



DOI: 10.11885/j.issn.1674-5086.2022.10.10.01

文章编号: 1674-5086(2024)05-0132-11

中图分类号: TE822

文献标志码: A

# 基于数字孪生的智慧综合供能站架构建设方案

徐海<sup>1</sup>, 何伟<sup>2</sup>, 谷金健<sup>1</sup>, 丁波<sup>1</sup>, 竺柏康<sup>3\*</sup>

1. 浙江高速能源发展有限公司, 浙江 杭州 310000; 2. 浙江海洋大学船舶与海运学院, 浙江 舟山 316000

3. 浙江海洋大学石油化工与环境学院, 浙江 舟山 316000

**摘要:** 针对在“双碳”目标下, 传统供能站由于能源结构单一无法满足日益增长的多元用户需求问题, 开展了集电能、氢能、天然气及清洁油品等供给服务功能为一体的供能服务新业态、新模式的研究。研究结合综合供能站的业务功能需求, 采用构建智慧供能站数字孪生体框架, 以用户为中心、多维指标驱动、全生命周期管理作为建设方案的3大总体理念技术。通过技术原则、建设思路、孪生框架、业务功能以及技术应用对智慧综合供能站整体系统架构进行分析。阐述以员工、站长和总部3级设计的业务框架以及以安全、基建、营销、服务和管理5场景设计的技术框架, 从而为用户提供多元化能源供给服务以及有力推动油气行业数字化、清洁化转型发展。为今后新能源行业智慧综合供能站数字化与信息化发展提供了可供参考的建设思路。

**关键词:** 综合供能站; 数字孪生; 全生命周期; 指标驱动; 数字化

## Architecture Construction Scheme of Intelligent Comprehensive Energy Supply Station Based on Digital Twin

XU Hai<sup>1</sup>, HE Wei<sup>2</sup>, GU Jinjian<sup>1</sup>, DING Bo<sup>1</sup>, ZHU Baikang<sup>3\*</sup>

1. Zhejiang Expressway Energy Development Co. Ltd., Hangzhou, Zhejiang 310000, China

2. School of Naval Architecture and Maritime, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316000, China

3. School of Petrochemical Engineering and Environment, Zhejiang Ocean University, Zhoushan, Zhejiang 316000, China

**Abstract:** Under the goals of “carbon neutrality and carbon peaking”, traditional energy supply stations are unable to meet the growing demand for diversified customer services due to their single energy structure. Research is conducted on a new business model and new mode of energy supply services that integrates the supply functions of electricity, hydrogen, natural gas and clean oil products. The study combines the business function requirements of integrated energy supply stations and adopts the framework of building a digital twin of a smart energy supply station, with user-centric, multi-dimensional indicator-driven and whole life cycle management as the three general concept technologies of the construction scheme. Analyse are done of the overall system architecture of a smart integrated energy supply station through technical principles, construction ideas, twin frameworks, business functions and technical applications. The business framework designed on the basis of three levels of employees, station masters and headquarters is explained, and the technical framework is designed on the five scenarios of security, infrastructure, marketing, service and management, so as to provide users with diversified energy supply services and to effectively promote the digitalization and cleanliness of the oil and gas industry transformation and development. It provides a reference idea for the future development of digitalization and informatization of intelligent integrated energy supply stations in the new energy industry.

**Keywords:** comprehensive energy supply station; digital twin; full life cycle; indicator driven; digitalization

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/51.1718.TE.20240522.1650.012.html>

徐海, 何伟, 谷金健, 等. 基于数字孪生的智慧综合供能站架构建设方案[J]. 西南石油大学学报(自然科学版), 2024, 46(5): 132-142.

XU Hai, HE Wei, GU Jinjian, et al. Architecture Construction Scheme of Intelligent Comprehensive Energy Supply Station Based on Digital Twin[J].

Journal of Southwest Petroleum University (Science & Technology Edition), 2024, 46(5): 132-142.

\* 收稿日期: 2022-10-10 网络出版时间: 2024-05-24

通信作者: 竺柏康, E-mail: zszbk@zjou.edu.cn

基金项目: 浙江省重点研发项目(2021C03152); 舟山市科技项目(2020C21011)

## 引言

在“碳达峰、碳中和”目标背景下,煤、石油和天然气等化石能源作为中国碳排放的主要来源,需逐步实现新能源替代,向低碳能源转型。《2030年前碳达峰行动方案》就交通运输绿色低碳行动<sup>[1]</sup>,提出积极扩大电力、氢能、天然气及先进生物液体燃料等新能源、清洁能源在交通运输领域应用。伴随着成品油销售的薄利化,新能源开发日益成熟以及客户需求多元化,综合供能站市场竞争日益激烈。

为了提高生活质量,用科技改变生活,单一的传统加油服务模式已经不能满足当代社会客户的多样化需求。常规供能站往往能源结构单一,其工艺主要就是加油站以油品为介质进行收储发作业的技术,油品作业系统(称为工艺系统)、相关的工艺设备(如油罐、加油机、油管等)以及附属配套设施(如油气回收系统、控制系统和安全环保设备)的建设与管理。而综合供能站实现氢、油、气和电等能源补给服务同其他各类公共服务相结合,形成新型的综合能源供应服务站,可以推动绿色、清洁能源消费,创造良好的社会和环境效益。由于市场上非燃油汽车普遍增加,李月清等<sup>[2-3]</sup>提出了在原有车辆加油基础上新增充电桩以及加氢业务,打造集加油、气、电等多种能源供给服务于一体的服务站,为传统加油供应向综合能源供应转型指明了明确方向。这一举措将加快充换电站<sup>[4-9]</sup>、加氢站<sup>[10-15]</sup>及光伏新能源<sup>[16-17]</sup>等建设试点,能源企业着力打造“油气氢电非”多种能源综合服务商。综合供能站是指一种新型交通能源供应站,集电能、天然气及清洁油品等供给服务功能为一体,兼具交通和旅游等配套功能的新型智慧公共基础服务设施,具有功能综合、土地集约、清洁环保等优势,是一种供能服务新业态、新模式。智慧综合供能站智在哪里?依托于“互联网+”成功打造出包含智能WiFi、微信平台、车辆识别、人脸识别、智能导流及进站提醒等多系统的智能化、标准化运营体系<sup>[18]</sup>。随着便捷支付的快速推广,便捷支付也应用于加油站运营管理,方便客户的同时也提升了加油站的销量。其中最热门的无疑是无感支付,徐东成等<sup>[19]</sup>提出了无感支付在加油站的场景应用基本方案与应用手段,为客户提供多种支付手段,增强了客户对新一代技术应用的科技体验感。新兴的数字孪生技术,又将实现各种技术的

有机融合,在各个行业中具有很大潜力,有多种智慧化的解决方案。文献[20-25]通过对油气行业的调查研究,认为需要加速部署数字孪生技术来推动油气行业数字化转型;同时也需要筑牢数字安全屏障,提高防范和抵御安全风险能力等,进而明确未来智慧综合供能站的发展方向。

数字孪生是一种集成多物理量、多尺度以及多学科的属性,能够实现物理空间与虚拟空间信息交互、融合以及共享的技术手段<sup>[22, 26-27]</sup>。中俄东线天然气管道在数字孪生体、智能感知、智能运行等关键领域取得创新突破,系统打造了管体及站场、设备、控制系统数字孪生体,实现了“全数字化移交、全智能化运营、全生命周期管理”技术方法<sup>[28-29]</sup>,为持续推进中国管道智能化建设、助力打造智慧互联大管网以及数字化转型提供了重要指引。基于此,将数字孪生技术迁移到综合供能站的建设上,为数字孪生的智慧综合供能站架构建设方案提供了理论依据。

运用移动互联网、大数据和人工智能等<sup>[30]</sup>技术手段,生成具备自动感知、分析整合决策等功能的智慧型供能站,既是传统加油站的数字化转型也是能源转型。数字孪生技术可将智慧综合供能站进行多物理量、多尺度、多概率的实时仿真,精准映射于数字空间中,打造适应未来市场发展变化并满足客户、经营者、管理者、合作伙伴需求的综合供能站。通过新兴技术助力实现从落后油站管理模式向科学智能管理模式的转变,实现从生产者为中心的服务向以用户为中心的服务转变,从而制定个性化、精准的营销方式,为客户提供更为贴心的服务。

## 1 基于数字孪生体的智慧综合供能站

智慧综合供能站数字孪生体是其系统对象在数字空间的全生命周期的动态复制体,借助其基本算法模型和丰富历史以及实时数据,对智慧综合供能站的运行状态进行高度相似的数字化表征及预测,以实现正确推理、精准操作以及优化控制。智慧综合供能站数字孪生体与其系统具备与生共有、同生同长、状态评估、预测预警、调运优化及决策支持等混合人工智能的能力特点。通过线上与线下相互结合,对包括促销服务、支付安全、设备维护及团队管理在内的各种客户和管理者需求做出智能响应智慧决策,实现供能站全数字化、精细化运营和智慧化

管控。从而开创供能站管理新模式,为产业赋能。

通过结合大数据、“互联网+”等信息化技术,探索研究全新的营销模式和信息资源重新整合,提升客户消费体验和经营安全管理水平,实现集安全、绿色、数智、温馨及智慧为一体的现代化综合供能站数字化目标。本建设方案主要从技术原则、建设思路、孪生框架以及业务功能 4 部分来进行介绍。

### 1.1 智慧综合供能站技术原则

为了确保安全和提供优质的服务,以数字孪生技术为基础,紧密结合智慧综合供能站的运营业务和出行服务业务,设计了如下的系统技术原则:

1) 先进性:采用先进的技术理念和技术手段,跟随行业的最新发展趋势,以提供更高效、智能化的运营和管理。

2) 可靠性:技术具备高可靠性,能够在各种恶劣环境条件下稳定运行。要求系统具备良好的稳定性和容错性,能够应对突发情况并保证持续的供能服务。

3) 安全性:技术具备高级别的安全性,确保数据和系统的安全。采用安全的网络通信和数据传输机制,以及强化系统的访问控制和身份认证,防止未经授权的访问和数据泄露。

4) 可扩展性:技术具备良好的可扩展性,能够适应业务的不断扩展和发展。系统能够灵活地扩展和集成新的功能模块,应对不断变化的需求和业务场景。

5) 用户体验:注重用户体验,提供简洁、直观、易用的界面和操作方式。用户应能够方便地使用系

统进行各项操作,并获得良好的交互体验。

6) 数据驱动:基于数据驱动思维方式,充分利用大数据和人工智能技术,进行数据分析和挖掘,为决策提供准确的数据支持和智能化的建议。

综合上述技术原则,智慧综合供能站将以先进、可靠、安全、可扩展、用户体验和数据驱动为指导,采用最适合的技术手段和工具,实现智能化、高效化的综合供能站运营和管理。

### 1.2 智慧综合供能站建设思路

安全管理是企业的生存底线,经营管理是企业的效益之本,本方案旨在提出具有前瞻性、可实现性和有效性的智慧综合供能站建设方案,打造安全、绿色、数智、温馨及智慧的智慧综合供能站,提升综合供能站用户满意度和站点竞争力。

围绕安全、绿色、数智、温馨及智慧的智慧综合供能站建设目标,结合智慧综合供能站的业务功能需求构建智慧综合供能站数字孪生体框架,框架以用户为中心、多维指标驱动、全生命周期管理为 3 大总体理念,如图 1 所示。从安全、基建、营销、服务和管理 5 大业务板块构建多级评价指标体系,建立提升指标体系的具体功能模块,形成业务框架。构建两端两核(实体采集端、数据核心层、指标核心层及功能应用端)的技术框架,实施智慧化手段对各项指标进行感知和提升。实现站场运行设备实时数据、视频网络监控数据、不同油品动态数据等各类业务数据的融合,对智慧综合供能站进行站场感知、状态评价和运行管控,支撑各类业务生产运营需求。

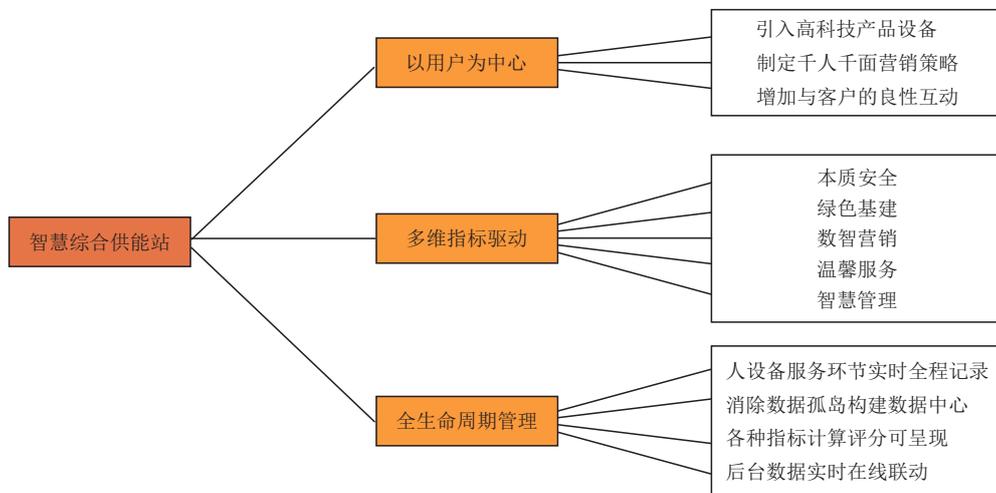


图 1 智慧综合供能站 3 大总体理念

Fig. 1 Three general concepts of the intelligent integrated energy supply station

智慧综合供能站将实现集以用户为中心、多维指标驱动、全生命周期管理于一体的现代可视化、可量化、智能化的运营管理技术。智慧综合供能站以用户为中心作为根本出发点,通过多维指标驱动来实现目标。有效的方案设计和系统功能选择是实现多维指标驱动的手段,而全生命周期管理技术则是保障多维指标驱动的保证。通过关键指标的分析驱动,采用智慧化手段提高站点和员工服务客户的运维能力,最终提升用户满意度。

### 1.2.1 以用户为中心

用户满意度是综合供能站的设计、建设到运营各个环节的出发点,围绕用户为中心来制定各种服务功能和千人千面的营销策略,提高用户的满意度。智慧综合供能站工作人员应积极与客户进行互动和关系维护,不仅有助于提升站点收益,还能提高运行效率。与此同时,智慧综合供能站引入高科技产品以及多种便捷支付方式,为客户方便的同时也增加了客户对于高科技的体验感以及增强了与客户的黏性。通过将真正用心温暖的服务给予到客户,超出客户的心理预期,从而提升客户的满意度。

### 1.2.2 多维指标驱动

用户满意度的提升需要生产经营各方面的支撑,采用由上到下方法梳理综合供能站业务场景,分析本质安全、绿色基建、数智营销、温馨服务及智慧管理5大实际业务场景中的需求和应用痛点,提炼针对性的关键指标,如表1所示,构建多级评价指标体系。

1) 内部痛点分析:通过对综合供能站内部和同行业工作站进行调研可知,供能站可以对各自的业务模块进行痛点分析,主要从本质安全、绿色基建、数智营销、温馨服务及智慧管理5大业务模块进行详细的痛点分析,根据分析出来的痛点,有针对性地构建指标,改进提升指标,从而一定程度上提升综合供能站的业务水平。

2) 评价指标构建:评价指标是指基于供能站管控业务达标、满足运行标准的需要,对每个客户服务以及设备检查接触点上的质量控制点进行定性或定量描述形成的评价指标,评价指标最终定量形成得到最终指标;通过明确指标的定义,根据指标的含义以及实际情况进行指标的权重衡量计算,可以供能站对各接触点进行综合评价与衡量,提升供能站的工作效率以及任务完成率等。

3) 评价体系的构建:内部评价指标将指标体系分为一级指标和二级指标,在层级结构关系中对应的一级指标即为“各业务模块”,二级指标为“各业务模块流程接触点所对应的服务评价指标”。将供能服务组织内部通过各个业务模块分类,在业务模块内将业务项目从上到下分为一级指标和二级指标,两级指标对应不同的评价,同时在计算权重的时候根据不同等级指标进行不同的评价,能够准确和清楚地得到供能服务质量各级的服务评价结论。通过指标的评价体系可以得出,各指标在站点生产工作中受哪些因素的影响,可以将影响因素进行分类,通过将影响因素具体到各业务板块指标。从具体的影响因素中,可以得出该指标受影响的程度大小。

4) 评价反馈:通过测算得到评价指标总百分比,之后根据各指标百分比进而对智慧供能站进行整改,对员工的各项指标进行调整,便于供能站运营质量的提升,通过反馈能够很好地实现对评价体系结果的提取,同时能够保证通过评价结果对供能站的规范要求相应调整,形成一个闭环以保证供能站通过评价精准整改的优质体系。

分析确定关键指标的计算方法、影响因素,实现指标体系可衡量;分析确定指标体系衡量的落地方式,确定智慧综合供能站的组成单元和功能模块,明确各功能模块对业务的提升和支撑作用。反之,则通过执行功能模块来提升关键指标,继而提高与建设目标的契合度。运维过程中由下到上,通过功能模块的执行消除不利因素,从而改善提高指标性能。

智慧综合供能站所建立的数字孪生指标驱动方案具备以下能力,如图2所示。

1) 智慧感知:基于多元异构的数据融合,从传感器和其他待测设备等模拟和数字被测单元中自动采集信息,建立对静态数据和动态数据全面精准感知的神经网络,提供实时、动态、数据上传的传输网络。

2) 智慧诊断:基于业务场景分析,制定系统监测管控指标,通过所采集到的数据实现指标的量化和衡量,实时评测系统所处的状态,重点实现服务站安全风险评估、物联网数据运行监测、站点运行状态评估。

3) 智慧决策:基于历史数据和当前数据,通过多种模型计算,依据评价指标辅助决策,实现对营销、设备及安全等各种管理进行智慧管控。

表 1 智慧综合供能站指标体系  
Tab. 1 Index system of intelligent comprehensive energy supply station

一级指标	二级指标	指标含义
本质安全	人员持证率	供能站中的负责人、安管员、电工、卸油员、计量员、站长资格、员工上岗的持证情况, 衡量人员的资质
	应知应会优秀率	员工线上进行安全测试优秀情况, 衡量人员对安全知识的掌握程度
	设备完好率	在一次检查中完好设备占总设备的百分比, 衡量设备的可用程度
	设备维修时效性	包含两个指标, 分别为设备维修所费时长、规定时间内维修完成设备占总需要维修设备的百分比, 衡量设备维修的效率
	设备维修完成率	已完成维修的个数占总维修个数的百分比, 衡量设备维修的进度
	检查整改及时率	规定时间内得以解决的个数占总问题个数的百分比, 衡量检查整改的效率
	检查整改完成率	已完成整改的个数占总问题个数的百分比, 衡量整改的进度
	事件事故数	对于供能站一定时间内发生的各种事件分类计数(安全事件、环境污染事件、职业卫生事件、投诉纠纷事件、异常营业事件、行政处罚事件、违法违规事件)
	应急演练完成率	按照年度演练计划或新增演练计划, 各站是否按要求完成
	应急演练优秀率	对演练情况的综合打分, 反映应急演练完成效果
应急处置有效率	对于实际发生事件、事故的有效处置情况	
安全管理能力考核	公司每月、每季度、每年会对所辖站进行巡查, 采集数据后从不同维度评价, 形成安全管理能力考核评分用于衡量安全水平	
绿色基建	单站功能达标率	用于衡量建造后的供能站设计能否达到所期望实现的一系列功能以及顾客和站点基层员工使用评价
	施工过程监控率	施工过程中移动摄像头所监控的区域移动视频监控使用频次, 即关键工序及质量控制点在施工过程中, 是否使用移动视频监控进行监控
	施工资料完整率	站点建设施工资料入库的多少
	客户硬件目标体验感	客户体验站场相关硬件设备的体验值
数智营销	进站率	综合供能站市场容量和销售潜力
	加满率	客户加满油的倾向程度, 通过客单量(加满率 a)和整单量(加满率 b)按权重评价
	通过率	高峰时段的单车加油效率
	回头率	客户反复加油的频率(以柴油客户、会员客户为主)
	汽柴比	汽油柴油销售比例
	会员比率	了解会员数量, 提升客户忠诚度
	唤醒率	综合供能站对于客户的关心程度
	公众号热度	客户对于综合供能站的网络关注程度
	异业合作提升量	综合供能站、车主与异业系统之间的有效互通情况
温馨服务	服务及时率	指的是单车服务响应有效时长(类似通过率)
	操作规范率	加油全流程的规范化操作
	支付及时率	加油初步完成, 生成待支付订单, 客户及时支付订单
	服务安全率	在加油过程中, 未发生安全事件
	服务投诉率	客户在加油过程中以及加油完成后向加油站或上级领导投诉的事件笔数
	客户满意度	客户在加油过程中以及后续的相关衍生服务中对整个油站的评价等级
	支付方式比	通过了解车主的支付手段, 更好地优化支付服务, 促进供能站的销量, 提升客户的忠诚度
智慧管理	人员出勤率	指的是衡量员工工作积极性
	人均工时率	衡量整体员工工作时间
	人均劳效率	衡量整体员工工作效率
	油品溢损率	油品在供能站运输、储存、销售过程中损耗, 衡量油品保管效率
	油品合格率	一次抽查检验的油品中的油品质量, 保证油品质量
	证照合法率	衡量综合供能站资质
	吨油能耗	一段时间内综合供能站每出售一吨油需要的能耗
	综合指数排名	综合指数测评结果, 反映综合供能站多维度的测评结果, 指标 = 综合指数排名, 基于各项评价指标比例进行权重计算得出总分

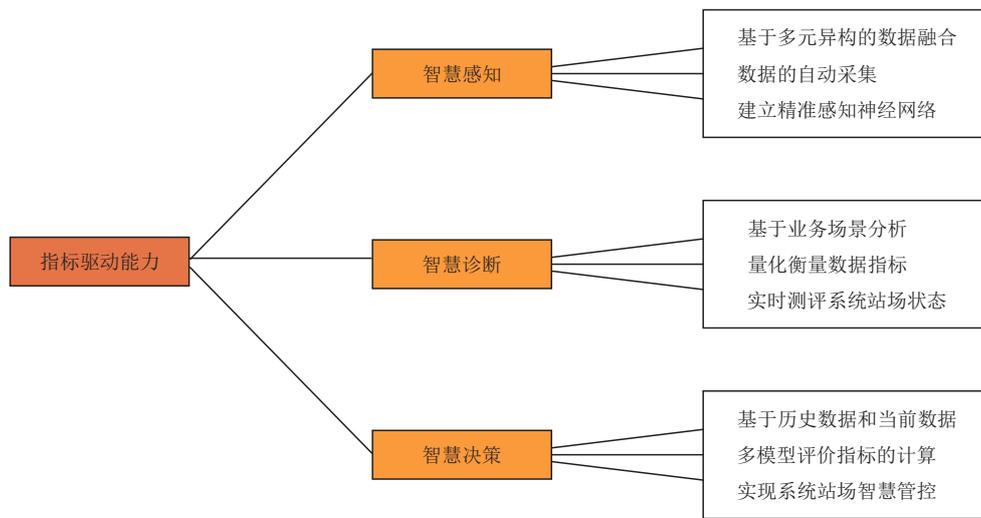


图 2 智慧综合供能站指标驱动能力  
Fig. 2 Indicator driving capability of the intelligent integrated energy supply station

### 1.2.3 全生命周期管理

智慧综合供能站引入数字孪生技术,实现了全生命周期管理,消除了数据孤岛,构建了数据中台以支持指标计算和细分功能。这项技术涵盖了人员、设备和服务管理等方面,确保了全程可记录、可追溯、可查询和可衡量的管理目标。通过数字化管理系统,人员管理方面可以追踪人员的全生命周期,包括应聘、入职、考勤、薪酬、绩效和离职等。对于服务类企业,数字孪生技术还实现了对设备引入、工艺流程设计、生产计划、质量管控、供应链流程和客户服务等方面的全生命周期管理。智慧综合供能站通过数字孪生技术将关键信息和整条供应链信息集成到后台系统中,通过大数据分析和反馈,方便管理人员对人员和设备进行智能化管理,提高工作效率。

### 1.3 智慧综合供能站孪生框架

考虑未来拓展性和技术经济性,确定业务架构和技术架构,形成基于数字孪生的智慧综合供能站建设方案,确定智慧综合供能站建设方案的 5 大业务框架和两端两核的技术框架,实现对综合供能站运营状态的管控评价,指导综合供能站智慧性经营发展。

基于颗粒度的综合供能站规划业务架构,如图 3 所示。从颗粒度的角度,将智慧综合供能站孪生体应用场景分为员工级、站长级和总部级 3 个级别。

员工级实体端是综合供能站运营的最小单元,

员工直接服务于客户,员工级实体端的数字孪生主要包括信息维护和劳效管理。站长级实体端是综合供能站运营的主体单元,由于涉及到点多面广则需要把安全、基建、营销、服务和管理统筹考虑进去。总部级实体端是综合供能站运营的主控单元,对多个综合供能站的运营和管理进行指导和监督。

基于模块功能的智慧综合供能站规划技术架构,如图 4 所示。根据建设目标和业务流程,分为本质安全、绿色基建、数智营销、温馨服务和智慧管理 5 个场景。

智慧综合供能站技术架构主要从实体采集端、数据核心层、指标核心层与功能应用层之间进行配合,围绕综合供能服务站运营管理业务与出行服务业务进行系统技术架构设计,增加安全性,优化体验。技术架构具体包括,第一层,实体采集层,通过将深层次数据采集感知器场景化布建于综合供能站,获取物理设备对象的实时、全方位数据;第二层,数据核心层,将实体采集端采集的实时数据进行数据通信、数据治理、数据抽取以及数据维护,为指标核心层服务;第三层,指标核心层,在实体采集层和数据核心层的基础上,通过设置的指标进行相对应的数据提取,得出量化的指标率,从而供管理员更好地分析与处理;第四层,功能应用层,孪生对象与物理对象能够在全生命周期实时映射,通过数据、信息、模型的综合集成,构建起智能分析的决策能力。

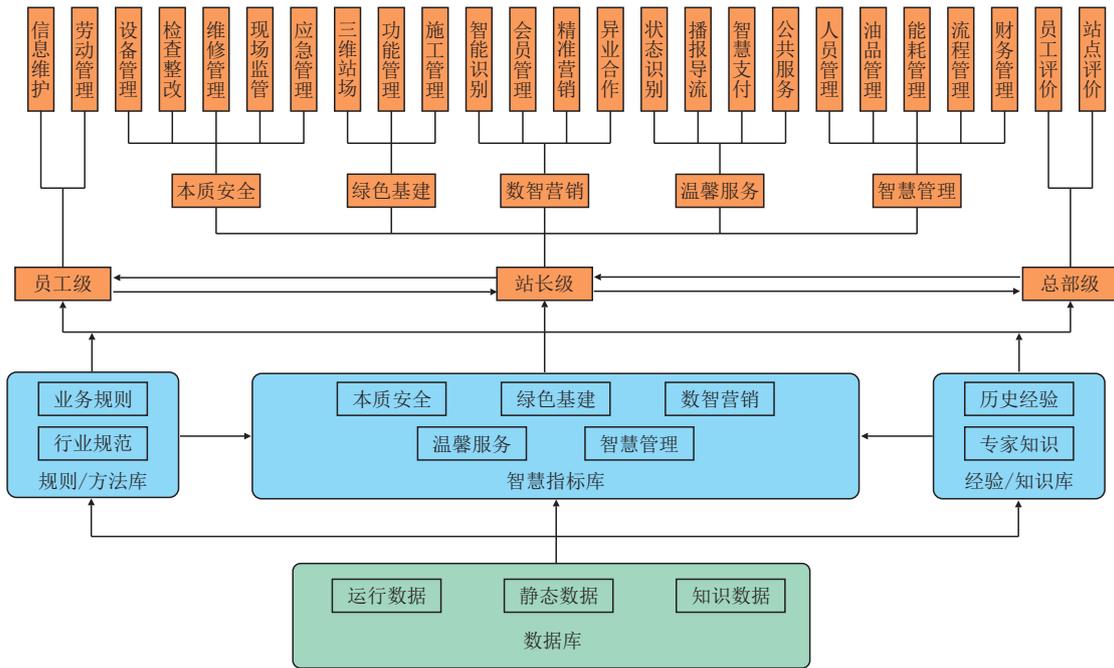


图3 智慧综合供能站业务框架  
Fig. 3 Business framework of the intelligent integrated energy supply station

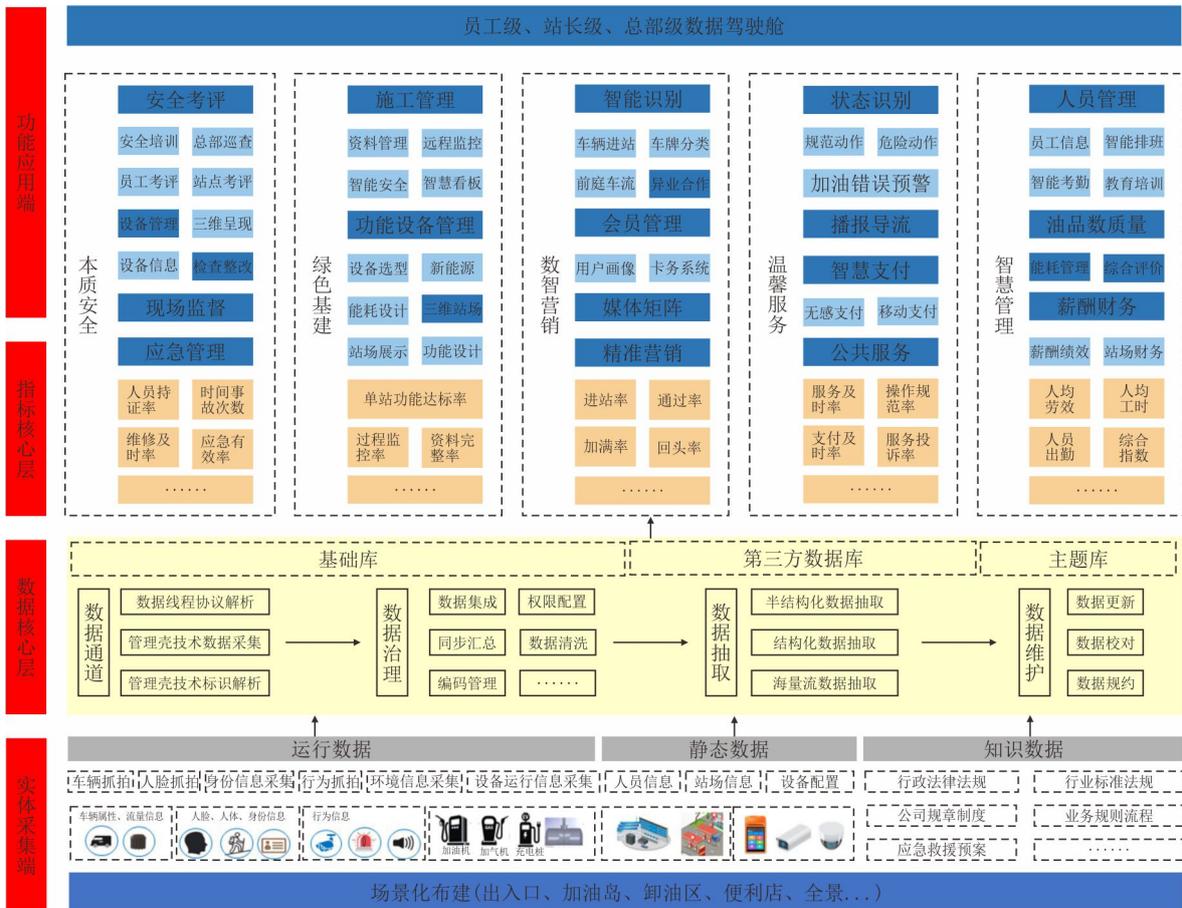


图4 智慧综合供能站技术框架  
Fig. 4 Technical framework of the intelligent integrated energy supply station

### 1.4 智慧综合供能站业务功能

本质安全是底线,绿色基建是节流,数智营销是引擎,温馨服务是开源,智慧管理是赋能。

本质安全模块,用于通过智慧安全实现站场的安全管控、应急管控和测评考核。安全管控主要是对包括站场内危险气体泄漏检测设备、重大危险源监测设备以及视频监控设备的安全设备设施进行监控。应急管理在设备诊断的基础上,预测故障的发生、显示故障影响范围、分析故障类型以及提出维护建议,并快速执行站区精准治理及时开展应急处置。测评是客观的评价,是对油站的管理能力进行考核,通过测评考核从而提高站点安全。

绿色基建模块,用于实现建造运行过程中的智能化和绿色化。三维站场在建造过程中使用建筑信息模型(Building Information Modeling,简称BIM)技术,一种在计算机辅助设计等技术基础上发展起来的多维建筑模型信息集成管理技术)、装配式施工以及成品模块化应用的施工工艺。运用数字孪生技术构建加油站3D模型,实现各设备设施的安装位置、运行参数三维可视化呈现。功能管理实现智慧设备选型制定能源一体化方案,施工项目管理包括进站教育流程管理、在线监管及实施考核、过程质量监管、施工资料归档以及施工与设计校对。

数智营销模块,用于更高效地客户拉新,更准确地识别用户需求、更精准地满足用户需求。会员管理、异业合作、私域流量用于客户拉新和客户维护,精准营销则用于挖掘客户需求。精准营销以消费者为中心,能够学习历史顾客行为与采取的应对措施,进行不同程度的价格测试。通过建立顾客忠诚度计划,有针对性地进行营销活动。

温馨服务模块,用于围绕以顾客全流程体验为中心,通过设计状态识别、温馨服务、智慧支付及服务评价4大业务服务功能,实现全流程的闭环管理。状态识别旨在识别定位顾客,温馨服务旨在提供规范化、个性化的服务,智慧支付提供便捷的支付方式和票据签收。

智慧管理模块,用于实现员工管理、物资管理、流程管理和财务管理。员工管理包括智能考勤和人员管理智能化。油品管理实现油品流通过程损益的监测,油品质量抽查检验。流程管理进行业务流程的监管、各种作业的分配和报表的记录,财务管理

包括资金安全数字化管理、智能报表。

## 2 智慧综合供能站技术应用

为了提高智慧综合供能站站场火灾预警系统的可靠性,使用了YOLOv5目标检测算法进行火焰检测研究。首先,收集了5488张官方数据集及网络的火焰图像;然后,在Linux平台下对YOLOv5网络模型进行了训练,通过调整加权系数以最小化模型损失函数值;最后,成功将训练好的模型应用于实际综合供能站站场环境,实现了对火焰的识别检测。这有助于实现对天然气站场危险因素的实时监控,提高站场安全水平。

YOLOv5是一种高效的实时目标检测算法,它在YOLOv4的基础上进行了优化,特别在小目标检测方面表现更准确。算法先对输入的火焰图像进行自适应缩放,然后将图像划分成 $S \times S$ 小网格。整体结构包括输入端、主干网络、特征融合和目标预测4个模块,协同工作以实现高效而精准的目标检测。

模型训练完成后,将测试数据集输入至模型中,测试结果如图5所示,目标框上的数值代表火焰类别标签的置信度。在实验结果的基础上,进一步探讨了YOLOv5算法在复杂环境下的有效性。该算法在站场复杂环境中表现出色,不仅能够应对火焰颜色与场景色差较大的情况,而且在面对颜色差异较小的情况时同样能够准确地检测出目标。这表明YOLOv5在处理火焰检测任务时具有较强的鲁棒性,能够适应不同环境条件,可为实际应用提供可靠的支持。值得注意的是,在600张测试图像中,该算法极少出现漏检情况,说明其能对目标全面感知和准确判断。

经过实验验证,该算法的准确率达到89.2%,显示出其在火焰检测任务中的卓越性能。这一高准确率不仅为应急处理提供了可靠的技术支持,同时也为降低误报率、提高火警检测的精准性起到了积极的作用。

综上所述,基于YOLOv5的火焰检测算法在复杂环境下表现出色,准确率高且实时性强,能够满足智慧综合供能站的火灾监测需求,为火灾监测领域的研究和应用提供了一种高效可行的解决方案,其可靠性和实用性将为安全管理和紧急处理等方面带来实质性的提升。



图 5 智慧综合供能站技术测试效果图  
Fig. 5 Technical test result of the intelligent integrated energy supply station

### 3 结 论

1) 在推进传统加油站向智慧综合供能站转型的过程中, 基于供能站的运营服务特点, 结合数字孪生技术, 确保系统设计具备先进性、稳定性、集成性和可拓展性。围绕安全、绿色、数智、温馨及智慧的建设目标, 坚持用户为中心, 多维指标驱动, 全生命周期管理的 3 大总体理念。

2) 本方案提出了 5 大业务框架和两端两核的技术框架, 旨在通过数字孪生技术实现供能站的全面数字化映射和实时监控。通过本质安全、绿色基建、数智营销、温馨服务及智慧管理五大业务模块, 实现供能站的安全监控、绿色运营、智能营销、人性化服务和智慧管理功能。

3) 本方案采用先进且广泛应用的 YOLOv5 目标检测算法, 通过制作烟雾火焰数据集训练算法检测模型, 实现对站场火焰危险因素的识别和预警。这一技术应用不仅提升了供能站的安全性, 也展示了数字孪生技术在智慧综合供能站建设中的强大潜力。

4) 面对互联网等技术的迅速发展以及新能源的加速替代, 传统加油站必须与时俱进、转型发展。通过打造数字孪生体智慧综合供能站, 提高综合供能站的数字化与智慧化运营管理水平, 实现降本增

效与可持续绿色低碳发展。这不仅符合行业发展趋势, 也是企业实现可持续发展的必由之路。

### 参考文献

- [1] 张涛.《2030 年前碳达峰行动方案》解读[J]. 生态经济, 2022, 38(1): 9-12.  
ZHANG Tao. Interpretation of the carbon peaking action programme by 2030[J]. Ecological Economy, 2022, 38(1): 9-12.
- [2] 李月清. 智慧加油站 + 充电桩或成主流发展模式[J]. 中国石油企业, 2018(4): 56-57.  
LI Yueqing. Smart gas stations + charging piles may become the mainstream development mode[J]. China Petroleum Enterprise, 2018(4): 56-57.
- [3] 刘建中, 陆杨. 推进智慧加油站建设的路径选择[J]. 中国石化, 2020(5): 76-78. doi: 10.3969/j.issn.1005-457X.2020.05.018  
LIU Jianzhong, LU Yang. Path options for promoting the construction of smart gas stations[J]. China Petroleum and Chemical Industry, 2020(5): 76-78. doi: 10.3969/j.issn.-1005-457X.2020.05.018
- [4] DEB N, SINGH R, BROOKS R R, et al. A review of extremely fast charging stations for electric vehicles[J]. Energies, 2021, 14(22): 7566.
- [5] SAVIO A D, VERMA R, KANAGARAJ L, et al. Electric vehicles charging stations' architectures, criteria, power converters, and control strategies in microgrids[J]. Electronics, 2021, 10(16): 1895. doi: 10.3390/electronics1016

- 1895
- [6] 王彦峰,王兴华,雷翔胜. 预制舱变电站-电动汽车充/换电站综合服务模式下的优化运行策略[J]. 南方电网技术, 2022, 16(5): 61-70. doi: 10.13648/j.cnki-issn1674-0629.2022.05.008  
WANG Yanfeng, WANG Xinghua, LEI Xiangsheng. Optimal operation strategy under the comprehensive service mode of prefabricated substation-ev charging/swaping station[J]. Southern Power System Technology, 2022, 16(5): 61-70. doi: 10.13648/j.cnki-issn1674-0629.2022.05.008
- [7] 夏兵,柴晓华. 加油气站开展换电业务优劣势分析[J]. 石油石化绿色低碳, 2022, 7(2): 34-38. doi: 10.3969/j-issn.2095-0942.2022.02.007  
XIA Bing, CHAI Xiaohua. Analysis on advantages and disadvantages of electric changing service in gas stations[J]. Energy Conservation and Emission Reduction in Petroleum and Petrochemical Industry, 2022, 7(2): 34-38. doi: 10.3969/j-issn.2095-0942.2022.02.007
- [8] SAVARI G F, SATHIK M J, RAMAN L A, et al. Assessment of charging technologies, infrastructure and charging station recommendation schemes of electric vehicles: A review[J]. Ain Shams Engineering Journal, 2022, 14(4): 101938. doi: 10.1016/j.asej.2022.101938
- [9] MASTOI M S, ZHUANG Shenxian, MUNIR H M, et al. An in-depth analysis of electric vehicle charging station infrastructure, policy implications, and future trends[J]. Energy Reports, 2022, 8: 11504-11529. doi: 10.1016/j.egyr-2022.09.011
- [10] WANG Xiaotong, LIU Nana. Research on the construction plan layout of the combined hydrogen and CNG refueling station[J]. E3S Web of Conferences, 2021, 245: 01006. doi: 10.1051/e3sconf/202124501006
- [11] AYODELE T R, MOSETLHE T C, YUSUFF A A, et al. Optimal design of wind-powered hydrogen refuelling station for some selected cities of south Africa[J]. International Journal of Hydrogen Energy, 2021, 46(49): 24919-24930. doi: 10.1016/j.ijhydene.2021.05.059
- [12] 杜忠明,郑津洋,戴剑锋,等. 我国绿氢供应体系建设思考与建议[J]. 中国工程科学, 2022, 24(6): 64-71. doi: 10.15302/J-SSCAE-2022.06.005  
DU Zhongming, ZHENG Jinyang, DAI Jianfeng, et al. Construction of green-hydrogen supply system in China: Reflections and suggestions[J]. Strategic Study of CAE, 2022, 24(6): 64-71. doi: 10.15302/J-SSCAE-2022.06.005
- [13] 胡杭健,刘再斌,段志祥,等. 我国加氢站建造趋势分析[J]. 能源与环境, 2022(5): 6-9. doi: 10.3969/j-issn-1672-9064.2022.05.002  
HU Hangjian, LIU Zaibin, DUAN Zhixiang, et al. Analysis of the trend of hydrogen refueling station construction in China[J]. Energy and Environment, 2022(5): 6-9. doi: 10.3969/j-issn.1672-9064.2022.05.002
- [14] 艾斌,陈志斌. 加氢站安全生产标准体系框架构建[J]. 中国标准化, 2022(21): 110-114. doi: 10.3969/j-issn-1002-5944.2022.21.015  
AI Bin, CHEN Zhibin. Construction of a standard system framework for the safe production of hydrogen refueling stations[J]. China Standardization, 2022(21): 110-114. doi: 10.3969/j-issn.1002-5944.2022.21.015
- [15] 俞典,叶子菀. 加氢站规划布局的分析与探讨[J]. 中外能源, 2022, 27(11): 17-22.  
YU Dian, YE Ziwan. Analysis and discussion on layout planning of hydrogen stations[J]. Sino-Global Energy, 2022, 27(11): 17-22.
- [16] 董传洋,王凯,张伟,等. 光伏新能源技术在建筑电气节能中的应用探讨[J]. 光源与照明, 2022(11): 68-70.  
DONG Chuanyang, WANG Kai, ZHANG Wei, et al. Discussion on the application of photovoltaic new energy technology in building electrical energy saving[J]. Lamps and Lighting, 2022(11): 68-70.
- [17] BECCALI M, BONOMOLO M, BRANO L V, et al. Energy saving and user satisfaction for a new advanced public lighting system[J]. Energy Conversion and Management, 2019, 195: 943-957. doi: 10.1016/j.enconman.2019.05-070
- [18] 郭南楠,查晓东. 智慧加油站智在“何”方[J]. 科技资讯, 2017, 15(20): 137-138. doi: 10.16661/j.cnki.1672-3791.2017.20.137  
GUO Nannan, CHA Xiaodong. Smart gas stations: Where the wisdom lies[J]. Science & Technology Information, 2017, 15(20): 137-138. doi: 10.16661/j.cnki.16723791-2017.20.137
- [19] 徐东成,顾焯均,吴仁强. 智慧加油站——无感支付在加油站的应用[J]. 中国计量, 2020(10): 67-69. doi: 10.16569/j.cnki.cn11-3720/t.2020.10.028  
XU Dongcheng, GU Yejun, WU Renqiang. Smart gas stations-application of sensorless payment in gas stations[J]. China Metrology, 2020(10): 67-69. doi: 10.16569/j.cnki.cn11-3720/t.2020.10.028
- [20] 张运东,江如意,张珈铭,等. 以数字孪生技术促进元宇宙在油气行业的应用[J]. 世界石油工业, 2022, 29(3): 61-66.  
ZHANG Yundong, JIANG Ruyi, ZHANG Jiaming, et al. Start with digital twin technology to promote the application of metaverse in the oil and gas industry[J]. World Petroleum Industry, 2022, 29(3): 61-66.
- [21] 王子宗,高立兵,索寒生. 未来石化智能工厂顶层设计: 现状、对比及展望[J]. 化工进展, 2022, 41(7): 3387-3401. doi: 10.16085/j-issn.1000-6613.2022-0306  
WANG Zizong, GAO Libing, SUO Hansheng. Designing petrochemical smart plant of the future: state of the art, comparison and prospects[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2022, 41(7): 3387-3401. doi: 10-16085/j-issn.1000-6613.2022-0306

- [22] 鲍劲松, 张荣, 李婕, 等. 面向人-机-环境共融的数字孪生协同技术[J]. 机械工程学报, 2022, 58(18): 103-115. doi: 10.3901/JME.2022.18.103  
BAO Jinsong, ZHANG Rong, LI Jie, et al. Digital-twin collaborative technology for human-robot-environment integration[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2022, 58(18): 103-115. doi: 10.3901/JME.2022.18.103
- [23] 杨婷婷, 贺虹舰, 霍雨佳, 等. 面向 6G 的双循环数字孪生网络架构设计[J]. 无线电通信技术, 2022, 48(4): 592-598. doi: 10.3969/j.issn.1003-3114.2022.04.004  
YANG Tingting, HE Hongjian, HUO Yujia, et al. Research on 6G-oriented double loop digital twin networks[J]. Radio Communication Technology, 2022, 48(4): 592-598. doi: 10.3969/j.issn.1003-3114.2022.04.004
- [24] 李邵建. 工程建设行业数字化转型的六大趋势[J]. 软件和集成电路, 2022(7): 19-21.  
LI Shaojian. Six trends of digital transformation in the engineering construction industry[J]. Software and Integrated Circuit, 2022(7): 19-21.
- [25] 余斌, 朱伟佳. 石化行业数字孪生技术的应用探索[J]. 化工进展, 2019, 38(z1): 278-282. doi: 10.16085/j.issn.1000-6613.2019-1205  
YU Bin, ZHU Weijia. Exploring the application of digital twin technology in petrochemical industry[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2019, 38(z1): 278-282. doi: 10.16085/j.issn.1000-6613.2019-1205
- [26] 陶飞, 刘蔚然, 刘检华, 等. 数字孪生及其应用探索[J]. 计算机集成制造系统, 2018, 24(1): 1-18. doi: 10.13196/j.cims.2018.01.001  
TAO Fei, LIU Weiran, LIU Jianhua, et al. Digital twin and its application exploration[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2018, 24(1): 1-18. doi: 10.13196/j.cims.2018.01.001
- [27] 陶飞, 程颖, 程江峰, 等. 数字孪生车间信息物理融合理论与技术[J]. 计算机集成制造系统, 2017, 23(8): 1603-1611. doi: 10.13196/j.cims.2017.08.001  
TAO Fei, CHENG Ying, CHENG Jiangfeng, et al. Theories and technologies for cyber-physical fusion in digital twin shop-floor[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2017, 23(8): 1603-1611. doi: 10.13196/j.cims.-2017.08.001
- [28] 王振声, 陈朋超, 王巨洪. 中俄东线天然气管道智能化关键技术创新与思考[J]. 油气储运, 2020, 39(7): 730-739. doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2020.07.002  
WANG Zhensheng, CHEN Pengchao, WANG Juhong. Key technological innovations and reflections on the intelligence of the China-Russia eastern Gas Pipeline[J]. Oil and Gas Storage and Transportation, 2020, 39(7): 730-739. doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2020.07.002
- [29] 丛瑞, 冯骋, 沈晨, 等. 油气管道数字孪生技术应用[J]. 油气田地地面工程, 2022, 41(10): 108-113. doi: 10.3969/j.issn.1006-6896.2022.10.019

CONG Rui, FENG Cheng, SHEN Chen, et al. Application of digital twin technology in oil and gas pipeline[J]. Oil and Gas Field Surface Engineering, 2022, 41(10): 108-113. doi: 10.3969/j.issn.1006-6896.2022.10.019

- [30] 王涛. 云计算及大数据技术研究[J]. 长江信息通信, 2020(12): 255-257. doi: 10.3969/j.issn.1673-1131.-2020.12.078  
WANG Tao. Research on cloud computing and big data technologies[J]. Changjiang Information & Communications, 2020(12): 255-257. doi: 10.3969/j.issn.1673-1131.-2020.12.078

## 作者简介



徐海, 1974年生, 男, 汉族, 浙江杭州人, 教授级高级工程师, 主要从事传统能源与新能源运营建设研究。E-mail: 2511829325@qq.com



何伟, 1997年生, 男, 汉族, 安徽合肥人, 硕士, 主要从事交通运输工程方面的研究。E-mail: hewei\_7513472@163.com



谷金健, 1987年生, 男, 汉族, 黑龙江齐齐哈尔人, 工程师, 硕士, 主要从事能源行业方面研究。E-mail: he86dsa@163.com



丁波, 1989年生, 男, 汉族, 浙江杭州人, 工程师, 硕士, 主要从事能源行业安全技术研究。E-mail: db202203@163.com



竺柏康, 1965年生, 男, 汉族, 浙江绍兴人, 教授, 主要从事油气储运工程方面的研究。E-mail: zszbk@zjou.edu.cn

编辑: 牛静

编辑部网址: <http://zk.swpxb.com>