

· 港口 ·



基于 DEMATEL-ISM 大水位变幅无人值守 锚地岸电系统安全风险管控技术研究*

肖玉华, 何亚闻

(长江三峡通航管理局, 湖北 宜昌 443000)

摘要: 在“双碳”目标下, 船舶靠港使用岸电成为推动长江航运绿色低碳转型的关键举措, 但目前针对岸电设备设施安全风险管控技术的研究较为缺乏。为解决大水位变幅无人值守锚地岸电系统安全稳定运行的难题, 通过文献研究及专家访谈相结合的方法, 分析得出影响该类岸电系统安全运行的9个风险因素。通过构建基于 DEMATEL-ISM 模型的安全风险分析模型, 明确了智能感知信息可靠性是核心影响因素, 岸电设备损坏、网络安全是重要传导因素, 外部环境是底层因素, 管理和维护漏洞是表象因素。据此, 提出了涵盖多源信息融合、设备故障诊断、安全通信、环境监测及系统运维等多方面的安全管控技术, 为该类系统的安全稳定运行提供了有效的解决方案, 对推动岸电设施无人化、智能化发展具有积极意义。

关键词: 船舶; 岸电系统; 安全风险; DEMATEL-ISM

中图分类号: U653.95

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)03-0027-09

Research on safety risk control technology for unattended anchorage shore power system under large water level fluctuations based on DEMATEL-ISM

XIAO Yuhua, HE Yawen

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443000, China)

Abstract: Under the “dual carbon” goals, shore power utilization by ships at berth has become a key measure to advance the green and low-carbon transformation of Yangtze River shipping. However, research on safety risk control technologies for shore power equipment and facilities remains relatively scarce. To address the challenge of ensuring the safe and stable operation of unattended anchorage shore power systems under large water level fluctuations, nine risk factors affecting the operational safety of such systems are analyzed through a combination of literature review and expert interviews. A safety risk analysis model based on the DEMATEL-ISM model is established, which identifies the reliability of intelligent perception information as the core influencing factor, shore power equipment damage and network security as critical transmission factors, the external environment as the underlying factor, and management and maintenance vulnerabilities as the superficial factors. On this basis, multi-dimensional safety control technologies covering multi-source information fusion, equipment fault diagnosis, secure communication, environmental monitoring and system operation and maintenance are proposed, providing an effective solution for the safe and stable operation of such systems. This has positive significance for promoting the unmanned and intelligent development of shore power facilities.

Keywords: ship; shore power system; security risk; DEMATEL-ISM

收稿日期: 2025-07-22 录用日期: 2025-08-28

*基金项目: 湖北省重点研发专项(2023BAB013)

作者简介: 肖玉华(1973—), 男, 高级工程师, 从事规划基建管理工作。

随着长江流域航运业体量不断增大,长江黄金航道航运日渐繁忙,船舶停靠码头和停泊等待的数量和密度大幅增加,大中型船舶停港期间柴油机发电产生废气及噪声,对长江流域、港口区域、附近居民生活区域造成了严重的环境及噪声污染。为此,2019年交通运输部发布了《港口和船舶岸电管理办法》,鼓励船舶靠港后优先使用岸电。

我国岸电技术的应用^[1-5]相比国外要晚,近些年,国家对船运的环保要求越来越严格,国家或一些地方政府相继提出了激励政策,但由于多种因素制约,进展缓慢^[6]。现有港口岸电技术研究集中在技术方案选择^[7]、节能减排量估算^[8]以及岸电设备研制^[9]等方面,缺乏对岸电设备设施安全风险管控技术的相关研究。本文通过研究大水位变幅无人值守锚地岸电设施安全管控问题,旨在推动岸电设施管理无人化、智能化发展,助力“双碳”目标实现与长江航运高质量发展。

1 工程概况

某锚地工程位于宜昌市秭归县郭家坝镇,归州镇对岸,在长江上游归州水道右岸82.5~86.2 km之间共建设8个5 000吨级危化品锚位,每个锚位由2个系靠船墩组成,系靠船墩采用高桩墩式结构。锚地工程地处偏僻,四周均为陡峭的山坡,人烟稀少,且该工程位于三峡库区内,锚地最高水位与最低水位相差30 m。

根据工程需求,岸电设施设计需实现现场无人值守,即要求现场整个系统在无工作人员参与的情况下,根据水位自行调节下放接电设备,船员通过自助操作实现用电和相关费用结算。

《港口和船舶岸电管理办法》明确,除油气化

工码头外其余码头工程均应按照法律法规和强制性标准等要求设计、建设岸电设施,而JTS 155—2019《码头岸电设施建设技术规范》未明确危化品码头岸电设施建设规范。通过对危化品码头使用岸电技术的调研,当前危化品码头使用岸电相关技术、配套设备仍不成熟,为保障船舶用电安全性,设计的无人值守岸电设施仅供普通货船使用。

2 模型建立

DEMATEL(decision making trial and evaluation laboratory,决策试验与评价实验室法)是一种运用图论和矩阵工具的系统分析方法,通过分析系统中各要素的逻辑关系确定因果结构,常用于解决复杂问题。而ISM(interpretive structural modeling,解释结构模型法)方法注重因素之间的层次结构和影响传播路径,帮助理解问题的组成部分和因果关系并根据不同层级采用不同优先度的针对性措施。为增强结果的可信度,全面分析复杂网络中因素之间的相互作用,越来越多的学者将DEMATEL与ISM联用分析以应对复杂问题。开发大水位变幅无人值守岸电系统最核心的需求为确保岸电设施安全稳定运行,为分析无人值守岸电设施日常运行的安全风险因素,本文构建了基于DEMATEL-ISM大水位变幅无人值守岸电安全风险因素识别模型,通过分析各风险因素之间的因果和层级关系,得出系统建设所要研究的安全风险管控技术。

2.1 因素集建立

因现有关于无人值守船舶岸电设施相关研究较少,根据相关文献^[10-12],并邀请相关岸电运营公司的专家进行分析,确定9个安全风险影响因素,见表1。

表 1 大水位变幅无人值守岸电设施安全风险因素

Tab. 1 Safety risk factors of unattended shore power facilities under large water level fluctuations

要素	安全风险因素集	安全风险因素
S1	岸电设备损坏	接地电阻超标, 导致触电或 PLC 设备损坏等
S2	外部环境	潮湿环境导致高压漏电, 环境炎热导致的岸电箱和控制柜内部温度过高等
S3	智能感知信息可靠性	船舶靠泊信息感知、水位等信息感知
S4	船舶受电设施故障	船舶发电机与岸电电压、频率不同步等
S5	网络安全	通信网络可能遭受黑客攻击, 影响系统数据安全和供电稳定性
S6	应急报警延迟	报警延迟, 无法及时现场处理
S7	管理和维护漏洞	维护频次较低, 岸电使用流程管理不严
S8	人员误操作	人员插错插头、人员操作升降平台失误
S9	技术水平	多种通信技术融合存在兼容性问题; 智能管理算法的预测精度可能无法满足实际需求

2.2 模型建立

构建 DEMATEL-ISM 模型具体步骤如下^[13-17]。

步骤 1: 为确定风险因素间、风险因素与风险事件间的影响程度, 采用定向问卷调查的方式向 7 位专家发放问卷。具体判定标准为: 采用 0~4 的评价标度 (数值越大影响关系越强) 计量影响程度, 采用加权平均法计算专家评价结果, 利用式(1) 构建直接影响矩阵 **A**, 对角线上元素为 0。

$$A = \begin{bmatrix} 0 & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & 0 & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: x_{ij} 表示因素 i 对因素 j 的平均影响值。

步骤 2: 采用行最大值法进行规范化处理, 将 **A** 中所有元素除以每行和值中的最大值得到规范影响矩阵 **B**。

$$B = \frac{1}{\max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} \right)} A \quad (2)$$

式中: $\max_{1 \leq i \leq n} \left(\sum_{j=1}^n x_{ij} \right)$ 为矩阵 **A** 每行和值中的最大值。

步骤 3: 利用式(3) 进行矩阵迭代计算, 进一步量化各风险因素对其他风险因素或风险事件的影响程度, 计算得出综合影响矩阵 **T**。

$$T = \sum_{k=1}^{\infty} B^k = B(I - B)^{-1} \quad (3)$$

式中: **I** 为单位矩阵; k 为迭代次数。

步骤 4: 利用式(4) 计算影响度 D_i (被影响

度 C_i); 通过式(5) 计算各行、列因素对其他所有因素的综合影响值中心度 M_i , 表示因素在评估体系中所起作用的大小; 原因度 R_i 正值表示因素属于原因类, 负值则属于结果类。

$$D_i = \sum_{j=1}^n t_{ij} \quad (4)$$

$$C_i = \sum_{j=1}^n t_{ji} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$\begin{cases} M_i = D_i + C_i \\ R_i = D_i - C_i \end{cases} \quad (5)$$

式中: t_{ij} 为矩阵 **T** 中各元素值。

步骤 5: 在综合影响矩阵的基础上通过式(6) 计算整体影响矩阵 **H**, 设定阈值 λ 为 **T** 的均值。

$$H = T + I \quad (6)$$

参照式(7)、(8) 构建可达矩阵, 并通过布尔代数运算将其转化为标准可达矩阵 **K**:

$$K = (k_{ij})_{n \times n} \quad (7)$$

$$k_{ij} = \begin{cases} 1 & h_{ij} > \lambda \\ 0 & h_{ij} \leq \lambda \end{cases} \quad (8)$$

式中: h_{ij} 为矩阵 **H** 中各元素值; k_{ij} 表示因素 i 、 j 是否存在有向通路。

步骤 6: 根据可达矩阵 **K**, 可确定影响因素 X 的可达集 U_i 和前项集 V_i 。

$$U_i = X_i | X_i \in X, h_{ij} \neq 0 \quad (9)$$

$$V_i = X_j | X_j \in X, h_{ij} \neq 0 \quad (10)$$

式中: 可达集 U_i 为受因素 X_i 影响的所有因素的集合; 前项集 V_i 为对因素 X_j 有影响的所有因素的

集合： X 为所有元素的集合。

步骤 7：若可达集和前项集满足相交，则可达集 U_i 中对应的因素 X_i 均能在前项集 V_i 中找到前因，该因素被列为最高层级因素，然后从可达矩阵中去除该因素对应的行和列。

步骤 8：重复步骤 6、7，直到所有因素的行和列都被去除。最后根据因素被去除的顺序，建立递阶层级图。

3 结果及分析

3.1 计算结果

1) 根据步骤 1 进行问卷调查，得出 S1 ~ S9 各要素的直接影响矩阵，见表 2。

表 2 直接影响矩阵
Tab. 2 Direct impact matrix

要素	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
S1	0	2	3	4	1	2	1	3	1
S2	3	0	2	3	1	1	2	1	1
S3	2	1	0	3	4	3	2	3	2
S4	3	2	1	0	1	2	1	2	1
S5	1	1	3	1	0	2	2	1	3
S6	1	1	1	2	1	0	3	2	1
S7	2	3	2	2	2	3	0	4	3
S8	2	1	2	3	1	2	3	0	2
S9	1	1	2	1	2	1	3	2	0

2) 再通过步骤 4 计算得出影响度、被影响度、中心度和原因度，见表 3。

表 3 影响度、被影响度、中心度和原因度计算值

Tab. 3 Calculated values of influence degree, affected degree, centrality, and causal degree

要素	影响度	被影响度	中心度	原因度
S1	3.112	2.819	5.931	0.293
S2	2.658	2.300	4.957	0.358
S3	3.586	2.907	6.493	0.680
S4	2.420	3.490	5.910	-1.069
S5	2.654	2.432	5.085	0.222
S6	2.318	3.009	5.328	-0.691
S7	3.766	3.121	6.886	0.645
S8	2.999	3.362	6.361	-0.363
S9	2.537	2.610	5.147	-0.073

3) 根据可达矩阵 K 计算可达集、先行集和共同集，见表 4。

表 4 可达集、先行集和共同集

Tab. 4 Reachable set, antecedent set, and common set

因素	可达集	先行集	共同集
A1	1,3,4,6,7,8	1,2,3,4,7,8	1,3,4,7,8
A2	1,2,3,4,7	2,7	2,7
A3	1,3,4,5,6,7,8,9	1,2,3,5,7,8	1,3,5,7,8
A4	1,4,8	1,2,3,4,6,7,8	8,1,4
A5	3,5,6,7,9	3,5,7	3,5,7
A6	4,6,7	1,3,5,6,7,8	6,7
A7	1,2,3,4,5,6,7,8,9	1,2,3,5,6,7,8,9	1,2,3,5,6,7,8,9
A8	1,3,4,6,7,8	1,3,4,7,8,9	1,3,4,7,8
A9	7,8,9	3,5,7,9	9,7

注：A1~A9 为用布尔运算计算出的可达矩阵中的因素，特指因素 1 到因素 N 之间是否有路径可达。

4) 根据步骤 8 得出层级分解结果(结果优先)，见表 5。

表 5 层级分解结果

Tab. 5 Hierarchical decomposition results

层级	要素
第 1 层(顶层)	S4
第 2 层	S6,S7
第 3 层	S1,S8
第 4 层	S9
第 5 层	S3,S5
第 6 层(底层)	S2

5) 由表 5 可知，外部环境为底层因素，岸电设备损坏、人员误操作、技术水平、智能感知信息可靠性、网络安全为中间因素，船舶受电设施故障、应急响应延迟、管理和维护漏洞为表层因素。层级关系见图 1。

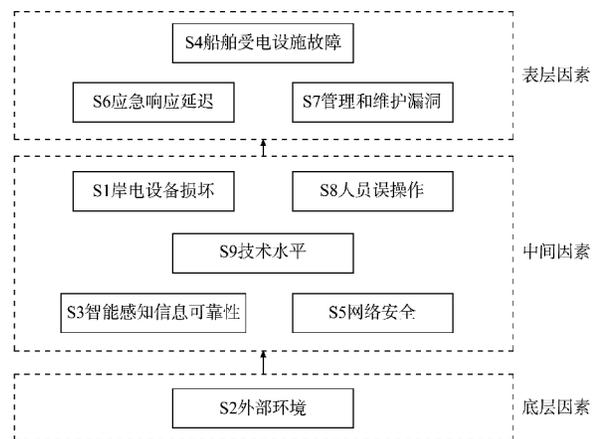


图 1 层级关系

Fig. 1 Hierarchical relationship

3.2 结果分析

根据各因素的影响度、被影响度及中心度排名和 ISM 层级关系, 研究关键影响因素。根据表 3, 可排除结果因素 S4、S6、S8、S9。

1) S3 智能感知信息可靠性在中心度和影响度中均位列第 2, 原因度位列第 1, 在 ISM 层级关系中属于底层因素, 说明智能感知信息在大水位差无人值守岸电系统为首要因素, 其可靠性是系统安全稳定运行的核心。

2) S7 管理和维护漏洞在中心度排名第 1, 原因度排名第 2, 在 ISM 层级关系中属于表层因素, 说明管理和维护漏洞在大水位差无人值守岸电系统中属于直接因素, 对该因素采取有针对性的管控措施, 能够快速有效降低岸电系统运行中的安全风险。

3) S1 岸电设备损坏在中心度和影响度排名第 3, 在 ISM 层级关系中属于中间因素。而 S5 网

络安全的中心度和影响度都较低, 在 ISM 层级关系中属于中间因素, 说明 S1、S5 通过传导作用影响到表层因素, 放大风险发生的可能性, 其中 S1 的传导作用更强。

4) S2 外部环境的中心度排名最低, 影响度也较低, 但在 ISM 层级关系中属于底层因素, 说明其作为系统安全风险的起点, 通过复杂间接路径影响中层及表层因素, 但因其影响度和中心度低, 易被风险监控忽略, 需专项长期监测。

4 大水位变幅无人值守岸电系统安全管控技术研究

4.1 基于多源信息感知融合的无人值守岸电安全管控技术

为提高系统智能感知信息的可靠性, 将无人值守岸电系统的智能监控与传感器感知信息进行融合。岸电监控由两部分组成: 系靠船墩顶部的视频监控和移动接电平台的视频监控。系统结构见图 2。

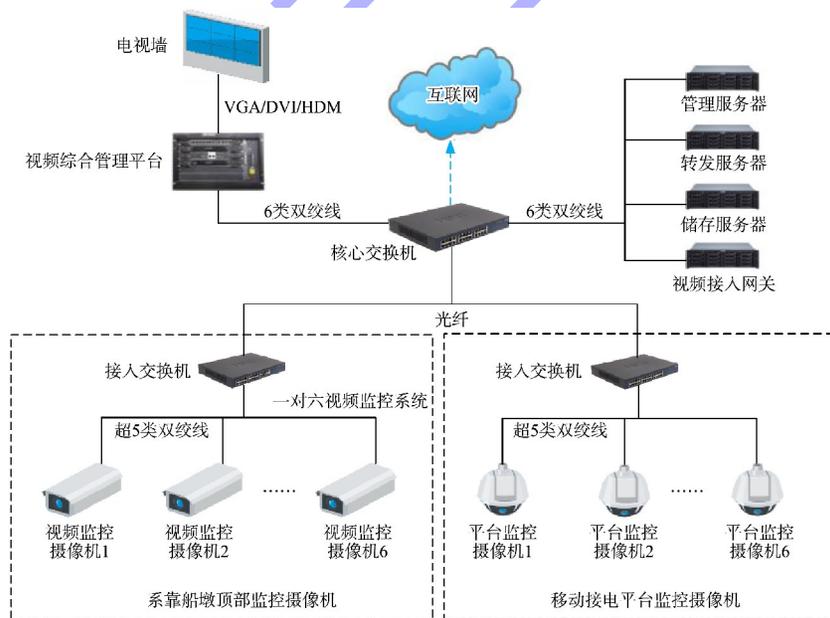


图 2 一对六智能监控系统架构

Fig. 2 Architecture of a one-to-six intelligent monitoring system

系靠船墩顶部视频监控摄像机用于监控和判别船舶停靠, 移动接电平台上视频监控摄像机用于船舶接电的安全监控, 既可以判别船员充电过程的规范性, 又可以确保提升绞车运行时移动接

电平台上无滞留人员。

传感器信息感知包括锚位处水位计, 船舶与系靠船墩之间、平台与水面、平台上升的距离传感器, 平台内部的人体红外传感器等, 见图 3。

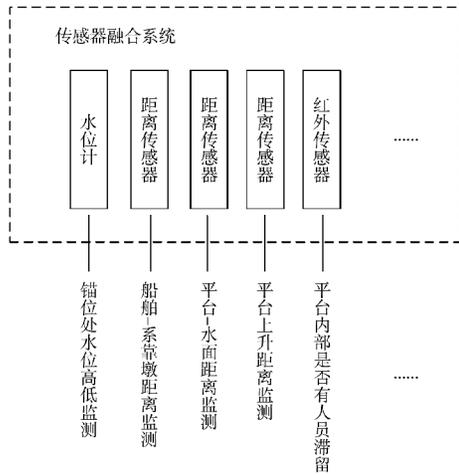
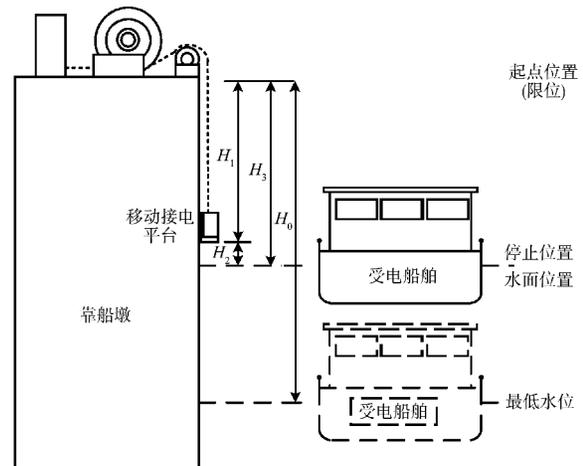


图3 传感器融合感知系统

Fig. 3 Sensor fusion perception system

智能监控系统与传感器感知信息协同作用控制移动接电平台，系靠船墩监控摄像机在检测到可疑目标后，发送控制指令使摄像机自动跟踪目标，在物体超出该摄像机监控范围之后，自动通知邻近的摄像机协同工作继续进行跟踪并发出船舶靠泊信号。在监控摄像机确认船舶靠泊后，由船方主动在手机终端上注册船舶相关信息并请求使用岸电，岸电系统将感知的水位信息输入PLC，计算生成移动接电平台的位移信息和电缆的收放量，其控制区间见图4。

移动接电平台下行过程中，由于其自重基本不变，可设定提升绞车的转矩和速度为定值，且电缆绞车收放电缆的张力与电缆收放量成正比，PLC根据电缆收放量及卷径计算电缆绞车所需转矩，变频器根据转矩控制电机输出来调整移动接电平台位置及电缆收放量，电缆绞车收放速度与提升绞车保持一致。同时，将水位信息与移动接电平台位移信息进行比较，实时控制提升绞车以调整移动接电平台的位置，当设置在移动接电平台底部的距离传感器检测到移动接电平台与水面距离达到阈值时，则移动接电平台不再下行，确保其始终处于水面以上而不被水淹。



注： H_0 为靠船墩顶部至最低水位的高度； H_1 为移动接电平台位移量； H_2 为平台距水面的高度； H_3 为靠船墩顶部至水面的高度。

图4 移动接电平台位移控制区间

Fig. 4 Displacement control range of the mobile power connection platform

上行过程控制与下行类似。但与下行控制不同的是，船舶充电完毕后，船员可以主动在手机终端上向岸电管理平台发送平台回收指令，移动接电平台内部的摄像机确认平台内部无滞留人员后，卷缆控制系统收到指令，上升回收移动接电平台。非主动情况下，平台监控系统识别到内部无滞留人员，将信息传给管理平台，管理平台下发指令岸电卷缆系统上升回收移动接电平台。移动接电平台回收流程见图5。

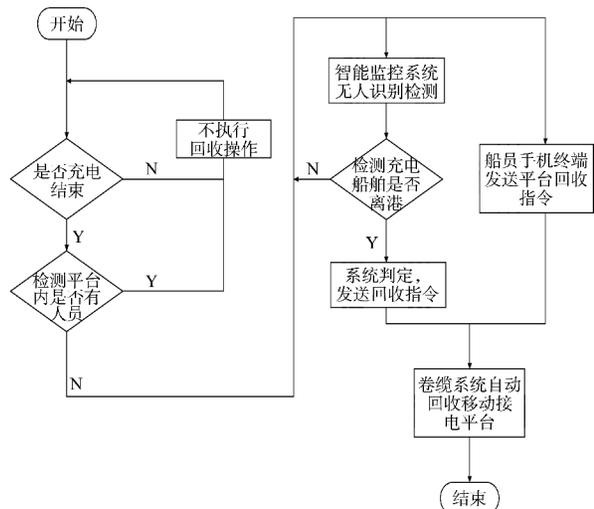


图5 无人值守模式下充电结束平台回收流程

Fig. 5 Platform recovery process after charging completion under unattended mode

4.2 岸电设备安全监测与故障诊断技术

为降低岸电设备故障(如漏电、短路等)导致安全风险升高,通过在供电设备中安装漏电保护装置、短路保护装置等降低设备故障率,在岸电系统中增加电源监测和电源保护参数设置模块,当设备出现异常(如电压过高、电流过载、温度超标等)时,及时发出声光报警,并推送报警信息至运维人员。同时,基于机器学习算法对设备故障进行诊断,系统根据诊断结果自动采取隔离故障设备、切换备用设备等措施,实现故障自愈。

4.3 船-岸通信网络架构及信息采集与交互技术

为提高岸电系统通信网络安全性,针对每个

泊位的岸电设施结构复杂、监测内容较多且范围有限等特点,船-岸对接采用无线通信,用电数据则通过光纤网络上送岸电的运营中心进行数据的统一管理。各类岸电设备通过其固有的通信协议接入网络,进行数据交互与通信。船舶-岸电管理系统-移动接电平台之间的通信网络为CS(Client-Server)架构,电脑网页/电脑客户端/微信小程序作为客户端(Client),岸电管理平台作为信息管理平台与控制端(Server),移动接电平台与岸电卷缆系统作为受控端(Server)。通过网络通信实现客户端与控制端的数据通信,见图6。

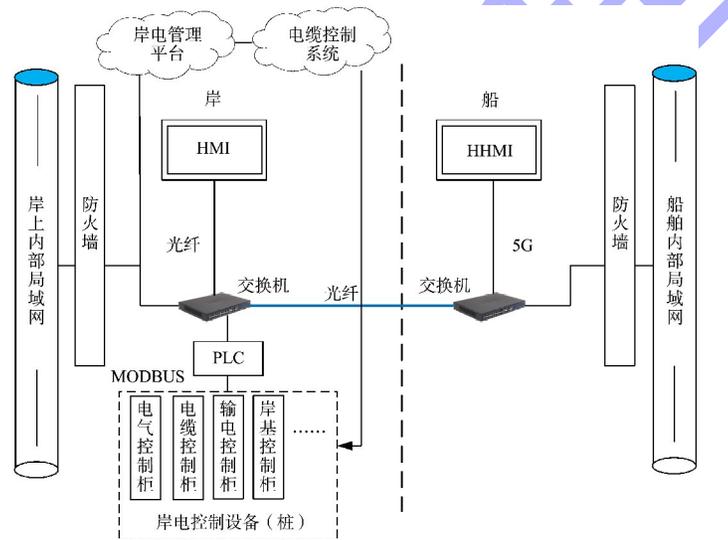


图6 船-岸数据通信

Fig. 6 Ship-shore data communication

锚地内监测数据类型多样,船-岸信息交互较多,通信协议也各不相同,包括船-岸无线通信、监控系统-管理平台光纤通信等,主要通信方式见表6。

表6 部分接口对象和通信方式

Tab. 6 Partial interface objects and communication methods

接口对象	通信方式
船-岸无线通信	IEC/ISO/IEEE 规约
远程监控-岸电设备	PROFINEN 通信
PLC-岸电设备	MODBUS 通信
监控系统-管理平台	光纤网络通信
传感器-数据采集系统	RS485, MODBUS

4.4 岸电系统设备设施温度自动监测技术

整个装置位于岸边并处于室外环境,对岸电设备运行影响最大的因素为外部环境温湿度过高,以及风速过大引发的移动接电平台故障,因此需要监测外部环境的温度、湿度、风速等指标。通过对岸电设备运行时的温湿度进行实时智能感知,感知信息经由无线传输方式反馈至岸电系统。当温度过高时,控制小风扇或空调进行降温;当湿度过高时,控制空调进行抽湿,使得岸电箱和控制柜的温度和湿度始终处于安全区间。同时,系统预设温度监测阈值,一旦数值超出阈值,将立

即触发温度异常报警信号,提醒运维人员及时关注设施状态,防范火灾风险,保障无人值守岸电系统安全稳定运行。

为防止大风导致接电平台剧烈摇晃引发安全事故,在靠船墩顶部设置风向风速检测仪,并将所测风速数据引入控制系统,在风速超过6级时设置超风速断电保护。

4.5 系统管理与运维措施

项目建成后,需在试运行阶段明确岸电设备的隐患排查清单及隐患排查人员、流程、频次,通过系统定时推送等方式定期开展隐患排查。此外,应联合岸电设备厂商,共同编制使用岸电操作规程及岸电设备维护手册。

5 结语

1) 智能感知信息可靠性作为影响系统安全的核心因素,需要多种感知信息进行协同作用,提高系统的决策准确性,从而通过船员自助操作实现设备安全收放。

2) 外部环境作为影响系统安全的底层因素,通过复杂间接路径影响整个系统,需对其进行长期监测,以确保设备设施长期处于安全、稳定的环境。

3) 系统管理与运维漏洞作为影响系统安全的表层因素,需对其实施针对性的定期检查和维护,以此快速有效降低岸电系统运行中的安全风险。

4) 岸电设备损坏、网络安全作为影响系统安全的重要传导因素,会放大系统安全风险,需要通过为岸电设备加装保护装置、采用稳定可靠的网络通讯技术等措施,确保系统安全。

参考文献:

[1] 张晶,常征,亓学庆,等.面向能源互联网的船舶岸电系统研究综述[J].分布式能源,2018,3(2):1-8.

- ZHANG J, CHANG Z, QI X Q, et al. Review of shore power supply for vessels system for energy internet[J]. Distributed energy, 2018, 3(2): 1-8.
- [2] 戴添荣.船舶岸电建设简析[J].现代工业经济和信息化,2019,9(12):52-53.
- DAI T R. Analysis of shore power construction of ships[J]. Modern industrial economy and informationization, 2019, 9(12): 52-53.
- [3] 张圣超.船舶港口岸电技术及其应用[J].科技风,2020(3):249.
- ZHANG S C. Ship port shore power technology and its application[J]. Technology wind, 2020(3): 249.
- [4] 刘坤,彭宏恺.内河港口船舶岸电系统应用研究[C]//中国航海学会,2019年海事管理学术年会论文集.北京:中国航海学会,2019:58-62.
- LIU S, PENG H K. Research on application of ship shore power system in inland ports [C]//Chinese Society of Navigation. Proceedings of 2019 Maritime Management Academic Annual Conference. Beijing: Chinese Society of Navigation, 2019: 58-62.
- [5] 田鑫,杨柳,才志远,等.船用岸电技术国内外发展综述[J].智能电网,2014,2(11):9-14.
- TIAN X, YANG L, CAI Z Y, et al. Summary of development of on-shore power supply for vessels technology in China and abroad [J]. Smart grid, 2014, 2(11): 9-14.
- [6] 王新平,林科,丁凤霞,等.制约船舶码头岸电使用率提升的影响因素分析和策略[J].水运工程,2024(1):36-41.
- WANG X P, LIN K, DING F X, et al. Analysis of factors restricting improvement of shore power utilization at ship terminals and suggested strategies [J]. Port & waterway engineering, 2024(1): 36-41.
- [7] 陈浪.复杂运营模式下的船舶岸电系统应用[J].中国港湾建设,2025,45(4):42-48.
- CHEN L. Application of ship-to-shore power systems in complex operation modes [J]. China harbour engineering, 2025, 45(4): 42-48.

- [8] 李志琦. 三峡坝上岸电技术应用浅析[J]. 中国水运, 2025(7): 69-71.
LI Z Q. Analysis on the application of shore power technology in Three Gorges Dam [J]. China water transport, 2025(7): 69-71.
- [9] 陈轩, 陈仲盛. 直立式岸电设施接电箱升降装置设计[J]. 水运工程, 2022(9): 75-79.
CHEN X, CHEN Z S. Design for lifting device of connection box in upright shore-to-ship power supply system [J]. Port & waterway engineering, 2022 (9): 75-79.
- [10] 钱勇生. 基于F值评分法的新能源汽车公共充电设施安全风险评估[J]. 电器与能效管理技术, 2024(12): 63-68.
QIAN Y S. Safety risk assessment of public charging infrastructure for new energy vehicles based on F-score scoring method [J]. Electrical & energy management technology, 2024(12): 63-68.
- [11] 石锦献. 充电场站安全提升路径探讨[J]. 安全、健康和环境, 2025, 25(4): 82-86.
SHI J X. Discussion on safe upgrading path of charging station [J]. Safety health & environment, 2025, 25(4): 82-86.
- [12] 宋伟. 电动汽车充电一体化安全预警防护体系研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2018.
SONG W. Research on integrated safety early warning and protection system for electric vehicle charging [D]. Nanjing: Nanjing University of Posts and Telecommunications, 2018.
- [13] 王青娥, 荆浩飞, 郭珍旭, 等. 基于DEMATEL-ISM-BN的重大建设工程技术创新成果转化风险预警模型[J]. 铁道科学与工程学报, 2025, 22(3): 1315-1327.
WANG Q E, JING H F, GUO Z X, et al. Risk early warning model of technological innovation achievements transformation in major construction projects based on DEMATEL-ISM-BN [J]. Journal of railway science and engineering, 2025, 22(3): 1315-1327.
- [14] 邓媛媛, 杜倩, 向潮波, 等. 基于DEMATEL-ISM对多主体高速公路项目利益冲突影响因素研究[J]. 工程管理学报, 2024, 38(5): 81-86.
DENG Y Y, DU Q, XIANG C B, et al. Research on the influence factors of conflict of interest in multi-stakeholders highway projects based on DEMATEL-ISM [J]. Journal of engineering management, 2024, 38(5): 81-86.
- [15] 罗凤娥, 杨思瀚, 卫昌波, 等. 基于AHP-DEMATEL-ISM的航司安全风险因素研究[J]. 舰船电子工程, 2024, 44(9): 105-111.
LUO F E, YANG S H, WEI C B, et al. Research on risk factors of airline safety based on AHP-DEMATEL-ISM [J]. Ship electronic engineering, 2024, 44 (9): 105-111.
- [16] 杨威, 叶君文. 基于DEMATEL-ISM模型的有限空间事故风险分析[J]. 工业安全与环保, 2025, 51(5): 35-39.
YANG W, YE J W. Risk analysis of confined space accidents based on DEMATEL-ISM model [J]. Industrial safety and environmental protection, 2025, 51(5): 35-39.
- [17] 张振华, 杜兆文, 陈学华. 基于DEMATEL-ISM的深部矿山充填管道磨损风险影响因素分析[J]. 矿业研究与开发, 2025, 45(2): 9-16.
ZHANG Z H, DU Z W, CHEN X H. Analysis on influencing factors of filling pipelines wearing in deep mine based on DEMATEL-ISM [J]. Mining research and development, 2025, 45(2): 9-16.

(本文编辑 王传瑜)