

海上风电场的火灾防护方案设计

杨源, 周伟, 汪少勇, 谭江平, 徐龙博

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 文章围绕海上风电场的海上风电机组、海上升压站和陆上集控中心建立对应的火灾防护方案。其中每台海上风电机组、海上升压站及陆上集控中心各设置独立的火灾报警系统, 主要采用吸气式感烟探测器和点型复合式感烟感温探测器进行二级报警的确认。同时, 海上风电机组、海上升压站和陆上集控中心的消防灭火系统分别为: 高压 CO₂ 灭火系统、细水雾灭火系统和水喷淋灭火系统。最后, 结合某一工程案例, 对某一海上风电场的火灾防护方案进行具体设计。

关键词: 海上风电场; 火灾报警; 消防灭火

中图分类号: TM315

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2015)S1-0093-05

Fire Protection Design of Offshore Wind Farm

YANG Yuan, ZHOU Wei, WANG Shaoyong, TAN Jiangping, XU Longbo

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: In this paper, the fire protection design of offshore wind farm is established, including the offshore wind turbines, offshore wind farm substation and land control center building. Each offshore wind turbine, offshore wind farm substation and land control center building set up independent fire alarm system, mainly adopt the suction type smoke detector and point type compound smoke temperature detector for the confirmation of the secondary alarm. At the same time, their fire extinguishing system are: high pressure CO₂ fire extinguishing system, water mist fire extinguishing system and water spray extinguishing system respectively. Finally, combining with an engineering case, the fire protection design of offshore wind farm is designed specifically.

Key words: offshore wind farm; fire alarm; fire extinguishing system

根据《中国风电发展路线图 2050》, 从 2011 年至 2020 年, 风电发展以陆上风电为主、近海(潮间带)风电示范为辅, 风电电量满足 5% 的电力需求^[1]。因此, 建立海上风电场, 是发展清洁能源的大势所趋。但由于海上风电机组及升压站无人值守, 且设施全部集中在一个狭窄封闭空间, 易发生火灾。火灾在风电机组各类常见事故中, 居第二位^[2]。而且我国目前海上风电处于示范探索, 缺乏相应的火灾防护方案设计。迫切需要针对海上风电场的特殊环境情况下, 根据“预防为主, 防消结合”的方针, 分别对海上风电机组、海上升压站、陆上集控中心设置相应的火灾防护方案。

1 海上风电场发生火灾原因及易着火区域

海上风电机组和海上升压站, 一旦发生火灾, 陆上难以对其进行消防灭火。海上风电机组的空间非常小, 对消防方式的要求高; 海上升压站的空间相对比较充分, 选择消防方式时要考虑其密闭性及成本。同时, 海上升压站及海上机组的维修成本高且维修不方便。火灾防护系统主要包括火灾自动报警系统及消防灭火系统两大部分。在选择火灾防护系统时, 应考虑其维修成本。

2 海上风电场的火灾自动报警系统设计

为了避免误报警, 触发器采用两级探测器联动实现。针对电气柜火灾防护系统的要求, 一级火灾报警只启动预报警功能, 经延时后的二级火灾报警启动报警及消防功能。火灾自动报警系统设有自身故障监视系统, 将故障信号传至陆上集控中

收稿日期: 2015-10-15

基金项目: 中国能建广东院院级科标项目资助(海上风电场电气系统关键技术及电气设计: EV02861W)

作者简介: 杨源(1990), 男, 广东湛江人, 硕士, 主要从事海上风电场的研究(e-mail)yangyuan@gedi.com.cn。

心^[7-11]。同时,海上升压站的主变及电缆夹层需配置感温电缆。

表1 海上风电场设备的火灾特征^[2-6]

区域	海上风电机组	海上升压站	陆上集控中心
易着火区域	机舱区域(发电机、液压系统、齿轮箱、刹车系统、偏航系统)、连接机舱及塔底的电缆区域、塔底区域(控制柜、变压器)	主变室、二次设备室、电缆夹层区域	输电线路、集控室
火灾起因	雷击、电路短路、设备过热、易燃材料如齿轮箱油	雷击、电路短路、变压器油、设备过载	雷击、电路短路、设备过载
火灾蔓延途径	与设备连接的电缆	与设备连接的电缆	与设备连接的电缆、架空线路
火灾类型	A类、B类、E类	B类、E类	E类

表2 火灾探测器的适用性

装置	点型感烟	吸气式感烟	点型感温	点型复合式感烟感温
配电室	+	+	+	+
塔基/平台	-	+	+	-
控制柜	+	+	-	+
变压器	-	+	+	-

注: +表示基本适用; -表示不适用。

2.1 海上风电机组的火灾自动报警系统

1) 风电机组火灾探测报警系统结构。风电机组火灾探测报警系统设置火灾报警控制器,由火灾报警控制器、火灾探测器、火灾报警按钮、手动启/停按钮、输入/输出模块等组成。各设备间通过通信总线进行组网。机组专用火灾报警控制器设置在每个塔架的底部,控制风力发电机组消防系统运行,并将火警、故障、灭火等信号通过海上风力发电场的海底电缆通信网络传输至陆上集控中心的集中火灾报警控制器主机。

2) 风电机组火灾探测报警系统设备选择和设置。风电机组火灾探测的区域包括主要包括机舱区域、塔基区域,以及区域里面的两端电缆头。这两个区域采用的一级报警探测器为吸气式感烟探测器,二级报警探测器为点型复合式感烟感温探测器。其中吸入式感烟探测器作为火灾探测器时,采样管的采样孔位于发电机、液压系统、齿轮箱、刹

车系统、偏航系统等易发生火灾的设备处,控制柜采用毛细采样管伸入柜内探测。同时,在机舱区域入口和塔架区域门内侧设置火灾报警按钮和手动启/停按钮。

2.2 海上升压站的火灾自动报警系统

1) 海上升压站火灾探测报警系统结构。海上升压站配置一套火灾自动报警系统,与海上风电机组系统配置类似。其中集中火灾报警控制器应设置在主控制室内,接受来自海上升压站火灾探测器和风电机组火灾探测器的报警信号,当火灾发生时,火灾报警控制器可及时发出声光报警信号,并显示发生火灾发生的地点。然后,升压站火灾报警控制器经过海底电缆组成的光纤通信网络与陆上集控中心火灾报警控制器主机通信,上送报警信号。同时,火灾报警控制器的报警信号也向海上升压站视频监控系统系统上送,以实现视频监控系统监视画面与报警信号的视频联动。

2) 海上升压站火灾探测报警系统设备选择和设置。火灾探测区域应按独立房(套)间划分,主要火灾探测区域有主控制室、二次设备室、主变压器、各级电压等级配电装置室、电容器室、电抗器室、柴油机房、蓄电池室、电缆夹层及电缆竖井等。其中,电缆夹层及主变压器的一级报警探测器采用感温电缆,二级报警探测器采用点型复合式感烟感温探测器。其他独立房间采用的一、二级报警探测器分别为:吸气式感烟探测器、点型复合式感烟感温探测器。

2.3 陆上集控中心的火灾自动报警系统

1) 陆上集控中心火灾探测报警系统结构。海上风电机组和海上升压站的火灾报警信号经过海底电缆通信网络上送至位于陆上集控中心集控室的火灾报警控制器主机。同时,陆上集控中心集控室应设置消防联动设备,可实现对陆上集控中心、升压站和海上风电机组消防设备的联动控制。

2) 陆上集控中心火灾探测报警系统设备选择和设置。陆上集控中心火灾探测区域按独立房(套)间划分,主要火灾探测区域有主控制室、二次设备室,采用的一、二级报警探测器分别为:吸气式感烟探测器、点型复合式感烟感温探测器。

3 海上风电场的消防灭火系统

对于海上风电机组、海上升压站、陆上集控中

心, 其采用的灭火系统是不同的^[12-17]。

表 3 消防灭火系统的选择

Table 3 The Choice of Fire Extinguishing System

装置	气体灭火系统		水灭火系统	
	高压 CO ₂	惰性气体	水雾	水喷淋
配电室	+	+	-	+
塔基/平台	+	+	+	+
控制柜	+	+	-	+
变压器	+	-	+	-

注: +表示基本适用; -表示不适用。

1)海上风电机组的消防灭火系统。(1)对于风力发电机组的机舱区域, 为了保护里面设备, 应避免干粉灭火系统和粉尘式灭火装置。细水雾液体灭火系统所需的空大, 因此推荐采用高压 CO₂ 灭火系统, 并与风电机组的排风系统进行连锁。因为 CO₂ 是唯一可适用于局部灭火系统的气体灭火剂, 适用于扑救机舱内的电子设备产品; (2)对于风力发电机组的塔底区域, 最有可能发生火灾的是电缆和控制柜, 依然采用高压 CO₂ 灭火系统。出于空间有限的考虑, 灭火控制器及 CO₂ 灭火剂安装在塔筒底部的上方, 并与塔底变压器、控制柜保持一定的安全净距。

2)海上升压站的消防灭火系统。采用细水雾灭火系统, 把海水作为细水雾来源。细水雾液体灭火系统布置在海上升压站的消防间。

3)陆上集控中心的消防灭火系统。采用水喷淋灭火系统, 把海水作为水源。

3.1 海上风电机组的消防灭火系统

对于海上风电机组的机舱区域, 灭火控制器配备了 UPS 电源, 正常情况下由 690 V 线路供电。当交流电消失时, 自动切换至 UPS 电源供电。同时, 电缆需采用屏蔽控制电缆。

当灭火控制器收到一级报警信号时, 将信号发送至风力发电机组控制器。风力发电机组控制器收到一级报警信号后, 将机组停机, 同时关闭其所有的冷却风扇、通风设备及相关百叶窗, 并等待二级报警信号确认。若在一定延期内未接收到二级报警信号, 则认为误报警, 风电机组重新启动。若延期内接收到二级报警, 则启动高压 CO₂ 灭火系统, 并将火警信号发送至陆上集控中心。其中, 海上风电机组的灭火系统设置自动/手动转换开关, 防止维修人员维护或维修时风机误动作。若维修期间发生

火灾, 可通过手动操作启动灭火系统。

在灭火区间及灭火结束后, 出于安全考虑, 在防护区域门外设置蜂鸣器及闪灯, 警告里面的气体已排放。灭火结束后, 开启通风设备。

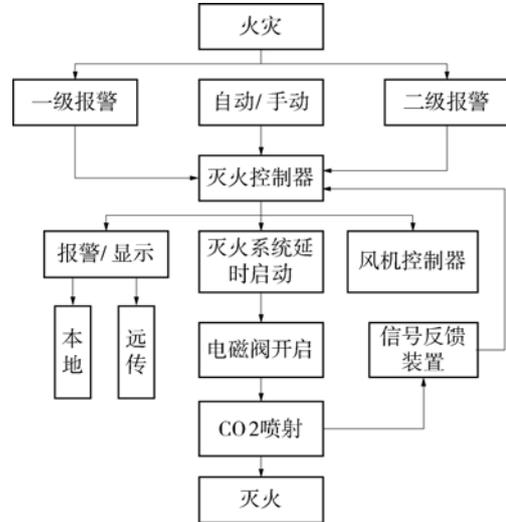


图 1 海上风电机组的火灾防护系统控制逻辑图

Fig. 1 The Fire Protection System Control Logic Diagram of Offshore Wind Turbine

3.2 海上升压站的消防灭火系统

海上升压站的消防灭火系统逻辑, 与海上风电机组的区别, 如下:

灭火系统延时结束后, 开启细水雾喷淋控制阀, 控制系统根据管网压力变化启动稳压泵, 以维持系统压力。在灭火期间, 关闭海上升压站的通风装置, 防护区域的蜂鸣器及闪灯处于启动状态, 警告人员不能进入。但灭火结束后, 可停止蜂鸣器及闪灯, 并启动通风装置。

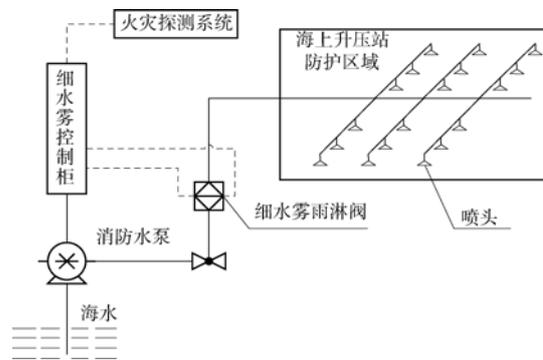


图 2 海上升压站的火灾防护系统框图

Fig. 2 The Fire Protection System of Offshore Wind Substation

采取“封、堵、隔”等技术措施, 加强电缆的防火措施。电缆进出口处用有机堵料进行封堵严密,

桥架之间采用有机耐火隔板进行防火分隔,敷设在电缆支架上的电缆每隔一定距离进行防火分隔。

与此同时,设置消防广播系统。一旦发生火灾,自动启动其系统,通知人员疏散。同时,海上升压站甲板层需设置逃生通道,一层、二层及直升机平台需设置疏散楼梯。

3.3 陆上集控中心的消防灭火系统

陆上集控中心的消火栓箱内设有直接启泵的消火栓按钮,火灾时可直接启动消防主泵。

4 工程案例

某海上风电场火灾防护系统由海上风电机组火灾防护系统、海上升压站火灾防护系统和陆上集控中心火灾防护系统三部分。运行人员可在陆上集控中心控制室和220 kV升压站控制室中监视上述区域内的火警情况并联动消防设备。

4.1 海上风电机组火灾防护系统的设计方案

1)海上风电机组火灾报警系统。它是由风机厂家配套提供,由火灾报警控制器、火灾探测器、火灾报警按钮、手动启/停按钮、输入/输出模块等组成,各设备间通过通信总线进行组网。海上风电机组火灾报警系统能有效监测并判断火灾状态,火警信号上送海上升压站内集中火灾报警控制器,可通过软件控制自动启动灭火,同时也可接受来自远方的手动强制灭火。风电机组火灾报警系统与消防灭火系统的联动功能,必须保证运行人员在风电机组内维护检修时不发生误动作,充分保证安全可靠。

2)海上风电机组消防灭火系统。将海上风电机组的机舱、及塔底区域为两个CO₂气体全淹没灭火区域。为了维修方便,其中钢瓶的运输可通过电梯助升降器进行运输。每3个月进行维修一次。

为达到灭火需求,塔底区域采用密闭式,上方放置气体灭火系统,高度为7m。设计的气体体积分数为8%。根据《二氧化碳灭火系统设计规范》(GB 50193—2010,可得防护区域CO₂的设计用量为:

$$M = K_b(K_1A + K_2V) \quad (1)$$

$$A = A_v + 30 \cdot A_0, V = V_v - V_g \quad (2)$$

式中: M 为CO₂设计用量,kg; K_b 为物质系数,取40%; K_1 为面积系数,取0.2 kg/m²; K_2 为体积系数,取0.7 kg/m³; A 为防护区折算面积,m²; A_v 为防护区内侧、底面、顶面的总面积,m²; A_0

为防护区开口的总面积,取0; V 为计算防护区容积,m³; V_v 为防护区总容积; V_g 为防护区不燃烧、难燃烧体总体积,取40%。

则分别求取机舱区域的设计用量为350 kg,塔底区域的设计用量为280 kg,共需9瓶90L的CO₂钢瓶,容器充装量为70 kg/瓶。

表4 海上风电机组灭火系统的设计参数

Table 4 The Design Parameters of Offshore Wind Turbine Fire Extinguishing System

对象	容积/m ³	喷射时间/s	设计用量/kg	储存容器数/瓶
机舱区域	12.3 × 5 × 6.3	≤10	350	5
塔底区域	7 × 7 × 7	≤10	280	4

4.2 海上升压站火灾防护系统的设计方案

1)海上升压站火灾报警系统。它包括集中火灾报警控制器、消防联动设备、火灾探测器、声光报警装置、控制模块、信号模块、手动按钮等。集中火灾报警控制器设置在海上升压站主控制室内,接受来自升压站火灾探测器和风电机组火灾探测器的报警信号。

2)海上升压站消防灭火系统。该升压站的尺寸为20 m × 30 m × 15 m。消防水泵的功率为40 kW,扬程为70 m。喷头及管网需耐腐蚀。细水雾灭火系统的喷头,以矩形均衡布置在升压站顶部,并根据设备电压等级可分层增加布置,如喷头围绕变压器分三层布置。其中整个区域的设计喷雾强度、持续喷雾时间、距离如下表所示:

表5 海上升压站灭火系统的设计参数

Table 5 The Design Parameters of Offshore Wind Substation Fire Extinguishing System

对象	设计喷雾强度 (L/min · m ²)	持续喷雾 时间/min	喷头与设备 的距离大于/m
主变	1~3	20	2.2
海缆	1~3	20	2.2
各二次设备室	0.6~2	20	0.5

根据广东省标准《细水雾灭火系统设计、施工及验收规范》(DBJ/T 15-41—2005)计算,喷头的设计流量: $q = K \sqrt{10P}$,式中 q —喷头流量,L/min; P —喷头压力,MPa; K —喷头流量特性系数。系统最不利点喷头的压力不小于2.0 MPa, $K = 1.2$,喷头压力 $P = 10$ Mpa,则 $q = 12$ L/min。因为喷头的安装间距不大于2.8 m × 2.8 m,则喷头的数量为200

个。系统启动后同时喷雾的水雾喷头数量约为 40 个, 因此系统设计流量 $Q=480 \text{ L/min}$ 。

4.3 陆上集控中心火灾防护系统的设计方案

1) 陆上集控中心火灾报警系统。陆上集控中心设置火灾自动报警系统, 由集中火灾报警控制器、消防联动设备、火灾探测器、声光报警装置、控制模块、信号模块、手动按钮等组成。它能获取海上风电机组和海上升压站的火灾报警信号, 并实现对陆上集控中心、海上升压站和海上风电机组消防设备的联动控制。

2) 陆上集控中心消防灭火系统。该陆上集控中心为三层, 高 11.8 m。设置一座消防水池和综合水泵房。水源取自于海水, 消防水池的有效容积为 $1\ 000 \text{ m}^3$ 。各灭火系统消防用水量: 集控楼室内消火栓的消防用水量为 10 L/s , 室外的消防用水是为 20 L/s 。其中消防主泵的流量为 30 L/s , 扬程为 50 m , 功率为 20 kW 。

5 结论

由于海上风电场环境的特殊性及其复杂性, 开发可靠性高、成本低、易于维护管理的海上风电场火灾防护方案非常有必要。本文围绕海上风电场的海上风电机组、海上升压站和陆上集控中心分别建立对应的火灾防护方案。

1) 每台海上风电机组设置独立的火灾报警系统, 采用吸气式感烟探测器和点型复合式感烟感温探测器进行二级报警的确认; 海上升压站设置独立的火灾报警系统, 其电缆夹层及主变压器采用感温电缆和点型复合式感烟感温探测器进行二级报警的确认; 陆上集控中心的火灾报警系统可对海上升压站及海上风电机组进行联动控制。

2) 结合海上风电场的实际环境, 海上风电机组、海上升压站和陆上集控中心的消防灭火系统依次为高压 CO_2 灭火系统、细水雾灭火系统和水喷淋

灭火系统。本文海上风电场的火灾防护方案设计, 具体可行, 可供相关工程参考。

参考文献:

- [1] 国家发展和改革委员会能源研究所. 中国风电发展路线图 2050 [R]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2011.
- [2] 邢辉, 刘勤安, 郑庆功, 等. 海上风电机组电气火灾风险分析及其防护 [J]. 建筑防火设计, 2013, 31(6): 109-113.
- [3] 陈志祥. 高压细水雾灭火系统在轨道交通中的应用 [J]. 中国给水排水, 2012, 28(16): 41-44.
- [4] Confederation of Fire Protection Associations in Europe (CFPA E) [S]. Wind Turbines Fire Protection Guideline, No. 22, 2012 F, 2012.
- [5] SOLOMON UADIALE, éVI URBÁN, RICKY CARVEL, et al. Overview of Problems and Solutions in Fire Protection Engineering of Wind Turbines [EB/OL]. <http://docs.wind-watch.org/fire-protection-wind-turbines.pdf>, 2014.
- [6] VIDUEIRA J M. Protection Against Wind-turbine fires [EB/OL]. <http://www.mapfre.com/fundacion/html/revistas/seguridad/n135/docs/Article3.pdf>, 2014.
- [7] 罗定元, 唐祝华, 杜鹏, 等. 浅谈气体灭火系统选型配置技术 [J]. 中国给水排水, 2008, 34(7): 70-76.
- [8] 刘鸿艳, 储志利. 某垃圾焚烧发电厂消防设计 [J]. 建筑防火设计, 2012, 31(6): 611-614.
- [9] 高亚萍. IG541 气体灭火系统在图书馆应用的设计计算 [J]. 中国给水排水, 2014, 40(12): 73-76.
- [10] 杨滨瑞. 地铁车辆火灾自动灭火系统的设计 [J]. 电气应用, 2014, 33(10): 41-44.
- [11] 张晋, 徐大军, 刘连喜, 等. 风力发电机组火灾特性与消防系统试验研究 [J]. 消防科学与技术, 2011, 30(7): 608-611.
- [12] GB 50084—2001, 自动喷水灭火系统设计规范 [S].
- [13] GB 50193—2010, 二氧化碳灭火系统设计规范 [S].
- [14] GB 50116—2013, 火灾自动报警系统设计规范 [S].
- [15] GB 50229—2006, 火力发电厂与变电站设计防火规范 [S].
- [16] GB 50016—2006, 建筑设计防火规范 [S].
- [17] DBJ/T 15-41—2005, 细水雾灭火系统设计、施工及验收规范 [S].

(责任编辑 郑文棠)