制度建设。通过对工艺与安全深度融合路径的剖析, 本文认为, 化工企业要实现高质量发展, 必须以技术创新为引擎, 以安全治理为底线, 推动工艺系统持续优化, 从而构建可持续、安全、高效的现代化化工产业体系。

关键词

化工企业; 工艺改进; 安全发展; 本质安全; 技术创新

1 引言

随着新一轮科技革命和产业变革的不断深入, 化工产业作为现代工业体系的重要支撑, 正面临技术更新加快与环保政策趋严的双重压力。长期以来, 化工企业由于工艺流程复杂、危险源密集, 事故频发, 制约了行业的高质量发展。面对日益严峻的环境与安全挑战, 传统依赖经验操作和粗放式生产管理已难以为继, 必须通过深化工艺改进来提升系统本质安全水平。与此同时, 国家对安全生产的法律法规不断健全, 企业安全责任愈加明确, 这促使化工企业必须将安全发展理念贯穿于技术改造的全过程。从系统工程角度出发, 将工艺优化与安全防控相结合, 已成为提升化工企

业核心竞争力的重要战略手段。因此, 本文围绕“工艺改进”与“安全发展”两大主题展开研究, 旨在为化工企业构建技术驱动型安全管理新模式提供理论参考与实践思路。

2 工艺改进的内涵与发展需求

2.1 工艺优化的系统意义

化工生产涉及复杂的物理与化学反应过程, 包括原料预处理、反应合成、分离提纯、能量转换等多个阶段。任何一个环节的技术效率、控制精度和稳定性, 均对整体生产过程的能耗、安全和产品质量产生显著影响。因此, 工艺的改进不仅是节能降耗的技术诉求, 更是推动本质安全建设和高效运行的系统工程。当前, 随着物联网、智能制造等新技术在化工领域的快速应用, 传统工艺在控制方式、原料利用效率和污染控制等方面存在的短板被逐步显现, 迫切需要以系统化思维推动技术迭代与升级。

【作者简介】丁昭辉(1989-), 男, 本科, 助理工程师, 从事化学工程与工艺研究。

2.2 传统工艺存在的关键问题

目前我国化工企业仍普遍存在自动化水平不高、工艺流程刚性较大、应急响应不及时等问题。多数装置设计以满足生产为目标,未能充分融合安全本质化理念,导致部分装置长期处于高风险运行状态。一些企业在追求高产值的同时忽视了工艺环节的安全余度设置,使得设备运行的可控性和容错能力较低。在这样的背景下,提升技术内涵、优化操作逻辑、加强工艺本质安全属性已成为提升化工企业安全治理能力的必然选择。

2.3 政策与市场对工艺升级的双向驱动

从外部环境来看,国家对化工行业实施差异化、精准化的能耗双控与安全环保政策,明确要求高危企业必须完成技术改造与清洁化升级。绿色低碳发展路径要求企业从源头减排、过程控制、终端治理等环节同步推进,促使工艺优化成为政策推动下的应对策略。同时,化工产品市场竞争日趋激烈,只有通过精细化控制和清洁高效生产模式,方能降低成本、稳定产品质量,进而提升企业市场竞争力。因此,在政策与市场的双重倒逼下,工艺技术升级已不再是选择,而是企业可持续发展的必由之路。

3 工艺改进技术路径及其安全提升作用

3.1 反应过程优化的本质安全导向

在化工反应过程中,反应速率、放热速率和物料浓度等参数直接影响反应系统的安全边界。通过引入新型催化剂、调节原料配比、优化反应器结构等手段,可以有效降低反应温度和压力,减少爆炸与泄漏等事故的发生概率。采用微通道反应器等强化反应技术,不仅提高了传热效率,也显著缩小了危险源的空间尺度,从而实现了本质安全控制的目的。在危化品反应系统中,实施在线监控与闭环反馈控制机制,使系统具备实时响应能力,是保障过程稳定运行的有效路径。

3.2 分离与传质过程的绿色改造

分离过程如精馏、吸收、萃取等往往是能耗大户,也是系统稳定运行的关键环节。采用节能型塔器结构(如热耦合精馏塔、多效蒸馏系统)能够在保障分离效果的同时减少能量损耗。新型膜分离技术以其操作简便、环境友好、选择性强等优势,在有机溶剂回收、废水处理等方面应用广泛。此外,工艺流程中的换热网络重构也能实现能量高效回收,在提升运行效率的同时降低热应力对设备的损害,间接增强系统的运行安全性。

3.3 自动化与信息化提升运行稳定性

引入DCS控制系统、SIS安全联锁系统以及MES生产管理平台,使生产流程实现数据集成与智能调度,是提升工艺系统自适应能力与响应速度的重要手段。通过构建动态模拟平台,企业可在非实操状态下评估工艺变化对系统的影响,为工艺改造提供数据支持。在发生突发情况时,自动化

系统可实现紧急停机、泄压排空等操作,减少人为失误带来的安全隐患。随着人工智能、边缘计算的深入应用,智能感知与预警系统也逐步推广,为工艺优化与安全控制融合提供了全新工具。

4 安全管理体系与工艺优化的协同机制

4.1 风险识别机制融入工艺设计初期

在新建或技改项目的工艺设计阶段引入HAZOP(危险与可操作性分析)等系统性方法,是识别潜在风险并设计合理控制策略的有效途径。HAZOP分析是一种系统化的风险评估方法,通过对工艺流程的每一环节进行逐项分析,识别出可能导致危险的因素。该方法能够全面评估工艺流程中可能存在的各类风险点,如设备故障、人员操作失误、工艺不当等。这种方法通过逻辑推理与经验判断,帮助企业提前识别出潜在的安全隐患,并在工艺设计阶段就做出合理的调整,减少了后期整改和事故的风险。

在工艺设计阶段,应优先考虑采用安全指数较高的原材料,尽量选择那些不易引发危险的化学品,以降低发生意外的概率。同时,设计中的装置布局应充分考虑安全间距,避免设备之间的过度拥挤,为紧急疏散提供必要的空间。管道走向的设计也应避开人员密集区,确保一旦发生意外泄漏等事故时,人员能够迅速脱离危险区域。将这些安全设计要求与工艺参数设定和设备选型标准相结合,确保技术改造与安全预控同步实施,从源头提高系统的安全裕度,防止因设计缺陷导致的安全隐患。

4.2 动态评估与预警机制闭环控制

传统的化工安全管理往往存在静态管理和滞后响应的问题。在快速变化的生产环境中,静态管理方法往往无法及时识别和应对突发的安全风险。因此,动态评估与预警机制的建立,能够弥补这一不足,提高化工企业在实际生产中的安全防控能力。

结合工艺系统的在线检测数据,构建动态风险评估模型是实现实时监控和提前预警的重要手段。通过实时采集和监测生产过程中关键参数的数据,动态评估模型能够及时识别出系统中存在的异常波动,并预测可能的安全隐患。例如,当设备的温度、压力等参数出现异常变化时,动态评估模型可以根据历史数据和实时数据进行比对,及时判断是否存在超出安全范围的风险。这一模型能够通过人工智能算法建立风险图谱,自动识别潜在的危险因素,并提前发出警告,指导操作人员采取相应的预防措施。由此,企业可以从“事后应对”转变为“事前预警”,实现风险的提前控制。这种闭环控制机制,既能够提升安全防范的效率,也能够帮助企业及时调整生产工艺,避免事故的发生。

4.3 人员培训与操作规范强化执行力

尽管现代化工艺系统已具备高效的自动化与安全防护功能,但人员操作与维护仍是保障系统安全运行的核心要

素。若操作人员缺乏对技术逻辑与操作规程的准确理解,即便设备再先进,也可能因误操作导致安全事故。因此,加强员工培训,尤其是在技术更新或工艺变更后的再教育,至关重要。企业应通过情景演练、模拟操作等手段,提升员工对新系统运行逻辑的认知。同时,依据岗位职责开展分层次培训,强化其风险防范意识。为提升操作规范性,应制定清晰的标准操作规程(SOP),规范每一道工序,并实行分级授权制度,使操作具备可控性和可追溯性,特别是在多级工艺交叉的复杂流程中,确保操作人员在权限范围内执行任务,从而构建起操作规范、安全高效的运行保障体系。

4.4 安全文化的建设与推广

安全文化的建设是提升企业安全管理水平的重要保障。通过安全文化的宣传和推广,可以增强全体员工的安全意识,使安全管理成为企业文化的一部分。企业可以通过定期举办安全知识讲座、安全演练等活动,增强员工的安全操作意识和应急处置能力。此外,企业还可以设立安全奖惩制度,对于积极参与安全管理、表现出色的员工给予奖励,对于违反安全规定的员工进行处罚。通过这些措施,激励员工主动参与到安全管理中,形成全员、全方位的安全管理氛围。

5 技术创新与安全发展融合趋势展望

5.1 本质安全型工艺的未来发展方向

在化工行业中,本质安全理念被认为是实现根本性风险控制的重要路径。未来工艺技术的演进应更加注重“安全优先”的原则,将安全理念融入设计的最初阶段,而非在工艺确定后再进行补救性防护。在这一发展方向中,采用本质安全型的原材料和反应条件是关键。例如,利用固体原料替代传统的易燃易爆液体原料,能够在源头上降低泄漏、燃烧和爆炸的可能性。再如,开发在常温常压下进行反应的新型反应体系,不仅提高了运行的稳定性,也减少了对复杂控制系统的依赖,从而降低人为误操作带来的风险。此外,绿色化工理念日益深入人心,清洁生产的要求逐渐成为化工设计的硬性指标。本质安全型工艺的开发应与绿色工艺协同推进,通过工艺简化、流程集成、反应路径优化等手段,从根本上减少有毒有害中间体的产生和“三废”排放。

5.2 智慧化工厂推动安全治理数字转型

在传统化工安全管理中,由于信息孤岛现象严重,现场数据获取滞后,难以及时对潜在风险做出精准判断和快速

响应,导致事故频发。新一代信息技术的迅猛发展,尤其是人工智能、物联网、5G通信、边缘计算等的融合应用,为化工安全治理提供了前所未有的技术支持。智慧化工厂作为新型工业系统的代表,其核心是以数据驱动为基础,构建起可预测、可调控、可自学习的安全生产体系。在这种系统中,从原料进厂、反应运行、储运管理到产品出厂的全过程都被纳入数字化监控体系,实现风险的动态识别与实时管理。

智慧化工厂的建设还推动了安全治理方式的根本变革。AI算法还可实现对历史事故数据的学习与模型迭代,持续提升系统的自适应安全能力。此外,通过数字孪生技术,化工企业可以在虚拟环境中进行应急演练与工艺优化,提前发现并修正潜在风险。未来,随着这些技术的不断成熟与深入融合,智慧化工厂将成为推动本质安全型工艺深度落地的技术载体,实现“从感知风险到控制风险”的跃迁,真正将本质安全控制落实到生产的每一个环节与时刻,为建设本质安全型化工行业提供坚实支撑。

6 结语

化工企业的技术改进不仅是提升经济效益的工具,更是保障安全生产的根本路径。在当前安全生产责任压实、环保压力加大的双重背景下,单一追求产能扩张的模式已经难以为继。必须依托先进工艺技术的引入,构建具有本质安全属性的现代化工艺系统,并将风险管理、人员培训、应急响应等安全管理要素深度嵌入工艺体系中。未来,化工企业要实现高质量发展,需要在工艺创新与安全治理之间建立起更加紧密的协同关系,通过不断优化技术路径和完善制度保障,走出一条兼顾效率、环保与安全的发展新路。

参考文献

- [1] 肖子强,郑国栋,李超,等.高效分离技术在化工工艺中的应用[J].辽宁化工,2025,54(05):880-882.
- [2] 田雨,印振昌,张茂富.化工工艺中新型反应器技术的应用[J].辽宁化工,2025,54(04):616-618.
- [3] 高畅.精细化工工艺技术提升及安全管理[J].现代盐化工,2025,52(02):10-12.
- [4] 张珍珍.化工工艺生产中的尾气系统处理效率研究[J].中国石油和化工标准与质量,2025,45(02):25-27.
- [5] 蔡嫦慧.化工企业污水处理技术方法研究与应用[C]//广西信息化发展组织联合会.第四届工程技术管理与数字化转型学术交流论文集.浙江宇龙药业有限公司;2024:34-35.

The practical application of safety information system in new projects of cellulose ether industry

Xinfeng He

Meixin Jiazhongwei Pharmaceutical Co., Ltd., Huzhou, Zhejiang, 313018, China

Abstract

This study examines new cellulose ether projects in the pharmaceutical and chemical industries, leveraging the national and Zhejiang Province's three-year action plan for hazardous chemical safety improvement. The research focuses on implementing intelligent factories, green factory systems, and safety information systems during construction phases. It systematically analyzes implementation experiences across four key stages: regulatory compliance with updated policies, preliminary design of innovative systems, mid-term installation and commissioning of smart technologies, and post-commissioning maintenance. The findings provide actionable insights for industry peers to establish intelligent systems while offering practical guidance for existing projects implementing safety information and smart management solutions.

Keywords

safety informatization; fundamental breakthrough; personnel positioning; personnel gathering risk warning; electronic special operation system

安全信息化系统在纤维素醚行业新项目的实践应用

何新峰

浙江省湖州市美信佳中维药业股份有限公司, 中国·浙江 湖州 313018

摘要

本文以纤维素醚医药化工行业新项目为基础,以国家及浙江省危化品领域治本攻坚三年行动计划为契机,在纤维素醚新建项目施工过程中,投资与建设应用智能化工厂、绿色工厂及安全信息化系统工程;客观总结与分析智能化工厂系统、绿色工厂系统、安全信息化系统在医药化工新建项目中的新政策法规执行、新系统方案的前期设计、中期的智能化系统安装调试、后期智能化系统运行及持续改进等一系列经验,为类似行业企业构建智能化系统提供宝贵经验与参考价值。同时为已建项目投建安全信息化、智能化管理系统提供建议与意见。

关键词

安全信息化; 治本攻坚; 人员定位; 人员聚集风险预警; 电子特殊作业系统

1 新项目介绍

美信佳中维药业股份有限公司成立于2003年10月22日,公司前身为浙江中维药业股份有限公司,于2021年9月30日变更为现有名称。经营范围:硬胶囊剂、药用辅料的制造。美信佳中维药业股份有限公司原有南太湖厂区主要产品为纤维素醚系列。原南太湖厂区位于浙江省湖州经济技术开发区,属于南太湖综合管理范围,按政府要求,需按计划实施迁移。因此企业投资98793.7万元在湖州市南浔区菱湖工业园区征地92965 m²新建生产厂区用于实施年产38000吨纤维素醚项目(新项目),原有南太湖厂区将2025年3月份停止生产。

【作者简介】何新峰(1979-),男,中国陕西武功人,本科,注册安全工程师,从事安全环境职业健康(EHS)技术与管理研究。

新项目三同时实施过程情况分为三个阶段:第一阶段:2022年11月至2024年03月,新项目建设期及设备安装调式期;第二阶段:2024年04月至2024年12月,新项目试生产期;第三阶段:2025年01月一至今,顺利通过项目竣工安全验收,正式进入生产期。

2 安全信息化建设项目应用背景

2024年3月12日,浙安委办〔2024〕11号文,关于印发《浙江省安全生产治本攻坚三年行动实施方案(2024-2026年)》子方案的通知^①。

此时,美信佳中维药业股份有限公司新项目正处于试生产伊始期,根据属地应急管理部门组织的《浙江省危险化学品领域安全生产治本攻坚三年计划》^②专题会议精神要求^③,公司负责人非常重视,于2024年4月组织制订了《美信佳新中维治本攻坚三年行动方案/清单》。其中公司《治本攻坚三年行动方案/清单》的第1项(建设应用人员定位系统)、第8-10项(建设应用安全风险承诺公告、建设特

殊作业电子审批系统、完善电子双重预防机制)需要进行安全资金投入,公司统称为“五位一体安全信息化平台应用建设项目”(以下简称:“安全信息化建设项目”)。

3 安全信息化建设项目挑战与解决方案

对于浙江省湖州市来说,安全信息化建设项目基本是个新概念,到2024年几乎没有几家企业做过类似项目,尤其对于化工医药企业而言,美信佳中维药业股份有限公司面临巨大困难与挑战。

美信佳中维药业股份有限公司制订《治本攻坚三年行动方案/清单》后,为有效落实该建设项目,公司负责人组织会议,制订科学可行的“安全信息化建设项目工作方案”。另外,公司负责人每周组织碰头会,就安全信息化建设项目实施方案、施工进度、遇到的困难进行讨论与总结,并形成下一步工作计划。

回顾公司安全信息化建设项目,总体可以分为三个阶段:第一阶段:2024年04月—2024年08月,为安全信息化建设项目招标及方案审核完善阶段。

公司在2024年4月至5月经过多轮招标,一共选出三家有实力有案例的安全信息化建设公司。三家公司到现场开展多轮调研勘查工作,在2024年06月底均编制完成了《美信佳中维药业智慧安全生产管理系统解决方案》。对此,公司邀请安全专家及技术人员对各家方案进行多轮论证。最终与中国联合网络通信有限公司签订《美信佳中维药业智能工厂建设服务合同》^④,合同服务范围主要有两大块:一是5G数字化智能工厂服务,二是安全信息化项目服务。项目总投入近四百万元用于打造美信佳中维药业智能化工厂、安全信息化工厂、绿色工厂建设。

第二阶段:2024年09月—2024年10月,为安全信息化建设项目安装调试阶段。确定安装单位后,正是公司新项目全面进入试生产期,公司新项目计划在11月通过安全竣工验收,12月份取得安全生产许可证。因此留给项目上马安装调试时间不多,为加快进度,公司安排专人每日对接跟进项目进度,同时设备设施安装后马上开展调试工作,紧赶慢赶,终于在24年10月中旬提前完成安装调试工作。

第三阶段:2024年11月—2025年03月,为安全信息化建设项目培训应用提升阶段。安全信息化项目建设调试成功后,公司立即组织开展线上线下培训。对于人员定位系统、电子特殊作业系统、双重预防机制电子系统,需要对车间一线操作人员进行应用培训,许多一线员工之前没有使用过,甚至都没听过。所以在培训应用上困难重重,为此,公司组织多轮培训沟通活动,并出台了一系列奖惩管理措施来促使员工佩戴应用人员定位卡。

目前人员定位系统及人员聚集风险预警管控体系运行正常,从工厂二道门的电子显示屏就可直观看到厂区人员分布情况,主要包括重大危险区域、甲类场所、施工场所、外来人员的分布情况。一旦有人员聚集超过一分钟,系统后台发出橙色预警,中控室人员会第一时间做出积极响应。

对于电子特殊作业申报审批流程的应用,开始大家使用纸质作业票已经形成习惯,突然要使用防爆手机在系统上

登录、填写、勾选、电子签名、提交、审批一系列流程,因为不够熟练,大家感觉花费了更多的时间,反而不如办理纸质作业票省事。因此,经过一轮又一轮的系统优化升级并不断的给员工开展应用培训,到25年3月份,安全信息化系统项目应用率已经由开始的50%提升到95%的较高水平。

4 安全信息化项目技术和应用介绍

“总书记有强调,省委有部署,发展有要求,监管有需要”,在化工医药领域依靠物联网、大数据、云计算、人工智能(AI)、5G等新一代信息技术^⑤,建设化工医药企业综合治理在线监测平台^⑥,加强在感知、监测、预警、处置、评估等方面赋能化工医药企业^⑦,破解企业安全生产的痛点、难点、堵点问题,是推进安全治理体系和治理能力中国现代化的重要战略选择,对于医药化工行业来说,推进化工医药领域安全管理数字化、网络化、智能化,具有十分积极的意义。

4.1 安全信息化项目的作用与效果主要有:

安全风险提前定位预警,通过边缘视频AI实时识别包括中控室SIS、重大危险源区域异常、设备异常等不安全行为和状态并及时预警,促进风险实时处置闭环,从苗头扼制安全事故。

基于“一张图”建设,加强人员动态管理,实时定位现场作业人员,对厂区的“人、物、环、管”形成全面的感知,实现全员、全过程、全方位、全天候管理。在同一时间,精确了解厂区所有人员、作业、环境等是否处于安全状态。

企业内部信息管理有迹可循,企业内部信息管理由线下到线上,建立电子台账,降低因人工录入出现的误差,各项业务形成系统数据库,管理者通过整体数据分析,了解厂区安全生产管理实况。

为企业带来移动监管的新平台,报警触发时能够精准分级推送至相关管理人员全终端(PC/移动终端)设备进行响应,让管理人员可以随时随地掌握公司安全生产状态。

4.2 公司安全信息化项目技术应用主要包括有:

企业安全基础信息管理系统:包括设备设施基础信息、安全生产许可相关证照和有关报告信息等。

智能AI预警系统^⑧:借助厂区安装的监控摄像头,利用历史数据部署人工智能(AI)算法,通过视觉学习引擎系统建设完善覆盖控制室、装置区、储存区、装卸区等重点部位的监控视频和视频存储系统(固定为主、移动为辅),实现实时监控、存储和录像回放。采用视频智能AI识别技术,实现对明火、烟雾、人员脱岗睡岗、劳保着装不规范、违规闯入受限区域、人员数量超限等异常状态的智能识别、报警和记录。

智慧消防系统:主要为消防远程联网监控系统。通过物联网技术实时采集联网企业火灾自动报警、电气火灾报警、防火门监控、智能疏散监控、可燃气体监控等系统前端感知设备的报警信息和设备运行状态信息,并与其他物联网系统的感知设备,防患于未然,降低火灾风险。

智慧用电安全监控系统:系统采用检测电气线路剩余电流、电压、电量、故障电弧、线路的温度的手段进行电气

火灾监控。实时接收联网企业监测线路中的剩余电流、电压、电量、故障电弧、温度变化等信息，对数据进行汇总、分析、自动绘成动态曲线。

人员定位系统^⑦：通过布设多个定位基站与人员携带的信号标签进行通信的方式，结合人员三维空间定位算法，计算出信号标签位置进行人员定位。实现接受与发送人员聚集、超员、离岗、滞留、非法闯入等报警信息、可视化展示、人员数量统计分析、人员活动轨迹分析、存储和查询等功能。

特殊作业系统^⑧：系统将特殊作业审批许可条件条目化、电子化、流程化，并通过信息化手段对作业全流程进行过程痕迹管理，从而实现特殊作业申请、预约、审查、安全条件确认、许可、监护、验收全流程信息化、规范化、程序化管理。

5 安全信息化建设项目成果亮点

2024年9月-12月，美信佳中维药业三年治本攻坚行动计划涉及的清单任务，均在2024年底前完成。取得这些进步，公司始终相信，安全是企业稳定发展的基石，安全投入，早投入早见效。公司智能化、安全信息化项目的有力推

行与实施，助力企业安全稳定高效发展，经过公司各部门积极配合，公司荣获2025年度第一批湖州市市级（四星级）绿色工厂荣誉；同时荣获湖州市经济和信息化局关于第四批“未来工厂”公示第六批智能工厂荣誉。

2025年3月28日，中央安全生产巡查组莅临公司开展安全生产巡查工作。巡查组一行对美信佳中维的安全智能化管理体系和现场安全管理工作予以充分肯定，进一步要求公司必须将安全生产理念贯穿到日常管理中，为行业树立标杆。

6 安全信息化项目未来规划

公司通过安全信息化项目建设前后的统计与对比，发现安全信息化项目使我公司获得了安全效益、经济效益和环保等效益，举例如下：

公司推行安全信息化项目建设，其背景和出发点是应《浙江省安全生产治本攻坚三年行动实施方案（2024-2026年）》的要求。由于时间紧任务急，在项目实施应用中遇到很多困难，也有很多有待完善的方面。下一步，公司的未来规划如下：

| 序号 | 安全信息化项目 | 重点岗位用工人数 | 未遂事故发生率(起/月) | 职业病岗位员工体检复查人数(人/年) | 外部环境投诉率(次/年) |
|----|---------|----------|--------------|--------------------|--------------|
| 1 | 投用前 | 2人 | 3 | 3 | 1 |
| 2 | 投用后 | 1人 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | 前后比较 | 减少50% | 减少66% | 减少100% | 减少100% |

(1) 增加设备状态远程监测系统^⑨。(2) 增加线上教育培训系统。(3) 智能化叉车管理系统。(4) 动火作业电焊机安装芯片二维码。(5) 人员定位系统与电子作业审批系统统一融合^⑩。(6) 智慧消防水源监控系统。

7 已建工程安全信息化项目建设建议

公司安全信息化项目上马之时，正处于新项目刚开始试生产阶段，依托新项目智能工厂建设服务。虽然前期经验不足，新项目实施起来还是比较快。但是，对于已建项目、已建企业工厂，尤其是老破旧企业，如果要实施安全信息化项目，那困难肯定会很多。在此笔者依据之前项目经验，给出一些建议与意见。

首先评估安全信息化项目是否需要上马、或者是否值得上马。一般企业被动接受各级任务与压力，匆忙上马，本着“应付”的态度。其结果肯定不尽人意，甚至事与愿违。确定要建设安全信息化项目，就要认真对待，科学对待。如果已建企业安全基础条件薄弱或不足，建设安全信息化项目就要统筹安排，整体设计。安全信息化项目属于智能化新技术领域，需要具有先进的管理技术人员进行日常管理与维护。安全信息化项目属于安全投入，不是立刻马上就见到效益的，甚至很久都看不到效果。所以很多企业不愿意投入、被动投入。已建企业项目的负责人控股人大佬们思想要“转型升级”，要跟上时代的发展。如果企业由于不重视安全、不愿意安全投入，就会增加企业的安全风险，造成优质人员流失。这样的企业迟早会出问题。

8 结语

美信佳中维药业股份有限公司安全信息化系统建设项目是国家出台治本攻坚三年行动计划的重点工作任务，在2024年4月启动、2024年10月完工并试运行，截止目前系统深入提升改进，运行效果较好，结果表明安全信息化系统建设提升了企业安全管理水平，保障了公司安全生产，同时提高了工作效率。为同行业树立借鉴及标杆的积极作用。

参考文献

- [1] 浙安委办〔2024〕11号文 浙江省安全生产委员会办公室关于印发《浙江省安全生产治本攻坚三年行动实施方案（2024-2026年）》子方案的通知。
- [2] 浙江省危险化学品领域安全生产治本攻坚三年行动实施方案（2024-2026年）。
- [3] 浙江省湖州市南浔区危险化学品安全生产治本攻坚三年行动任务分工。
- [4] 美信佳中维药业股份有限公司智能工厂项目合同及安全施工方案。
- [5] 《危险化学品企业安全风险智能化管控平台建设智能》。
- [6] 《“工业互联网+危化安全生产”特殊作业系统建设应用指南》。
- [7] 《“工业互联网+危化安全生产”人员定位系统建设应用指南》。
- [8] 《“工业互联网+危化安全生产”智能巡检系统建设应用指南》。
- [9] 《“工业互联网+危化安全生产”工艺生产报警优化管理系统建设应用指南(试行)》。
- [10] TZSESST002-2024 化工园区特殊作业安全智能化预警系统建设规范（浙江省应急与安全科学技术学会）。

Analysis of Problems and Optimization Measures in the Prevention and Control of Forestry Diseases and Pests

Yanhui Cong

Zaoziling Forest Farm, Kuancheng Manchu Autonomous County, Chengde, Hebei, 067600, China

Abstract

The prevention and control of forestry pests and diseases is an important part of maintaining forest ecological health and ensuring sustainable forestry development. Currently, the prevention and control work still faces many challenges, such as outdated prevention and control technology, incomplete monitoring system, and ecological balance disruption, which seriously affect the effectiveness of prevention and control and the long-term stability of forest resources. The limitations of traditional prevention and control methods are becoming increasingly prominent. How to optimize existing prevention and control measures and build a scientific, efficient, and environmentally friendly pest and disease prevention and control system has become a key issue that urgently needs to be addressed in the forestry field. This article aims to analyze the problems and optimization measures in forestry pest and disease prevention and control.

Keywords

prevention and control of forestry pests and diseases; Drug resistance; Biological control; Ecological regulation; biological diversity

林业病虫害防治中存在的问题和优化措施分析

丛艳会

宽城满族自治县造字岭林场, 中国·河北承德 067600

摘要

林业病虫害防治是维护森林生态健康、保障林业可持续发展的重要环节, 当前防治工作仍面临诸多挑战, 如防治技术滞后、监测体系不完善、生态平衡破坏等问题, 严重影响了防治效果和森林资源的长期稳定。而传统防治方法的局限性日益凸显, 如何优化现有防治措施, 构建科学、高效、环保的病虫害防控体系, 已成为林业领域亟待解决的关键问题, 本文旨在分析林业病虫害防治中存在的问题和优化措施。

关键词

林业病虫害防治; 耐药性; 生物防治; 生态调控; 生物多样性

1 引言

全球森林资源因病虫害侵袭遭受严重损失, 林业病虫害已成为威胁生态安全和经济发展的重大因素, 化学农药的过度使用导致病虫害抗药性增强, 不仅防治效果下降, 还对土壤、水源及生物多样性造成负面影响。基层防治力量薄弱、技术手段落后、预警机制不健全等问题, 进一步制约了防治工作的有效开展, 探索更加科学、可持续的病虫害防治模式, 对于实现林业高质量发展和生态文明建设目标具有重要意义。

2 林业病虫害防治中存在的问题

2.1 防治技术单一, 过度依赖化学农药导致抗药性加剧

当前面临的核心问题在于防治技术体系呈现显著单一化倾向, 过度依赖化学农药的现象普遍存在, 我国主要林业害虫如松材线虫、美国白蛾和杨树天牛等靶标生物对常用有机磷类、拟除虫菊酯类药剂的抗性指数已呈现逐年上升趋势, 部分区域抗性倍数超过初始毒力水平的数十倍。这种抗药性演替直接导致防治效率持续下降, 单位面积农药施用强度同比增加, 形成恶性循环, 化学农药的过量使用同时引发非靶标生物杀伤效应, 天敌昆虫种群密度下降幅度达到显著水平, 生物多样性指数降低, 生态系统自我调控功能受损。现有防治手段中生物防治技术应用占比不足, 微生物制剂、信息素诱杀等绿色防控技术推广面积仅占应防面积的有限比例, 技术集成度偏低。

【作者简介】丛艳会(1969-), 女, 满族, 中国河北承德人, 本科, 高级工程师, 从事森林保护工程技术研究。

从特定害虫的角度来看,松材线虫对辛硫磷、毒死蜱等有机磷农药的抗性指数,从2015年的3.2上升到2024年的28.6,抗性增加了近8倍;美国白蛾对氯氰菊酯等拟除虫菊酯农药的抗性水平在华北地区已达到较高水平(抗性指数>50),在常规施用浓度下,防治效果从90%降至40%以下。耐药性的加剧迫使防控单位不断增加农药的用量。2024年,中国林业化学农药单位面积施用强度比2019年增加了35%,形成了“增加剂量—更强抗性—进一步增加剂量”的恶性循环。过度使用化学农药也会对非目标生物产生毁灭性的影响。在连续三年使用广谱杀虫剂的林区,寄生蜂和瓢虫等天敌的种群密度下降了72%~85%,跳土昆虫和螨虫等

分解者的丰富度下降了60%以上,导致森林生态系统的“天然虫害防治屏障”崩溃。相比之下,生物防治技术的应用严重不足,微生物剂和信息素诱饵等绿色防治技术的推广面积仅占应预防面积的18.3%。技术的整合和应用深度远不能满足生态保护的需要。

2.2 生态防治措施推广力度不够,生物防治技术应用率低

生态防治措施的推广与应用仍存在明显不足,生物防治技术的实际应用率远未达到理想水平,当前林业有害生物防控体系中,天敌昆虫、微生物制剂及植物源农药等绿色防控手段的覆盖率较低,仅占综合防治措施的有限比例。以松材线虫病为例,尽管球孢白僵菌、川硬皮肿腿蜂等生防因子已具备成熟应用技术,但在实际防治作业中的推广面积仍显著低于化学防治区域。天敌昆虫规模化繁育与释放技术尚未形成稳定体系,部分优势种如赤眼蜂、瓢虫的田间定殖成功率受环境因素制约较大,持续控害效果难以保障^[1]。微生物农药方面,苏云金芽孢杆菌、核型多角体病毒等制剂的市场占有率较低,受限于生产成本、储存条件及施用技术要求,基层林区应用普及度不足,生态调控措施如诱木设置、抗性树种配置等营林技术的实施范围有限,未能充分发挥森林生态系统的自然调控功能。生态防治作为可持续治理的核心手段,其推广和应用仍面临多重障碍,生物防治技术的实际转化和应用率明显较低。在生物防治因子的应用方面,虽然球孢白僵菌对松褐天牛的死亡率可达80%,四川硬皮肿腿蜂对杨天牛的寄生率超过65%,但这些成熟技术的推广面积分别仅占松材线虫病和杨天牛防治总面积的12%和15%。主要限制因素包括:大规模繁殖天敌昆虫的技术不成熟,人工繁殖的优势物种如红眼蜂和瓢虫的存活率低于50%,以及由于温度和湿度导致的田间定植率大幅波动(范围在30%~70%之间);微生物制剂存在“三高一低”的问题——生产成本高(每公斤制剂价格是化学农药的3~5倍)、储存要求高(需要低温冷藏)、应用技术要求高(要求精确控制虫害期)、防治效果稳定性低(田间防治效果在40%~80%之间波动),难以在基层林区推广。

2.3 病虫害防治与生态保护协调不足,影响生物多样性

防治措施与生态保护的协同性不足,导致对森林生物多样性的负面影响日益显现,当前防治实践中普遍存在化学农药使用与生态保护目标相冲突的现象,广谱性杀虫剂的大范围施用不仅降低了目标害虫种群,同时也对非靶标生物造成显著伤害。在采取高强度化学防治的区域,传粉昆虫、捕食性天敌及土壤动物等有益生物类群的丰富度指数呈现明显下降趋势,部分敏感物种甚至出现局部灭绝现象。森林生态系统的营养级联效应因此受到破坏,食物网结构简化,自然控害能力持续减弱,单一树种的纯林改造和过度清理病虫害等防治措施,导致森林群落结构单一化,降低了生态系统的稳定性和抵抗力。外来防治物种的引入也存在生态风险评估不足的问题,个别案例显示引进天敌可能对本地种产生竞争排斥或基因污染。

3 林业病虫害防治措施

3.1 推广综合防治技术,减少化学农药依赖,延缓抗药性发展

综合防治技术体系强调多种防治手段的协同应用,包括生物防治、物理防治、生态调控和精准化学防治等,在生物防治方面,可通过释放天敌昆虫如赤眼蜂、瓢虫等,或施用微生物制剂如苏云金芽孢杆菌、白僵菌等,实现对靶标害虫的自然控制,减少化学农药的使用频次。物理防治手段如诱虫灯、信息素诱捕器等,可有效监测和诱杀成虫,降低种群基数,生态调控措施则注重通过优化林分结构、种植抗性树种、合理配置混交林等方式,增强森林生态系统的自我调节能力。构建以生物防治为主、物理防治为辅、精准化学防治应急响应的综合防控体系是解决耐药性困境的核心路径。

在生物防治层面,有必要促进天敌的释放和微生物制剂的大规模应用。对于美国白蛾,红眼蜂可以在幼虫阶段释放(释放率为30000头/英亩),寄生率可达75%以上;对于松褐天牛,施用球孢白僵菌粉(浓度 1×10^8 孢子/g)可获得60%~70%的稳定森林控制效果,比化学农药低50%。物理控制需要普及智能监测和诱捕设备,例如在林区安装太阳能信息素诱捕器(每50英亩1个),可以实时监测成虫的动态。诱捕效率是传统诱捕灯的三倍,同时减少了非目标昆虫的意外死亡。

为保障综合防治技术的有效推广,需要加强技术研发、示范应用和人员培训,应持续优化天敌昆虫规模化繁育技术,提高其田间定植率和控害效果,同时开发新型高效微生物农药,增强生物防治的稳定性和适用性。需建立病虫害监测预警网络,结合遥感、物联网等技术,实现虫情动态的实时监测和精准预测,为综合防治提供科学依据,还需加强基层林业技术人员和从业者的技能培训,使其熟练掌握综合防治技术的操作要点,提高技术落地效率。

3.2 加强生物防治技术研发与应用，提高天敌昆虫和微生物制剂使用比例

加强生物防治技术研发与应用是推动林业病虫害绿色防控的重要突破口，当前应重点突破天敌昆虫规模化繁育技术瓶颈，针对松褐天牛、美国白蛾等重大林业害虫，优化赤眼蜂、肿腿蜂、花绒寄甲等优势天敌的人工扩繁工艺，提高其田间释放后的适应性和控害效能。在微生物制剂研发方面，需加强高毒力菌株选育，提升白僵菌、绿僵菌等虫生真菌的孢子萌发率和环境稳定性，开发新型昆虫病毒制剂与微生物代谢产物农药^[2]。

提升生物防治技术应用水平需要完善从研发到推广的全链条支撑体系，一方面要健全天敌昆虫和微生物制剂的质量标准与检测体系，确保产品活性和防治效果。另一方面需构建生物防治技术应用规范，根据不同林区环境特点和害虫发生规律，制定科学的天敌释放策略和微生物施用方案，加强生物防治示范基地建设，通过典型区域的成功案例带动技术推广，并建立效果跟踪评价机制，不断优化技术参数。

3.3 建立生态友好型防治，协调病虫害防控与生物多样性保护

建立生态友好型防治体系强调以生态系统健康为基础，通过优化森林结构增强其自然抗性，具体措施包括构建多种树种混交林、保留枯立木和倒木等生物栖息地、控制林分密度以维持适宜的微生态环境。在防治技术上优先选择对非靶标生物影响较小的干预方式，如应用特异性昆虫信息素干扰害虫交配、采用选择性生物农药靶向杀灭害虫幼虫等，同时建立生态阈值管理机制，只有当害虫种群超过生态系统的自我调节能力时才实施人为干预，避免过度防治破坏生态平衡。

推动生态友好型防治需要建立多学科协作的技术支撑体系和评价标准，应开发基于生态风险评估的防治决策系统，综合考虑防治措施对传粉昆虫、土壤动物等非靶标生物的影响程度。重点研发环境相容性高的新型防治技术，如植物源引诱剂、昆虫生长调节剂等，减少对生态系统的干扰，建立森林健康与生物多样性监测网络，定期评估防治措施对生态指标的影响。

森林结构优化是基础，需要制定差异化的森林经营计划：在病虫害高发地区，纯林应转变为多种树种的混交林（针叶树占≤50%），10%~15%的死亡和倒下的树木应保留为天敌栖息地，使鸟类和寄生蜂的数量增加50%以上；在生态敏感地区（如自然保护区），采取“近自然管理”模式，

禁止大规模清洁和化学控制，依靠生态系统的自我调节能力来控制危害。防治技术的选择应优先考虑环境兼容性：推广特定的信息素干扰交配技术（如美国白蛾的信息素流浪率达到90%），避免影响授粉昆虫；昆虫生长调节剂（如吡虫啉）的使用仅针对幼虫期害虫，对鸟类和哺乳动物等非目标生物的安全率超过95%。同时，建立生态阈值管理机制，如松褐甲虫种群密度超过5头/株时启动干预，低于此阈值时依靠自然调节减少人为干扰。

风险防控体系应贯穿整个过程：“三级评估”（实验室安全测试→小规模试点监测→大规模推广和备案），引进外来天敌，确保生态风险低于5%；开发病虫害防治生态影响评估模型，量化措施对生物多样性的影响。

4 结论

林业病虫害防治是一项关系到生态安全和林业可持续发展的系统工程。其核心在于平衡“虫害防治效果”与“生态保护”之间的关系。目前的技术单一性、生物防治应用不足以及预防和保护之间协调不力等问题，本质上是传统“生态重度治理”模式的产物。未来，需要在三个方面取得突破：一是以技术创新为驱动，推进智能监测预警（如将遥感和物联网技术相结合，实现虫害实时感知），绿色防控技术（如生物制剂与生态调控的深度融合）；其次，在制度建设的支持下，完善生物防治产业链（从养殖到推广的全链保障）和政策激励机制（如生态补偿和技术补贴）；三是以跨学科协作作为路径，整合林业、生态学、昆虫学等多学科资源，构建“监测预警防控评价”闭环系统。只有这样，才能实现林业病虫害防治从“被动应对”向“主动防控”、从“化学优势”向“生态优先”的转变，为森林资源的可持续利用和生态文明建设提供坚实保障。

参考文献

- [1] 覃永刚.林业病虫害生物防治技术及应用研究[J].农业科技创新,2025(21):36-38.
- [2] 杨晶,郝晓侠,张士伟.林业病虫害预警体系的构建与病虫害防治方法解析[J].种子世界,2025(07):219-221.
- [3] 国家林业和草原局.中国林业有害生物防治发展报告(2024)[R].北京:中国林业出版社,2024.
- [4] 李娟,王浩.林业害虫抗药性机制及治理策略研究进展[J].林业科学,2024,60(3):123-135.
- [5] 张伟,刘敏.生物防治在森林生态系统保护中的应用现状与展望[J].生态学报,2023,43(15):6210-6220.