

管输行业甲烷排放现状与管控对策

艾力群¹ 江玉友² 门立国³ 张鹏¹ 艾浩安⁴ 李灿⁵

(1. 国家管网集团油气调控中心; 2. 国家管网集团安全环保部;
3. 西南管道公司; 4. 同济大学; 5. 西气东输南京计量中心)

摘 要 天然气是一种优质、高效、清洁的低碳能源,但甲烷排放的短期温室效应影响更加显著,是气候变暖的主要因素之一,由此天然气全产业链甲烷排放逐渐成为业界关注的焦点。针对甲烷控排制约管输企业高质量发展,文章论述了甲烷排放对管输企业、天然气价值的影响,通过研究甲烷控排现状,分析了天然气管网在甲烷管控方面存在的主要问题,包括起步发展较晚、基础工作不足、数据核查不准、减排路线不精等问题,并提出了应对措施,加强对甲烷排放管控对策的完善与细化,完善甲烷排放管控的顶层设计,实施甲烷排放监测和核算体系,建立甲烷排放控制标准及规范,优化管网运行方式,加强重点排放源控制和技术研发试验,使用新工艺、新设备减少甲烷排放,推进 LDAR 风险管理,强化基础研究工作。

关键词 管输行业; 甲烷排放; 现状; 管控对策

DOI:10.3969/j.issn.1005-3158.2022.04.003

文章编号: 1005-3158(2022)04-0014-06

The Situation and Management of Methane Emissions in Pipeline Transportation Industry

Ai Liqun¹ Jiang Yuyou² Men Liguang³ Zhang Peng¹ Ai Haoan⁴ Li Can⁵

(1. Oil and Gas Control Center of National Pipeline Network Group;
2. Safety and Environmental Protection Department of National Pipeline Network Group;
3. Southwest Pipeline Company; 4. Tongji University;
5. Nanjing Metrology Center of West-East Gas Pipeline)

ABSTRACT Natural gas is a high-quality, efficient and clean low-carbon energy source, however the methane emission during the natural gas industry is more significant in short-term greenhouse effect, and it is one of the main factors of climate warming. As a result, methane emissions from the entire natural gas industry chain have gradually become the industry focus. At the problem that the methane emission control be a bottleneck factor restricting the development of the gas pipeline networks, this paper discussed the impact of methane emissions on the pipeline enterprises and the natural gas value. By studying the current situation of methane emission control, the main problems of methane emission control in nature gas pipeline networks were analyzed, including the late start development, insufficient basic work, inaccurate data verification and imprecise emission reduction route. The control countermeasures were proposed, such as strengthen the improvement and refinement of methane emission control measures, improve the top-level design of methane emission control, implement methane emission monitoring and accounting system and establish methane emission control standards and norms. Also, the operation mode of pipeline network should be optimized, the key emission sources control and technology research tests be strengthened, the new processes and equipment be used to reduce methane emission, following with the promotion of LDAR risk management and strengthen of the basic research work.

KEYWORDS gas pipeline networks industry; methane emissions; current situation; control counter-measures

0 引言

管输天然气的主要成分——甲烷是全球第二大温室气体,也是一种短寿命气候污染物(SLCPs),在地球大气中的浓度虽不高,但短期温室效应更加显著。以 20 年周期计算,甲烷排放导致的升温效应(GWP)为二氧化碳的 84 倍。2020 年全球温室气体排放中甲烷占比达到 14%,而化石能源活动甲烷排放占比为 40%以上,总量超过 7 000 万 t,甲烷浓度已经从农业时期的 0.000 72‰提高至 2020 年的 0.001 9‰。如不加以管

控,短期内甲烷排放的升温效应可以抵消天然气替代高碳能源的减排效应,成为制约天然气管网发展的瓶颈因素,影响天然气在未来能源的地位^[1]。随着我国天然气生产利用的快速发展和“全国一张网”加速扩张,甲烷可能从 LNG 运输储存、储气库、管道、加工存储设备等泄漏逸散排放(包括工艺放空、火炬燃烧和设备泄漏排放)^[2],如图 1 所示。如何减少甲烷从资源侧到需求侧过程泄漏到大气中,避免对环境和经济造成双重负面影响,是管输企业低碳转型的重大举措之一。

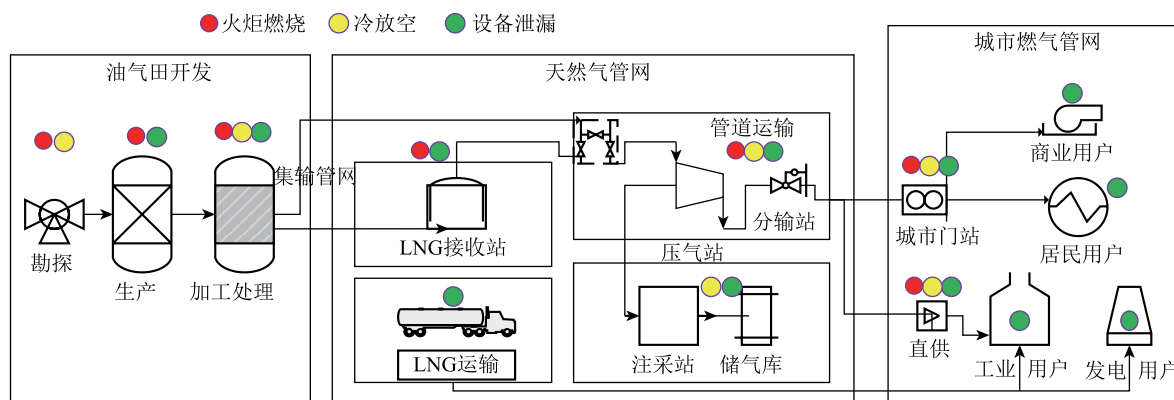


图 1 天然气管网甲烷排放示意

1 甲烷排放的政策

天然气作为最低碳的化石能源,既是替代高碳能源的最现实过渡,又是可再生能源发展的最佳伙伴,日益成为政府监管、企业竞争、公众热议的焦点。

1.1 中国“双碳”政策

在低碳化、无碳化特征的新一轮全球能源转型下,天然气是能源清洁化的最现实选择,也是稳定能源供应和推进经济低碳转型的桥梁。我国 2021 年煤炭占一次能源消费比重已降至 56%,非化石能源和天然气消费占比提高至 25.5%;预计 2050 年煤炭占比下降到 12.2%。中国政府明确了 2060 年非化石能源消费比重达到 80%以上的低碳路径,对天然气行业甲烷排放管控政策部署更加细致、要求更严格。在 2030 年建立完整的能源绿色低碳发展顶层设计、政策体系基础上,中国 2030 年后年减排率平均达 8%以上,远超发达国家减排速度和力度^[2]。中国持续加强甲烷排放控制研究,鼓励先行先试,加强国际合作,鼓励油气行业加强甲烷放空回收利用,规定了甲烷排放核算方法,并将放空天然气回收利用与装置制造等列为鼓励类产业^[3]。

1.2 行业自律与倡议

甲烷控排是短期内减缓全球变暖的有效手段,必

须采取甲烷控排措施已成为全球共识。国际能源署(IEA)乐观预估,天然气行业利用现有技术可以减少 70%以上的甲烷排放,近一半的排放可实现净零成本的减排。管输行业积极将气候变化、环境挑战相关风险纳入企业战略,2019 年全球 12 家石油公司组成油气行业气候倡议组织(OGCI),提出了“面向碳循环”的发展目标,多个能源、油气巨头宣布“碳中和”目标,甲烷排放管控的意义愈发彰显。2021 年 5 月,中国油气行业企业发起成立了甲烷控排联盟,力争实现 2025 年生产过程甲烷平均排放强度降到 0.25%以下,并努力于 2035 年达到世界一流水平^[4]。城市燃气企业共同签署了甲烷管控倡议书,管输企业把握绿色低碳转型的节奏和力度,积极开展甲烷控排行动,实现生产要素向降低甲烷排放领域流动。

2 天然气管网甲烷减排的意义

在“碳达峰、碳中和”背景下,甲烷排放管控行为是管输行业扎实开展降碳节能,彰显气候治理担当,稳定天然气在能源结构中的占比的重要举措。

2.1 有利于发挥天然气的能源转型作用

天然气将在中国能源低碳转型中起到关键支撑作用,主要体现在天然气将补充增量和替代存量高碳高污染燃料;在氢能发展中发挥助推器作用,培育

促进氢能产业并规模化发展;同时在构建新型电力系统中充当主要调峰资源。天然气管网规模将达到 16.3 万 km,到 2030 年打造 400 亿 m^3 储气调峰能力,支撑高比例新能源发展,发挥天然气在能源转型中的关键支撑作用,并建立和完善体现天然气低碳、清洁的政策体系和市场化机制^[3]。当前,我国天然气消费持续高速增长,2018 年消费增幅首次超过 400 亿 m^3 ,2019 年消费总量首次达到 3 000 亿 m^3 ,2021 年消费总量 3 654 亿 m^3 ,人均消费量是全球平均水平的 49%。预计 2025 年消费量超过 4 000 亿 m^3 ,2040 年有望达到峰值 6 500 亿 m^3 ,2050 年占一次能源供应总量的 13.9%。

2.2 有助于拓展管输行业减排路径

相比其他排放源,天然气管输行业排放治理被认为是最快和最具有经济性的。与上游勘探、生产及加工处理相比,天然气储运环节甲烷排放占比较低。从减排潜力来看,根据全球近些年实践经验,管输行业甲烷控排全产业链最快、贡献突出。例如,2019 年美国天然气产运销储全产业链甲烷排放量比 1990 年下降了 117.3 万 t,其中上游增排 139.7 万 t,管输配气环节甲烷减排 125.9 万 t。管输行业应结合我国的能源国情、天然气行业所处发展阶段,参考借鉴发达国家甲烷控排经验,从压缩机、储气库、管道、气动控制、LNG 储罐、阀门,探索甲烷减排技术或最佳减排实践^[1]。

2.3 有益于天然气管网安全运行

天然气管网坚持安全生产先于一切、高于一切、重于一切。管道运行维检修作业、甲烷泄漏源是发展成爆燃、爆炸等事故隐患,是安全生产问题的源头。甲烷减排的核心是量化管理,是对天然气“全国一张网”的排放量管控,是在天然气泄漏检测定位基础上,进一步测算核算排放量,需要进一步研发检测监测新技术、实施设备设施改造,提升检测监测的精细度、风险管控的有效性。一些甲烷控排技术及措施既是减排重要的发力点,又是管网安全生产的着力点。

2.4 有助于打造绿色生态管网亮丽名片

依据国家管网有关数据“目前,天然气干线管网里程近 5 万 km,连接 LNG 接收站和地下储气库,站场近 700 座,共有用户 1 500 个,服务托运商近百家。‘十四五’持续推进天然气长输管道建设,预计年均完成天然气管道建设 4 000 km,到 2030 年全面建成天然气‘全国一张网’。国家管网坚持‘三个服务’,打造高质量、共享开放经验分享与合作平台,致力于推动全产业链甲烷控排;加大管输过程放空气回收利用;

积极发展新能源。”管输行业既重视在役管网的甲烷控排,也在工程设计阶段 DEC 文件充分考虑甲烷控排。天然气干线管网在甲烷减排领域积累实践经验,其应用场景与城市燃气系统、原油成品油系统相比有许多共同之处。根据统计数据,全国省网、城市燃气管道长度超过 80 万 km,多数天然气下游企业还处于对甲烷减排知识的理解和消化阶段。天然气干线管网厘清主要问题和挑战,形成甲烷减排示范效应,推动天然气行业、油品储运环节甲烷排放管控与治理,发挥最大优势,有序推进行业低碳发展。

3 天然气管网甲烷减排的挑战

管输过程中的甲烷控排成为行业关注的焦点,低碳转型意识、生产储运保供模式、设备设施风险管控需要增强,关键环节自主创新能力还不强,需打破路径依赖,着力解决以下主要问题,如图 2 所示。

3.1 起步发展较晚,数据要素不足

管控的先决条件是全面详细的数据,由于天然气管网流程长、装置多样及地域地质差异大等原因,识别排放因子缺省值、空间分布、变化趋势等问题。相较于成熟发达天然气市场,我国天然气起步较晚,天然气“全国一张网”初具规模,油气市场初步形成“X+1+X”发展模式,甲烷控排机制尚不完善,甲烷控排度有待健全。企业需精细甲烷排放规律、核算方法学、排放底数、排放数据源区分等,不断满足日益增长的不同目的、不同方法、及时快速报告的要求。市场发展较快,消费净增量大,排放峰值及年限预测难度较大,难以准确制定甲烷减排目标。甲烷减排核算、报告、核查体系有待优化,现行方法无法体现天然气管网实际甲烷排放情况,而通过管理和技术手段实现的减排量在现行方法中也难以有效体现。

3.2 放空占比较高、管线差异较大

与发达天然市场相比,我国天然气生产和储运相关活动甲烷排放占比较高。受设备和运行工况的影响,部分压缩机组不能长时间保压停机,由于检维修作业、异常事件、机组正常暖机和正常启停机,甲烷排放较大。为提高机组启机可靠性、机组完好备用率,各条管线采用频次不同暖机方式,提升了甲烷排放。例如,2021 年典型管道由于气体放空导致的天然气消耗量总量如图 3 所示。甲烷排放中压缩机组暖机引起的放空占比较大,西部管廊带各站场暖机放空量通常为 0.35~0.6 万 m^3 /次,东部管线各站场暖机放空量通常在 0.8~1.5 万 m^3 /次。通过优化暖机次数能够较大程度减少甲烷排放。受管道泄漏和例行换

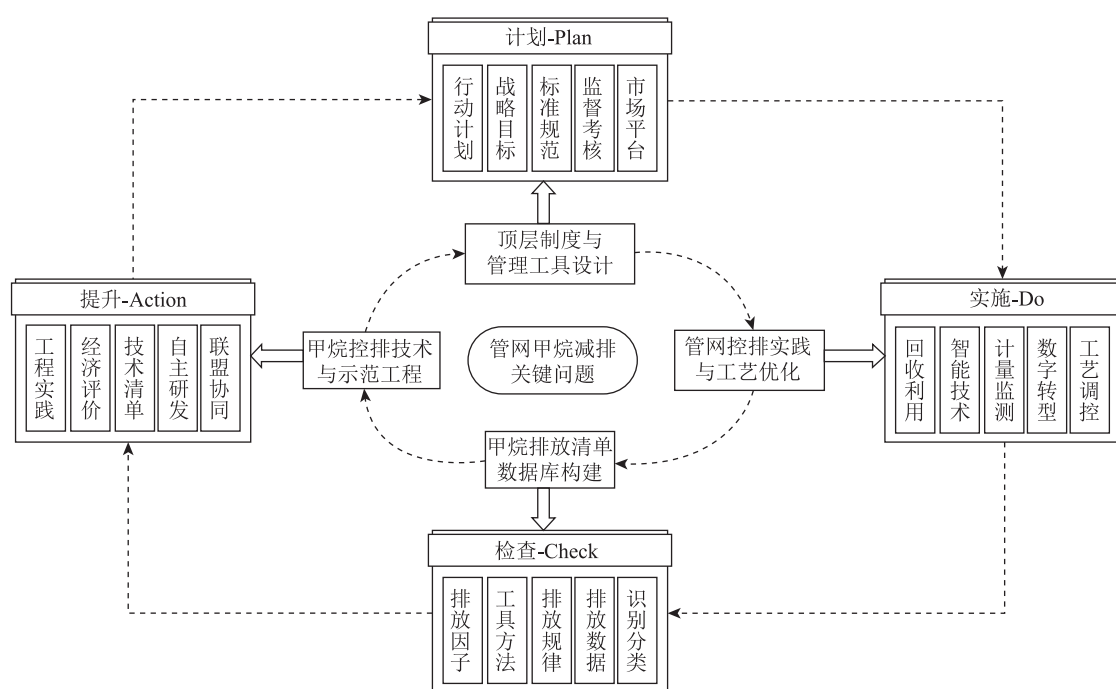


图2 天然气管网甲烷控排关键问题

管作业的影响,各条管线都存在管线放空作业,如图4所示,某管道各站场2021年放空量占比由此发生较大偏差。据估算2021年西北管廊管道机组共放空天然气1 000万 m^3 以上,若压缩机组实现完全停机保压,可减少40%以上甲烷排放,仅西北地区的天然气管道沿线站场便能每年减少甲烷排放272.8 t。

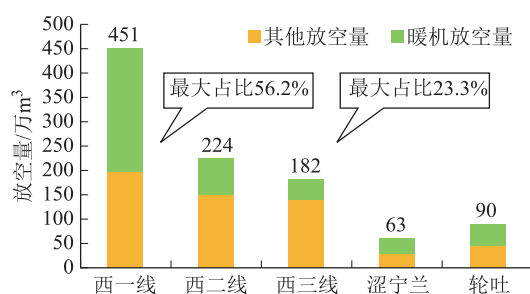


图3 2021年典型管道暖机放空占比

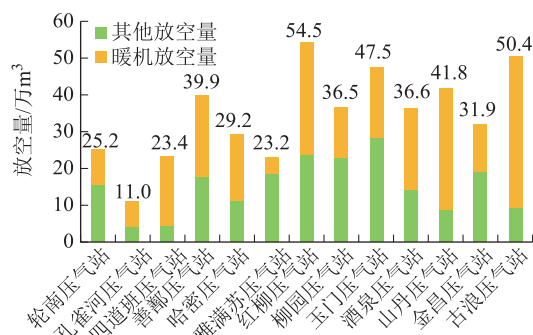


图4 典型管道2021年各站场放空占比

3.3 基础工作不足,减排路径不精

相比于上游点式排放源,管输行业属于线式排放源、呈小而分散的特点,管控难度较大。甲烷排放管控缺乏顶层设计和规划,未与生产经营挂钩,也未建立有效的甲烷减排激励机制,使企业的减排压力和动力均不足。甲烷监控技术集成体系不完善,尚未建立统一规范的甲烷排放检测与控制技术标准 and 规范体系,排放监管存在诸多盲点,重点排放源缺乏可推广的低成本控制技术方案。甲烷控排技术应用示范进展缓慢,大范围推广应用缺乏普适性的依据。甲烷控排涉及面广,储运各环节业务情况各异,需要资金、人力、物资等有效配合,逐步探索简单明了、可复制推广的解决路径和减排路线。

3.4 技术储备不足,发展空间受限

甲烷控排需要在现有管道泄漏检测系统上形成更高效、智能的监测决策系统,以管控气体逃逸。必须结合油气管道智能化、数字化等一系列检测手段,探索实现一种能够及时、准确地测量整个天然气管网的甲烷排放量的解决方案,通过交叉验证量化甲烷排放。在“双碳”背景下,管道系统中各种新能源,管输企业的可持续发展需实现管网设施适应未来新能源的新要求,特别是在高后果区、人口密集区,泄漏会引起更加严重的事故事件,因此需要更有效的管道完整性管理。天然气管网需以技术创新驱动,以甲烷减排为驱动力和切入点,实现多种技术软硬件的创新和应用,实现数字化转型升级,形成解决方案实现动态监管和预测预警^[5]。

4 甲烷排放管控建议

国家管网作为大型能源企业编制发布了碳达峰碳中和行动方案,坚持四条工作原则、聚焦三个阶段目标,重点实施六大行动,落实六项保障措施,计划在大规模管网综合优化运行水平处于领先地位,管网能耗、排放达到国际先进水平。

4.1 发挥天然气干线管网的优势

我国天然气长输管网起步晚、发展快,实现全密闭流程管输工艺,推进标准化、智能化建设,初步形成了调控中心集中调控+所属企业监视+现场区域维检管理的管控一体化模式,积极推进省级管道一级调控改造,优先实现省网运营计划权和调控指挥权移交,打通“全国一张网”最后一公里的瓶颈;突破了制约远控的技术壁垒,天然气站场远控率提升至80%以上,搭建了天然气管网运行数据平台,实现了从“集中监视”到“全面远控”的跨越式发展,有效提升了生产一线劳动生产率。天然气管网在西一二三线建设了10余座站场燃驱机组余热利用项目,起到了碳减排的示范效应,积累了优化运行经验。相较传统能源企业,天然气管网实施坚强管网建设行动、推动新能源配套管道建设;建设完善油气调控与管输服务平台,强化油气生产运行优化,推进清洁低碳的天然气利用,提高公平开放水平,天然气管网甲烷减排管控更易实现,且具备显著社会效益和一定经济效益。2021—2030年,天然气管网将以控碳为核心,坚持科技创新引领、坚持节约优先,优化管网布局,在2028年实现碳达峰;2031—2040年,以减碳为抓手,逐步实现用能设备电气化,碳排放总量和强度逐步降低;2041—2060年,以碳中和为目标,综合利用减排措施,逐步实现净零碳排放。

4.2 积累监测与核算数据

排放数据是甲烷控排的重要依据,只有摸清排放规律及现状,才能设计阶段性减排及控排目标,制定科学的减排政策,布局可行的实施路径。甲烷排放核算体系,包括排放源的识别及分类、核算及检测标准、排放因子数据库等历史排放数据缺乏针对性的积累。管输企业应依据《中国石油和天然气生产企业温室气体排放核算方法与报告指南(试行)》,对照IPCC国家温室气体清单、开展企业级甲烷排放统计,覆盖运输和储存、加工处理、分配等环节,实现清单编制的常态化。建立甲烷排放检测和监测技术标准和规范,全面开展天然气管网甲烷排放现场检测和监测,通过甲烷排放在线定量检测和区域监控系统以及甲烷排放

数字化监控平台,加强甲烷排放监测能力^[6],见图5。

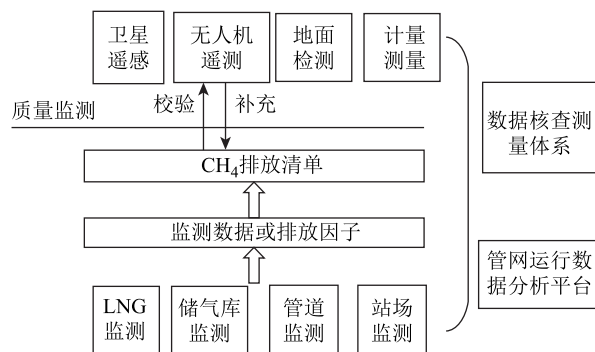


图5 管网甲烷控排监测体系

根据实测情况修正甲烷排放活动水平数据和核算因子,持续完善甲烷排放报告与核查体系,达到国际认可、方法统一、结果可比和数据多层次共享,至2025年,实现重点排放源甲烷排放可监测、可报告、可核查,在线监控实施率达到40%,提升甲烷排放精细化管理水平。结合前述影响因素分析,分管网运维情景,将天然气管网的排放来源分成LNG运输船、LNG接收站、管道、储气库、站场甲烷排放5个部分,开展不同尺度天然气管网特征的甲烷排放因子研究以及基于实测的计算方法和其他清单编制方法学研究^[7]。

4.3 建立标准及规范

甲烷减排起源于国际,很多国际组织已经梳理并总结了天然气行业相关实践经验,有配套的技术、标准及管理体系。管输行业应加强国际交流与合作,将适用国内的好办法加以引进。在天然气管道密闭输送、干线管道动火作业、应急抢修作业、站场及阀室维检修作业、压缩机组启停、备用压缩机组盘车暖机、设备排污、LNG接收站接卸船、LNG气化加工、BOG气体排放及回收、储气库注采气、新建管道投产吹扫等主要生产环节中,优化作业流程、限定排放频次、排放强度及可允许的甲烷排放量,明确冷、热两种放空方法的使用环境和适用条件,推进压缩机组超低排放改造、余热利用改造,统一甲烷排放标准。

4.4 纳入生产经营管理

天然气管网夯实基础、挖掘潜力,定期发布报告,分享企业甲烷管控的优秀实践,将企业的甲烷控排情况与生产经营指标挂钩,明确排放责任归属与减排份额分配,明确研究设计、建设、管道运行及LNG等相关环节在甲烷控排行动中的职责分配,明确相关企业短期及中长期的甲烷排放管控目标指标,建立甲烷减排激励和问责机制。建立甲烷重点排放源台账,对甲烷排放的历史数据进行统计分析,摸准甲烷排放底

数,实现甲烷排放的准确、快速核算,提高排放数据的透明度和可信度。对甲烷排放进行经济性评估,通过模型评估,发现管输业务低成本减排环节,探索甲烷回收利用、捕获逃逸的甲烷气体摸索实现负成本减排。大力开展清洁替代,实施加热设备油改气、气改电技术改造,提升在役压气站气改电技术改造,推进新建压气站压缩机全面电气化;开展低碳示范工程,强化低碳管控能力建设^[8]。

4.5 优化管网运行方式

甲烷排放源主要为管道干线、站场管线、LNG储罐、储气库、压缩机组、生产排液、气动控制器等。按照《天然气管网设施运行调度与应急保供管理办法(试行)》(发改运行规〔2022〕443),通过精细化管网运行方案及优化管网运行方式,明确甲烷排放限值并严控排放源,明确管输各环节甲烷逸散、放空、泄漏的排放限值与排放强度,减少压缩机组启机数量、启停机次数、备用保压时间,降低压缩机组放空量。在干线管道抢修及维检修作业环节,通过实施集中维检修作业优化,减少干线放空管段长度、站场放空次数,作业前编制专项放空方案,按照冷热放空分类填报。统一管网企业备用压缩机组盘车暖机频次、过滤器滤芯更换频次、收发球筒等设备盲板保养频次、LNG及储气库设备保养频次等,减少常规作业放空。严格要求甲烷超额排放、甲烷排放频率,考核重点在于控制机组暖机排放、减少管道干线火炬等甲烷控排措施的执行上,监督减排指标的完成,实现甲烷排放强度持续降低。

4.6 加强技术研发试验

国内科研院所近年加强产学研合作,持续开发相关硬件设备、软件系统、数学模型。企业需为科学研究提供实际的应用场景,促进成果的现实转化,努力培育新技术、新市场。管网立项甲烷排放管控关键技术与策略研究课题,研究管输全链条甲烷排放规律,计划开展甲烷排放管控策略、甲烷排放统计与核算体系、甲烷排放检测及关键控制技术、甲烷排放控制技术标准研究,建立甲烷检测与控制示范工程。针对甲烷重点排放源,加强甲烷减排技术的研发,研究建立经济高效、可推广的控制技术方案,引导开展甲烷排放管控工作。在新建管道的研究设计建造环节,应用新工艺和新设备,减少甲烷排放,如压缩机吹扫管路加装限流设备、在干气密封排放管道加装限流孔板、实现过滤器在线高压排液等。在役管道和站场阀室中,研发试验使用甲烷回收装置,如甲烷压缩车(CNG)、撬装模块化的回收设备等,实现放空天然气回收利用。

在检测技术方面,验证与推广快速大范围检测手段,研究管输各环节甲烷排放规律,提升排放核算方法学精度,研究替换甲烷排放率较高的控制阀门等设备。

4.7 推进 LDAR 风险管理

在风险管理方面,制定甲烷排放风险标准和评估流程;制定现场实测方案;正确使用泄漏检测与修复(Leak Detection and Repair)管理甲烷风险,根据不同的设备设施类型明确 LDAR 的实施频率、范围;例如季度检测多应用于气动执行机构、压缩机、阀门等设备,半年度检测则多为法兰、接头、连接件等设备。将甲烷减排纳入设施的设计、建造、运营和维护中;提升企业的甲烷排放管控业务能力^[9]。

5 结束语

长远来看,甲烷控排将稳定天然气的能源结构占比,提高管网安全运行水平,促进管输行业技术创新与产业升级,实现可持续发展。在全球能源转型的背景及对可再生能源发展的预判下,我国管输企业甲烷控排承载着保障能源安全与能源低碳化的重任,需发挥天然气管网基础优势,推进能源绿色低碳转型,以期取得未来低碳发展的主动权,需加大投入和攻关,提出甲烷排放管控方案,明确控排路径并推广成熟技术,共同推动降碳减排的历史使命。

参考文献

- [1] 朱子涵,车明,朱瑞娟,等.城市燃气行业甲烷减排意义及综合治理建议[J].煤气与热力,2021,41(11):A06-A09.
- [2] 宋磊,翁艺斌.中国油气行业甲烷排放管控政策研究[J].世界石油工业,2021,28(2):25-30.
- [3] 朱兴珊,樊慧,朱博骐,等.“双碳”目标下中国天然气发展的关键问题[J].油气与新能源,2022,34(1):13-19.
- [4] 崔翔宇,刘光全,薛明,等.“碳中和”目标下我国油气行业甲烷管控的挑战与应对[J].油气与新能源,2021,33(1):43-45.
- [5] 仲冰,张博,唐旭,等.碳中和目标下我国天然气行业甲烷排放控制及相关科学问题[J].中国矿业,2021,30(4):3-9.
- [6] 杨啸,刘丽,解淑艳,等.我国甲烷减排路径及监测体系建设研究[J].环境保护科学,2021,47(2):51-55.
- [7] 刘文革,徐鑫,韩甲业,等.碳中和目标下煤矿甲烷减排趋势模型及关键技术[J].煤炭学报,2022,47(1):470-479.
- [8] 张博,李蕙竹,仲冰,等.中国甲烷控排面临的形势、问题与对策[J].中国矿业,2022,31(2):1-10.
- [9] 杨梓诚,高俊莲,唐旭,等.中国油气行业甲烷逃逸排放核算与时空特征研究[J].石油科学通报,2021,6(2):302-314.

(收稿日期 2022-06-18)

(编辑 王蕊)