

引文: 孙博, 李柏松, 李雅娇, 等. 公平开放条件下 LNG 接收站业务发展思考[J]. 油气储运, 2023, 42(12): 1329-1336.

SUN Bo, LI Baisong, LI Yajiao, et al. Thoughts on development of LNG receiving terminal business under fair and open conditions[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2023, 42(12): 1329-1336.

# 公平开放条件下 LNG 接收站业务发展思考

孙博<sup>1</sup> 李柏松<sup>2</sup> 李雅娇<sup>3</sup> 郭祥<sup>2</sup> 于丽琴<sup>3</sup>

1. 国家石油天然气管网集团有限公司; 2. 国家管网集团液化天然气接收站管理公司; 3. 国家管网集团北方管道公司

**摘要:** 随着中国油气体制改革的深入实施和国家石油天然气管网集团有限公司的成立,“X+1+X”的油气市场体系加速形成,正不断重塑国内天然气产业链,并对 LNG 行业发展产生深远影响。目前,中国实施完全向第三方开放的接收站数量仍然不足,窗口期仍属于稀缺资源,市场化商业模式不够丰富,并将面临产能过剩、竞争加剧的不利局面。结合 LNG 行业面临的风险挑战与发展需求,对接收站业务发展定位和策略进行思考,并从坚持公平开放、筑牢本质安全、强化提质增效及培育核心业务 4 个方面提出应对思路与发展建议,旨在打造以“4D”(Delivery、Diversity、Digital、Data)为核心的业务体系,并为油气体制改革深化和“双碳”战略实施背景下 LNG 接收站行业高质量发展提供参考。(图 1,表 1,参 25)

**关键词:**“双碳”战略; LNG 接收站; 公平开放; 油气体制改革; 发展策略

中图分类号: TE832

文献标识码: A

文章编号: 1000-8241(2023)12-1329-08

DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2023.12.002

## Thoughts on development of LNG receiving terminal business under fair and open conditions

SUN Bo<sup>1</sup>, LI Baisong<sup>2</sup>, LI Yajiao<sup>3</sup>, GUO Xiang<sup>2</sup>, YU Liqin<sup>3</sup>

1. China Oil & Gas Pipeline Network Corporation; 2. PipeChina LNG Terminal Management Company; 3. PipeChina North Pipeline Company

**Abstract:** With the deep implementation of domestic oil and gas system reform and the establishment of China Oil & Gas Pipeline Network Corporation, the “X+1+X” oil and gas market system is formed in an accelerated manner, which is remodeling the domestic natural gas industry chain continuously, with profound impact on LNG industry development. Presently, a small number of receiving terminals in China are completely open to the third party, with scarce window period available, limited market-oriented business models developed, and the unfavorable situation with excessive capacity and intensified competition faced. Hence, the positioning and strategy of receiving terminal business development was considered based on the risks, challenges and development requirements faced by the LNG industry. Meanwhile, the solutions and development suggestions were proposed from the four aspects of adhering to openness and fairness, strengthening the intrinsic security, improving quality and efficiency, and developing the core business, so as to build the business system cored at Delivery, Diversity, Digital and Data (4D), further providing a reference to the high-quality development of LNG receiving terminal industry under the background of deepening the oil and gas system reform and implementing the double carbon strategy. (1 Figure, 1 Table, 25 References)

**Key words:** “double carbon” strategy, LNG receiving terminal, fairness and openness, oil and gas system reform, development strategy

经过 10 余年的快速发展,中国 LNG 行业形成了上游天然气生产液化、中游接卸储运、下游综合利用的完整 LNG 产业链和业务链。中国 LNG 技术也同步实现创新与发展,核心装备制造和关键技术初步实现自主可控,部分已达到国际领先水平。2017 年开始,中国进口天然气中 LNG 资源量首次超过管道天然气。

2020 年,中国天然气产量为  $1\,926 \times 10^8 \text{ m}^3$ , LNG 进口量为  $932 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,管道气进口量为  $476 \times 10^8 \text{ m}^3$ <sup>[1-3]</sup>。可以预见,未来在保障中国天然气资源供应方面,LNG 接收站将扮演越来越重要的角色。

2017 年 5 月,中共中央、国务院发布了《中共中央国务院关于深化石油天然气体制改革的若干意见》(简

称《意见》),对油气领域的上中下游均提出了明确的改革方向和任务。为贯彻落实《意见》要求,加快推进石油天然气管网运营机制改革,2019年12月9日国家石油天然气管网集团有限公司(简称国家管网集团)正式成立。国家管网集团成立后,7座在役 LNG 接收站及3个在建项目以市场化形式融入,成为中国 LNG 行业重要的储运基础设施运营商。目前,中国油气体制改革不断深化,LNG 产业发展迈入新阶段,为此聚焦公平开放条件下 LNG 接收站业务发展,分析讨论接收站业务发展现状、方向及面临的挑战,以期为中国接收站行业提供具有参考意义的发展思路。

## 1 中国 LNG 接收站行业基本情况

### 1.1 接收能力现状

自2006年深圳大鹏 LNG 接收站建成投产起,截至2022年底,中国已陆续建成24座 LNG 接收站,年接收能力接近  $1.1 \times 10^8$  t(图1),其中国家管网集团运营管理7座在役 LNG 接收站,分布在5个省、自治区及直辖市,总接收能力  $3\ 060 \times 10^8$  t/a,占中国 LNG 接收站总规模的30%左右;中国海油运营管理接收站6座;中国石油运营管理接收站3座;中国石化运营管理接收站2座;地方国企与民营企业运营管理接收站6座。

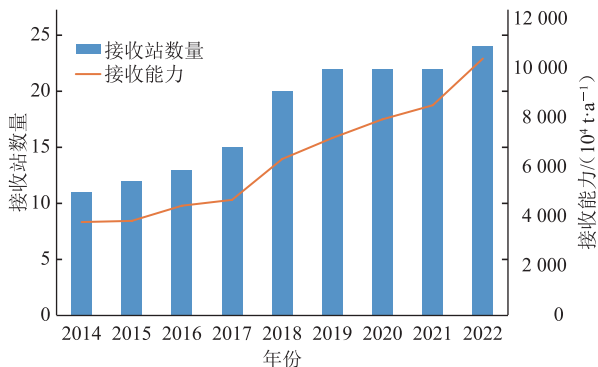


图1 2014—2022年中国 LNG 接收站数量规模与接收能力趋势图

Fig. 1 Trends in number, scale and receiving capacity of LNG receiving terminals in China from 2014 to 2022

“十三·五”期间,中国 LNG 接收站运行负荷率长期处于70%以上,高于国际接收站平均运行负荷水平<sup>[1]</sup>。“十四·五”期间,随着新接收站的建设和投产,总体规模持续增长,接收站设备设施平均利用率将出现回落。同时,接收站设施公平开放后,中国除了三大石油公司外,城燃企业、贸易公司及大型终端用户也开始实现 LNG 自主进口,市场主体明显增多<sup>[4]</sup>。

### 1.2 公平开放现状

LNG 市场的参与者主要有4个类型<sup>[5]</sup>,分别是全国能源综合供应商、跨区域/地方性燃气公司、以 LNG 进口贸易为主的企业、以 LNG 生产销售为主的企业。中国 LNG 上游供应主要来源于国际 LNG 进口与本国开采生产,其中天然气开采加工参与主体以全国能源综合供应商中国石油、中国石化、中国海油等大型央企为主;LNG 进口方面,除央企背景公司外,部分以 LNG 进口贸易为主的企业如九丰能源、新奥集团等拥有接收码头、LNG 资源等优势,接收储存、气化外输等配套设施完善,具有一定的上游采购资源及议价能力,是 LNG 市场重要的参与方。中国燃气、华润燃气、深圳燃气等作为中国或区域燃气运营商拥有本地区或多个地区的燃气专营权,会部分涉及 LNG 的销售或运营。此外,还包括以 LNG 生产、销售为主的清洁能源天然气运营商,如洪通燃气、广汇能源等。

目前主流的开放模式分为单体接收站开放模式、共享平台模式。其中单体接收站开放模式以接收站为主体,与第三方签署接收站使用协议(Terminal Usage Agreement, TUA),接收站仅负责协调生产运营,第三方自行承担从资源采购到下游市场的各环节业务操作与法律责任。共享平台模式通过搭建接收站平台,帮助平台用户实现上游资源获取与下游提气安排,承担产业链上、下游风险的同时也享受该部分收益。中国 LNG 接收站向第三方开放的历程中,在国家政策的指导下,相关企业积极探索实践,形成了不同的开放模式。国家管网集团所属7座接收站实施公平开放模式,不断探索丰富设施公平开放商业实践,推动油气管网基础设施向全社会公平开放,为所有市场参与者提供统一的运输平台。在国家发改委、国家能源局的指导下,中国石油率先以线下商谈的方式向第三方开放 LNG 接收站窗口期<sup>[4]</sup>。中国海油以线下商谈方式,先后将珠海、宁波、天津浮式 LNG 接收站分别向中国石化、浙能集团、新奥集团开放了窗口期,后续中国海油又探索实施了窗口期公开招标<sup>[4,6]</sup>。总体而言,中国实施完全向第三方开放的接收站数量仍然不足,窗口期仍属于稀缺资源。

2003年,欧盟颁发2003/55/EC号指令,在输气、配气及储气业务上推行第三方准入机制,但大型基础设施投资项目可豁免第三方准入义务。意大利、荷兰等国进展相对较快,意大利是欧洲第一个实施接收站开

放的国家;德国、法国等欧洲大陆国家考虑供应安全问题,改革进程相对较慢;英国为鼓励接收站投资,给予中国所有接收站向第三方开放的豁免。欧盟内部建成的 19 座接收站中,强制要求向第三方开放的接收站有 13 座;部分或全部豁免向第三方开放的接收站有 6 座<sup>[7]</sup>。比利时 Fluxys、英国 Grain LNG 接收站采用完全市场化的商业模式,聚焦产业链中游 LNG 加工相关服务,通过服务产品精细化管理匹配客户各类需求,拥有独立的客户管理体系以及完全对外开放的市场化服务模式。总体来看,中国 LNG 接收站市场化商业模式在产品丰富性方面与国外还存在一定差距,产品种类相对单一。

### 1.3 核心装备国产化现状

中国高度重视关键核心技术创新攻关,着力破解“卡脖子”难题,设备国产化已上升为国家战略。2006 年中国第一座 LNG 接收站投产时,主要设备与材料全部为进口,主要供货厂家分布在美国、日本、欧洲等发达国家与地区,设备与材料国产化率很低。近十年来,中国石油、中国石化、国家管网集团、中国海油等单位积极开展关键技术及核心设备重点自主攻关,国产化率显著提升<sup>[8]</sup>。国家管网集团成立后,明确提出天津 LNG 二期国产化率 95% 和龙口 LNG 国产化率 90% 的目标,在国家能源局、中国机械工业联合会的指导和支持下,与优势厂家合作,针对 BOG 压缩机、低温泵、低温阀门、卸料臂等设备开展技术攻关,推动了 22 项国产设备的广泛应用。中国石油寰球工程有限公司是较早开展 LNG 技术攻关和 EPC 总承包建设的工程公司,主导完成了“-161℃超低温液化天然气成套工艺装备及工业应用”项目及相关 LNG 接收站关键设备与材料研发,总体达到国际先进水平。中国石油江苏 LNG 公司在设备自主维修和国产化方面走在前列,卸料臂、BOG 压缩机、低温泵、低温阀门等主要进口设备备件基本实现了国产化。中国石化大力推动 LNG 接收站国产化,成立国产化研发团队,进行国产化攻关,已实现全套大型接收站工艺包技术自主化,2018 年以后的青岛、天津扩建及龙口等新项目关键装备材料均实现了国产化。

对比国内外典型 LNG 接收站关键设备性能指标情况(表 1)可知,国产卸料臂基本性能指标与进口设备相当,并在其基础上进行了创新,具备全自动对接功能;国产 BOG 压缩机多为卧式结构,具备一键启停功

表 1 国内外典型 LNG 接收站关键设备性能指标对比表  
Table 1 Comparison of performance indexes of typical LNG receiving terminal core equipment at home and abroad

设备名称	性能指标	
	国产设备	进口设备
卸料臂	主管尺寸 20 in (1 in=25.4 mm)、16 in,具备全自动对接功能	主管尺寸 20 in、16 in,传统对接
BOG 压缩机	处理能力 14 t/h,吸入压力 0.1 MPa,排出压力 0.87 MPa,卧式结构往复式压缩机	立式结构居多,性能与国产设备相当
罐内泵	功率等级 260 kW,流量 460 m <sup>3</sup> /h,扬程 280 m	与国产设备相当
高压泵	功率等级 1800 kW,流量 424 m <sup>3</sup> /h,扬程 2 086 m	与国产设备相当
海水汽化器	处理能力 200 t/h;	与国产设备相当
低温球阀	公称直径 600 mm,压力等级 25 MPa	与国产设备相当
低温蝶阀	公称直径 1 050 mm,压力等级 2 MPa	与国产设备相当
低温安全阀	整定压力 29 kPa、公称直径 300 mm×400 mm、压力等级 2 MPa	与国产设备相当

能,进口产品则以立式结构居多;国产低温泵已在中国接收站进行了规模应用,效率、可靠性等指标与进口产品相当;低温阀门方面近年来逐步解决了大口径高磅级产品的瓶颈问题,已经开始得到应用。目前除低温离心式 BOG 压缩机、LNG 储罐罐表系统、LNG 储罐保冷弹性毡等少数设备与材料外,基本实现了国产化替代与自主可控,并正在开展存量进口设备备件的国产化替代工作。

### 1.4 资产完整性管理现状

目前,中国已初步形成了具有接收站特色的资产完整性管理体系框架。通过试点示范实施了 LNG 接收站资产完整性管理,主要涵盖数据采集、风险评价、完整性评价、风险消减与维修维护、效能评价 5 个环节,并运用相关技术建立、实施及保持目标统一、运行高效的完整性管理体系。设备设施管理方面,推行以设备设施结构完整、功能可靠、状态受控为管理目标的全生命周期管理理念,对影响设备设施安全可靠运行的各种因素进行持续识别、评价及控制,将风险控制在合理、可接受的范围内。探索依托智能化管理手段建立完整、科学的设备管理体系及配套管理系统,强化以风险为核心、以预见性维修为主、多种维修方式并存的维修策略支持,高效完成管理设备运维过程中的隐患快速识别、智能工单、库存预警、维修计划等任务。中国各 LNG 接收站均在完整性技术方面进行了积极的探索和实践,难点和关键在于缺乏有效的抓手,亟需在

接收站设备设施失效库与故障库建立,基于风险的检验(Risk Based Inspection, RBI)、以可靠性为中心的维修(Reliability Centered Maintenance, RCM)、定量风险评估(Quantitative Risk Analysis, QRA)等评价方法在接收站应用的针对性、专项检测监测技术深化应用等方面进行攻关突破。国外接收站也有完整性管理实践案例,如英国 South Hook 接收站建立了液化天然气接收站完整性管理框架。

### 1.5 接收站智能化现状

近年来,中国 LNG 接收站开始注重发挥智能化技术对于接收站设备设施运维管理的赋能作用。接收站关键设备设施在线监测、智能诊断技术得到了广泛应用。为保障储罐低温安全运行,采用光纤测温方式对储罐珍珠岩保冷层温度进行有效监测,收集储罐运行阶段珍珠岩沉降数据,实现了 LNG 储罐保冷层珍珠岩沉降在线监测。采用在线监测系统实时监控机泵组的运行状态,对表征设备运行状态的各种数据(振动、轴位移、键相、温度、压力等)进行记录和分析,实现了对各种监测量快变、缓变、趋势、波动情况的评估预警,及时发现早期故障征兆。搭建设备管理平台对关键设备设施进行状态管控,完成运行数据评估和分析,为检修策略制订及备件采购更换提供了数据支持,保证设备设施运行安全可控。

国外接收站中,欧洲和日本的接收站自动化水平很高,一般为少人接收站,其接收站人员普遍少于100人。国外接收站信息技术及智能化技术也得到广泛应用。比利时 LNG 接收站运营商 Fluxys 下辖的两座 LNG 接收站(泽布鲁格 LNG 接收站和敦刻尔克 LNG 接收站)进行了数字孪生技术的投资,以实现全面感知、分析及预测,并进行风险预警,实现了基础设施运营数据的可视化。韩国 KOGAS LNG 接收站采用机器人与无人机相结合的方式巡检,搭载激光、红外等多种探测模块,可执行各类巡检任务,及时发现安全隐患并主动预警。

## 2 面临的挑战与发展需求

### 2.1 安全风险管控要求

LNG 接收站作为危险化学品储运设施,安全环保事故将对其运营造成颠覆性后果。LNG 具有介质温度低、易气化、易超压等特点,接收站运行过程中天然

气介质气液相态多次转换、LNG 的大量闪蒸或泄漏均易引起设备设施损坏,甚至造成人身财产损失<sup>[9]</sup>。借鉴国内外 LNG 接收站管理经验,为有效防范此类风险,应认真开展全方位风险识别、分析与评估以及全生命周期风险管理<sup>[9-10]</sup>。首先通过辨识高风险区域和潜在风险源,发现基本风险事件,从源头规避与控制事故风险,进而结合不同风险评估工具的特点和优势,开展定性、定量以及定性与定量相结合的风险评估。综合相关研究成果<sup>[11-13]</sup>,接收站储罐区、码头区及装车区作业频繁且危险介质聚集度高,应重点加强风险管控;储罐系统翻滚、阀门泄漏、密封与保冷失效以及机泵故障导致的事件属于高风险等级,应坚决杜绝。接收站设计、施工、管理等过程中的不确定性使风险无法完全避免,因此必须对风险进行持续管理和控制,严格落实风险控制和消减措施,对形成隐患的问题要明确责任人、完成时间及实施方案,及时进行整改关闭,从根本上保证接收站安全生产与平稳受控。

### 2.2 核心竞争能力提升需求

参与接收站行业的市场主体不断涌现,国有油气企业、民营企业建设运营的接收站均将在这一领域形成竞合关系。据业内专家预测,现在扩建与拟建的40余座接收站若全部投运,至2025年中国接收站年设计能力将达到约 $2.2 \times 10^8$  t<sup>[14]</sup>,届时接收站整体利用率不足50%,接收站行业将面临产能过剩、竞争加剧的不利局面。与天然气生产销售企业所属的接收站相比,公平开放条件下,单一接收站设施运营企业无法完全依靠纵向一体化将成本在价值链中进行分摊,应对激烈市场竞争的能力有所削弱。为有效应对挑战,需要牢固树立市场化经营理念,通过对标国内外一流接收站企业,实施专业化、精细化管理,着力降本增效,提高竞争能力。更重要的是,应充分发挥接收站的平台赋能作用,大力培育上、下游市场主体,减少中间环节成本,帮助更多下游中小型天然气用户完成低成本资源采购和物流配送,引导更多上游优质天然气资源进入中国市场,以满足快速增长的消费需求,在助力天然气行业发展的同时实现自身业务规模与运营效益的同步增长。

### 2.3 储运技术图谱拓展

随着技术日趋成熟和法律法规、标准规范的颁布完善,转驳与内河运输、海陆多式联运、LNG 罐箱发展的各项基础条件逐步具备,将可能成为与接收站并

行的物流运输方案。特别是与槽车运输相比,内河运输与铁路运输成本更低、运力更强,一旦实现大规模应用,将对接收站传统的液态装车业务构成挑战。目前,中国沿海 LNG 接收站布局网络基本成型,内河 LNG 中转站发展条件日趋成熟<sup>[15-17]</sup>,加强 LNG 储运技术经济研究,探索海陆联运、转驳入江、罐箱运输等技术方案,利用中国海岸线绵长、河网密集的特点,谋划布局内河 LNG 中转站,建立沿海接收站与内河中转站的有效互联互通渠道,增强接收站的网络覆盖和市场渗透能力是顺应发展趋势的现实选择。同时还应结合自身业务优势深入研究经营策略,充分发挥与管网、储气库的协同效应,增强供应的灵活性与可靠性,扩展市场覆盖范围,提升交付执行能力,为客户提供更多选择、创造更大价值。

#### 2.4 绿色持续发展转型升级

“碳达峰”“碳中和”正由全球共识逐步转化为能源转型的强大推动力。全球能源体系加速脱碳,天然气作为传统化石能源,未来行业发展将面临严苛的外部政策和经济约束条件。为有效应对挑战,首先应当保持战略定力,认真研判行业发展趋势。中国“2030 年碳达峰、2060 年碳中和”目标的提出及实施路径的确定,将进一步促进天然气在能源转型中的桥梁作用。从业界和研究机构的观点来看<sup>[18-20]</sup>,在“双碳”战略指引下,随着各项措施和政策的不断出台落地,“十四·五”期间天然气消费具备较强增长潜力。基于上述趋势,必须抢抓接收站业务发展机遇期和窗口期,加强与外部企业在 LNG 接收站建设运营方面的合资合作,实现快速发展。此外,接收站作为油气行业优质资产,一直受到资本市场的广泛关注,相关标的公司的资本市场表现较好,研究推动 LNG 接收站业务以合理估值上市,利用资本市场实现接收站业务做强做优也是现实途径。

值得注意的是,虽然在中国已经出现了“碳中和 LNG”的实践案例,但缺乏统一的行业标准,业界公认的测量碳排放量的监测、报告及核查(Monitoring, Reporting and Verification, MRV)方法尚未在天然气产业链各环节中得到有效应用<sup>[21]</sup>。接收站作为 LNG 产业链的关键环节,有条件、有责任主动参与碳中和 LNG 领域相关标准的制定,积极推动“碳中和 LNG”贸易发展,促进 LNG 全产业链、全生命周期实现净零排放<sup>[22-23]</sup>。长期来看,接收站企业还应探索低温储运

技术在氢能领域的应用,并发展利用冷能空分固碳技术,以自身技术迭代与转型应对全球能源行业重大变革。

### 3 LNG 接收站业务发展趋势与策略

#### 3.1 LNG 接收站业务发展趋势

目前,在中国常规天然气资源增储上产空间有限、非常规资源规模化与效益化开采难度加大、内陆天然气进口远离沿海高效市场的背景下,LNG 接收站业务具备高速增长的需求基础<sup>[1,24]</sup>。与此同时,多层次天然气储备体系有序建设,天然气发电、清洁采暖逐步推广,特别是油气管网、电力设施等能源基础设施加速完善和公平开放,也使 LNG 产业发展具备良好政策环境和基础设施条件。接收站作为全球天然气产业链重要一环,是全球优质资源进入中国市场的重要通道,通过打造能源利益共同体,能够在加强全方位国际合作中做出应有贡献。同时,作为中国需求侧企业对接全球资源组合的主要窗口,接收站应当积极帮助中国企业在全球范围进行资源配置和优化,提升油气行业资源利用效率,更好地保障中国能源安全。

#### 3.2 LNG 接收站业务发展战略

##### 3.2.1 坚持公平开放

公平开放是实现接收站业务高质量发展的基本方向。通过建立适应市场的组织形式和管控模式,从生产运行管理转向生产经营管理,主动帮助中国城市燃气、发电及贸易等需求侧企业对接更多海外优质 LNG 资源,整合进口、清关、存储、转口、物流等各环节主体与资源,为客户提供定制化、一站式的全球 LNG 资源配置解决方案。成为独立市场主体后,公平开放使接收站企业充分具备了平台型经营的物理条件 and 市场基础。通过与上下游企业、交易中心开展深度合作,针对入围托运商和会员企业,积极探索撮合交易、罐容和窗口期交易、保税交割等,拓展商业模式,在为客户创造更大价值的过程中实现更高质量发展。

##### 3.2.2 筑牢本质安全

确保设备设施运行安全可控是接收站生存发展的基础。目前接收站设备日常管理已逐步采用人工巡检与监控系统巡检相结合的方式,但由于现场仪表、阀门、法兰等数量较多,仍需占用大量运维人力资源完成日常巡检工作,导致维修维护力量相对薄弱、人员技

能素质无法提升、自主维修能力缺乏,直接制约了接收站设备设施运维水平的提升<sup>[25]</sup>。此外,法律规范对于 LNG 储罐、工艺装置等重大危险源提出了严格的管理要求,罐顶区域阀门仪表集中属于重点巡检区域,人工巡检时,人员长时间处于高空危险环境,恶劣天气下罐区内巡检和隐患排查难度更大,很大程度上降低了接收站的本质安全水平。为解决此类运行管理痛点,需要依靠技术进步,特别是 5G 物联网、VR/AR、人工智能、移动应用等数字化技术的融合应用,重点推广防爆巡检机器人、智能云台式激光可燃气体检测装置等设备,实现 LNG 接收站巡检业务智能化提升,从而将运维人员从重复低效的巡检工作中解放出来,充分强化设备运维检修力量,研究设备运行特性和规律,形成可靠的自主运维能力。同时,进一步推动 LNG 接收站运营数据与应急数据的多维度可视化管理,实现运行管理精细化、预警分析与应急抢险智能化,开展 LNG 接收站报警分级优化和工控系统安全升级,用技术手段筑牢接收站设备设施安全基础。

### 3.2.3 强化提质增效

生产运行提质增效是接收站生存发展的现实选择。通过开展接收站工艺设备智能化提升、关键设备优化运行及 LNG 接收站数字化转型,提高站场自动化操作能力及人员数字化素养与应用技能水平,提升 LNG 接收站运行管理能力、设备完整性管控水平及安全应急处置能力。把握 LNG 接收站数字化转型和智能化管控的发展趋势,打造全面感知、自动预判、智能优化且安全高效运行的智慧接收站。通过提高关键设备自动化水平,实现关键设备及工艺自适应优化,建立基于气化器、再冷凝器、机泵组等关键设备仿真模型的优化运行模式,努力提高接收站生产效率、降低能耗,是接收站工艺运行管理的发展方向,也是接收站提质增效以应对激烈市场竞争的重要着力点。

### 3.2.4 培育核心业务

提升、扩展业务能力是接收站高质量发展的必由之路。打造以“4D”(Delivery、Diversity、Digital、Data)为核心的业务体系,有助于接收站在传统业务的基础上获得更大的发展空间和动能。①保障交付(Delivery)能力,满足客户多样化、个性化的储运服务需求,是接收站的核心基础业务;②帮助客户实现资源组合多元化(Diversity),使更多市场主体可以进入接

收站平台开展业务,既能降低客户经营风险,又能扩大客户群体,对保障中国能源安全也有积极作用;③实现数字化转型(Digital),通过大数据分析、数字孪生等数字化技术,实现接收站设备设施的低成本、高效运维管理,是提升接收站竞争力的重要途径;④发展数据服务(Data)业务,在确保数据信息安全的前提下,充分挖掘接收站作为中间平台沉淀的数据资产价值,为客户提供增值数据服务和交易咨询,是未来接收站业务拓展与转型的重要方向。

## 4 结论

展望未来,在“2030年碳达峰,2060年碳中和”的愿景下,天然气将成为化石能源向可再生能源过渡的最优选择。中国 LNG 行业发展潜力巨大,应当把握业务上升期和窗口期,按照国家储气调峰体系建设部署和要求加快发展,确保安全生产和高质量发展,助推中国油气体制改革和油气市场体系构建,为保障国家能源安全贡献力量。

(1)中国油气体制改革不断深化,LNG 产业发展迈入新阶段,在接收站公平开放水平、设备设施自主可控水平、完整性管理水平、智能化水平等方面取得了长足进步,但完全向第三方开放的接收站数量仍然不足,窗口期仍属于稀缺资源,可提供的市场化商业模式的丰富性方面与国外还存在一定差距。

(2)2026年以后,接收站行业将面临产能过剩、竞争加剧的不利局面,中国接收站企业面临安全风险管控、核心竞争能力提升、储运技术图谱拓展、绿色持续发展转型升级等风险挑战与发展需求。

(3)公平开放是实现未来接收站业务高质量发展的基本方向。在确保接收站设备设施运行安全可控的基础上,强化生产运行提质增效以及扩展接收站业务能力,是接收站高质量发展的必由之路。打造以“4D”为核心的业务体系,有助于接收站在传统业务的基础上获得更大的发展空间和动能。

### 参考文献:

- [1] 高振宇,高鹏,刘倩,周颖,李天杨,孙士昌.中国 LNG 产业现状分析及发展建议[J].天然气技术与经济,2019,13(6):14-19. DOI: 10.3969/j.issn.2095-1132.2019.06.003. GAO Z Y, GAO P, LIU Q, ZHOU Y, LI T Y, SUN S C. LNG

- industry in China and some suggestions on its development[J]. *Natural Gas Technology and Economy*, 2019, 13(6): 14-19.
- [2] 宋晨辉, 肖峻, 陈潜, 屈玉清, 秋泽楷, 李航. 天然气管网系统的输气能力曲线[J]. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 2022, 46(2): 160-167. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5005.2022.02.017. SONG C H, XIAO J, CHEN Q, QU Y Q, QIU Z K, LI H. Gas transmission capability curve of natural gas pipeline system[J]. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 2022, 46(2): 160-167.
- [3] 吴珉颖, 孙文宇, 祝婧祎. 中国天然气市场 2020 年回顾与展望[J]. *国际石油经济*, 2021, 29(6): 78-86. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7298.2021.06.011. WU M J, SUN W Y, ZHU J Y. Development of China's natural gas market in 2020 and outlook for 2021[J]. *International Petroleum Economics*, 2021, 29(6): 78-86.
- [4] 崔云峰, 郭锋. 开放八年, LNG 接收站市场化如何[EB/OL]. (2022-06-15)[2022-06-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1735667967597303985&wfr=spider&for=pc>. CUI Y F, GUO F. How is the marketization of LNG receiving stations after eight years of opening up[EB/OL]. (2022-06-15)[2022-06-15]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1735667967597303985&wfr=spider&for=pc>.
- [5] 前瞻经济学人. 预见 2023:《2023 年中国 LNG 行业全景图谱》(附市场现状、竞争格局和发展趋势等)[EB/OL]. (2022-11-22)[2022-11-22]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1750175906366853898&wfr=spider&for=pc>. Prospective Economist. Forecast 2023: China LNG Industry Panorama Map in 2023 (attached with market status, competition pattern and development trend, etc.)[EB/OL]. (2022-11-22)[2022-11-22]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1750175906366853898&wfr=spider&for=pc>.
- [6] 武洪昆, 季元旗, 魏琳. 接收站开放: 助推天然气市场化[J]. *中国投资(中英文)*, 2019(13): 68-70. WU H K, JI Y Q, WEI L. Open receiving station: helps boost natural gas marketization[J]. *China Investment*, 2019(13): 68-70.
- [7] 谢治国, 郑洪毅, 林洁, 李雅坤. 欧洲 LNG 接收站开放的经验与启示[J]. *国际石油经济*, 2016, 24(4): 41-47. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7298.2016.04.008. XIE Z G, ZHENG H T, LIN J, LI Y K. TPA experience of the European LNG terminals[J]. *International Petroleum Economics*, 2016, 24(4): 41-47.
- [8] 单彤文. 中国 LNG 产业链核心技术发展现状与关键技术发展方向[J]. *中国海上油气*, 2020, 32(4): 190-196. DOI: 10.11935/j.issn.1673-1506.2020.04.024. SHAN T W. Core technology development status and key technology development trends of LNG industry chain in China[J]. *China Offshore Oil and Gas*, 2020, 32(4): 190-196.
- [9] 王海, 王志会, 赵思琦. 风险管理在大型 LNG 接收站项目中的应用[J]. *天然气化工(C1 化学与化工)*, 2020, 45(1): 61-65, 75. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9219.2020.01.013. WANG H, WANG Z H, ZHAO S Q. Project risk management in large scale LNG terminal[J]. *Natural Gas Chemical Industry*, 2020, 45(1): 61-65, 75.
- [10] 赵保林, 朱阳明, 李繁荣, 张志伟. LNG 接收站危险性分析及安全设计探讨[J]. *化工设计*, 2013, 23(5): 44-46. DOI: 10.3969/j.issn.1007-6247.2013.05.015. ZHAO B L, ZHU Y M, LI F R, ZHANG Z W. Hazard analysis and safety design for LNG terminal[J]. *Chemical Engineering Design*, 2013, 23(5): 44-46.
- [11] 林剑彬, 胡超. LNG 接收站船舶卸货作业风险分析与对策[J]. *安全、健康和环境*, 2017, 17(6): 11-14. DOI: 10.3969/j.issn.1672-7932.2017.06.004. LIN J B, HU C. Risk analysis and countermeasure of ship unloading operation in LNG terminal[J]. *Safety Health & Environment*, 2017, 17(6): 11-14.
- [12] 赵文芳, 张国辉, 党文义, 陈涛. 液化天然气(LNG)接收站定量风险评估[J]. *安全、健康和环境*, 2007, 7(10): 31-33, 39. DOI: 10.3969/j.issn.1672-7932.2007.10.014. ZHAO W F, ZHANG G H, DANG W Y, CHEN T. Quantitative risk assessment of LNG receiver[J]. *Safety Health & Environment*, 2007, 7(10): 31-33, 39.
- [13] 唐伟军. LNG 接收站建设工程安全风险研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013. TANG W J. The safety risk management research of LNG terminal project construction[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2013.
- [14] 宋媛玲, 白改玲, 周伟, 王红. HAZOP 分析方法在液化天然气接收站的应用[J]. *化学工程*, 2012, 40(2): 74-78. DOI: 10.3969/j.issn.1005-9954.2012.02.016. SONG Y L, BAI G L, ZHOU W, WANG H. Application of hazard and operability study in liquefied natural gas receiving terminal[J]. *Chemical Engineering*, 2012, 40(2): 74-78.

- [15] 文习之, 孙文. 国内外小型 LNG 接收站现状与发展趋势[J]. 国际石油经济, 2021, 29(6): 51-62. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7298.2021.06.008.  
WEN X Z, SUN W. Current status and development trend of small-sized LNG receiving terminals at home and abroad[J]. International Petroleum Economics, 2021, 29(6): 51-62.
- [16] 田宇忠, 刘宇. LNG 罐箱整船运输所面临的问题及其解决方案[J]. 船舶, 2018, 29(1): 19-25. DOI: 10.19423/j.cnki.31-1561/u.2018.01.019.  
TIAN Y Z, LIU Y. Difficulties and solutions for bulk transportation of LNG in tank container[J]. Ship & Boat, 2018, 29(1): 19-25.
- [17] 刘英. 浅析 LNG 罐式集装箱的发展及应用[J]. 化工装备技术, 2019, 40(2): 32-35. DOI: 10.16759/j.cnki.issn.1007-7251.2019.04.009.  
LIU Y. Analysis on the development and application of LNG tank container[J]. Chemical Equipment Technology, 2019, 40(2): 32-35.
- [18] 武颀峰, 冯陈玥, 张沛宇. 供需再平衡下的全球 LNG 贸易回顾及展望[J]. 国际石油经济, 2021, 29(2): 73-81. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7298.2021.02.010.  
WU Y F, FENG C Y, ZHANG P Y. Global LNG trade review and outlook amid supply and demand rebalance[J]. International Petroleum Economics, 2021, 29(2): 73-81.
- [19] 刘朝全, 姜学峰. 2020 年国内外油气行业发展报告[M]. 北京: 石油工业出版社, 2021: 6-13.  
LIU C Q, JIANG X F. 2020 Domestic and foreign oil and gas industry development report[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2021: 6-13.
- [20] 王伟明. 中国液化天然气市场发展趋势及建议[J]. 国际石油经济, 2020, 28(9): 65-71. DOI: 10.3969/j.issn.1004-7298.2020.09.009.  
WANG W M. The development trend and suggestions of China's LNG market[J]. International Petroleum Economics, 2020, 28(9): 65-71.
- [21] 孙晔, 张嘉. “碳中和 LNG”带来的挑战[J]. 能源, 2021(1): 37-39.  
SUN Y, ZHANG J. Challenges brought by “carbon neutral LNG”[J]. Energy, 2021(1): 37-39.
- [22] 陈蕊, 张晓宇. 全球碳中和 LNG 贸易特点及挑战[J]. 油气与新能源, 2021, 33(4): 39-42. DOI: 10.3969/j.issn.2097-0021.2021.03.008.  
CHEN R, ZHANG X Y. Characteristics and challenges of global carbon neutrality LNG trading[J]. Petroleum and New Energy, 2021, 33(4): 39-42.
- [23] 隋朝霞. 碳中和目标下我国 LNG 产业链发展对氢能产业发展的启示[J]. 天然气化工(C1 化学与化工), 2021, 46(4): 9-13. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9219.2021.04.002.  
SUI Z X. Enlightenment of China's LNG industry chain development on hydrogen energy industry development under carbon neutrality target[J]. Natural Gas Chemical Industry, 2021, 46(4): 9-13.
- [24] 王震, 孔盈皓, 李伟. “碳中和”背景下中国天然气产业发展综述[J]. 天然气工业, 2021, 41(8): 194-202. DOI: 10.3787/j.issn.1000-0976.2021.08.018.  
WANG Z, KONG Y H, LI W. Review on the development of China's natural gas industry in the background of “carbon neutrality”[J]. Natural Gas Industry, 2021, 41(8): 194-202.
- [25] 程旭东, 甄聪, 艾金兴, 高思远, 韩明一. 一种新的大型 LNG 储罐钢穹顶稳定性分析方法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版), 2022, 46(2): 168-175. DOI: 10.3969/j.issn.1673-5005.2022.02.018.  
CHENG X D, ZHEN C, AI J X, GAO S Y, HAN M Y. A new stability analysis method for steel dome of large LNG storage tank[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science), 2022, 46(2): 168-175.

(收稿日期: 2023-01-17; 修回日期: 2023-09-20; 编辑: 张静楠)

**作者简介:** 孙博, 男, 1986 年生, 高级工程师, 2013 年博士毕业于复旦大学物理化学专业, 现主要从事 LNG 接收站生产运行管理、天然气液化厂建设及设备国产化方面的研究工作。地址: 北京市朝阳区东土城路 5 号城科大厦, 100028。电话: 010-87981865。Email: sunbo01@pipechina.com.cn

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

