

# 基于电子围栏及声光预警系统的海上风电场安全保障方法研究

孙敬东<sup>1</sup>, 钟庆云<sup>2</sup>, 邓巍<sup>2</sup>

(1. 江苏海事局后勤管理中心, 江苏 南京 210008; 2. 武汉欣海远航科技研发有限公司, 湖北 武汉 430063)

**摘要:** 鉴于传统方法在海上风电场安全保障方面的不足, 通过研读国内外文献并实地考察的基础上, 提出一种电子围栏及声光预警系统方法, 实现低能见度下对风电场附近船舶进行跟踪并预警报警, 与传统导助航航标相辅相成, 共同提高以海上风电场为核心的沿海与近海航运安全保障水平。

**关键词:** 海上风电场; 安全保障; 电子围栏; 声光预警

**中图分类号:** U698 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2020) 05—0060—04

## 1 引言

随着我国海上风电场建设项目的快速推进和发展, 海上风电建设与生产过程中暴露出来的安全保障、海事监管等问题逐渐增多。海上风电项目建设和营运的周期都比较长, 对风电水域及其周边区域船舶的通航都有明显的影响。

海上风电场作为海上面积较大的碍航物, 对附近航道、锚地、航线、码头、航路规划以及船舶航行、渔船捕鱼等均产生一定影响<sup>[1]</sup>, 且海上风电场在运行过程中, 会产生电磁波, 对船舶导助航设施也会产生一定影响。

关于风电场安全和管理问题, 李道科等<sup>[2]</sup>应用专家调查与预先危险性分析法(PHA)相结合的方法, 对福建海上风电场规划场址和储备场址与航运现状、规划发展适应性进行了分析研究; 元国凯等<sup>[3]</sup>应用风险管理理论, 针对海上风电场建设中的基础施工、风机安装、海缆敷设、升压站施工等主体工程, 进行风险的识别、分析并提出相应的控制措施; 纪宁毅等<sup>[4]</sup>通过HAZID/HAZOP分析的方式, 对海上风电建设施工期中各个环节进行了风险点的识别与控制; 沈思曦等<sup>[5]</sup>设计一种基于船舶自动识别系统(AIS)和地理信息系统(GIS)的海上风电场船舶监控系统, 将目标船舶显示在GIS地图上, 对其进行实时监控; 孙菲等<sup>[6]</sup>基于实际拟建的海上风电项目和现役海军雷达装备, 通过电磁仿真建模定量分析雷达天线辐射场及海上目标散射场通过风电场后, 其分布特性受风电场的影响程度; 由此看来, 目前国内外大多数学者从海上风电场施工期和运维期角度进行安全方面的研究, 多数都是侧重于影响风电场的风险因素<sup>[7]</sup>, 而在风电场周边船舶航行安全保障方面的研究较少, 特别是如何解决大雾等低能见度条件下风电场施工船舶及周边船舶的通航安全, 以及如何从被动预警转变为主动且有目的性的预警方面, 尚且研究不足。

结合上述分析可知, 目前海上风电场施工建设阶段及营运阶段均存在一定的安全保障问题, 包括风电场及施工运维人员的安全保障、施工及运维船舶的安全保障以及风电场附近水域通航船舶的安全保障。传统的安全保障方法, 即在风

电场水域配布航标、灯桩等难以对靠近风电场或穿越风电场区的部分船舶起到有效警示及驱离作用, 且传统的保障方法只能被动地警示, 难以主动地预警。因此, 从风电场以及附近船舶通航安全的角度出发, 采用智能化、信息化手段进行风电场水域的安全监管与保障, 可以与风电场航标相辅相成, 也是对传统航标在警示和驱离误入船舶领域的补充, 起到共同保障风电场施工及船舶通航安全的作用。

## 2 海上风电场概况

### 2.1 海上风电场构成

海上风电场是一个系统的工程。一个典型的海上风电场一般包括如下的组成部分:

- (1) 海上测风塔设施;
- (2) 海上风力发电单元: 包括海上发电机组、配套设施(塔筒、支撑结构、基础);
- (3) 海上升压站;
- (4) 海底电力传输系统; 主要包括海底电缆及相应的电缆保护(跨院)装置;
- (5) 陆上终端: 主要包括陆上岸基的变电站或者集控中心。



图1 近海风电场开发构成要素

海上风力发电机组及海上升压站作为海上风电场最核心的构成要素, 其组成如图2所示:

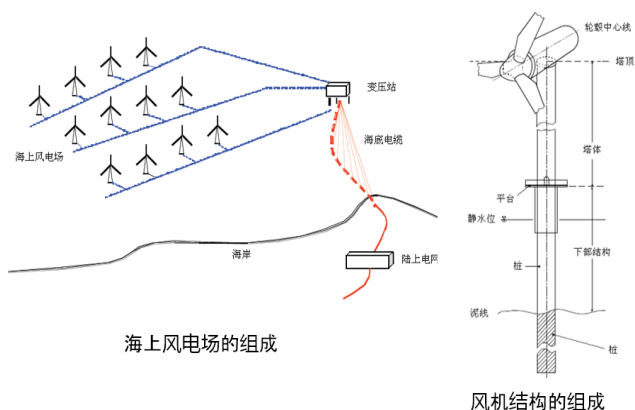


图2 海上风电场核心要素组成

## 2.2 海上风电场分类

海上风电场根据所在水域特点一般分为三类：潮间带和潮下带滩涂风电场、近海风电场、深海风电场。

**潮间带和潮下带滩涂风电场：**多年平均大潮高潮平均线以下至理论值最低潮位以下 5m 深内的海域。

**近海风电场：**理论最低潮位以下 5—50m 水深内的海域含无人岛以及海礁。

**深海风电场：**理论最低潮位以下 50m 水深的海域，含无人岛以及海礁。

## 3 海上风电场安全保障需求分析

江苏作为沿海地区风能资源最为突出的省市，风功率密度高，发电量多，是建设风电场的优良地区<sup>[8]</sup>。本文在编写之前，实地走访江苏沿海多家风电企业，实地考察后发现，江苏沿海主要风电建设企业都有一整套监控风机和海底电缆运转的系统，部分风机上安装了 CCTV 和 AIS，但 CCTV 主要用来监控风机内部设施，而一般不会用来监控过往船舶，AIS 仅安装在风电场四个角点的风机塔筒平台上，对于较大范围的风电场而言，安全保障效果有限。在此背景条件下，海上风电场安全监管及保障需求总结如下：

(1) 风机、海上升压站上需配备一定数量的 AIS、CCTV、雷达以及 VHF 等设施设备，其信号应能传输至岸上值班室以及主管机关，并保持有效开启和正常使用。

(2) 风机（特别是外围风机）、海上升压站、海底电缆缺少对附近船舶（包括施工船舶、运维船舶、附近航行船舶（渔船、靠近风电场船舶））的有效监控和预警。例如：能够监控到靠近风电场船舶的航行动态，若相对距离过近，进行警示或报警，提醒过往船舶绕行或驶离。

(3) 在施工建设阶段和运营维护阶段缺少有效的通讯联络设施或系统，单凭现有的 VHF、手机设备不能保障船-船、船-岸之间的有效沟通。

(4) 风机（特别是外围风机）、海上升压站上可配备一定数量的远程强声扩音设备，以提醒或驱离附近无关船舶。在海上风电场施工建设阶段，若施工船舶 VHF、手机等无法

有效使用，对于近距离的船舶也可通过远程强声扩音设备进行沟通。

海上风电场的电子围栏及声光预警系统，恰恰利用雷达、AIS、CCTV 等传感器采集现场信息，实现全方位监控，并利用声光报警设备实现有船舶闯入风电预警区域及时预警，实现电子海图显示平台、三维视景显示平台、风电水域智能监控和辅助决策等功能，与目前海上风电场安全保障需求不谋而合。2019 年 12 月，《连云港海事局海上风电海事监管暂行办法》<sup>[9]</sup> 公布施行，也首次提出将电子围栏在海上风电安全监管广泛应用的思想。

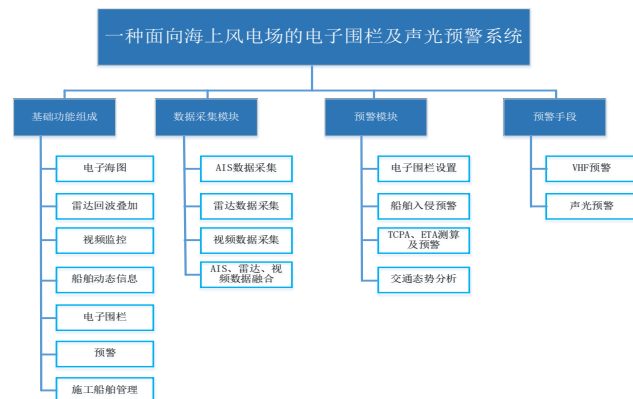


图3 海上风电场安全保障系统方法功能模块

## 4 电子围栏及声光预警系统方法

风电水域电子围栏及声光预警系统是为风电水域的船舶交通安全监控、预警和维护提供解决方案。该系统旨在通过采用信息化手段，为风电场施工及营运进行安全保障，在保障风电场安全的同时保障航行于风电场附近水域船舶的通航安全。

### 4.1 该系统包括

- (1) 海上风电场多功能电子围栏和警戒方法；
- (2) 海上风电场施工 / 维护船舶一体化安全保障方法。

### 4.2 其中海上风电场多功能电子围栏和警戒方法包括

- (1) 虚拟电子围栏和施工船舶警戒区的建立
- (2) AIS, 雷达, CCTV 数据源的融合
- (3) 预警方法

### 4.3 海上风电场施工 / 维护船舶一体化安全保障方法包括

- (1) 地图可视化显示
- (2) 船舶动态实时跟踪及交通组织系统
- (3) 虚拟警示引导系统
- (4) CCTV 系统
- (5) 雷达目标跟踪和预警系统
- (6) 人员动态跟踪、显示与失踪预警系统

### 4.4 风电水域电子围栏及声光预警系统优点

- (1) 综合数据采集：利用雷达、AIS、CCTV 等传感器采集现场信息，实现全方位监控；
- (2) 及时发现目标进行预警：利用声光报警设备实现有

船舶闯入风电预警区域时及时预警；

(3) 网络通信：在风电已有光纤通信网络的基础上，建立自主的覆盖整个监控区域的无线网络，并能利用运营商的商用网络进行补充通信；

(4) 统一调度：融合 VHF、单边带短波电台、IP 话机、移动电话等通信系统，实现监控中心、巡逻船、办公网络等各个工作岗位基于 IP 的无缝调度和统一通信，并能实现对预警船舶的自动呼叫；

(5) 综合展现：实现电子海图显示平台、三维视景显示平台、风电水域智能监控和辅助决策等功能，为风电水域监控和遇险应急指挥提供一个基础数据平台，形成一个高度直观、智能化的监控三维地理信息系统；

(6) 数据交换：实现传感器数据、业务管理数据等在风电智慧大平台、第三方应用系统进行数据过滤、接口和交换。

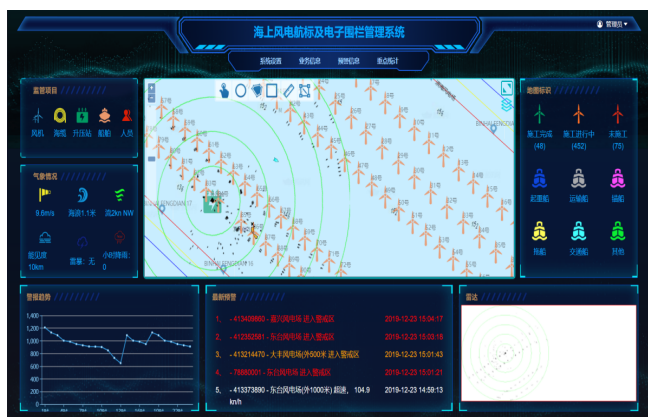


图 4 风电水域电子围栏及声光预警系统平台示意图

## 4.5 三级预警报警功能实现

### 4.5.1 三级预警报警流程

风电场三级预警报警流程如图 5 所示。

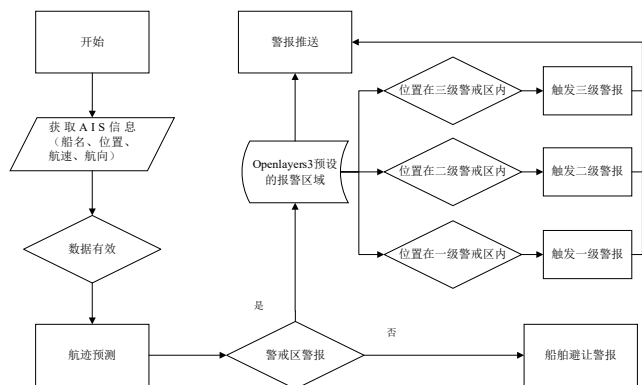


图 5 风电场三级预警报警流程图

### 4.5.2 三级预警报警机制

三级预警报警机制如下：当有船舶穿过蓝色预警线时，雷达和 AIS 系统捕捉到船舶信息，VHF 甚高频电台发出“某某船舶闯入施工水域”的语音播报信息，提醒船舶尽快驶离施工水域；当船舶继续航行穿过黄色预警线时，自动触发预警系统，警示船舶驶离施工水域；当船舶未听劝阻，继续航

行穿过红色预警线时，需人为干预驱离船舶，同时，CCTV 系统开启，跟踪监控船舶航行动态。红黄蓝三级预警线间距设置以及触发形式，可根据实际运行情况进行调整，如图 6 所示。

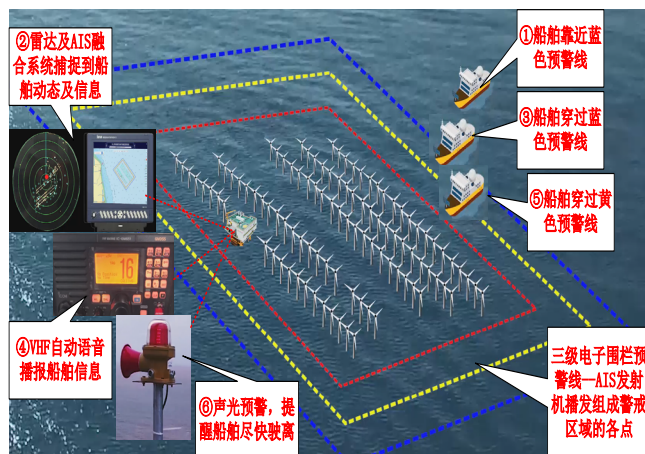


图 6 风电场三级预警报警反应图

面向海上风电场的电子围栏及声光预警系统，与现有技术相比具备以下有益效果：

(1) 利用雷达、AIS、CCTV 等传感器采集现场信息，实现全方位监控，并利用声光报警设备实现有船舶闯入风电预警区域时及时预警，与实物风电水域警示标志相比较，不占用通航水域，不影响视觉瞭望，避免了实物警示标志安装施工难度大、费用高和维护困难等问题。

(2) 传统的航标配布方案难以对靠近风电场或穿越风电场区的部分船舶难以起到有效警示及驱离作用，从风电企业运营安全、便于监管以及减少水上交通事故的角度出发，配备带有多级预警的电子围栏及声光预警系统可以与风电场航标工程相辅相成，也是对传统航标工程在警示和驱离误入船舶领域的补充，起到共同保障风电场施工及船舶安全的作用。

(3) 海上风电场周边交通环境复杂，附近通航船舶存在误入风电场，发生损坏海缆以及与风机、施工船舶、运维船舶等发生碰撞的安全隐患，特别是“三无”船舶及部分未开启 AIS 船舶，仅凭 AIS 系统很难捕捉，电子围栏及声光预警系统将 AIS、雷达、CCTV、VHF、声光预警设备等进行融合，其设置可以有效捕捉、预警、呼叫、驱离所有误入船舶，有效地保障船舶通航安全以及风电场施工及营运安全。

## 5 结语

本文提出一种电子围栏及声光预警系统方法，作为在海上风电场安全保障方面应用的探索。

一方面，可将 AIS、雷达、CCTV、VHF、声光报警器等融合于一体，弥补了海上风电场传统安全保障方法在低能见度下安全保障效果较差以及主动预警报警方面的不足；

另一方面，电子围栏及声光预警系统是对已有成熟技术与设备的融合，技术层面没有壁垒，可以达到预期保障效果，值得推广。



# 基于证据理论的长江江苏段引航安全评价研究

符建华, 李进

(长江引航中心南京引航站, 江苏南京 210015)

**摘要:** 目前, 长江江苏段黄金水道功能得到充分发挥, 船舶通航密度不断增加, 通航环境愈加复杂, 船舶引航安全面临越来越大的压力与挑战。因此, 本文基于证据理论(D-S)构建安全评价模型, 对长江江苏段引航安全状况进行评估分析, 以减少引航事故, 提高引航安全。

**关键词:** 长江江苏段; 船舶引航; 证据理论; 安全评价

**中图分类号:** U675.98

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006—7973 (2020) 05—0063—03

## 1 引言

目前, 随着一带一路、长江经济带、长三角区域一体化等战略的实施, 长江江苏段黄金水道的能力得到充分发挥, 进江海船越来越多, 通航密度愈加增大, 通航环境愈加复杂, 同时船舶引航风险也越来越大。虽然在海事及引航等部门的努力下, 引航事故呈逐年降低趋势, 但依然时有发生, 带来了严重的损失。鉴于此, 为了减少引航事故, 本文基于D-S证据理论建立引航安全评价模型, 分析长江江苏段引航安全状况, 提高长江江苏段船舶引航安全。

## 2 构建评价指标体系

由于影响长江江苏段船舶引航安全的因素较多, 且存在一定的层次性, 通过查阅文献及咨询相关专家, 并结合引航实况, 从引航员、船舶、环境和管理四个方向入手, 前期归纳总结出许多长江江苏段船舶引航安全的影响因素<sup>[1,2,3]</sup>, 然后利用主成分分析法确定11个具有代表性和关键性的影响因子, 最终建立的引航安全评价指标体系如图1所示。

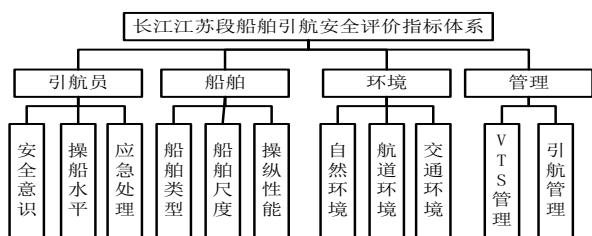


图1 江苏段引航安全评价指标体系

## 参考文献:

- [1] 江爱文, 李强. 海上风电场航标设置方案探究[J]. 福建交通科技, 2019(02):131-133.
- [2] 李道科. 福建海上风电场址航运安全风险评析[C]. 中国航海科技优秀论文集(2014). 上海浦江教育出版社有限公司, 2015:181-187.
- [3] 元国凯, 朱光涛, 黄智军. 海上风电场施工安装风险管理研究[J]. 南方能源建设, 2016,3(S1):190-193.
- [4] 纪宁毅, 尹杰. 海上风电场建设施工期风险点的识别与控制[J]. 机电设备, 2019,36(03):40-43.
- [5] 沈思曦, 陈元林, 安博文, 卢学佳. 基于AIS和GIS

## 3 确定安全评价模型

证据理论最初是由 Dempster 提出以解决两个信息融合的决策理论, 经 Shafer 研究改进后发展为 D-S 证据理论<sup>[4]</sup>。D-S 证据理论可以很好地描述决策问题的不确定性, 由于长江江苏段船舶引航安全评价问题具有不确定性, 因此可运用 D-S 证据理论进行分析研究<sup>[5]</sup>。

### 3.1 基本概念

(1) 识别框架: 一个互不交容事件的完整的样本集合 $\Theta$ , 可表示为:  $\Theta = \{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_j, \dots, \theta_N\}$

(2) 基本信任分配函数:  $A$  为 $\Theta$ 的任一子集, 记 $A \subseteq \Theta$ , 基本信任分配函数 $m$ 是一个从集合 $2^\Theta$ 到 $[0,1]$ 的映射, 且满足:

$$\begin{cases} m(\phi) = 0 \\ \sum_{A \subseteq \Theta} m(A) = 1 \end{cases}$$

式中: $m(A)$ 为事件 $A$ 的基本信任分配函数值, 即证据对事件 $A$ 的可以信任的程度, 若 $m(A) > 0$ , 称 $A$ 为焦元。

### 3.2 证据理论的合成规则

证据理论的合成运算规则是指两个或多个信任分配函数值 $m$ 的正交和运算, 代表证据间的交合作用, 具体的合成规则如下:

#### 3.2.1 两个证据的合成

假定 $m_1$ 和 $m_2$ 分别为 $\Theta$ 中两组证据 $E_1$ 和 $E_2$ 的基本信任分配函数, 焦元分别为 $A_i$ 和 $B_j$ , 设 $K = \sum_{A_i \cap B_j = \phi} m_1(A_i)m_2(B_j) < 1$ , 则证据合成规则为:

的海上风电场船舶监控系统软件设计[J]. 现代计算机(专业版), 2018(20):91-95+100.

[6] 孙菲, 吴比翼. 海上风电场对岸基雷达探测威力影响分析[J]. 遥测遥控, 2018,39(06):13-18.

[7] 张华伟. 唐山港海上风电场通航安全风险评价与海事监管研究[J]. 大连海事大学, 2017.

[8] 刘震天, 张新宇, 范玉鹏, 范赫, 王敏, 何德林, 周春辉. 大唐风电水域施工期智慧维护及管理系统[J]. 交通企业管理, 2019,34(03):64-66.

[9] 连云港海事局海上风电海事监管暂行办法, 连云港海事局, 自2019年12月1日起施行。