

系统响应迟缓、程序逻辑错误、硬件故障等。针对系统响应迟缓的问题，可以通过优化程序的执行效率来解决，例如减少不必要的循环、优化控制逻辑以及避免不必要的延时操作，从而提高响应速度。对于程序逻辑错误，调试人员应仔细检查梯形图或功能块图中的控制逻辑，确认各个控制信号和指令的连接是否正确，并确保逻辑顺序合理。如果发现控制信号未按预期响应，需进一步排查信号的来源、传输路径和逻辑判断条件。硬件故障通常由接线不当或模块故障引起，此时需要逐一排查硬件连接，确保各模块接线规范，避免接触不良或接线错误导致的故障。此外，调试人员还应检查设备的电源电压、负载情况等，确保硬件的正常运行。

4.3 系统优化与性能提升

PLC 系统的优化不仅能提高运行效率，还能增强系统的稳定性与可靠性。优化首先体现在程序代码的精简与优化，通过减少冗余的代码和优化控制逻辑，提升程序执行的效率。例如，避免使用重复的指令或过多的条件判断，减少程序的复杂性，从而加快控制器的响应时间。其次，合理配置输入输出模块和通信协议，选择适合的模块组合，可以提高系统的数据处理能力和响应速度。在通信方面，PLC 的通信协议应根据实际应用需求进行选择，避免由于通信延迟或带宽限制而导致的系统瓶颈。此外，采用智能算法，如模糊控制、自适应控制等，可以使 PLC 系统在面对复杂和变化的控制环境时，具备更强的适应性和抗干扰能力，从而提升整体系统的性能和稳定性。这些优化措施不仅有助于提高 PLC 系统的运行效率，还能确保系统在长时间运行中的可靠性。

5 实际应用案例分析

5.1 自动化生产线控制

PLC 在自动化生产线中的应用已成为现代制造业不可或缺的一部分。生产线通常由多个机械设备组成，这些设备需要在精确的时间和顺序下协同工作。PLC 系统能够实现输送带、机械手臂、装配线等设备的集中控制，并能实时调整各设备的工作状态。PLC 通过连接各类传感器，实时采集设备状态、温度、速度等数据，并根据预设的程序逻辑进行控制决策。例如，PLC 可以在检测到产品通过某一位置时，自动启动或停止某个机械臂，确保生产节奏的同步和生产效率的最大化。此外，PLC 还具备灵活的扩展性，随着生产需求的变化，系统可以通过增加模块或调整程序来满足新的控制要求。这种灵活性和可靠性使得 PLC 在工业生产中具有不可替代的作用。

5.2 电力设备的自动化控制

在电力系统中，PLC 的应用主要体现在变电站自动化控制和发电厂设备监控等方面。电力设备通常需要 24 小时不间断运行，因此，其自动化控制系统必须具有高可靠性

和实时性。PLC 系统能够对变电站的开关设备、变压器、断路器等设备进行精确控制，确保电力设备的稳定运行。例如，PLC 可以通过实时监控电气设备的工作状态，采集设备的温度、压力、电流等信号，分析判断是否存在故障隐患。当出现异常时，PLC 可以迅速发出报警信号，或者自动切换到备用设备，最大程度减少系统停机时间。此外，PLC 还能够与 SCADA（监控与数据采集）系统联动，将数据传输至监控中心，实现远程监控与管理。这种集成化的自动化控制系统，提升了电力设备的安全性、稳定性，并降低了人工干预的风险。

5.3 水处理系统自动化

PLC 在水处理系统中的应用大大提高了水处理过程的自动化和智能化水平。水处理过程中涉及多个环节，如水质监测、泵站控制、阀门调节等，PLC 可以在这些环节中发挥重要作用。首先，PLC 系统通过连接传感器，实时采集水质数据（如 pH 值、浊度等），并根据预设的控制算法对水质进行调节。其次，PLC 能够精确控制泵站的启动、停机和运行速度，确保水流的稳定性与压力的平衡，避免设备损坏或能耗浪费。同时，PLC 还可以根据水位、流量等参数自动调节阀门的开关状态，确保整个水处理过程的高效运作。通过对 PLC 控制系统的设计与优化，水处理系统不仅提高了运行效率，减少了人工干预，还降低了故障率和运维成本，为城市水务管理提供了坚实的技术保障。

6 结语

本文通过对基于 PLC 的电气自动化控制系统的设计与调试进行了详细探讨。通过合理选择硬件、编写控制程序并优化调试流程，可以构建高效、稳定的自动化控制系统。随着技术的发展，PLC 系统的应用将更加广泛，并在工业生产、能源管理、环境保护等多个领域发挥重要作用。未来，随着人工智能、物联网等新技术的融入，PLC 系统将更加智能化，为实现更高效的自动化生产提供保障。

参考文献

- [1] 宋小平.基于PLC的电气自动化控制系统设计与优化[C]//广西大学广西县域经济发展研究院.2025年第三届工程技术数智赋能县域经济城乡融合发展学术交流论文集.杭州萨萌科技有限公司,2025:266-267.
- [2] 翟鲁群,秦凤娇.基于PLC控制技术的电气自动化控制系统[J].数字技术与应用,2025,43(03):238-240.
- [3] 黄祺欣.基于PLC控制技术的电气自动化控制系统优化研究[J].自动化应用,2024,65(S1):152-154.
- [4] 戴璞伟.PLC在机械设备电气自动化控制中的应用研究[J].仪器仪表用户,2025,32(07):118-120.
- [5] 郭立军.基于PLC的电气自动化控制系统设计与应用研究[J].中国高新科技,2023,(23):51-53.

Innovation and Application of Flare Gas Emission Reduction Technologies

Chun Ye

Sinopec Natural Gas Branch, Anhui Sales Center, Hefei, Anhui, 230000, China

Abstract

Under the national strategy of dual carbon goals—achieving carbon peak by 2030 and carbon neutrality by 2060—flare gas emission reduction has emerged as a critical pathway for the green transformation of the energy sector. This study systematically categorizes the sources and emission characteristics of flare gas, primarily originating from oil and gas field operations, natural gas processing, long-distance pipeline maintenance, and petrochemical production. Emissions exhibit intermittent, high-variability patterns, with methane as the dominant component, posing severe climate risks due to its high global warming potential. We analyze three core technological pathways: (1) Source control via smart predictive maintenance and process optimization to minimize unplanned releases; (2) Process recovery employing mobile recovery units and skid-mounted systems to capture and compress flare gas for reuse; and (3) End-of-pipe treatment utilizing high-efficiency flare systems with advanced combustion control and, where applicable, catalytic methane oxidation. The integration of these technologies enables an emission reduction rate exceeding 90%, as demonstrated in field applications across multiple energy facilities. Furthermore, we propose a multi-dimensional promotion framework encompassing standardized monitoring protocols, incentive mechanisms for technological adoption, and the cultivation of an industry-wide innovation ecosystem. This integrated approach provides a scalable, economically viable pathway toward near-zero flare gas emissions in the global energy industry.

Keywords

flare gas; emission reduction technologies; technological innovation; clean energy; carbon neutrality

放空天然气减排技术的创新与应用研究

叶春

中石化天然气分公司安徽销售中心, 中国·安徽 合肥 230000

摘要

在国家大力推行“双碳”目标的背景下, 放空天然气减排已经成为了能源行业绿色转型方面的关键议题, 本文对放空天然气的来源以及排放特征进行了系统的梳理, 着重对源头控制、过程回收以及末端治理这三大技术路径的创新进展和应用实践进行了分析, 以构建集成化减排体系。研究显示, 在智能预测维护、移动式回收以及高效火炬等技术创新应用并有机结合的过程中, 放空天然气可以实现90%以上的减排率目标。同时, 本文进一步提出了完善标准、创新机制以及培育生态等推广策略, 为天然气行业实现近零排放提供了系统性的解决方案。

关键词

放空天然气; 减排技术; 技术创新; 清洁能源; 碳中和

1 引言

随着全球气候变化问题呈现出日益严峻的态势, 中国的“双碳”目标对能源行业的绿色发展提出了更高的要求。天然气作为一种重要的过渡能源, 在能源转型的过程当中扮演着关键的角色。不过, 它的产业链里存在的甲烷排放问题受到了广泛的关注, 特别是在油气田、输配站场等场所放空排放的天然气, 已经成为了重要的温室气体来源。甲烷在百年尺度下的全球增温潜势(GWP)是二氧化碳的28到36倍,

也就是在百年的时间维度里, 它的增温能力是二氧化碳的28倍至36倍, 这对近期全球变暖的影响十分显著。传统的放空天然气处理方式主要是以高空火炬燃烧或者直接排放来对其进行处理, 这不仅会造成能源资源方面的巨大浪费, 而且还会引发比较严重的环境治理问题。根据国际能源署所进行的统计, 在全球油气行业每年放空、燃烧以及泄漏天然气的过程中, 所排放的天然气大约等同于7亿吨二氧化碳当量。在技术进步、环保标准提高的情况下, 放空天然气减排技术也在不断地进行创新, 这使得多层次、系统化的解决方案体系得以实现。

【作者简介】叶春(1998-), 男, 中国湖北黄冈人, 硕士, 助理工程师, 从事天然气生产运行与安全管理研究。

2 放空天然气的排放特征与减排需求

2.1 排放来源与特征分析

放空天然气排放主要来源于在油气田开发、管道输送以及储存加工等环节的工艺需要和操作过程。具体而言，可以把它分成以下三类：第一类是计划性排放，这其中涵盖了对设备进行检修、对管线进行清管等操作，第二类是非计划性排放，它是由于设备出现故障、发生安全事故等突发情况而引发的，第三类是无组织泄漏，也就是包括阀门、法兰等连接处出现的微量泄漏这类情况。

排放出来的气体，其组分复杂多样，这种排放气体的主要成分是甲烷，其所占比例在 70% 到 95% 之间^[1]。与此同时，它还含有乙烷、丙烷以及其他重烃组分，在部分地区，排放的气体当中还含有硫化氢等酸性气体。放空气体的压力、流量以及温度等参数，它们的变化范围是比较大的，在这种放空气体参数变化范围大的情况下，就对减排技术的适应性提出了较高的要求。除此之外，放空作业通常具有间歇性、突发性的特点，这就需要减排技术具备能够快速响应和进行灵活调整的能力。

2.2 环境影响与经济价值评估

放空天然气排放会对环境造成多方面的影响，在放空天然气排放的过程中，甲烷作为一种强效温室气体，它会直接加剧全球气候的变化。与此同时，火炬在进行燃烧的时候，如果燃烧不完全，那么它所产生的黑碳、氮氧化物以及其他污染物会影响区域空气质量，进而对人体健康造成损害，根据相关估算，每排放 1 万吨甲烷相当于排放了大约 30 万吨二氧化碳当量，其环境成本是非常显著的。

从经济方面的角度看，放空天然气在本质上属于对优质能源的浪费，按照当前所处市场的价格去进行计算，每放空 1 万立方米天然气相当于直接造成数万元的经济损失。除此之外，开展放空作业的过程当中，还存在生产中断、设备损坏以及其他方面间接损失的可能性^[2]。因此，有效的减排措施不仅可以减少环境污染，而且还能够带来较为可观的经济效益。

3 源头控制技术创新与应用

3.1 智能监测与预测性维护技术

通过对物联网、大数据以及人工智能等先进技术的运用，智能监测技术实现了对放空源头的精准管控。该技术需要对关键设备以及管线安装各类传感器，以实时地对压力、流量、温度以及振动等运行参数进行采集，再结合大数据分析技术，就能够及时地发现设备异常以及潜在故障。基于机器学习算法的预测性维护系统能够提前对设备故障发出预警，把非计划性停机减少 30% 然后 50%，从而相应地降低应急放空频率。

数字孪生技术在对放空管控过程中，展现出了独特的优势，通过去构建物理设备的虚拟映射，能够在数字空间对各种运行场景以及操作过程进行模拟，进而对操作方案进行优化，并且提前对风险点进行识别。某大型输气站应用数字

孪生技术来优化清管作业方案，将单次作业的放空量从 1.2 万立方米减少到了 3000 立方米，减排效果十分显著。

3.2 工艺优化与流程再造技术

工艺优化技术是通过对工艺流程以及操作方法的改进来实现源头处的放空需求较少。模块化设计理念是把生产工艺划分成独立的功能单元，待某个单元需要进行检修的时，只需要对这个单元进行隔离，而不会对整体运行造成影响，从而大幅度地减少天然气的放空量^[3]。某天然气处理厂在采用模块化设计之后，年度检修放空量降低了 65%。

不停输作业技术的推广应用彻底地改变了传统作业模式。智能内检测机器人能够在管线正常运行状态下完成缺陷检测工作；带压开孔以及封堵技术允许在不停输情况下，开展管线维修以及改造工作；此类技术的应用打破了“作业必放空”的传统思维，让真正的零排放作业得以实现。

4 过程回收技术创新与应用

4.1 移动式回收处理技术

移动式回收装置作为放空天然气回收的重要技术方向，有着灵活性较高、适应性较强等优点。移动式液化装置采用了模块化的设计方式，它把预处理功能、液化功能以及储存功能集成到标准集装箱的内部，能够在短时间内部署到作业现场，该装置的处理能力为 5000-20000 立方米/天，液化率能够达到 70%-85%，生产出来的液化天然气 (LNG) 可以直接进行外运并且销售。

移动式压缩装置相对而言更加适合对中低压放空气体进行回收处理，该装置能够对气体进行压缩，使其压力达到 25MPa 以上，进而制成压缩天然气 (CNG)，然后通过管束车将其运输到用户端。和液化装置相比较而言，压缩装置的能耗比较低，并且投资也比较小，不过它的产品储存和运输成本比较高。因此，在对这两种技术实际应用时，常常会依据气源条件、运输距离以及其他因素来进行组合使用，从而实现最优经济效益。

4.2 固定式回收利用系统

针对放空频次较高、气量规模较大的固定排放点，固定式回收系统会更具备经济性。固定式回收系统一般情况下包含气体收集单元、增压单元、净化单元以及利用单元等，所回收的气体能够借助专用管道来输送到处理厂进行加工，或者直接当作燃料用于现场发电、供热等相关用途。

在某海上平台进行建设的过程中，其放空天然气回收系统把以往处于直接放空状态的气体进行收集，之后让这些气体用于平台燃气轮机发电，从而满足平台 80% 的电力需求，并且在一年的时间节约柴油的消耗大约 5000 吨，而对于陆上油气田，则需要把回收的放空气体用于驱动压缩机，或者将其注入地层来提高采收率，以实现资源的循环利用。

5 末端治理技术创新与应用

5.1 高效清洁燃烧技术

火炬系统作为最为传统的放空处理手段，其技术创新