

“近零碳”目标下港区多能互补标准体系研究

王晶¹ 赵鲁华² 王伟^{1*} 史砚磊¹ 周紫君¹ 侯键菲¹

(1.交通运输部科学研究院; 2.山东省港口集团有限公司)

摘 要: 利用多能互补技术推动能源结构调整是实现港口绿色低碳发展的有效手段。本研究以国内主要沿海港口为对象,聚焦港区建设、运营、管理等环节开展多能互补技术标准研究,基于系统工程方法构建港区多能互补标准体系,利用港区承载的可再生能源自然禀赋与清洁能源应用,通过多能互补技术的能源结构优化减少交通运输行业碳排放,推动双碳目标实现。

关键词: 多能互补,近零碳港区,标准体系,清洁能源

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2024.01.010

Research on Multi-energy Complementary Standards System of Port Area in the Context of “Near-zero Carbon” Goal

WANG Jing¹ ZHAO Lu-hua² WANG Wei^{1*} SHI Yan-lei¹ ZHOU Zi-jun¹ HOU Jian-fei¹

(1. China Academy of Transportation Sciences; 2. Shandong port Group Co.,Ltd.)

Abstract: Using multi-energy complementary technologies to promote the adjustment of energy structure is an effective measure for realizing the green and low-carbon development of ports. This study focuses on major coastal ports in China, based on multi-energy complementary technical standards including construction, operation and management of port area, builds a multi-energy complementary standards system using the method of system engineering. By utilizing the natural endowment of renewable energy in the port area and the application of clean energy, carbon emissions in the transportation industry can be reduced and the dual-carbon goal can be achieved.

Keywords: multi-energy complementary, near-carbon port area, standards system, clean energy

0 引言

能源安全是关系国家经济社会发展的全局性、战略性问题,对国家繁荣发展、人民生活改善、社会长治久安至关重要。2022年国家能源局发布《能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划》,明确到2030年建立结构优化、先进合理的能源标准体系^[1]。在

“双碳”背景下,我国清洁能源的发展将迎来历史性机遇^[2],而提高新能源的消纳水平,是我国能源转型阶段为实现“双碳”目标亟待攻克的瓶颈问题。实施多能互补运行管理、跨区域电力消纳以及增加储能设施是促进新能源消纳的3个主要途径^[3]。

港口是交通运输基础设施的重要组成部分,也是交通运输行业能源消费和碳排放的重点环节,

基金项目: 本文受中央级公益性科研院所基本科研业务费项目“近零碳港区多能互补技术标准体系研究”(项目编号: 20230404)和交通运输部标准定额项目“交通运输安全应急、绿色标准体系修订研究”(项目编号: 2023-17-016)资助。

作者简介: 王晶,中级经济师,研究方向为交通运输标准化。

王伟,通信作者,副研究员,研究方向为交通运输标准化。

《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》《绿色交通“十四五”发展规划》提出了在港区、交通枢纽场站等建设近零碳交通示范区的任务要求。近零碳港区是指通过优化运输结构和工艺、应用节能减排技术、实施清洁能源替代、强化碳排放管理,实现运营期年度二氧化碳排放量趋近于零的港区。“近零碳”目标下,利用港区承载的可再生能源自然禀赋与清洁能源应用,实现港区多能互补势在必行。

本文通过分析多能互补发展现状和标准现状,结合我国主要沿海港口能源应用情况,提出了港区多能互补标准体系架构,为近零碳港区建设提供标准化技术支撑。

1 多能互补发展现状

当今世界,以风能、太阳能为代表的新能源发展迅速,利用多种能源之间的互补特性,实现多能互补协同高效应用受到广泛关注。多能互补主要有两种模式:(1)能源消费侧的电、气、热、冷等多种能源的协同配置、相互转化和梯级利用^[4],主要包括光伏、风电、热泵、储能设备等单元,通常适用于园区、枢纽、城区等小范围、小规模的应用场景^[5];(2)能源生产侧的风、光、水、火发电以及电制氢和储能等多种能源的互补开发、转化、存储和输配,适用于大范围、大规模的应用场景^[6]。

1.1 港区多能互补内涵

港区多能互补侧重于能源消费侧开发,结合港区资源条件和能源特点,因地制宜采取风能、太阳能、氢能、热能、电能、化石燃料等多能源品种协调互补,并适度增加一定比例储能,统筹各类能源的规划、设计、建设、运营,提高可再生能源消纳比重。通过整合港区内多种能源系统之间的协调规划、协同管理、优化运行、多机制相互作用,从系统集成、优势互补和结构优化的角度,最大化发挥能源侧灵活调节作用,达到提升能源利用效率和促进能源可持续发展的效果^[7]。

1.2 多能互补技术发展现状

20世纪70年代中期,美国率先产生传统能源服务,主要针对已建项目的节能改造、节能设备推广

等^[8]。20世纪70年代末期,美国又出现基于分布式能源的能源服务,推广热电联供、光伏、热泵、生物质等可再生能源。美国注重多能互补系统相关理论研究,在2001年就提出多能互补系统发展计划,促进冷热电联供和分布式能源技术的进步和推广。2008年起,美国国家可再生能源实验室开展能源系统协调和优化研究。

欧洲最早提出综合能源系统概念,开展了分布式发电并网项目、微网项目等多项综合能源管理项目研究,在传统能源和可再生能源的协同互补方面积累了经验,为多能互补发展奠定了基础。瑞士于2003年提出了“未来能源网络愿景”项目^[9],研究电、气、热、冷等多种能源的耦合应用。2007年,GEIDL M等人提出了能量枢纽的概念,为多种能源供应和能源需求端提供能源转化和平台接口^[10]。

在多能互补方面,日本重视能源结构优化和能效提升,致力于智能社区技术的研究与示范,利用多种方式实现用户侧节能^[11]。

2016年7月,国家发改委、国家能源局发布《关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见》^[12],利用大型综合能源基地风能、太阳能、水能、煤炭、天然气等资源组合优势,推进风光水火储多能互补系统建设运行。2017年,国家能源局公布首批多能互补集成优化示范工程共23个项目^[13],包括17个终端一体化集成项目和6个风光水火储多能互补项目。2021年3月,国家发改委、国家能源局发布《关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见》^[14]提出了推进电力源网荷储一体化和多能互补的总体要求、实施路线和政策措施等。

多能互补技术也应用于创新示范区以及重大项目建设,如:北京延庆智能电网创新示范区建设工程应用了新能源多能互补就地消纳方法和管理模式;雄安新区利用地热资源开发实现区域多能互补利用;国家电网张北风光热储输多能互补集成优化示范工程,实现了规模化的风光储多能互补,并为2022年北京冬奥会提供了绿色电力^[7]。

在一系列政策的推动下,我国多能互补项目和相关研究取得了较快的发展,加快了可再生能源

规模化开发的步伐,也带动了可再生能源发电、储能、微电网、能源服务等相关产业发展。

1.3 多能互补标准现状

国际上很多国家都非常重视能源管理体系研究和实践,在本世纪初陆续制定并实施了基于自身国家特点、符合自身国情的能源管理体系国家标准(见表1)。

表1 国际上主要的能源管理体系标准

实施时间	标准号	标准名称	国家或组织
2000年	MSE 2000	能源管理体系	美国
2001年	DS 2403	丹麦能源管理规范	丹麦
2005年	I.S.393	能源管理体系要求及使用指南	爱尔兰
2008年	EN 16001	能源管理系统 要求和使用指南	欧洲标委 (CEN)
2009年	BS EN16001	能源管理体系要求与实施指南	英国
2010年	ISO 50001	能源管理系统 要求及使用指南	ISO
2013年	GB/T 23331	能源管理体系 要求及使用指南	中国

2016年,ISO成立了新的ISO/TC 301能源管理和能源节约技术委员会,包括56个成员国和12个观察国,已发布包括ISO 50001在内的20余项国际标准,将能源效率纳入管理框架中,评估并确定新能源技术的实施和优先级,提出能源管理行为和管理改进等。

日本的综合能源管理模式以法制体系为主导,发布了《替代石油能源法》《新能源法》《新能源产业远景目标》《新能源开发计划》《日本战略能源计划》等一系列综合能源管理的法律和计划。

我国在整体的能源管理体系上有较为完善的标准和实施指南,我国主要的能源管理体系标准见表2。对于一些重要的耗能行业,如:钢铁、水泥、煤炭、火力发电、造纸、纺织等,依据不同行业的耗能特点而制定了相应的能源管理实施指南。

在多能互补标准化进程方面,当前国际标准化组织尚未提出多能互补技术标准架构,IEC (International Electrotechnical Commission)发布的智能电网核心标准、徐澄莹等人开展的综合能源服务标准体系需求分析及布局研究^[16]和李娜等人开展的综合能源服务标准化技术路线研究^[15]具有一

定借鉴价值。我国多能互补相关标准数量较少,主要为能源和电力的行业标准,集中在农村住宅和养殖等采暖系统,以及工程规划报告编制、系统功能和技术要求、能效评估等方面。

表2 我国主要的能源管理体系标准

标准编号	标准名称
GB/T 23331-2020	能源管理体系 要求及使用指南
GB/T 29456-2012	能源管理体系 实施指南
GB/T 15587-2023	能源管理体系 分阶段实施指南
GB/T 39964-2021	造纸行业能源管理体系实施指南
GB/T 39973-2021	纺织行业能源管理体系实施指南
GB/T 38706-2020	陶瓷行业能源管理体系实施指南
GB/T 38899-2020	化工行业能源管理体系实施指南
GB/T 37790-2019	船舶行业能源管理体系实施指南
GB/T 38218-2019	火力发电企业能源管理体系实施指南
GB/T 32041-2015	焦化行业能源管理体系实施指南
GB/T 32042-2015	煤炭行业能源管理体系实施指南
GB/T 30258-2013	钢铁行业能源管理体系实施指南
GB/T 30259-2013	水泥行业能源管理体系实施指南

2 我国主要港口能源应用情况

随着全球能源结构的转型,绿色低碳理念已经获得共识,各国环保政策根据既定目标不断趋严。我国港口能源应用情况也发生了深刻的变化,太阳能、风能、地热能等清洁能源的应用日益广泛。

我国港口能源消耗量较大,尤其是一些大型港口和繁忙港口的能源消耗量尤为突出。其中,北方港口由于冬季供暖需求,能源消耗主要集中在煤炭和燃油,南方港口则以电力为主。调研发现,部分港口已经开始尝试使用太阳能、风能等清洁能源;不同港口的能效水平存在较大差异。典型港口的清洁能源利用情况见表3。

总体来说,我国港口在能源应用方面已经取得了一定的进展,但仍需要进一步拓展能源应用的领域和范围,加强技术创新和环保意识,注重能源应用标准化顶层设计以及关键技术标准研制,以实现港口能源的可持续发展。

3 港区多能互补标准体系构建

本文以系统工程学理念为基础,选用标准化系

统工程六维模型^[18],通过工作分解法和平行分解法,构建港区多能互补标准体系框架,从整体布局,考虑港区多能互补的内、外部要素,使得标准体系上下层级与平行关系之间环环相扣,具有紧密的逻辑对应关系。

表3 典型港口清洁能源利用情况

港口名称	清洁能源利用情况
青岛港	- 通过建设太阳能发电设施和风力发电设施,实现港区内绿色能源供应; - 建设加氢站、LNG加气站,为港区内运输车辆提供清洁燃料
上海港	- 建立智慧能源管理平台,实现了对港区内的能源使用情况进行实时监控和数据分析; - 采用智能化的能源管理系统,优化能源调度和分配,提高能源利用效率
天津港	- 使用风能、太阳能、热能等可再生能源,推进近零碳港口建设; - 通过智慧绿色能源系统建设,天津港北疆港区C段智能化集装箱码头实现100%使用绿色电能,且绿色电能自产自足
深圳港	- 进行大规模岸电建设,岸电建设和使用量全国港口领先; - 推动使用LNG车辆进行港内运输,前海蛇口片区内的妈湾港区LNG车辆占场内拖车总量的比例约10%

3.1 标准体系构建方法

系统工程是用于系统设计、产品实现、技术管理、运行使用和报废的专业学科方法论。系统工程的理论方法包括系统设计、产品实现、技术管理、评估与决策分析等内容。标准化系统工程是系统工程的一个分支,它除了具有整体性、综合性、有效性、动态性、社会性等系统工程的普遍特征,还有强制性和依存性两个独特的属性。考虑到标准化系统具有依存性,即任何标准化活动都有一个依存主体,这个依存主体就成为标准化系统工程的研究对象之一。港区多能互补标准化系统的依存主体为港区多能互补系统及其全生命周期活动。港区多能互补标准化系统工程不仅是技术和管理工作,还包括经济学和管理学等领域的标准化活动。

标准化系统工程六维模型从时间、逻辑、条件、级别、对象和性质6个维度对标准精确定位。其特点是将霍尔三维结构中的知识维扩展为条件维(知识、人才、资金、物资等),并增加级别维(国家标准、行业标准、地方标准、团体标准等)、对象

维(基础标准、方法标准、工作标准、产品标准)、性质维(技术标准、经济标准、管理标准)。

工作分解法是一种把系统或产品逐层逐级分解为任务项目或分系统,以描述任务项目或分系统与系统目标之间从属关系的组织图表。此方法需要根据项目的自身特点进行分析、归类,厘清其内在逻辑关系。

平行分解法是对依存的标准化对象的系统层次结构进行平行分解,由标准化对象层层分解出具体标准化方向,以此为依据提出所需技术标准、管理标准等,从而发展成整个标准体系。此方法适用于具有较清晰层次结构、功能组成的复杂对象标准体系结构设计。

3.2 标准体系构建过程

将港区多能互补标准体系的构建过程视为一项工程项目,将构建过程分为4个步骤。

(1) 要求定义:确定标准体系建设目标,收集分析多能互补技术现状、标准化现状、政策文件等相关资料,规划设计标准体系的内容范畴、专业领域、技术要素等。

(2) 需求分析:调研现有相关标准体系,将其与目标进行比对分析,发掘差异,得出标准需求。

(3) 设计与实现:按照标准体系构建原则、目标和需求,进行顶层设计,构建顶层框架,进而细化具体结构层级。

(4) 验证:在港区多能互补标准体系建立后,根据标准体系需求的改变和具体应用情况,持续优化标准体系框架。

按照上述过程,港区多能互补标准体系构建过程与方法如图1所示。采用工作分解法和平行分解法进行标准体系顶层设计和结构分层,采用标准化系统工程六维模型法进行标准子类设计,以避免标准体系中出现重复交叉的现象。

根据港区能源生产与应用情况,将传统“物理、信息、商业”的分层方法进行改进,将港区多能互补标准按照层级分为支撑、能源、运营3个层面,如图2所示。

将信息技术与能源、集成等技术归为支撑层,将能源生产、调配和计量归为能源层,将规划建设

标准、运维管理等业务标准与商业标准归为运营层。港区多能互补体系从能源生产到能源系统运营再到最后的增值服务,由各项关键技术支撑贯穿各环节,以能源层作为媒介,运营层和支撑层都与其进行资源、信息等交互。

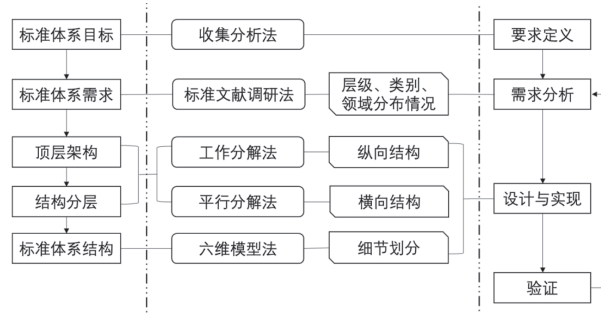


图1 港区多能互补标准体系构建过程与方法

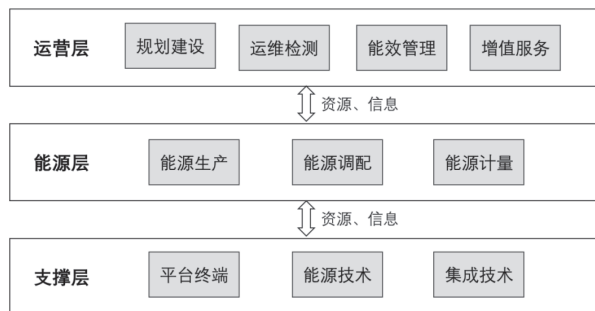


图2 港区多能互补标准结构分层图

在本研究中,根据标准化系统依存主体即港区多能互补系统的技术特点和能源行业标准化特性,重新构建港区多能互补标准化系统工程六维模型,包括时间维、专业维、属性维、性质维、级别维和状态维,相关内容见表4。

表4 港区多能互补标准化系统工程六维模型的内容

维度名称	内容
时间维	论证、设计、集成建设、试验、验收、评价、使用维护、报废
专业维	设计、能源、信息化、机械、运营
属性维	基础标准、方法标准、产品标准、安全标准、试验标准、评估标准、管理标准
性质维	技术标准、经济标准、管理标准
级别维	国际标准、国家标准、行业标准、地方标准、团体标准
状态维	已发布的标准、制定中的标准、修订中的标准

3.3 标准体系框架

港区多能互补标准体系顶层框架分为基础、

业务、信息化、支撑技术、增值服务,是在已有研究基础上^[19]进行了扩充和调整。从3个层面进行概括,将港区多能互补标准体系内所需涵盖的要素纳入其中,对港区多能互补标准体系进行分层架构设计。采用系统工程六维模型,经过子类细化设计后,港区多能互补标准体系框架如图3所示。

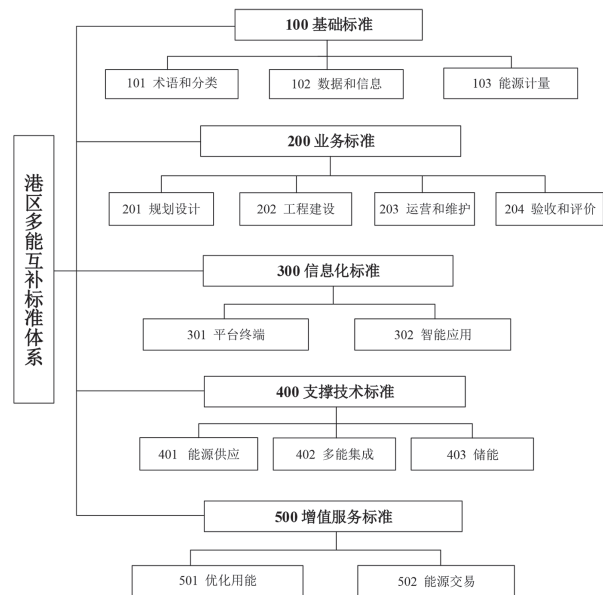


图3 港区多能互补标准体系框架

(1) 基础标准子体系

基础标准子体系为港区多能互补标准体系提供通用性条款和规范支撑,包括术语和分类、数据和信息、能源计量等方面的标准。

(2) 业务标准子体系

规划设计子类在港区多能互补项目计划建设阶段对建设目标的资源负荷分析、勘察规划方法等做出规范,包括资源估计与负荷分析、勘察、规划、设计等方面的标准。

工程建设子类对港区多能互补项目建设工作和设备安装配置进行规范,包括工程建设实施、设备配置要求、设备安装等方面的标准。

运营和维护子类保障港区多能互补项目满足不同负荷对能源种类和能源质量的需求,保证安全运行、可靠供能,包括运行控制、运维检修、故障诊断等方面的标准。

验收和评价子类对港区多能互补项目建设成果以及运行过程的评判做出规范,包括系统规划设计

评价、工程验收、能效和碳排放测评等方面的标准。

(3) 信息化标准子体系

信息化标准子体系支撑港区多能互补信息化、智能化的平台及终端建设,是实现信息交互、开展多种能源数据监测分析以及能耗管控的重要保障,包括平台和终端、智能应用等方面的标准。

(4) 支撑技术标准子体系

支撑技术标准子体系为实现多种能源联产、互补互济、灵活调节,多能系统协同、稳定、安全集成以及能源存储提供支撑,包括能源供应、多能集成、储能等方面的标准。能源供应包括光伏、风能、氢能、热电联产、余热回收等相关技术标准。

(5) 增值服务标准子体系

增值服务标准子体系为港区多种能源综合服务、能源金融等提供保障,包括优化用能、能源交易等方面的标准。

4 结语

多能互补标准化工作对推动港区有序、有效推进绿色低碳发展具有重要作用。本文在多能互补技术和标准发展现状研究的基础上,构建了包含基础标准、业务标准、信息化标准、支撑技术标准和增值服务标准的港区多能互补标准体系,为相关标准的建设提供了指引。后续需要结合技术发展,细化标准需求项目,进一步完善标准体系建设。

参考文献

- [1] 国家能源局.能源碳达峰碳中和标准化提升行动计划[Z]. (2022-09-20). http://www.nea.gov.cn/2022-10/09/c_1310668927.htm.
- [2] 崔荣国,郭娟,程立海,等. 全球清洁能源发展现状与趋势分析[J]. 地球学报, 2021(2):179-186.
- [3] 明波,成楸语,黄强,等. 梯级互补储能对新能源的长期消纳作用分析[J]. 水利学报, 2022(11):1280-1290.
- [4] 王伟亮,王丹,贾宏杰,等. 能源互联网背景下的典型区域综合能源系统稳态分析研究综述[J]. 中国电机工程学报, 2016(12):3292-3306.
- [5] 王一帆,李娜,潘崇超,等. 基于焓分析的多能互补能源系统模型优化及调度策略研究[J]. 全球能源互联网, 2021(3):249-263.
- [6] 陈正曦,余轶,梁才浩,等. 全球能源互联网框架下的清洁能源多能互补协同开发[J]. 全球能源互联网, 2023(2):126-138.
- [7] 康俊杰,赵春阳,周国鹏,等. 风光水火储多能互补示范项目发展现状及实施路径研究[J]. 发电技术, 2023(3):407-416.
- [8] 吴志炯,董秀成. 我国合同能源管理(EPC)发展前景预测[J]. 中国统计, 2017(4):26-29.
- [9] FAVRE-PERROD P. A vision of future energy networks[C]//2005 IEEE Power and Energy Magazine, 2007, 5(1):24-30.
- [10] GEIDL M, KOEPEL G, FAVRE-PERROD P, et al. Energy hubs for the future[J]. IEEE Power and Energy Magazine, 2007, 5(1):24-30.
- [11] GUO Z, ZHANG R, WANG L, et al. Optimal operation of regional integrated energy system considering demand response[J]. Applied Thermal Engineering, 2021 (191): 116860.
- [12] 国家发展和改革委员会, 国家能源局.关于推进多能互补集成优化示范工程建设的实施意见[Z]. (2016-07-07). https://www.gov.cn/gongbao/content/2017/content_5174532.htm.
- [13] 国家能源局.关于公布首批多能互补集成优化示范工程的通知[Z]. (2017-01-25). http://zfxgk.nea.gov.cn/auto82/201702/t20170206_2500.htm.
- [14] 国家发展和改革委员会, 国家能源局.关于推进电力源网荷储一体化和多能互补发展的指导意见[Z]. (2021-03-05). https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2021-03/06/content_5590895.htm.
- [15] 李娜,廖双乐,潘崇超,等. 综合能源服务标准化技术路线研究[J]. 中国标准化, 2022(24):88-94.
- [16] 徐澄莹,杨勇波,杨军,等. 综合能源服务标准体系需求分析及布局研究[J]. 全球能源互联网, 2022(4):374-382.
- [17] 杜晓磊,郭庆雷,吴延坤,等. 张北柔性直流电网示范工程控制系统架构及协调控制策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2020(9):164-173.
- [18] 涂建军. 装备标准化系统工程基本原理与模型[J]. 标准科学, 2016(5):16-22.
- [19] 孟凡强,范莹,李娜,等. 我国综合能源服务标准体系研究[J]. 中国标准化, 2020(8):123-127.