

风电场在线监测传输系统的研究与设计

向志强¹, 王海云^{2,3}, 陈 鑫⁴, 刘江涛⁵

(1. 国网四川巴中供电公司, 四川 巴中 636000; 2. 新疆大学电气工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830049;
3. 可再生能源发电与并网技术教育部工程研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830000;
4. 金凤科技股份有限公司, 北京 100000; 5. 国网重庆武隆县供电有限责任公司, 重庆 武隆 408500)

摘要: 风电是中国未来 10 年发展洁净新能源重要项目, 要掌握机组的运行状态、及时排除机组故障而减少不必要的停机和事故, 一套在线监测系统就显得尤其重要。基于 ZigBee 和以太网技术研究了一套数据采集和传输系统, 对数据采集模块、数据传输模块进行了硬件和软件设计, 并完成了 ZigBee 网络和以太网网络之间的协议转换, 实现了数据的双向传输, 并用简单的试验证明了该系统的可靠性很高。该系统有安装简单、低复杂度、安全性高、低成本等优点。解决风电场尤其是海上风力发电场的布线困难、不方便维修、成本高等困难, 同时也为数据采集点多、布线复杂的在线监测系统提供了新的思路。

关键词: ZigBee; 在线监测; 以太网; 数据采集; 数据传输

Abstract: Wind power is an important project for developing clean energy in the next ten years in China, in order to master the operating condition of the unit and remove the unit failures promptly so as to reduce the unnecessary outage and accidents, a set of on-line monitoring system is becoming more important. Based on ZigBee and Ethernet technology, a set of data acquisition and transfer system is developed, and the hardware and software of data acquisition module and data transfer module are designed. By completing the protocol conversion between ZigBee and Ethernet network, the bidirectional data transfer is achieved and its higher reliability is proved by simple tests. The system is easy to be installed, and has such advantages as low complexity, high security and low cost etc. It not only solves many difficulties of wind farm, especially offshore wind farms, such as difficult wiring, inconvenient maintenance and high cost, but also provides a new idea for on-line monitoring system with many data acquisition points and complex wiring.

Key words: ZigBee; on-line monitoring; Ethernet; data acquisition; data transfer

中图分类号: TM614 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2015)05-0006-05

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2015.05.002

0 引言

由于近年来全球能源紧张、环境问题日益突出, 从而一种储量大、分布广、清洁没有污染而且可再生的风能越来越受到世界各国的重视, 中国也不例外, 目前中国装机容量已是世界上最多的国家。最近三部委发布的《能源行业加强大气污染防治工作方案》指出发展目标到 2015 年年底中国风电总装机容量为 100 GW, 到 2017 年风电总装机容量 150 GW^[1]。风电场绝大多数都在偏僻的沙漠、戈壁、草原、山区和离陆地几十公里的近海, 这样就给风电机组的运行管理和维护带来了极大不便^[2-4]。目前的

在线监测系统有唐智科技研发的 JK10460 系统各风机的机载主机与中控数据服务器通信采用光纤环网方案进行通讯^[5]; 北京化工大学和博华信智公司联合研制的 BH5000W 采用无线现场采集站或现场采集站采集数据, 经转换模块与风电场局域网连接^[6]; 阿尔斯通创为实技术发展有限公司开发的 S8100 泵群在线监测系统采用的是 RS485 总线进行通信^[7]; 这些系统在一些特殊的现场环境下根本没有办法在现场布置有线网和现有的无线成本很高而且很难满足要求等缺点^[8]。所提出的基于 ZigBee 和以太网相结合的在线监测通讯系统能够很好解决现有的这些问题。此数据采集系统, 具有很强的自组织能力, 当风电场的在线监控对象突然增加或减少时仍然能正常工作, 并能很好地满足风电场结构

基金项目: 教育部创新团队(IRT1285); 国家自然科学基金(51267017); 自治区重大攻关计划项目(201230115-3)

复杂、控制参数多、间距远等优点。

1 系统总体结构设计

风电场在线监测无线通讯系统的关键技术在于 ZigBee 与以太网网关设计、数据帧格式的转换和 ZigBee 技术的无线组网。风电机组通过本身所安装的传感器把所采集的信息通过 ZigBee 的自组织网，最终传输到 ZigBee - 以太网交换机，经过 ZigBee - 以太网交换机把数据转换后传到以太网，完成一次数据传输，风电场在线监测结构图如图 1。

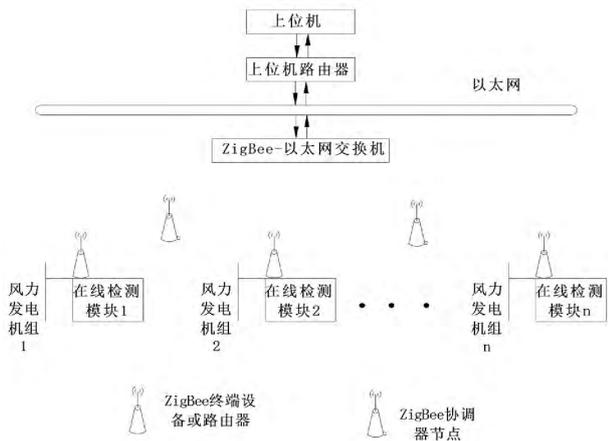


图1 风电场在线监测结构图

1.1 ZigBee 传感网络技术

ZigBee 技术是随着工业自动化对于无线通信和数据传输的需求而产生无线通讯技术，这种技术有短距离、低速率、低功耗、低成本、低复杂度，它工作于无须注册的 2.4 GHz ISM 频段并具有电池寿命长、应用简单、可靠性高及组网能力强等特点。ZigBee 有一套由 IEEE 802.15.4 和 ZigBee 联盟共同制定的完整的协议层结构。

ZigBee 技术的最上层是可由用户自己定义的应用层 (APL)，中间采用由 ZigBee 联盟制定的协议，包括应用支持子层 (APS)、网络层 (NWK)。底层采用 IEEE 802.15.4 标准的物理层 (PHY) 和媒体访问控制层 (MAC) [9]。ZigBee 协议堆栈结构体如图 2。

ZigBee 网络是一个最多可由 65 000 网络节点组成的无线数传网络。每一个 ZigBee 网络节点类似移动网络的一个基站，它们之间可以进行相互通信；每个网络节点间的距离可以从标准的 75 m，到扩展后的几百米，甚至几公里 [10]。

ZigBee 无线通信网络中有两种功能设备、3 种类型节点以及 3 种网络拓扑结构 [11]。ZigBee 无线

传感网络有 3 种设备类型功能节点：协调器 (coordinator)、路由器 (router) 和终端设备 (end device)。ZigBee 网络有星形拓扑 (STAR)、树状拓扑 (cluster)、网状拓扑 (MESH) 3 种网络拓扑结构 (见图 3)。

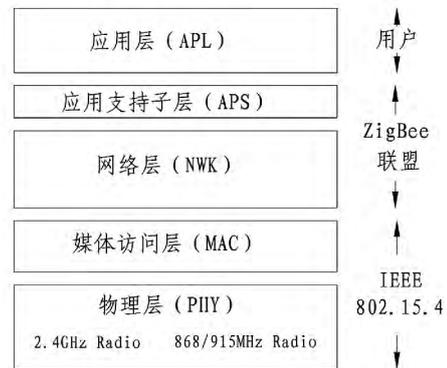


图2 ZigBee 协议栈结构

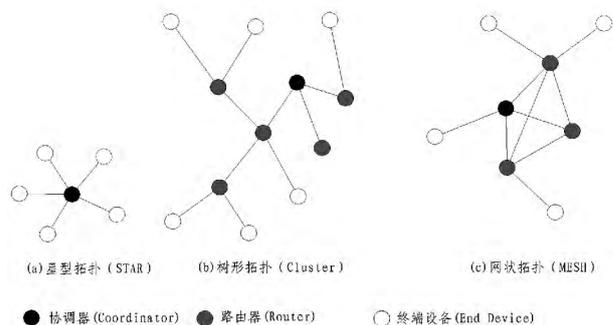


图3 ZigBee 网络拓扑结构图

ZigBee 网络具有很强的自组织功能。在彼此信号覆盖范围内，通过彼此自动寻找，很快就能组建一个相互通信的 ZigBee 网络。如果网络中有节点位置变化或消失，它可以从新寻找网络通讯对象，重新组建一个 ZigBee 网络。如果把它用在风电场在线监测系统中，如果风力发电机组停机检修或者有新的发电机组并入时，ZigBee 通讯网络仍然正常运行。

1.2 以太网技术

以太网技术是当前应用最普遍的局域网技术，它具有应用广泛、共享资源能力强、软硬件资源丰富以及低成本等优点 [12]。近年来通信技术迅速发展，高速以太网的速率已经超过 100 Mb/s，对于监控信息量比较大的风电场在线监测系统，高速以太网保证了信息传输速度和效率。

IEEE 定义了以太网的技术标准，标准中规定了以太网物理层硬件设备之间的电信号选择和媒体介质访问层协议标准。以太网技术传输协议采取通用的 TCP/IP 通信协议，TCP/IP 通常采用 4 层模型：应

用层、传输层、网络层和数据链路层^[13] (如图4)。应用层的主要功能是应用程序间的沟通;传输层主要是提供应用程序间的通信;网络层主要定义IP地址格式,并提供基本的数据封包传送功能,让每一块数据包都能够到达目的主机(但不检查是否被正确接收);数据链路层负责通过网络发送数据和接收IP报文。

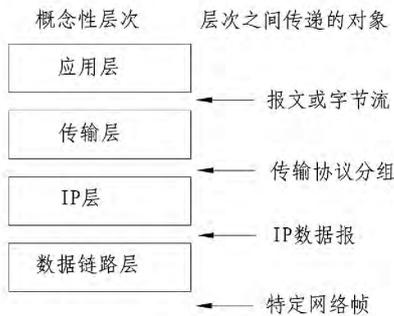


图4 TCP/IP的分层结构图

2 信号采集系统

数据采集系统主要由传感器节点、路由节点和协调器节点组成。传感器节点将采集到的风力发电机组监控参数通过路由节点或者直接传送给协调器节点,协调器与传感器节点之间、传感器节点与路由节点之间、协调器与路由器之间以及传感器节点与传感器节点之间都采用 ZigBee 无线网络方式进行通信。在此系统中传感器节点和路由节点可以互换,它们的硬件结构也相同,只是在传输过程中所起的作用不同而已。

2.1 传感器节点和协调器节点硬件设计

2.1.1 传感器节点硬件设计

传感器节点主要由传感器模块、ZigBee 无线收发及数据处理模块、CC2591 射频前端、电池管理模块、LCD 模块等组成。CC2430 无线模板是数据收发和处理的核加上前面的模块电路就成为了单个传感终端节点^[10]。传感器硬件结构如图5。

传感器模块主要任务是采集监视区域的信息并完成数据转换。风力发电机组监控系统需要监控的参数包括:

- 1) 环境参数: 温度、风速、湿度、风向等;
- 2) 机械参数: 发电机转速、偏航速度、形变参数等;
- 3) 状态参数: 报警状态、工作状态、偏航状态等;
- 4) 发电参数: 各相电压、电流、功率、总有功功率、总无功功率、功率因数、发电量、频率等。

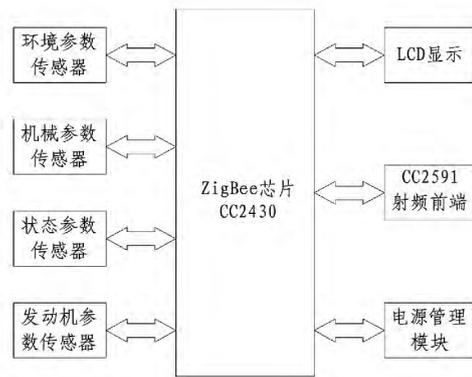


图5 传感器硬件结构

率、总无功功率、功率因数、发电量、频率等。

CC2430 的通讯范围为 100 m 左右,而相邻机组之间机距离一般大于 1 000 m,所以不能满足其实际的需要,为了保证数据能够安全地传输,就必须使节点的收发信号放大,因而加入了 TI 公司的具有高性价比和高性能的 2.4 GHz RF 前端 CC2591,适合低功耗低电压 2.4 GHz 无线应用。CC2591 前端可将输出功率提高 +22 dBm 以及可将接收机灵敏度提高 +6 dBm,从而能够显著增加无线系统的覆盖范围,它可以将 CC2430 的通信范围扩大原来的 15 倍,以此足以满足风电机组之间的通讯。

2.1.2 协调器节点硬件设计

ZigBee 网络协调器节点应具备与电场在线监测系统的新节点建立动态链接的能力,此外 ZigBee 协调器要能确定这些新节点在网络中的职责。为了使 ZigBee 协调器能有效地履行这些任务,它需要较大的本地程序存储器,并具备访问这些存储器的能力。

Freescle 半导体公司的 MCF5208 微处理器能满足 ZigBee 协调器需要,并且它能适应最复杂 ZigBee 系统。基于 MCF5208 的协调器硬件结构如图6。

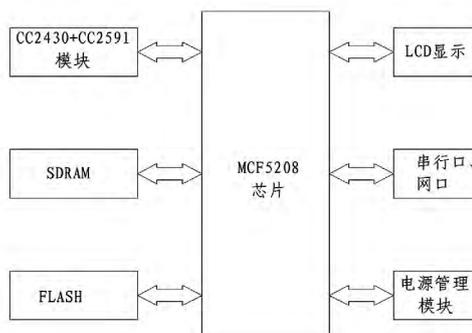


图6 协调器硬件结构

MCF5208 内置的 ColdFireV2 核具有 166 MHz/159 MIPS 的性能,这使它超越用于控制底层 FFD 或

RFD节点的8、16或32位MCU的性能。MCF5208还整合了关键构建模块,使设计师更容易实现他们的ZigBee解决方案。

2.2 传感器节点和协调器节点软件设计

传感器节点主要是采集传感器数据和接受来自协调器的控制数据。当没有数据收发时进入休眠状态,节点功耗降到最低。传感器节点的软件设计流程图如图7所示。系统初始化后进行硬件和协议初始化,加载成功后进行协议任务,判断任务后测量传感器数据并发送到协调器,进入休眠状态后再执行下一个任务,若超过规定次数,网络建立失败。

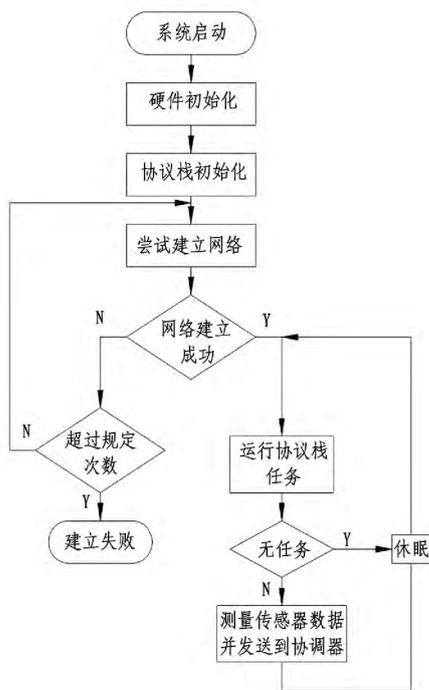


图7 传感器节点软件流程图

协调器的软件流程图如图8所示。系统刚开始初始化,硬件协议初始化后开始建立网络,判断节点是否接入网络,接入网络成功后运行协议任务,接收和发送节点数据。

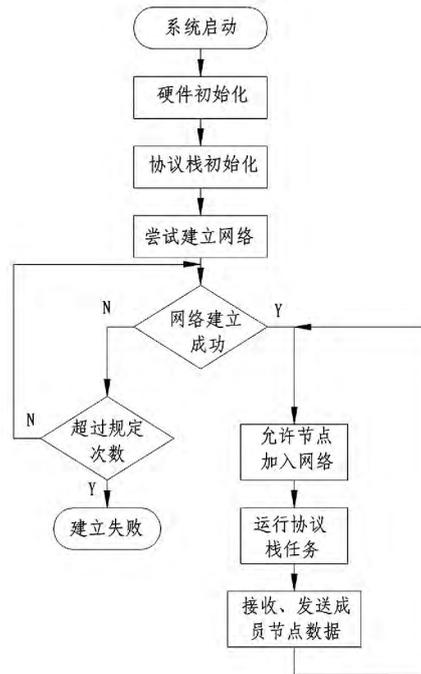


图8 协调器节点软件流程图

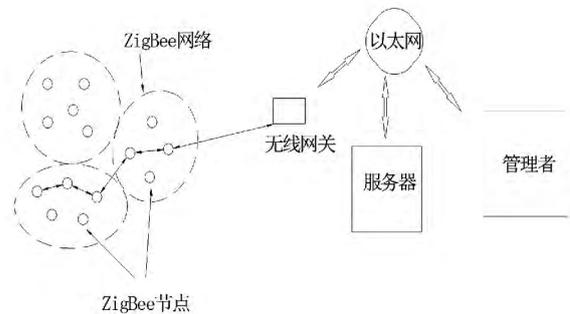


图9 数据传输网络体系结构

数据传输网络体系结构^[14]。

在数据传输系统中关键技术就是怎样从ZigBee数据包转化为TCP/IP数据包,这也是网关的任务,因此下面主要介绍ZigBee-TCP/IP的协议转换。

3.1 ZigBee协议与TCP/IP协议IP地址转换

ZigBee网络要与TCP/IP通信,两者都必须有唯一的IP地址和MAC地址。ZigBee网络只有全球唯一的64位的IEEE MAC地址或者16位ZigBee网络地址,而没有ZigBee网络节点IP地址^[14]。TCP/IP协议的ARP可以实现IP地址和数据链路层MAC硬件地址之间的转换的标准,可以参考TCP/IP的ARP实现机制,建立一个ZigBee的MAC地址到IP地址的映射表,给每一个ZigBee的节点分配一个虚拟的IP地址。这样在通讯过程中就可以根据ZigBee节点MAC地址和ZigBee协议中的虚拟IP地址映射关系完成相应地址转换。地址映射表如表1。

表1 地址映射表

IP 地址	64 位 MAC 地址	16 位 ZigBee 网络地址	节点标识符 ID
128.128.2.202	0×000000220001	0×1699	0×01
...	0×000000220002	0×169A	0×02
...

3.2 ZigBee 协议与 TCP/IP 协议数据格式转换

ZigBee 协议与 TCP/IP 协议数据格式转换工作原理如图 10 所示。下面是由 TCP/IP 协议向 ZigBee 协议转换过程:网络接口的一个发往 ZigBee 网关的 IP 数据包,经过 CP/IP 协议栈的网络层发给传输层 UDP 处理后,再发给网关 ZigBee 路由控制层处理;网关 ZigBee 路由控制层的应用程序经过 ARP 解析后,确定转发给 ZigBee 网络中的某节点网络地址或 MAC 地址,然后按照图 11 生成 ZigBee 数据包,经由 IEEE 802.15.4 物理层将 ZigBee 数据包交至该 ZigBee 节点,如此就完成了从以太网端向 ZigBee 端的协议转换^[15]。由 ZigBee 端向 Ethernet 端的协议转换与前述过程相反,按照图 5 可以类似地解决。

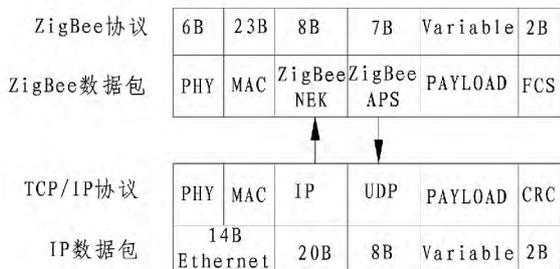


图 10 ZigBee 协议与 TCP/IP 协议转换图

3.3 数据的交换及实现

选用成都 Chipcon 公司的 CC2430 作为 ZigBee 网络的芯片和选用台湾 RETLITE K 公司的网卡芯片 RTL8019 为以太网的芯片,所制作的 ZigBee 数据传输模块如图 11,所设计软件的数据包传输流程图,如图 12。

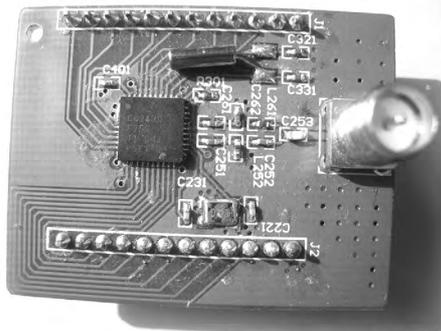


图 11 ZigBee 数据传输模块

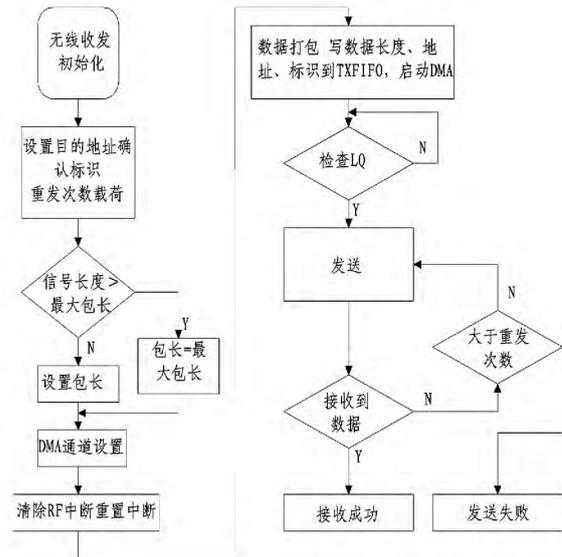


图 12 数据包传送流程图

由于以太网已经成熟且性能很好,所以在此只对 ZigBee 模块到网关之间的通讯性能测试。完成建立简单的星形网络,对数据从节点传输到网关后的精确性等测试,并进一步测试数据经长时间传输的稳定性,其结果为图 13、图 14 所示。测试结果表明此系统传输结果比较精确,在一天的测试中没有出现错误。

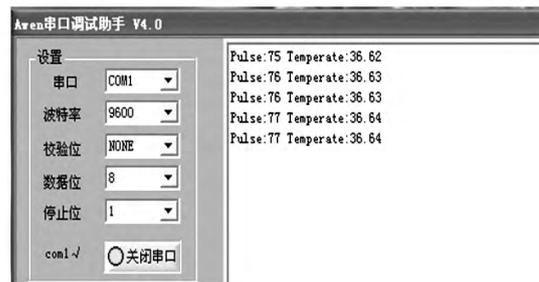


图 13 网关收到的节点传来的数据



图 14 从网关端口传出的数据

4 结 语

基于 ZigBee 技术和以太网技术建立了一套风 (下转第 90 页)

(MW) 乘以 3 得出该负荷所对应的大致给水流量。

3) 根据过热度变化及时修正给水流量,避免过热度过高造成水冷壁超温。

4) 根据锅炉燃烧工况如风量、给煤量、床温变化率等参数变化,提前调节给水流量。

5) 当给煤线故障时,根据煤量及床温手动减负荷,减少给水流量维持蒸汽温度。

6) 手动加减负荷时,及时根据汽压变化调整给水泵转速保证上水压差在适合的范围内,避免给水流量波动。

7) 负荷持续下降到 200 MW 左右时,及时转湿态保证锅炉安全。

8) 低负荷时,停运一台给水泵,给水切至旁路调整,保证给水稳定。

9) 调节给水时都要兼顾到过热器减温水的用量,使之保持在一个合适的范围内,不可过多或过少,留有足够的调节余地;同时还要监视好再热汽温度、受热面壁温等,严防超温,汽温也不可过低。

(上接第 10 页)

力发电场在线监测数据采集和传输系统。此系统继承了 ZigBee 网络和以太网网络的共同优点,如低速率、低功耗、低成本、具有自组织能力、低复杂度、共享资源能力强、软硬件资源丰富以及安全性高等等。经验证系统的稳定性比较好。该系统也实用于像海上风力发电场这种数据采集点多、布线复杂的工业在线监控系统。

参考文献

[1] 发改委、能源局和环保部三部. 能源行业加强大气污染防治工作方案[R]. 2014.

[2] 张耀. 基于风电场无线通信的研究[J]. 硅谷, 2010 (19): 28.

[3] 辛卫东, 马志勇, 滕伟, 等. 振动监测技术在风电机组齿轮箱故障诊断中的应用[J]. 中国电力, 2012, 45 (5): 77 - 80.

[4] 高熾. 风机发电机组状态监测与故障诊断系统的软件开发[D]. 保定: 华北电力大学, 2012.

[5] 董昱廷, 王海云, 唐新安. 风电机组状态监测系统现状[J]. 电机与控制运用, 2013, 40(4): 17 - 21.

[6] 北京唐智科技发展有限公司. 风电机组在线故障诊断系统技术方案说明书[G]. 2011.

[7] 周选民, 刘军, 贺训育, 等. 主要动设备监测分析系统

5 结 语

白马 600 MW 机组目前是世界上单机容量最大的 CFB 锅炉,也是国内首次将 CFB 燃烧方式与超临界直流汽水系统相结合的锅炉,给水控制既是重点也是难点。通过采取以上给水控制方法,经过一年多的实践检验,取得了较好的效果,保证了机组安全运行。

参考文献

[1] 吕俊复, 岳光溪, 于龙, 等. 600 MW 超临界循环流化床锅炉[J]. 动力工程, 2007, 27(4): 497 - 501.

[2] 胡昌华, 卢啸风. 600 MW 超临界循环流化床锅炉设备与运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2012.

[3] 东方锅炉有限公司, 600 MW 超临界循环流化床锅炉结构说明书[R].

作者简介:

邝伟(1973) 高级工程师,从事循环流化床机组调试、运行优化及生产技术管理工作。(收稿日期:2015-04-28)

的应用[J]. 状态监测与分析, 2012, 33(3): 62 - 67.

[8] 孙利民, 魏然. 风力发电机组的无线远程监控系统[C]. 力学与工程应用, 2012: 108 - 111.

[9] 曹付成, 张广明. 基于 ZigBee 的风电测风系统的设计[J]. 可再生能源, 2011, 29(5): 141 - 144.

[10] 梁子伊, 马正华, 瞿新南. 基于 ZigBee 和 GPRS 的风电场远程监控系统研究[J]. 计算机与数字工程, 2010, 38(11): 90 - 96. +

[11] Lei Wang, Xinguo Ming, JingYou. The Steps and Methodology of Identifying Master Data from Business Processes[C]. World Congress on Software Engineering 2009(1): 329 - 333.

[12] 梁小晓, 乐英高. 基于 ZigBee 和以太网的数控机床网络通信系统研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2013(3): 53 - 59.

[13] 王建平, 周辰飞, 朱程辉, 等. 一种 ZigBee - TCP/IP 无缝网关模型[J]. 合肥大学学报, 2013, 36(9): 1058 - 1062.

[14] 杨顺, 张毅, 陶康. 基于 ZigBee 和以太网的无线网关设计[J]. 计算机系统应用, 2010, 19(1): 194 - 197.

[15] 朱剑锋, 熊志斌, 尹成国. ZigBee 无线传感网络与 IP 网络的网关设计[J]. 软件, 2011, 32(9): 53 - 55.

(收稿日期:2015-07-27)