

中国核科学技术进展报告

（第五卷）

——中国核学会2017年学术年会论文集

第4册

▲ 同位素分离分卷

中国原子能出版社

中国核科学技术进展报告

(第五卷)

——中国核学会 2017 年学术年会论文集

第 4 册

同位素分离分卷



中国原子能出版社

图书在版编目(CIP)数据

中国核科学技术进展报告. 第五卷, 中国核学会 2017
年学术年会论文集. 第 4 册, 同位素分离 / 中国核学会主
编. — 北京 : 中国原子能出版社, 2018. 4
ISBN 978-7-5022-8803-7

I. ①中… II. ①中… III. ①核技术—技术发展—研
究报告—中国 IV. ①TL—12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 016091 号

内 容 简 介

中国核学会 2017 学术双年会于 2017 年 10 月 16—18 日在山东省威海市召开。会议主题为“安全、绿色、和谐、发展”。大会共征集论文 1 400 篇, 经过专家审稿, 评选出 701 篇较高水平论文收录进《中国核科学技术进展报告(第五卷)》, 报告共分为 10 册, 并按 26 个二级学科设立分卷。
本册为同位素分离分卷。

中国核科学技术进展报告(第五卷) 第 4 册

出版发行 中国原子能出版社(北京市海淀区阜成路 43 号 100048)
策划编辑 付 真
责任编辑 李新邦
特约编辑 秦子淇
装帧设计 赵 杰
责任校对 冯莲凤
责任印制 潘玉玲
印 刷 保定市中华美凯印刷有限公司
经 销 全国新华书店
开 本 890 mm×1240 mm 1/16
印 张 24.75 字 数 686 千字
版 次 2018 年 4 月第 1 版 2018 年 4 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5022-8803-7 定 价 120.00 元

网址: <http://www.aep.com.cn> E-mail: atomep123@126.com
发行电话: 010-68452845

中国核学会 2017 年 学术年会大会组织机构

大会名誉主席 王寿君

大会主席 顾军

执行主席 李冠兴

大会副主席 (按姓氏笔画排序)

王森 刘永德 孙汉虹 余剑锋 张延克 张维岩
祖斌 贺禹 赵军 康克军 詹文龙 雷增光

高级顾问 丁中智 马栩泉 王乃彦 王大中 张国宝

杜祥琬 陈佳洱 胡思得 钱绍钧 穆占英

学术委员会

主任 李冠兴

副主任 叶奇蓁 邱爱慈 陈念念 赵志祥 程建平

成员 (按姓氏笔画排序)

王贻芳 卢文跃 叶国安 司胜义 田佳树 华跃进
张永学 张志俭 张志忠 张金带 李建刚 杨华庭
陈炳德 陈森玉 罗志福 罗顺忠 姜宏 赵宏卫
赵振堂 唐传祥 柴国早 彭先觉 曾毅君 樊明武
潘传红 潘自强

组委会

主任 雷增光

常务副主任 于鉴夫

副主任 王志 庄火林

委员 (按姓氏笔画排序)

丁有钱 马文军 王丽瑶 王国宝 石金水 帅茂兵
朱科军 刘伟 刘亚强 孙晔 李景焘 苏艳茹
张建 张勇 杨海峰 陈东风 陈怀璧 陈伟
胡绍全 郑卫芳 段旭如 郝朝斌 黄伟 彭太平
解新芳 魏素花

秘书处

主 任 秦昭曼

副主任 徐若珊 张 玮 黄海英

成 员 (按姓氏笔画排序)

于清妍 王 宇 王 凯 叶 琦 龙 云 刘世伟
孙俊燕 张宝珠 李 钢 李小禹 李 静 沈 莹
杨 爽 苏明煜 杜婷婷 陈 旭 陈晓鹏 胡 静
耿庆云 秦子淇

主办单位 中国核学会

承办单位 中国核工业建设集团公司

协办单位 中国核工业集团公司

国家电力投资集团公司

国家核电技术公司

中国广核集团有限公司

清华大学

中国工程物理研究院

中国科学院

中国华能集团公司

中国大唐集团公司

技术支持单位 各专业分会及省级核学会、哈尔滨工业大学(威海校区)

专 业 分 会 铀矿地质分会、铀矿冶分会、核能动力分会、核材料分会、同位素分离分会、核化学与放射化学分会、辐射防护分会、核化工分会、核物理分会、计算物理分会、粒子加速器分会、核电子学与核探测技术分会、脉冲功率技术及其应用分会、核聚变与等离子体分会、辐射物理分会、辐射研究与应用分会、同位素分会、核农学分会、核医学分会、核技术工业应用分会、核情报分会、核技术经济与管理分会、核测试与分析分会、核安全分会、核工程力学分会、铜系物理与化学分会

省级核学会 北京市核学会、湖南省核学会、江西省核学会、广东省核学会、四川省核学会、浙江省核学会、湖北省核学会、福建省核学会、黑龙江省核学会、陕西省核学会、辽宁省核学会、甘肃省核学会、山西省核学会、吉林省核学会、新疆自治区核学会、安徽省核学会、河南省核学会、江苏省核学会、上海市核学会、天津市核学会、贵州省核学会、山东省核学会

中国核科学技术进展报告

(第五卷)

总编委会

主任 李冠兴

副主任 叶奇蓁 邱爱慈 陈念念 赵志祥 程建平

委员 (按姓氏笔画排序)

王贻芳	卢文跃	叶国安	司胜义	田佳树
华跃进	张永学	张志俭	张志忠	张金带
李建刚	杨华庭	陈炳德	陈森玉	罗志福
罗顺忠	姜宏	赵红卫	赵振堂	唐传祥
柴国旱	彭先觉	曾毅君	樊明武	潘传红
潘自强				

编委会办公室

主任 于鉴夫 潘启龙

副主任 王志 李涛 秦昭曼 谭俊

成员 (按姓氏笔画排序)

王丹	王朋	王笑	左浚茹	付凯
付真	李新邦	刘岩	孙凤春	宋翔宇
朱彦彦	肖萍	张关铭	张书玉	张宝珠
赵志军	赵明	胡晓彤	秦子淇	徐若珊
韩霞	蒋焱兰			

同位素分离分卷

编委会

主 任 陈念念

副主任 徐燕生

委 员 (按姓氏笔画排序)

王黎明 张志忠 吴建军 周明胜 曾 实

前言

《中国核科学技术进展报告(第五卷)》是中国核学会 2017 学术双年会优秀论文结集。

2015 年以来,中国核科学技术领域亮点频出,喜讯不断:中国三代压水堆核电“华龙一号”全球首堆示范工程穹顶吊装圆满完成;全球首条高温气冷堆燃料元件生产线投料生产;北京正负电子对撞机重大改造工程(BEPCII)建成;大亚湾实验测得最精确的反应堆中微子能谱;国际热核聚变实验堆超热负荷第一壁原型件率先通过国际权威机构认证;国际首座微堆低浓化成功实施;用于激光核物理研究的 OPCPA 超高峰值功率激光系统处于国际同类装置领先水平;玲龙一号(ACP100)模块式小型堆全球首个通过 IAEA 安全审查;中国先进大型铀纯化转化生产线建成投产;自主化核级数字化仪控系统平台“和睦系统”研制成功与规模化应用……

以上所取得的成绩首先得益于中国共产党的坚强领导。习近平总书记 2015 年对核工业创建六十周年重要批示指出,“要坚持安全发展、创新发展、坚持和平利用核能,全面提升核工业的核心竞争力,续写我国核工业新的辉煌篇章。”总书记的重要批示确立了核工业发展新的指导思想,开启了核工业发展的新时代。其次,得益于成千上万中国核科技工作者顽强拼搏、锐意进取、不畏挫折、无私忘我的工作精神,正是广大核科技工作者勇于登攀、勇于创新,才攻克了一个又一个科技难关,不断推动中国核科技事业蓬勃发展,推动核行业向前进步。

中国核学会 2017 学术双年会于 2017 年 10 月 16—18 日在山东省威海市召开,由中国核工业建设集团公司承办。会议主题为“安全、绿色、和谐、发展”。学术年会报告分为大会报告、分会场口头报告和张贴报告;同期举办核医学科普讲座、“高温气冷堆与四代核能”高端论坛、青年论坛、妇女论坛等多层次的专题论坛。年会发布了中国核学会“2015—2017 年度中国十大核科技进展”和《宣传绿色核能 建设美丽中国——科普行动宣言》;进行了优秀论文及团队贡献奖颁奖活动。来自核能动力、铀矿地质、核材料、核安全等 20 多个分会的 84 篇论文获得中国核学会 2017 年学术年会优秀论文奖。核工程类专业工程教育认证、核专利信息服务两个团队获得团队贡献奖。

大会共征集论文 1 400 篇,经过专家审稿,评选出 701 篇较高水平论文收录进《中国核科学技术进展报告(第五卷)》公开出版发行。《中国核科学技术进展报告(第五卷)》分

为 10 册,并按 26 个二级学科设立分卷。

《中国核科学技术进展报告(第五卷)》顺利结集、出版与发行,首先感谢中国核学会全体分支机构和 22 个省级(地方)核学会的鼎力相助;其次感谢总编委会和 26 个(二级学科)分卷编委会全体同仁的严谨作风和治学态度;再次感谢中国核学会秘书处和出版社工作人员,在文字编辑和校对过程中做出的具体贡献。

《中国核科学技术进展报告(第五卷)》编委会
2018 年 3 月 10 日



同位素分离

Separation Isotope

目 录

热对流对专用设备影响研究	赵 君 (1)
电机定子装配件自动化发黑装置的研制	姚立新 (6)
大功率中频电源并联的研究	苏智欣 (12)
玻璃纤维复合材料环向力学性能检测技术	胡玉霞, 贾力伟, 李武胜, 等 (20)
芳纶纤维蠕变性能测试与分析	王文才, 李 楠, 杨福江, 等 (25)
过盈连接压装法压入力分析	李 楠, 王文才, 杨福江, 等 (30)
俄方离心铀浓缩测频系统国产化研制与实施	陈 涛, 李乡伟, 张生德, 等 (37)
基于细观力学的单向纤维增强复合材料性能预测	李武胜, 张金栋, 陈 明, 等 (43)
高速转动机械保护套壁厚的数值分析	陈雪凯, 李俊岩, 王 波 (48)
基于 LabVIEW 的长筒类零件综合测量系统设计	王 斌, 孙 睿 (53)
提高稳定同位素生产效率的技术研究	耿冰霜 (61)
离心铀浓缩级联系统仿真培训平台设计	陈 涛, 于金光, 李乡伟, 等 (66)
离心级联区段粉末堵塞判断及处理	高 磊, 陈 平, 于金光, 等 (71)
柔性连接用 U 型波纹管力学性能研究	舒朝霞, 吴 雷, 王海荣, 等 (75)
关于旋转圆盘应力强度准则 $P_L \leq 1.5S_m$ 的讨论	杨子龙, 杨福江, 吴 雷 (82)
不同形式离心级联的静态稳定性研究	李维杰, 闫 昊, 曾庆承, 等 (88)
专用薄壁异形管同轴度测量方法研究	刘 红, 张云江, 姚江伟, 等 (92)
一种专用薄壁异形管壁厚测量方法研究	刘 红, 张云江, 姚江伟, 等 (97)
Zn 同位素分离工质转化实验研究	李 强, 牟 宏, 谢全新 (102)
级联系统遭地震破坏后六氟化铀泄漏计算	党仁亮, 陈 博, 于金光 (111)
关于贫化铀再利用的经济性分析	甘建新, 李江红, 李生利 (116)

富集硼同位素的数学模型及现有装置经济技术指标分析	李建平 (121)
气流激励下旋转机械转子—支承系统的瞬态响应研究	吴庭苇, 苏深坚, 吴 雷 (127)
1LD12 模锻件残余应力状态的研究	樊 蕾, 程绍杨 (137)
静压膨胀芯轴在 1LD08 精加工上的应用	樊 蕾, 程绍杨 (143)
双产品生产技术研究	李 钢 (148)
方案转换过程控制与优化	邹 奉 (155)
离心级联漏流影响分析	饶 毅 (163)
绝压传感器在线检定/校准装置的设计	胡 琳 (170)
专用零件尺寸测量的定位旋转装置的研制	王晓然 (177)
一种基于 28335 的中频感应加热电源研制	王志为, 高 恒, 张 苒 (183)
基于网络通讯技术的专用供电切换系统研制	张 晖 (188)
7 系高强铝合金工件锈蚀分析	韩 钢, 孙继贤, 安静宇 (194)
基于有限元分析的材料蠕变性能指标确立方法研究	高剑波, 吴 雷, 杨福江, 等 (199)
基于 DSP 的旋转机械监测装置的研制	马常松, 戴思丹, 王 麟, 等 (205)
采用巡检方式的旋转机械转速及振动监测系统研制	王 麟, 戴思丹, 马常松, 等 (211)
预成型转子动平衡方法研究	张 悦, 李 赫, 王海荣, 等 (216)
专用设备在低转速运行下的故障识别定位方法	刘 菲 (222)
专用设备框架结构模态分析研究	韩 轩, 易建华, 左建立 (228)
一种降低脆性材料装配应力的设计方法	贾春奇, 梁长记, 王文才, 等 (234)
定量磁化的永磁轴承有限元分析	周亭俊, 贾春奇, 梁长记 (238)
电子束熔炼用水冷铜坩埚水道数值模拟	刘 欢, 张 帆, 罗立平 (241)
专项试验管道物料监控系统研制	刘 彬, 戴思丹, 孙 睿 (249)
不平衡量与振幅相关性研究机判定标准优化	姚 雷 (256)
纤维线密度“管纱称重”配对方法研究	邢德强 (262)

基于 CAN 总线和 OPC 技术的数据采集监控系统设计.....

..... 李 蕃, 戴思丹, 马常松, 等 (269)

FMEA 在铀浓缩企业自动化控制系统中的应用..... 林安吉 (273)

一种基于能量分析方法的磁滞电动机过激参数计算研究..... 王伟强 (280)

专用电源监控与显示模块的研制..... 傅 隽 (286)

热泳力对受限空间内放射性气溶胶粒子沉积的影响研究..... 彭贤勋 (293)

离心分离铀浓缩工厂产品丰度自动化控制研究..... 付 强, 赵鲁宝, 净小宁 (298)

机电试验用三腔分流体内腔结构设计..... 白云深 (304)

橡胶垫压缩量对真空设备密封性能的影响研究..... 岳 超, 赫梓宇, 赵伟利 (310)

真空设备水蒸气渗透速率研究..... 赫梓宇, 岳 超, 宋建蒙 (314)

去除放射性沉积物清洗剂的研究..... 冯 申, 崔 萌, 张淑霞 (319)

旋转圆筒内部流场机理初步理论研究..... 胡玲玲, 曾 实, 王黎明 (325)

旋转机械冲击吸能装置优化研究..... 李 震, 胡士华, 刘方磊, 等 (331)

高速旋转机械下支承系统更换技术研究..... 刘方磊, 谢 庆, 胡士华 (337)

分流比变化对刚性级联物理性能影响研究..... 陶丽茹, 李春兰, 王建军 (342)

高速旋转机械偏摆量测试技术研究..... 胡士华, 谢 庆, 刘方磊 (347)

旋转法测量复合材料的力学参数..... 王 迪, 王文才, 杨福江 (352)

一种导磁环磁拉力检测装置设计..... 康 慧, 齐铁城 (358)

1LD37 碎裂影响因素及装配工艺优化研究..... 路文平 (365)

液化均质气态工艺探讨..... 王振楠, 刘振林, 罗仁东 (372)

预测-更正同伦算法应用于多组分分离级联计算.....

..... 曾 实, 张宇楠, 姜东君 (377)

热对流对专用设备影响研究

赵 君

(核工业理化工程研究院, 天津 300180)

摘要: 热对流是一种非常重要的热量传递方式, 直接影响着专用设备温度场、流场和性能。为研究其影响程度及变化情况, 采用边界元法计算了热对流有、无和强度不同情况下专用设备温度场变化情况, 采用脉动温度符合一定概率分布的方法计算脉动温度, 通过求解 N-S 方程和非线性化对流扩散方程计算性能变化情况。结果发现热对流可以改变专用设备侧壁温度分布曲线线型从而影响流场和专用设备性能, 可以通过控制对流传热强度优化专用设备性能。

关键词: 热对流; 专用设备; 温度场; 流场; 性能

在专用设备当中, 由于各个部件的存在和作用, 使得上端至下端形成一定的温度分布, 这个温度分布直接影响内部流场, 从而影响着性能。在机器内部结构固定的条件下, 可通过调整温度场来改变和优化性能。在专用设备研制过程中, 通过试验或理论计算, 研究相关变量对温度的影响, 掌握专用设备温度分布的规律是提高专用设备效率的一个重要的课题, 对于设备材料导热性能偏低时来说更是如此。

热传导、热辐射、热对流是热量传递的三种基本方式^[1], 其中热对流指的是流体中温度不同的各部分之间发生相对位移时, 所引起热量传递过程, 是专用设备当中非常重要的一种热量传递方式。热对流同时伴随着热传导是一种复杂的热量传递方式, 以前没有对专用设备中热对流这种热量传递方式进行过专门的研究。那么热对流传热方式是否会对专用设备的温度分布造成大的影响? 如果在一定位置没有热对流传热方式或者热对流强度发生变化, 是否会影响专用设备性能? 能否通过控制调整热对流传热强度来改善专用设备性能? 这些都是需要研究和解决的问题。

本文通过对热对流有、无以及对流换热系数变化对专用设备流场、温度场和性能影响进行理论计算(采用边界元法计算专用设备温度场变化情况; 根据文献 [2], 由于气流速度较高, 雷诺数较大, 可能存在一定的湍流流动状态, 因此除了计算时均温度以外还需要研究温度随时间的变化量, 也就是脉动温度, 本文采用脉动温度符合一定概率分布的方法计算脉动温度; 通过求解 N-S 方程和非线性化对流扩散方程计算性能变化情况), 研究了热对流传热方式对专用设备的影响, 为通过调整、控制热对流传热方式来优化专用设备功耗和性能提供了依据和方向。

1 计算方法

专用设备处于一个非常复杂的温度场当中。要计算出这样一个复杂的温度场就需要简化模型进行计算, 在进行温度场计算时需要计算热传导、热对流、热辐射所传导的热量, 因此需要找出三种热量传递方式的计算方法。本文选择将热对流、热辐射两种热量传递方式作为条件, 采用边界元方法求解热传导方程, 对侧壁温度分布进行计算, 研究热对流有、无以及对流换热系数变化时温度场变化情况。

1.1 边界元方法

边界元法是把线性偏微分方程的边值问题转化为等价的边界积分方程求解的方法^[3]。

作者简介: 赵君 (1982—), 女, 天津人, 工程师, 工学硕士, 现主要从事流体力学相关研究

边界元法的基础是建立边界积分方程，求解过程可以分为以下两步：

第一步是问题的边界化，即应用格林公式，通过基本解将求解域内的微分方程变换成边界上的积分方程，使求解问题的维数降低一维。

第二步是边界的离散化，可以采用有限元法的离散技巧。而且由于离散仅在边界上进行，误差只产生于边界，区域内的未知量可以由公式计算求出。

1.2 加权余量法

边界元法的第一步是根据微分方程的定解问题，推导相应的边界积分方程。在数学上，把一个区域上的积分转化为区域边界上的积分要用到格林公式。

加权余量法是用于求解微分方程近似解的一种重要方法。其基本思想是：用某一个基函数的线性组合也就是试探函数，作为微分方程的近似解；将这个试探函数代入原方程，产生一个误差函数，称为余量或残差；余量乘以权函数，列出积分下的消除余量的代数方程组，求得试探函数的待定系数，从而获得问题的近似解。

下面给出边界积分方程和边界条件。

1.3 控制方程及边界条件

采用边界元方法最为重要的一步是边界积分方程的建立，它的建立是以微分方程为基础的。专用设备微分热传导方程为

$$\nabla \cdot (k \nabla T) + q = 0 \quad (1)$$

边界条件：

$$\begin{aligned} T|_{\Gamma_1} &= T_{01} \\ k \frac{\partial T}{\partial n}|_{\Gamma_2} &= q_f + q_{eout} + q_{einn} + q_h = \bar{q} \end{aligned} \quad (2)$$

其中：

$\nabla = \frac{\partial}{\partial r} \bar{e}_r + \frac{\partial}{\partial z} \bar{e}_z$ ； $\nabla \cdot = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} r + \frac{\partial}{\partial z}$ ； Ω 为求解域； k 为材料的热传导系数，根据单元的不同位置取相应值； T 为表面温度； T_{01} 为界面温度； n 为表面的外法线方向； q 为体热源强度； q_f 为表面面热源强度； q_{eout} 为外表面热辐射； q_{einn} 为内表面热辐射； q_h 为内部对流换热； Γ_1 为第一类边界条件的表面； Γ_2 为第二类边界条件的表面。

选择近似解为

$$T = \sum_{i=1}^n a_i \phi_i(x, y) \quad (3)$$

式中： a_i 为待定参数， ϕ_i 为可以满足基本边界条件的试探函数。

可以根据文献 [3] 推导得出，边界积分式为：

$$\begin{aligned} c_i T_i + \int_{\Omega} \frac{q}{k} T^* d\Omega + \int_{\tau} T T_n^* d\tau = \int_{\tau} T^* T_n d\tau \end{aligned} \quad (4)$$

$$c_i = \begin{cases} 1 & i \in \Omega \\ 1/2 & i \in \tau \end{cases}$$

其中： $T_n = \frac{\partial T}{\partial n}$ ， $T_n^* = \frac{\partial T^*}{\partial n}$ ；下标 i 表示点 i 处的值； τ 为计算域 Ω 的边界，如图 1 所示。

这样求解温度场问题就转化成求解边界积分式 (4) 的问题。

解方程过程中需要进行对流换热计算，因此下面首先给出对流换热系数计算方法。

1.4 对流换热系数的计算

认为侧壁处存在一气流薄层，在这一气流薄层处气流速度与壁面速度相同（即满足无滑移条

件)。在贴壁处，壁面与流动气体间的热量传递必须穿过这个薄层，而穿过不流动的流体层的热量传递方式只能是热传导。根据牛顿冷却公式和对流换热公式，可以推导出：

$$h = -\frac{k}{\Delta T} \frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0} \tag{5}$$

其中： h 为对流换热系数； ΔT 为换热面上流体与固体表面的平均温差； $\frac{\partial T}{\partial y} \Big|_{y=0}$ 为贴壁处壁面法线方向上的流体温度变化率。

1.5 脉动温度的计算

湍流流动是一种不规则流动，湍流当中物理量可以分解为时均量和脉动量两个部分（温度就可以分解为时均温度和脉动温度），属于随机过程。随机变量最基本的可预测性是它的概率和概率密度。

假设温度时间序列中出现温度值为 $T-T' < T < T+T'$ 的概率为 $\Delta P(T)$ ，则称 $\Delta P(T)/T'$ 为概率密度。假设专用设备各点脉动温度服从高斯分布即：

$$P(T) = \Delta P(T)/T' = \frac{1}{(2\pi\sigma^2)^{1/2}} \exp\left(-\frac{T^2}{2\sigma^2}\right) \tag{6}$$

其中： σ 表示概率密度函数的集中程度； T 为当地温度平均值或期望值， T' 为脉动温度。

因此脉动温度 $T' = \Delta P(T)/P(T)$ 。

2 计算结果

2.1 热对流对温度场影响计算结果

图 1、图 2 所示为热对流有、无对温度场影响计算结果。计算无热对流情况时假设内部气体对流换热系数为 0，也就是说不存在热对流热量传递；计算存在热对流热量传递方式时，依据如前 1.4 节所述方法计算对流换热系数。图 1 为采用上述计算方法计算所得热对流有、无侧壁温度分布变化情况。图 2 所示为热对流有、无对脉动温度影响情况。

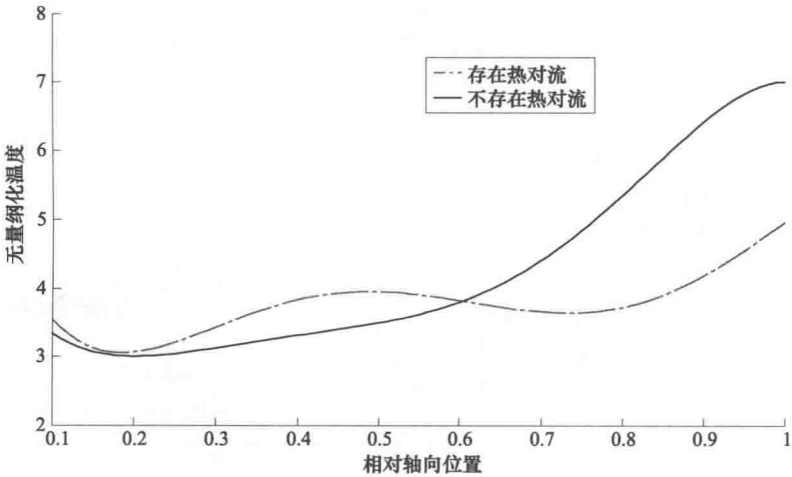


图 1 热对流有、无温度分布变化图

从计算结果可以看出，存在热对流情况下侧壁温度分布曲线发生大幅变化，出现凸起部分（在相对轴向位置 0.35 至 0.6 附近）且此部分温度脉动强烈。在存在热对流情况下，在相对轴向位置 0.35 至 0.6 附近都存在相对较大幅度的温度脉动，也就是说在这一区域附近温度波动强烈，可能会对稳定运行造成一定影响。

对流传热系数表示对流传热能力的大小，平均对流传热系数发生变化，也可能对其温度场产生影响，为此计算了平均对流换热系数变化对专用设备温度场影响。温度分布变化如图 3 所示，其中

横坐标为相对轴向位置，纵坐标为计算所得该位置无量纲化温度，图 4 所示为平均对流传热系数对脉动温度影响情况，横坐标为相对轴向位置，纵坐标为无量纲化当地脉动速度。

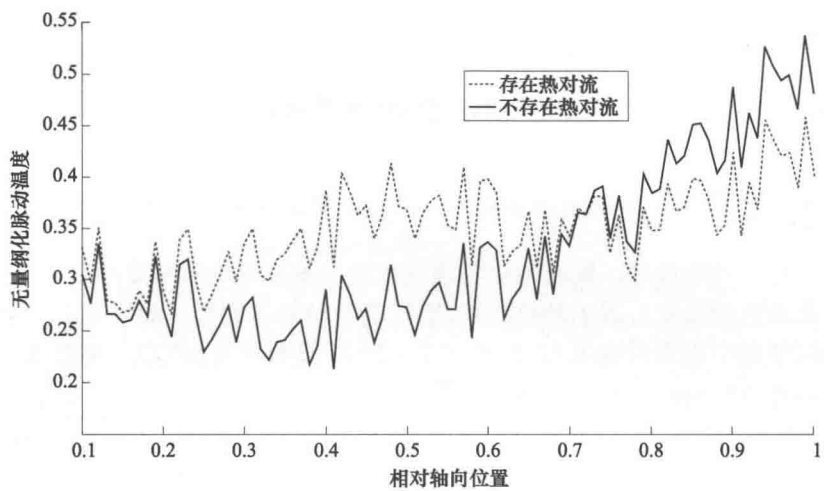


图 2 热对流有、无脉动温度分布变化图

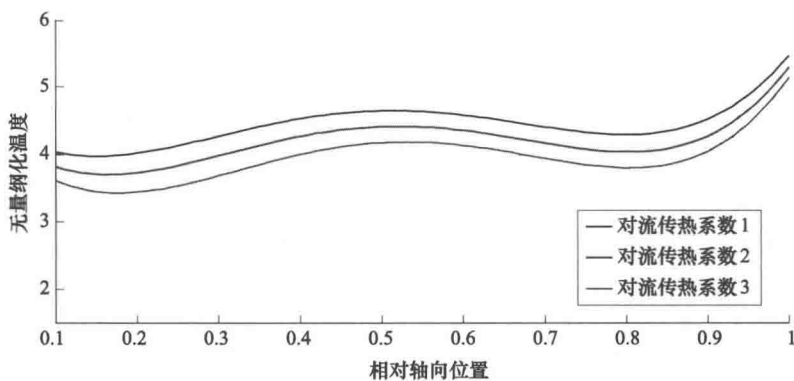


图 3 对流换热系数变化对专用设备温度分布影响图

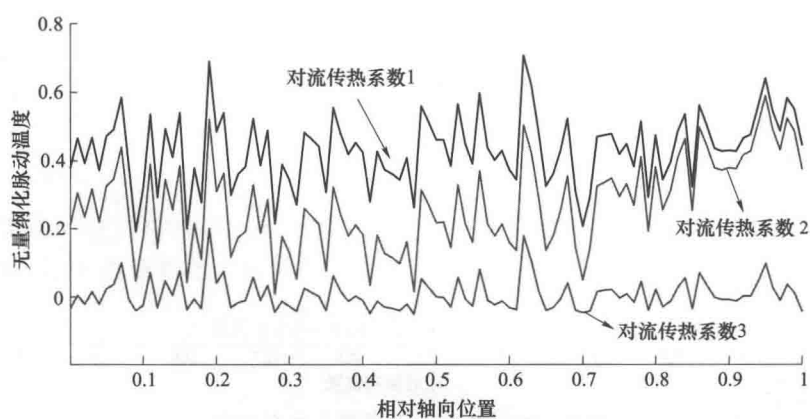


图 4 对流换热系数变化对专用设备脉动温度分布影响图

从计算结果上看，平均对流传热系数降低，侧壁温度有所升高，在所计算范围内，温度分布曲线形状略有平缓但变化幅度不大，脉动温度有所提高。也就是说对流传热能力降低会使得侧壁温度脉动增强，这可能影响性能和稳定运行。

2.2 热对流带来的温度变化对性能影响计算结果

为了研究热对流强度对专用设备性能的影响，代入不同平均对流传热系数情况下侧壁温度分布