

ISSN 1674-1617
CN 11-5660/TL

2020年第5期 (第13卷 总第55期)

中国核电

CHINA NUCLEAR POWER



团结协作 攻坚克难 决胜“华龙一号”全球首堆商运



ISSN 1674-1617



9 771674 161199

主管单位 中国核工业集团有限公司
主办单位 中国原子能出版传媒有限公司

本刊已被中国学术期刊(光盘版)电子杂志社《中国学术期刊网络出版总库》、北京万方数据股份有限公司“万方数据—数字化期刊群”和《中国核心期刊(遴选)数据库》、重庆维普资讯有限公司《中文科技期刊数据库(全文版)》、“超星期刊域出版平台”等数据库收录。本刊已许可中国知网等以数字化方式复制、汇编、发行、信息网络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含中国知网著作权使用费,所有署名作者向本刊提交文章发表之行为视为同意上述声明。如有异议,请在投稿时说明,本刊将按作者说明处理。

刊名题字: 吴邦国

主管单位: 中国核工业集团有限公司

主办单位: 中国原子能出版传媒有限公司

学术委员会

主 任 叶奇蓁

副 主 任 王大中 欧阳予

委 员 (按姓氏笔画排序)

于俊崇 王乃彦 王方定 孙玉发 李冠兴 陈念念
周永茂 钱皋韵 徐 铎 徐大懋 彭士禄 潘自强

编辑委员会 (按姓氏笔画排序)

主 编 曹述栋

副 主 编 史宗恺 孙汉虹 张凤伟 雷增光 魏 远

常务编委 张文其 张庆春 周拯晔 邹德麟 薛峻峰

编 委 于 涛 马文革 王 平 王 侃 王 俊 王成立

王黎明 韦龙生 牛玉清 邓林涛 田佳树 田锡清

伍崇明 任俊生 任晓娜 庄火林 刘 巍 刘振河

刘建桥 刘晓英 孙力平 孙礼亚 孙永忠 孙自福

孙宏伟 严嘉鹏 苏光辉 巫世晶 李苏甲 杨燕华

吴 涛 吴美景 何 剑 宋雅南 邹树梁 张树军

张凤伟 张伟国 张初明 张明兴 陆道纲 陈仁杰

陈廷祥 武汉璟 胡晓丹 段旭如 秦明宽 贾桂秀

高虎贤 龚 俊 姜小平 姜 勇 常华健 符忠轩

康椰熙 董宏亮 蒋祖跃 程瑞仙 程新和 程慧平

蔡剑平 蔡振芳 潘传红 潘启龙 薛昌林 鞠德重

杂志社

社 长: 李 涛

编辑部主任: 王 丹 本期责任编辑: 白 佳

编 辑 部 (按姓氏笔画排序)

王 丹 王齐飞 左浚茹 白 佳 皮 俏 杜学功

赵 杰 赵志军 高树超 韩 霞 谭 俊 潘玉玲

地址: 北京市海淀区阜成路 43 号 邮编: 100048

编辑部电话: 010-88828694/88828674/88828685

投稿网址: <http://zgnd.cbpt.cnki.net> 电子邮箱: zgnd2008@sina.com

国内统一刊号: CN 11-5660/TL 国际标准刊号: ISSN 1674-1617

邮发刊号: 80-910

印 刷: 保定市中国画美凯印刷有限公司

出版发行: 中国原子能出版传媒有限公司

发行范围: 国内外公开发刊

国内发行: 全国各地邮局

国外发行: 中国国际图书贸易总公司(北京市399信箱, 邮编100044)

广告经营许可证: 京海工商广字第 8244 号

市场推广: 韩 月 于 建 010-62519929

声明: 本刊所有文章均代表作者和被采访者个人观点, 文责自负。未经授权, 不得转载, 不得使用本刊的版式设计。作者向本刊提交文章发表的行为即视为同意本刊上述声明。

万方数据

◇ 数字核电

大数据应用与大数据体系规划探讨

高福春 575

零信任安全架构技术研究和应用思考

蔺旭冉, 毛天宇 582

数字孪生技术在核电站的应用分析

潘保林, 邹金强, 毛志新, 等 587

◇ 核电研发

核主泵推力轴承高性能制造原理及其应用研究

雷明凯, 李梦启, 郭东明 592

堆芯计算的框架方法及其原型软件 NAC4R 的设计

明平洲, 刘 婷, 李治刚, 等 599

数字化反应堆保护系统响应时间的评价方法研究

刘 洋, 廖良记, 张向科 606

基于 FitRel 系统平台的多样化反应堆保护系统定期试验设计

陈 鹏, 李谢晋, 罗 炜, 等 611

◇ 核电技术

同步 CFD 技术在模块式小型堆非隔离管道热分层分析中的应用

赵 禹, 曾 畅, 任 云, 等 617

三维数字技术在 AP1000 核电站的开发和应用研究

张 驰, 张学斌, 方奇术, 等 621

激光增材制造技术在核电堆内构件 304LN 不锈钢大型复杂结构件上的应用

王庆田, 于天达, 何培峰, 等 625

蒸汽发生器二次侧泥渣冲洗工艺的验证技术

熊前山, 刘一博, 贺小明, 等 630

◇ 核电设备

秦山核电 90 kW 异步电机烧毁原因分析及优化

曹祖庭 634

田湾核电站发电机定子端部引线振动的缓解

周正平 640

核电厂除氧器的超声波成像检测

赵 飞, 孙林林, 徐 聪, 等 644

关于核电主泵轴系临界转速计算及稳定性



福建福清核电有限公司 供图

P570

核电专访

核设施退役与放射性废物治理：创新产业发展守护国土安全 ——专访中核四川环保工程有限责任公司董事长李克平

本刊记者 高树超

标准的探讨

杨德马 648

◆ 核电运营

某核电基地多机组联合开关站运行控制技术
研究

汪运律, 陈富杰, 陈子明, 等 653
安全注入系统电动头堵转原因分析

任 瀛 660
CPR1000 与 AP1000 机组主控室应急运行
方式对比

王小林, 申中祥, 张兆虎, 等 668

◆ 核电安全

剩余安全隐患概念的提出及数学模型的
构建与研究

刘伟达 677
核电厂应急指挥中心设备抗震加固实践
白志强, 徐春松 681

◆ 核电管理

大型核电企业“战略支撑型”标准化体
系构建与实施

孟中华, 熊晓东 686

“华龙一号”首堆示范工程核电设备供货
风险管理研究

王端阳, 孔 卫, 夏明明, 等 691
核电厂生产准备阶段岗位培训大纲体系
建设方法浅析

陈 喜, 彭昆明, 赖胜元 695
核电厂备品备件管理浅析

刘 昇, 薛 寅, 段伟强 700

◆ 核电论坛

放射性废物运输分类方法研究

李晓范, 翟 健, 王 安 705
从中国企业频繁被加入实体清单事件看
美国实体清单出口管制体系及如何应对
梁晨晨 714

◆ 核电链接

喜看彩虹春雨后：“国和一号”研发背后
的故事

李艳丽, 郑楚瑶 719

◆ 谈“核”容易

722

(Bimonthly , First started in 2008)
Oct.2020 Vol.13 No.5 (Sum No.55)

Under the auspices of China National Nuclear Corporation
Sponsored by China Atomic Energy Publishing Media Co.,Ltd.

Academic Committee

Chairman YE Qizhen

Vice Chairmen WANG Dazhong OUYANG Yu

Members

YU Junchong	WANG Naiyan	WANG Fangding	SUN Yufa
LI Guanxing	CHEN Niannian	ZHOU Yongmao	QIAN Gaoyun
XU Mi	XU Damao	PENG Shilu	PAN Ziqiang

Editorial Committee

Editor-in-Chief CAO Shudong

Deputy Editors-in-Chief

SHI Zongkai	SUN Hanhong	ZHANG Fengwei
LEI Zengguang	WEI Yuan	

Standing Editor

ZHANG Wenqi	ZHANG Qingchun	ZHOU Zhengye	ZOU Delin
XUE Junfeng			

Editors

YU Tao	MA Wenge	WANG Ping	WANG Kan
WANG Jun	WANG Chengli	WANG Liming	WEI Longsheng
NIU Yuqing	DENG Lintao	TIAN Jiashu	TIAN Xiqing
WU Chongming	REN Junsheng	REN Xiaona	ZHUANG Huolin
LIU Wei	LIU Zhenhe	LIU Jianqiao	LIU Xiaoying
SUN Liping	SUN Liya	SUN Yongzhong	SUN Zifu
SUN Hongwei	YAN Jiapeng	SU Guanghui	WU Shijing
LI Sujia	YANG Yanhua	WU Tao	WU Meijing
HE Jian	SONG Yanan	ZOU Shuliang	ZHANG Shujun
ZHANG Fengwei	ZHANG Weiguo	ZHANG Chuming	ZHANG Mingxing
LU Daogang	CHEN Renjie	CHEN Tingxiang	WU Hanjing
HU Xiaodan	DUAN Xuru	QIN Mingkuan	JIA Guixiu
GAO Huxian	GONG Jun	JIANG Xiaoping	JIANG Yong
CHANG Huajian	FU Zhongxuan	KANG Yexi	DONG Hongliang
JIANG Zuyue	CHENG Ruixian	CHENG Xinhe	CHENG Huiping
CAI Jianping	CAI Zhenfang	PAN Chuanhong	PAN Qilong
XUE Changlin	JU Dezhong		

Periodical Press

Director: LI Tao

Director of Editorial Office: WANG Dan

Editor of the Issue: BAI Jia

Editorial Department:

WANG Dan	WANG Qifei	ZUO Junru	BAI Jia	PI Qiao
DU Xuegong	ZHAO Jie	ZHAO Zhijun	GAO Shuchao	HAN Xia
TAN Jun	PAN Yuling			

No.43, Fucheng Road, Haidian District, Beijing 100048, China

Tel: (8610)88828694/88828674/88828685

Submission URL: <http://zgnd.cbpt.cnki.net>

E-mail: zgnd2008@sina.com

CN 11-5660/TL ISSN 1674-1617

Postal Issue No. 80-910

Printed by Zhonghuameikai Printing Co., Ltd., Baoding

Published and issued by China Atomic Energy Publishing Media Co., Ltd.

Public issue both at home and abroad

Distributed Inland by Local Post Offices

Distributed Abroad by China International Book Trading

Corporation (P.O.Box 399, Beijing 100044, China)

Advertising Business Permit: 京海工商广字第 8244 号

Marketing: HAN Yue YU Jian 010-62519929

Digital Nuclear Power

Technical discussion of big data application and system planning

GAO Fu-chun 575

Research and Application Thinking of Zero-Trust Architecture

LIN Xu-ran , MAO Tian-yu 582

Application of Digital Twin Technology in Nuclear Power Plant

PAN Bao-lin, ZOU Jin-qiang, MAO Zhi-xin, et al 587

Nuclear Power R&D

High-Performance Manufacturing Principle and Application of Thrust Bearings of Primary Pump in Nuclear Power Plant

LEI Ming-kai, LI Meng-qi, GUO Dong-ming 592

Framework Method for Core Calculation and Design of Its Prototype Software NAC4R

MING Ping-zhou, LIU Ting, LI Zhi-gang, et al 599

A Response Time Evaluation Method of Reactor Protection System Implemented by DCS

LIU Yang, LIAO Liang-ji, ZHANG Xiang-ke 606

A Periodic Test Scheme Design of Diverse Actuation System Based on FitRel

CHEN Peng, LI Xie-jin, LUO Wei, et al 611

Nuclear Power Technology

Synchronized CFD Analysis for Thermal Stratification Phenomenon of Non-isolated Pipes

ZHAO Yu, ZENG Chang, REN Yun, et al 617

Development and Application of 3D Digital Technique in the Modular Maintenance Field of AP1000 Nuclear Power Plant

ZHANG Chi, ZHANG Xue-bin, FANG Qi-Shu, et al 621

Application of Nuclear-grade 304LN Stainless Steel Components Prepared by Laser Additive Manufacturing

WANG Qing-tian, YU Tian-da, HE Pei-feng, et al 625

The Sludge Lancing Verification Technology for the Secondary Side of Steam Generator

XIONG Qian-shan, LIU Yi-bo, HE Xiao-ming, et al 630

Nuclear Power Equipment

Analysis for the Burning Cause and Optimization of 90 kW Induction Motor in Qinshan Nuclear Power Plant

CAO Zu-ting 634

Ease of Generator Stator End Wire Vibration in Tianwan NPP

ZHOU Zheng-ping 640

Ultrasonic Imaging Detection of Deaerator in Nuclear Power Plant

ZHAO Fei, SUN Lin-lin, XU Cong, et al 644

Discussions on Critical Speed Calculations and Stability Standard of Nuclear Power Plant Reactor Coolant Pump

YANG De-ma 648



Photograph Courtesy Fujian Fuqing Nuclear Power Co., Ltd.

P570

Exclusive Interview on Nuclear Power

Decommissioning of Nuclear Facilities and Management of Radioactive Wastes: Innovating the Industrial Development and Guarding the Homeland Security——An Exclusive Interview with LI Ke-ping, Board Chairman, Sichuan Environmental Protection Engineering Co., Ltd., CNNC

Journalist GAO Shu-chao

◆ Nuclear Power Operation

Study on the Operation Control Technology of the Multi-unit Combined Switch Station of Qinshan Nuclear Power Plant

WANG Yun-lv, CHEN Fu-jie, CHEN Zi-ming, et al 653

Cause Analysis of Actuator Stall of Safety Injection System

REN Hao 660

Comparison of Operation Modes of CPR1000 and AP1000 Main Control Rooms under Accident Conditions

WANG Xiao-lin, SHEN Zhong-xiang, ZHANG Zhao-hu, et al 668

◆ Nuclear Power Safety

The Concept of Residual Safety Hidden Danger, and the Construction and Study of Mathematical Model

LIU Wei-da 677

Practice of Seismic Reinforcement for Equipment in Emergency Command Center of Nuclear Power Plant

BAI Zhi-qiang, XU Chun-song 681

◆ Nuclear Power Management

Construction and Implementation of "Strategic Support" Standardized System for Large Nuclear Power Enterprises

MENG Zhong-hua, XIONG Xiao-dong 686

Study on Equipment Supply Risk Management for the First Unit of HPR1000

WANG Duan-yang, KONG Wei, XIA Ming-ming, et al 691

Analysis of the Construction Method of Job Training Outline System in The Production Preparation Stage of Nuclear Power Plant

CHEN Xi, PENG Kun-ming, LAI Sheng-yuan 695

Spare Parts Management of the Nuclear Power Plant

LIU Sheng, XUE Yin, DUAN Wei-qiang 700

◆ Nuclear Power Forum

Study on Classification of Radioactive Wastes for Transportation

LI Xiao-fan, ZHAI Jian, WANG An 705

Entity List Export Control System of United States and How to Cope with the Matter-A View from the Event that Chinese Entities Have Been Added to the "Entity List"

LIANG Chen-chen 714

◆ Links to Related Organizations

719

◆ Public Communication

722