

引文:赵赏鑫. “双碳”目标驱动下甲醇高质量发展路径与储运体系重构[J]. 油气储运, 2025, 44(9): 961–970.

ZHAO Shangxin. High-quality development path for methanol and reconfiguration of its storage and transportation system driven by the “dual carbon” goals[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2025, 44(9): 961–970.

“双碳”目标驱动下甲醇高质量发展路径与储运体系重构

赵赏鑫

国家石油天然气管网集团有限公司科技部

摘要:【目的】在“双碳”战略与能源结构转型背景下,中国面临新能源电力消纳难、传统油气管道利用率低等问题。甲醇作为能源绿色低碳转型的关键载体,其跨区域输送需求随着绿醇生产技术突破而日益增长,研究其高质量发展路径与储运体系重构,对推动能源革命具有重大意义。【方法】以甲醇储运体系重构为研究对象,通过分析中国能源储运现状与挑战,并结合甲醇产业格局、政策导向等,探讨油气管道基础设施融合利用机制在甲醇管道输送中的应用,深入研究成果油管道顺序输送甲醇的可行性,最后剖析了关键技术难点。【结果】中国甲醇产能与消费区域分布错位,形成了“由北向南、由西向东”的灰醇流向;预计到 2060 年绿醇占比将超过 67%,形成由“三北”及沿海地区向中部、东部输送的绿醇运输格局,提出了 3 种甲醇输送路径。管输甲醇经济优势显著,与铁路运输相比,百万吨级甲醇的年均运费可节省数亿元。在甲醇-成品油管道顺序输送中,尚存在混油规律不明晰、管材设备适应性待评估、安全管控需完善、标准规范缺失等技术难点。【结论】融合利用油气管道基础设施输送甲醇,可降低储运成本、提升产业竞争力,但在实际应用过程中需建立健全甲醇产业立项监管机制,明确其原料与能源属性。通过合理改造利用在役成品油管道,既可推动甲醇在多领域的规模化应用,又能够促进产业链协同发展。针对甲醇与成品油物性差异在管输过程中的技术挑战,需联合产业链各方开展科研攻关,完善相关标准体系。随着技术进步与政策完善,将逐步优化全国甲醇-成品油管道顺序输送布局,助力实现“双碳”战略目标。(参 34)

关键词:“双碳”目标; 甲醇; 成品油管道; 顺序输送; 绿醇; 输送路径; 多能协同

中图分类号: TE832

文献标识码: A

文章编号: 1000-8241(2025)09-0961-10

DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2025.09.001

High-quality development path for methanol and reconfiguration of its storage and transportation system driven by the “dual carbon” goals

ZHAO Shangxin

Department of Science and Technology, China Oil and Gas Pipeline Network Corporation

Abstract: [Objective] Amid the “carbon peaking and carbon neutrality” strategy and energy structure transformation, China faces challenges such as new energy power consumption hurdles and low utilization rates of traditional oil and gas pipelines. As green methanol production technologies advance, the demand for cross-regional transportation of methanol, a key carrier in the green and low-carbon energy transition, is rising. Exploring a high-quality development path for methanol and reconfiguring its storage and transportation system are vital for driving the energy revolution. [Methods] Taking the reconfiguration of the methanol storage and transportation system as the research subject, the current situation and challenges of China’s energy storage and transportation were analyzed. In combination with the methanol industry pattern and policy orientation, the application of the integration mechanism of oil and gas pipeline infrastructure in methanol pipeline transportation was explored. The feasibility of batch transportation of methanol via refined oil pipelines was thoroughly investigated, and finally, the key technical difficulties were analyzed. [Results] In China, there is a misalignment between methanol production capacity and consumption regions, resulting in a flow of grey methanol from north to south and from west to east. It is estimated that by 2060, green methanol will account for over 67%, establishing a transportation pattern of green methanol from the three northern regions (Northeast, North, and Northwest China) and coastal regions to the central and eastern regions. Three methanol transportation routes have been proposed.

Pipeline transportation of methanol offers significant economic advantages. When compared to railway transportation, transporting millions of tons of methanol via pipelines can save hundreds of millions of yuan in average annual transportation costs. In the methanol-refined oil batch transportation via pipelines, several technical challenges remain, including unclear oil mixing rules, unevaluated adaptability of pipe materials and equipment, inadequate safety control, and a lack of relevant standards and specifications. **[Conclusion]** Integrating oil and gas pipeline infrastructure for methanol transportation can cut storage and transportation costs and boost industrial competitiveness. However, in practical applications, a sound project initiation and supervision mechanism for the methanol industry should be established, and the raw material and energy attributes should be clarified. Rationally repurposing in-service refined oil pipelines can not only facilitate the large-scale application of methanol across multiple sectors but also foster the coordinated development of the industry chain. Given the technical challenges arising from the physical property differences between methanol and refined oil during pipeline transportation, all parties in the industry chain should collaborate on research and improve the relevant standard system. As technology advances and policies improve, the nationwide layout of batch pipeline transportation of methanol and refined oil will be gradually optimized to support the strategic goals of “carbon peaking and carbon neutrality”. (34 References)

Key words: “dual carbon” goals, methanol, refined oil pipeline, batch transportation, green methanol, transportation route, multi-energy coordination

国家“十四·五”规划及 2035 年远景目标纲要均明确提出加快新能源发展,并将氢能列入前沿科技与产业变革领域。近年来,中国氢能产业布局加速,西北、东北、沿海凭借丰富的风光资源,成为风电光伏开发的重点地区。截至 2024 年 10 月,中国风电光伏装机规模达到 $12.8 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}^{[1]}$,非化石能源发电装机容量已超过火电装机容量^[2]。然而,新能源电力作为不稳定电源,本地电网消纳能力有限,需建设新能源电力外送通道,将绿电输送至市场负荷中心,当前中国已建成青海—河南、内蒙—山东等多条绿电输送通道。受电网对绿电的消纳能力及外送通道输送容量限制,西北及东北地区新能源电力无法全额消纳,弃风弃光现象时有发生。同时,受并网瓶颈的制约,风电光伏开发进一步受限。为解决新能源开发与绿电消纳问题^[3],并响应国家氢能发展规划与要求,内蒙古、吉林等省提出“绿电+消纳”风电光伏开发模式,即要求新能源开发企业配套建设绿电制氢及氢基(氨醇)能源产品,即将不超过 20% 的电力上网,其余电力用于制备氢氨醇。氢氨醇产品可实现绿电消纳与储能,但当地消纳能力有限,需输送至东南沿海消费区域及海外市场。

在全球能源结构转型与“双碳”战略下,中国油气消费市场正经历深刻变革。油气消费量面临达峰,市场需求的改变导致传统管道系统面临严峻挑战。当前,油气管道输送能力与市场需求错配问题日益突出,部分管道的实际输量远低于设计输量。同时,新能源的兴起与发展进一步压缩了油气需求空间,倒逼油气能

源输送体系探索新发展路径。甲醇兼具清洁燃料与化工原料的双重属性,其战略价值在能源低碳转型大背景下持续提升。一方面,中国作为全球甲醇产业的最大市场^[4],已形成以化石能源制取甲醇为主导的生产格局,产能分布与消费区域在空间布局上呈现错位分布特征,跨区域输送需求明显;另一方面,“双碳”目标驱动下的绿醇生产技术不断突破,推动甲醇产业生态重塑。以可再生能源电解水及生物质制取甲醇为代表的绿醇生产技术快速发展,加快甲醇生产向风光资源富集区域转移,未来将形成长距离、大规模、跨区域的绿醇输送需求^[5]。这一转变不仅为甲醇产业注入了低碳发展动能,也为成品油管道功能转型提供了历史性机遇。然而,甲醇与传统油品在理化特性、输送适应性等方面存在显著差异,已有管输技术面临诸多难题。

“双碳”目标驱动的能源革命,本质是从化石能源主导转向多元低碳能源体系的系统变革。传统油气管道功能转型是当前能源革命的关键点之一,在此,以甲醇储运体系重构为切入点,探讨能源输送网络从“单一油气载体”向“多能协同枢纽”跃迁的路径,以期为构建绿色高效、安全可靠的现代能源体系提供思路。

1 甲醇产业格局与能源输送体系现状及挑战

1.1 甲醇行业发展现状

目前,中国是全球最大的甲醇生产国与消费国,

产量、消费量均占全球的 50% 以上。据中国氮肥工业协会统计, 2024 年中国甲醇产量为 $9\,182.2 \times 10^4 \text{ t}$ ^[6], 现阶段甲醇生产以化石能源制取为主(即灰醇), 其产能主要分布在西北、华北及华东等煤炭、油气化石能源产地。其中, 煤制甲醇产量为 $7\,701.4 \times 10^4 \text{ t}$, 占总产量的 83.9%; 焦炉煤气等制甲醇产量为 $1\,035.2 \times 10^4 \text{ t}$, 占比 11.3%^[6]。在应用方面, 甲醇主要作为化工产品原料、清洁燃料。截至 2024 年, 中国甲醇表观消费量为 $1.05 \times 10^8 \text{ t}$ ^[6], 其消费区域集中在华中、华北、华东地区, 主要作为化工产品原料用于甲醇制烯烃(Methanol to Olefins, MTO)。西北、华北地区甲醇市场价最低, 而华东、华南地区甲醇市场价格最高, 两个区域的甲醇价差约 516 元/t。按照“本地就近消纳为主、不足部分就近补充、余量部分就近外运”的原则, 结合市场价格及供需平衡分析甲醇流向。当前东北、西南地区产能与消费量基本持平, 可以实现区域内自产自销, 以就近消纳为主; 西北、华北、华东、华中及华南地区具有跨区域输送需求, 因此中国灰醇流向呈现“由北向南、由西向东”的趋势。

随着“双碳”目标的加速推进与风光发电成本的下降, 绿醇将成为未来甲醇生产的发展方向, 其产量所占比例将逐年提高。国际可再生能源署(International Renewable Energy Agency, IRENA)在《创新展望: 可再生甲醇》报告中指出, 到 2050 年全球绿醇产量将达到 $2.5 \times 10^8 \text{ t}$, 占甲醇总产量的 50%^[7]。绿醇集中在风光资源丰富地区, 在国家政策的鼓励下, 2022—2024 年中国超过百亿投资的绿醇项目在内蒙古、新疆、东北等地不断推进^[8]。截至 2024 年 7 月底, 中国投产、在建、备案及签约的绿色甲醇项目 78 个, 规划总产能超过 $2\,600 \times 10^4 \text{ t/a}$, 主要分布在华北、东北、华东地区。然而, 目前实际投产的绿醇项目较少, 已投产产能仅为 $21 \times 10^4 \text{ t/a}$ ^[9]。若绿醇的经济性问题得到有效解决, 在绿氢大规模应用前, 绿醇将成为船用燃料、车用燃料及工业燃料等领域最有效替代品, 甚至是长期替代品^[10]。全球绿色氢氨醇市场快速增长, 全球各国对碳排放要求日益严苛, 国际绿氢贸易潜力大, 绿色氢能产品在国际市场上具有较高溢价空间。绿醇作为清洁燃料属性的应用规模将逐渐大于其作为工业原料的应用规模, 消费市场将主要分布于华东、华南以及中部经济发达的地区, 形成“由‘三北’、沿海地区向中部、东部输送”的绿醇运输格局。

1.2 甲醇行业发展的“痛点”

当前, 甲醇产业作为实现“双碳”目标的重要路径之一, 正迎来前所未有的发展机遇, 但要大规模替代传统能源, 仍需面临以下 4 个方面的“痛点”。

1) 技术创新成为关键驱动力, 但核心技术仍待突破。目前, 碱性电解槽、质子交换膜电解槽绿氢制备, 生物质气化及二氧化碳捕获制取甲醇等产业链关键技术尚未成熟, 成为制约产业发展、降低终端成本的“瓶颈”。如当前绿氢成本为 18~25 元/kg, 较灰氢成本高 60% 以上, 而甲醇制成的催化剂性能欠佳, 导致合成氨醇的效率普遍较低。

2) 绿电氢氨醇一体化项目面临高投入与系统协调难题, 从规划、建设到投产^[11], 对企业的资金实力、技术水平及能源系统协同组织能力要求极高。如某典型的风光氢氨醇项目, 配置 500 MW 风光单元需投资资金 25×10^8 元, 加上制氢单元、化工单元的建设, 总投资为 $50 \times 10^8 \sim 75 \times 10^8$ 元。同时, 该项目涉及上游风光等电源的出力预测与高效管理, 中游的电氢协同、储能与风光协同^[11], 以及下游氨醇等能源的消纳协同。可见, 多系统协调难度大, 严重影响整体效率与终端成本。由于新能源产业总体处于亏损状态, 以商业银行为代表的金融机构对新能源企业的金融支持较为保守, 金融政策与产品匮乏, 保险与担保机制缺位, 进一步加大了项目推进的难度。

3) 新能源管输业务前景广阔, 但跨区域运输格局尚未形成。管道输送作为甲醇大规模、长距离储运最具潜力的方式, 备受行业关注^[12]。国家石油天然气管网集团有限公司(简称国家管网集团)拥有庞大且成熟的油气管道网络, 部分在役管道经技术评估与适应性改造后可用于甲醇输送, 为拓展新能源管输业务奠定了坚实基础。但目前中国专门针对甲醇输送的管网设施不足, 现有管网布局难以满足未来新能源大规模运输的需求。

4) 新能源产业标准体系尚未健全。新能源产业的技术标准与规范尚不完善, 在上游制备、中游储运及下游应用端, 涉及工艺材料选择、设计运行标准、安全监测等方面缺乏统一标准, 制约了新能源产业的快速发展。

可见, 目前甲醇储运体系的“痛点”, 其本质是传统能源物流网络与新兴低碳燃料需求的结构性矛盾。重构储运体系需打破“分段运输、区域割裂”的旧模式,

构建“管道主干网+多式联运节点”的新型基础设施,实现绿醇从“三北”产区到东南消费区域的“端到端”高效流通。这既可盘活大量闲置或低负荷的管道资产,也可适应低碳能源运输体系变革的时代发展需求。

1.3 能源输送格局与甲醇运输需求

1.3.1 现有油气管道基础设施规模与分布特点

随着国家管网集团成立,“全国一张网”基本成型,逐步形成了上游资源多主体多渠道供应、中间统一管网高效集输、下游销售市场充分竞争的“X+1+X”市场体系。这不仅提高了资源配置效率,也保障了油气安全稳定供应。截至 2024 年,中国油气管道总里程已突破 19.5×10^4 km^[13],形成横跨东西、纵贯南北的油气输送网络。

中国原油管道已建成西北、东部及东北“三大区域”管网架构^[14];天然气管道以“西气东输”“北气南下”等干线为骨架,连接各大消费市场^[15];成品油管道则已基本形成“三纵三横”骨干管网以及华北、华东、华中、华南、西南 5 大区域管网,其中“三纵三横”成品油管网架构包括西南成品油管道、兰成渝成品油管道、兰郑长成品油管道、锦郑成品油管道等^[16],向西北、西南、华东、华中等 40 多个地区供应多种标号的汽、柴油。同时,还形成了西北、西南、东北及海上进口油气“四大战略通道”保障油气稳定供应,其中进口原油通道包括俄油、哈油、缅油等;进口天然气通道包括中亚气、俄气、缅气、海上 LNG 等。

然而,目前中国成品油、原油管道负荷率较低。在原油方面,因中国原油产量增长乏力、老油田减产,管道上游供油量不足;同时,由于炼油产业布局调整,进口原油多从港口直供炼厂,致使管道输送需求被分流,负荷难以提升。成品油管道受市场竞争冲击大,地方炼厂及非管道运输方式挤占市场,叠加新能源汽车普及限制成品油消费增长,导致管道输送量不及预期,负荷率下降。

1.3.2 管输甲醇破解双“瓶颈”

中国可再生能源布局主要以“三北”(东北、华北北部及西北)地区的风电与光伏、西南地区的水电、东部海上风电等为主,绿色甲醇开发潜力巨大。利用无法进入国家电网的绿电制成氢气,然后将氢气就地转化为甲醇进行外输,是解决风光发电消纳问题的重要途径。以 2030 年为例,约 71% 的绿醇项目(包括已建、在建及拟建)分布在“三北”地区,其总产能达到

$1\,725 \times 10^4$ t/a。以绿醇的耗氢量 187 kg/t、绿氢的耗电量 35 kW·h/kg(目前电解水制氢的耗电量达到 35~56 kW·h/kg,保守计算取最低值)为测算依据^[17]，“三北”地区的绿电消纳量约为 $1\,129 \times 10^8$ kW·h,其约为 $5\,160 \times 10^8$ kW 的新能源装机规模,可有效解决新能源消纳问题^[18]。

当前,中国甲醇贸易以火车、汽车等陆路运输为主,水路运输为辅。公路、铁路运输价格与距离相关度较大,甲醇公路运输单价为 0.35~0.60 元/(t·km),而铁路运输单价则为 0.20~0.30 元/(t·km)^[19]。参照在役成品油管道,西北至长江流域的甲醇管道输送单价约 0.15 元/(t·km)。若长江流域甲醇需求为百万吨级,以输送距离超过 3 000 km 的乌鲁木齐—武汉为例,与铁路输送相比,管道输送每年节省的年均运费将达到数亿元,可有效降低甲醇应用终端的使用价格。因此,与铁路、公路运输相比,管道输送的经济优势明显,且规模越大、距离越远,管道输送优势越明显。管道输送可有力推动中国长江流域、内河流域的甲醇规模化应用,助力甲醇产业链上下游协调发展。然而,新建甲醇管道周期长、投资大,经济性受到挑战^[20]。

在国家“双碳”目标加快推进及新能源不断发展的背景下,成品油需求量逐步下降^[21],越来越多的成品油管道处于低负荷运行甚至闲置状态,管道资产利用率严重不足。因此,利用现有的成品油管道顺序输送甲醇是实现甲醇规模化输送的经济可行方案^[21]。以新疆地区为例,2023 年甲醇产能超过 500×10^4 t,在建及规划甲醇项目产能超过 $2\,800 \times 10^4$ t/a^[22],远期的绿醇产能潜力将超过 $7\,000 \times 10^4$ t/a,有望成为中国绿醇产能潜力最大的地区。在市场端,2023 年华中地区、华东地区的甲醇需求缺口分别约为 354×10^4 t/a、 $2\,048 \times 10^4$ t/a。随着经济与社会的发展,甲醇需求量逐年增加,对外来甲醇有着迫切的需要。甲醇输送将呈现“西醇东输”格局,利用长距离成品油管道顺序输送甲醇,是衔接绿醇规模化外输需求与既有管输资产高效利用的核心纽带。

2 油气管道基础设施与甲醇输送融合利用机制

2.1 国家政策导向与顶层设计

中国新能源产业已进入以绿色低碳为核心、多能

协同为路径的战略框架,政策引导、技术创新与市场驱动共同构建了系统化的发展格局。中国通过《“十四五”现代能源体系规划》《氢能产业发展中长期规划(2021—2035)》《氢能产业标准体系建设指南(2023)》等规划及政策进行顶层设计布局,明确将氢能、风光等清洁能源定位为能源体系转型的核心引擎,提出2025年非化石能源消费占比将提升至20%、可再生能源发电装机占比达60%的量化目标。当前可再生能源装机持续扩容,预计2025年风电、光伏新增装机将达 2×10^8 kW,累计总量突破 36×10^8 kW^[23];政策体系覆盖技术研发、区域协同及标准建设,形成“资源生产-场景应用”的差异化布局。甲醇作为氢基液体燃料,是交通领域低碳转型的重要桥梁,也是化工行业绿色原料的支撑载体。

近年来,中国政府出台了多项政策支持甲醇产业发展。2019年,工业和信息化部等八部委联合发布《关于在部分地区开展甲醇汽车应用的指导意见》,提出将在山西、陕西等地区推广甲醇汽车,并应加快甲醇汽车制造体系建设。2020年,工业和信息化部发布《关于调整甲醇汽车产品准入相关要求的通知》,对甲醇燃料的污染物排放做出了相关规定。2021年,国家发改委发布《“十四五”全国清洁生产推行方案》,实施二氧化碳耦合制取甲醇的降碳工程;国家发改委、国家能源局发布《氢能产业发展中长期规划(2021—2035年)》,提出扩大工业领域氢能替代化石能源的应用规模,积极引导合成氨、合成甲醇、炼化及煤制油气等行业由高碳工艺向低碳工艺转变^[24];国家发改委发布《产业结构调整指导目录(2024年)》,将二氧化碳催化合成绿醇列入鼓励类发展项目^[25],并将甲醇燃料动力船舶列入鼓励发展类项目;工业和信息化部等在《加快工业领域清洁低碳氢应用实施方案》中,提出2027年将实现百万吨级产能,在航运、重卡领域规模化替代,并于2030年建立全球贸易网络,其应用场景涵盖交通领域(甲醇重卡、船舶燃料)、化工领域(替代石油基原料)及能源存储(液态储氢)。2022年,工业和信息化部、国家发改委、财政部、生态环境部、交通运输部联合发布《关于加快内河船舶绿色智能发展的实施意见》,提出加快船用甲醇发动机研发,降低甲醛等非常规污染物排放,提升船用甲醇燃料电池功率范围与燃料转化效率,推动甲醇动力技术在货船等的应用^[26]。2023年,中共湖北省委军民融合发展委员会办公室根

据上述文件精神发布了《湖北省支持绿色智能船舶产业发展试点示范若干措施》,在资金、用地、人才、新能源补贴、技术研发、购船奖励、基础设施建设等方面制定了各项配套政策措施。

中国绿醇、绿氢投资踊跃,电力、交通等领域企业纷纷布局,但项目落地开工率低,存在备而不建、超时被退现象,且实际规模模糊,缺乏有效的市场监管政策与机制。在此背景下,建立健全立项监管机制对保障绿色能源稳定健康发展极为关键。同时,需明确甲醇原料与能源属性认定,并界定绿醇原料来源标准。此外,确立甲醇燃料的能源地位,以促进甲醇燃料产业高质量发展。可见,将甲醇管道输送纳入能源规划,进一步落实“双碳”战略、推动能源结构转型,有利于统筹资源配置,实现能源输送网络的优化升级。

2.2 甲醇输送模式及路径规划

中国成品油消费即将达峰,成品油管道低输量趋势愈发明显^[27]。2024年,约97%在役成品油管道处于低负荷运行,约64%成品油管道实际年输量低于设计输量的60%,成品油管道运营面临巨大压力^[28]。考虑到成品油未来输送规模下降、成品油管道地理分布及甲醇资源市场的匹配,可利用“管输+陆运/水运”联合运输模式实现甲醇资源的规模化与跨区域输送。根据甲醇跨区域输送需求,设计了以下3种输送路径。

1)输送路径1为西北—华南/华中/华东。利用乌兰成品油管道、兰成渝成品油管道,将新疆、甘肃的甲醇资源输送至重庆;到达重庆后,将有以下两条路线实现甲醇外输:①采用陆运(公路/铁路)运输至广西,再借助平陆运河、西江航运干线,利用船舶运输实现广西与广东之间的甲醇市场流通;②借助长江航线,利用船舶运输实现重庆—湖南—湖北—安徽—江苏—浙江—上海等地的甲醇市场流通。

2)输送路径2为西北—华中—长江流域沿线地区。利用乌兰成品油管道、兰郑长成品油管道,将新疆、甘肃、陕西的甲醇资源运输至河南、湖北及湖南;到达湖北后^[28],借助长江航线,利用船舶运输实现长江流域沿线城市(重庆—湖南—湖北—安徽—江苏—浙江—上海)的甲醇市场流通。

3)输送路径3为内蒙/东北三省—华中/华东—长江流域沿线。由于内蒙古地区的成品油管道较少,可采用公路/铁路/新建甲醇管道,将该地区的甲醇资源输送至锦州港等港口,并与东北三省的甲醇资源汇总。

该路由将东北地区的绿醇运送至上海。然后,可再通过以下两个路由转输:①利用船舶将甲醇运输至青岛港、上海港、算山码头,再分别采用鲁皖线、浙苏、苏北、苏南、甬台温成品油管道实现东部地区甲醇互通,或到达上海后借助长江航线的船舶运输实现长江流域沿线城市(上海—浙江—江苏—安徽—湖北—湖南—重庆)的甲醇市场流通;②通过锦郑成品油管道,与华中地区实现甲醇互通^[29]。

2.3 成品油管道顺序输送甲醇的可行性

有关国外甲醇管道的公开数据信息有限,多集中于甲醇生产商、距离较近的用户间,或沿海靠近码头的地区。根据美国管道和危险品安全管理局的统计数据^[30],2015 年美国液体甲醇管道的长度约为 48 km。美国在《甲醇作为美国交通替代燃料的路径选择:可持续性与伦理安全的双重实现》白皮书中明确指出,利用在役成品油管道顺序输送甲醇,是实现甲醇大规模、长距离输送的最经济方式。早在 20 世纪 80 年代,国外已针对成品油-甲醇顺序输送管道开展了较成熟的研究,如塞拉尼斯加拿大(Celanese Canada)公司于 20 世纪 80 年代中期,通过成品油管道顺序输送的方式,成功将甲醇从埃德蒙顿输送至温哥华,并控制了甲醇-成品油混合导致的油品质量衰减,也积累了宝贵的运行经验。然而,塞拉尼斯加拿大公司的具体运行方案尚未公开。

目前,中国甲醇长输管道建设尚处于起步阶段,管道总里程较短、应用案例有限。中国已建成的最长甲醇管道为图克—乌审召甲醇长输管道,由中煤鄂尔多斯能源化工有限公司建设,全长约 52 km、管道设计压力 2.5 MPa、管材选用 L290N 无缝钢管。该管道全线设置 4 座阀室,首、末站场各设置 2 座,年输量为 100×10^4 t/a 的 MTO 级甲醇。此外,华电榆林、云南大为制焦等企业建成的小规模甲醇管道,虽运行业绩良好,但输送能力、覆盖范围受限。

新疆甲醇产能潜力巨大但外运通道受限,而乌兰成品油管道低负荷运行,这为甲醇出疆提供了可行性路径。国家管网集团于 2024 年立项,开展了乌鲁木齐—兰州成品油管道顺序输送甲醇关键技术研究、“西醇东送”成品油管道顺序输送甲醇关键技术及工程示范研究,目前已完成北疆成品油管道顺序输送甲醇工业性试验,为甲醇输送管道的建设及应用提供了关键技术支撑。通过研究发现,成品油管道在材料、结构上具

备一定的改造潜力,可以适配甲醇输送。

由此可见,目前国内外长距离甲醇管道的建设运营经验较少,成品油管道顺序输送甲醇的工程实践匮乏。因此,亟需深入开展成品油管道顺序输送甲醇技术研究^[20],为中国绿醇规模化输送及成品油管道资源利用提供参考^[26]。

3 管道输送甲醇的关键技术难点

由于甲醇特殊的物性,新建甲醇管道及甲醇-成品油管道顺序输送时,在工艺运行、管材与设备、安全控制、标准化等方面均面临技术挑战。目前,针对甲醇输送的关键技术难题,通过非常规介质管道输送关键技术研究、甲醇-成品油管道顺序输送关键技术研究、甲醇业务发展策略专题研究等课题进行科研攻关。

3.1 明晰甲醇-成品油管道顺序输送的混油发展规律

与汽油-柴油顺序输送的混油规律相比,甲醇-成品油顺序输送的混油发展规律存在显著不同^[27]。甲醇-成品油管道顺序输送时,甲醇与汽油、柴油之间的相容性受流速、温度、含水量等多种因素影响,其规律尚未掌握。此外,甲醇-成品油混油还受到管体结构、输送工艺的影响,混油发展规律也不明确。

通过试验研究表明,甲醇与汽油相容性较强,与柴油、航煤基本不相溶,但与航煤易乳化,不利于二者分离^[26]。因此,利用现有成品油管道顺序输送甲醇时,需要关注混油的发展、监测、切割及处理等环节^[31]。

3.2 评估甲醇对于管材与设备的适应性

甲醇具有较强的吸水性能,其在运输、储存时会吸收空气中的水分,对金属材料具有一定的腐蚀性^[27],易造成材料力学性能劣化,而对非金属材料则具有较强的溶胀作用^[32]。因此,成品油密度计需适当提高精度后再用于甲醇-柴油混油界面检测。管道中的残余水、细菌可能导致输送甲醇时产生少量甲醛、甲酸等有机酸,对管道造成腐蚀,但管材中 Mo 元素的增多可减轻材料腐蚀。成品油管道的泵、阀门等密封件通常为橡胶制品或塑料制品,与甲醇相接触会出现溶胀、软化或龟裂现象^[27],其中氟橡胶受甲醇溶液影响大,丁腈橡胶会发生溶胀,因此需对成品油站场相关设备进行优选与替换。甲醇输送管道的流量计量主要选用涡轮流量计,其采用 304、316、316L 等不锈钢材质,具有一定的耐腐蚀性;使用的球阀多为硬密封球阀,其具

有密封性高、耐磨损、使用寿命长等优点^[33]。

然而,目前尚未探明甲醇环境下金属材料及非金属材料的失效机理,缺乏对管材及附属设备适应性的科学评估方法。

3.3 甲醇-成品油管道顺序输送安全管控

在高速水流中,甲醇扩散致死性浓度及污染范围的致死性长度最小。经开放空间内甲醇燃爆与池火灾试验,初步得到中尺度场景下的安全距离范围。根据当前研究成果,甲醇输送管道的安全性总体可控。但与传统的油品泄漏事故相比,由于甲醇与水具有互溶性,甲醇泄漏扩散规律及机理复杂,事故衍生灾害评估更为困难^[27],针对传统油品泄漏扩散的相关研究并不能直接应用于甲醇泄漏场景。因此,亟需针对甲醇管道的泄漏规律与机理、事故后果评价方法开展研究,形成完整的安全管控技术体系。

3.4 完善甲醇输送管道相关标准规范

国外已建有长距离的甲醇输送管道,国外的甲醇管道标准主要有美国的 ASTM D1152-24-2024《甲醇标准规范》、ASTM D5501-2024《使用气相色谱法测定含大于 20%乙醇燃料中乙醇和甲醇含量的标准试验方法》,主要对甲醇物性、乙醇汽油测试方法进行了规范;欧洲的 EN 15376-2014《汽车燃料-乙醇作为汽油的混合成分-要求和试验方法》,对于采用色谱法测试汽油中甲醇或乙醇含量进行了规定。中国已建成的甲醇输送管道多为化工厂区管道,最长距离 52 km,其设计、建造均参考 GB 50235—2010《工业金属管道工程施工规范》、GB 50236—2011《现场设备、工业管道焊接工程施工及验收规范》、GB/T 23510—2009《车用燃料甲醇》等。因此,目前中国缺乏长距离、大规模甲醇输送管道的设计、运营经验,尚未形成统一的甲醇管输行业标准^[34]。

3.5 加快建设甲醇输送管道试验平台

目前,中国的甲醇输送管道试验平台建设规模、覆盖范围有限,技术研究深度与广度有待提高,缺乏研究与试验数据,尚不能完全支撑在役管道改输甲醇、甲醇-成品油管道顺序输送的工业应用。同时,关于甲醇输送管道的建设、试验及运营缺乏完善、统一的标准规范与监管体系。国家管网集团对于新能源实验室进行统筹布局,正在新疆 705 基地加快建设甲醇管输综合试验平台,针对管输工艺、材料设备适应性等开展验证。

未来应持续开展甲醇管道输送技术攻关,针对混

油扩散规律、质量控制、混油界面检测设备、泵阀系统性能验证、管材适用性、泄漏扩散燃爆安全等方向开展研究,构建甲醇管输成套技术体系与标准体系,为甲醇管道建设与应用提供技术支撑。

4 结论及展望

在“双碳”目标驱动的能源革命进程中,甲醇产业的高质量发展与储运体系重构是破解中国新能源消纳困境与传统油气管道转型压力的核心突破口。通过绿醇生产消纳可再生能源、成品油管道增输构建低碳运输网络,中国正探索一条从“化石能源依赖”向“多元低碳能源体系”转型的特色路径。

1)中国绿醇、绿氨投资迅猛,电力、交通等领域企业纷纷布局,但项目落地开工率低,存在备而不建、超时被退现象。因此,需建立健全立项监管机制,明确甲醇原料与能源属性认定,界定绿醇原料标准,确立甲醇燃料的能源地位,以保障绿色能源稳定健康发展。

2)油气管道基础设施的融合利用对中国甲醇行业发展具有重要的战略价值。通过合理改造与利用已有油气管道,实现甲醇的大规模管道输送,能够有效解决甲醇储运难题,有力推动中国内河流域、远洋航运领域的甲醇规模化应用,促进全国统一大市场畅通,助力甲醇产业链上下游协调发展。

3)甲醇与成品油的物理化学性质差异易引发材料相容性、设备适应性、混油控制及安全防护等技术挑战。现有成品油管道顺序输送甲醇的腐蚀防控、设备适应性评价、混油控制与处理、运行安全保障等关键研究成果需进一步验证。

4)联合上游制醇、中游储运、下游应用的各企业及科研机构,针对全产业链发展开展科研攻关,可促进产业链上、中、下游企业之间的深度合作,优化产业布局,实现资源跨区域调度,提高产业整体效率及效益。制定与完善甲醇产业相关的国家标准、行业标准及团体标准,重点推进中国特色绿醇认证体系建设,推动甲醇产品及应用的规范化、标准化,提升产业的整体形象与国际市场认可度。

5)针对新疆等甲醇富产区外运需求,国家管网集团已立项乌兰甲醇-成品油管道顺序输送关键技术研究、兰郑长甲醇-成品油管道顺序输送关键技术及工程示范研究等科研项目,加速推进“西醇东送”工程建设。

未来随着技术的不断进步、政策的逐步完善,国家能源储运体系与甲醇产业将实现更深度的协同发展,以区域示范工程为核心,结合“双碳”目标优化全国甲醇-成品油管道顺序输送布局,推动甲醇上下游产业协同发展,助力国家“双碳”战略目标的实现。

参考文献:

- [1] 秦丹. 国内风电光伏开发秩序进一步规范[J]. 中国石化, 2021(5): 71. DOI: 10.3969/j.issn.1005-457X.2021.05.024.
- QIN D. Further standardization of domestic wind and photovoltaic development order[J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2021(5): 71.
- [2] 张磊. 燃煤机组深度调峰问题研究[J]. 湖南文理学院学报(自然科学版), 2024, 36(3): 77-83. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6146.2024.03.013.
- ZHANG L. Research on deep peak shaving of coal-fired units[J]. Journal of Hunan University of Arts and Science (Natural Science Edition), 2024, 36(3): 77-83.
- [3] 王杰, 吴昊, 熊力, 辛颂旭, 张佳丽. 内蒙古自治区氢电耦合助力构建新型能源体系实证研究[J]. 水力发电, 2023, 49(9): 1-5, 89. DOI: 10.3969/j.issn.0559-9342.2023.09.001.
- WANG J, WU H, XIONG L, XIN S X, ZHANG J L. Study on new energy system construction assisted by hydrogen-electric coupling in Inner Mongolia autonomous region[J]. Water Power, 2023, 49(9): 1-5, 89.
- [4] 舒斌, 陈建宏, 熊健, 吴其荣, 喻江涛, 杨平. 碳中和目标下推动绿色甲醇发展的必要性分析[J]. 化工进展, 2023, 42(9): 4471-4478. DOI: 10.16085/j.issn.1000-6613.2023-0647.
- SHU B, CHEN J H, XIONG J, WU Q R, YU J T, YANG P. Necessity analysis of promoting the development of green methanol under the goal of carbon neutrality[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2023, 42(9): 4471-4478.
- [5] 陈光. 节能减排环境下的电力系统规划与重构相关问题研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2013.
- CHEN G. Study on relevant issues of power system planning and reconfiguration in the environment of energy saving and emission reduction[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2013.
- [6] 山东省化肥和煤化工行业协会. 甲醇行业公布去年运行情况、确定今年五项重点工作[EB/OL]. (2025-05-14)[2025-06-18]. <http://sdhfxh.com/index.php/News/view/id/1113.html>.
- Shandong Chemical Fertilizer and Coal Chemical Industry Association. The methanol industry announced last year's operation and identified five key tasks for this year[EB/OL]. (2025-05-14)[2025-06-18]. <http://sdhfxh.com/index.php/News/view/id/1113.html>.
- [7] International Renewable Energy Agency (IRENA). 创新展望: 可再生甲醇[R/OL]. (2021-02-22)[2025-06-16]. <https://www.irena.org/publications/2021/Jan/Innovation-Outlook-Renewable-Methanol-ZH>.
- International Renewable Energy Agency (IRENA). Innovation outlook: renewable methanol[R/OL]. (2021-02-22)[2025-06-16]. <https://www.irena.org/publications/2021/Jan/Innovation-Outlook-Renewable-Methanol-ZH>.
- [8] 王明. 2023年国内甲醇产业发展现状及展望[J]. 现代化工, 2024, 44(5): 15-20. DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.05.004.
- WANG M. Current situation of China's methanol industry in 2023 and development prospects[J]. Modern Chemical Industry, 2024, 44(5): 15-20.
- [9] 思瀚产业研究院. 绿色甲醇产业发展现状及国内外主要项目情况[EB/OL]. (2024-12-02)[2025-06-16]. <http://www.chinasihan.com/news/cykj/17852.html>.
- Sihan Industry Research Institute. Development status of green methanol industry and main projects at home and abroad[EB/OL]. (2024-12-02)[2025-06-16]. <http://www.chinasihan.com/news/cykj/17852.html>.
- [10] 王梦川, 洪子鑫, 李峰, 刘子洋, 冯国莉. 绿色甲醇产业发展现状及前景分析[J]. 国际石油经济, 2024, 32(5): 78-84. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7298.2024.05.009.
- WANG M C, HONG Z X, LI F, LIU Z Y, FENG G L. Green methanol industry development status and prospect analysis[J]. International Petroleum Economics, 2024, 32(5): 78-84.
- [11] 沙海伟, 胡晓雨, 韩倩倩. 电力设计企业开发氢氨醇油一体化项目的对策探讨[J]. 电力勘测设计, 2024(10): 30-34. DOI: 10.13500/j.dlkesj.issn1671-9913.2024.10.006.
- SHA H W, HU X Y, HAN Q Q. Discussion on the development countermeasures of hydro-ammonia alcohol oil integration project for power design enterprises[J]. Electric Power Survey & Design, 2024(10): 30-34.
- [12] 王刚. 双碳战略下的氢能源[J]. 石油化工建设, 2022, 44(3): 13-17. DOI: 10.3969/j.issn.1672-9323.2022.03.006.
- WANG G. Hydrogen energy under the dual carbon strategy[J]. Petroleum & Chemical Construction, 2022, 44(3): 13-17.

- [13] 环球网. 聚集油气“全国一张网”建设 我国管道关键技术获多项突破[EB/OL]. (2025-04-11)[2025-06-16]. https://www.toutiao.com/article/7491849182849647141/?upstream_biz=doubao&source=m_redirect.
Global Network. Multiple breakthroughs have been made in key pipeline technologies for the construction of a national network for gathering oil and gas resources in China[EB/OL]. (2025-04-11)[2025-06-16]. https://www.toutiao.com/article/7491849182849647141/?upstream_biz=doubao&source=m_redirect.
- [14] 王亮, 焦中良, 王博, 姜善宝. 油气“全国一张网”物理架构体系初步探讨[J]. 中国能源, 2022, 44(10): 32–39. DOI: [10.3969/j.issn.1003-2355.2022.10.005](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-2355.2022.10.005).
WANG L, JIAO Z L, WANG B, JIANG S B. Preliminary discussion on the physical architecture system of “one national network” for oil and gas[J]. Energy of China, 2022, 44(10): 32–39.
- [15] 苗承武, 卢绮敏. 我国天然气管道规划及管道防腐蚀技术[J]. 全面腐蚀控制, 2003, 17(4): 1–5. DOI: [10.3969/j.issn.1008-7818.2003.04.001](https://doi.org/10.3969/j.issn.1008-7818.2003.04.001).
MIAO C W, LU Q M. The plan and anticorrosion technology of natural gas pipeline in China[J]. Total Corrosion Control, 2003, 17(4): 1–5.
- [16] 王震, 孔盈皓. 油气管网服务新型能源体系建设的创新路径[J]. 油气储运, 2024, 43(10): 1081–1088. DOI: [10.6047/j.issn.1000-8241.2024.10.001](https://doi.org/10.6047/j.issn.1000-8241.2024.10.001).
WANG Z, KONG Y H. Research on innovative development path of oil and gas pipeline networks to facilitate the construction of new energy systems[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2024, 43(10): 1081–1088.
- [17] 苑世盛. 碳化钨基电解水催化剂的设计制备及性能研究[D]. 长春: 吉林大学, 2023.
YUAN S S. Preparation and electrochemical performance of molybdenum carbide-based catalysts for water electrolysis[D]. Changchun: Jilin University, 2023.
- [18] 周琳, 付学谦, 刘硕, 李国栋, 曾丹. 促进新能源消纳的综合能源系统日前市场出清优化[J]. 中国电力, 2019, 52(11): 9–18. DOI: [10.11930/j.issn.1004-9649.201907092](https://doi.org/10.11930/j.issn.1004-9649.201907092).
ZHOU L, FU X Q, LIU S, LI G D, ZENG D. Day-ahead market clearing model of integrated energy system for promoting renewable energy consumption[J]. Electric Power, 2019, 52(11): 9–18.
- [19] 俞志东. 铁路罐式箱 LNG 运输振动三分相蒸发计算模型及安全评估技术研究[D]. 北京: 中国铁道科学研究院, 2017.
YU Z D. Research on the vibrating three-phase evaporation model of LNG rail tank container transportation and safety assessment technique[D]. Beijing: China Academy of Railway Sciences, 2017.
- [20] 黄鑫, 施鸿翔, 王良旭, 李卫东, 李加庆, 尹鹏博, 等. 水平管道中甲醇和汽油顺序输送过程混油规律研究[J]. 油气与新能源, 2024, 36(4): 57–66. DOI: [10.3969/j.issn.2097-0021.2024.04.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-0021.2024.04.007).
HUANG X, SHI H X, WANG L X, LI W D, LI J Q, YIN P B, et al. Study on the mixed oil law in the batch transportation of methanol and gasoline in horizontal pipeline[J]. Petroleum and New Energy, 2024, 36(4): 57–66.
- [21] 田磊. 乌克兰危机下, 国内外石油市场发展新动向: 2022 年石油市场发展形势及 2023 年展望[J]. 中国能源, 2023, 45(3): 25–33.
TIAN L. New trends of oil market under the Ukraine crisis: market review in 2022 and outlook for 2023[J]. Energy of China, 2023, 45(3): 25–33.
- [22] 陈国辉, 马昌峰. 谨慎看待我国甲醇产业的发展[J]. 国际石油经济, 2007, 15(10): 63–67. DOI: [10.3969/j.issn.1004-7298.2007.10.010](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-7298.2007.10.010).
CHEN G H, MA C F. A cautious eye on developments in China’s methanol industry[J]. International Petroleum Economics, 2007, 15(10): 63–67.
- [23] 夏云峰. 全球部分国家和地区 2023 年风电开发利用情况概览[J]. 风能, 2024(2): 60–62. DOI: [10.3969/j.issn.1674-9219.2024.02.012](https://doi.org/10.3969/j.issn.1674-9219.2024.02.012).
XIA Y F. Overview of wind power development and utilization in some countries and regions around the world in 2023[J]. Wind Energy, 2024(2): 60–62.
- [24] 邱一苇, 吉旭, 朱文聪, 朱杰, 周步祥, 贺革, 等. 面向新能源规模化消纳的绿氢化工技术研究现状与关键支撑技术展望[J]. 中国电机工程学报, 2023, 43(18): 6934–6955. DOI: [10.13334/j.0258-8013.pcsee.230233](https://doi.org/10.13334/j.0258-8013.pcsee.230233).
QIU Y W, JI X, ZHU W C, ZHU J, ZHOU B X, HE G, et al. Research status of green hydrogen-based chemical engineering technology and prospect of key supporting technologies for large-scale utilization of new energies[J]. Proceedings of the CSEE, 2023, 43(18): 6934–6955.
- [25] 和锋刚. 新形势下现代煤化工发展现状及对策建议[J]. 化工设计通讯, 2021, 47(1): 5–6. DOI: [10.3969/j.issn.1003-6490.2021.01.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1003-6490.2021.01.003).

- HE F G. Development status and countermeasures of modern coal chemical industry under new situation[J]. Chemical Engineering Design Communications, 2021, 47(1): 5–6.
- [26] 工业和信息化部等五部委关于加快内河船舶绿色智能发展的实施意见[J]. 中国信息化, 2022(10): 13–15. DOI: [10.3969/j.issn.1672-5158.2022.10.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.1672-5158.2022.10.003).
- Implementation Opinions of five ministries including the Ministry of Industry and Information Technology on accelerating the green and intelligent development of inland river ships[J]. China's Informatization, 2022(10): 13–15.
- [27] 黄鑫, 滕霖, 聂超飞, 刘罗茜, 闫锋, 邱姝娟, 等. 液氨/甲醇/成品油顺序输送技术研究进展[J]. 油气储运, 2023, 42(12): 1337–1351. DOI: [10.6047/j.issn.1000-8241.2023.12.003](https://doi.org/10.6047/j.issn.1000-8241.2023.12.003).
- HUANG X, TENG L, NIE C F, LIU L Q, YAN F, QIU S J, et al. Research progress on batch transportation technology of liquid ammonia/methanol/product oil[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2023, 42(12): 1337–1351.
- [28] 余洋. 2007 年中国油气管道发展综述[J]. 国际石油经济, 2008, 16(3): 45–51. DOI: [10.3969/j.issn.1004-7298.2008.03.009](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-7298.2008.03.009).
- YU Y. A survey on Chinese oil and gas pipeline development in 2007[J]. International Petroleum Economics, 2008, 16(3): 45–51.
- [29] 张鹏, 葛子铭. 中国西部地区成品油管网线路规划建议[J]. 国际石油经济, 2024, 32(2): 85–91, 100. DOI: [10.3969/j.issn.1004-7298.2024.02.011](https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-7298.2024.02.011).
- ZHANG P, GE Z M. Suggestions for the planning of pipeline network for refined oil in Western China[J]. International Petroleum Economics, 2024, 32(2): 85–91, 100.
- [30] 林宝辉, 张文伟, 王法孟, 凡鹏, 吴凤荣, 吴文, 等. 长距离甲醇输送管道技术研究进展[J]. 油气与新能源, 2025, 37(2): 17–25. DOI: [10.3969/j.issn.2097-0021.2025.02.003](https://doi.org/10.3969/j.issn.2097-0021.2025.02.003).
- LIN B H, ZHANG W W, WANG F M, FAN P, WU F R, WU W, et al. Research progress in long-distance methanol pipeline transport technology[J]. Petroleum and New Energy, 2025, 37(2): 17–25.
- [31] 焦春晖, 张华欣, 李玉婷. 成品油管道输送的混油切割技术与处理解析[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2020, 40(2): 204–205. DOI: [10.3969/j.issn.1673-4076.2020.02.100](https://doi.org/10.3969/j.issn.1673-4076.2020.02.100).
- JIAO C H, ZHANG H X, LI Y T. Analysis of mixed oil cutting technology and treatment for finished oil pipeline transportation[J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2020, 40(2): 204–205.
- [32] 谢程锋, 陈卫华, 徐匡, 周建峰. 有机溶剂对换能器密封材料性能影响试验分析[J]. 声学及电子工程, 2022(3): 30–33. DOI: [10.3969/j.issn.2096-2657.2022.03.008](https://doi.org/10.3969/j.issn.2096-2657.2022.03.008).
- XIE C F, CHEN W H, XU K, ZHOU J F. Experimental analysis of the influence of organic solvents on the performance of sealing materials for transducers[J]. Acoustics and Electronics Engineering, 2022(3): 30–33.
- [33] 张娜, 丁红, 乐精华, 张满栓, 陆钰珍. PTA 装置氢溴酸强腐蚀用高温耐磨硬密封球阀的研究与设计[J]. 通用机械, 2014(1): 82–83. DOI: [10.3969/j.issn.1671-7139.2014.01.026](https://doi.org/10.3969/j.issn.1671-7139.2014.01.026).
- ZHANG N, DING H, YUE J H, ZHANG M S, LU Y Z. Research and design of high temperature wear resistant hard seal ball valve for strong corrosion of hydrobromic acid in PTA plant[J]. General Machinery, 2014(1): 82–83.
- [34] 聂超飞, 姜子涛, 刘罗茜, 左丽丽, 苗青, 李博生, 等. 甲醇管道输送技术发展现状及挑战[J]. 油气储运, 2024, 43(2): 153–162. DOI: [10.6047/j.issn.1000-8241.2024.02.004](https://doi.org/10.6047/j.issn.1000-8241.2024.02.004).
- NIE C F, JIANG Z T, LIU L Q, ZUO L L, MIAO Q, LI B S, et al. Current status and challenges in technology development for methanol pipeline transmission[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2024, 43(2): 153–162.

(编辑: 李在蓉)

基金项目: 国家管网集团定向课题“成品油管道顺序输送甲醇关键技术研究”, SSCC202401; 国家管网集团定向课题“‘西醇东送’成品油管道顺序输送甲醇关键技术及工程示范研究”, SSCC202501。

作者简介: 赵赏鑫, 男, 1979 年生, 教授级高工, 2006 年博士毕业于中国石油大学(北京)机械设计及理论专业, 现主要从事管道安全输送方面的技术研究工作。地址: 天津市经济技术开发区洞庭一街 4 号, 300450。电话: 022-61187308。Email: zhourui03@pipechina.com.cn

• Received: 2025-05-29

• Revised: 2025-06-05

• Online: 2025-06-10

