

《全面腐蚀控制》特邀编委会名单 (以姓氏首字母为序)

名誉主任

王印海 中国化工集团公司原党委书记、中国昊华化工(集团)
总公司原总经理

主任

任振铎 中国腐蚀控制技术协会主席团主席

副主任

陈盛凯 广东睿洁环保工程有限公司总经理
李济克 中国腐蚀控制技术协会常务副会长
欧曙辉 宁波钰烯阴极保护材料有限责任公司总经理
潘小洁 中国腐蚀控制技术协会副会长
王 昊 中国腐蚀控制技术协会秘书长兼《全面腐蚀控制》杂志社社长
石大林 大庆鲁冀防腐保温钢管制造有限公司董事长
孙兆儿 宁波市宇华电器有限公司董事长
许吉专 新疆中重化工有限公司总经理; 兼台州市电力建筑
安装工程有限公司总经理
张炎明 中国腐蚀控制技术协会副会长、总工程师

委员

卞直兵 江苏金陵特种涂料有限公司总经理
秘志芳 天津市丰源防腐钢管有限公司总工程师
张洪旗 昊华中意玻璃钢有限公司常务副总经理
曹 斌 长园长通新材料股份有限公司

特邀编委会名单可随时增补

欢迎订阅、欢迎投稿、欢迎广告

《全面腐蚀控制》月刊是国家新闻出版总署批准的国家级科技类学术期刊, 1986年创刊, 中国腐蚀控制技术协会主办。2009年国新闻出版总署和国家工商行政管理部门核准设立《全面腐蚀控制》杂志社有限公司。

《全面腐蚀控制》月刊主要报道腐蚀控制领域最新的研究进展、技术应用和管理实践, 是面向石油和化学工业、医药、航空航天、电力(核电、火电、风电等)、海洋(船舶及海上装置设备)、冶金、建筑、能源、通信、环保、土地和高等院校、科研院所等行业公开发行的专业期刊。

作为中国腐蚀控制技术协会会刊, 本刊紧密围绕协会“行业管理、技术交流、书刊编辑、业务培训、专业展览、咨询服务”六项基本职能, 以“为保护人类、资源、环境和安全免受或减少腐蚀带来的危害, 积极推行全面腐蚀控制而奋进!”为宗旨, 应用最新技术研究和科学管理等成果, 切实解决工业生产中的腐蚀问题, 实现腐蚀控制过程最优化和效益最大化。创刊35年来, 本刊权威性、指导性、实用性、通用性、科学性等特色, 深受广大企事业单位、科研院所主管和科技人员读者的欢迎。”

地 址: 北京市朝阳区小营路9号亚运豪庭C座509 邮 编: 100101
电 话: (010) 64896415 64896750 传 真: (010) 64896415
邮 箱: shaoqian11@163.com
Web: www.ciata-tcc.com 投稿方式: 在线投稿
联系人: 邵骞(13581753894) 郝毅(13466398372) 王国琨 冯传丰

全面腐蚀控制

(月刊)

1986年创刊

第36卷第03期

(总第264期)

国家科技部和新闻出版总署批准
中国腐蚀控制技术协会主办
中国石油和化学工业联合会主管

《全面腐蚀控制》编委会名单

编委会名誉主任: 徐滨士(院士) 柯 伟(院士)

编委会主任: 侯保荣(院士)

编委会副主任: 任振铎 董德岐

编 委: 潘小洁 张炎明 李济克 辜志俊
王卫东 张志宇 高 扬 王 昊

主 编: 任振铎(兼)

副主编: 王 昊(常务) 邵 骞 刘 轩

广告部主任: 冯传丰 王国琨

责任编辑: 邵 骞

地址: 北京朝阳区小营路9号C座509

邮政编码: 100101

电话: (010) 64896415 64896750

传真: (010) 64896415

E-mail: shaoqian11@163.com

Web: www.ciata-tcc.com

投稿方式: 在线投稿

法律顾问: 北京中伦金通律师事务所律师
李晓峰博士

出版日期: 2022年03月28日

邮发代号: 2-964

国际标准刊号: ISSN 1008-7818

国内统一刊号: CN11-2706/TQ

国内订阅: 全国各地邮政局(所)

国外总发行: 中国国际图书贸易总公司

国外发行代号: 1547BM

印刷: 艺堂印刷(天津)有限公司

广告经营许可证: 京朝工商广字第8123号

定价: 人民币12元/期(国内)

美元6元/期(海外)

本刊由国内防腐蚀施工企业中率先通过QEO
(质量/环境/职业健康安全)国际管理体系认证
单位的河南九州防腐工程有限公司协办

全面腐蚀控制

CONTENTS 目次

技术篇

【专论】

- 1 火力发电厂水资源智慧调控与运营
/袁 弘 孙 利 刘政修 汤自强 梁 浩
赵潇然 梁国杰
- 13 山地管道安全状态识别与监测技术应用研究
/陈 哲
- 19 乙烯基酯树脂玻璃钢在硫酸铵废水碳钢储罐内
防腐的应用
/肖培胜

【经验交流】

- 25 长输管道防腐补口失效分析及技术进展
/孙典昊 王宏召 牛志勇 张凯灵 刘 锋
- 28 探讨玻璃纤维在石墨制化工装备上的应用技术
/赵雪松 陈小峰 刘 畅 刘仍礼
- 31 天然气集输系统中液相危害及解决方案探析
/刘国振
- 33 油气储运过程中常见问题与应对措施分析
/惠苗苗
- 36 浅谈海洋工程质量管理
/辛 娟 辛 俊

- 40 汽车板清洁防锈包装现状与发展趋势
/张 顺 唐艳秋
- 45 电磁超声不同线圈选型数值模拟分析
/齐光峰 王安泉 杨 超 王 凯 王凯月
- 50 防腐管材在油田集输工程中的运用分析
/崔若冰 唐振楠
- 52 市政给排水规划与设计常见问题
/王梓轩
- 54 浅析建筑设计中的问题与对策
/赵云云
- 56 采油污水回用深度处理技术分析
/付 馨
- 58 600MW亚临界汽包炉给水腐蚀氧化技术研究
/张久龙 吴利宁 刘 忠 杨金生
- 64 地铁钢轨纵向电阻对地铁杂散电流的仿真分析
/范美琪 孙燕盈 马志强 胡志明 郭思琦
- 69 油田集输系统生产运行参数优化探讨
/赵政涛
- 71 油田地面建设工程施工的质量监督管理探讨
/程相禹
- 74 油田地面工程管道防腐施工技术应用
/沈 旭

76 油气田地面工程建设施工现状及其管理重点分析

/刘 冰

79 阴极防腐保护远传远控智能系统现场试验

/俞博洋

83 抑制油田微生物腐蚀的现状与发展趋势

/温 雪

85 污水处理厂设备防腐管理存在的问题及改进

/赵志慧

87 强化工程现场监督提升工程建设质量

/贲 放

90 电气仪表安装施工的几点建议

/孙竟皓

92 道路桥梁工程的常见病害与施工处理技术分析

/岳洪兴

【腐蚀研究】

95 油田集输管线防腐技术及应用研究

/于 阳

97 海洋风电导管架腐蚀防护典型案例研究

/赵 帅 卫旭敏 张剑明 邓 凯

102 联合站污水处理系统的腐蚀因素与防护策略

/陈立春

104 钢结构的腐蚀机理及防护工艺

/张英杰

106 316L不锈钢在CO₂/油/水环境中的腐蚀速率分析

/吴鹏举 石秀秀 胡岐川 马晓宇 刘 帅

张体田 郭兴建

110 输油输气生产现场中的管道防腐问题分析

/王兆智

112 锅炉水冷壁防腐蚀技术应用

/甘 露

114 油田地面集输管线腐蚀因素及防腐措施探讨

/李 雪

116 工业建筑防腐蚀工程技术措施探讨

/鄂志国

118 水性防腐涂料在石油管道及设备中的运用

/于海佳

120 天然气净化装置腐蚀行为与防护措施

/任 健

122 埋地油气混输管道的腐蚀机理与防护策略

/王 冰

124 埋地输油管道盗油孔防腐蚀策略

/赵鹏举

126 输油管线腐蚀检测与防护策略

/刘 桐

128 盐渍土地地区地基处理及基础防腐应用策略

/孙佳星

130 成品油管道防腐措施

/高 涵

132 油田大型储罐的防腐措施

/刘也铭

134 L245NS钢在不同含硫条件下腐蚀特性与缓蚀
行为研究

/程卓越 杨超超 康振乐 尹志福

杜美玲 易志超

TOTAL CORROSION CONTROL

(Monthly)

Vol. 36 No.03 (Serial No. 264)

MAR 28, 2022

CONTENTS

• Monograph •

Intelligent Control and Operation of Water Resource in Thermal Power Plant	
.....YUAN Hong, SUN Li, LIU Zheng-xiu, TANG Zi-qiang, LIANG Hao, ZHAO Xiao-ran, LIANG Guo-jie (1)	
Research on Application of Safety State Recognition and Monitoring Technology for Mountainous Pipelines	CHEN Zhe (13)
The Application of Vinyl Ester Resin FRP in Anticorrosion of Inner Wall of Carbon Steel Tank for Ammonium Sulfate Wastewater	
.....XIAO Pei-sheng (19)	

• Experience Exchange •

Failure Analysis and Technical Progress of Anti-corrosion Joint Coating of Long Distance Pipeline	
.....SUN Dian-hao, WANG Hong-zhao, Niu Zhi-yong, ZHANG Kai-ling, LIU Feng (25)	
The Application of Fiberglass in Graphite Chemical Equipment	ZHAO Xue-song, CHEN Xiao-feng, LIU Chang, LIU Reng-li (28)
Analysis on Liquid Phase Hazard and Solution in Natural Gas Collection and Transmission System	LIU Guo-zhen (31)
Analysis of Common Problems and Response Measures in Oil and Gas Storage and Transportation	HUI Miao-miao (33)
Discussion on Quality Management of Ocean Engineering	XIN Juan, XIN Jun (36)
The Development And Trend of Clean Packaging on Automobile Plates	ZHANG Shun, TANG Yan-qiu (40)
Analysis of Different Coil Selection in Electromagnetic Ultrasound Using Numerical Simulation	
.....QI Guang-feng, WANG An-quan, YANG Chao, WANG Kai, WANG Kai-yue (45)	
Application Analysis of Anticorrosive Pipe in Oilfield Gathering and Transportation Engineering	
.....CUI Ruo-bing, TANG Zhen-nan (50)	
Discussion on Common Problems of Municipal Water Supply and Drainage Planning and Design	WANG Zi-xuan (52)
Analysis of Problems and Countermeasures in Architectural Structure Design	ZHAO Yun-yun (54)
Analysis of Advanced Treatment Technology for Oil Wastewater Reuse	FU Xin (56)
Study on Feed Water Corrosion and Oxidation Technology of 600MW Subcritical Drum Boiler	
.....ZHANG Jiu-long, WU Li-ning, LIU Zhong, YANG Jin-sheng (58)	
Longitudinal Resistance of Subway Rails to Subway Stray Current Simulation Analysis	
.....FAN Mei-qi, SUN Yan-ying, MA Zhi-qiang, HU Zhi-ming, GUO Si-qi (64)	
Discussion on Optimization of Production and Operation Parameters of Oilfield Gathering and Transportation System	
.....ZHAO Zheng-tao (69)	
Discussion on Quality Supervision and Management of Oilfield Surface Construction Engineering Construction	CHENG Xiang-yu (71)
Application of Pipeline Anti-corrosion Construction Technology in Oilfield Surface Engineering	SHEN Xu (74)
Analysis on Construction Status and Management Focus of Oil and Gas Field Surface Engineering	LIU Bing (76)
Field Test of Remote Transmission and Remote Control Intelligent System for Cathodic Anti-corrosion Protection	YU Bo-yang (79)
Present Situation and Development Trend of Inhibiting Microbial Corrosion in Oil Field	WEN Xue (83)
Problems and Improvement of Equipment Anti-corrosion Management in Sewage Treatment Plant	ZHAO Zhi-hui (85)
Strengthening Project Site Supervision and Improving Project Construction Quality	BEN Fang (87)
Some Suggestions on the Installation and Construction of Electrical Instruments	SUN Jing-hao (90)
Analysis on Common Diseases and Construction Treatment Technology of Road and Bridge Engineering	YUE Hong-xing (92)

• Corrosion Research •

Research on Anti-corrosion Technology and Application of Oilfield Gathering Pipeline	YU Yang (95)
Typical Corrosion Control Case of Offshore Wind Power Jacket	ZHAO Shuai, WEI Xu-min, ZHANG Jian-ming, DENG Kai (97)
Corrosion and Protection Strategy of Sewage Treatment System in Combined Station	CHEN Li-chun (102)
Corrosion Mechanism and Protection Technology of Steel Structure	ZHANG Ying-jie (104)
Corrosion Rate Analysis of 316L Steel in CO ₂ /Oil/Water Environment	
.....WU Peng-ju, SHI Xiu-xiu, HU Qi-chuan, MA Xiao-yu, LIU Shuai, ZHANG Ti-tian, GUO Xing-jian (106)	
Analysis of Pipeline Anticorrosion in Oil and Gas Production Site	WANG Zhao-zhi (110)
Application of Anticorrosion Technology for Boiler Water Wall	GAN Lu (112)
Discussion on Corrosion Anti-Corrosion and Transporting Pipelines in Oil Field	LI Xue (114)
Discussion on Anti-Corrosion Engineering Technical Measures of Industrial Buildings	E Zhi-guo (116)
Application of Waterborne Anticorrosive Coatings in Petroleum Pipelines and Equipment	YU Hai-jia (118)
Corrosion Behavior and Protection Measures of Natural Gas Purification Unit	REN Jian (120)
Corrosion Mechanism and Protection Strategy of Buried Oil and Gas Pipelines	WANG Bing (122)
Anti Corrosion Strategy of Oil Stealing Hole in Buried Oil Pipeline	ZHAO Peng-ju (124)
Corrosion Detection and Protection Strategy of Oil Pipeline	LIU Tong (126)
Application Strategy of Foundation Treatment and Foundation Anticorrosion in Saline Soil Area	SUN Jia-xing (128)
Anticorrosion Measures for Product Oil Pipeline	GAO Han (130)
Anticorrosion Measures for Large Oil Tank	LIU Ye-ming (132)
Corrosion Characteristics and Inhibition Behavior of L245NS Steel under Different Sulfur Conditions	
.....CHENG Zhuo-yue, YANG Chao-chao, KANG Zhen-le, YIN Zhi-fu, DU Mei-ling, YI Zhi-chao (134)	

Sponsored by China Industry Anticorrosion Technology Association (CIATA)

Edited and Published by the Editorial Department of TOTAL CORROSION CONTROL

Honorary Chairman of Editorial Committee: PAN Lian-sheng

Chairman of Editorial Committee: KE Wei

Editor in Chief: REN Zhen-duo (Concurrently)

Add: C-509, Yayunhaoting, No.9 Xiaoying Rd, Chaoyang Dist., Beijing, China

Post Code: 100101

Tel: (8610) 64896415 64896750

Fax: (8610) 64896415

Fixed Price: US\$ | 6.00

Web site: <http://www.ciata-tcc.com>

火力发电厂水资源智慧调控与运营

袁 弘¹ 孙 利¹ 刘政修² 汤自强² 梁 浩² 赵潇然² 梁国杰²

(1. 京能盛乐热电有限公司, 内蒙古 呼和浩特 011518; 2. 北京京能能源技术研究
有限责任公司, 北京 100022)

摘 要: 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, 各个领域兴起了智慧化建设的热潮。在发电领域, 智慧电厂建设成为行业热议的话题。火力发电厂水资源智慧调控与运营研究与应用, 作为智慧电厂建设的一部分, 是信息化与工业化深度融合的生动实践。介绍了建设总体思路, 详细介绍了系统架构、功能及具体实施方案。对水资源智慧调控与运营的经济效益、管理效益、安全效益及社会效益进行分析, 并对其推广应用进行总结与展望。通过水资源智慧调控与运营系统开发与示范, 可以使全厂水务管理智能化、高端化、低碳化, 必将为自动化电厂向智慧电厂升级带来质的飞跃, 具有重要示范意义。

关键词: 火力发电厂 智慧 调控运营

中图分类号: TE866

文献标识码: A

DOI: 10.13726/j.cnki.11-2706/tq.2022.03.001.12

Intelligent Control and Operation of Water Resource in Thermal Power Plant

YUAN Hong¹, SUN Li¹, LIU Zheng-xiu², TANG Zi-qiang²,
LIANG Hao², ZHAO Xiao-ran², LIANG Guo-jie²

(1. Jingneng Shengle Thermal Power Co., Ltd. Hohhot Mongolia 011518, China;

2. Beijing Jingneng Energy Technology Research Co., Ltd. Beijing 100022, China)

Abstract: With the rapid development of mobile internet, cloud computing, big data and Internet of Things, there is a boom in intelligent construction in various fields. Particularly in power generation sector, smart power plants have become a hot topic. The research and application of intelligent control and operation of water resources in thermal power plant, as a part of intelligent power plant construction, is a vivid practice of deep integration of informatization and industrialization. The paper put emphasis on the general idea of intelligent construction, with more detail in systematic framework, function and specific implementation. In addition, the paper analyse the economic benefits, management benefits, safety benefits and social benefits, summarizing the application and promotion in the future. Through the development and demonstration of intelligent control and operation of water resource, the whole plant water management can be intelligent, high-end and low-carbon, which will surely bring a qualitative leap for the upgrading the smart power plant, it has a significance of demonstration.

Key words: thermal power plant; intelligence; regulation and operation

作者简介: 袁弘 (1981—), 男, 内蒙古人, 高级工程师, 硕士, 主要从事发电企业化学水处理、热力设备腐蚀与防护、环境保护等技术管理工作。

0 引言

水资源是基础性自然资源和战略性经济资源，是社会经济可持续发展、维系生态平衡与和谐环境的重要基础。全国发电总装机容量中，火力发电用水量占全部工业用水量的20%。火力发电厂用水量大，水的问题已成为北方地区建设、发展电力工业的制约因素，因此，做好火力发电厂水资源的高效管理十分必要。

2015年04月，国务院颁布了《水污染防治行动计划》（水十条），提出了水污染防治的总体要求，并制定了2020~2030年工作目标及主要指标。2018年《中共中央国务院关于全面加强生态环境保护坚决打好污染防治攻坚战的意见》提出，着力打好碧水保卫战。2021年政府工作报告要求加强污染防治和生态建设，持续改善环境质量，巩固蓝天、碧水、净土保卫战成果。

开展火力发电厂深度节水，实现水资源智慧管控，实现全厂废水零排放，高度契合国家政策，是应尽的社会责任，并关系到企业的生存和可持续发展，具有十分重要的现实意义。

传统的发电企业现在面临着严峻的经营压力，必须创新生产、经营管理模式，实现生产及经营的智慧化。随着大数据和人工智能等技术不断发展，以信息技术为手段，以完备合理的系统设计为基础，以大数据分析指导决策，实现电厂智慧化是电力行业深化改革和适应电力市场形势变化的必由之路。水资源智慧调控与运营作为智慧电厂的一部分，可实现全厂水资源精准管控、降低发电综合水耗、减少废水排放、提高用排水系统安全运行等，具有良好的经济、管理、安全、环保及社会效益^[1]。

1 水资源智慧调控与运营管理系统建设总体思路

根据DL/T 1337-2014《火力发电厂水务管理导则》^[2]及DL/T 5046-2018《发电厂废水治理设计规

范》^[3]，依据“水量、水质平衡”，按照“梯级使用、清污分流”的原则，结合国内外最新节水技术成果，通过全厂工业废水综合治理及水资源综合利用，实现全厂深度节水及全厂废水零排放，在此基础上，进行智慧水务管理系统建设，巩固全厂节水成果，全面实现全厂水资源智慧调控与运营管理。

根据DL/T 606.5-2009《火力发电厂能量平衡导则第5部分 水平衡试验》^[4]，基于全厂水（盐）平衡测量原理及水务管理要求，完善在线热工及化学仪表，搭建实时在线监测体系及通讯网络，完成实时动态监测系统的建设，实现数据远传的可视化水资源智慧调控与运营管理平台。

通过合理算法、模型开发及大数据分析等手段，进行智慧调控与运营管理系统软件功能开发，实现水量（质）指标管理及在线评价、预警、诊断、优化等主要功能。

水力发电厂水资源智慧调控与运营管理系统是一个集全厂用、排水系统运行、指标管控、效能分析、设备管理、成本控制、指标预警（预测）及优化等在内的水资源智慧调控与运营综合管理系统。

水资源智慧调控与运营管理系统主要功能包括：全厂一/二级水系统管控、全厂水/盐平衡监控、全厂水务管理报表、设备/指标管理、全厂用/排水管网3D展示、主要指标预警/诊断/优化等。

2 水资源智慧调控与运营系统建设

2.1 水资源智慧调控与运营系统网络拓扑图

水资源智慧调控与运营系统网络拓扑图如图1所示，水资源智慧调控与运营系统首页功能如图2所示。采购数据、应用及接口服务器各一台，数据服务器安装在电厂安全二区，作为智慧水务管理系统数据服务器，在安全三区增加一台数据服务器，作为边端智慧水务管理系统镜像服务器，将应用服务器安装在电厂安全三区，可支持现场多人访问系统。为保证网络安全，相关位置设置正向隔离网

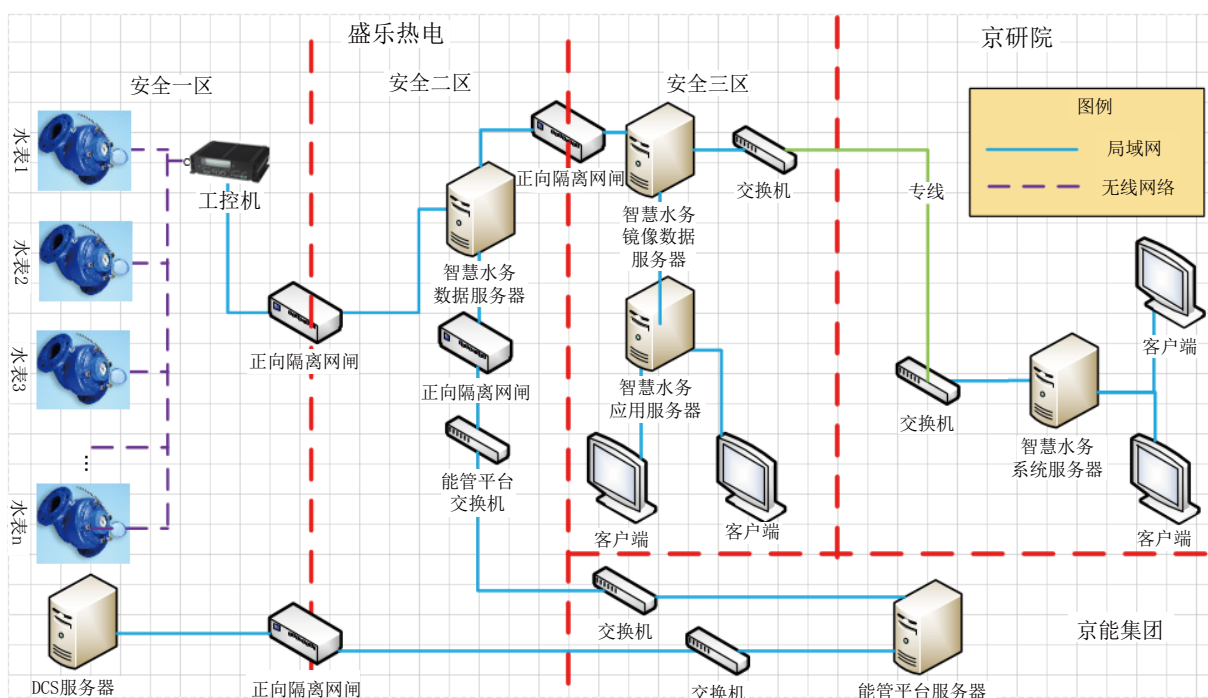


图1 网络拓扑图

闸，云边系统数据传输采用专线方式。



图2 系统首页功能

2.2 水资源智慧调控与运营系统功能

2.2.1 系统首页

系统首页功能类似于管理驾驶舱。在界面上主要展示水务管理参数、主要用水指标实时分析、用水指标图表分析；关键用水监测参数包括总用水量、循环水量、串用水量、复用水量、生产用水

量、非生产用水量、汽水热力循环量等智慧水务管理关键用水监测参数，关键用水监测参数数据为年度累计值；重要水务指标实时分析包括全厂用水不平衡率、单位发电水耗、单位综合发电水耗、全厂补水率、全厂汽水损失率、灰水比等智慧水务管理重要指标，重要水务指标数据显示为实时，并可与行业内平均值、限定值、先进值、领跑值进行对比分析，实时显示比平均、比限定、比先进、比领跑指标值变化；用水指标图表以折线图的方式展示单位发电水耗、单位综合发电水耗、全厂补水率、全厂汽水损失率等指标的小时周期变化值，即折线图横坐标为天小时，展示当天每小时变化曲线。系统首页功能参如图2-2所示。

2.2.2 二级系统监控

将全厂水系统划分为生产水供水系统、生活消防水系统、工业水系统、主机循环水系统、闭式循环水系统、热网循环水系统、中水深度处理系统、锅炉补给水处理系统、废水处理及回用系统、脱硫

系统等。系统包括每个供水单元的水系统图、取水指标、系统报警等信息。二级系统图上有主要用水或供水设备、水量监测表计实时数据、关键阀门状态等。

二级系统页面主要展示2D供水系统工艺流程图、水务管理参数展示、水务管理水量对比分析、水务管理指标图表分析、表计瞬时流量历史曲线图。

以全厂供水系统工艺流程美工图为载体，通过2D视角的平面工艺组态来监测供水系统运行状态，对进出水位置、方向、流量等参数进行图形化表达。系统图中的仪表可展示实时数据。

实现供水系统供水总量等水量参数集中展示，默认展示日数据，可根据智慧水务业务管理需要自由选择时间段进行查询。

以柱形图的形式实现供水系统供水总量等水量参数对比情况，并与同期进行对比分析，周期维度为日。

以折线图的形式实现供水系统水务指标（含分系统用水不平衡率）数据分析结果展示，周期为日周期（即折线图横坐标为天小时），多个指标可通过选择该区域指标标签自由更换。

系统提供查询供水系统表计瞬时流量历史曲线功能，通过点击页面“水表曲线”按钮，系统自动跳转到历史曲线功能页，曲线页集中展示供水系统图中所有表计历史流量曲线，可根据需要选择全部表计同图展示，也可多个表计同图展示，也可单个表计图中展示，曲线展示时间范围可自由选择。

在线中水管线泄漏预警：利用智慧水务管理系统流量信号实现中水供水管线在线泄漏检测，解决供水管线巡检不及时、泄漏后不能及时发现、泄漏后容易产生纠纷、经济损失和安全风险。二级系统图参如图3所示。

二级系统数据曲线如图4所示。

2.2.3 全厂水/盐平衡监控

以全厂水/盐平衡系统工艺流程美工图为载体，

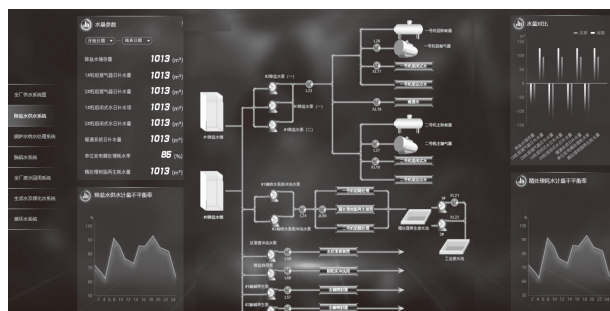


图3 二级系统图

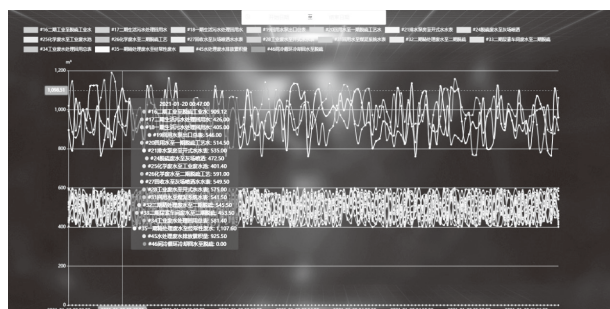


图4 二级系统数据曲线

通过2D视角的平面工艺组态来监测各系统运行状态，实时计算水/盐平衡率。系统自动生成的用水监测、水务指标、水/盐平衡简况天平图等功能点，可以按照时、日、周、月、年不同周期时段在线监视全厂和机组的总用水量、循环水量、回用水量、串用水量、复用水量、重复利用水量、重复利用率、生产用水量、非生产用水量、汽水热力循环量的水量参数；也可以展示单位发电水耗、单位供热水耗、全厂补水率、灰水比、重复利用率、废水回用率等水务指标的日度、周度、月度和年度数值，以及同比/环比变化、比平均、比限定、比先进、比领跑指标值变化等，反映用水水务总体情况；通过结合水网管阀图形元素的天平简图来表达新鲜水量、总存水变化量、总耗水量、总漏失量之间的统计期平衡率情况。配以折线图、柱形图、面积图等图表对单位发电水耗、汽水损失率等关键用水指标进行分时显示，并标绘突显最高值、最低值、平均值、

最频值等特征数据。

在必要的位置安装在线电导率表，通过分析，确定各种水样电导率与TDS对应关系，化学水处理系统加药或再生后，需要核算盐量增加值，定期通过水质分析核算在线盐平衡测试准确性，实时计算盐平衡率。全厂水/盐平衡监控流程图如图5所示。

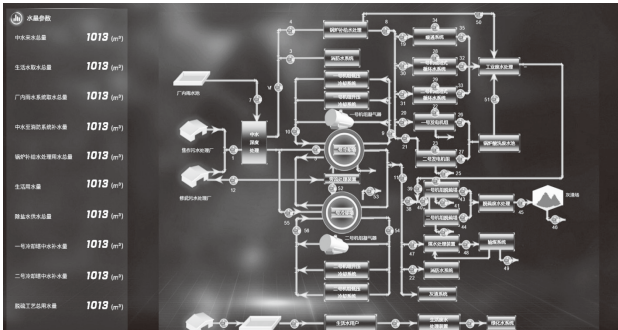


图5 全厂水/盐平衡流程图

2.2.4 全厂水务管理报表

全厂水务管理报表主要包括全厂水平衡报表、

主要用户用水报表、机组发电用水指标报表、废水回用报表等。报表查询时间维度有日、月、年、任意时间段，报表不同查询维度不同。各种报表具有导出功能，可导出到Excel。全厂水平衡报表格式如表1所示。

机组发电用水指标报表如表2所示。

全厂主要用户日用报表如表3所示。

全厂废水回用报表如表4所示。

2.2.5 设备/指标管理

设备管理

系统提供手工录入设备台账、巡检记录、安全监控、检修记录、寿命情况等设备详情录入功能，提供新增、删除、修改、查询功能；并提供资料上传功能，上传资料有视频类、图片类、文档类三类。

- (1) 设备台账：水务管理业务相关设备清单，包含设备基础信息、校验日期、出厂信息；
- (2) 资料档案：记录水务设备管理相关资料文献，包含视频、图片、文档；

表1 全厂水平衡报表

序号	用水对象 用水参数	输入水量Q1					输出水量Q2						不平衡率
		新鲜水量		复用水量			耗水量V5	排水量V6	复用水量			漏失水量V10	
		中水水量V1	地下水	串用水量V2	循环水量V3	总计			串联用水量V7	循环水量V8	总计V9		
		m³	m³	m³	m³	m³			m³	m³	m³		
1	锅炉补给水处理系统												
2	消防水系统												
3	1号机组开式循环水系统												
4	2号机组开式循环水系统												

表1 (续)

5	1号机组 闭式循环 水系统												
6	2号机组 闭式循环 水系统												
7	1号机组 热力系统												
8	2号机组 热力系统												
9	机组凝结 水精处理 系统												
10	机组脱硫 系统												
11	暖通系统												
12	厂内生活 水系统												
13	绿化用 水系统												
14	全厂												

表2 机组发电用水指标报表

序号	指标 名称	机 组	单 位	计 算 方 法	控 制 标 准		日 指 标	月 指 标	季 度 指 标	年 指 标
					企 业 标 准	行 业 标 准				
1	全厂生产 取水量	全厂	m ³	L1+L2	——	——				
2	全厂生活 水取水量	全厂	m ³	XL30	按人均 定额计算	——				
3	全厂单位 发电水耗	全厂	kg/KW.h	(L1+L2) /全厂 发电量	——	——				
4	全厂单位发电 综合水耗	全厂	kg/KW.h	(L1+L2+XL30) /全厂 发电量	≤0.32	≤0.53				

表2 (续)

5	1 [#] 机组汽水损失率	1 [#] 机组	%	L26/L82	≤0.5	≤1				
6	2 [#] 机组汽水损失率	2 [#] 机组	%	L27/L83	≤0.5	≤1				
7	全厂汽水损失率	全厂	%	(L26+L27) / (L83+L82)	≤1.0	—				
8	全厂发电机组补水率	全厂	%	(L24+L25) / (L83+L82)	≤1.5	—				
9	全厂复用水率	全厂	%	V4/ (V4+L1+L2+XL30) ; V4 见水平衡报表	≥99	≥98.5				
10	总排水量	全厂	%	L29	0	—				
11	全厂单位产品污水排放率	全厂	m ³ /MW·h	L29/全厂发电量	≤3.5	≤3.5				
12	全厂废水回用率	全厂	%	1-L29/A; A见废水回用报表	—	—				
13	机组循环水重复利用率	全厂	%	sum (V3) / (SUM (V3) +L1+L2+XL30)	≥99	≥98.5				
14	循环冷却水汽水损失率	全厂	%	(JL74+JL75) / (JL69+JL71)	≤1.2	≤1.2				
15	机组循环水发电水耗	全厂	kg/KW·h	(JL74+JL76+JL75+JL77) /全厂发电量						
16	化学制除盐率	全厂	%	(L54+L56-L60-L58) /L37	≥70	—				
17	化学自用水率	全厂	%	JL28/L23	≤30	—				
18	脱硫发电水耗	全厂	kg/KW·h	L10/全厂发电量	—	—				
19	生活用水人均定额	全厂	L/人·天	XL30/人员定额	—	≤210				

表3

全厂主要用户日用报表

名称	1号机除盐补水水量	2号机除盐补水水量	3号机除盐补水水量	4号机除盐补水水量	一期脱硫				二期脱硫				开式循环水	灰场喷洒				其他工业用户水量			
					一期工业水至一期脱硫酸工艺水量	辅助冷却水至一期脱硫酸工艺水量	回用水至一期脱硫酸工艺水量	日用总量	二期工业水至二期脱硫酸工艺水量	化学废水至二期脱硫酸工艺水量	二期精处理水至二期脱硫酸工艺水量	二期尿素车间水至二期脱硫酸工艺水量		日用总量	化学废水处理日用水量	鸭子荡水库来水至开式水量	化学废水至开式水量		日用水量	脱硫废水至灰场喷洒水量	回用水至灰场喷洒水量
日期	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³
1																					
2																					
...																					

表4

全厂废水回用报表

废水名称	全厂废水生产量							A全厂废水生产总量	全厂废水回用量				B全厂废水回用总量	全厂废水回用率	C全厂废水外排量	废水计量不平衡率
	机组热力系统废水生产量	精处理废水生产量	主机循环水排污量	化学水处理系统废水生产量	输煤系统废水生产量	脱硫系统废水生产量	生活系统废水生产量		脱硫回用废水量	干灰渣系统回用废水量	输煤系统回用废水量	绿化系统回用废水量				
计算公式	XL21+XL22-L24	L24	L29	JL28	煤水处理车间清水泵额定流量*每台泵的运行状态之和	L12	L35+L36	求和	L11	L12	煤水处理车间清水泵额定流量*每台泵的运行状态之和	L35+L36	求和	B/A	L29	[C-(A-B)]/C

表4 (续)

日期	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	m ³	%	m ³	%
1																
2																
...																
日均																
月累计																

指标显示

实时数据

性能指标配置

指标名称:

所属单元

所属机组

指标描述:

添加

编辑

追踪

删除

指标实际值批量保存

	指标名称	指标描述	所属单元	所属机组	首页显示	顺序	是否考核	班负分清零	按日累计	指标类型	所属专业	按班累计
☐	M1_CYGSXTA	除盐供水系统用水量	一单元	#1机组	是	1210	是	否	是	经济指标	公共	是
☐	M1_CYGSXTB	除盐供水系统串联水量	一单元	#1机组	是	1220	是	否	是	经济指标	公共	是
☐	M1_CYGSXTC	除盐供水系统耗水量	一单元	#1机组	是	1230	是	否	是	经济指标	公共	是
☐	M1_CYGSXTD	除盐供水系统排水量	一单元	#1机组	是	1240	是	否	是	经济指标	公共	是
☐	M1_YQJZYSGS	一期机组用水系统供水量	一单元	#1机组	是	1260	是	否	是	经济指标	公共	是
☐	M1_YQJZYSHYS	一期机组用水系统回用水量	一单元	#1机组	是	1270	是	否	是	经济指标	公共	是
☐	M1_YQJZYSSS	一期机组用水系统损失量	一单元	#1机组	是	1280	是	否	是	经济指标	公共	是
☐	M1_YQJZYSPS	一期机组用水系统排水量	一单元	#1机组	是	1290	是	否	是	经济指标	公共	是
☐	M1_EQJZYSGS	二期机组用水系统供水量	一单元	#1机组	是	1310	是	否	是	经济指标	公共	是
☐	M1_EQJZYSHYS	二期机组用水系统回用水量	一单元	#1机组	是	1320	是	否	是	经济指标	公共	是

显示

10

条/页

共636条记录

上一页

1

...

7

8

9

10

11

...

64

下一页

图6 指标配置

- (3) 巡检记录: 记录水务设备巡检信息;
- (4) 安全监控: 记录水务设备安全管理信息;
- (5) 检修记录: 记录水务设备检修信息;
- (6) 寿命情况: 基于设备清单记录设备运行寿命情况。

指标管理

系统提供指标配置如图6所示、指标实时数据展示如图7所示、指标历史曲线查看功能如图8所示。可针对每个指标进行定义、设定计算公式; 实时数据展示频率为1分钟, 指标实时数据展示页面数据刷新频率为1分钟; 针对每个指标, 可查询历史曲线, 时间范围可自由选择。

指标名称	实时数据	历史数据
指标名称:		
所属单元:		
所属机组:		
指标描述:		
是否考核:		
班负分清零:		
按日累计:		
指标类型:		
所属专业:		
按班累计:		

图7 指标实时展示

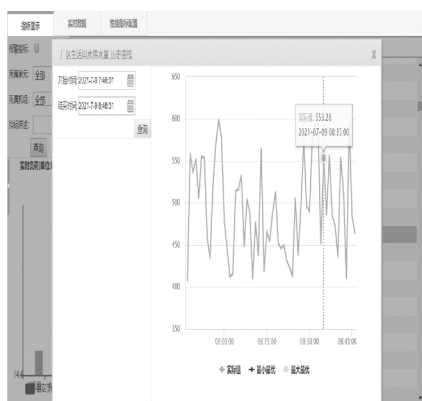


图8 指标历史曲线

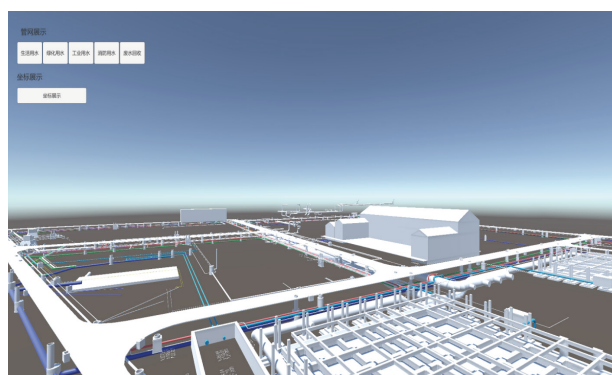


图9 全厂用排水3D管网图

2.2.6 全厂用/排水管网3D展示

采用Unity3D方式，进行全厂用、排水管网3D展示，包括全厂用、排水管道与主建筑物、管道之间、管道与地面的相对位置、水平距离、垂直距离等数据；显示管道的管径、材质、阀门、管道井、支路管道等管道的本体及主要附件。

全厂用/排水管网3D展示主要包括循环水给水管、循环水回水管、辅机循环水给水管、辅机循环水回水管、雨排水管、生活污水排水管、工业无压排水回收管、非经常废水排水管、含油废水排水管、消防供水管、生活给水管、工业水给水管、复用水管、脱硝废水管、高悬浮物废水排水管、工业水压力排水回收管；厂区中水水源补给水管、厂区备用水源补给水管、工业水回收复用水管、生活污水回收水管、泡沫消防管、脱硫废水管、输煤冲洗排水管、煤水处理回收水管、有压雨水排水管。不同的分系统需要以不同颜色区分，可以选择显示全厂3D管网或者某个分系统管网。

3D展示的供水管网界线以供水泵为起点，至用户所处的建筑物、设备设施系统的边界，建筑物内和设备系统内的供水管网不做3D展示。全厂用排水3D管网图如图9所示。

2.2.7 主要指标预警/诊断/优化

(1) 主要指标预警

系统提供预测模型算法，根据预测模型算法计算规则，对关键用水指标、用水、排水、管道在线泄漏、水质等指标，利用系统后台逻辑算法进行分析，在故障早期捕捉缓慢变化和快速发展的异常征兆，跟踪劣化拐点，变事后为事前调控，防止事故扩大，保证设备安全、经济、稳定运行。主要指标预警示意图如图10所示，主要指标预警展示图如图11所示。

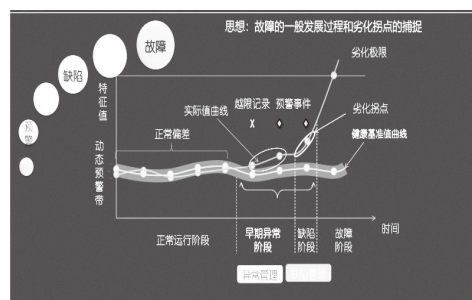


图10 指标预警示意图

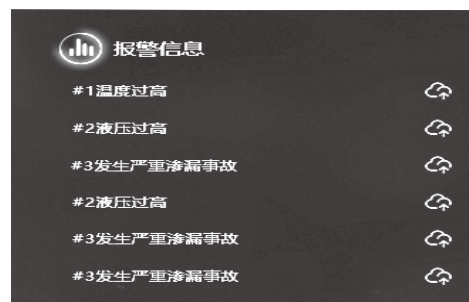


图11 主要指标预警展示图

(2) 主要指标诊断/优化

系统开发专家库管理功能，将基于专业人员对智慧水务管理系统水量、水质已经积累的大量的故障诊断及处理经验，通过收集系统水量、水质的各类故障及各类故障的可能原因和可采取的处理措施，在系统中建立专家知识库，系统支持专家知识库持续维护更新，对这些专业知识进行存储。系统支持对专家库新增、修改、删除、查询（支持模糊查询）。

当异常发生时，业务人员利用专家库查询引擎，通过查询定位专家库中相同相似异常、故障，业务人员可根据专家库故障处理经验得出建议解决方案，使得普通的运行人员也可以具备专家分析的能力，快速定位故障。

2.3 数据通讯

系统原有或新增流量计、水质仪表及智能水表等，需要实现数据远传至智慧水务管理系统服务器，结合电厂SIS或能管平台数据接口数据集成，实现智慧水务管理系统数据来源为全口径测点数据。

2.3.1 智能水表

LORA是LPWAN（低功耗广域物联网）通信技术中的一种，LORA作为目前最有发展前景的低功耗广域通信技术，已经被运用在各个各行各业中。LORA无线通信采用直序扩频技术，具有通信距离远、功率密度集中，抗干扰能力强的优势。同时具有软件FEC前向纠错算法，其编码效率较高，纠错能力强，在突发干扰的情况下，能主动纠正被干扰的数据包，大大提高可靠性和传输距离。

基于LORA的组网通信系统采用LORA通信协议进行组网通信，系统由计算机终端、通信基站、集成通信模块的用户设备、

具备通信功能的用户设备等组成，LORA通信一个基站对多个通信设备的组网通信，实现整套系统的互相通信。

LORA模块是一款工业级的单片机和高性能射频收发器集成在一起的半双工无线数据传输模块，体积小，工作稳定。模块采用透传模式进行通信，使用者无需编码和控制，为开发人员开发无线产品大大缩短了周期。模块内置的MCU对数据进行包装和处理，使得用户只需要通过UART接口，即可实现无线通信。智能水表数据传输示意图如图12所示。

2.3.2 其他数据采集

基于目前各类表计现状和数据采集、传输设备实际情况，为保证系统稳定性，考虑采用两种采集方式，对于不适合这两种形式的设备，可考虑第三种方式或其他方式。其他数据采集涵盖已有热工仪表及化学仪表、新增热工仪表及化学仪表等。

1) 系统接口集成方式

对于已有热工仪表及化学仪表、新增化学仪表，系统开发SIS或能管平台集成接口，将SIS或能管平台测点实时数据实时同步集成至智慧水务管理系统；

2) 软件集中采集接口

对于新增热工仪表，采用工控机同步集成接口，

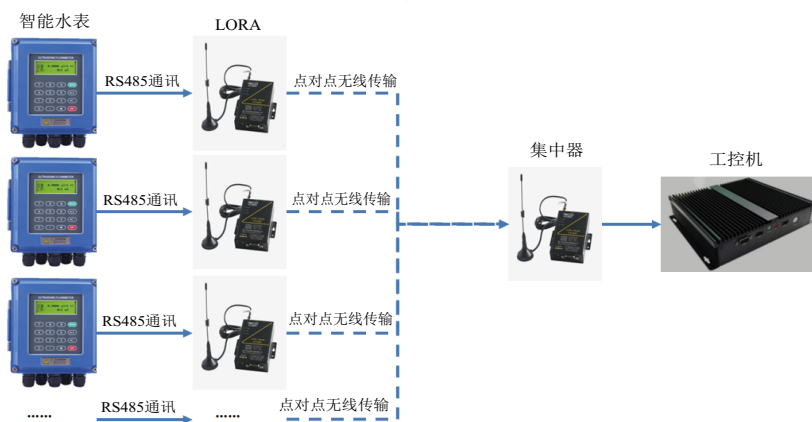


图12 智能水表数据传输示意图

可将工控机数据实时同步至智慧水务管理系统。

3 效益分析

3.1 经济效益

(1) 节约水资源及排污费用

根据GB/T 18916.1-2012《取水定额 第1部分：火力发电》取水量指标：单机容量为300MW级空气冷却机组单位发电量取水量定额指标为 $0.63\text{m}^3/\text{MW}\cdot\text{h}$ ，经过节水设计后，发电综合水耗可以达到 $0.41\text{m}^3/\text{MW}\cdot\text{h}$ 。通过开展火力发电厂深度节水，实现水资源智慧管控后，发电综合水耗可以达到 $0.19\text{m}^3/\text{MW}\cdot\text{h}$ ^[5]，机组利用小时按5500计算，每年节水80万吨，减少废水排放50万吨，直接经济效益200万元；

(2) 节约全厂水平衡测试费用

根据DL/T 606.5-2009《火力发电厂能量平衡导则第五部分 水平衡试验》要求，火力发电机组应定期进行冬季、夏季水平衡测试，通过对全厂各种取、用、排、耗水量进行测量，查清电厂用水状况，找出节水潜力，制定切实可行的节水技术措施，正确地评价电厂的用水水平，使电厂的用水达到科学管理和合理使用。

火力发电机组一般要求3~5年进行一次全厂水平衡测试，测试费用一般需要30万元左右，平均每年测试费用约6~10万元。

3.2 社会效益

我国为水资源匮乏，且分布不均。根据我国能源政策，华北、西北严重缺水地区火力发电量占比37%。国家发展改革委员会关于燃煤电站项目规划和建设有关要求明确指出：在北方缺水地区，新建、扩建电厂禁止取用地下水，严格控制使用地表水，鼓励利用城市污水处理厂的中水或其它废水。因此，水资源智慧调控与运营应用及示范，可缓解当地水资源缺乏的状况，改善当地生态环境。

3.3 安全效益

水资源智慧管控与运营，可实现主要水质、水量指标预警、预测、诊断、优化，相较于传统的基

于限值可识别的报警，可实现预警时间提前20%，故障诊断正确率达到90%，可提前对设备进行检修维护，保证设备安全、稳定、经济运行。

3.4 环保效益

水资源智慧管控与运营，保证全厂水资源合理利用，实现全厂废水零排放，高度契合党的“十八”大和“十九”大以来有关环保法律、法规的要求。

3.5 管理效益

水资源智慧管控与运营，全面提升水务管理水平，降低全厂发电综合水耗。

4 结语

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，各个领域兴起了智能化建设的热潮。在发电领域，智慧电厂建设成为行业热议的话题。火力发电厂进行智慧水务系统研究与应用，作为智慧电厂建设的缩影，是信息化与工业化深度融合的生动实践。通过智慧调控与运营系统开发与示范，可以使全厂水务管理智能化、高端化、低碳化，必将为自动化电厂向智慧电厂升级带来质的飞跃，具有重要示范意义。

作为一种创新管理手段及方法，可广泛应用于自来水厂、污水处理厂、钢铁、石化等企业全厂用、排水系统运行、指标管控、效能分析、设备管理、成本控制、指标预警（预测）及优化等。

参考文献

- [1] 李刚, 刘政修. 火力发电厂零水排放智慧水网系统开发与示范[J]. 仪器仪表用户, 2018(7): 25-30.
- [2] 中国电力企业联合会. DL/T 1337-2014,《火力发电厂水务管理导则》[S]. 北京: 中国电力出版社, 2014-03-18发布, 2014-08-01实施.
- [3] 电力规划设计总院. DL/T 5046-2018,《发电厂废水治理设计规范》[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018-06-06发布, 2018-10-01实施.
- [4] 国家发展和改革委员会. GB/T 18916.1-2012,《取水定额 第1部分:火力发电》[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012-06-29发布, 2013-01-01实施.
- [5] 刘政修, 李刚. 350MW间接空冷燃煤供热机组节水技术[J]. 全面腐蚀控制, 2018(11): 38-42.