



QK1831161

ISSN 1000-6931  
CN 11-2044/TL

# 原子能科学技术

中国原子能科学研究院

2018 **4** (第52卷)

ATOMIC ENERGY SCIENCE  
AND TECHNOLOGY

YUANZINENG KEXUE JISHU

ISSN 1000-6931



万方数据

## 目次

## 物理

$^{240}\text{Am}$  半衰期的测量 ..... 夏子恒,师全林,解峰,凡金龙,李雪松,余功硕(577)

## 化学

不同固定剂对铀尾矿库中铀稳定效果的试验研究 ..... 周书葵,侯康龙,刘迎九,王浩铭,李智东,张 建(583)

## 反应堆工程

螺旋管核态沸腾两相流摩擦压降与传热数值分析 ..... 赵 宇,孙宝芝,鲍 杰,于 祥,史建新,张 鹏(590)

基于微液层模型的单汽泡生长数值模拟研究 ..... 王 焯,蔡杰进(600)

基于液膜蒸干模型的低压低流量环状流 CHF 理论研究 .....  
..... 陈 森,杨 宁,李华琪,朱 磊,胡 攀,马腾跃,陈立新(607)

快堆组件稠密棒束数值模拟 ..... 李 淞,杨红义,周志伟,冯预恒(612)

环形通道内再淹没过程先驱冷却传热特性研究 ..... 王金宇,王 均,管元锋,黄 军(617)

高温气冷堆内含硼碳材料吸湿特性与扩散系数研究 ..... 李 俊,银华强,何学东,杨星团,姜胜耀(622)

核电站冷凝泵首级叶轮与导流壳内流瞬态特性 ..... 付 强,陈 铭,刘 刚,李梦圆,张国玉(627)

严重事故条件下安全壳响应模拟研究 ..... 许芝春,张亚培,苏光辉,秋穗正,田文喜(634)

基于 MAAP5 程序的秦山核电站严重事故分析 ..... 胡海平,刘全友,王 盟,陈艳芳(641)

水下航行器微型核电源堆芯设计 ..... 孙 浩,王成龙,刘 道,田文喜,秋穗正,苏光辉(646)

氟盐冷却高温堆主冷却剂系统 $^{16}\text{N}$ 源项分析 .....  
..... 周 波,严 睿,邹 杨,戴 叶,朱贵凤,于世和,刘亚芬,杨 璞,冀锐敏,康旭忠(652)

氟盐冷却高温堆半实物仿真及初步测试 .....  
..... 阮 见,邹 杨,KENDRICK J,李明海,PETERSON P F,徐洪杰(659)

基于非均匀射线追踪的栅元模块化特征线方法研究 ..... 彭良辉,陈笑松,陈耀东,刚 直(666)

蒙特卡罗共轭输运法计算反应堆压力容器快中子注量率 ..... 成昱廷,周 琦,张 寅,朱庆福(672)

多轴疲劳模型对比研究及其在核电结构热疲劳寿命预测中的应用 ..... 雷柏茂,李 骞,黄创绵,王春辉(677)

发电厂金属疲劳监测过程中环境影响疲劳评价方法研究 ..... 罗亚林,刘 新,陈 蓉,陈先龙,何大宇(685)

氧化物夹杂与 Ni-Cr-Mo-V 钢多层焊缝低温冲击韧性变化规律的关系 .....  
..... 王成龙,佟振峰,张长义,杨兴旺,宁广胜,杨 文(691)

高温气冷堆核蒸汽供应系统出口蒸汽温度的 T-S 模糊控制方法 ..... 原 越,黄晓津(699)

## 技术及应用

- 基于静电分析器的全自动高精度能谱测量系统 .....  
..... 李 敏,朱洲森,韩纪锋,师勉恭,周茂蕾,陈桢远,刘 东,曲国峰(705)
- 基于 EGSnrc 仿真的二维电离室剂量探测器的室壁厚度确定方法 ..... 邢桂来,谈春明(710)
- 针对车载 D-D 加速器中子源的紧凑、轻量化屏蔽材料优化设计研究 .....  
..... 蔡 垚,胡华四,潘紫姮,路双莹,孙伟强(715)
- 基于热中子分析技术的铀弹头内部炸药元素分析法 ..... 黄 孟,朱剑钰,伍 钧,李 瑞(722)
- 基于 PCA 和 BM3D 的噪声估计方法及其在中子图像去噪中的应用 ..... 乔 双,吴晓阳,赵辰一,王泽琦(729)
- 基于多周循环步进式插值扫描轨迹的工业 CT 柔性检测技术研究 ..... 颜 澎,丛 鹏,吴志芳,刘锡明(737)
- 高密度金属包装液体的双能 CT 检测方法..... 李保磊,李 斌,张萍宇,莫 阳,张耀军(744)
- 温度对 TFT SRAM 单粒子翻转及其空间错误率预估的影响 .....  
..... 蔡 莉,刘建成,覃英参,李丽丽,郭 刚,史淑廷,吴振宇,池雅庆,惠 宁,范 辉,沈东军,何安林(750)
- 上海软 X 射线自由电子激光装置联锁保护系统 ..... 于春蕾,赵 欢,丁建国(756)
- 小型单极静电加速器自动控制系统研制 ..... 李康宁,游曲波,包轶文,苏胜勇,何 明,胡跃明,姜 山(762)
- 期刊基本参数: CN 11-2044/TL \* 1959 \* m \* A4 \* 192 \* zh \* P \* ¥40.00 \* 1200 \* 30 \* 2018-04
- 本期责任编辑 王宝金 马英霞 王调霞 侯翠梅 汤晓浩 张秀平 韩翠娥

# ATOMIC ENERGY SCIENCE AND TECHNOLOGY

Vol. 52, No. 4

Apr. 2018

## CONTENTS

### PHYSICS

Measurement of Half-life of  $^{240}\text{Am}$  .....  
..... XIA Ziheng, SHI Quanlin, XIE Feng, FAN Jinlong, LI Xuesong, YU Gongshuo(577)

### CHEMISTRY

Experimental Study on Immobilization of Uranium in Uranium Tailing Pond Using Different Fixatives .....  
..... ZHOU Shukui, HOU Kanglong, LIU Yingjiu, WANG Haoming, LI Zhidong, ZHANG Jian(583)

### REACTOR ENGINEERING

Numerical Simulation of Two-phase Flow Friction Pressure Drop and Heat Transfer for Nucleate Boiling in Helically  
Coiled Tube ..... ZHAO Yu, SUN Baozhi, BAO Jie, YU Xiang, SHI Jianxin, ZHANG Peng(590)

Numerical Simulation of Single Bubble Evolution Based on Microlayer Model ..... WANG Ye, CAI Jiejun(600)

CHF Theoretical Study on Low Pressure and Low Flow Rate Annular Flow Based on Film Dryout Model .....  
..... CHEN Sen, YANG Ning, LI Huaqi, ZHU Lei, HU Pan, MA Tengyue, CHEN Lixin(607)

Numerical Simulation of Compact Fuel Assembly in Fast Reactor .....  
..... LI Song, YANG Hongyi, ZHOU Zhiwei, FENG Yuheng(612)

Precursory Cooling Heat Transfer Characteristic during Reflood Phase in Annular Channel .....  
..... WANG Jinyu, WANG Jun, ZAN Yuanfeng, HUANG Jun(617)

Moisture Absorption Property and Diffusion Coefficient of Carbon Material with Boron Carbide in HTGR .....  
..... LI Jun, YIN Huaqiang, HE Xuedong, YANG Xingtuan, JIANG Shengyao(622)

Flow Transient Characteristic in the First Impeller and Diversion Shell of Condensate Pump in Nuclear Power Plant  
..... FU Qiang, CHEN Ming, LIU Gang, LI Mengyuan, ZHANG Guoyu(627)

Simulation Research on Containment Response under Severe Accident Condition .....  
..... XU Zhichun, ZHANG Yapei, SU Guanghui, QIU Suizheng, TIAN Wenxi(634)

Severe Accident Analysis of Qinshan Nuclear Power Plant Based on MAAP5 Code .....  
..... HU Haiping, LIU Quanyou, WANG Meng, CHEN Yanfang(641)

Reactor Core Design of Micro Nuclear Power Source Applied for Underwater Vehicle .....  
..... SUN Hao, WANG Chenglong, LIU Xiao, TIAN Wenxi, QIU Suizheng, SU Guanghui(646)

Analysis of  $^{16}\text{N}$  Source Term in Primary Coolant System of FHR ..... ZHOU Bo, YAN Rui,  
ZOU Yang, DAI Ye, ZHU Guifeng, YU Shihe, LIU Yafen, YANG Pu, JI Ruimin, KANG Xuzhong(652)

Fluoride-salt-cooled High-temperature Reactor Hardware-in-the-loop Simulation and Preliminary Test .....  
..... RUAN Jian, ZOU Yang, KENDRICK J, LI Minghai, PETERSON P F, XU Hongjie(659)

Study on Method of Characteristic Line Based on Cell Modular Non-uniform Ray Tracing .....  
..... PENG Lianghui, CHEN Xiaosong, CHEN Yaodong, GANG Zhi(666)

- Calculation of Reactor Pressure Vessel Fast Neutron Fluence Rate via Monte Carlo Adjoint Transport Method ...  
 ..... CHENG Yuting, ZHOU Qi, ZHANG Yin, ZHU Qingfu(672)
- Comparative Investigation of Multiaxial Fatigue Model and Application in Thermal Fatigue Life Prediction of Structure in Nuclear Power Plant ..... LEI Baimao, LI Qian, HUANG Chuangmian, WANG Chunhui(677)
- Research on Evaluation Method of Environmental Impact Fatigue in Process of Metal Fatigue Monitoring in Nuclear Power Plant ..... LUO Yalin, LIU Xin, CHEN Rong, CHEN Xianlong, HE Dayu(685)
- Relationship between Oxide Inclusion and Changing Rule of Low Experimental Temperature Impact Toughness of Ni-Cr-Mo-V Steel Weld Metal .....  
 ..... WANG Chenglong, TONG Zhenfeng, ZHANG Changyi, YANG Xingwang, NING Guangsheng, YANG Wen(691)
- T-S Fuzzy Method for Control of Steam Temperature of Modular-HTGR-based Nuclear Steam Supplying System .....  
 ..... YUAN Yue, HUANG Xiaojin(699)

### TECHNIQUES AND APPLICATIONS

- Automatic High Precision Energy Acquisition System Based on Electrostatic Analyzer ..... LI Min,  
 ZHU Zhouren, HAN Jifeng, SHI Miangong, ZHOU Maolei, CHEN Zhiyuan, LIU Dong, QU Guofeng(705)
- Method on Determination of Wall-thickness of Two-dimensional Ionization Chamber Dose Detector Based on EGSnrc .....  
 ..... XING Guilai, TAN Chunming(710)
- Study on Optimization Design of Compact and Lightweight Radiation Shielding Material for Vehicle-mounted Accelerator-driven D-D Neutron Source .....  
 ..... CAI Yao, HU Huasi, PAN Ziheng, LU Shuangying, SUN Weiqiang(715)
- Element Analysis Method of Explosive in WgU Warhead Based on Thermal Neutron Analysis .....  
 ..... HUANG Meng, ZHU Jianyu, WU Jun, LI Rui(722)
- Noise Level Estimation Method Based on PCA and BM3D for Neutron Image Denoising .....  
 ..... QIAO Shuang, WU Xiaoyang, ZHAO Chenyi, WANG Zeqi(729)
- Study on Industrial CT Flexible Inspection Technique Based on Multi-cycle Step Interpolation Scan Trajectory ...  
 ..... YAN Peng, CONG Peng, WU Zhifang, LIU Ximing(737)
- Dual-energy CT Inspection Method for Liquid in High Density Metal Container .....  
 ..... LI Baolei, LI Bin, ZHANG Pingyu, MO Yang, ZHANG Yaojun(744)
- Effect of Temperature on Single Event Upset of TFT SRAM and Its Space Error Rate Prediction .....  
 ..... CAI Li, LIU Jiancheng, QIN Yingcan, LI Lili,  
 GUO Gang, SHI Shuting, WU Zhenyu, CHI Yaqing, HUI Ning, FAN Hui, SHEN Dongjun, HE Anlin(750)
- Interlock System for Soft X-ray Free-electron Laser in Shanghai .....  
 ..... YU Chunlei, ZHAO Huan, DING Jianguo(756)
- Development of Control System in Compact Single Stage Electrostatic Accelerator .....  
 ..... LI Kangning, YOU Qubo, BAO Yiwen, SU Shengyong, HE Ming, HU Yueming, JIANG Shan(762)
- Editors** WANG Baojin, MA Yingxia, WANG Tiaoxia, HOU Cuimei, TANG Xiaohao, ZHANG Xiuping, HAN Cuic

## 《原子能科学技术》征稿简则

- 1) 文稿务求论点明确,文字简练,数据可靠。
- 2) 文题简明(20个汉字以内);中英文摘要须包括题目、作者姓名、作者单位、城市名、省名和邮政编码,并应写成叙述性文摘(含有研究目的、方法、结果和结论);关键词3~8个。
- 3) 文稿应采用阿拉伯数字进行分级编号。引言不编号,也不写“引言”字样。
- 4) 基金项目名称及项目编号、作者简介(第1作者姓名(出生年—)、性别(民族,汉族略)、籍贯、职称、学位、从事专业)需在首页以页下注形式写明。
- 5) 文稿中外文字母、符号须分清大、小写;上下角的字母、数码和符号等位置的高低应区别明显;易混淆的外文字母、符号在第1次出现时应注明文种。
- 6) 文稿中的数据不能同时以图和表表述,只能选择其一;采用法定计量单位,物理量用法定量符号表示;在图和表中用量与单位的比值表示数值,即量与单位之间用除号“/”相隔,如 E/keV。
- 7) 参考文献须按《文后参考文献著录规则》著录。著录项目和格式见本刊网站。文献数量不少于10篇。
- 8) 欢迎从本刊网站投稿,网址 <http://www.aest.org.cn>。
- 9) 来稿时必须同时提供作者单位(学术委员会或业务部门)对文稿内容的学术性、真实性,作者署名是否准确以及内容有无保密问题的审查证明。审查证明格式见本刊网站。
- 10) 收稿后本刊立即向作者发送收稿通知单;若待审处理时间超过4个月不予回复,作者可改投它刊;退修稿逾期半年不修回者,本刊即作自动退稿处理;录用稿一经排版,作者要求退稿需部分补偿编辑部经济损失。
- 11) 来稿一经刊登,本刊将按规定酌致稿酬,并赠每位作者当期《原子能科学技术》1册。本刊已纳入《中国学术期刊(光盘版)》、《方正 Apabi 电子期刊》、《中文科技期刊数据库》、《CEPS 中文电子期刊服务》、《书生数字期刊》和入网“万方数据——数字化期刊群”,本刊所付稿酬包含上述6项报酬。
- 12) 请勿一稿两投。

### 原子能科学技术

(月刊 1959年创刊)

2018年4月 第52卷第4期

### ATOMIC ENERGY SCIENCE AND TECHNOLOGY

(Monthly Started in 1959)

Vol. 52 No. 4 Apr. 2018

主管:中国核工业集团有限公司

主办:中国原子能科学研究院

出版:《原子能科学技术》编辑部

(北京市275-65信箱,邮编102413)

电话:(010) 69358024, 69357285

E-mail: [yzk@ciae.ac.cn](mailto:yzk@ciae.ac.cn)

<http://www.aest.org.cn>

主编:万钢

印刷:中国文联印刷厂

国内发行:全国各地邮局

邮发刊号:82-161

国外发行:中国国际图书贸易总公司

(北京市399信箱,邮政编码100044)

发行代号:BM 4130

Responsible Institution: China National Nuclear Corporation

Sponsored by China Institute of Atomic Energy

Published by Editorial Board of Atomic Energy Science and Technology

(P. O. Box 275-65, Beijing 102413, China)

Tel: 8610-69358024, 69357285

E-mail: [yzk@ciae.ac.cn](mailto:yzk@ciae.ac.cn)

<http://www.aest.org.cn>

Editor in Chief: WAN Gang

Printed by Printing House of WenLian in China

Distributed Inland by Local Post Offices

Postal Issue No. 82-161

Distributed Abroad by China International Book Trading Corporation

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

Issue No. BM 4130

中国标准连续出版物号:ISSN 1000-6931  
CN 11-2044/TL

2018年4月20日出版

定价:40.00元