

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2024.12.009

浅析双碳目标背景下 城镇燃气行业面临的机遇与挑战

李璐伶, 刘建辉, 杨 光
深圳市燃气集团股份有限公司

摘 要: 本论文围绕城镇燃气产业链的气源端、输配端、应用端3个环节, 首先简要介绍了主要气源种类; 接着围绕燃气场站、燃气管网、储气调峰、调度管理以及应急管理等环节, 介绍了输配技术从信息化到数字化, 再到智慧化的发展现状; 然后重点围绕居民、商用、车船

6 结语

安全管理是液化气销售企业高质量发展的前提, 面对业务人员不足、专业能力有限、运输槽罐车数量庞大和运输过程风险复杂的安全形势, 构建1种适合企业自身特征的安全管控模式去管控风险至关重要。

炼销公司通过不断摸索, 据统计, 自开展上述液化石油气自提运输槽罐车审核认证、液化石油气自提槽罐车视频自检、司押人员履职能力提升和液化石油气自提承运商动态监控“四位一体”的安全管控模式以来, 经过27个驻提货点办事处开展常态化属地现场周检查反馈, 液化石油气客户运输槽罐车暴露出现的问题较以往大幅减少并持续处于低位, 较大幅度提升了运输槽罐车本质安全水平, 图3展示了炼销公司2022年7月—2024年9月期间曝光榜机制发布的液化石油气自提车辆问题统计情况。

综上所述, 本文所阐述的客户自提运输安全管控模式及在实践中应用情况, 与液化石油气专业销售公司的管理特点和经营实际具有高度的适宜性, 并取得了显著的成效, 有力的促进和提升了液化石油气客户及承运商安全管理水平。

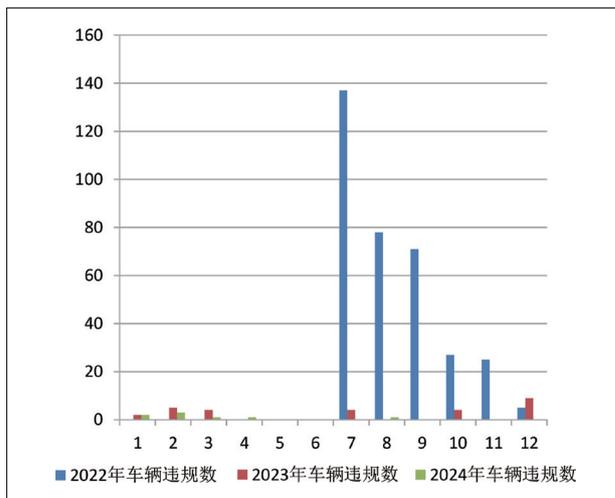


图3 液化气自提车辆问题检查曝光统计情况

参考文献

- [1] 曾艳红, 傅毓谦, 陈浩. 岳阳市危化品物流业现状及发展对策[J]. 岳阳职业技术学院学报, 2023, 38(1): 54.
- [2] 周崇波, 瞿丽莉, 谢智慧. 与安全同行—企业安全生产思考与探索[M]. 中国电力出版社, 2023: 14.
- [3] 邓卫国. 危化品物流全链条安全管控措施探讨[J]. 安全管理, 2024, 24(2): 57.

用气以及综合利用等场景归纳了常用的燃气应用技术。在此基础上,基于“双碳”目标,提出了城镇燃气企业向城镇综合能源企业转型的发展思路,并指出该过程中两条“减碳”路径,一是通过“智慧化”手段,借助人工智能、大数据等新一代信息技术,提高企业运营效率,进一步保障安全,减少人力、物力投入所引起的碳排放;二是通过“低碳化”手段,在近期提高天然气在一次能源中的使用占比,通过天然气综合利用等方式提高利用率,探索利用现有燃气基础设施发展新能源的技术路径;在远期将天然气与光伏、风能、氢能、生物质能等深度融合,利用氢气作为储能介质助推风光电规模化发展,管道掺氢实现氢气输送,生物质能和碳捕集技术实现天然气脱碳,打造多能互补的清洁能源综合系统。通过两条路径,以用户需求为导向,以现有燃气系统为基础,构建更加高效、智慧的能源网络系统,助力双碳目标的实现。

关键词: 双碳目标; 城镇燃气; 智慧燃气; 低碳化; 综合能源; 智慧能源

近年来,全球尤其是亚洲地区新兴经济体能源消费爆发式增长,原有的以化石燃料为主要能源的供给方式给环境带来了极大挑战,同时人类也面临着未来化石能源枯竭的问题。为应对全球共同危机,促进转型发展,彰显大国担当,在第75届联合国大会上,习近平总书记提出“2030碳达峰、2060碳中和”的“双碳”发展目标。

围绕“双碳”发展目标,各地政府出台了一系列产业规划及支持政策,截止2021年底,围绕氢能产业,国内就发布了200余项产业政策。各能源企业纷纷围绕低碳清洁能源转型发展布局。宁德时代、隆基、阳光电源等光伏企业迎来了高速发展期。中石化、中石油、国电投、国家能源、中国能建等超过1/3的能源央企开始布局氢能产业链。壳牌、法液空、空气化工、SNAM等国外能源企业也纷纷在我国围绕新能源和综合能源市场进行布局。

在全球能源低碳化转型的背景下,非化石能源的占比将不断提高,据国际能源署报告,到2050年,全球非化石能源将占一次能源消费比重的2/3^[1];我国政府也提出,到2030年,非化石能源在一次能源消费比重达到25%的目标。然而,由于以光伏、风能、生物质能等为代表的非化石能源的规模化效应尚未形成,同时,其还存在不稳定性,技术成熟度不够等缺点,

导致其在经济性和便捷性等方面,仍无法与化石能源竞争。2021年,全球非化石能源在能源消费中占比仅为16.9%^[2]。

天然气在化石能源中,相对清洁低碳,相较非化石能源,兼具稳定、灵活性和经济性等优点。因此,被认为是实现“双碳”目标过程中,理想的过渡能源。在2030年前,天然气将大量替代煤炭和石油等高碳能源,与可再生能源融合发展,迎来快速增长时期;到2040年左右,由于可再生能源技术的提升和产业链的完善,天然气增速将放缓,在能源消费中的占比达到25%~28%,并开始呈现降低趋势;在2060年左右,由于非化石能源产业的成熟,天然气在能源消费中的占比将降低至10%以下,最终将作为调峰能源或在部分非化石能源无法替代的化工行业中使用^[3]。

在“双碳”目标背景下,对于以城市天然气输配为主营业务的城镇燃气行业而言,面临着如何基于现有技术和产业基础合理布局,一方面满足未来10年—20年内天然气用量快速增长的需求,另一方面应对未来30年—40年能源行业深度脱碳带来的转型发展要求的挑战与机遇。基于此,本文综合分析了现阶段城镇燃气行业技术发展现状,提出了应对挑战和机遇,城镇燃气企业可行的转型发展路径。

基金项目: 国家科技部重点研发计划“中低压纯氢掺氢管道输送及其应用关键技术”, 2021YFB4001605。

1 城镇燃气行业发展现状

1.1 气源端情况

“十三五”期间，我国天然气产业快速发展，天然气消费总量持续增长，用气规模显著提升，城镇燃气行业也迎来10年发展黄金期，形成以天然气为主要城市燃气气源的供应格局^[4]。

根据相关统计数据，2023年我国天然气产量为2 353亿m³；天然气进口量为1 656亿m³，对外依存度达42.3%，较2022年增加1.1个百分点。

在气源构成方面，早期的燃气以人工煤气为主，在用气能力和安全性方面均存在一定问题；后期随着西气东输管线的投产，燃气用气人口和消费总量呈现指数型增长，用气规模显著提升，人工煤气基本退出历史舞台，气源供给更加清洁、低碳、高效。

同时，随着能源供给侧结构性改革不断推进，国家管网已大体成型，越来越多的省级管网融入国家管网，油气供应主体持续增加，燃气资源供应能力不断增强。城燃企业也将有更多清洁稳定的气源可供选择^[5]。

1.2 输配端技术情况

随着天然气用气规模扩大，得益于新一代信息技术的发展，城镇燃气输配系统也逐渐从传统的、单一的管理模式向全过程、全方位、智能化的管理模式转变。

1.2.1 燃气场站

作为天然气输配系统的重要组成部分，燃气场站是连接用户与消费者的“第一道关卡”，因建设目的和功能不同，主要包括门站、储配站、调压站等。

随着自动化通讯技术及智能化设备可靠性的提高，无人值守场站应运而生，通过各级监视与控制系统，向调度中心上传生产数据与监控信息，同时精准执行调度中心发出的远程操控指令的智慧化场站^[6]，可实现大型调压站“有人值守，无人操作”、小型调压站“无人值守，远程监视”^[7]的自动化和数字化管理。

为提升建设管理水平，BIM技术也被引入燃气场站设计，通过构建的信息模型表达燃气场站中的现实的物体，在提高工程建设质量与安全水平、控制成本和工期，提高投资、运营效益等方面发挥重要作用^[8-9]，可提高燃气场站的信息化管理水平。

1.2.2 燃气管网

城镇燃气管网具有系统化、规模化的特点^[10]，管网建设规模和运维范围持续扩张，智能管网建设利用“互联网+”、大数据分析、通信、智能控制等技术，突破传统运营模式，建设可控可视、全息全景的管网^[11]，能够实现城市燃气管网运行状况的预警预判、管网健康状态分析，在数据管理、平台建设、泄漏预警、智能巡检等方面应用。

近年来，全国范围内综合管廊的建设工程陆续推进^[12]，燃气管道作为重要的市政管线之一，也纳入综合管廊进行统一建设管理。据不完全统计，全国地下综合管廊建设里程约170km，入廊天然气管道管径已经达到DN500，但由于综合管廊建设标准有待完善，建设、运维成本高等问题，天然气管道管廊在国内的发展存在一定局限性。

1.2.3 储气调峰

受国内天然气消费快速增长、城镇燃气用户用气规律不均匀、我国调峰储气设施不完善等因素影响，天然气时段性、区域性供需矛盾突出^[13]。在储气调峰方面，我国主要是以地下储气库和沿海LNG接收站储罐为主，其他调峰方式为补充的综合调峰体系^[14]。截至2024年采暖季前，全国储气能力达414亿m³，占天然气消费量的10.49%，较上年提高了0.1个百分点。

地下储备库主要是利用油气田、含水多孔地层储气，不适合发达城市。LNG储气具有效率高、储运灵活等优点，承担着供气、调峰和应急3重功能^[15]，是解决城市燃气管网调峰和应急的有效手段，也是国内解决日调峰的最好方式。截至2023年，我国已投运LNG接收站约28座，总接卸能力达1.16亿t/a，更多LNG接收站正在陆续规划建设中。

1.2.4 调度管理

调度是城镇燃气企业生产运行的中心环节，管理范围涵盖从城市门站到用户整个链条。调度中心作为调度管理的中枢部门，主要职能有输配调度、气源调度、应急调度以及抢险调度等^[16]，通过对管网运行状况进行监控分析及调整，把握管网压力负荷指标，保证整个燃气输配系统安全稳定运行，保障用户用气需求。目前，也燃气调度技术也不断与新一代信息技术结合，构建智慧化的燃气调度系统^[17]，主要包括SCADA系统（数据采集与监视控制系统）、GIS系统

(地理信息系统)等。

1.2.5 应急管理

2021年,党中央出台了危化品和燃气安全两个集中治理方案,随后国家、省、市先后制定印发了城镇燃气安全专项整治等工作文件。造成燃气管道事故的原因主要是第三方交叉工程施工导致的管线破裂以及管道老化引起的腐蚀穿孔。面对严峻复杂的燃气安全形势,我国部分大中城市的城镇燃气企业已初步建立燃气应急监测预警和调度指挥系统^[18],并将燃气应急系统纳入地方政府的公共安全应急平台体系实现一体化联动。

管道完整性管理^[19]是以保证城镇燃气管道安全运营为目标的管理体系,深圳燃气集团在2009年率先开展燃气管道完整性管理工作的研究,用于管理城镇燃气管道基础数据、巡检业务、泄漏管理、应急预案等。燃气管道完整性管理系统主要将管道安全管理中的事后响应变事前检测,从而预防管道安全事故发生,是燃气企业安全生产管理提质增效的最终目标。

随着科技手段的进步,越来越多的高科技设备应用在城镇燃气应急抢险中。依托5G、大数据以及云计算等技术开发的应急管理辅助决策系统,依托人工智能技术实现机器人抢修作业智能化,无人机遥测和红外技术用于管道巡查等。

1.3 应用端技术情况

2023年我国天然气表观消费量3 945亿m³,同比增长7.6%,其中,天然气在一次能源消费总量中占比8.5%,较上年提高0.1个百分点。从消费结构看,城镇燃气消费同比增长10%。占比33%,公服商业、交通物流加快恢复,LNG重卡销量爆发式增长,居民生活、采暖用气稳定增加;工业燃料用气较快恢复,同比增长8%,占比42%,主要受工业生产提速,轻工、冶炼、机械等传统产业持续向好,锂电池、光伏板等新动能成长壮大等因素影响;发电用气同比增长7%,占比17%,新增气电装机超过1 000万kW,总装机规模达到1.3亿kW,气电顶峰保供能力显著增强,在迎峰度夏、冬季保供中发挥重要作用^[20]。

1.3.1 居民和商业用气

在居民和商业用气领域,一方面是用气设备的丰富,从常规的家用燃气具,延伸为5大类:热水用具类、炊事用具类、供暖供冷用具类、洗涤干燥用具类以

及热电联产类^[20-23]。一方面是产品设备燃气燃烧技术的进步,开发了旋流燃烧技术、全预混燃烧技术等^[24-25];另一方面是燃气安全技术也在不断更新迭代,出现了燃气管道电磁阀、热电耦、离子熄火保护技术等。

1.3.2 工业用气

在工业用气领域,保障工业生产用气的安全与不间断供气,控制工业用气质量是基本要求和前置条件。因此工业用气技术的重点方向在于一是采用不同规模的LNG瓶组配备气化设备,结合燃气储气罐的形式,保证燃气供应安全;二是通过对天然气进行掺混,统一燃气气质的技术;三是在应用终端采用节能降耗技术,实现燃气的高效燃烧,通过低氮燃烧技术,降低NO_x的排放^[26-27]。

1.3.3 车船用气

天然气作为车船用气替代常规的汽柴油,主要的技术核心在于燃气发动机的升级。目前,比较常用的为天然气发动机、天然气汽油两用燃料发动机、天然气柴油双燃料发动机、液化天然气发动机等^[28-30]。随着氢能等非化石能源产业的发展,掺氢天然气发动机、固体氧化物燃料电池(SOFC)等以天然气为燃料的新型动力设备也在研发中^[31-33]。

2 挑战与机遇

(1)现阶段,城镇燃气行业运营仍以人工为主,抢维修、巡查、巡检、客服等环节需投入大量人力,企业运营成本居高不下。同时,随着城镇燃气信息化、数字化转型的深入,城燃企业积累了海量基础运营数据,但由于缺乏有效的分析手段,这些数据并未得到合理的应用。

(2)城镇燃气基础设施经过长期的使用运营,设备老化、检维修难度大、设备管道基础与历史数据缺失等问题日益突出,燃气安全事故进入了高发期。而现阶段,行业内尚未建立起完善的、科学的安全管理体系。

(3)现阶段天然气利用技术仍以燃烧和发电为主,以天然气为主的多能互补、综合能源技术因为经济性、效率等问题,商业推广举步维艰。同时,天然气使用过程有一定的碳排放量,如何实现天然气脱碳,构建以天然气为核心的“近零碳”能源网络,应

对能源革命发展要求，是城燃行业亟需聚焦和思考的重大课题。

3 应对策略

面对“双碳”目标给城镇燃气行业带来的发展挑战和生存挑战，如何抓住两大转型机遇，实现城燃企业向智慧化的综合能源运营商转型，本论文提出了两条转型路线。

3.1 “智慧化”转型路线

“智慧化”转型路线是指利用新一代信息技术，结合燃气行业特征，通过智能设备全面感知企业生产、环境、状态等信息的全方位变化，对海量感知数据进行传输、存储和处理，实现对数据的智能分析，以更加精细、动态的方式管理燃气企业的生产、经营、服务和管理等环节，从而达到“智慧化”的状态，实现智慧燃气建设^[34]。其核心内容分为燃气信息的采集、传输和处理3步，对应感知数据端、网络传输层和应用管理层的建设。

3.1.1 感知数据端建设

数据是城镇燃气智慧化建设中的关键资产，包括输配系统基本信息数据和运行数据，而感知数据端是数据产生和整理归集的基础载体。输配系统基本信息数据包括各级管道系统地理位置、管道布局、管道基本信息等。运行数据是指利用民用燃气表、工商业流量计、压力检测器、阴保监测器、摄像机等感知端设备采集到的实时数据。

要实现“智慧化”转型，一方面要完善“门站-调压站-输配系统-用户”全链条的管道系统GIS数据，对于未探明的管道，采用相控阵、雷达、电磁波探测等技术完善基本信息；对于新建的门站、综合体、小区等，在建设初期应采用BIM设计明确燃气管道数据；一方面要合理优化设置数据监测感知端，在尽可能降低投资成本的基础上，确保管道系统实时运行数据的连续性和完整性；另一方面在感知端可嵌入数据存储和处理模块，对采集到数据进行分类存储和初步处理，降低传输层和应用层的负荷，提高系统效率。

3.1.2 网络传输层建设

网络传输是城镇燃气智慧化建设的通讯基础，不

同场景对于网络传输层的需求有所差异，如针对用户用气数据传输，可靠、低功耗、安全是核心诉求；针对安全管理数据传输，快速、稳定、安全、可视是核心诉求。

针对不同场景的特点，一方面应加强NB-IoT技术在用户燃气流量表、压力检测表、阴保数据监测器上的应用覆盖范围；一方面推进5G视频传输技术在场站、第三方施工地等场景的应用；另一方面应加强工控网络安全技术的研究与推广，推进加密芯片在城镇燃气数据传输中的应用，加快RTU、PLC等网络硬件设备的国产化进程。

3.1.3 应用管理层建设

应用管理是城镇燃气智慧化建设的核心目标，海量数据传递到应用端，需对其进行处理、转化成简明扼要的信息，便于决策者对城镇燃气系统信息有准确的认识，用于管理指导实际生产。针对应用管理场景的不同，智慧燃气又分为了智慧调度、智慧安全、智慧运营、智慧服务等维度，如图1所示。

智慧调度是指利用大数据、云计算技术，一方面可实时根据城市当前气源和区域用气情况，建立城镇燃气多气源调度方案计算模型，实现区域用气的智慧化调度；另一方面也可根据用户用气行为预测模型和天然气市场价格预测模型，对城市未来一段时间的用气量和上游燃气售价进行预测，便于制定科学的气源调度和燃气储备方案。

智慧安全是指利用大数据、云计算及人工智能技术，对城镇燃气系统的接收站、调压站、管网系统、用户等环节的信息进行监测分析，并通过实时反馈，保障安全。主要内容包括3方面：一是针对燃气场站、燃气管网、储气调峰、用户燃器具等环节建立全生命周期完整性数据的智慧化管理；二是针对燃气场站、初期调峰库和第三方施工等特殊场所，采用人工智能技术，对各类不安全行为进行识别，并进行分级响应；三是针对场站、管道输配系统、用户系统的实时运行工况数据进行智能分析，发现潜在危险点，定位事故点等，保障系统安全。

智慧运营是指以企业资源计划系统（简称ERP）为核心管控手段，建成以企业经营管理为关注点，将人力资源、财务管理、物资管理、项目管理、设备管理等业务信息管理功能合理集成的一体化企业



图1 智慧燃气系统框图

综合运营管理平台。通过ERP系统、工程移动管理系统、分析决策系统、预算系统、合并报表以及门户OA等多个系统的数据交互集成，有效提升管理绩效，降低生产成本，顺畅共享部门间信息，打破数据孤岛，合理配置与利用人财物资源，实现企业经营效率提高。

智慧服务是指利用互联网、生物识别、语音识别、云计算、大数据等技术，为用户提供更高的服务体验，为企业降低人工成本。一方面开展移动作业系统、互联网线上服务平台、分析决策系统、客户关系管理系统等建设，打造城镇燃气优质服务和质量管理标杆；另一方面，通过构建客户数据库，形成用户画像，后续可针对性地提供增值服务，将燃气服务拓展至如燃气利用效率分析、节能减排方案、燃气保险、燃气基础设施销售等智能管家服务。

3.2 “低碳化”转型路线

“低碳化”转型路线简单来说即是以“开源节流”的思路，一方面指通过天然气高效利用技术、碳捕集技术等，降低天然气利用过程中的碳排放；另一方面发展新的低碳、零碳能源，以实现城镇燃气行业的“低碳化”转型。其核心内容包括提高天然气利用效率、发展碳捕集和生物天然气技术以及发展分布式综合能源产业3方面，打造基于城镇燃气的“近零碳”能源生态网络，如图2所示。

3.2.1 发展天然气高效利用技术

城镇燃气企业发展天然气高效利用技术，将“天然气”以更高效的技术加工为“能源”进行出售，不仅可降低天然气单位能耗的碳排放量，还可拓展业务范围至能源供应领域。主要包括一是充分利用天然气物理状态变化中储存的能量，如天然气压力能、LNG冷能等，进行回收利用，将其转化为能源；二是充分利用天然气化学燃烧中释放的能量，进行梯级多样化综合利用，将其转化为冷、热、电。

3.2.2 发展天然气“脱碳”技术

城镇燃气企业发展天然气“脱碳”技术，不仅可降低天然气在替代高碳能源过程中的碳排放量，还可提高天然气与非化石能源之间在碳排放方面的竞争力。主要包括一是发展碳捕集利用技术，将天然气利用中排放的CO₂进行捕集利用，打造碳循环经济；二是发展生物天然气技术，利用生态系统的固碳功能，实现全生命周期的碳中和。

3.2.3 发展分布式综合能源产业

目前，我国已建成天然气长输管道约11万km，储气能力逾234亿m³^[20]，未来10年—15年还将大力推进天然气基础设施建设，而非化石能源利用的产业链尚不成熟，因此充分利用已有的能源基础设施，构建未来能源系统是必然的选择。城镇燃气企业可依托已有的燃气输配系统，融合非化石能源，发展具有城市

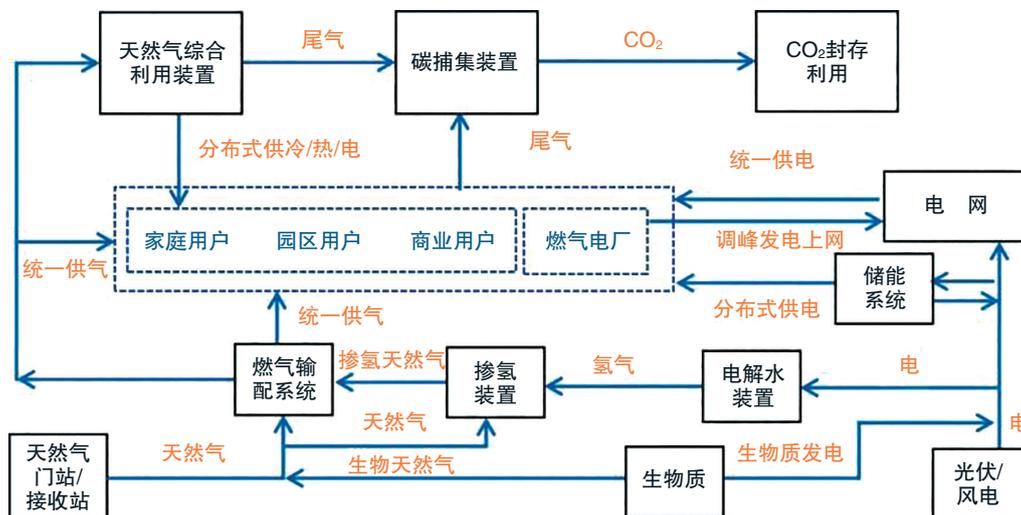


图2 基于城镇燃气的“近零碳”能源生态系统

特色的分布式综合能源产业，由单一的燃气销售商向综合能源运营商转型。主要包括以下两方面：

一是依托天然气输配和安全管理经验，拓展燃气的范畴，适当向氢气领域拓展，一方面探索氢气作为城市燃气的可行性；另一方面利用现有的燃气基础设施发展氢能产业，如：利用燃气管道进行管道掺氢、利用LNG产业链设施发展液氢产业、利用加气站、场站等开展加氢站建设等。

二是依托用户资源优势，融合天然气、光伏、风能、生物质能、氢能等非化石能源，结合储能技术发展分布式的综合能源。一方面通过多能互补，基于供能模式、商业模式和技术路线的创新，打造智能高效的综合能源系统；另一方面依托用户需求，通过分析用户用能行为，为其定制化供能方案，提高在综合能源领域的竞争性。

通过“智慧化”和“低碳化”两条转型路径，一方面提高企业运营效率，提高安全性，通过“降本增效”的方式，降低碳排放；另一方面通过“开源节流”的思路，降低单位能耗碳排放量。在此基础上，两条路径融合，打造智慧化的分布式综合能源网络，城镇燃气行业的业务范围由销售“燃气”转变为销售“能源”，实现转型升级发展，助力双碳目标实现。

4 结论与展望

本论文简要回顾了现有的城镇燃气技术体系，结

合“双碳”目标分析了未来发展面临的基于合挑战，并提出了转型发展思路，得出以下结论：

(1) 在气源方面，城镇燃气的供气格局向低碳化、多元化发展。在输配技术方面，随着新一代信息技术的深入应用，向智慧化、高效化转型。在应用场景方面，随着燃气的普及，场景也逐渐丰富，整体向更加高效、便捷的趋势发展。

(2) 现阶段，城镇燃气行业仍然面临智慧化程度不够，企业运营效率有待提高；安全问题日益突出，安全体系尚未完善；天然气本身的脱碳问题和燃气在未来能源体系中的定位不明确等问题。

(3) 可通过“智慧化”手段，借助人工智能、大数据等新一代信息技术，提高企业运营效率，进一步保障安全，减少人力、物力投入所引起的碳排放。

(4) 可通过“低碳化”手段，在近期提高天然气在一次能源中的使用占比，通过天然气综合利用等方式提高利用效率，探索利用现有燃气基础设施发展新能源的技术路径；在远期将天然气与光伏、风能、氢能、生物质能等深度融合，利用氢气作为储能介质助推风光电规模化发展，管道掺氢实现氢气输送，生物质能和碳捕集技术实现天然气脱碳，打造多能互补的清洁能源综合系统。

通过以上分析，一方面对城镇燃气行业的技术现状进行了简要回顾；另一方面基于痛点问题进行分析，指出发展思路，以期为未来城镇燃气行业发展提供一定参考。

参考文献

- [1] 国际能源署. 全球能源部门2050年净零排放路线图评[R]. 2021.
- [2] 2021年BP世界能源统计年鉴[R]. 2021.
- [3] 中国石油集团股份有限公司. 2060年世界与中国能源展望[R], 2021-12-26.
- [4] 杨仁洁. 我国城市燃气行业发展形势分析与思考[J]. 金陵科技学院学报(社会科学版), 2021, 35(01): 37-41.
- [5] 吕森. 2020年城市燃气行业发展现状及“十四五”的机遇与挑战[J]. 能源, 2021(06): 45-49.
- [6] 徐进军, 白一海, 田胜利, 等. 智能化控制在大型天然气场站中的运用[J]. 中国管理信息化, 2021, 24(16): 89-90.
- [7] 卢恩苍, 高海涛. 关于无人值守燃气场站技术研究总结[J]. 城市燃气, 2021(06): 4-10.
- [8] 黄勃森. BIM技术在燃气场站运维管理中的应用研究[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2022, 42(01): 85-86.
- [9] 王勇华, 宋喜民, 李燕芳, 等. BIM技术在燃气场站建设管理中的应用[J]. 油气储运, 2020, 39(10): 1172-1177.
- [10] 王建欢. 城市燃气管网中智能化技术的应用问题及策略探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2021, 41(12): 181-182.
- [11] 黄卫东. 智能化技术在城市燃气管网运行中的应用问题及策略[J]. 化工管理, 2019(27): 102-103.
- [12] 马晓雪, 王晓彤. 城市地下综合管廊的发展现状及改进对策[J]. 居业, 2020(07): 52-53.
- [13] 姚树君, 杨娜娜, 马池松. 关于我国城市储气调峰问题的探讨[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2018, 38(22): 98-99.
- [14] 黄腾龙, 潘振, 陈保东, 等. 天然气储气调峰技术的研究[J]. 当代化工, 2013, 42(09): 1304-1306.
- [15] 初晓航, 王晓瑜, 张新岩. 产供储销建设体系中的储气调峰设施建设[J]. 化工管理, 2021(02): 15-16.
- [16] 崔振东. 城市燃气生产调度运行管理[J]. 黑龙江科学, 2017, 8(18): 34-35.
- [17] 黄权. 城市燃气智慧调度运营管理平台建设与实践[J]. 化工设计通讯, 2020, 46(08): 161-162.
- [18] 王宝金. 城镇燃气管道应急管理的智能化措施[J]. 化工管理, 2021(31): 89-90.
- [19] 尤英俊, 刘传庆, 吕达, 等. 城市燃气管道完整性管理现状及发展趋势[J]. 中国特种设备安全, 2021, 37(08): 6-9.
- [20] 中国天然气发展报告2024. 石油工业出版社, 2024.
- [21] 詹天津, 谢玉荣, 王世朋, 等. 中国天然气分布式能源发展现状研究[J]. 上海电力大学学报, 2021, 37(06): 546-550.
- [22] 陈琦. 谈如何落实工程参建安全责任各方职责[J]. 工程建设与设计, 2020(03): 288-290.
- [23] 姜洪殿, 董康银, 王金森, 等. 我国天然气分布式能源发展对策研究[J]. 现代化工, 2019, 39(05): 14-18.
- [24] 王青祥. 二次风偏置旋流W火焰锅炉气固流动、燃烧及NO_x生成研究[D]. 哈尔滨工业大学, 2020.
- [25] 孙云帆. 燃气自适应(预混燃烧)技术在燃气采暖热水炉中的应用. 广东省, 广东万和新电气股份有限公司, 2014-10-30.
- [26] 蔡玲, 毕克刚, 毕永江, 等. 采用分级低氮燃烧技术对燃气锅炉燃烧改进的研究[J]. 能源化工, 2021, 42(05): 73-77.
- [27] 邓新华, 李侃平. 低氮燃气燃烧器的研制及应用[J]. 节能与环保, 2019(09): 82-83.
- [28] 王许, 廖秀科, 梁和平, 等. 柴油/天然气双燃料发动机数值优化[J]. 燃烧科学与技术, 2022, 28(01): 11-19.
- [29] 宋恩哲, 孙晓军, 姚崇, 等. 船舶混合动力系统模式切换与动态协调控制[J/OL]. 哈尔滨工程大学学报, 2022(04): 1-8.
- [30] 丁顺良, 贺帅峰, 刘津津, 等. 天然气发动机燃烧不稳定性的多尺度特性分析[J]. 西安交通大学学报, 2022, 56(01): 31-40.
- [31] 高赐威, 王崑, 陈涛. 基于可逆固体氧化物电池的电氢一体化能源站容量规划[J/OL]. 中国电机工程学报, 1-15.
- [32] 宋明, 马帅, 杜传胜, 等. 多物理场耦合作用下平板式固体氧化物燃料电池的蠕变损伤行为[J]. 硅酸盐学报, 2022, 50(01): 212-218.
- [33] 冷先银, 葛琪琪, 何志霞, 等. 预燃室式天然气掺氢发动机燃烧及排放模拟[J]. 内燃机学报, 2021, 39(01): 26-33.
- [34] 中国电信, 金卡智能, 天翼物联产业联盟. 5G智慧燃气白皮书[R]. 2021.