

基于电子预警系统的海上风电场 海缆防护措施研究与应用

高亚武, 郝林, 李鑫

(南通海事局, 江苏南通 226002)

摘要: 海底电缆是海上风电场的生命线, 一旦有任何损坏, 将给风电场的运行发电带来不可估量损失。鉴于传统方法在海上风电场海底电缆防护方面的不足, 本文结合如东海上风电场 220KV 主海缆的实际情况, 提出一种基于电子预警系统的海缆防护系统, 与值班监控、现场警戒、专用航标相辅相成, 全面提升海上风电场海缆安全防护的本质水平。

关键词: 电子预警; 海上风电场; 海缆; 防护措施

中图分类号: TM614 **文献标识码:** A

文章编号: 1006—7973 (2023) 01—0058—03

当前, 如东沿海已建成并网 16 座风电场, 装机容量 483 万千瓦。在整个风电场运行结构中, 海底电缆发挥了生命线和大动脉作用, 同时扮演着“血管”和“神经”的角色, 除了汇集、传输电能外, 其内部还有光纤单元, 作为风电场通信及海缆监测信号的通道。由于海缆敷设距离长且缺乏有效的防范措施, 如东海上风电场 220 千伏主海缆集中廊道内经常有渔船或其他船舶随意下锚、停泊, 导致海缆被破坏事故多次发生。据初步统计, 仅 2021 年下半年, 如东沿海风电场已发生海缆锚害事故超过 5 起, 直接损失已超过 5000 万元, 综合考

虑电量损失、修复施工费用等间接损失, 风电场整体经济损失已超亿元。为适应海底电缆保护和海上风电高质量发展的要求, 急需研究推行海底电缆的电子预警系统、配套管理手段等新型智慧防护措施。

1 系统设计

如东沿海的华能、国信、三峡、国电投、中广核、苏交控、协鑫等海上风电场, 从 220KV 海上升压站至陆上集控中心的主海缆 (包括海底电缆和光缆) 均为集中敷设, 且陆上集控中心均建设于如东县小洋口 (见图

表 9 三峡通航 e 站评价指标权重及排序

目标层 A	准则层 B	权重	方案层 C	权重	最终权重	排序
三峡通航 e 站小程序评价指标	信息内容 B1	0.67	更新速度 C1	0.59	0.395	1
			内容广度 C2	0.21	0.141	2
			形式多样 C3	0.12	0.080	4
			线上线下结合度 C4	0.07	0.047	5
	功能建设 B2	0.19	信息公开 C5	0.50	0.095	3
			在线搜索 C6	0.21	0.040	7
			评价留言 C7	0.15	0.029	8
			程序链接 C8	0.12	0.023	9
			在线办理 C9	0.08	0.015	11
	程序设计 B3	0.08	程序稳定 C10	0.53	0.042	6
			程序安全 C11	0.26	0.021	10
			查询准确 C12	0.15	0.012	12
			程序便捷 C13	0.06	0.005	13

4 结果分析和展望

从三峡通航 e 站小程序指标评价结果可以看出, 船方用户比较注重更新速度、内容广度和信息公开三个方

面的内容, 特别是更新速度。及时了解各种通航信息有助于船方掌握通航状态, 为船舶过闸做好准备以及采取相应的应变措施, 是船方特别关心的问题。发展建议, 在信息内容方面, 三峡通航 e 站要及时更新相关通航信息, 为船方提供最新、最全、可靠的通航信息; 在功能建设方面, 三峡通航 e 站要做好各类信息的公开公示; 在程序设计方面, 三峡通航 e 站要做好实时维护, 提高程序的稳定性。

参考文献:

[1] 杜栋. 综合评价指标体系的“通用型”构建 [C]// 中国系统工程学会决策科学专业委员会学术年会. 中国系统工程学会, 2011.

[2] 魏红梅. 层次分析法在高校图书馆网站评价中的应用 [J]. 现代图书情报技术, 2005, 21(10):74-76.

[3] 张澍雅. 基于层次分析法的综合档案馆网站评价指标体系探析 [J]. 档案与建设, 2018, 000(009):39-43.

1), 该主海缆廊道长度 36 海里, 最远端离岸 25 海里。

鉴于如东海上风电场海缆路由为集中布置, 间距较小, 为减少重复性投资, 按照“共建、共享、共赢”的原则, 如东海上风电产业发展指挥部协调相关风电场业主单位共同委托专业机构江苏海宇公司建设并运营海底电缆安全防护电子预警系统。该系统以前端感知系统和预警监控平台为手段, 以航标灯浮和管线标示警设备为先导, 以陆岸监控服务中心、现场警戒船舶为核心, 对 220KV 主海缆集中廊道周边及过往船舶进行 24 小时实时监控, 当过往船只出现锚泊等威胁主海缆安全的趋势时, 及时向其发出警告并采取措施进行驱离, 避免主海缆受锚迫害, 为主海缆安全运行提供重要保障。



图 1 如东海上风电场 220KV 主海缆路由示意图

2 系统原理

海底电缆安全防护电子预警系统是基于海陆空天采集端的信息感知探测设备采集现场实时数据, 通过传输端将现场实时信息数据传输至陆基监控中心后台服务器上并存储, 利用大数据、云计算及人工智能分析等手段, 对采集的信息数据集成至客户端海底电缆安全预警监控平台上, 并由陆基监控中心值班人员调度指挥现场人员进行专用船/无人艇巡航警戒维护驱离、无人机巡视, 实现如东海上风电场主海缆区域安全动态信息“一网掌控”的现代化安全预警监控系统(见图 2)。该系统主要由前端感知系统、预警监控平台、24h 监控中心、现场警戒力量、协同服务支撑等部分构成。

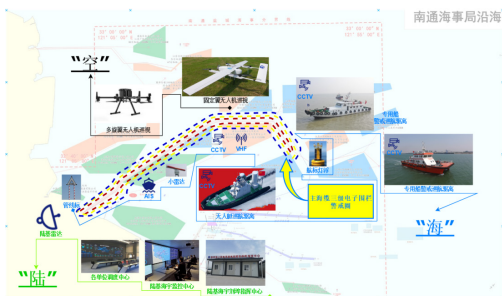


图 2 海缆安全防护电子预警系统立体监控框架图

3 系统组成

3.1 前端感知子系统

一是 AIS 子系统。在主海缆区域附近的海上风电场升压站上布设 3 套 AIS 基站, 并向船讯网购买南通沿海区域的所有船舶 AIS 数据, 获取船舶的动静态信息。二是雷达子系统。在主海缆区域附近的海上风电场选择两个点各建设 1 套雷达站, 完成对主海缆区域水面所有船舶目标的主动探测, 并将 VTS 雷达信号接入, 获取南通沿海海域的所有目标动态。三是视频监控子系统。在主海缆区域附近的海上风电场风机上部署 20 套 CCTV 视频监控设备, 实现对主海缆区域的过往船舶实时动态监测, 并实现与 AIS、雷达进行联动。四是甚高频通信系统。将附近升压站上已建的 VHF 基站接至 VHF 通信系统中, 实现 VHF 语音通信信息及报警信息的自动采集及推送。五是航标灯浮/管线标示警设备。在主海缆区域的关键点处设置航标灯浮, 用以标示海底电缆的位置, 并在主海缆上岸位置处设置管线标, 船舶驾驶人员可根据航标灯浮/管线标的颜色、闪光、AIS 显示屏显示来视觉识别, 也可根据航标上的音响来听觉识别。六是卫星通信子系统。在专用船和无人艇上各部署 1 套卫星通信子系统, 通过卫星链路实现各传感器信号传输至海宇监控中心, 并在预警监控平台实时显示, 实现对主海缆区域水上态势的监测。七是数据共享子系统。在海上风电场、监控中心及监管部门各部署 1 套三层交换机, 实现前端数据及系统内部数据的传输、对外交互和安全访问控制。

3.2 预警监控平台

预警监控平台, 是以前端感知设备采集的信息数据为基础, 运用位置感知、视频监控、移动互联、智能分析等手段, 将主海缆区域的过往船舶信息、人员信息集成为一体, 进而实现主海缆区域过往船舶和主海缆本体动态实时监控预警的综合服务平台。主要有中心数据融合子系统、信息管理子系统、显控子系统、电子围栏子系统、记录回放子系统组成。

其中, 电子围栏子系统是在主海缆监测区域绘制电子围栏, 主海缆外围分别 500m、1000m、1500m 处分别设置电子围栏红、黄、蓝三级警戒圈, 进入第一级警戒圈的违规船舶, 使用 AIS 系统自动预警; 进入第二级警戒圈的违规船舶, 启动 VHF 自动语音报警通知; 进入第三级警戒圈的违规船舶, 可自动触发监控中心的声光报警器警告。在监控平台管理界面, 对部分船舶进行白名单和黑名单的开设管理, 对警告船舶进行处理, 实现目标动态操作与显示、目标标会、目标查询、目标报警

及记录信息回放等功能（见图3）。

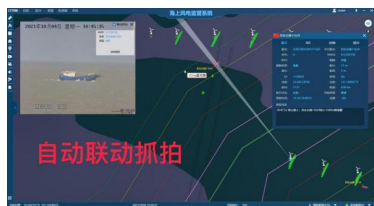


图3 预警监控平台对电子围栏报警船舶进行视频查看

4 配套管理措施

4.1 值班监控中心

作为海上风电场海底电缆安全体系的中枢控制模块，配备专门人员，开展24小时不间断值守，掌握主海缆区域内船舶航行、停泊、作业情况，实施船舶动态监控，及时辨别可能影响主海缆安全的因素，提供安全建议和警示提醒；建立安全预警监控系统运行管理制度，定期开展海底电缆安全预警监控系统设备巡查、维修和保养，及时排查故障和修复，确保系统正常使用。

4.2 现场警戒力量

现场警戒力量主要有三类，第一类为专用船警戒巡视，在主海缆区域附近常态化24小时部署专用船日常警戒巡视，同时配备通信系统、视频监控、水面救生、远程喊话和声光报警等设备。第二类为无人船巡查，最高航速40节，搭载高清三轴稳定云台图像取证系统，可实现白天8公里（夜间4公里）范围目标跟踪监控，搭载声光驱逐设备，覆盖范围1.5公里。第三类为无人机巡视，使用油电混合动力系统的垂直起降固定翼无人机，通过其携带的采集端30倍变焦、远距红外摄像可见光吊舱，根据事先设定好的程序进行自主飞行，对主海缆区域现场实时画面进行高清采集，实现150公里距离的远程实时传输；使用大疆无人机，图传距离15公里，可在专用交通船上进行定点起飞降落，对主海缆定点区域进行定位精准巡视。

4.3 定期埋深扫测

利用交通船、无人船搭载的浅剖或合成孔径等海缆路由专用水下扫测设备，定期对主海缆区域进行扫测采集数据，然后使用专用软件对扫测的数据进行处理，判定并在图上拾取海缆的平面位置和埋设深度，形成软件成图，与已有的施工坐标进行比对、分析和确认，最终形成海缆埋深情况检测报告和海缆埋深图，以此来评估海缆在海底的风险和运行的稳定性。

4.4 协同服务支撑

监控中心主动配合属地政府、海事、海警、农业农村等部门的专项整治和执法检查，通过张挂宣传横幅、

发布宣传画册和宣传片、开展安全教育培训，以及网络、微信等途径，全面营造船舶远离海缆的良好氛围。同时，利用前端感知系统，对停留在主海缆区域的船舶进行取证处理，并及时向风电业主单位通报潜在风险。

5 应用成效

目前，海底电缆安全防护电子预警系统已在如东沿海风电场开始运用。根据各业主单位反映，通过应用海缆防护预警系统，近期在主海缆集中廊道内的船舶明显少了，海缆锚害事故也明显下降了，其成效主要包括经济效益和社会效益两个方面。

在经济效益方面，有效提高了海缆前端信息自主感知能力，减少了信息人为搜集的成本；在一定程度上提升了海缆维护信息化水平，及时对海缆监测发现的问题进行排查、维护，提高了维护资源的利用率，大幅减少了海缆的维护成本。同时，还明显降低了海缆锚害等事故发生概率，减少海缆修复、风电场停产停电等经济损失，经济效益显著。

在社会效益方面，全面提升如东海上风电场主海缆集中廊道自主安全保障能力与维护水平，保障海缆安全运行，有效提供风电业主单位满意度；可协助海事、海警等部门对主海缆区域进行安全监管，配合联合执法，当发生船舶与海缆安全事故时，提供相关佐证记录；海底电缆防护管理水平的提高，在一定程度上也表明风电场业主单位依法采取了有效措施，是全面深化落实安全主体责任的具体表现。

6 结束语

海底电缆是海上风电场安全运行的生命线，海缆防护是海上风电场建设运行的重要组成部分，其效果将直接影响风电场的运维成本。本文介绍了海缆防护预警系统的设计、构成、运行及相关配套管理措施，如东海上风电场运用该系统在海底电缆保护中取得了明显成效，风电企业和相关部门也给予了认可。应该说，海缆防护预警系统极大补充了现有风电场海缆的保护管理方式，实用性较强，有效帮助了风电企业落实安全主体责任。

参考文献：

- [1] 薛建军, 施裕, 郝林. 南通海上风电施工运维现状分析及对策建议[J]. 江苏航海学会. 2019(4): 41-43.
- [2] 刘建业, 郝林, 刘立春. 刍议如东海上风电运维安全突出问题及对策[J]. 江苏海事论坛. 2022(2): 86-87.