

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2019.01.008

智慧型海上风电场一体化监控系统方案设计

阳熹, 杨源

(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: [目的]针对海上风电场的运行管理情况,整合了海上风电机组、海上升压站、陆上集控中心的监控系统,提出了全面的智慧型海上风电场一体化监控系统方案。[方法]方案分析了其体系架构、功能要求、数据处理以及安全分区,以实现风电场海上升压站无人值守,陆上集控中心少人运行的运营模式。方案有效地整合了风机监控、升压站监控、视频及环境监控、风电功率预测、海缆故障监测、设备状态监测等多个子系统。[结果]对海上风电场内各主要电气设备提供了完善的监控功能,可实现运行监视、操作与控制、信息综合分析 with 智能告警、运行管理、辅助功能这五大应用。[结论]方案可有效降低风电场运营成本,达到技术先进、功能完备、性能可靠、经济合理的智能化运营要求。

关键词: 智慧海上风电场; 一体化监控系统; 体系架构; 功能要求

中图分类号: TK89; TM614

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2019)01-0042-07

Design of Smart Offshore Wind Farm Integration Monitoring System

YANG Xi, YANG Yuan

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

Abstract: [Introduction] According to the actual operation of offshore wind farms, this paper has been integrate the monitoring systems of offshore wind, offshore substation, and onshore centralized control center. This paper proposes the smart offshore wind farm integration monitoring system. [Method] This article analyzed the system architecture, functional requirements, data processing, and security partitioning. In this way, the operation mode in which the offshore substation for a wind farm offshore wind farm was unattended and a land-based centralized control center was operated by few people can be achieved. The system showed that the several subsystems such as wind monitoring, offshore substation monitoring, video and environmental monitoring, wind power forecasting, cable fault monitoring, and equipment condition monitoring systems had been effectively integrated. [Result] It can provide complete monitoring functions for major electrical equipment, which can realize operational monitoring, operation and control, comprehensive information analysis and intelligent alarms, operation management, and assistance for these five applications. [Conclusion] Therefore, it can reduce the operating costs of wind farms and achieve the goals of advanced technology, complete function, reliable performance and economical rationality.

Key words: smart offshore wind farm; integration monitoring system; architecture; functional requirement

我国向世界庄严承诺了到2030年的温室气体减排目标,国家把积极发展新能源作为能源战略的重要方向。截止2018年底,中国海上风电累计并网容量达到3.58 GW,已核准项目容量达到17.10

GW,在建项目达到6 GW,海上风电产业链也逐步建设和发展起来。

根据广东省海上风电发展规划修编成果,到2020年底前全省开工建设海上风电装机容量12 GW以上,总投资约2000亿元,将建成投产2 GW以上。到2030年底将建成30 GW,占2020年到2030省内新增发电装机规模的1/3以上。海上风电产业成为广东省国际竞争力强的优势产业之一。

收稿日期: 2018-04-26 修回日期: 2019-01-03

基金项目: 中国能建广东院科技项目“海上风电场电气系统关键技术及电气设计”(EV02861W)

由于海上风电场分布广阔、海上气候环境恶劣, 风电场的运行巡检工作十分困难, 按照陆上风电场的运行管理模式经营管理海上风电场是不现实的。海上升压站按“无人值守”原则设计, 在陆上集控中心设置集控室, 实现对风电机组及升压设备、海上升压站和陆上集控中心主要电气设备的集中监视和控制^[1-4]。因此, 为了确保海上风电场安全、稳定、经济运行, 必须建设一套完善、可靠的海上风电场监控系统, 实现海上风电场的智能化运营。

同时, 智慧型海上风电场应能采用智能设备的应用, 实现海上风电场信息数字化、通信平台网络化、信息共享标准化, 具备完善的海上风电场监控功能和设备状态监测, 从而达到降低建设运行成本、提高上网发电量、延长设备寿命和确保人员安全的目的。因此, 本文根据海上风电场的实际情况, 并考虑了二次安防的相关规定, 以及生产监控与运营管理的需求, 分析了智慧型海上风电场一体化监控系统体系架构、功能要求、数据处理以及安全分区, 将海上风电机组及其升压设备、海上升压站、陆上集控中心的监控系统进行了整体统一规划设计^[5-8]。

1 海上风电场一体化监控系统体系架构

海上风电场一体化监控系统由风电场综合自动化系统、风电机组监控系统、状态监测、辅助应用功能等共同构成, 是智慧海上风电场的基础, 如图 1 所示。

1.1 风电场一体化监控系统平台

风电场一体化监控系统平台主要设备由服务器、操作员工作站、工程师工作站、核心以太网交换机、二次安防等有关设备组成。

1.2 中间传输链路层

中间链路层: 通过 220 kV 海底光电复合缆, 设置两对 SDH(2.5G) 光端机, 用于海上升压站至陆上集控中心之间的信息传输。陆上集控中心与调度中心、企业集团远程中心、广东省海上风电大数据中心之间, 可通过专用数据网, 分别进行传输。

1.3 海上升压站

风电场海上升压站内设置有主机/操作员工作站, 五防工作站, 风机 SCADA 监控工作站, 风机辅控系统工作站。

1.4 陆上集控中心集控室

陆上集控中心设置有主机/操作员工作站, 工程师站, 五防工作站, 风机 SCADA 监控工作站, 风机辅控系统工作站。具体内容如下: 保信系统; 安稳系统; 风电机组监控系统(SCADA); 海上升压站及陆上集控中心综合自动化系统; 风机辅控系统; AGC、AVC 系统; PMU; 电能量采集系统; 直流系统; 故障录波; 风功率预测系统; 应急通讯系统; 设备状态运行监视系统(海上升压站基础监测系统; 主变状态监视系统; GIS 状态监视系统; 220 kV 及 35 kV 海底电缆综合在线监测系统); 辅控系统(船舶交通管理系统(AIS 系统); 火灾自动报警及消防控制系统、公共广播及语音系统; 通风

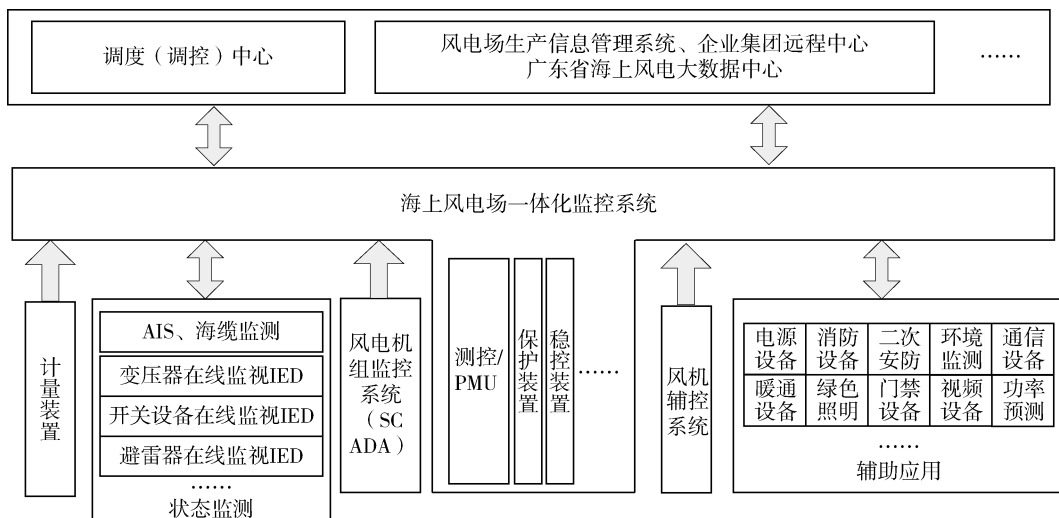


图 1 海上风电场一体化监控系统体系架构逻辑关系图

Fig. 1 Logical architecture diagram of offshore wind farm integration monitoring system

空调监控系统；视频监控系统）等。同时，陆上集控中心预留与广东省海上风电数据中心的接口。

1.5 企业集团远程中心

企业集团远程集控中心设置有主机/操作员工作站，工程师站，五防工作站，风机 SCADA 监控工作站，风机辅控系统工作站。

1.6 广东省海上风电大数据中心

提供相应的数据(包括运行实时状态、趋势图、棒状图和参数分类表等显示风机、基础、海缆、升压站、塔筒的运行参数)，传输至广东省海上风电大数据中心。这样，确保了广东省海上风电大数据中心对省内所有海上风电场的生产状况进行实时监视。

2 海上风电场一体化监控系统功能要求

海上风电场一体化监控系统，将海上风电机组及其升压设备、海上升压站、陆上集控中心的监控系统作为整体统一规划设计。参照智能变电站一体化监控系统建设技术规范和风电场工程 110 kV ~ 220 kV 海上升压站设计规范的相应要求^[5-9]，将其划分为运行监视、操作与控制、信息综合分析与智能告警、运行管理、辅助这五大应用，如图 2 所示。

2.1 运行监视

对风电场的生产状况进行实时监视，通过曲

线、模拟图、饼图、棒状图和参数分类表多种监视方式实时显示风电场的主要运行参数和设备状态。

2.1.1 整个风电场主要数据

1) 整个风电场，以 kW 为单位的有效功率(当前的和 10 min 平均值)。

2) 整个风电场，以 kWh 为单位的发电量(日、月和年累计的)。

3) 整个风电场，以 kWh 为单位的场用电量。

2.1.2 单台机组的主要数据

单台机组的运行数据至少包括以下内容：

1) 单台机组的运行状态，包括启动、停止、复位、限负荷、服务模式等情况。

2) 每台风力发电机组，以 kW 为单位的有效功率(当前的和 10 min 平均值)。

3) 每台风力发电机组，以 kWh 为单位的发电量(小时、日、月和年累计的)。

4) 每台风力发电机组的电量消耗。

5) 每台机舱的风速计和风向标显示的风速和风向(以 m/s 为单位，10 min、日、月和年的平均值)。

6) 温度传感器在发电机组上测得的周围温度(当前的、10 min、日、月和年的平均值)。

7) 每台发电机组属于故障信息的电压和电流。

2.2 操作与控制

操作控制分为 7 级：

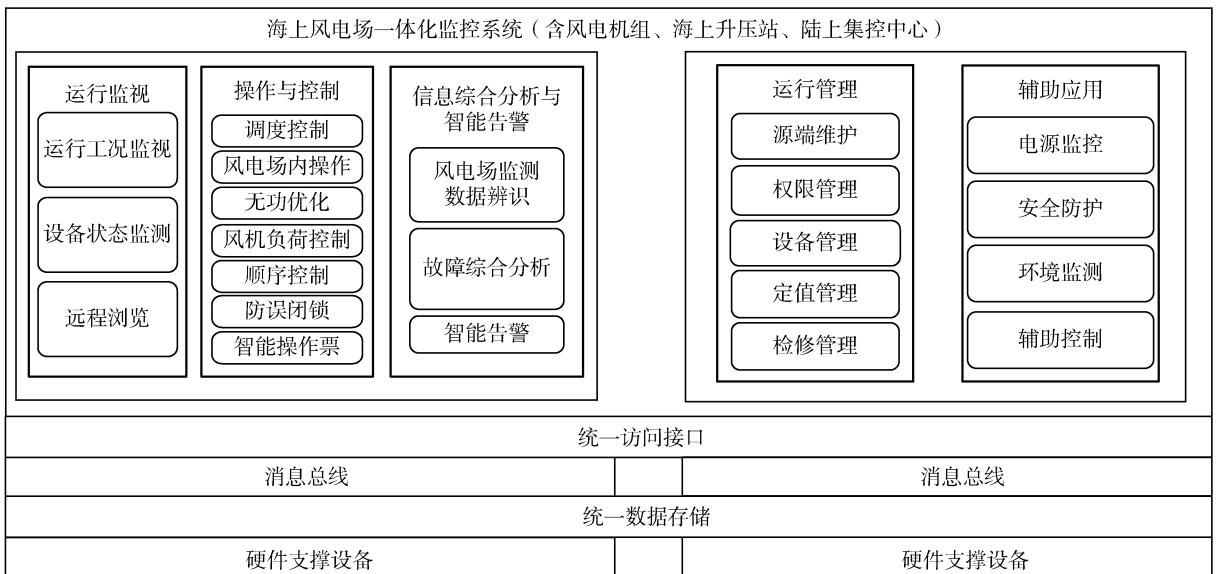


图 2 海上风电场一体化监控系统应用功能结构示意图

Fig. 2 Application function structure diagram of offshore wind farm integration monitoring system

- 1) 第一级控制, 设备就地检修控制, 控制权的优先级最高。
- 2) 第二级控制, 间隔层后备控制。
- 3) 第三级控制, 海上升压站内远程控制。本级控制在海上升压站操作员站上完成。
- 4) 第四级控制, 陆上集控中心内远程控制。本级控制在陆上集控中心操作员站上完成, 其与第五级控制的切换在本操作员站上完成。
- 5) 第五级控制, 为调度中心控制。
- 6) 第六级控制, 为企业集团远程中心控制。
- 7) 第七级控制, 为广东省海上风电大数据中心, 优先级最低。

七种控制功能的工作方式为: 前二种属于就地手动操作, 后五种属于计算机操作。每个被控设备只能以一种方式进行控制。

2.3 信息综合分析与智能告警

通过运行数据进行全面综合分析, 为海上风电场提供智能告警、故障分析的结果, 为运行维护提供指导和便利。

2.4 运行管理

对相应设备进行权限区分、保护定值整定、检修安排、设备录入等管理。

2.5 辅助应用

实现交直流、火灾自动报警及消防控制、通风空调控制、环境监测、视频监控、照明等系统的监视和联动控制^[10]。

3 海上风电场一体化监控系统数据处理

海上风电场五类应用功能数据(运行监视、操作与控制、信息综合分析与智能告警、运行管理和辅助应用), 其流向如图 3 所示。

根据风电场一体化监控系统的数据流向, 重点分析了数据接收、数据存储、数据处理、报警及事件顺序记录(SOE)、报表服务、增值服务等^[11-15]。

3.1 数据接收

风电场一体化监控系统配置了实时数据库和历史数据库。海上升压站和陆上集控中心传输至风电场一体化监控系统的风场运行信息存入实时数据库和历史数据库。

3.2 数据存储

实时数据库可保存最新 2~4 h 内的实时数据,

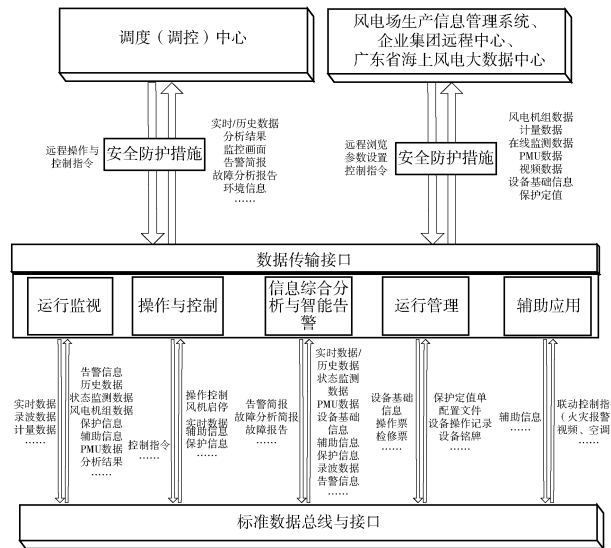


图 3 海上风电场一体监控系统数据流向图

Fig. 3 Data flow diagram of offshore wind farm integration monitoring system

并供海上风电场陆上集控中心集控室的操作员站实时调用。历史数据库可为风电场运行统计和分析提供数据支持和分析。

3.3 通信协议

通过 IEC61850 通信协议, 全面整合现场生产自动化和调度管理的信息数据, 实现通信的无缝连接, 建立调度、控制、管理关键要素的相关模型。最终, 风电场一体化监控系统对风电场进行远程监视和控制, 并可实现与风机 SCADA 系统、风机辅助控制系统等全部子系统相同的监控功能。

3.4 数据处理

1) 提供全面的实时、历史生产曲线(风机的风功率曲线、风速曲线, 发电量的日、月、年曲线), 对风机、海上升压站、陆上集控中心等设备状态变化进行趋势分析, 可及时发现故障。对风机等设备存在的潜在问题, 提供相应的检修计划, 并可查看历史曲线分析故障原因。

2) 按时段统计发电量, 掌握风电场的整体运行情况。并提供风玫瑰图, 掌握风场的风资源规律, 为制定风场生产计划提供数据参考。

3) 系统能够统计分析一个风电场、或一台风机在一定时间段内的并网时间、并网次数、停机时间、风速、偏航次数、油泵启动次数、功率、发电量等, 以及这些数据的均值、极值、累加值。

4) 除按运行要求, 对电流、电压、频率、功率

和电能进行统计分析外,并可处理以下内容:有功、无功、功率因数计算;开关分/合及保护动作次数的统计;监控设备、无功装置投退率计算;变压器负荷率计算;主要设备运行小时数统计;无功累计;峰、谷、平时段的上网电量等。

3.5 报警及事件顺序记录(SOE)

SOE量可以毫秒级精度,记录主要断路器和保护信号的状态、动作顺序及动作时间,形成事件顺序表。按照风场、间隔、设备等对SOE进行检索、查询和打印。每条记录包括时间、风场名、设备名称和事件名称保存到历史数据库中。

3.6 报表服务

1)电量报表:按照日、月、年统计累计发电量、累计上网电量、利用小时数、平均风速等。

2)生产报表:风机实时负荷报表、风机平均负荷报表、风机平均风速报表、风机平均转速报表等。风场生产指标日报、月报、年报。

3)风场运行信息统计:风场运行日报、月报、年报等。

3.7 增值服务

实现提供风电厂商和业主的数据增值服务,成为互联网+智慧风电的数据服务商。可形成可商业化的风电功率预测、数学模型分析优化、风机比选等数据增值服务,实现了数据进的来,服务卖的出去的新型商业模式。比如:

1)功率一致性系数对标。实现功率一致性系数的实际值与最优值的对比,最优值是所有风机中功率一致性系数最好的值,最优曲线能够进行配置;实现通过风电场、或风机类型的查询并能够对统计出来的风机进行排序。

2)风能利用系统对标。实现风能利用系数的实际值与最优值的对比,最优值是所有风机中风能利用系数最好的值,最优值能够进行配置;实现通过风电场、或风机类型的查询并能够对统计出来的风机进行排序。

3)指标对标。实现发电量、风机可利用率、风电场可利用率、厂用电量的实际值与计划值、设计值、最优值的对比,根据每月计划不同计划值、设计值、最优值都可以配置。同时实现同比和环比。

4)功率曲线对标。实现单机实际功率曲线与最优曲线、标准曲线的对比。最优曲线是风电场所有风机功率曲线中最优的曲线,标准曲线是风机厂家

提供出厂功率曲线,最优曲线能够进行配置。

4 海上风电场一体化监控系统安全分区

根据二次安防相应规定,海上风电场一体化监控系统可分为安全Ⅰ区、安全Ⅱ区、安全Ⅲ区^[6],如图4所示。

1)安全区Ⅰ:实时控制区,包括风电场综合自动化系统、风电机组监控系统(SCADA)、PMU、安稳、调度中心、企业集团远程中心等。

2)安全区Ⅱ:非实时控制区,包括风机辅控系统、电能采集系统、电能计费系统、电能质量监测系统、风功率预测系统、故障录波、保信子站、发电计划曲线系统、网络发令系统、值长管理系统、视频会商系统、通风空调监控系统、在线监测、海缆故障监测、火灾报警、直流、UPS、视频监控系统等。

3)安全区Ⅲ:生产管理区:广东省海上风电大数据中心、生产信息管理系统、测风塔系统、天气预报系统等。

安全区之间横向隔离要求:安全区Ⅰ与安全区Ⅱ之间,由于数据交换较多,其业务系统都属生产系统,可作为一个逻辑大区(生产控制区)。

纵向安全防护要求:安全区Ⅰ与安全区Ⅱ与调度中心、企业集团远程中心之间的联系采用纵向加密认证装置。

陆上集控中心的WEB服务器通过正反向隔离装置向Ⅲ区数据进行联系,如风电场生产信息管理系统、广东省海上风电大数据中心。

5 结论

海上风电场一体化监控系统,将分散的各类系统信息在平台内整合,在陆上集控中心内实现对海上风电场的监视与控制,并进行各类数据的统一管理,建设与电力调度系统的传输通道,将风电场各远动信息上送电力系统,接受电网调度的统一调度指令,优化风电场整体出力控制,实现风电机组效率最优化运行。

它为全面结合工程建设及运营管理的智慧型海上风电场,提供有力的支撑。体现在以下方面:

1)海上风电场一体化监控系统,通过对风机、海上升压站、陆上集控中心等设备进行故障预警和智能诊断,优化检修运维计划。

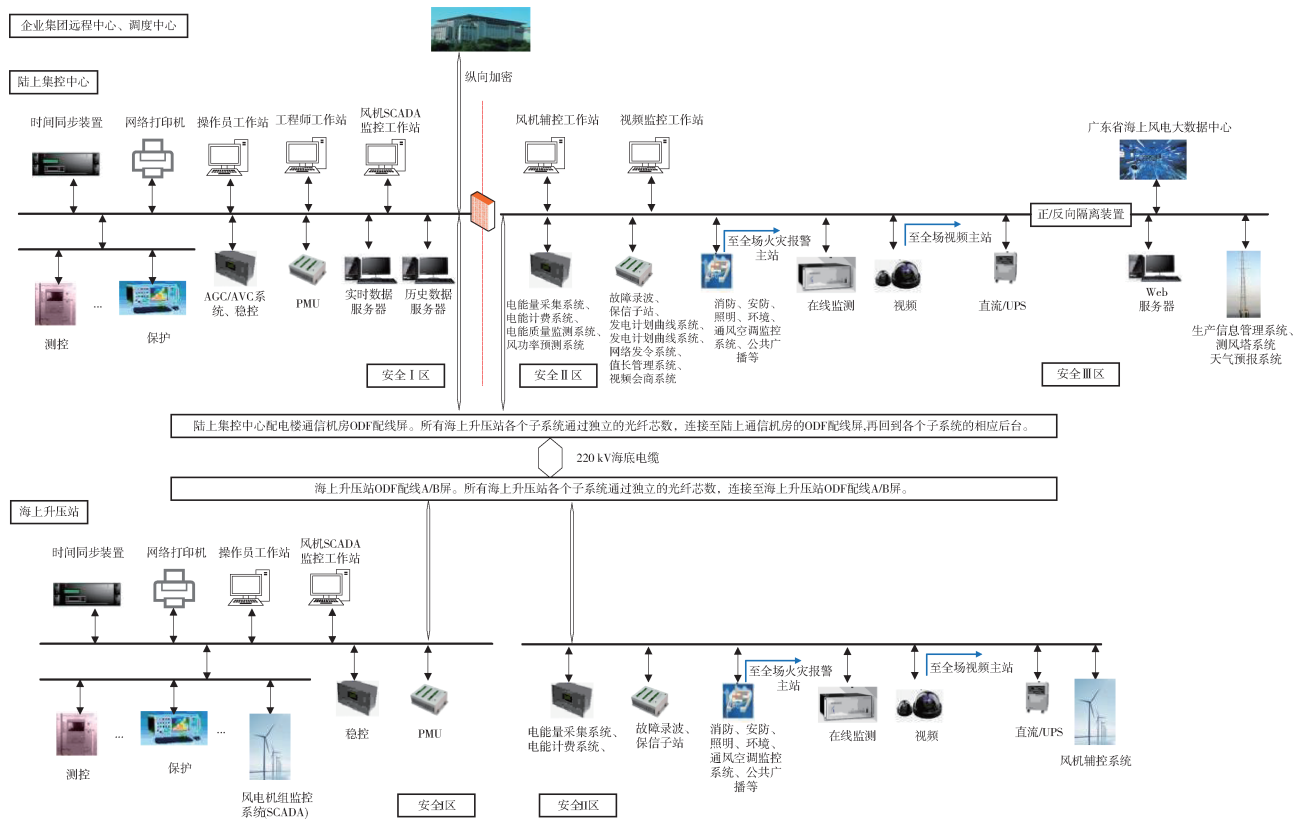


图 4 海上风电场一体化监控系统安全分区示意图

Fig. 4 Safe partition diagram of offshore wind farm integration monitoring system

2) 通过对不同厂家风机产品以及同一类型不同位置风机, 进行性能比较, 可为风电机组的优化运行和机组选型提供决策支持。

3) 通过发电量的统计和风玫瑰图等报表, 掌握风场的风资源规律, 为制定风场生产计划提供数据参考, 并实时跟进风电场的整体运行情况。

同时, 海上风电场一体化监控系统具备以下技术特点:

1) 技术先进: 采用一体化监控方案, 将风机监控、升压站监控、视频及环境监控系统、风电功率预测、海缆故障监测、设备状态监测等多个子系统整合在一体化监控系统平台下, 实现设备和数据信息共享, 方便了风电场的运行和维护。

2) 功能完备: 针对海上风电特点, 对海上风电场内各主要电气设备提供了完善的监控功能, 可实现运行监视、操作与控制、信息综合分析与智能告警、运行管理、辅助功能这五大应用。

3) 性能可靠: 风电场一体化监控系统主要设备

和通信设备均采用冗余配置, 同时方案设计均基于成熟技术和可靠的产品, 确保监控系统安全可靠。

4) 经济合理: 风电场一体化监控系统的技术方案全面考虑项目建设和运行维护的经济性, 便于运营维护, 提高风电场的经济效益。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 风力发电场设计技术规范: DL/T 5383—2007 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
National Development and Reform Commission. Technical code of wind power plant design; DL/T 5383—2007 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2007.
- [2] 中国国家标准化管理委员会. 风电场接入电力系统技术规范: GB/T 19963—2011 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
China Standardization Administration of China. Technical rule for connecting wind farm to power system; GB/T 19963—2011 [S]. Beijing: China Standard Press, 2011.
- [3] 国家能源局. 风电场工程 110 kV ~ 220 kV 海上升压变电站设计规范: NB/T 31115—2017 [S]. 北京: 中国标准出版

- 社, 2017.
- National Energy Board. Code for 110 kV~220 kV offshore substation design of wind power projects; NB/T 31115—2017 [S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 海上风力发电场设计规范(送审稿) [S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Design code for offshore wind farm (Send review version) [S]. Beijing: China Standard Press, 2017.
- [5] 国家电网公司. 智能变电站一体化监控系统建设技术规范: Q/GDW 679—2011 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2011.
- State Grid Corporation. Technical specifications for construction of integrated supervision and control system of smart substation; Q/GDW 679—2011 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2011.
- [6] 国家电力监管管理委员会. 电力二次系统安全防护规定: 国家电力监督管理委员会令第5号 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- State Electricity Regulatory Commission. Regulations on the protection of secondary power systems; State Electricity Regulatory Commission Order No. 5 [S]. Beijing: China Electric Power Press, 2005.
- [7] 樊陈, 倪益民, 窦仁晖, 等. 智能变电站一体化监控系统有关规范解读 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36(19): 1-5.
- FAN C, NI Y M, DOU R H, et al. Interpretation of relevant specifications of integrated supervision and control systems in smart substations [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(19): 1-5.
- [8] 寇兴魁. 风电场管理信息系统的设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2013.
- [9] 徐龙博, 李煜东, 汪少勇, 等. 海上风电场数字化发展设想 [J]. 电力系统自动化, 2014, 38(3): 189-193+199.
- XU L B, LI Y D, WANG S Y, et al. Digital development assumptions of offshore wind farms [J]. Automation of Electric Power Systems, 2014, 38(3): 189-193+199.
- [10] 杨源, 周伟, 汪少勇, 等. 海上风电场的火灾防护方案设计 [J]. 南方能源建设, 2015, 2(增刊1): 93-97.
- YANG Y, ZHOU W, WANG S Y, et al. Fire protection design of offshore wind farm [J]. Southern Energy Construction, 2015, 2(Supp. 1): 93-97.
- [11] 万黎升, 曹洋, 闫照云. 风电场群远程集中监控与生产管理系统设计 [J]. 江西电力, 2016, 40(6): 13-17.
- WAN L S, CAO Y, YAN Z Y. Design of remote centralized monitoring and production management system for wind farms [J]. Jiangxi Electric Power, 2016, 40(6): 13-17.
- [12] 刘刚, 笃峻, 金岩磊. 风电场远程监控中心关键技术探讨 [J]. 电气技术, 2016(3): 69-73.
- LIU G, YU J, JIN Y L. Research on the remote monitoring center of wind power plant [J]. Electrical Engineering, 2016(3): 69-73.
- [13] 刘吉成, 何丹丹, 龙腾. 适应能源互联网需求的风力发电数据集成研究 [J]. 电网技术, 2017, 41(3): 978-984.
- LIU J C, HE D D, LONG T. Research on data integration of wind power to meet energy internet demand [J]. Power System Technology, 2017, 41(3): 978-984.
- [14] 傅质馨, 袁越. 海上风电机组状态监控技术研究现状与展望 [J]. 电力系统自动化, 2012, 36(21): 121-129.
- FU Z X, YUAN Y. Status and prospection condition monitoring technologies of offshore wind turbine [J]. Automation of Electric Power Systems, 2012, 36(21): 121-129.
- [15] 段斌, 林媛源, 黄凌翔, 等. 风电场监控通信安全解决方案 [J]. 电力系统自动化, 2009, 33(12): 97-102.
- DUAN B, LIN Y Y, HUANG L X, et al. A security solution for monitoring and control communication in wind farms [J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 33 (12): 97-102.

作者简介:



YANG X

阳熹

1982-, 男, 湖南衡阳人, 高级工程师, 硕士, 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司电控部副部长, 从事海上风电新能源利用管理研究 (e-mail) yangxi@gedi.com.cn。



YANG Y

杨源(通信作者)

1990-, 男, 广东湛江人, 工程师, 硕士, 从事海上风电新能源利用研究 (e-mail) yangyuan@gedi.com.cn。

(责任编辑 郑文棠)