

Research on Safety Management in Coal to Methanol Production Process

Jinling Zhang

Dalian Baiyue Security Technology Service Co., Ltd., Dalian, Liaoning, 116031, China

Abstract

Coal to methanol, as an important component of China's coal chemical system, plays an irreplaceable role in ensuring energy security, optimizing energy structure, and supporting the supply of chemical raw materials. However, the coal to methanol production process has significant characteristics such as long process flow, large equipment scale, coexistence of high temperature and high pressure, and interweaving of flammable, explosive, and toxic media, which make its safety risks systematic, coupled, and amplified. Research suggests that by constructing a comprehensive safety management system centered on process safety management, guided by risk prevention and control, and supported by institutional and technological collaboration, the probability of accidents in coal to methanol production can be effectively reduced, and the intrinsic safety level of equipment operation can be improved. The relevant research conclusions of this article can provide theoretical and practical references for coal chemical enterprises to improve their safety management systems and promote the transformation of safety governance from passive response to active prevention and control.

Keywords

coal to methanol; Coal chemical industry; Production process; Safety management; risk control

基于煤制甲醇生产过程中的安全管理研究

张金玲

大连百悦安全技术服务有限公司, 中国·辽宁 大连 116031

摘要

煤制甲醇作为中国煤化工体系中的重要组成部分,在保障能源安全、优化能源结构以及支撑化工原料供给方面发挥着不可替代的作用。但煤制甲醇生产过程具有工艺流程长、装置规模大、高温高压并存、易燃易爆与有毒介质交织等显著特征,使其安全风险呈现出系统性、耦合性和放大性特点。研究认为,通过构建以过程安全管理为核心、以风险预控为导向、以制度与技术协同为支撑的综合安全管理体系,可有效降低煤制甲醇生产事故发生概率,提升装置运行的本质安全水平。本文相关研究结论可为煤化工企业完善安全管理体系、推动安全治理由被动应对向主动防控转型提供理论参考与实践借鉴。

关键词

煤制甲醇; 煤化工; 生产过程; 安全管理; 风险控制

1 引言

在中国“富煤、少油、缺气”的资源禀赋背景下,煤制甲醇产业在能源化工体系中长期占据重要地位。随着现代煤化工技术的不断成熟,煤制甲醇装置逐步向大型化、高参数和连续化方向发展,单套装置产能显著提升,工艺系统的集成程度不断增强。在提升生产效率和经济效益的同时,生产系统的复杂性和潜在风险也同步放大。一旦在关键工序或核心设备环节发生失控,不仅可能造成装置大面积停产,还可能引发火灾、爆炸、中毒等严重事故,对人员生命安全和周边环境构成重大威胁。基于此,围绕煤制甲醇生产过程

开展系统性的安全管理研究,深入揭示风险形成机理与管理控制逻辑,对于提升煤化工行业整体安全水平具有重要现实意义。

2 煤制甲醇生产过程的安全风险特性

2.1 多工序耦合条件下的高危工艺风险特征

煤制甲醇生产过程由煤气化、气体净化与变换、甲醇合成以及精馏储运等多个工序连续构成,各单元在工艺机理、运行参数和危险介质方面存在显著差异,但在物料与能量传递层面高度耦合,决定了其安全风险具有显著的系统性特征^[1]。煤气化单元通常在高温、高压条件下运行,系统内同时存在可燃气体、一氧化碳及含硫有毒介质,一旦设备密封失效、操作参数偏离或联锁保护不到位,极易引发燃爆或中毒事故。该环节不仅自身风险等级较高,而且作为前端工

【作者简介】张金玲(1987-),女,学历,本科,中级,从事化工技术安全,化工安全、精细化工。

序,其运行稳定性直接影响后续系统的安全边界。气体净化与变换环节虽然整体工况相对平稳,但其流程复杂、操作连续性强,涉及多级吸收、解析及化学反应过程,对温度、压力和物料配比的稳定控制要求较高。一旦局部设备或参数出现异常,易通过气体成分变化和负荷波动向下游传递,诱发系统性连锁反应。因此,该环节的安全风险更多体现为“隐蔽性”和“放大性”,其失控后果往往并非即时显现,而是在系统运行中逐步累积并集中暴露。

2.2 关键反应与储运环节的放大性与扩散性风险

甲醇合成单元是煤制甲醇生产的核心装置,也是安全风险高度集中的关键区域。该单元反应条件苛刻,对温度、压力及催化剂活性高度敏感,任何原料气成分波动、换热效率下降或催化剂异常,都可能引发反应速率失衡,造成局部过热甚至反应失控。由于合成系统通常在高压条件下运行,一旦发生异常,不仅处置难度大,而且事故后果严重,具有明显的高能量释放特征^[2]。精馏与储运环节则集中体现了甲醇易燃、易挥发的物理化学特性。该阶段涉及大量液态甲醇的分离、储存与装卸作业,作业频次高、暴露面广,静电积聚、阀门泄漏或操作不当均可能成为事故诱因。尤其在连续化生产条件下,前端工序的工况波动可能通过物料平衡直接影响储运系统的安全状态,使风险在系统内部进一步扩散。总体而言,煤制甲醇生产安全风险并非单点存在,而是在连续生产体系中相互传导、叠加放大,呈现出典型的系统扩散特性,这也对安全管理的系统性和前瞻性提出了更高要求。

3 煤制甲醇生产安全管理的主要内容

3.1 以过程安全为导向的技术管控体系构建

煤制甲醇生产安全管理的首要核心在于以过程安全管理理念为导向,系统构建覆盖工艺设计、装置运行与风险控制全过程的技术管控体系。相较于一般化工装置,煤制甲醇生产具有高温、高压、易燃、易爆、有毒介质高度集中的显著特征,任何单一环节的技术失效都可能通过物料与能量耦合引发系统性风险。因此,安全管理的重点不应停留在事故结果控制层面,而应前移至工艺与装置运行本身,将风险控制内嵌于生产过程之中。在工艺设计与装置配置阶段,应以本质安全为基本原则,通过流程简化、危险介质最小化和能量分级控制等方式,从源头降低事故发生概率^[3]。同时应合理设置工艺操作窗口和安全裕度,确保装置在工况波动条件下仍具备足够的稳定性与可控性。在生产运行阶段,技术管控体系的核心在于对关键工艺参数和设备状态的持续监测与动态控制。煤气化、合成反应及精馏储运等单元均对温度、压力和组分变化高度敏感,安全管理需依托自动化控制系统和联锁保护装置,对异常趋势进行及时识别和干预,防止工况偏离演变为事故。同时,应强化设备完整性管理,通过周期性检测、状态评估与预防性维护,降低因腐蚀、疲劳或老化引发的失效风险。通过将技术控制与风险预警相结合,可

有效提升煤制甲醇生产系统的抗扰动能力和运行安全水平。

3.2 以组织与人员为支撑的制度化安全管理机制

在高度技术密集的煤制甲醇生产过程中,人员行为与组织管理同样构成安全管理的关键内容。复杂工艺条件下,操作人员不仅是生产活动的执行者,也是风险识别与处置的直接参与者,其专业能力和安全意识对系统安全具有决定性影响。因此,煤制甲醇安全管理必须通过制度化机制,将人员管理纳入整体安全框架之中。第一,应围绕岗位风险特征建立差异化的能力准入与培训体系,使人员技能水平与岗位安全要求实现有效匹配。通过系统化培训和持续复训,强化操作人员对工艺机理、危险源特性及异常工况处置逻辑的理解,减少因认知不足或操作失误引发的安全事件^[4]。第二,制度化安全管理机制还体现在对生产组织方式和管理流程的规范化控制上。通过明确岗位职责边界和操作权限,避免因职责模糊导致的管理真空或指令冲突。第三,应将安全绩效纳入生产管理与考核体系,使安全责任由单一管理部门延伸至各层级组织与岗位。在此基础上,通过建立事故隐患排查、风险分级管控和应急响应等制度,实现安全管理由被动应对向主动预防转变。通过技术管控与组织制度的协同运行,煤制甲醇生产安全管理才能形成稳定、可持续的运行机制,为装置长期安全稳定运行提供有力保障。

4 煤制甲醇生产安全风险的管理实施路径

4.1 基于风险分级管控的安全管理实施路径

在煤制甲醇生产实践中,安全管理成效在很大程度上取决于实施路径的科学性与针对性。鉴于生产系统风险来源多样、危险程度差异显著,安全管理应以系统化风险识别和分级管控为实施起点,通过对不同生产单元和作业环节的风险特征进行综合评估,明确安全管理的重点方向。在具体实施过程中,应结合煤气化、高温合成及精馏储运等关键环节的工艺特性,对风险进行分级分类管理,将有限的管理资源优先投向高风险、高后果区域,从而避免安全投入的平均化和形式化。

在风险分级管控框架下,技术措施与管理措施应实现协同配置。对于高风险工序,应重点依托自动化控制、联锁保护和在线监测等技术手段,提升风险识别与处置的时效性;对于中低风险环节,则通过规范操作规程、强化现场巡检和过程监督加以控制。同时应将风险评估结果动态嵌入生产组织和作业审批流程,使安全管理成为生产决策的重要约束条件。通过风险分级管控的实施路径,煤制甲醇生产安全管理可由静态合规管理转向动态精准管控,从整体上提升风险防控的针对性和有效性。

4.2 煤制甲醇生产安全管理的协同运行机制

煤制甲醇生产安全管理并非单一部门或单一措施即可实现,其稳定运行依赖于多层级、多要素的协同机制^[5]。在组织层面,应通过明确企业管理层、专业技术部门和一线岗

位在安全管理中的职责分工,形成纵向贯通、横向联动的管理结构,使安全要求能够自上而下有效传导,并在现场层面得到落实。在运行过程中,安全管理机制应与生产管理、设备管理和应急管理形成有机衔接,避免安全工作被割裂为独立模块而削弱整体效能。在机制运行中,信息反馈与持续改进是保障安全管理有效性的关键环节。通过对运行数据、隐患排查结果和事故未遂事件的系统分析,可不断修正风险认知和管理策略,使安全管理体系保持动态优化状态。同时可以通过定期评估安全管理措施的实施效果,推动制度和手段的迭代升级,增强安全管理对复杂工况变化的适应能力。总体而言,只有在风险管控、组织协同和持续改进机制共同作用下,煤制甲醇生产安全管理才能形成闭环运行模式,为装置长期安全稳定运行提供制度保障与实践支撑。

5 煤制甲醇安全管理的优化方向与发展趋势

5.1 面向本质安全的系统优化与技术深化

在煤制甲醇生产规模不断扩大、装置复杂度持续提升的背景下,安全管理的优化应更加注重从系统层面提升本质安全水平。相较于依赖事后处置和外部约束的传统管理方式,本质安全强调通过工艺、设备和系统结构的优化,从源头削减危险源和事故诱因。在煤制甲醇生产中,应进一步强化工艺安全论证和危险与可操作性分析,将安全因素作为工艺改造和技术升级的重要约束条件,避免单纯以产能或能效提升为导向而忽视潜在安全风险。同时应推动关键设备和系统的可靠性提升,通过优化材料选型、结构设计和冗余配置,降低高温、高压和腐蚀工况下的失效概率,使安全风险在系统层面得到有效缓释。随着信息技术与工业控制技术的深度融合,安全管理的技术手段也呈现出由被动监测向主动预警转变的趋势。通过对生产过程数据的深度挖掘和关联分析,可提前识别异常工况演化规律,为风险干预提供时间窗口。这种基于数据驱动的安全管理模式,有助于突破传统依赖人工经验的局限,使煤制甲醇生产安全管理更加精准和前瞻,从而在保障安全的同时兼顾生产效率与系统稳定性。

5.2 安全管理理念与企业治理体系的深度融合

煤制甲醇生产安全管理的持续提升,离不开管理理念层面的系统转变。在实践中,安全往往被视为合规性要求或成本性投入,导致安全管理与生产经营目标之间存在一定张

力。事实上,安全管理水平的高低直接影响装置运行可靠性、生产连续性和企业长期效益,应将其纳入企业治理体系的核心内容之中。通过将安全绩效与经营绩效协同考量,引导管理层在决策过程中更加重视安全因素,有助于形成“安全即效益”的共识基础。在制度层面,应推动安全管理与企业战略规划、投资决策和技术改造的深度融合,使安全要求贯穿项目全生命周期。在此基础上,通过完善安全责任体系和激励约束机制,强化各层级人员对安全目标的内在认同,促使安全管理由外部约束转化为组织自觉。通过理念更新与制度融合,煤制甲醇生产安全管理才能实现由“被动防范”向“主动引领”的转变,为行业高质量发展提供内生动力。

6 结论

煤制甲醇生产过程的安全管理,是一项涉及工艺、设备、人员与组织管理等多维要素的系统工程。本文通过对煤制甲醇生产安全风险特性的系统分析,阐明了安全管理在全过程风险防控中的关键作用。研究表明,只有将安全管理前移至工艺设计阶段,并在装置运行中实现动态控制与持续改进,才能有效应对煤制甲醇生产中风险高度耦合和放大的现实挑战。如今在深化过程安全管理理念的基础上,充分利用信息化与智能化技术,不断提升煤制甲醇生产系统的本质安全水平,为煤化工行业的安全、稳定与可持续发展奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 刘浪,武本成,朱建华,等.煤制甲醇合成气中有机氯化物生成反应的热力学分析[J].洁净煤技术,2024,30(S1):104-110. DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.23101602.
- [2] 贺树民.粉煤气化耦合绿氢制甲醇过程经济性和减碳研究[J].现代化工,2024,44(9):1-5. DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.09.001.
- [3] 雷聪,梁立,倪昂,等.国产深度净化脱硫剂在大型化甲醇合成装置上的工业应用[J].低碳化学与化工,2024,49(4):107-112. DOI:10.12434/j.issn.2097-2547.20230395.
- [4] 叶兆昇.煤制甲醇危险性及安全管控措施探究[J].石化技术,2020,27(1):115-116.
- [5] 叶知远,饶娜,夏菖佑,等.CO₂加氢制甲醇催化剂与项目进展[J].洁净煤技术,2024,30(8):150-161. DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.23030103.