



“散改集”的自动化集装箱码头 供配电设计关键技术研究

卫立星¹, 林超², 林结庆¹, 徐爱彬¹

(1. 中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007; 2. 上海国际港务(集团)股份有限公司, 上海 200080)

摘要: 上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程为“散改集”功能改造型项目, 涉及将现有罗泾散货码头重新设计建设为全自动化集装箱码头模式。完成“散改集”改造后, 码头用电负荷类型与容量显著增加, 且各阶段用电需求呈现动态变化特征, 主要面临以下问题: 如何基于原有散货码头既有的两座 35 kV 总降压变电所进行供电系统改造; 如何在全自动化集装箱码头建设过程中确保供配电系统及管网与后期工程的有序衔接; 如何提升码头供电系统的稳定性和可靠性。结合罗泾散货码头现状条件及相关规范要求, 制定供电系统整体升级方案(含负荷分配策略)、供配电系统及供应管网的“统一规划、分阶段实施”方案, 开展港口智能配电系统建设的研究分析, 并落实相应解决措施, 可为同类港口项目的供配电系统设计提供参考。

关键词: 功能调整; 全自动化; 供配电系统改造; 稳定性; 可靠性

中图分类号: U653.5

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)S1-0159-08

Study on key technologies in electrical design for “bulk-to-container” automated terminal conversion

WEI Lixing¹, LIN Chao², LIN Jieqing¹, XU Aibin¹

(1. CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China;

2. Shanghai International Port (Group) Co., Ltd., Shanghai 200080, China)

Abstract: Luoqing container terminal renovation project is a “bulk-to-container” functional transformation project. It involves redesigning and constructing the existing Luoqing bulk cargo terminal into a fully automated container terminal model. After the conversion from bulk cargo to containers, both the types and capacity of the electrical load in the port area have significantly increased, with dynamic changes in demand across different phases. The main challenges include: how to carry out the renovation of the power supply and distribution system based on the existing two 35 kV main step-down substations in the original bulk cargo port area, how to ensure the orderly integration of the power supply and distribution system and pipeline network with subsequent phases during the construction of the fully automated container terminal, and how to enhance the stability and reliability of power supply system of the terminal. Considering the current conditions of the Luoqing bulk cargo port area and relevant regulatory requirements, an overall upgrade and load distribution plan for the power supply and distribution system and a “master planning, phased implementation” approach for the power supply and distribution system and pipeline network are developed, research and analysis are carried out on the construction of intelligent power distribution systems in ports, and corresponding solutions and measures have been implemented, which can serve as a reference for the design of power supply and distribution systems in similar port projects.

Keywords: functional transformation; full automation; power supply and distribution system renovation; stability; reliability

收稿日期: 2025-05-15

作者简介: 卫立星(1979—), 女, 高级工程师, 从事港口电气工程设计工作。

上海港罗泾港区集装箱码头改造一期(简称罗泾改造一期工程)工程为“散改集”功能调整型改造项目,利用罗泾散货港区现有煤炭作业区、部分矿石作业区和下游侧闲置的岸线,分三期工程实施建设自动化集装箱码头。罗泾改造一期工程主要建设内容为:通过改造和新建,形成1个10万吨级和4个1万吨级集装箱泊位,按全自动化集装箱港区模式设计,采用“自动化单小车集装箱装卸桥+自动化智能运输车(automated intelligent vehicle, AIV)+自动化轨道式集装箱龙门起重机(automated rail-mounted gantry crane, ARMG)”的装卸工艺方案,集装箱堆场采用空、重箱混堆方式,堆场纵深范围共布置8条作业线,前3条作业线采用34 m轨距单悬臂 ARMG,后5条作业线采用37 m轨距双悬臂 ARMG^[1]。码头及堆场工艺装卸设备采用电力驱动;AIV及港区正面吊、叉车等流动机械驱动动力全部采用纯电方式,以电池作为储能介质。

全自动化集装箱港区的供配电系统必须满足高可靠性、智能化、数字化、绿色低碳等核心要求,以支撑港区工艺系统无人化作业的稳定性、高效性、智能化持续运营。全自动化集装箱港区的供配电系统需以“高可靠供电为底线、智能调控为核心、绿色低碳”为目标,结合柔性配电、多能互补和数字孪生技术,构建未来智慧港口的能源底座。全自动化集装箱港区的供配电系统是“强电+弱电+智能化”的高度融合,需在总体规划阶段即考虑其可靠性、扩展性与碳中和目标。

袁耀^[2]介绍了应用于某港的智能配电监控系统,实现该港用电自动化管理;姚宇等^[3]介绍了洋山四期工程供电系统中“四新”的应用;杨武^[4]结合港口供电照明和供电网监控系统等,阐述了港口电力系统设计与应用的趋势。结合上述研究,本文针对罗泾改造工程供配电系统特点,从用电负荷大幅增加、供电系统及管网与后续工程的有序衔接及供电系统的稳定性及可靠性等方面进行分析,采取相应的方案和措施,旨在为同类型港口电力系统设计提供参考。

1 供配电系统改造设计的特点

1.1 用电需求

全自动化集装箱港口作为高度智能化的物流枢纽,其供配电系统具有显著区别于非自动化集装箱港口的特点。就罗泾改造总体工程而言,用电需求如下。

1) 传统的集装箱装卸桥和集装箱龙门起重机等工艺设备、船舶岸基用电、冷藏箱区用电、泵房用电、生产生活辅助建筑物用电及港区照明用电需求等。

2) 新增的作为全自动化集装箱港区特有的水平运输智能转运设备智能充换电需求,流动机械充电、罗泾数据中心用电需求,以及预留新能源船舶换电需求。

3) 本次改造移位新建的工作船码头除满足基本动力、照明用电外,新增预留电力拖轮充电需求。

4) 罗泾改造工程电力系统设计还需保障钢杂码头现状用电设备及其新增门机、新增船舶岸基供电、流机新能源升级改造等用电设施的电力供应。

上述新增负荷中,罗泾数据中心、工作船码头电力拖轮充电、新能源船舶换电、钢杂码头新增门机、钢杂码头新增船舶岸基供电及其流机新能源升级改造等用电需求在罗泾改造一期工程建设过程中、项目验收阶段及二期工程前期工作推进过程中陆续提出,罗泾改造总体工程电力系统设计随用电需求的陆续增加不断动态调整。

1.2 港区用电负荷的大幅增加

罗泾改造工程为将煤炭作业区、部分矿石作业区及闲置岸线改为全自动化集装箱作业区的“散改集”改造工程。因罗泾港区散、杂货码头建设时期较早,建设时尚无船舶接岸电需求,均未设置船舶岸基供电设施。改造为全自动化集装箱码头后,港区货种及功能发生较大变化,船舶岸基用电、冷藏箱用电及港区智能转运设备充换电等设施的大容量用电需求使整个港区的用电负荷大幅增加。

罗泾改造工程建设前,罗泾港区共有2座35 kV总降压站。1座位于钢杂作业区管理区,站内变配

电电压等级为 35/10/0.4 kV, 下辖 7 个 10/0.4 kV 室内式分变电所及多个箱变, 为钢杂作业区及矿石作业区范围内装卸船机、门机、堆取料机、带式输送机、雨水泵房及辅助建筑物等用电设施提供用电保障; 另 1 座位于煤炭作业区管理区, 站内变配电电压等级为 35/6/0.4 kV, 下辖 4 个 6/0.4 kV 室内式分变电所, 负责煤炭作业区范围内装卸船机、堆取料机、带式输送机、雨水泵房及辅助建筑物等用电设施的供电。

罗泾改造工程不涉及钢杂作业区, 供配电系统设计除考虑其现状用电设施供电外, 还需为钢杂作业区新增门机、船舶岸基供电、流机新能源升级转型后的补能用电等新增用电设施提供保障。

综上, 罗泾港区电力系统配套升级改造需按总体用电需求进行考量, 针对上述“散改集”后全港用电需求特点, 需对罗泾改造总体工程和钢杂作业区用电容量进行整体测算, 以“总体规划、分期实施”为原则, 提出罗泾港区总体电力系统升级改造方案。

1.3 供电系统及管网与后续工程的有序衔接

罗泾港区总体电力系统升级改造方案需结合罗泾改造工程建设时序, 考虑总体电力系统建设及电力供应区域调配的分期计划, 做到新建工程近、远期结合, 且兼顾现状钢杂作业区及其可预计的新增用电需求; 还需考虑港区总体供电管网分期实施时在近、远期管网中的有序预留和接口, 及新建供电管网与上游现状工程供电管网的衔接; 管网需适当考虑余量以备后期发展之需。

1.4 港区供电系统的稳定性和可靠性

罗泾改造工程整体设备、设施全部自动化、电动化及智能化。码头及堆场工艺装卸设备全部采用电力驱动, 并采用交流变频调速系统, 再生能量可反馈至电网; 智能转运设备及港区正面吊、叉车等流动机械驱动动力全部采用电池储能方式, 港区为智能转运设备配置智能换电机, 在管理区停车场和流机场设置新能源汽车充电桩、流动作业机械充电桩, 实现全港区工艺装卸设备零排放; 码头前档、后档及内档均设置船舶岸基供电设施, 杜绝船舶在港口区域的废气排放; 各变电所均选

用一级能效节能型变压器, 降低空载损耗、减少碳排放、节约用电成本, 充分体现绿色电网节能环保理念; 堆场道路侧设置照明塔架或高杆灯, 灯具采用智能控制型 LED(light emitting diode, 发光二极管), 实现港区绿色照明。

全自动化集装箱港口的装卸工艺系统自动化设备不间断运行, 工艺装卸设备及水平运输设备是全自动化集装箱工程的关键核心, 其用电和补电容量需求在整个港区负荷中所占比重较大, 供电系统中断可能导致整个港口停摆。因此, 可靠、稳定的供电系统对港口正常运营至关重要; 节能减排的各项措施也以电力为主要供能方式, 故如何解决港区电力系统的供电稳定性和供电可靠性是港口电力系统要解决的重要问题。

2 供配电系统改造设计关键技术

2.1 总体供配电系统升级改造

2.1.1 电力系统

经对罗泾改造总体工程和钢杂作业区现状用电需求负荷进行测算^[5], 总视在容量约为 65 MVA。煤炭作业区现状 35 kV 总降压站(简称“煤炭 35 kV 降压站”)原主变容量为 2 台 35/6 kV 6.3 MVA, 根据负荷容量需求, 该总降压站房建利旧, 将站内全部电气设备及系统进行升级改造, 改造后为 35/10 kV 总降压站, 根据用户接入电网相关文件要求^[6], 主变拟扩容为 2 台 35/10 kV 20 MVA 变压器; 罗泾钢杂作业区现有 35/10 kV 总降压站(简称“钢杂 35 kV 降压站”)内设有 2 台 35/10 kV 20 MVA 变压器。扩容改造后, 上述 2 座 35/10 kV 总降压站共计 4 台 20 MVA 变压器, 承担罗泾改造总体工程和钢杂作业区用电负荷, 总负载率为 81%。

2.1.2 负荷调配

考虑罗泾港区 2 座 35/10 kV 总降压站用电平衡及合理分配, 根据罗集总体工程供电方案^[7]中拟建的各分变电所^[8]负荷计算、现状负荷情况、后续工程需求, 结合港区实际运营情况, 经综合考量, 在钢杂作业区供电方案维持现状的前提下, 调配方案为: 罗泾改造一期工程 2 座冷藏箱区变电所、后续三期工程各变电所及智能换电机供电

均接自钢杂作业区现有 35/10 kV 总降压站，罗泾改造一期工程 1、4~6 号变电所及智能换电机、后续二期工程各变电所及智能换电机供电均接自煤炭作业区扩容改造后的 35/10 kV 总降压站。

规划及总体设计研究阶段，罗泾改造总体工程负荷数据及总体工程各阶段负荷与钢杂作业区负荷在 2 座 35 kV 总降压站的用电负荷调配情况见表 1。

表 1 罗泾改造总体及钢杂作业区用电负荷调配
Tab. 1 Electrical load allocation for Luoqing automated container terminal renovation project and steel & general cargo terminal

名称			供电范围	用电负荷/ MVA	变压器 负载率/%
钢杂 35 kV 降压站	钢杂作业区	现状所有用电设施		3.9	—
	罗泾改造一期	堆场 ARMG、冷藏箱、给排水用电设施、信息系统及照明等		8.8	—
	罗泾改造二期	堆场 ARMG 及冷藏箱等(在罗泾改造一期工程 2 号变内预留)		5.5	—
	罗泾改造三期	智能换电机、码头岸桥、船用岸电、信息系统及照明等		15.3	—
	合计			33.5	83.8
煤炭 35 kV 降压站改造后	钢杂作业区	无		—	—
	罗泾改造一期	辅助区建筑、堆场部分 ARMG、智能换电机、码头岸桥、船用岸电、流机充电、信息系统及照明等		16.6	—
	罗泾改造二期	堆场 ARMG、智能换电机、信息系统及照明等		14.9	—
	罗泾改造三期	无		—	—
	合计			31.5	78.8

2.1.3 用电需求变化及方案调整

1) 负荷需求变化。在罗泾改造一期工程实施、验收阶段及二期工程前期工作推进过程中，罗泾改造总体工程及钢杂作业区实际用电负荷及可预见性用电负荷需求均有新增，全港新增负荷有：罗泾数据中心、工作船码头电力拖轮充电、新能源船舶换电、钢杂码头新增门机、钢杂码头新增船舶岸基供电及其流机新能源升级改造等，总计视在容量约 14.6 MVA。现罗泾港区总体用电

需求总容量约为 79.6 MVA，不符合规范关于变压器经济运行的相关要求^[9]，港区 2 座 35 kV 总降压站无法满足总体用电需求。

2) 电力系统方案调整。罗泾港区总体电力系统升级改造方案以“总体规划、分期实施”为原则，针对负荷需求变化，结合工程建设时序，确定现有 2 座 35 kV 总降压站暂不考虑为罗泾改造三期工程提供用电。用电负荷增加、方案调整后的用电负荷调配情况见表 2。

表 2 罗泾改造一、二期工程及钢杂作业区用电负荷调配
Tab. 2 Electrical load allocation for Luoqing phase I and II automated container terminal renovation project and steel & general cargo terminal

名称			供电范围	用电负荷/ MVA	变压器 负载率/%
钢杂 35 kV 降压站	钢杂作业区	现状所有用电设施、罗泾数据中心、新增门机、船舶岸电及新能源流机充电等		16.5	—
	罗泾改造一期	堆场 ARMG、冷藏箱、给排水用电设施、信息系统及照明等		8.8	—
	罗泾改造二期	堆场 ARMG 及冷藏箱等(在罗泾改造一期工程 2 号变内预留)		5.5	—
	合计			30.8	77%
煤炭 35 kV 降压站改造后	钢杂作业区	无		—	—
	罗泾改造一期	辅助区建筑、堆场部分 ARMG、智能换电机、码头岸桥、船舶岸电、流机充电、信息系统及照明等		16.6	—
	罗泾改造二期	堆场 ARMG、智能换电机、工作船拖轮充电、新能源船舶换电、信息系统及照明等		16.9	—
	合计			33.5	83.80%

2.2 供电系统及管网与后续工程衔接方案

根据对罗泾改造总体工程及钢杂作业区全部用电负荷测算, 结合罗泾改造工程建设时序考虑总体电力系统建设及电力供应区域调配的分期计划, 做到新建工程近、远期结合, 并结合工程建

设时序考虑港区总体供电管网^[10]分期实施时近、远期管网的有序预留和接口设置, 及新建管网与上游现状工程供电管网的衔接, 管网需适当考虑预留以备未来发展之需。总体供电管网主干平面见图 1。

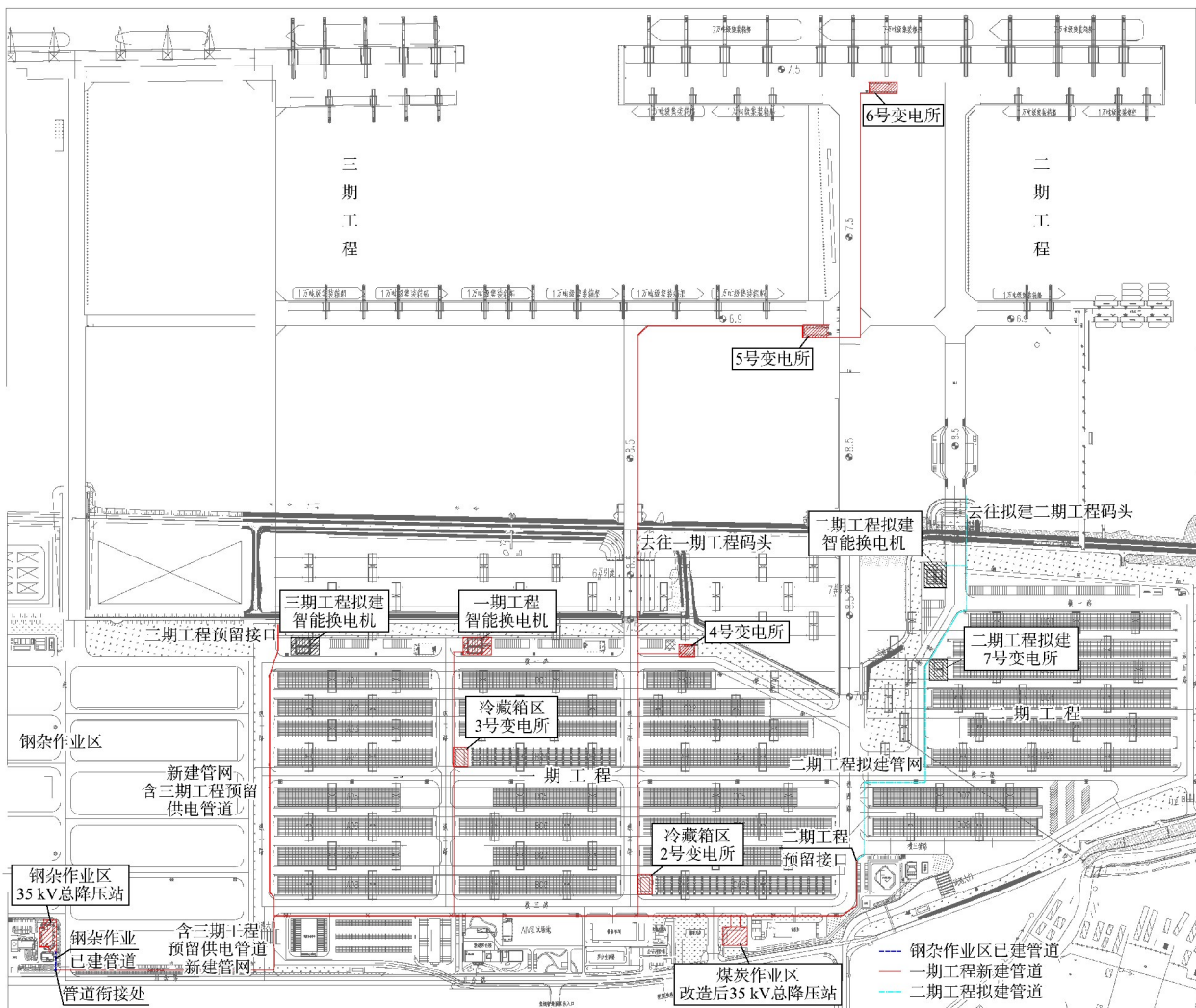


图 1 总体供电管网主干平面

Fig. 1 Master plan of primary power distribution network

2.3 港口智能配电系统构建

为保障罗泾改造工程电力系统的供电稳定性和可靠性, 港区设置智能配电系统, 负责各分变电所变配电系统管理。智能配电系统采用双服务器冗余+客户端的方式部署, 可实现智能配电监控系统的高可用性, 智能配电监控系统采用分层分布式结构, 包括控制层、通信层及间隔层。港区智能配电系统架构见图 2。

智能配电系统主要实现对 35、10 和 0.4 kV 系统内的所有智能设备的监控功能。智能配电系统将底层设备的数据采集之后, 通过工作站实现对各分变电所的无人和少人化管理, 提高供配电系统运行管理水平; 工作站对数据进行计算分析和处理, 以实现对电能的全方位监控和管理功能, 工作站部署在监控中心内, 对配电系统进行有效监测管理。

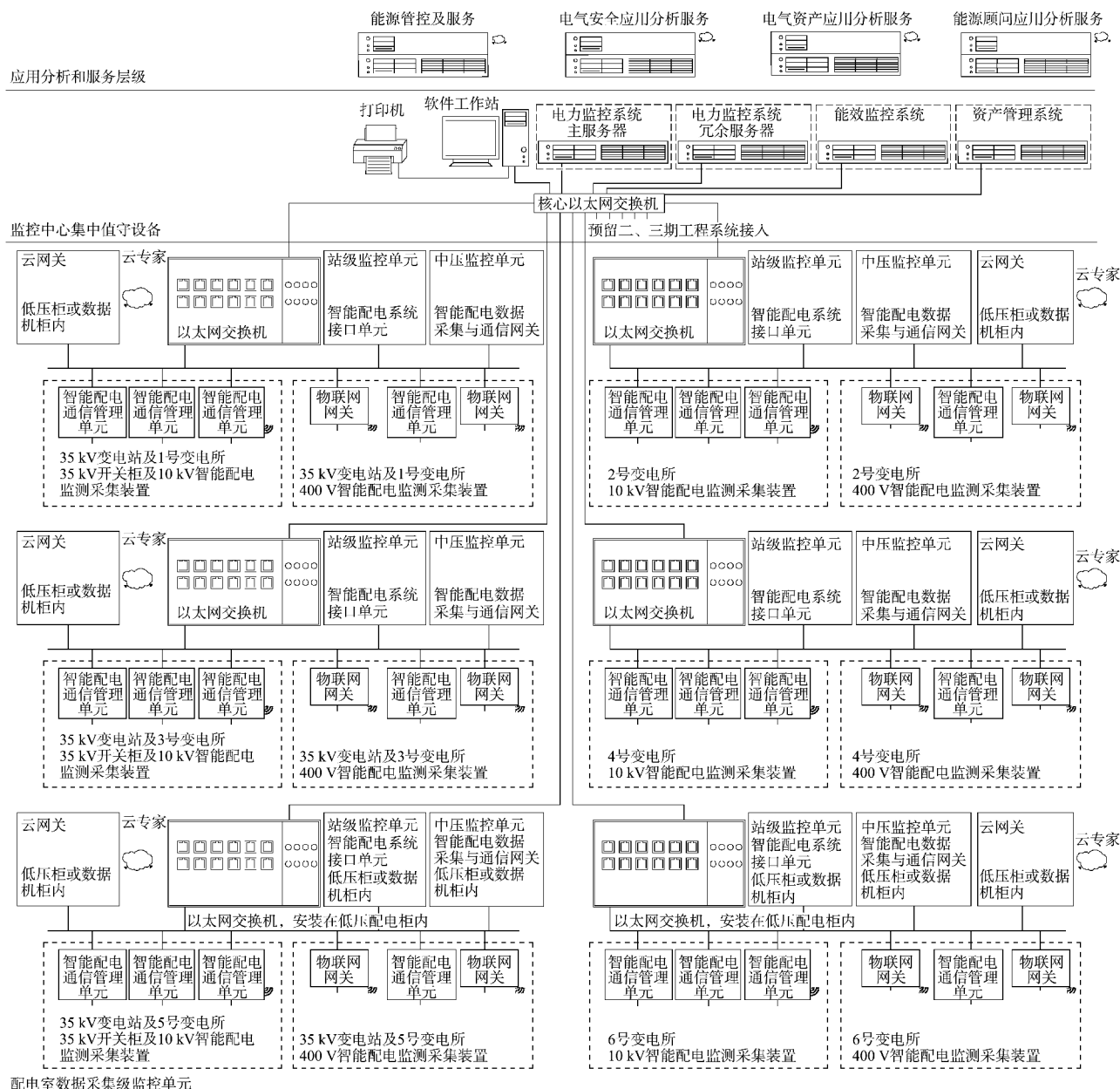


图 2 港区智能配电系统架构

Fig. 2 Intelligent power distribution network architecture

智能配电系统通过云计算及大数据技术，对接入供电系统的用电设备如岸桥、ARMG、智能换电机、冷藏箱配电箱等用电负荷数据进行即时采集，实现港区高低压配电系统中主要电气设备的在线监测、提前预警，具备辅助运维的功能。该系统提高了供配电系统安全性、稳定性，提升了故障处理能力，构建了坚强的港口供配电系统。另外，港口智能供配电系统为港口运行的综合能效、港区智慧用电、供配电系统智能运维管理等提

供可靠服务，为港口供电系统的运营管理、维护保养提供可视化、数据化及流程可追溯性等功能。

1) 10 kV 智能型金属铠装中置柜配置电动推进机构的底盘车，具有远程控制开关分断、合闸功能以及远程控制真空断路器小车摇进摇出功能。柜内在断路器触头及母排等位置设置测温点，通过对温度的分析，实现对设备缺陷的提前预知，对设备缺陷进行分类：对一般缺陷设备安排检修计划；对重大缺陷设备安排短期内消除，并加强

监视;对紧急缺陷设备,立即采取措施进行处理。柜门上设置中压主动运维单元,具备温度监测、断路器分析、分合闸线圈、储能电机、机械特性等界面展示功能,可为运维人员提供直观的设备基本信息并能上传至后台系统。

2) 低压开关柜预制智能化模块中,断路器具有远程控制开关分断、合闸功能。柜内框架断路器增加监测模块,呈现框架断路器电参量和电气及机械寿命百分比,具备电力参数监测、断路器老化分析、单线图管理、持续温度监测、设备报警及资产管理,报表管理等功能,可为运维人员提供直观的所在配电室内低压电气设备的基本信息及报警信息,并上传至后台系统。

3) 动态无功补偿及有源滤波柜采用一体装置智能远程维护系统,接入智能配电系统。该装置自动跟踪负荷变化,补偿无功功率的同时可对系统谐波进行有效滤除。在系统无功功率处在容性或感性反复变化状态时,可实现双向动态连续平滑调节,使系统的功率因数达到 0.95 以上,谐波总畸变率不超过 3%,节能和谐波抑制效果显著。

4) 变电所设置专用视频监控系统,柜前操作通道、柜后和柜侧维护通道及变电所主出入口现场图像全覆盖,实现无盲区监视,替代人员现场巡视。

上述供配电系统改造方案和措施,严格贯彻“总体规划、分期实施”原则,通过对罗泾改造总体工程用电负荷的灵活调配与前瞻性的管网预留,确保了港区电力系统供电能力与港区发展时序相匹配;构建的智能配电系统实现了远程监控、预测性维护和电能质量优化,推动运维模式从“被动响应”向“主动预警”升级,全面提升了供电系统可靠性、安全性和能效性。

3 结语

1) 罗泾港区用电负荷类型多、容量大,且在项目验收阶段及二期工程前期工作推进过程中,整体港区不断有新增用电需求,港区电力系统规

划及设计动态调整进行。

2) 罗泾港区总体电力系统升级改造方案以“总体规划、分期实施”为原则,根据对罗泾港区全部用电负荷总体测算,将煤炭 35 kV 总降压站土建利旧、设备扩容改造至 35/10 kV 2×20 MVA,并结合罗泾改造工程建设时序考虑总体电力系统建设、电力供应区域调配的分期计划及供电管网的预留与衔接,保障供电稳定性、延展性及扩展性。

3) 通过智能化供配电系统重构,解决“散改集”带来的负荷激增、可靠性提升及绿色转型等核心问题。以双 35 kV 总降压站为骨干、智能监控为中枢的供电体系,既满足了全自动化集装箱码头的高标准用能需求,又通过动态无功补偿、设备预检维护等技术显著提升能效与运维效率。

参考文献:

- [1] 中交水运规划设计院有限公司. 上海港罗泾港区集装箱码头改造一期工程初步设计[R]. 北京: 中交水运规划设计院有限公司, 2022.
CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Preliminary design for phase I automated container terminal renovation project in Luojing port area of Shanghai Port[R]. Beijing: CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., 2022.
- [2] 袁耀. 智能配电系统在港口工程中的应用[J]. 中国水运, 2023(1): 36-38.
YUAN Y. Application of intelligent power distribution system in port engineering [J]. China water transport, 2023(1): 36-38.
- [3] 姚宇, 胡建勇, 陈伟治. 洋山四期工程供电系统创新应用[J]. 水运工程, 2016(9): 163-166.
YAO Y, HU J Y, CHEN W Z. Innovative application of power supply system for Yangshan deepwater port phase IV project [J]. Port & waterway engineering, 2016(9): 163-166.
- [4] 杨武. 港口电力系统设计与应用[J]. 中国水运(下半月), 2016(5): 138-140.
YANG W. Design and application of port power system[J].

- China water transport (the second half of the month), 2016(5): 138-140.
- [5] 中国航空规划设计研究总院有限公司. 工业与民用供电设计手册[M]. 4 版. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- China Aviation Planning and Design Institute (Group) Co., Ltd. Industrial and civil power supply and distribution design handbook [M]. 4th ed. Beijing: China Electric Power Press, 2016.
- [6] 用户接入电网供电方案技术导则: GB/T 43025—2023[S]. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- Technical guidelines for power supply schemes of users connected to power grid: GB/T 43025-2023 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2023.
- [7] 供配电系统设计规范: GB 50052—2009[S]. 北京: 中国计划出版社, 2009.
- Code for design electric power supply systems: GB 50052-2009[S]. Beijing: China Planning Press, 2009.
- [8] 20 kV 及以下变电所设计规范: GB 50053—2013[S]. 北京: 中国计划出版社, 2013.
- Code for design of 20 kV and below substation: GB 50053-2013[S]. Beijing: China Planning Press, 2013.
- [9] 民用建筑电气设计标准: GB 51348—2019[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2019.
- Standard for electrical design of civil buildings: GB 51348-2019[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2019.
- [10] 电力工程电缆设计标准: GB 50217—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.
- Standard for design of cables of electric power engineering: GB 50217-2018[S]. Beijing: China Planning Press, 2018.
- (本文编辑 王传瑜)

(上接第 143 页)

- [13] 上海市水务规划设计研究院. 宝山区城镇雨水排水规划(2021—2035)[R]. 上海: 上海市水务规划设计研究院, 2021.
- Shanghai Water Planning and Design Institute. Urban rainwater drainage plan for Baoshan District (2021 - 2035) [R]. Shanghai: Shanghai Water Planning and Design Institute, 2021.
- [14] 元征, 贺春晖. 自动化集装箱堆场结构与排水系统优化设计[J]. 港工技术, 2021, 58(2): 84-87.
- YUAN Z, HE C H. Optimal design of automated container yard structure and drainage system [J]. Port engineering technology, 2021, 58(2): 84-87.
- [15] 何卓义, 李彬, 刘毅, 等. 基于 InfoWorks ICM 软件的新堆场形式集装箱港区排水模型测试[J]. 水运工程, 2024(8): 219-223.
- HE Z Y, LI B, LIU Y, et al. Drainage model testing of container port area with new-type yard based on InfoWorks ICM software [J]. Port & waterway engineering, 2024(8): 219-223.
- [16] 吴献平, 周玉文, 杨宏, 等. 分散设置雨水调节池方法研究[J]. 中国给水排水, 2017, 33(21): 114-118.
- WU X P, ZHOU Y W, YANG H, et al. Research on methodology of distributing rainwater storage units [J]. China water & wastewater, 2017, 33(21): 114-118.
- [17] 王路平, 曾磊, 刘俊, 等. 基于内涝防治目标的雨水调蓄池设计[J]. 水电能源科学, 2021, 39(2): 47-50.
- WANG L P, ZENG L, LIU J, et al. Design of rainwater storage tank based on the goal of waterlogging control [J]. Water resources and power, 2021, 39(2): 47-50.
- [18] 谢磊, 解铭, 薛江儒. 调蓄池在排水系统中的应用及发展方向探讨[J]. 中国给水排水, 2023, 39(12): 37-43.
- XIE L, XIE M, XUE J R. Discussion on application and development direction of storage tank in drainage system [J]. China water & wastewater, 2023, 39(12): 37-43.
- [19] 朱洁. 削峰调蓄池在雨水系统提标改造中的应用[J]. 中国市政工程, 2024(4): 124-127, 132.
- ZHU J. Application of peak shaving storage tank in upgrading & reconstruction of rainwater system [J]. China municipal engineering, 2024(4): 124-127, 132.
- [20] 何立宁, 迟曼, 王占龙, 等. 深圳市东深河上游初雨精准控制及工程设计分析[J]. 给水排水, 2023, 59 (S1): 81-86.
- HE L N, CHI M, WANG Z L, et al. Precise control and engineering design analysis of first rain in the upper reaches of Dongshen River in Shenzhen [J]. Water & wastewater engineering, 2023, 59 (S1): 81-86.
- (本文编辑 王璵)