

# Research on the Application of Desulfurization Efficiency under the Growth of Coal Sulfur in Thermal Power Plants

Dong Teng

Zhejiang Zheneng Technology and Environmental Protection Group Co., Ltd., Jinhua, Zhejiang, 321025, China

## Abstract

From the perspective of long-term coal supply security, it is necessary for most coal-fired power plants in China to upgrade and transform their desulfurization systems to broaden their adaptability to sulfur content in coal, reduce the demand for low sulfur coal in coal-fired power plants, ensure coal supply safety, and also help alleviate the demand for low sulfur coal configuration in power plants, thereby easing the domestic coal supply shortage trend. The paper conducts research and discussion on the process of desulfurization system in coal-fired power plants, methods for improving desulfurization efficiency, main transformation schemes, comparison of advantages and disadvantages of schemes, selection of desulfurization tower defogger process, and application of desulfurization efficiency improvement. It can provide reference and guidance for optimizing and upgrading the desulfurization system in thermal power plants.

## Keywords

desulfurization efficiency; thermal power plant; coal sulfur

## 基于火力发电厂燃煤硫份增长下的脱硫提效的应用研究

滕栋

浙江浙能科技环保集团股份有限公司, 中国·浙江 金华 321025

## 摘要

从长期燃煤供应安全看, 中国多数燃煤电厂有必要对长期脱硫系统升级改造, 以拓宽机组对燃煤含硫的适应能力, 减少燃煤电厂对低硫煤的需求, 保障电厂供煤安全, 同时也有助于减缓电厂对低硫煤的配置需求, 减缓国内供煤紧张趋势。论文从燃煤电厂脱硫系统工艺情况、脱硫效率提升手段、主要改造方案、方案优缺点对比、脱硫塔除雾器工艺选择和脱硫提效改造的应用情况等多个方面进行了研究论述, 可以为火力发电厂脱硫系统实施优化升级提供借鉴和参考。

## 关键词

脱硫提效; 火力发电厂; 燃煤硫份

## 1 引言

随着中国经济的增长对煤炭资源需求持续增加, 煤炭资源一直处于供应紧张状态, 特别是国内优质煤炭资源处于逐渐枯竭状态, 且煤质呈大幅下降趋势, 根据国内某大型发电集团的电煤四大战略供应商分析统计, 整体燃煤硫分呈增长趋势, 其中中煤供煤平均硫分高达 1.5%; 神华供煤硫分达 1.0% 左右; 伊泰供煤硫分在 0.8%~1.0%; 专场煤炭中硫分不断升高, 以晋控普 2、晋控标 3、中天中蒙等煤种为主硫分平均约 1.5%。同时进口优质低硫煤受国内国外政策影响较大存在较大不确定性, 因此高硫分、低热值、高灰分的煤将逐渐成为国内火力发电厂电煤供应常态。

因此从燃煤供应安全看, 中国多数燃煤电厂有必要对

长期脱硫系统升级改造, 以拓宽机组对燃煤含硫的适应能力, 减少燃煤电厂对低硫煤的需求, 保障电厂供煤安全, 同时也有助于减缓电厂对低硫煤的配置需求, 减缓国内供煤紧张趋势。论文根据某燃煤火力发电厂脱硫提效改造应用情况作出分析研究。

## 2 中国燃煤机组脱硫系统情况

烟气脱硫方法主要分为湿法、半干法和干法脱硫工艺, 湿法工艺中的碱性浆液或溶液作为吸收剂, 技术比较成熟, 是目前使用最广泛的电厂尾气脱硫技术, 湿法工艺可进一步分为石灰石—石膏法、海水脱硫法、氨法脱硫工艺等。

目前中国大型燃煤火力发电厂绝大多数采用石灰石—石膏湿法烟气脱硫技术 (FGD)。

FGD 主要工艺: 烟气经除尘后, 通过脱硫塔入口区从浆液池上部进入塔体, 在脱硫塔内, 热烟气逆流向上与自上而下的浆液 (循环喷射) 接触发生化学吸收反应, 并被冷

【作者简介】滕栋 (1985-), 男, 中国浙江金华人, 本科, 工程师, 从事能源环境领域研究。

凝。添加的石灰石浆液由石灰石浆泵输送至脱硫塔，与脱硫塔内的浆液混合，混合浆液经循环泵向上输送由多层喷嘴喷出。浆液从烟气中吸收硫的氧化物（ $\text{SO}_x$ ）以及其他酸性物质，在液相中硫的氧化物（ $\text{SO}_x$ ）与碳酸钙反应，形成亚硫酸钙。脱硫自上而下可分为吸收区和氧化结晶区两部分：上部吸收区 pH 值较高有利于  $\text{SO}_2$  等酸性物质的吸收；下部氧化区域在低 pH 值下运行，有利于石灰石的溶解及副产品的生成。从脱硫塔排出的石膏浆液经浓缩脱水，使其含水量小于 10，生成石膏产品。脱后的烟气依次经过除雾器除去雾滴，再经过换热器或加热器升温后，由烟囱排入大气。由于在脱硫塔内吸收剂浆液通过循环泵反复循环与烟气接触，吸收剂利用率很高。

### 3 脱硫效率提升手段分析

提高脱硫效率的手段主要有：提高液气比、增加喷淋层提高吸收区高度、增大吸收塔浆池容量等方式。脱硫系统在实际运行中也可通过添加脱硫添加剂来进一步调节提高脱硫效率。

①液气比对脱硫效率的高低有着重要影响。在吸收塔设计中，循环浆液量的多少决定了  $\text{SO}_2$  吸收表面积的大小，在其他参数恒定的情况下，提高液气比相当于增大了吸收塔内的浆液喷淋密度，从而增大了气液传质表面积，强化传质，提高脱硫效率，提高液气比是提高脱硫效率的有效措施。但液气比增大带来的问题是循环泵流量和吸收塔阻力增大，电耗增高。

②在总浆液循环量不变的情况下，通过增加喷淋层数量来提高烟气通过吸收区的时间，增加烟气与浆液的接触时间从而可进一步提高脱硫效率。

③充足的浆池容积能使浆液在循环过程中有足够的停留时间，保障喷淋吸收的  $\text{SO}_2$  与浆液反应生成石膏固化吸收的  $\text{SO}_2$ ，从而使不断循环喷淋的浆液更容易吸收烟气中的  $\text{SO}_2$ ，有利于提高脱硫效率<sup>[1]</sup>。

④目前用于石灰石—石膏法的脱硫添加剂种类较多，其主要作用可强化吸收过程，可促进  $\text{SO}_2$  的直接反应，加速  $\text{CaCO}_3$  的溶解，促进  $\text{CaSO}_3$  迅速氧化成  $\text{CaSO}_4$ ，强化  $\text{CaSO}_4$  的沉淀，因此能提高脱硫效率。但会增加脱硫系统废水量及脱硫废水中 BOD 和 COD 的浓度，增加脱硫废水处理难度和成本。而且由于不同脱硫添加剂对脱硫效率影响不同，同时在燃煤不同含硫量时添加剂的添加量也不同。目前缺乏理论计算数据，无法计算添加脱硫添加剂后实际对脱硫效率的提升能力，各电厂一般通过实际运行试验才能掌握不同硫份时添加剂的添加量和添加周期以及系统对硫份的最大适应能力。脱硫添加剂一般作为特殊手段，在特殊情况下使用<sup>[2]</sup>。

### 4 脱硫提效改造主要方案介绍

各类提效改造方案主要围绕提高液气比、增加喷淋层

提高吸收区高度、增大吸收塔浆池容量方式进行。以国内某电厂百万机组为例，原有脱硫系统为单塔单层均流增效三层标准式喷淋（脱硫系统按入口  $\text{SO}_2$  浓度  $1745\text{mg}/\text{Nm}^3$ （煤种含硫约 0.8%）、脱硫效率  $\geq 98\%$ ，出口  $\text{SO}_2$  浓度不大于  $35\text{mg}/\text{Nm}^3$ ，入口烟气流按  $3200000\text{Nm}^3/\text{h}$ ），提效方向主要如下：

方案一（利旧）：利旧原有吸收塔，采用 1 层均流增效板 +1 层标准式喷淋层 +2 层交互式喷淋层 +2 座塔外浆液箱的组合，吸收塔浆液循环泵为 5 台，调节均流增效板开孔率调整成 33%。为满足浆液停留时间不小于 3.5min，在吸收塔附近位置新增 2 座塔外浆液箱。

该方案吸收塔塔体容积未做调整，是通过增加浆液循环总量增加液气比提高脱硫效率，改造后在开启 3 层喷淋层共 4 台泵运行时，在较高的 pH 值下运行，脱硫系统在设计烟气流下极限最大适应浓度最大约为  $1960\text{mg}/\text{Nm}^3$ （约 0.9% 含硫），由于受浆池容积限制，5 台泵同时运行脱硫效率难以进一步提升<sup>[3]</sup>。

方案二（抬塔）：利用现有吸收塔，抬高浆池高度，塔整体抬高约 7m。采用 1 层均流增效板 +5 层标准式喷淋层 +2 座塔外浆液箱的组合，循环泵为 5 台，为满足浆液停留时间不小于 3.5min，在吸收塔附近位置新增 2 座塔外浆液箱。

该方案通过加高吸收塔高度，既增加了液气比，又增加了烟气通过吸收区的时间，较方案一有更高的提升效果。改造后，在开启 5 台泵运行时，脱硫系统在设计烟气流下最大适应浓度最大约为  $2560\text{mg}/\text{Nm}^3$ （约 1.2% 含硫）。但是该方案改造抬塔必须在机组停役期间进行，施工难度和安全风险较高，而且改造后由于烟风系统阻力增加，电耗增加。

方案三（异地新塔）：异地新建一座吸收塔，塔径 21m，新塔采用 1 层均流增效板 +5 层标准式喷淋，循环泵为 5 台。1 层均流增效板，开孔率为 30%；设置 5 层标准式喷淋层，对应 5 台吸收塔循环泵，不设塔外浆液箱<sup>[4]</sup>。

由于本方案吸收塔异地新建，既可增加吸收塔高度也可增加塔体直径，而且可以对吸收塔除雾器系统也可以进一步优化改造，环保能力提升空间最大。新建塔涉及烟风系统、浆液循环系统吸收塔、石膏排浆系统、石灰石供浆系统、工艺水系统及氧化风等系统的重新接入，改造工作量最大，总时间最长。但新建塔大部分工作可以在非停机时间完成，对机组停役时间要求相对不高。改造后，开启 5 台泵运行时，脱硫系统在设计烟气流下最大适应浓度最大约为  $2560\text{mg}/\text{Nm}^3$ （约 1.2% 含硫）。

### 5 脱硫提效改造主要方案对比

方案一（利旧）：改造工作量最小，投资额最小，改造周期最短。但改造后对燃煤的适应能力提升有限，同时系统可靠性相对较低，虽然改造所需初投资较小但由于对燃煤

含硫适应低其投资回收期长,同时随着今后燃煤硫分的不确定性,该方案存在再次提效改造的风险<sup>[5]</sup>。

方案二(抬塔):可提高脱硫系统对燃煤的适应能力,但设计工况下系统可靠性较低、运行阻力最大(带来电耗增高)、改造难度施工风险最大、改造所需停机时间最长,一般燃煤发电机组A修停机计划无法满足<sup>[6]</sup>。

方案三(异地新塔):改造后对燃煤的适应能力最好,运行可靠性更高,且运行费用最低。本方案需对现有脱硫吸收塔附属系统进行移位改造,改造范围最广,但本方案可在不停机时先建设吸收塔,停机主要为烟气系统的改造,可满足一般燃煤发电机组停机计划。该方案缺点是改造费用最高,总改造时间最长,有的电厂FGD周围空间狭小,可能没有足够的场地。

## 6 脱硫塔除尘除雾方案选择

中国目前超低排放控制吸收塔本体出口雾滴及粉尘浓度的主要手段是在吸收塔上部安装管束式除尘器或屋脊式除雾器<sup>[7]</sup>。

管束式除尘器是由N根管束组成,每个管束筒体内设置有分离器、增速器、导流环及挡水环组成,分离器是由多个带一定倾斜角度的叶片组成,每个管束筒体内根据出口粉尘控制要求设置多个分离器和增速器,一般分离器设2~3个。其主要工作原理是利用烟气本身的上升动力,在向上经过管束筒体时,烟气中的雾滴和粉尘通过与筒体内的分离器叶片碰撞与气体分离,同时分离器叶片强制使烟气由直线向上运动变成螺旋向上运动,在改向旋转运动的过程中,将烟气中携带的雾滴和粉尘颗粒在惯性离心与直线运动的作用下撞击汇聚脱除<sup>[8]</sup>。

屋脊式除雾器由多片折成特定形状的波形叶片组成,叶片之间形成烟气流通道。其主要工作原理与管束除尘器类似,当一定速度的烟气向上通过除雾器时,烟气中的雾滴和粉尘在惯性及离心力作用下撞击并汇聚脱除。通常通过设置多级除雾器(目前常用3级)来达到控制出口雾滴及粉尘浓度。

通过与中国主要除雾器厂商的咨询及通过两种除雾器在电厂的实际应用情况看,在保证吸收塔出口粉尘浓度小于 $5\text{mg}/\text{Nm}^3$ 时,管束对吸收塔入口粉尘浓度的适应能力更高。

从煤质下降灰分进一步提高,从对吸收塔入口粉尘浓度适应能力看,如采用异地新塔方案,在新建吸收塔中考虑采用管束式除尘器并预留后续改造安装空间可进一步提高

运行经济性<sup>[9]</sup>。

在项目改造完成后,可通过停运吸收塔后湿式电除尘以检验吸收塔除雾器的除雾除尘能力,后续根据实际运行情况再考虑湿电的拆除优化工作,可进一步大幅度降低厂用电耗<sup>[10]</sup>。

## 7 脱硫提效应用案例

浙江省某百万机组电厂根据方案三(异地新塔)进行了脱硫提效改造,改造完成后,机组性能验收试验各项主要环保指标均有较大提升(煤种含硫约0.8%提升至煤种含硫约1.2%),湿式电除尘可撤出,运行经济性也大幅提升(脱硫系统阻力从3200Pa降至1998Pa,机组满负荷时,引风机克服阻力电耗降低2000kW·h,脱硫总电耗降低2100kW·h)。

## 8 结语

随着中国优质煤炭资源逐渐枯竭,无论从燃煤供应,还是降低发电能耗,国内燃煤火力发电厂对脱硫系统进行提效改造均有很大需求。论文从脱硫提升手段、具体方案、优缺点对比和应用情况等多个方面进行了研究论述,为行业健康与可持续发展提供借鉴。

## 参考文献

- [1] 房寿春. 燃煤电厂脱硫技术的应用和发展[J]. 化工管理, 2017(26):85.
- [2] 张毅, 王昊, 赵红涛. 大型能源企业基于销售需求的煤炭资源获取策略[J]. 煤炭经济研究, 2022, 42(12):43-48.
- [3] 李用芝, 梁霏飞. 吸收塔除雾器的选型与设计[J]. 科技资讯, 2015, 13(4):104.
- [4] 张丽珍. 某电厂4×300MW燃煤机组脱硫系统提效改造实例[J]. 环境科技, 2018, 31(2):49-51.
- [5] 张鹰. 燃煤电厂脱硫技术应用研究[D]. 江苏: 江苏大学, 2016.
- [6] 曲江源. 燃煤机组SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>脱除过程传递与反应特性[D]. 北京: 华北电力大学, 2022.
- [7] 牛拥军, 宦宣州, 李兴华. 燃煤电厂烟气脱硫系统运行优化与经济性分析[J]. 热力发电, 2018, 47(12):22-28.
- [8] 罗聪. 燃煤烟气污染物控制技术性能评估及经济性优化策略研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2021.
- [9] 吴峰. 燃煤电厂脱硫塔运行优化及环境效益评估[D]. 汕头: 汕头大学, 2021.
- [10] 李百鹏. 火力发电厂已建成机组锅炉烟气脱硫技术分析[J]. 科技创业家, 2012(21):60.