

火电厂智慧水务关键技术与信息平台建设研究

李秀文^{1,2}, 齐 勇^{3,4}, 王 鹏^{1,2}, 杨建慧^{3,4}, 王国川⁵

- (1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038;
2. 北京中水科工程总公司, 北京 100038;
3. 大唐环境产业集团股份有限公司, 北京 100097;
4. 大唐(北京)水务工程技术有限公司, 北京 100097;
5. 丹东太平湾发电厂, 辽宁 丹东 118000)

摘 要:针对火电厂耗水量大、能耗物耗高、水复用率低、智能化水平低等关键科学技术难题,基于智慧水务研究成果,提出火电厂智慧水务关键技术与信息平台建设的研究方法。根据火电厂水务信息化面临的现状及形势,确立研究的总体、具体目标。融合现场监测资料 and 智能分析理论和方法,提出水量平衡智能测算方法,建立火电厂污水处理主要设备的故障诊断及寿命预测智能方法,构建火电厂水处理系统历史和实时成本测算模型。提出了信息平台的网络架构、体系架构和逻辑架构设计方案,信息平台融合火电厂水务管理专家辅助决策系统、火电厂系统运行关键设备及构筑物可靠性分析与评价模型等。为实现集节水型、节能型、环保型、安全型、经济型为一体化的智能火电厂水务管理提供技术支撑。

关键词:火电厂;智慧水务;关键技术;信息化平台
文章编号:2096-4633(2019)05-0056-06 **中图分类号:**C39 **文献标志码:**B

我国属于水资源较为贫乏的国家,相关研究表明,预计 2030 年我国用水缺口达 700 亿立方米。我国火力发电量占总发电量的 80% 以上,火电用水占工业用水 1/6,是最大的用水行业^[1]。随着废水排放标准的日益严格及各地不断提高的水资源费征收标准,火电厂深度节水及零排放成为国内外关注的热点^[2]。

智慧水务是一项复杂的大型系统工程,通过利用自动化设备获取底层数据,结合信息化技术的方法来提取、处理并公开城市水务信息,进而高效、低成本的管理城市给排水、污水处理、再生水综合利用等过程^[3],目前逐渐在国内多个城市推广开来^[4-6]。随着移动互联网、云计算、大数据和物联网等技术的蓬勃发展,智慧火电厂建设成为发电领域热议的话题。火力发电火电厂智慧水务关键技术的研究,作为智慧火电厂建设的缩影,可以使全厂水务管理智能化、高端化、低碳化,必将为自动化火电厂向智慧火电厂升级带来质的飞跃,具有重要示范意义。

根据《火力发电火电厂水务管理导则》DL/T1337

-2014^[7]要求:“火力发电火电厂应建立全厂主要水系统的水量平衡、水质监测体系;在确保设备安全的前提下,提高企业的用水效率,降低全厂单位发电量和排水量”。从这一原则出发,基于当前“智慧水务”最新研究成果,借鉴国内外最新水循环、应用化学、能源环境工程领域研究进展,以及先进的信息处理与网络通信、计算机应用与大数据等技术,结合火电厂水处理与水循环系统实际现状,提出各关键技术在火电厂智慧水务系统建设中的重要作用及实现途径。

1 火电厂智慧水务主要目标

1.1 总体目标

全面分析火电厂水务信息化现状及面临形势,深入理解火电厂智慧水务的建设需求,构建以“智慧感知体系、智慧服务体系、智慧应用体系、支撑保障体系”等四大体系为总体框架的火电厂智慧水务管理平台,实现全厂与各用水单元的动态水平衡计算,关键用水系统的成本测算与动态分析,加药量实时测算与优化,主要设备工作性态监

控、诊断、评估与故障预测,关键设备的全生命周期管理,促进火电厂水务信息化有序、实时、持久、健康可持续发展。

1.2 具体目标

(1)实现全厂水平衡的动态、实时测算及历史水平衡回顾计算,达到对全厂供用水的全面监控及水平衡计算功能。在此基础上,实现全厂水管网泄露故障及时诊断与故障位置的快速定位。

(2)实现主要水处理设备工作性态的实时监测与评估(超滤、反渗透、离子交换树脂系统),实现上述系统故障的预测性诊断,为故障处置赢得主动,提升水处理系统管养水平、降低管养成本。

(3)建立上述主要水处理系统的寿命预测分析模块,为系统寿命管理提供一定参考依据。

(4)实现化水车间水处理系统(中水系统、锅炉补给水系统)的成本测算,优化制水系统用药量,降低全厂制水成本、达到优化运行的操作系统。

(5)实现水系统关键设备(超滤、反渗透、离子交换树脂系统)的运行周期检查、故障及维修记录管理,实现全厂水务系统的数据和报表管理。

(6)实现全厂水系统运行关键参数及故障状态的移动客户端实时安全推送(在不影响网络安全情况及具备实施条件下,进行实施)。

(7)通过在线实时跟踪并优化全厂水资源调配,实现全厂各类供水、用水、排水全面规划、综合平衡分析功能。

(8)对全厂用水单元用水、耗水进行相关关系分析,设计开发全厂水系统供水管网漏损故障快速定位分析模型,为水系统安全稳定运行提供充分保障,显著提升水系统运营管理水平。

2 水处理系统关键技术

2.1 动态水平衡智能测算分析

2.1.1 水系统网络

根据火电厂现状水系统网络,进行节水改造工程建设,在水系统网络与监测网络优化布局的基础上,将火电厂水系统分为生产用水和生活用水两部分,并按照用水用途和工艺流程将全厂水系统分为六大子系统,分别为生活用水系统、脱硫用水系统、一期循环水系统、化学除盐水系统、二期辅机循环系统和其他用水系统。全厂自水源地取水后,经双管道输入平流池,经过滤、沉淀等处理后,成为工业水,

供全厂使用,全厂各子系统之间供水、排水互相关联,最终所有废水用于厂区绿化或进行终端处理,实现废水“零排放”。

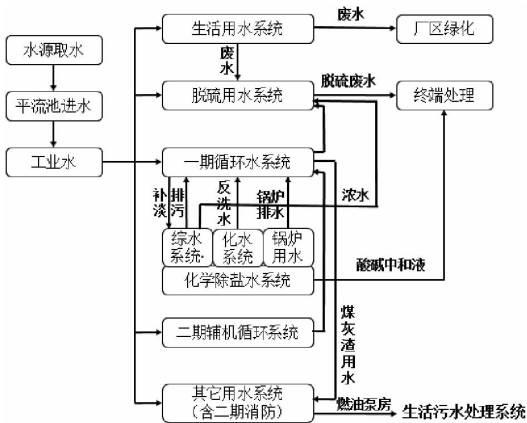


图1 火电厂水系统网络

Fig. 1 Thermal power plant water system network

2.1.2 监测设备优化布局

在一期循环水系统、化水系统、锅炉排污系统等流量取样节点安装流量计并进行无线数据采集,建立统一的无线数据采集平台构成全厂水系统监测网络。实现全厂及各用水系统、单元水平衡自动测算。

2.1.3 水平衡测试与校验

水平衡计算是对企业的各用水单元和用水系统的水量进行系统的监测、统计、分析从而得出水量平衡关系的过程。以水的流向表示进入(输入)和排出(输出)生产单元或系统的水量,与其化学成分和物理状态无关,水平衡基本图示见图2所示。

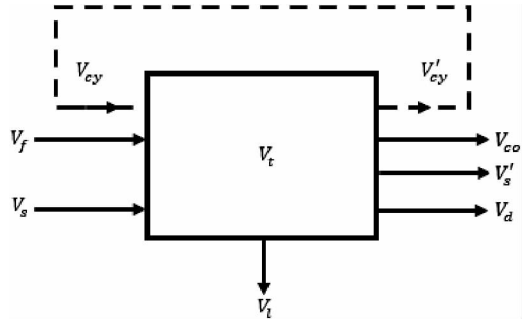


图2 水量平衡图示

Fig. 2 Water balance diagram

输入表达式:

$$V_{cy} + V_f + V_s = V_t \tag{1}$$

输出表达式:

$$V_t = V'_{cy} + V_{co} + V_d + V_l + V'_s \tag{2}$$

输入输出平衡方程式:

$$V_{cy} + V_f + V_s = V'_{cy} + V_{co} + V_d + V_l + V'_s \quad (3)$$

式中: V_{cy} 、 V'_{cy} 为循环水量; V_f ——新水量; V_s 、 V'_s 为串联水量; V_l 为用水量; V_{co} 为耗水量; V_d 为排水量; V_l 为漏失水量。

企业水平衡计算包括三级:分别是用水单元水平衡计算、用水子系统水平衡计算、水系统水平衡计算。

根据图 2 所示,对于单一用水单元,其水平衡计算相对简单,但往往因为监测设备不够完备,导致部分水量无法监测或计算,故实际水平衡计算时应适当进行合并与简化。基于神经网络自适应智能算法和大数据智能挖掘技术,构建实时进入和输出用水单元水量的相关关系模型,实现不同用水单元的分、时、日、旬、月、季、年、多年等不同时段的自动水平衡动态管理;在此基础上,实现不同用水子系统以及全厂等不同层级的分、时、日、旬、月、季、年、多年等不同时段的自动水平衡动态管理。

2.1.4 用水水平评价

依据《节水型企业评价导则》(GB/T 7119 - 2006)^[8]、《取水定额 第 1 部分:火力发电》(GB/T 18916.1 - 2012)^[9]等标准相关要求,针对火电厂实际情况,计算电厂各种用水评价指标,包括发电耗水率、梯级用水率、万元工业增加值取水量、漏失率、排水率、废水回用率、冷却水循环率、冷凝水回用率、达标排放率、非常规水资源替代率等。

2.2 主要水处理系统设备故障诊断与智能管理方案

鉴于电厂综合水处理及锅炉补给水系统设备多样性的特点,以设备当前的工作状况为依据,而不是传统的以设备使用时间为依据,通过先进的状态监测、可靠性评价及寿命预测等手段,判断设备的状态,识别故障的早期征兆,对故障部位及其严重程度、故障发展趋势作出判断,并根据分析诊断结果进行维修决策。该智能决策优化维修目标和维修时机,确定维修计划大大提高设备的可用率,避免维修不足和过度维修的问题。

2.2.1 故障诊断技术原理

故障诊断技术原理:以可靠性为中心的设备故障(RCM)管理。

以可靠性理论为手段,目标是保持系统具有的功能或固有的可靠性,按设备故障发生发展的规律及其后果,并根据不同设备的重要性、可控性

和可维修性,根据历史数据及实时监测数据,科学合理地选择不同的维修方式,形成一套优化的综合维修模式。针对不同的故障,采取不同的诊断、维修策略:故障查找和状态监控、事后维修、定期维修、更改设计。

故障诊断的专家系统(ES)是人工智能(AI)在故障诊断领域中的应用,能有效地模拟专家的决策过程故被广泛应用^[10~12]。

粗糙集理论是一种刻画不完整性 and 不确定性的数学工具,能有效地分析和处理不精确、不一致、不完整等各种不完备信息,并从中发现隐含的知识,揭示潜在的规律^[13]。粗糙集理论作为一种数据分析处理理论,在机器学习、知识发现、数据挖掘、决策支持与分析等领域得到了广泛且成功地应用^[14~16]。

2.2.2 故障诊断主要方法

故障诊断主要方法为基于状态监测的设备或系统(总称技术系统)的状态诊断方法。基于知识的专家系统、基于神经网络的智能化方法、概率统计方法和模糊评价方法,对完整的系统指标进行监测及分析。

基于知识的故障诊断方法由于不需要对象的精确数学模型,而且具有“智能”特性。主要可以分为:专家系统故障诊断方法;模糊故障诊断方法;故障树故障诊断方法;神经网络故障诊断方法和数据融合故障诊断方法等。

建立综合状态评价系统,对设备在线和离线监测诊断数据、可靠性评价数据以及维修人员经验等进行综合分析,评价系统状态,并根据系统所处的状态进行维修管理决策。

2.2.3 故障诊断流程

利用历史数据及实时监测数据,从状态特征信息的复杂性和不确定性出发,采用定性和定量特征相结合的思想,充分利用各种监测、诊断、试验系统和运行经验的状态特征证据,使评价结果既包含实时数据提供的信息又包含运行、维修人员经验的信息,并按照由低向高逐层推理思路,实现对电厂化学水处理各个子系统及系统整体的状态评价。

2.2.4 故障预警实现

通过分析设备故障历史数据,分析故障发生特点,使用特定的方法对不同的监测数据进行分析,判

断这些数据是否正常,并通过观察各种数据之间的关系,在故障征兆发生的前期发现各个故障,发出预警信号。

根据水处理系统维修工作的实践经验,分析数据异常变化的状态,对系统设备故障进行预警。

2.2.5 智能管理方案

利用历史正常数据和设备发生故障前后的数据,通过智能学习算法或者统计回归方法等,发现故障特征数据与故障结果之间存在的对应关系;再利用已经发生过故障的水设备监测数据输入到现有模型中,利用学习后的模型进行故障诊断,得到诊断结果与实际设备故障结果进行对比。当误差率不超过10%时,说明该水处理故障分析模型可以投入使用。当监测数据没有超出监测指标时,对设备工况进行评价,以便工作人员对相关的水设备进行设备维护、保养、更换等。

2.3 主要水处理系统运行成本测算方案

2.3.1 增加监测表计

对电厂水处理用电设备安装智能电表,增加投药计量装置,使之可以动态实时展现各设备用电量、用水量、用药量等,方便对系统中所有处理单元的生产成本进行快速智能核算,得到系统运行成本的综合性指标。

2.3.2 建立成本测算模型

对锅炉用水处理系统单元单独建立运行成本智能测算模型,通过对各个用水设备采集的实时供水量、用电量、加药量等关键参数,采用数理统计和大数据智能挖掘技术,构建实时供水量与用电量、加药量的相关关系模型,开展累积和瞬时运行成本的测算分析研究。

2.3.3 水处理加药量优化配置

在水系统运行成本测算的基础上,分析用药量对设备工作状态的影响,进一步分析用药量对成本的影响,实现对药剂优化配置,实时显示药剂优化配置建议。

3 信息平台建设

3.1 网络架构设计

系统网络架构是从网络部署的角度描述系统,包括网络、服务器、设备等部署和分布情况,如图3。建设在局域网网络环境下的网络系统,存储服务器、应用服务器、短信收发通信器及其他服务器通过有

线连接在以太网上,本地电脑可以通过电厂局域网连接,短信收发通信器通过移动短信发送到所有移动终端。

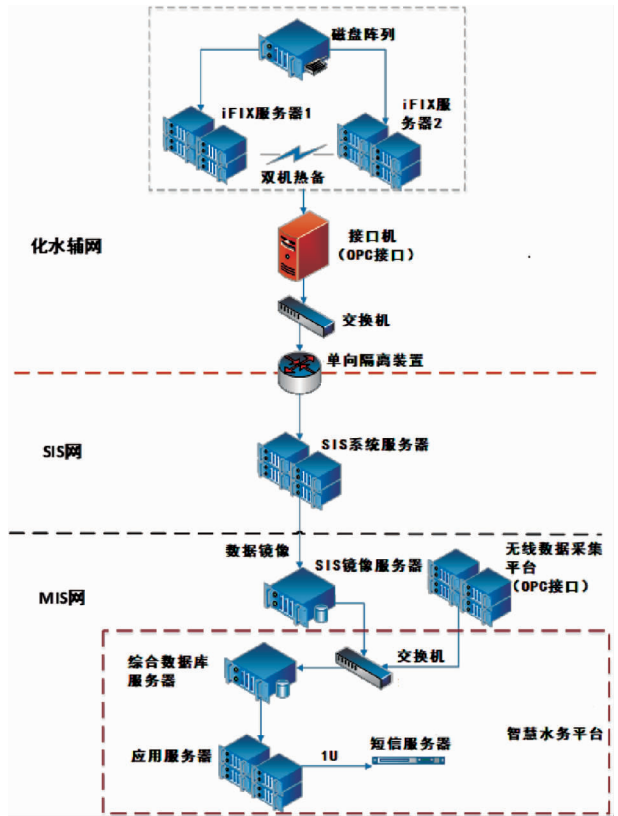


图3 网络架构图

Fig.3 Network architecture diagram

3.2 体系架构设计

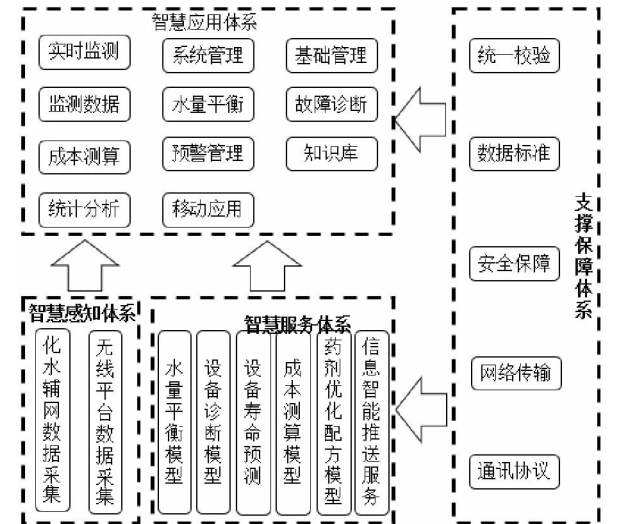


图4 体系架构图

Fig.4 Architecture diagram

智能感知体系包括对化水辅网、无线接收平台数据的立体化实时化自动采集;智慧服务体系

根据感知的数据实现模型服务,主要包括水量平衡、设备诊断、成本测算、药剂配置、寿命预测等模型,而信息智能推送系统包括逻辑推算规则计算出报警及巡检消息,实现自动预警功能;智慧应用体系包括基础的应用数据管理,以尽量降低人工干预的目的实现智能管理,其中故障类事件及解决方案可以自动归类到知识系统,为今后的突发事件提供快捷的依据。支撑保障体系是系统运行的基础,包括所有数据标准、通信协议、网络传输、安全、用户校验等方面的内容。

3.3 逻辑架构设计

系统逻辑架构是从逻辑的角度描述系统的架构,描述系统的实现细节及数据流的动向,如图 5。

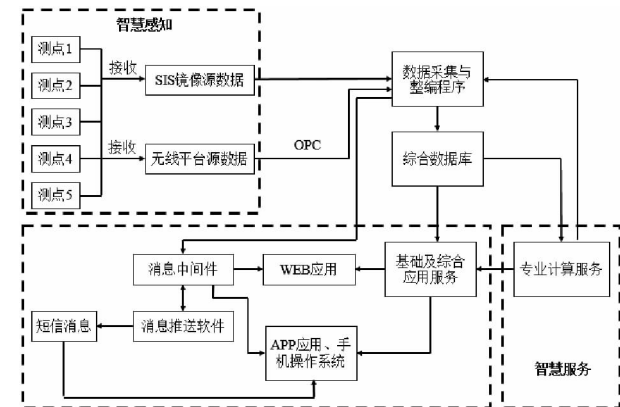


图 5 逻辑架构图

Fig. 5 Logical architecture diagram

现场测点的数据汇集到 SIS 镜像系统及无线数据采集平台后,将数据通过数据采集与整编程序从将源数据及整编数据存入到综合数据库,同时会根据规则产生自动报警信息,并将自动报警发往消息中间件和消息推送中心,最终推送给客户端,计算服务程序包括大量的模型运算及学习运算,为应用服务及其他部分提供服务支持,应用服务提供 PC 和移动端服务接口,最终系统功能在 PC 和移动端的客户端呈现。

4 结语

火电厂智慧水务关键技术首次在工业企业即用水户层面,系统开展智慧水务建设。通过本技术的研究,将有助于实现全厂用水系统与各用水单元水平衡实时自动测算、水量水质参数阈值智能确定与动态联动、实时显示药量优化配置建议、动态预测设备寿命等。解决火电厂水系统智能平衡测算、故障

智能诊断、成本自动测算、设备寿命预测、设备智能管理等技术问题,构建智慧水务综合管理平台,最终实现火电厂智慧水务管理。

参考文献:

- [1] 任志宏,卢淑霞. 火力发电企业节水及用水量概念释义[J]. 工业计量,2018,28(02):68-70+77.
REN Zhihong, LU Shuxia. Definition of water saving and water consumption in electric power company[J]. Industrial Metrology, 2018,28(02):68-70+77.
- [2] 卢晗,王灵志,吴培肇,等. 火电厂深度节水技术研究进展[J]. 现代化工,2017,37(07):32-35.
LU Han, WANG Lingzhi, WU Peizhao, et al. Research progress on deep water saving technology in thermal power plants[J]. Modern Chemical Industry, 2017,37(07):32-35.
- [3] 孙国庆. 智慧水务关键技术研究及应用[J]. 水利信息化, 2018(01):46-49.
SUN Guoqing. Research and application on key technologies of smart water[J]. Water Resources Informatization, 2018(01):46-49.
- [4] 田雨,蒋云钟. 大连市水务智慧化依赖度研究[J]. 中国科技论文,2014(11):1262-1265.
TIAN Yu, JIANG Yunzhong. Smart water resource construction on basis of smart dependence index in Dalian city[J]. China Sciencepaper, 2014(11):1262-1265.
- [5] 田雨,蒋云钟,杨明祥. 智慧水务建设的基础及发展战略研究[J]. 中国水利,2014(20):14-17.
TIAN Yu, JIANG Yunzhong, YANG Mingxiang. Foundation and development strategy for wise water affair management[J]. China Water Resources, 2014(20):14-17.
- [6] 赫晓慧,李紫薇,郭恒亮,等. 郑州市智慧水务体系构建与关键技术研究[J]. 水利信息化,2016(06):61-66.
HE Xiaohui, LI Ziwei, GUO Hengliang, et al. Construction and key technology research of wisdom water System in zhengzhou city[J]. Water Resources Informatization, 2016(06):61-66.
- [7] 火力发电厂水务管理导则:DL/T 1337-2014[S]. 北京:中国电力出版社,2014.
- [8] 节水型企业评价导则:GB/T 7119-2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [9] 取水定额 第 1 部分:火力发电:GB/T 18916.1-2012[S]. 北京:中国标准出版社,2012
- [10] 温国谊,查光东,张翔. 基于 CLIPS 的某型飞机故障诊断专家系统的设计与实现[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2013,44(S1):157-161.
WEN Guoyi, ZHA Guangdong, ZHANG Xiang. Design and realize of a plane's expert system development for fault diagnosis based on CLIPS[J]. Journal of Central South University, 2013, 44(S1):157-161.
- [11] 宗群,李光宇,郭萌. 基于故障树的电梯故障诊断专家系统

- 设计[J]. 控制工程,2013,20(02):305-308.
- ZONG Qun, LI Guangyu, GUO Meng. Design of diagnostic expert system for elevator system based on FTA[J]. Control Engineering of China, 2013, 20(02): 305-308.
- [12] 黄建, 胡晓光, 巩玉楠, 等. 高压断路器机械故障诊断专家系统设计[J]. 电机与控制学报, 2011, 15(10): 43-49.
- HUANG Jian, HU Xiaoguang, GONG Yunan, et al. Machinery fault diagnosis expert system for high voltage circuit breaker [J]. Electric Machines & Control, 2011, 15(10): 43-49.
- [13] 于洪, 王国胤, 姚一豫. 决策粗糙集理论研究现状与展望[J]. 计算机学报, 2015, 38(08): 1628-1639.
- YU Hong, WANG Guoyin, YAO Yiyu. Current research and future perspectives on decision-theoretic rough sets[J]. Chinese Journal of Computers, 2015, 38(08): 1628-1639.
- [14] 周林飞, 陈启新, 成遣, 等. 利用粗糙集理论进行遥感分类信息提取[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2015, 45(04): 1246-1256.
- ZHOU Linfei, CHEN Qixin, CHENG Qian, et al. Remote sensing classification information extraction based on rough set theory [J]. Journal of Jilin University, 2015, 45(4): 1246-1256.
- [15] 张政超, 关欣, 何友, 等. 粗糙集理论数据处理方法及其研究[J]. 计算机技术与发展, 2010, 20(04): 12-16+20.
- ZHANG Zhengchao, GUAN Xin, HE You, et al. Rough sets data processing method and Its research [J]. Computer Technology & Development, 2010, 20(04): 12-16+20.
- [16] 庞清乐. 基于粗糙集理论的神经网络预测算法及其在短期负荷预测中的应用[J]. 电网技术, 2010, 34(12): 168-173.
- PANG Qingle. A rough set-based neural network load forecasting algorithm and its application in short-term load forecasting [J]. Power System Technology, 2010, 34(12): 168-173.
-
- 收稿日期: 2019-02-05
- 作者简介:



李秀文(1987),男,硕士,工程师。主要从事水利工程安全监测、智慧水务方面的研究工作。

(本文责任编辑:龙海丽)

Research on key technologies and information platform construction of smart water in thermal power plants

LI Xiuwen^{1,2}, QI Yong³, WANG Peng^{1,2}, YANG Jianhui³, WANG Guochuang⁴

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China;

2. Beijing IWHR Co., Ltd., Beijing 100038; 3. Datang Environment Industry Group Co., Ltd., Beijing 100097, China;

4. Datang(Beijing) Water Engineering Technology Co., Ltd., Beijing 100097, China;

5. Taiping Bay Power Plant, Dandong 118000, China)

Abstract: Aiming at the key scientific and technological problems of thermal power plant, such as large water consumption, high energy consumption, low water reuse rate and low intelligence level, a research method of key technologies and information platform construction of smart water in thermal power plants were proposed in this paper based on the research results of smart water. According to the status quo and situation faced by thermal power plant water informationization, the overall and specific objectives of the research are established. Combining on-site monitoring data and intelligent analysis theory and methods, the intelligent calculation method of water balance was put forward, the fault diagnosis and life prediction intelligent method of main equipment for thermal power plant wastewater treatment were established, and the historical and real-time cost estimation model of thermal power plant water treatment system was constructed. The network architecture, architecture and logical architecture design scheme of the information platform are proposed. The information platform integrated the auxiliary decision-making system of the water management of the thermal power plant, the key equipment of the thermal power plant system operation and the reliability analysis and evaluation model of the structure. This may provide a technical support for achieving water management of intelligent thermal power plants integrating water-saving, energy-saving, environmentally friendly, safe and economical.

Key words: thermal power plant; smart water; key technologies; information platform