

DOI: 10.16516/j.gedi.issn2095-8676.2017.03.005

分布式风电物联网平台设计与工程实践

翟永杰¹, 李冰², 乔弘³, 葛建宏¹, 于萍⁴

(1. 华北电力大学 自动化系, 保定 071003; 2. 华北电力大学 经济管理学系, 保定 071003;
3. 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; 4. 中科诺维(北京)科技有限公司, 北京 010000)

摘要: 从工业控制的角度, 分析了物联网的特点。针对分布式风力发电, 设计了风电物联网平台, 并进行了实际的工程实践。在平台设计中, 采用了网际组态软件的设计方式, 以后台配置式方式进行工程实施, 提高了实施效率; 提供了统一数据服务接口, 为其他应用软件服务商的使用提供了便捷的应用途径; 采用了 Silverlight 技术进行平台开发, 实现了跨平台的应用, 并具备优秀的视觉效果; 模块化和通用化设计, 使平台的应用更注重解决以往的“应用孤岛”问题。经过现场工程实践应用, 取得了预期的效果。

关键词: 物联网; 分布式; 人机界面; 组态软件; 后台配置式

中图分类号: F426.6 文献标志码: A 文章编号: 2095-8676(2017)03-0023-05

The Design and Engineering Practice of IoT Platform of Distributed Wind Power Generation

ZHAI Yongjie¹, LI Bing², QIAO Hong³, GE Jianhong¹, YU Ping⁴

(1. Department of Automation, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;
2. Department of Economic Management, North China Electric Power University, Baoding 071003, China;
3. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;
4. Zhongke Innovation(Beijing) Technology Co., Ltd., Beijing 010000, China)

Abstract: From the perspective of industry control, this paper analyzes the characteristics of Internet of Things. Against to the distributed wind power generation, this paper designs the platform of Internet of Things of wind power, and also does the actual project practice. The platform design uses the approach of internet configuration software to implement the project by background configuration and improves the efficiency. The platform also supply the unified data service interfaces to facilitate the project of other software providers. The platform uses the Silverlight technology to implement the cross-platform application and has outstanding visual effects. The platform focus on solving the past “application island” problem through the modular and universal design. Through the actual scene application, the platform achieves the expected effects.

Key words: IoT; distributed; HMI; configuration software; background configuration

物联网(Internet of Things, IoT), 国内外普遍公认的是 MIT Auto-ID 中心 Ashton 教授 1999 年在研究无线射频技术(Radio Frequency Identification,

RFID)时最早提出来的^[1]。在 2005 年国际电信联盟(International Telecommunication Union, ITU)发布的同名报告中, 物联网的定义和范围已经发生了变化, 覆盖范围有了较大的拓展, 不再只是指基于 RFID 技术的物联网。

中国工业和信息化部电信研究院在发布的 2011 年物联网白皮书中定义: 物联网是通信网和互联网的拓展应用和网络延伸, 它利用感知技术与智能装置对物理世界进行感知识别, 通过网络传输互联,

收稿日期: 2016-12-11

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金资助(2014MS140)

作者简介: 翟永杰(1972), 男, 河南封丘人, 副教授, 博士, 主要从事新能源技术、计算机控制、模式识别与智能系统研究工作(e-mail)13603123517@163.com。

进行计算、处理和知识挖掘,实现人与物、物与物信息交互和无缝连接。

“物联网概念”是在“互联网概念”的基础上,将其用户端延伸和扩展到任何物品与物品之间,进行信息交换和通信的一种网络概念。而从工业监控角度来看,物联网是把传统的工业监控网从局域网的范围延伸和扩展至互联网,实现更广域信息监控的一种网络概念。

在工业领域中,物联网概念在不断的发展和完善的,也有一些实际的工程应用。本文针对电力工业中的风力发电领域,进行了分布式风电物联网的平台设计,同时进行了工程实践。

1 物联网的基本结构^[1]

物联网网络架构由感知层、网络层和应用层组成,如图1所示。感知层主要包括二维码标签和阅读器、RFID 标签和读写器、各种传感器、视频摄像头等,完成对物理世界的智能感知识别、信息采集处理和自动控制。

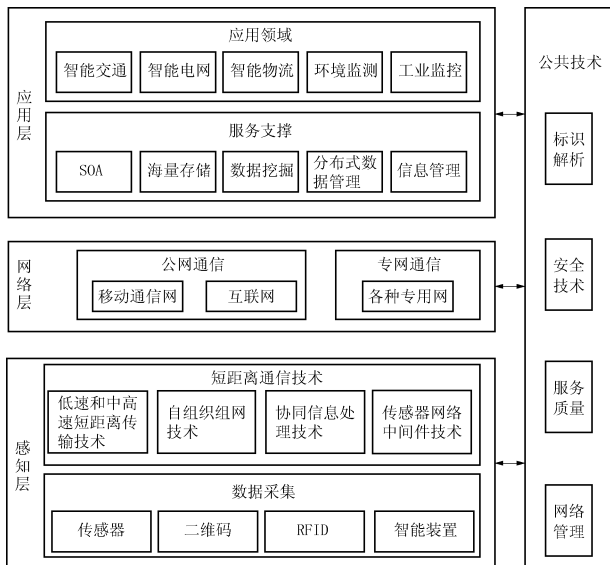


图1 物联网体系结构

Fig. 1 Architecture of IoT

各种传感器与临近的接入网管,以短距离通信技术组网,完成末梢节点的组网控制、数据融合和汇聚以及末梢节点信息的转发功能。

网络层主要实现信息传递、路由和控制,依托公共电信网和互联网,也可以依托行业专用通道网络,主要承担感知层与应用层之间的数据通信业务。

应用层包括服务支撑和各种互联网应用。服务支撑为物联网应用提供信息处理、计算等通用基础服务设施、能力及资源调用接口。以此为基础实现物联网在众多领域的各种应用。

除此之外,公共技术层为感知层、网络层和应用层提供包括网络管理、安全管理、服务质量(Quality of Service, QoS)保证、标识解析在内的各种服务。

2 从工业监控角度解释物联网概念

物联网概念早期在工业监控领域中有类似应用,1999年提出来时称为“传感网”。在农业、商业、民用等领域应用中进行了功能扩充,目前将扩充后的概念重新应用到工业监控中。

以火力发电监控为例,工业控制网络经历了不同阶段的发展^[2]:最初为点对点的模拟信号连接方式进行信息的传递,之后在计算机技术发展之后,于1975年诞生了分散控制系统(Distributed Control Systems, DCS),使现场的过程参数传递给中央数据库,通过控制软件对数据库中不同信息进行交换,这已经具有了初步的物联网的雏形,但局限于对过程参数的监视与控制。近年来发展的现场总线技术(Field Control Systems, FCS)则进一步加强了设备的信息采集与设备间的数据交换^[3]。FCS有几个特点,不同于DCS,更具备物联网特征:

1)在物联网中,我们不仅关注过程的参数,还会关注设备自身的状态。FCS中对现场总线设备进行状态信息采集。

2)在物联网中,不仅实现人与物的信息交换,还会实现物与物(Machine to Machine, M2M)之间的信息交换。

3)设备级的网络结构:在物联网中,设备通过不同的网络方式连接在一起。FCS也分为设备层、网络层、应用层。对应于物联网的感知层、网络层、应用层。

可以认为,FCS具备物联网的基本特征。电力工业中现有的生产管理系统及工业控制网络可以看作是电力物联网的一个组成部分,可以称为狭义物联网。

但从功能角度上来看,物联网比传统的工业控制网络具备更多的内涵:

1)传统的电力工业中,工业控制网络(如FCS、

DCS、PLC、SCADA)更多应用于生产环节, 功能局限于监视和控制, 统属生产过程监控系统, 而对于设备(即物联网中的“物”)的管理, 往往会有一些分立系统来实现, 如设备管理系统, 信息管理系统(Management Information System, MIS)。对于设备的信息采集, 主要采用人工录入的方式。近年来, 随着 RFID、二维码等技术的发展, 逐步将物联网技术应用于设备管理, 替代人工录入方式, 实现更有效的设备管理。

2)从功能角度来看, 物联网概念将设备管理、生产过程管理、信息管理的内容相互连接, 在功能上实现互联。例如: 基于生产过程中的运行参数对某一设备进行故障预警, 连接设备管理系统实现备件预订, 通过设备使用情况分析, 进行备件采购型号和厂家的决策支持。这就打通了生产过程、设备、资产、财务之间的信息壁垒, 实现了监视、管理、采购的信息互联。可以说, 物联网不仅仅是设备之间的信息交换, 还包括上层软件的功能交换。

3)从数据结构上来看, 物联网的数据类型要比传统的工业控制网络更加丰富, 不仅是工业运行数据、设备状态数据、商业经营数据的简单集中, 更是基于这些多源异构数据的有效分析(大数据分析)。

4)在工业控制网络的发展过程中, 如现场总线技术的推出, 其主要目的之一是解决自动化领域的“信息孤岛”问题, 即期望在各厂家的产品之间建立统一的规范, 使各厂家之间的数据进行交流, 同时各厂家的设备能够互换。对于物联网, 在解决信息孤岛问题的同时, 期望建立统一的服务支撑, 更侧重于解决“应用孤岛”问题。

将这些内涵逐步赋予电力工业, 则不断实现电力物联网的完善。物联网是一个总体概念, 在实践中将不断发展, 功能也将不断扩充。

3 分布式风电物联网平台总体设计

针对风力发电的特点, 对分布式物联网平台进行了感知层、网络层和应用层的三层结构设计, 如图 2 所示。

在功能设计方面, 主要包括的功能有: 实时监控、故障预警、设备管理、状态巡检、物资采购、人员管理、系统管理。针对这些功能, 进行实际的应用设计。

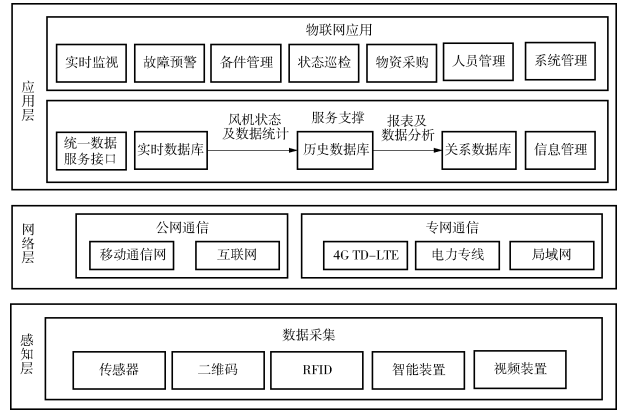


图 2 分布式风电物联网平台总体设计

Fig. 2 Design of the distributed wind power IoT platform

4 分布式风电物联网的工程实践

在平台结构设计和功能设计的基础上, 针对两个电力集团公司的区域公司进行了工程实践。

4.1 感知层设计

感知层除了传统的各类传感器之外, 还有典型的物联网设备, 如设备及风机的 RFID 标签、二维码, 巡检人员的手持终端, 车辆的 GPS 装置, 安全系统的视频监控, 同时建立商用 4G TD-LTE 系统网络(TD-LTE 即 Time Division-Long Term Evolution, 分时期演进), 安装无线传感器、专用 LTE 摄像头视频监控。

4.2 网络层设计

物联网平台的网络结构如图 4 所示。每个风场均设有两台采集服务器, 每台服务器均部署了一套完整的采集程序。当主采集服务器出现故障时, 备采集服务器会自动向集控中心的应用服务器或数据服务器上传采集数据。

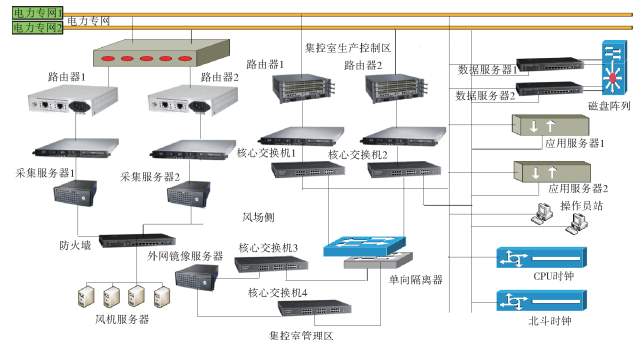


图 4 分布式风电物联网平台网络结构

Fig. 4 Network structure of the distributed wind power IoT platform

风场到集控中心设有两条电力专线。集控中心

设有两台应用服务器和两台数据服务器，两台数据服务器搭建服务器集群，集群共用资源磁盘阵列。每台服务器均是双网相连，即当任一条网络或两台中的任一服务器出现故障时系统仍可稳定运行，数据仍可正常存储，这样保证了集控中心侧的网络和数据的安全。

同时建立专用的 TD-LTE 专网。TD-LTE 是主要基于我国规范制定的第四代(4G)移动通信技术与标准。在风电场监控区域制高点架设 1.4G LTE 通信基站，形成监控现场的无线信号覆盖。基站天线需要架设在通视良好的位置，由于信号覆盖区域为风电区，风电机组本身高达 80 m，有较好的架设点。基站点设立在集控中心附近，通过光纤接入。

4.3 应用层设计

4.3.1 数据库设计

物联网平台不同于传统监控系统，包含三种数据库：实时数据库、历史数据库、关系数据库。实时数据库用于显示现场实时数据，注重数据的实时性；历史数据库存储风场信息的历史数据及记录，注重数据的存储量和检索速度；关系数据库存储系统的管理数据，注重数据的关联性。

同时，物联网平台进行了的统一数据服务接口设计，以实现软件即服务 (Software as a Service, SaaS)，也称预定式服务，是 2014 年智能电网的五大发展趋势之一^[5]。SaaS 是 21 世纪开始兴起的一种完全创新的应用模式管理式服务，软件提供商根据用户的需求，将软件或应用通过租用的方式提供给用户使用。通过 SaaS 模式，用户端只需要打开浏览器或者某种客户端工具就可以使用服务；用户不需要在本地安装该软件的副本，也不需要维护相应的硬件资源，该软件部署并运行在提供方自有的或第三方环境中。SaaS 是采用先进技术的最好途径，它消除了企业购买、构建和维护基础设施和应用程序的需要。这种方式类似于苹果 OS 或安卓系统的应用商店，提高了系统开放性，使更多的应用服务商在统一的数据平台上进行应用开发。

基于该技术设计开发了统一数据服务接口，为其他应用服务商提供数据入口，规范数据格式及通信规约，其他应用服务商可从统一数据服务接口直接获取实时数据、历史数据或流程数据，这样可以避免数据服务器的硬件重建，节省投资，利于数据统一，实现统一访问服务接口。若用户需增加传感

器层测点，则依据数据格式及通信规约，将传感器测点数据传入数据库。

4.3.2 物联网人机界面软件设计

4.3.2.1 设计原则

在物联网的应用过程中，人机界面 (Human Machine Interface, HMI) 是必不可少的。人机界面承担着物联网的物对人的信息展示、人对物的信息送达、物与物的信息流程关联等任务，是物联网的信息交互平台，与传统工业控制中的人机界面有一定的相似性，也有更多的自身特点。

在传统的工业控制中，人机界面用于数据的采集与监视控制，通常使用组态软件。“组态软件是指一些数据采集与过程控制的专用软件，它们是在自动控制系统监控层一级的软件平台和开发环境中，使用灵活的组态方式，为用户提供快速构建工业自动控制系统监控功能、通用层次的软件工具^[3]。”随着物联网的发展，对组态软件有了新的需求：

1) 传感器、数据采集装置、控制器的类型不断增多，智能化的程度不断提高，对组态软件的要求也越来越高。

2) 随着互联网技术的发展，组态软件也出现了分布式、网络化的趋势。

3) 物联网的发展，很多用户需要“傻瓜”式的应用软件，即需要很少的定制工作量就可以完成工程应用。

4) 既要照顾“通用”功能，又要兼顾“专用”功能。

5) 监控软件不仅在 PC 端使用，而且要应用于 Pad、手机等移动终端使用。

4.3.2.2 软件开发

针对以上这些设计原则，风电物联网人机界面软件进行了以下设计和开发：

1) 作为通用软件平台，具有更大的灵活性和扩充性。

物联网技术中，对于平台软件的灵活性和扩充性提出了更高的要求。针对前述功能设计，系统采用模块化技术，进行了应用模块设计。主要包括：(1) 监测类：风机运行监控中心、变电站运行监控中心、振动监测系统、变频器监测系统；报警类：故障报警中心；(2) 交互类：风机控制中心、AGC (Automatic Generation Control, 自动发电控制) 控

制系统; (3) 查询分析类: 风功率预测; (4) 管理类: 备件管理系统、物资管理系统、物资采购系统、人员管理系统; (5) 后台类: 数据管理中心、管理员中心。主人机界面如图 5 所示。



图 5 分布式风电物联网人机界面

Fig. 5 HMI of the distributed wind power IoT

用户可以在统一数据库基础上, 进行应用程序开发, 之后直接嵌入至主平台即可; 同时, 其他应用程序服务商也可以直接使用统一数据服务接口进行应用开发, 完成后进行应用嵌入, 如本平台重的风功率预测模块就是采用该方式进行开发和实施。

2) 组态软件直接支持 Internet 远程访问。

完全基于浏览器的 HMI 软件, 其最大的特点就是全部的工程项目、数据库设置、图面制作和软件管理都可以通过 Internet 或 Intranet 在异地使用标准的浏览器完成, 不仅实现了系统的远程控制, 而且实现了工程的远程开发和维护。可以称之为网际组态软件。

当现场出现异常状况或需要及时修改时, 工程维护人员无论身在何处, 都可以通过网络及时地作出相应的调整, 使工程的维护工作变得及时、高效, 并降低了工程维护成本。

3) 采用后台配置式的方式进行工程应用, 取代传统的前台组态的工程方式, 实现简单化应用。

工程实施由前台组态式转换为后台配置式, 前台组态方式是当前工业界普遍使用的工程组态方式, 一般采用“所见即所得”方式, 组态软件由数据库组态、控制逻辑组态、画面组态、趋势组态、报警组态等软件组成。进行一个工程实施时, 开发人员根据工程的具体情况, 进行数据库的逐点录入、监控界面的画面绘制等工作, 这些工作适用于相对集中的控制系统, 如火电厂、化工厂等, 侧重于生产流程, 有大量的流程画面需要人工绘制。而对于

风电等分布式能源, 其物联网平台与传统的工业平台有不同的特点: 发电单元类似, 发电单元多, 系统扩充性要求高, 发电流程简单。因此, 需要针对这些特点, 对监控平台进行采用分布式方式重新设计, 确定更好的设计原则。

系统采用后台配置式, 这是网络应用平台软件最常用的方式, 如门户网站、电子商务网站、物流网站都采用这种方式, 也是物联网最适合的方式。从传统工业监控系统的前台组态方式转换为后台配置式, 系统建立了一个丰富的后台支持系统, 包括数据管理中心子系统和管理员中心子系统。

数据管理中心子系统包括风场信息、型号信息、变电站信息、状态信息、状态判断、电量修正、数据导入、线路信息、报警等级、标签点信息等信息配置功能。

管理员中心子系统包括组织机构、用户管理、系统参数、菜单管理、角色管理、皮肤映射、用户设置等功能。

例如, 后台配置平台的风场信息管理界面如图 6 所示, 此页面主要用于维护风场信息、项目分期信息、风机信息, 还可单独搜索风机。当风机的经纬度配置完成之后, 即可以在风机监控画面中 GIS (Geographic Information System, 地理信息系统) 分布图中自动生成, 不需人工绘图。

风场名称	经纬度(东经/北纬)	联系人	手机	邮箱	操作	新增	删除	修改	删除
惠州	114.00	廖文	13923333333	13923333333	1	+	-	+	-
惠州	114.00	廖文	13923333333	13923333333	2	+	-	+	-
惠州	114.00	廖文	13923333333	13923333333	3	+	-	+	-
惠州	114.00	廖文	13923333333	13923333333	4	+	-	+	-
惠州	114.00	廖文	13923333333	13923333333	5	+	-	+	-
惠州	114.00	廖文	13923333333	13923333333	6	+	-	+	-

风场名称	风场分期	分期名称	分期编号	分期日期	分期容量 (MW)	竣工日期	操作
惠州	一期	惠州(一期)	13923333333	13923333333	13923333333	13923333333	+
惠州	二期	惠州(二期)	13923333333	13923333333	13923333333	13923333333	+
惠州	三期	惠州(三期)	13923333333	13923333333	13923333333	13923333333	+
惠州	四期	惠州(四期)	13923333333	13923333333	13923333333	13923333333	+
惠州	五期	惠州(五期)	13923333333	13923333333	13923333333	13923333333	+
惠州	六期	惠州(六期)	13923333333	13923333333	13923333333	13923333333	+
惠州	七期	惠州(七期)	13923333333	13923333333	13923333333	13923333333	+
惠州	八期	惠州(八期)	13923333333	13923333333	13923333333	13923333333	+

图 6 后台配置平台的风场信息管理界面

Fig. 6 Wind farm information management interface of background configuration platform

这种方式更方便用户使用, 缩短施工时间。在条件具备的情况下, 单风场接入系统可在一周内完成。

4) 模块化的设计方式, 各功能以模块的方式实现, 拓展了大量的组件用于完成特定的功能。

在应用层, 物联网更注重各应用之间的关联和连接, 而不是象传统电厂监控及系统一样, 多个系统分立。

我们针对风电物联网平台，进行了应用层软件的设计与开发，使各系统软件之间进行有效连接，将常规系统中的检修管理系统、运行监视系统、备件管理系统、物资采购系统这几个原本属于不同范畴的系统连接起来。这里，我们以一个运行人员的日常巡检工作为例进行说明，如图7所示。

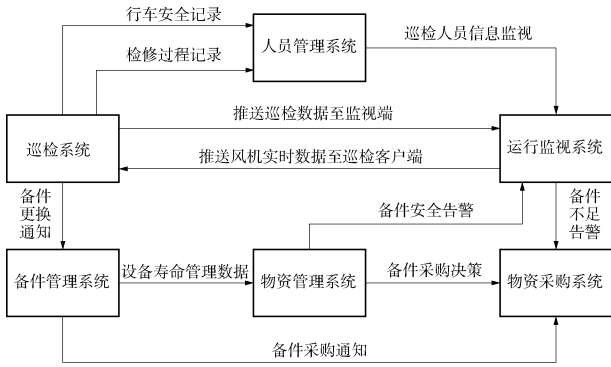


图7 物联网在应用层的应用关联

Fig. 7 Application conjunction of Internet of things at application layer

在对于巡检系统，检修人员使用手持终端，靠近风机时，通过 RFID 技术识别风机，运行监视系统将该风机的实时状态推送至检修人员终端。检修人员检测出某部件出现问题时，对该部件进行更换，通过部件的 RFID 标识进行记录在备件管理系统中进行数据更新；当备件数量低于阈值时，提醒物资采购人员；运行操作人员会在监控画面中监视到该部件备件的减少，在低于阈值时产生报警，由运行人员提醒采购人员进行物资保障，以保证风机运行安全；在物资管理系统中，实现设备的全寿命管理，同时，该部件的更换信息会进入物资采购系

统，对该部件型号、所属厂家进行分类统计，通过分类进行分析，综合物资采购系统中的部件价格、保修期等信息进行综合分析评估，为设备的型号选购和厂家选择提供决策支持。

另一方面，通过 RFID 的识别，也形成了运检人员的点检记录，送入人员管理系统，为检修人员的考核提供数据基础；运行人员所使用的巡检车辆上安装有 RFID 标识及 GPS 装置，并且记录车辆行驶速度记录，通过无线方式，发送数据到人员管理系统，检测车辆速度是否超速，保证巡检安全，同时作为人员安全管理考核数据。

5) 采用 Silverlight 技术实现跨平台设计。

为实现 HMI 在不同平台上的快速应用，系统采用 Silverlight 技术进行开发，界面如图8所示。Silverlight 技术是微软的富英特网技术 (Rich Internet Applications, RIA) 技术，是一种新的 Web 呈现技术的名称，创建该技术的目的是使其能够在各种平台上运行。该技术支持创建丰富的交互式体验，展现手段丰富，视觉效果优秀，并且可以随处实现：无论是在浏览器内、在 Pad 等设备上还是在脱离浏览器的桌面操作系统中。

5 结论

目前，以风电为代表的可再生能源在国内发展迅速，但是，由于当前技术条件限制，风电在用电低谷及供暖季节存在较突出风电发用矛盾，弃风现象时有发生：一方面负荷需求旺盛，另一方面可再生能源却无处消纳^[6]。因此，文献[7]提出了能源互联网的概念，使“电网、互联网、物联网等相互



图8 采用 Silverlight 技术开发的人机界面

Fig. 8 The HMI developed by silverlight technology

融合,构成功能强大的社会公共服务平台。”这说明,物联网是能源互联网在风力发电领域的一个重要环节应用环节。

本文分析了工业控制网络的发展特点,针对分布式风力发电,设计了风电物联网平台,并进行了实际的工程实践。在平台设计中,采用了网际组态软件的设计方式,以后台配置式方式进行工程实施,大幅度提高了实施效率;提供了统一数据服务接口,为其他应用软件服务商的使用提供了便捷的应用途径;采用了 Silverlight 技术进行平台开发,实现了跨平台的应用,并具备优秀的视觉效果;模块化和通用化设计,使平台的应用更注重解决以往的“应用孤岛”问题。

通过平台的设计和现场的实际工程应用,充分体现了物联网特性,为物联网技术在风电领域的应用提供了技术积累和经验,同时也为云计算、大数据分析等先进软件技术的实施奠定了基础。

参考文献:

[1] 林为民,郭经红,吴军民,等. 云计算与物联网技术在电力

系统中的应用 [M]. 北京:中国电力出版社,2013.

[2] 翟永杰,王学厚,张悦,等. 火电厂分散控制系统原理及应用 [M]. 北京:中国电力出版社,2010.

[3] 阳宪惠. 工业数据通信与控制网络 [M]. 北京:清华大学出版社,2003.

[4] 张仁杰,高军伟,田海涛. 网际组态软件 Advantech Web Access 应用技术 [M]. 北京:机械工业出版社,2011.

[5] 李新捷. 2014 年智能电网的五大发展趋势 [J]. 中国电力,2014,47(3):145-145.

LI X J. The five development tendency of smart power network in 2014 [J]. Electric Power, 2014, 47(3): 145-145.

[6] 周海明,刘广一,刘超群. 能源互联网技术框架研究 [J]. 中国电力,2014,47(11):140-144.

ZHOU H M, LIU G Y, LIU C Q. Study on the energy internet technology framework [J]. Electric Power, 2014, 47(11): 140-144.

[7] 刘振亚. 智能电网与第三次工业革命 [J]. 中国电力企业管理,2013(23):2-3.

LIU Z Y. The smart power network and the third industrial revolution [J]. China Power Enterprise Management, 2013(23): 2-3.

(责任编辑 高春萌)

中国能建广东院海上风电设计成功经受台风考验

2017年6月10日,广东省首个海上风电场——珠海桂山海上风电场示范项目建设再传捷报,项目顺利完成首台风电机组的整体安装,并在24h内顺利完成第2台风电机组安装。这是国内首次在导管架基础上成功运用整体吊装方案,是海上风电领域新技术应用的又一里程碑,也是中国能建广东院海上风电领域设计创新的又一成功实践。

首两台风机安装完成后不到24h,2017年第2号台风“苗柏”向广东袭来,台风中心附近最大风力达9级(23m/s),对珠江口沿海产生较大影响,桂山项目所在海域也在影响范围内。狂风巨浪中,桂山项目首两台机组岿然屹立,成功经受台风极端天气的考验。

珠海桂山海上风电场示范项目(以下简称“桂山项目”)由中国能建广东院规划设计,本期建设规模为120MW,拟安装34台风机机组。

桂山项目是国家级示范项目,也是世界上首个海上风电与海岛新能源智能微电网应用研究整合项目。项目建成后,预计年发电量近2.66亿kWh,对探索广东海上风电开发模式、促进海上风电设备国产化和海上风机基础选型与施工技术



(中国能建广东院)