



全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

# 核动力系统热工水力 计算方法

苏光辉 秋穗正 田文喜 等 著

<http://www.tup.com.cn>



清华大学出版社

清华大学出版社数字出版网站

WQBook  书文  
与泉  
www.wqbook.com

ISBN 978-7-302-30710-5



9 787302 307105 >

定价：59.00元

## 内 容 简 介

本书共分9章。第1~4章介绍核动力系统完整的建模与数值计算。第5、6章以专题的形式介绍了两相流数值分析技术、热工水力关键现象的数值模拟。第7章介绍新方法在反应堆热工水力数值模拟方面的应用。第8章为先进反应堆系统热工水力分析。第9章系统地展现了作者所在单位关于运动条件下的核动力装置热工水力特性的研究成果。

本书可作为高等院校反应堆工程专业研究生的专业基础课教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

核动力系统热工水力计算方法/苏光辉等著.--北京:清华大学出版社,2013

全国工程硕士专业学位教育指导委员会推荐教材

ISBN 978-7-302-30710-5

I. ①核… II. ①苏… III. ①反应堆—热工水力学—研究生—教材 IV. ①TL33

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第280416号

责任编辑:张占奎 洪 英

封面设计:常雪影

责任校对:王淑云

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质 量 反 馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 刷 者:清华大学印刷厂

装 订 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm 印 张:26.25 字 数:571千字

版 次:2013年11月第1版 印 次:2013年11月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:59.00元

产品编号:038962-01

第 1 章 冷却剂热工水力计算的基本模型 .....	1
1.1 稳态工况下的热工水力模型 .....	1
1.1.1 一维稳态单相流动的基本守恒方程 .....	1
1.1.2 一维稳态两相流动的基本守恒方程 .....	2
1.2 瞬态工况下的热工水力模型 .....	5
1.2.1 一维流动时的基本热工水力模型 .....	6
1.2.2 三维流动时的基本热工水力模型 .....	12
参考文献 .....	14
第 2 章 相关传热及水力学模型 .....	16
2.1 对流换热模型 .....	16
2.1.1 单相液体对流传热 .....	16
2.1.2 欠热沸腾区传热 .....	18
2.1.3 饱和沸腾区传热 .....	18
2.1.4 稳定膜态沸腾区或缺液区对流传热 .....	20
2.1.5 单相蒸汽对流传热 .....	21
2.1.6 界限含汽量计算 .....	21
2.1.7 过渡沸腾传热 .....	21
2.1.8 作者在科研中所选公式汇总 .....	23
2.1.9 凝结换热 .....	24
2.1.10 管外壁与空气换热 .....	25
2.2 热传导模型 .....	26
2.2.1 燃料元件热传导方程 .....	27
2.2.2 包壳导热方程 .....	27

2.2.3	蒸汽发生器换热管管壁导热方程 .....	28
2.3	间隙导热 .....	28
2.4	阻力系数 .....	32
2.4.1	单相摩擦阻力系数关系式 .....	32
2.4.2	两相摩擦阻力系数关系式 .....	33
2.4.3	局部阻力系数关系式 .....	35
	参考文献 .....	36
<b>第3章</b>	<b>辅助模型 .....</b>	<b>39</b>
3.1	空泡份额模型 .....	39
3.1.1	饱和沸腾区的空泡份额 .....	39
3.1.2	欠热沸腾区的空泡份额 .....	40
3.2	临界热流密度及 DNBR 的计算 .....	47
3.2.1	$q_{CHF}$ 计算关系式 .....	48
3.2.2	$q_{CHF}$ 表 .....	52
3.2.3	$q_{CHF}$ 及 DNBR 的计算结果比较及讨论 .....	55
3.2.4	两相流动不稳定性对 $q_{CHF}$ 的影响 .....	58
3.2.5	重水堆的 $q_{CHF}$ 与临界功率比 .....	61
3.2.6	临界热流密度的机理模型 .....	62
3.3	堆芯中子动力学方程 .....	75
3.3.1	堆芯中子动力学方程 .....	75
3.3.2	反应性反馈 .....	76
	参考文献 .....	77
<b>第4章</b>	<b>核动力系统稳态与瞬态热工计算实例 .....</b>	<b>80</b>
4.1	概述 .....	80
4.2	系统及设备数学物理模型 .....	82
4.2.1	反应堆数学物理模型 .....	82
4.2.2	蒸汽发生器数学物理模型 .....	82
4.2.3	稳压器数学物理模型 .....	84
4.3	主循环泵模型 .....	86
4.3.1	主循环泵及四象限特性 .....	86
4.3.2	主循环泵状态选择 .....	88

4.3.3 环路冷却剂流量模型 .....	88
4.4 非能动应急堆芯余热排出系统模型 .....	89
4.5 管道与腔室数学物理模型 .....	90
4.6 控制系统模型 .....	91
4.6.1 反应堆功率控制系统模型 .....	91
4.6.2 反应堆短周期保护 .....	92
4.6.3 稳压器控制系统模型 .....	92
4.6.4 蒸汽发生器的控制系统模型 .....	94
4.7 辅助模型 .....	95
4.8 仿真系统简介 .....	95
4.9 MITARS 程序 .....	97
4.9.1 MITARS 程序的编制 .....	97
4.9.2 MITARS 程序的验证及应用 .....	99
4.10 MITARS 的后续开发 .....	102
4.10.1 MITARS-SyTar 软件的编制 .....	102
4.10.2 MITARS-SyTar 软件的功能简介 .....	103
4.10.3 MITARS-SyTar 软件的界面简介 .....	104
4.11 稳态自然循环和程序 MISARS .....	109
4.11.1 MISARS 程序的编制 .....	109
4.11.2 MISARS 程序的应用 .....	110
参考文献 .....	116
<b>第 5 章 两相流数值分析技术和商用程序简介 .....</b>	<b>120</b>
5.1 两相流基本方程的闭合 .....	121
5.2 数值解法简介 .....	128
5.3 程序的输入、输出要求 .....	139
5.4 典型的程序结构 .....	144
5.5 当前开发的有关程序简介 .....	145
5.5.1 TRAC 程序 .....	146
5.5.2 RELAP5 程序 .....	147
5.5.3 RETRAN 程序 .....	148
5.5.4 CATHARE 程序 .....	149
5.5.5 COBRA-TRAC 程序 .....	150

5.5.6	PHOENICS 程序 .....	151
5.5.7	严重事故分析程序 .....	154
5.5.8	TEXAS-VI 蒸汽爆炸分析程序 .....	155
5.5.9	其他程序 .....	156
	参考文献 .....	157
<b>第 6 章</b>	<b>关键热工水力现象的基本模型 .....</b>	<b>160</b>
6.1	临界流 .....	160
6.1.1	临界流的定义 .....	160
6.1.2	单相临界流 .....	161
6.1.3	两相临界流 .....	163
6.1.4	过热蒸汽临界流 .....	166
6.2	两相流动不稳定性 .....	167
6.2.1	两相流动不稳定性分类 .....	168
6.2.2	两相流动不稳定性判别准则 .....	170
6.3	超临界条件下流动不稳定性 .....	192
	参考文献 .....	195
<b>第 7 章</b>	<b>新方法在反应堆热工水力数值模拟方面的应用 .....</b>	<b>199</b>
7.1	小波分析、人工神经网络及遗传算法的应用 .....	199
7.1.1	小波分析 .....	199
7.1.2	人工神经网络 .....	201
7.1.3	遗传算法 .....	204
7.1.4	遗传神经网络 .....	205
7.1.5	小波神经网络 .....	205
7.2	粒子法及其应用 .....	207
7.2.1	粒子法的提出 .....	207
7.2.2	移动粒子半隐式(MPS)方法 .....	208
7.2.3	MPS 方法的应用举例 .....	216
7.3	核动力系统多尺度耦合的数值模拟计算 .....	221
7.3.1	多尺度模拟方法简介 .....	221
7.3.2	国内外研究现状 .....	223
7.3.3	物理热工耦合 .....	224

7.3.4 热工水力多尺度耦合 .....	226
参考文献 .....	227
<b>第 8 章 先进反应堆系统及其热工水力分析 .....</b>	<b>232</b>
8.1 超临界水冷堆 .....	232
8.1.1 超临界水冷堆概况 .....	232
8.1.2 超临界水冷堆研究历史及现状 .....	233
8.1.3 超临界水冷堆的热工设计及安全分析 .....	235
8.2 钠冷快堆 .....	240
8.2.1 钠冷快堆概况 .....	240
8.2.2 钠冷快堆研究历史及现状 .....	241
8.2.3 钠冷快堆热工水力分析研究 .....	243
8.3 熔盐堆 .....	251
8.3.1 熔盐堆概况 .....	251
8.3.2 熔盐堆的研究历史及现状 .....	252
8.3.3 熔盐堆堆芯物理热工耦合及安全特性研究 .....	256
8.4 铅铋快堆 .....	263
8.4.1 铅铋快堆概况 .....	263
8.4.2 铅铋快堆研究历史及现状 .....	263
8.4.3 铅铋快堆热工水力分析及设计 .....	266
8.5 行波堆 .....	271
8.5.1 行波堆概况 .....	271
8.5.2 行波堆研究历史及现状 .....	273
8.5.3 钠冷行波堆热工水力设计及安全分析 .....	274
8.6 球床式水冷堆 .....	280
8.6.1 球床式水冷堆简介 .....	280
8.6.2 球床式水冷堆的热工水力模型 .....	282
8.6.3 球床式水冷堆热工水力分析 .....	289
8.6.4 球床堆燃料堆积床 CFD 模拟 .....	292
8.7 磁约束核聚变关键能量转换部件——实验包层 .....	294
8.7.1 ITER 计划和实验包层概况 .....	294
8.7.2 氦冷固态陶瓷氚增殖剂实验包层概念(HCSB TBM) .....	297
8.7.3 液态金属氚增殖剂实验包层概念(DFLL-TBM) .....	301



8.7.4	聚变裂变混合堆实验包层概念设计 .....	310
8.8	磁流体流动的数值计算 .....	312
8.8.1	磁流体流动的迎风无网格配点法 .....	313
8.8.2	数值求解 .....	315
	参考文献 .....	316
<b>第9章</b>	<b>运动条件下核动力装置的热工水力特性 .....</b>	<b>325</b>
9.1	运动条件下的运动条件附加力 .....	325
9.1.1	非惯性系动量方程 <sup>[2]</sup> .....	326
9.1.2	典型运动条件附加力模型 .....	329
9.1.3	耦合运动条件下的附加力模型 .....	333
9.2	绕 $x$ 轴、 $y$ 轴或 $z$ 轴摆动对管内冷却剂流动与换热的影响 .....	336
9.2.1	绕 $x$ 轴、 $y$ 轴或 $z$ 轴摆动对管内冷却剂流动特性的影响 .....	336
9.2.2	绕 $x$ 轴、 $y$ 轴或 $z$ 轴摆动对管内冷却剂传热特性的影响 .....	339
9.3	运动条件对反应堆系统热工水力特性的影响 .....	342
9.3.1	绕 $x$ 轴、 $y$ 轴或 $z$ 轴摆动对自然循环流动不稳定性的实验研究 .....	344
9.3.2	绕 $x$ 轴、 $y$ 轴或 $z$ 轴摆动下自然循环流动不稳定性的非线性分析 .....	349
9.4	运动条件下的临界热流密度特征 .....	360
9.4.1	运动条件下临界热流密度的修正 .....	360
9.4.2	运动条件下微液层蒸干机理模型 .....	362
	参考文献 .....	367
<b>附录 A</b>	<b>水及水蒸气的物性 .....</b>	<b>370</b>
<b>附录 B</b>	<b>重水的物性 .....</b>	<b>372</b>
<b>附录 C</b>	<b>钠的物性 .....</b>	<b>378</b>
<b>附录 D</b>	<b>其他材料物性 .....</b>	<b>380</b>
<b>附录 E</b>	<b>物性计算的子程序模块 .....</b>	<b>382</b>
<b>附录 F</b>	<b>AECL-UO <math>q_{CHF}</math> 表的数据 .....</b>	<b>389</b>