

中核核反应堆热工水力技术重点实验室暨国家能源压水反应堆技术研发(实验)中心 2020 年度学术年会征文通知

各有关单位:

中核核反应堆热工水力技术重点实验室与国家能源压水反应堆技术研发(实验)中心决定于2020年10月在四川省成都市召开"中核核反应堆热工水力技术重点实验室暨国家能源压水反应堆技术研发(实验)中心2020年度学术年会"(以下简称"年会")。会议由中核核反应堆热工水力技术重点实验室、国家能源压水反应堆技术研发(实验)中心共同主办,《核动力工程》编辑部协办。

年会内容包括大会报告、分组报告交流或海报交流、专题研讨会 及实验室学术委员会会议等。现将征文有关事项通知如下:

一、 征文内容

征文方向如下(详细介绍见附件1):

1、反应堆热工水力安全分析、仿真及程序开发;

2、反应堆热工水力实验先进测试技术;

- 3、先进反应堆研发相关的热工水力问题;
- 4、反应堆严重事故和预防缓解技术;
- 5、流体动力学与传热学计算方法及其在核能领域的应用;
- 6、反应堆系统数字化与智能化技术;
- 7、反应堆热工水力理论与实验研究技术导则;
- 8、反应堆非能动安全技术与革新性流动传热技术;
- 9、核动力前沿技术与新概念反应堆;
- 10、其他反应堆热工水力相关问题。

二、 征文要求

1、论文应有较高学术水平,内容新颖、观点明确、数据真实可靠;

2、论文应是研究机构近期工作内容,且未在国内外公开会议和期 刊正式发表,已投期刊的论文请作者说明;

3、论文作者所在研究机构应负责对论文进行涉密审查,确保论文 不含有保密内容,适于在公开会议和期刊发表;

4、征文稿件应注明作者单位、联系人、通信地址、电话、传真、
电子信箱,并按《核动力工程》期刊格式要求排版(具体要求见附件
2);

5、所有投稿论文要求 Word 排版,通过会议征稿邮箱 rethadmin@126.com 同时提交 Word 格式和 PDF 格式电子文档。

6、征文截止日期: 2020 年 9 月 20 日。

三、 论文评优及出版

1、会议接受的所有投稿论文将收录至年会论文集;

2、会议将根据现场报告情况评选一定数量的优秀论文奖,并颁发

获奖证书;

3、会议结束后,将从年会论文集中选出20篇论文在《核动力工程》发表。

四、 会议联系方式

中核核反应堆热工水力技术重点实验室:

- 刘文兴 028-85900073/18190709698 lwx_npic@aliyun.com
- 王艳林 028-85900060/18030605540
- wangyl_npic@163.com

谢添舟 028-85908151/13880551181 xtz04

xtz04@163.com

- 附件1: 征文方向介绍
- 附件2: 征文稿件格式要求



主题词: 2020年 学术年会 征文通知

分送: 各相关高校及科研院所	
抄送:姚助理,科技处,重点实验室,	研发(实验)中心,归档
中核核反应堆热工水力技术重点实验室	2020年4月23日印发
	共印 30 份

附件1:年会征文方向介绍

中核核反应堆热工水力技术重点实验室暨国家能源压水反应堆技术研发(实验)中心 2020 年度学术年会的征文方向介绍如下:

1. 反应堆热工水力安全分析、仿真及程序开发

针对反应堆系统、堆芯与设备的安全分析与评估,反应堆仿真分 析技术,流固、核热耦合分析,以及反应堆系统分析程序、堆芯安全 分析程序等的开发、验证与应用。

2. 反应堆热工水力先进测试技术

针对反应堆热工水力先进测试技术与实验技术,包括先进测量仪 表技术,热工水力基础现象实验测试技术,单设备流动传热、热工安 全等实验模拟与测试技术,系统综合演示验证中的实验测试技术等。

3. 先进反应堆研发中的热工水力问题

针对先进反应堆研发中涉及的流动传热、系统综合特性等相关问题。包括先进堆芯与燃料组件热工水力理论与实验研究,各类高性能设备的设计、研发、实验研究。

4. 反应堆严重事故与预防缓解技术

针对反应堆严重事故相关的过程、机理和预防缓解技术等理论和 实验研究。

5. 流体动力学与传热学计算方法及其在核能领域的应用

针对单相与多相计算流体力学、计算传热学, 微尺度流动传热理 论分析, 单相与多相流动传热直接数值模拟分析, 分子动力学与热工 水力研究等相关研究。

6. 反应堆系统数字化与智能化技术

针对数字反应堆技术、数字实验技术、智能测控技术、故障诊断 与健康管理技术、人工智能技术及其在反应堆、实验测试中的应用。 7.反应堆热工水力理论与实验研究技术导则 针对反应堆热工水力理论和实验研究中涉及到的计算方法、测试 技术、实验技术、数据库、CFD 复杂问题处理等相关的最佳导则、规 范和标准等研究。

8. 反应堆非能动安全技术与革新性流动传热技术

针对先进反应堆安全技术及其应用研究,包括自然循环与非能动 安全技术,热管导热、热电转化等技术在核反应堆安全中的应用等; 针对革新性流动传热、能量输运和转化等技术的概念、理论、技术及 其应用研究。

9. 核动力前沿技术与新概念反应堆

针对超越传统技术的前沿性、颠覆性核动力技术与新概念反应堆 技术及其应用研究,包括快堆、行波堆、超临界水冷堆,等等。

10.其他反应堆热工水力相关问题

针对上述方向不能涵盖的反应堆热工水力相关研究。

附件 2: 年会征文格式要求(后附稿件模板)

1 篇 幅

重要文章原则上不超过 6000 字(版面:页边距上、下、左、右分别为: 3.5、2.7、2.3、2.3 cm; 用 5 号字排双栏后,控制在5个页面以内)。

2 缩 写

文中出现的缩写字符,在第一次出现时必须在括号中给出其中文含义。

实例

瞬态超功率(TOP)事故和无保护失流事故(ULOF)都会引起快堆内严重事故的发生,由于快堆设计 多采用深度负反应性反馈的堆芯设计方案,并有易于建立自然对流的堆芯结构,使得这两种类型事故发生 时,结构材料和燃料熔化的可能性很小。本文的严重事故分析选取了危险性最高、发展速度最快的满功率 状态下燃料组件入口处瞬间全堵(TIB)事故作为分析对象。

3 公 式

只给出关键步骤所涉及的公式,不必给出一般计算过程:公式请用公式编辑器或数学编辑器编辑,请 勿使用图片格式。

公式中第一次出现的所有物理量务必说明其物理意义;如有具体数值计算,还应给出单位;请正确标 明物理量的正、斜体和矢量、张量等的黑体,在公式中应使用单字母表示物理量,如公式中的温度用 7 表 示,不得用 TEM。

由于版面需求,对于超过半栏目不可换行拆分的公式,请采用中间变量的方式进行处理。

实例(只给出公式,尤具体数值计算):	
瞬态三维对流扩散方程为:	
$\rho c_p \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial t} = \lambda \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial x^2} + \lambda \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 T(x, y, t)}{\partial y^2} + \lambda \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial y^2} + \lambda \partial^2$	
$\lambda \frac{\partial^2 T(x, y, z, t)}{\partial z^2} - \rho c_p u \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial x} - \rho c_p v \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial x} - \rho c_p w \frac{\partial T(x, y, z, t)}{\partial x} + S(x, y, z, t)$	(1)

式中, T为温度; ρ 为密度; c_n 为定压比热容; λ 为导热系数; u,v,w分别为 x, y, z方向的速度; S为源 项。

实例(给出公式,且涉及具体数值计算):

死管段内的压力、泄漏流量(假设恒定)和时间之间的关系如下:

$$Q_{\rm f} = -\frac{10^{3} V_{0} (P_{\rm f} - P_{0})}{C^{2} t} \ln \left[\frac{P_{\rm f} - P(t)}{P_{\rm f} - P_{0}} \right] = 100 \, (\rm kg/s)$$
(1)

式中,Q_f为泄漏流量,kg/s;t为时间,s;V₀为死管段体积,m³;P_f为泄漏点上游压力(即上充压力);MPa, Po为死管段内初始压力, MPa; P(t)为 t 时刻死管段内的压力, MPa; C 为压力在水中的传播速度, m/s。

4 插图与表格(中文和英文图/表题)

文章中的插图和表格主要用于辅助文字叙述中难以表达清楚的内容,如果用文字已经表述清楚,则不

需要图表;图、表内容不应重复。

所有插图与表格应有图(表)序与图(表)题,英文图(表)题必须与中文图(表)题对应;图表中的标注 必须用中文。

由于印刷的局限性,刊出后的插图均为灰度图片,由彩色图转换而成的插图,请作者确保能准确反映 需表达的全部信息(例如使用等高线代替彩色云图),画面清晰。



5 题 名(中文及英文)

题名应简明、具体、确切,能概括文章的要旨,符合编制题录、索引和检索的有关原则并有助于选择 关键词和分类号。中文题名一般不超过 20 个汉字,必要时可加副题名。题名中应避免使用非公知公用的 缩略语、字符、代号以及结构式和公式(中英文请对应)。

英文题名的首字母及各个实词的首字母大写。

头 例
倾斜条件下一体化反应堆模拟回路单相自然循环实验与数值研究
Experimental and Numerical Study on Natural Circulation of Integrted Reactor
under Inclination Conditions

6 署名作者及其工作单位(中文及英文)

GB 7713 规定署名作者为"只限于那些对于选定研究课题和制订研究方案、直接参加全部或主要部分研究工作并作出主要贡献、以及参加撰写论文并能对内容负责的人,按其贡献大小排列名次。"

工作单位包括单位全称(最多给出2级单位)、所在省市名(省会城市可略去省名)、邮政编码。不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注不同的阿拉伯数字序号,并在其工作单位名称之前加与作者姓名 序号相同的数字;若一作者属于多个与该文有关的单位,可将其一并列出。

宫厚军^{1,2},杨星团¹,黄彦平²,姜胜耀¹,刘志勇¹

1. 清华大学核能与新能源技术研究院,北京,100084
 2. 中国核动力研究设计院中核核反应堆热工水力技术重点实验室,成都,610041

Gong Houjun^{1,2}, Yang Xingtuan¹, Huang Yanping², Jiang Shengyao¹, Liu Zhiyong

1. Institute of Nuclear and New Energy Technology of Tsinghua University, Beijing, 100084, China; 2. CNNC Key Laboratory on Nuclear Reactor Thermal Hydraulics Technology, Chengdu, 610041, China

7 摘 要(中文及英文)

中文摘要篇幅 100~300 字,主要包括研究的目的、方法、结果和结论。要求英文摘要与中文摘要内 容对应。

摘要应具有独立性和自明性,不应出现图表、冗长的数学公式和非公知公用的符号、缩略语。应排除 本学科领域已成为常识性的内容;切忌把应在引言中出现的内容写入摘要;一般也不对论文内容作诠释和 评论,尤其是自我评论。

8 关键词(中文及英文)

每篇文章建议选用 3~7 个关键词。

实例

实例

关键词:一体化反应堆;倾斜;自然循环;热工水力

Key words: Integrated type reactor, Inclination, Natural circulation, Thermal hydraulics

9 引 言

开门见山,不绕圈子。避免大篇幅地讲述历史渊源和立题研究过程。

言简意赅,突出重点。尽量准确、清楚且简洁地指出所探讨问题的本质和范围。由于阅读过相应期刊 的读者已具备相关的专业基础知识,建议不要复述潜在读者早已明白的一般性知识。

尊重科学,实事求是。在论述论文的研究意义时,注意分寸,避免使用"很高的学术价值"、"填补了 国内外空白"、"首次提出"、"重大发现"等用语。同时也注意不用客套话,如"水平有限"、"恳求指教"、"抛砖引玉"等(结论)。 引言的内容不应与摘要雷同,也不应是摘要的注释;引言一般应与结论相呼应,在引言中提出问题, 在结论中回答,但也注意不要与结论雷同;引言叙述前人工作的欠缺以强调自己研究的创新。

10 结 果

不简单地将实验记录数据或观察事实堆积到论文中,尤其是要突出有科学意义和具有代表性的数据。 可根据需要选用不同类型的数据来表达结果,对于特别重要的结果应采用"原始数据"(实际观察数据)的 形式来表述;对于数目很多的一般性数据的表达则可采用"总结数据"(如平均值和正负标准偏差)或"转 换数据"(如百分数)的形式。

切忌在文字中简单地重复图表中的数据,而忽略叙述其趋势、意义以及相关推论;同时也要避免采用 图片和表格重复表述同样的数据。

11 使用斜体的物理量:

有量纲的物理量,如长度1、时间t、力F、压力p、摩尔质量 M 等。 物理量符号作为上角或下角:如 cp。 代数运算中的量,如 x+y=a。 几何运算中的量,如 sina +cosb。 插图坐标变量,如 x、y、z,坐标轴代号 X、Y、Z、O 等。 代表不定的物理量和数目的字母,如 a₁+a₂+...+a_n的 n 等。 表示函数的符号,如 f。

12 使用正体的物理量:

计量单位符号:如 cm、kg、K、min、s 绝大多数数学符号,如 sin、tan、max、exp 等 化学元素符号:如 H、O、Tc 粒子符号。如电子 e、质子 p、中子 n 射线符号,如 X 射线、α射线、β射线、γ射线 酸碱度符号 Ph 型号、代号、编号、牌号:如 KPX-L、DCS-600 数字信息代码、计算机程序语句:Go、If 外文人名、地名、书刊名、机构名、团体名及其缩写。

13 作者简介

实例

请附第1位作者和通讯作者(如有通讯作者)的作者简介。

张 三(1968—),男,研究员,博士生导师,现从事反应堆热工水力与安全实验与理论研究工作, Email: zhangshan@126.com。

14 参考文献

请务必按照一下要求著录参考文献:

文献	田井で図り回			
类型	↓			
	建议著录项:主要责任者.题名(其他题名信息)[M/文献载体标识].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出			
普通	版年:引文页码.[引用日期].获取和访问路径(联机文献必备). DOI.			
图书	必须著录项: 主要责任者. 题名[M]. 出版地:出版者,出版年:引文页码.			
	[1] 余敏. 出版集团研究[M]. 北京: 中国书籍出版社, 2001:179.			

	[2] 昂温 G, 昂温 PS. 外国出版史[M]. 陈生铮, 译. 第二版. 北京: 中国书籍出版社, 1988:2-4.				
	[3] 赵耀东. 新时代的工业工程帅[M/OL]. 台北:天下文化出版社, 1998. [1998-09-26]. http://www.ie.nthu.edu.tw/info/ie.newie.htm(Big5)				
	[4] PIGGOT T M. The cataloguer's way through AACR2: from document receipt to docume- nt retrieval[M].				
	London: The Library Association, 1990: 4-10.				
	建议著录项 :主要责任者.题名[J/文献载体标识].连续出版物题名:其他题名信息,年,卷(期):页码[引用日期].				
	获取和功问路佺.DOI.				
	必须者求坝 :土安页住有. 越名[J]. 连续出版物越名,平,奄(期):贝妈. 注, 茎方的期刊日方类武日方期。可以小标一样。但类\期至小方一样。				
期刊	[1] 李晓东,张庆红,叶瑾琳,气候学研究的若干理论问题[J],北京大学学报:自然科学版,1999.35(1):101-106.				
,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,	[2] 刘武,郑良,姜础,等.元谋古猿牙齿测量数据的统计分析及其在分类研究上的意义[J].科学通报,				
	1999,44(23):2481.				
	$[5]$ $\not\in$ $\not\subseteq$ $\not\subseteq$ $\not\subseteq$ $\not\subseteq$ $\not\subseteq$ $\not\subseteq$ $\not\subseteq$ $\not\subseteq$				
	[4] KANAMORI H. Shaking without quaking [J]. Science, 1998, 279(5359): 2063-2064.				
	建议著录项:主要责任者.题名[文献类型标识/文献载体标识].出版地:出版者,出版年.[引用日期].获取和访				
	问路径(联机文献必备). DOI.				
	■ 必须著录项:主要责任者.题名[文献类型标识].出版地:出版者,出版年.				
论文集。	[1] 中国力学学会. 第 3 届全国实验流体力学学术会议论文集[C]. 大津: 大津大学出版社, 1990. [2] ROSENTHALL F. M. Proceedings of the Fifth Canadian Mathematical Congress University of Montreal				
会议录	1961[C]. Toronto: University of Toronto Press, 1963.				
444	[3] GANZHA V G. Computer algebra in scientific computing: CASC 2000: proceedings of the Third Workshop on				
	[4] 沈力, 某反应堆堆芯 CFD 计算[C]//中国力学学会, 第3 届全国实验流体力学学术会议论文, 天津; 天津大				
	学出版社,1990.				
	[5] 中国职工教育研究会. 职工教育研究论文集[G]. 北京:人民教育出版社,1985.				
	必须著录项:主要责任者.报告名:报告编号或报告分类[R].机构所在地:机构名,出版年.				
	[1] World Health Organization. Factors regulating the immune response: report of WHO Scientific Group[R]. Geneva: WHO 1970				
加古	[2] U.S. Danartmant of Transportation Eddard Highway Administration Cuidelines for headling events				
	[2] 0. 5. Department of transportation rederat righway Administration. Guidelines for bandling excavated				
	acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990				
	 [2] O. S. Department of Transportation redetal righway Administration. Outdefines for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者. 标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码[引用 				
	 [2] O. S. Department of Transportation rederat righway Administration. Outdefines for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者. 标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期]. 获取和访问路径. 				
	 [2] O. S. Department of Transportation redetal righway Administration. Outdefines for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码[引用 日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者. 标准名:标准号[S]. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码. 				
标准	 [2] O. S. Department of Transportation rederat righway Administration. Outdefines for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地: 出版者,出版年: 引文页码[引用 日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 出版地: 出版者,出版年: 引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京: 中国标准出版 				
标准	 [2] O. S. Department of Transportation redetal righway Administration. Outdefines for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码[引用 日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京: 中国标准出版 社,1986:2. [2] 国家标准号信息公类给现研究所世界名用和地区名软件现。CD/T 2650, 1096 [S].北京: 中国标准出版 社,1986:2. 				
标准	 [2] O. S. Department of Transportation redetal righway Administration. Outdefines for bandling exclavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用 日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版 社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1988:59-92. 				
标准	 [2] O. S. Department of Transportation redetal righway Administration. Outdefines for bandling exclavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地:出版者,出版年:引文页码[引用 日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版 社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日 				
标准	 [2] 0. 5. Department of Transportation redetal righway Administration. Outdefines for bandling exclavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号:GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码:GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社,1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 				
标准 学位 论文	 [2] O. S. Department of Transportation redetal righway Administration. Outdefines for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. 				
标准 学位 论文	 [2] O. S. Department of Transportation Federal Fighway Administration. Outdefines for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码[引用日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 出版地: 出版者, 出版年: 引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会. 中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京: 中国标准出版社, 1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京: 中国标准出版社, 1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址: 学校或机构名称, 出版年: 引用页码. [引用日期].获取和访问路径. DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址: 学校或机构名称, 出版年. [1] 张志祥. 间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院, 1998: 3-6. 				
标准 学位 论文	 [2] O. S. Department of Transportation Federal Highway Administration. Guidennes for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社,1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院,1998: 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California,1965. 建议著录项:专利申请表或所有者 专利题名:专利国知,专利号D/文献载体标识].本口期或公开口期可公开口期可以不可期可以用口。 				
标准 学位 论文	 [2] O. 3. Department of Hansportation Federal righway Administration. Outdefines for banding excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院, 1998: 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California ,1965. 建议著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P/文献载体标识].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. 				
标准 学位 论文	 [2] O. 3. Department of Transportation Federal Trignway Administration. Outdernies for banding excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S]. 其他责任者.版本项. 出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号:GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码:GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社,1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院,1998: 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California,1965. 建议著录项:专利申请者或所有者:专利题名:专利国别,专利号[P/文献载体标识].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:专利申请者或所有者:专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期 				
标准 学位 论文 专利	 [1] 5. 5. Department of Transportation Federal Tighway Administration. Outdennes for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院, 1998: 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California ,1965. 建议著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期 [1] 姜锡洲.一种温热外敷药制备方案:中国,88105607,3[P].1989-07-26. 				
标准 学位 论文 专利	 [2] 0. 5. Department of Transportation Federal righway Administration. Guiderines for bandling excervated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议署录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期]. 获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院, 1998: 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California, 1965. 建议著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期 [1] 姜锡洲.一种温热外敷药制备方案:中国,88105607, 3[P]. 1989-07-26. [2] 西安电子科技大学.光折变自适应光外差探测方法:中国,01128777.2[P/OL]. 2002-03 -06[2002-05-28]. 				
标准 学位 论文 专利	 [2] 0. 5. Department of Transportation Pederal Tighway Administration. Outdefines for bandling excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社,1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院,1998: 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California,1965. 建议著录项:专利申请者或所有者:专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:专利申请者或所有者:专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期 [1] 奏锡洲一种温热外敷药制备方案:中国,88105607,3[P] 1989-07-26. [2] 西安电子科技大学.光折变自适应光外差探测方法:中国,01128777.2[P/OL]. 2002-03 -06[2002-05-28]. http://211.152.9.47/sipoasp/z]js/hyjs-yx-new.asp? recid=01128777. 2& Lexin=0. 				
标准 学位 论文 专利	 [1] C. S. Department of Transportation Federal Fighway Administration. Outdernies for bandming exclavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号: GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码: GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径. DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院, 1998: 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California, 1965. 建议著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. [1] 赛每瓶一种温热外敷药制备方案:中国 88105607, 3[P]. 1989-07-26. [2] 西安电子科技大学.光析变自适应光外差探测方法:中国,01128777.2[P/OL]. 2002-03 -06[2002-05-28]. http://211.152.9.47/sipoasp/z]is/hyjs-yx-new.asp? recid=01128777. 2&leixin=0. 建议著录项: 年要责任者. 應名:其他题名信息[文献类型标识/文献载体标识].出版地:出版者,出版年:引示正典。(百番元单称表出版). 				
标准 学位 论文 专利 电子	 [1] 5. 5. Department of Transportation Federal Inginway Administration. Outdernies for bandling exclavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号:GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码:GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社, 1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院,1998: 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California,1965. 建议著录项:专利申请者或所有者:专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期 [1] 姜锡洲.一种温热外敷药制备方案:中国,88105607,3[P].1989-07-26. [2] 西安电子科技大学.光折变自适应光外差探测方法:中国,01128777.2[P/OL]. 2002-03 -06[2002-05-28]. http://211.152.9.47/sipoasp/2]s/hyjs-yx-new.asp? recid=01128777.28[P/OL]. 2002-03 -06[2002-05-28]. http://211.152.9.47/sipoasp/2]s/hyjs-yx-new.asp? recid=01128777.28[P/OL]. 2002-03 -06[2002-05-28]. 加方新或修改日期)[引用日期].获取和访问路径.DOI. 				
标准 学论文 利 子源	 [2] 0. 5. Department of Transportation redectal ringinway Administration. Outcenties for ordining excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号:GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码:GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社,1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张政和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张东祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院,1998; 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California,1965. 建议著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. [1] 赛告和市诸者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. [2] 西安电子科技大学.光折变自适应光外差探测方法:中国,01128777.2[P/OL].2002-03-06[2002-05-28]. http://211.152.9.47/sipoasp/z]js/hyjs-yx-new.asp? recid=01128777.28[P/OL]. 2037名录项:主要责任者.题名:其他题名信息[文献类型标识]文献载体标识].出版地:出版者,出版年:引文页码.(更新或修改日期)[引用日期].获取和访问路径. [1] 燕玉 出版》,住 息 化 迈 入 地 车 道 [ERQ1]. (2001; 2219.) [2002-04.15] http://21.152.9.47/1518 				
标准 学论文 专利 子源	 [2] O. S. Department of Transportation redectal ringinway Administration. Outcenties for ordining excavated acid-producing materials, PB 91-194001[R]. Springfield: U. S. Department of Commerce National Information Service, 1990. 建议著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:主要责任者.标准名:标准号[S].出版地:出版者,出版年:引文页码. [1] 全国文献工作标准化技术委员会第七分委员会.中国标准书号:GB/T 5795-1986 [S].北京:中国标准出版社,1986:2. [2] 国家标准局信息分类编码研究所.世界各国和地区名称代码:GB/T 2659-1986 [S].北京:中国标准出版社,1988:59-92. 建议著录项:主要责任者.论文名称[D/文献载体标识].地址:学校或机构名称,出版年:引用页码.[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.论文名称[D].地址:学校或机构名称,出版年. [1] 张志祥.间断动力系统的随机扰动及其在守恒律方程中的应用[D].北京:北京大学数学学院,1998; 3-6. [2] CALMS R B. Infrared spectroscopic studies on solid oxygen [D]. Berkeley: Univ. of California,1965. 建议著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. 必须著录项:专利申请者或所有者.专利题名:专利国别,专利号[P].公告日期或公开日期[引用日期].获取和访问路径. [2] 西安电子科技大学.光折变自适应光外差探测方法:中国,01128777.2[P/OL].2002-03 -06[2002-05-28]. http://211.152.9.47/sipoasp/2]s/hyjs-yx-new.asp? recid=01128777.2&Lixin=0. 建议著录项:主要责任者.题名:其他题名信息[文献类型标识]文献载体标识].出版地:出版者,出版年:引文页码.(更新或修改日期)[引用日期].获取和访问路径. [1] 燕击、题名: 基。题名: 其他题名信息[文献类型标识]文献载体标识].出版地:出版者,出版年:引文页码. [2] 西安电子科技大学.光析变自适应光外差探测方法:中国,01128777.2[P/OL].2002-03 -06[2002-05-28]. http://211.152.9.47/sipoasp/2]s/hyjs-yx-new.asp? recid=01128777.2&Lixin=0. 建议著录项:主要责任者.题名:其他题名信息[文献类型标识]文献载体标识].出版地:出版者,出版年:引文页码.(更新或修改日期)[引用日期].获取和访问路径.DOI. 必须著录项:主要责任者.题名:本表述类型标识](更新或修改日期)[引用日期].获取和访问路径. [1] 董玉.出版处 信 恩 化 迈入快 车 道 [EB/OL].(2001-12-19) [2002-04-15]. http:///www.creader.com/news/20011219/20011290019.html. 				

	据库 DB、计算机程序 CP、电子公告 EB、档案 A、舆图 CM、数据集 DS)以外的文献。
5	建议著录项:主要责任者.题名:其他题名信息[Z].其他责任者.版本项.出版地:出版者,出版年:引文页码.
4	必须著录项: 主要责任者. 题名[Z]. 出版年.
	[1] Autodesk 公司. CAD2014 用户手册[Z]. 2015. [2] 美国洛斯阿拉莫斯国家实验室. MCNP5 入门教程[Z]. Icrychen 译. 2008.

15 稿件模板



引言部分: ①开门见山,不绕圈子。避免大篇幅地讲述历史渊源和立题研究过程。②言简意赅,突出重点。尽量准确、清楚且简洁地指出所探讨 问题的本质和范围。由于阅读过相应期刊的读者已具备相关的专业基础知识,建议不要复述潜在读者早已明白的一般性知识。③尊重科学,实事 求是。在论述论文的研究意义时,注意分寸,避免使用"很高的学术价值"、"填补了国内外空白"、"首次提出"、"重大发现"等用语。同 时也注意不用客套话,如"水平有限"、"恳求指教"、"抛砖引玉"等(结论)。④引言的内容不应与摘要雷同,也不应是摘要的注释;引言 一般应与结论相呼应,在引言中提出问题,在结论中回答,但也注意不要与结论雷同;引言叙述前人工作的欠缺以强调自己研究的创新。结尾须 引出本文主要研究内容。

强作用会受到临界热流密度(CHF)的限制。一旦 壁面的热流密度超过了 CHF 值,近壁面传热将会 急剧恶化,导致壁面温度上升,给换热系统带来 危险,因此要控制系统热流密度值小于 CHF。 近在来随着两相计算流体力学(CED)技术

<mark>收稿/修回日期、作者简介</mark>六号,宋体+ Times New Romar 名称和编号。<mark>作者简介</mark>包括:作者名称、出生年、性别、学位或职称、主要研究方向, E-mail。若有<mark>通讯作者</mark>

需给出通讯作者姓名和 E-mail。

两相分布。Lo 和 Osman^[3]研究了格架棒束通道内 的两相分布情况。在过冷沸腾模拟的基础上,一 些学者开始尝试对 CHF 进行预测,如 Vyskocil 和 Macek^[4]以空泡份额 0.8 为判据,对均匀加热圆管 内的 CHF 进行了预测,在高压高流速范围内预测 精度良好。Rui Zhang 等^[5]采用扩展后的壁面沸腾 模型,对极高热流密度和高流量圆管内的 CHF 进 行了预测,大部分误差都在15%以内。李权等[6] 基于沸腾曲线的方法,对圆管高压高流量工况的 CHF 进行了预测。赵大卫等^[7]基于微液层蒸干的临 界触发机理,构建非均匀加热下的偏离泡核沸腾 (DNB) 型临界预测的数值模型。【前人工作的 欠缺】但目前采用两相 CFD 模拟的研究大多针对 均匀加热工况,对非均匀加热工况 CHF 的预测, 目前研究还较少,而非均匀加热在实际的换热系 统(如燃料组件)内广泛存在。

【本文的创新】因此本文基于欧拉两流体模型和壁面沸腾模型,对竖直非均匀加热圆管内的 CHF 进行了研究。结合壁面空泡份额及壁面温度 的峰值,提出非均匀加热圆管 CHF 预测方法,采 用这种方法对多个工况的 CHF 进行了数值预测。 本研究建立的预测方法可为其他换热系统内 CHF 的预测提供参考。

1 数值模型

对 CHF 的预测建立在过冷沸腾两相流动模 拟的基础上,本研究采用欧拉两流体模型及壁面 沸腾模型对两相流动进行描述。以下模型都在 STAR-CCM+10.04 软件中耦合。

1.1 两流体模型

两流体模型对气相和液相分别建立守恒方 程,提供整体的框架。通过相间质量、动量和能 量的传递项来表征两相间的相互作用。

其中, k 相的质量守恒方程为:

k相的动量守恒方程: $\frac{\partial}{\partial t}(\alpha_k \rho_k \underline{u}_k) + \nabla(\alpha_k \rho_k \underline{u}_k u_k) - \nabla \left[\alpha_k \left(\tau_k + \tau_k^t\right)\right]$

公式用公式编辑器 Mathtype 6.0 编辑。公式中不能出现一个参数用多字Ⅰ 标,除特征数外;也不能出现一个字母表示多个参数,全文统一;公式中 简洁,只需保留重要结果即可。

 $\nabla \left[\alpha_k \left[\lambda_k \nabla T_k + \frac{\mu_t}{\sigma_h} \nabla h_k \right] \right] = Q \qquad (3)$

式中, k, i=l, g 分别为液相或者气相;
$$\alpha_k \, \cdot \, \rho_k \, \cdot \, \boldsymbol{u}_k$$
、

 τ_k 、 τ_k^t 、 h_k 、 λ_k 、 T_k 分别为 k 相的空泡份额、 密度、速度、层流切应力、湍流切应力、焓值、 热导率和温度; t 为时间; P 为系统压力; g 为重 力加速度; \mathbf{n}_{ik} 和 \mathbf{n}_{k_i} 分别为从 i 相到 k 相和从 k 相到 i 相的质量传递; M_k 为界面力的总和,在研 究中主要包括曳力和湍流耗散力; μ_t 为湍流粘 度; σ_h 为湍流普朗特数; Q 为界面热传递及其他 热源的总和。以上各物理量都采用标准国际单位 制,其详细的表达式见文献[3]。

1.2 壁面沸腾模型

壁面沸腾模型表征壁面附近的传热,用于描述气泡的产生和脱离。为了模拟高空泡份额的工况,同时对 CHF 进行模拟,本研究采用拓展后的壁面沸腾模型。该模型将壁面热流密度分为4部分:

$$q_{\text{wall}} = \left(q_1 + q_q + q_e\right)\left(1 - K_{\text{dry}}\right) + K_{\text{dry}}q_g \quad (4)$$

式中, q_{wall} 为壁面热流密度; $q_1 、 q_q 、 q_e 、 q_g 分$ 别为液体单相对流传热、激冷对流传热、汽化潜热及气体单相对流传热部分的热流密度,各部分 $的详细表达式见文献[6]; <math>K_{dry}$ 为气体单相对流传 热所占的比重,即汽相直接与壁面接触所占的比 重。相比于传统的壁面沸腾模型,该模型新增了 q_g 项,表示高空泡份额对近壁面传热的影响。

 K_{dry} 的计算关系式如下:

$$K_{\rm dry} = \begin{cases} 0 & \alpha_{\delta} < \alpha_{\rm dry} \\ \beta^2 (3 - 2\beta) & \alpha_{\delta} \ge \alpha_{\rm dry} \end{cases}$$
(5)
$$\beta = \frac{\alpha_{\delta} - \alpha_{\rm dry}}{1 - \alpha_{\rm dry}}$$

收稿日期:2018-05-05,修回日期:2019-01-20

基金项目:国家自然科学基金项目(6589454)

作者简介:李 权(1990一),男,博士研究生,现主要从事燃料组件设计及性能分析方面的研究, E-mail: 5890356@qq.com



式中, α_{δ} 为靠近壁面栅元的平均空泡份额; α_{dry} 为临界空泡份额,参照 Podowski 的研究^[8],本研究取 α_{dry} =0.74。

对活化核心密度和汽泡脱离频率计算,常用 Lemmert-Chawla 模型和 Tolubinsky 模型,但上述 模型并未考虑压力、接触角等因素的影响。为了 适应更多工况的两相流动模拟,本研究活化核心 密度(N_w)采用 Li等^[9]新开发的关系式:

$$N_{\rm w} = N_0 (1 - \cos\theta) e^{f(P)} \Delta T_{\rm sup}^{A\Delta T_{\rm sup} + B}$$
(6)

$$N_0 = 1000 \text{ m}^{-2}$$

$$f(P) = 26.006 - 3.678 e^{-2P} - 21.907 e^{-\frac{P}{24.065}}$$

$$A = -0.0002P^2 + 0.0108P + 0.0119$$

$$B = 0.122P + 1.988$$

式中, θ 为接触角; ΔT_{sup} 为壁面过热度。汽泡脱 离直径 D_d 采用 Kocamustafaogullari 模型^[10]计算:

$$D_{\rm d} = 2.64 \times 10^{-5} \,\theta \left(\frac{\sigma}{g\Delta\rho}\right)^{0.5} \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_{\rm g}}\right)^{0.9} \qquad (7)$$

式中, σ为表面张力; Δρ为液相和汽相的密度差。 上述 2个模型都基于蒸汽-水的实验数据开发,并 且考虑到了压力的影响,能够适用于高压工况。

壁面沸腾模型中所涉及到的汽泡脱离频率、 汽泡等待时间与文献[6]一致。对于汽泡脱离壁面 后在主流区的直径分布,本研究采用一阶 S-Gamma模型进行计算,相比于常用的与液体过 冷度相关的线性汽泡直径分布关系式,S-Gamma 模型考虑了汽泡的合并与分裂,类似于界面浓度 输运方程,但源项有所不同。关于 S-Gamma 模型 的详细介绍见文献[11]。

2 数值模型的验证

选用常用的基准实验数据对管内的过冷沸腾进行数值验证。实验数据来自Bartolomei^[12],实验在4.5 MPa压力下进行,圆管直径为15.4 mm,加热段长度为2m,热流密度为570 kW/m²,入口流量为900 kg/(m²•s),入口过冷度约为60 K。实验测量得到了壁面温度、主流平均温度、截面平均空泡份额沿轴向的分布。在几何建模过程中,采用二维结构化网格划分和旋转轴对称模型。为了排除入口段和出口段的影响,使流体充分发展,在加热段上下端分别增加了0.5 m的入口段和出口段(大于20倍当量直径)。对网格数量进行了敏感性分析,最终轴向划分为600 段,径向划分

为 20 段。将采用该网格计算得到的结果与实验结 果进行对比(图1),得到壁面温度、主流液体 温度、截面平均空泡份额都与实验值符合良好。



通过 4 个工况的计算,对本研究构建的数值 模型在高压下两相流动模拟的适用性进行进步 验证。这 4 个工况的圆管直径均为 12 mm,质量 流量为 1000 kg/m²,热流密度为 1000 kW/m²,压 力分别为 4.5、7、11 和 15 MPa。实验测量得到 4 个工况下截面平均空泡份额的沿程分布。对 4 个 工况的模拟,本研究仍然取加热段长度为 2 m, 并参照 Krepper 等^[1]的做法设置入口过冷度,使得 在 1.75 m 处平衡含汽率为 0,网格划分形式相同, 计算结果见图 2。



Fig. 2 Comparison of Calculated Results and Experimental Data under Different Pressures

由图 2 可知,各个工况下模拟值都与实验值符合较好,只有在 4.5 MPa 压力下,模拟值在高含汽率工况要大于实验值。

通过上述模拟值与实验值的对比,验证了本研究构建和改进的数值模型能够用于中高压力下 过冷沸腾两相流动的数值模拟。后续将利用上述 模型,对 CHF 进行预测。

3 非均匀加热圆管 CHF 的数值预测

之间空

格! 除温度 (℃)、角度

(°)、百分

号 (%)。

3.1 实验描述

Judd 等^[13]、Biancone 等^[14]都对非均匀加热竖 直圆管内的 CHF 进行了实验研究,其实验数据是 开发 W-3 公式的基础。本研究选择其中部分高压、 高流量的工况进行模拟,以更接近压水反应堆的 真实情况。选择 Judd 等实验中中心余弦型功率 分布,Biancone 等实验中尾部余弦型功率分布, 两者的功率分布见图 3,其中平均热流密度 q_{average}为:





2.0 ——中心余弦型
1.5-
b)(1.0
0.5
$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
图 3 功率分布
Fig. 3 Power Distribution
式中, L_{max} 为总的加热长度; h 为轴向高度; $q(h)$
为 h 处的热流密度。对于 Judd 等 ^[13] 的实验, L_{max}

为 1.83m, 圆管直径为 11.38 mm; Biancone 等^[14] 的实验中 L_{max} 为 1.183 m,圆管直径为 11.6 mm。

在几何建模过程中,采用二维轴旋转对称模 型对圆管进行描述,在加热段的入口和出口都增 加 0.5 m 的过渡段。同样采用二维结构化网格进 行网格划分,计算域及边界条件的设置与第2章 节一致。

3.2 CHF 预测

首先从实验数据中,随机选择了接近压水堆 运行条件的1个工况,该工况的详细参数见表1 Case 1。对壁面温度及空泡份额进行详细的研究。

模拟过程中,固定入口条件,给定不同的热 流密度, 计算得到各个热流密度下两相的稳态分 布;再观察不同热流密度的计算结果,着重对比 近壁面的空泡份额及壁面温度分布(图4)。本 研究给出了 Case 1 在 4 种不同热流密度下近壁面 空泡份额及壁面温度沿着加热段的分布情况。

由图 4 可知,当 q_{average} 为 1500 kW/m²时,近壁 面最大的空泡份额小于 0.74,此时壁面温度的峰 值位于加热段的中部,约 0.8 m 处。当 q_{average} 达 到 1600 kW/m²时,近壁面空泡份额超过了

	<mark>图题和表题</mark> 小五号,宋体+ Times New
-	Roman,必须要中英文对应

9

	$\langle \rangle$	表 1	非均匀加热圆管测试工况		
Table 1 Test Cases for Non-Uniformly Heated Tubes					
工况	功率分布类型	压力/MPa	流量/ kg • m⁻² • s⁻¹	入口过冷度/K	加热段长度/m
Case 1	中心余弦型	13.79	2034.3	68.7	1.83
Case 2	中心余弦型	13.79	2034.3	41.4	1.83
Case 3	中心余弦型	13.79	2034.3	13.4	1.83
Case 4	中心余弦型	13.79	3390.6	68.7	1.83
Case 5	中心余弦型	13.79	3390.6	41.4	1.83
Case 6	中心余弦型	13.79	3390.6	13.4	1.83
Case 7	中心余弦型	10.34	2034.3	75.9	1.83
Case 8	中心余弦型	10.34	2034.3	46.9	1.83
Case 9	中心余弦型	10.34	2034.3	15.8	1.83
Case 10	中心余弦型	10.34	3390.6	75.9	1.83
Case 11	中心余弦型	10.34	3390.6	46.9	1.83
Case 12	中心余弦型	10.34	3390.6	15.8	1.83
Case 13	尾部余弦型	12.88	2235	143.8	1.183
Case 14	尾部余弦型	13.01	2293	95.2	1.183
Case 15	尾部余弦型	12.78	2310	63.5	1.183
Case 16	尾部余弦型	12.88	2290	7.5	1.183
Case 17	尾部余弦型	12.88	3014	143.8	1.183
Case 18	尾部余弦型	12.88	3119	102.0	1.183
Case 19	尾部余弦型	12.88	3134	64.2	1.183

(h)



图 4 不同 qaverage 下近壁面空泡份额及壁面温度的 沿程分布

Fig. 4 Near Wall Void Fraction and Wall Temperature Distributions under Different Heat Fluxes

α_{dry} = 0.74,同时从壁面温度的分布来看,在加 热段的中后端,壁面温度开始出现第2个峰值, 这一峰值随着热流密度的继续上升会更加的明 显。同时峰值的位置也会随着热流密度的增加而 逐渐向中心移动,这与文献[6]中均匀加热圆管的 情况有所不同。

结合发生临界时壁面传热恶化、温度较快上 升的情况,本研究认为当壁面温度分布开始出现 第 2 个峰值时,临界已经发生,此时的热流密度 为 CHF,而此时壁面温度第 2 个峰值位置不明显, 因此将近壁面空泡份额的峰值作为临界发生的位 置。根据图 4 的判断,对于 Case 1, CHF 的预测 值为 1600 kW/m², CHF 发生的轴向位置 Z_{DNB} 为 1.59 m,与实验值 1640 kW/m²及 1.6 m 非常接近。 此处所指 CHF 为发生临界时平均的热流密度。

基于以上方法,本研究对更多的实验工况进行了模拟,这些工况的运行参数见表 1。大部分 工况仍是围绕着压水堆运行工况而选择的高压高 流量工况。总共对 19 个工况点进行了计算,其中 12 个工况为中心余弦型功率分布,7个工况采用 靠近出口余弦型分布。

所有预测的 CHF 值与实验测量值的对比见图

预测误差为 12.1%。CHF 发生的预测位置与实验位 置的比值见图 6。由图 6 可知,误差在±20%以内, 结果较好。因此,本研究建立的 CHF 预测方法适 用于高温高压条件非均匀加热圆管 CHF 的预测。



4 结 论

本研究采用两相 CFD 分析的方法,对非均匀 加热圆管内的 CHF 进行了数值研究。通过模拟, 得到如下结论:

(1) 非均匀加热圆管壁面温度的峰值位置会 随着热流密度的上升而转移。

(2)当壁面温度出现第2峰值、空泡份额超过临界值时,可以作为非均匀加热圆管 CHF 判定的标准,用此预测方法对19个工况点、2种非均匀加热圆管进行 CHF 预测,模拟值与实验值符合较好,CHF 值的平均预测误差为12.1%,表明本文方法的正确性。

本研究方法可以用于其他换热系统及装置 CHF 的预测中,但更广范围内的适用性,仍需进 一步的验证。

小五号,黑体

 经是最终的、总体的结论,应该观点明确、严谨、完整、准确、精炼。结论(或讨论)是整篇文章最后的总结,但并不是论文的必要组成部分。 如果在文中不可能明显导出应有的结论,也可以没有结论而进行必要的讨论。结论不应该是正文中各段小节的简单重复,应该以正文中的实验或考 察得到的现象、数据的阐述分析为依据,完整、准确、简洁地指出以下内容:①由对研究对象进行考察或实验得到的结果所揭示的原理及其普遍性; ②研究中有无发现例外或本论文尚难解释和解决的问题;③与先前已发表过的(包括他人与作者自己)研究工作的异同;④论文在理论及实际运用 上的意义及价值;⑤进一步深入研究本课题的建议。

关关文武

to fuel assembly design[J]. Nuclear Engineering and Design, 2007, 237: 716-731.

- [2] KREPPERE, RZEHAK R. CFD for subcooled flow boiling: Simulation of DEBORA experiments[J]. Nuclear Engineering and Design, 2011, 241: 3851-3866.
- [3] LO S, OSMAN J. CFD modeling of boiling flow in PSBT 5×5 bundle[J]. Science and Technology of Nuclear Installations, 2012, 2012: 1-10.
- [4] VYSKOCIL L, MACEK J. CFD simulation of critical heat flux in a tube[R]. Bethesda, MD, USA: OECD/NEA & IAEA, 2010.
- [5] ZHANG R, CONG T, TIAN W, et al. Prediction of CHF in vertical heated tubes based on CFD methodology[J]. Progress in Nuclear Energy, 2015, 78: 196-200.
- [6] 李权, 焦拥军, 于俊崇. 竖直加热圆管内过冷沸腾及 CHF 的数值模拟[J]. 核动力工程, 2015, 36(1): 168-172.
- [7] 赵大卫,刘文兴,熊万玉,等. 轴向非均匀加热 DNB 型临界热流密度理论预测[J]. 核动力工程,2016,37(1): 18-22.
- [8] PODOWSKI MZ, PODOWSKIRM. Mechanistic multidimensional modeling of forced convection boiling heat transfer[J]. Science and Technology of Nuclear Installations, 2009, 2009: 1-10.
- [9] LI Q, AVRAMOVA M, YU J, et al. A new model for active

nucleation site density in boiling systems[C]. New Orleans, LA, USA: Embedded Topical Meeting on Advances in Thermal Hydraulics-2016, 2016.

- [10] KOCAMUSTAFAOGULLARI G . Pressure dependence of bubble departure diameter for water[J]. International Communications in Heat & Mass Transfer, 1983, 10(6): 501-509.
- [11] LO S, RAO P. Modelling of droplet breakup and coalescence in an oil-water pipeline[C]. Leipzig, Germany: 6th International Conference on Multiphase Flow, ICMF 2007, 2007.
- [12] BARTOLOMEI G G, CHANTURIYA V M. Expe- rimental study of true void fraction when boiling subcooled water in vertical tubes[J]. Thermal Engineering, 1967, 14(2): 123-128.
- [13] JUDD D F, WILSON R H, WELCH C P, et al. Non-uniform heat generation experimental program[R]. USA: USAEC, 1967.
- [14] BIANCONE F, CAMPANILE A, GALIMI G, et al. Forced convection burnout and hydrodynamic instability experiments for water at high pressure. Part i. Presentation of data for round tubes with uniform and non-uniform power distribution[R]. Turin, Italy: Sezione Energia Nucleare, 1965.

参考文献小五号, 宋体+ Times New Roman。请务必按照 GB/T 7714-2015 要求著录参考文献, 正确格式见网站下载中心 《参考文献著录正确格式 GB/T 7714-2015》。文献序号须与文中标注一一对应, 且顺序准确。

文章中使用斜体的物理量:

有量纲的物理量,如长度1、时间t、力F、压力p、摩尔质量 M 等。 物理量符号作为上角或下角:如 cp。 代数运算中的量,如 x+y=a。 几何运算中的量,如 sina +cosb。 插图坐标变量,如 x、y、z,坐标轴代号 X、Y、Z、O 等。 代表不定的物理量和数目的字母,如 a₁+a₂+...+a_n的 n 等。 表示函数的符号,如 f。

<mark>文章中使用正体的物理量:</mark>

计量单位符号:如 cm、kg、K、min、s 绝大多数数学符号,如 sin、tan、max、exp等 化学元素符号:如 H、O、Tc 粒子符号。如电子 e、质子 p、中子 n 射线符号,如 X 射线、α射线、β射线、γ射线 酸碱度符号 Ph 型号、代号、编号、牌号:如 KPX-L、DCS-600 数字信息代码、计算机程序语句:Go、If 外文人名、地名、书刊名、机构名、团体名及其缩写。