

LIANGXIANGLIU
YU CHUANRE

〔英〕D. 巴特沃思 G. F. 休伊特 编

两相流与传热

原子能出版社

52.422
139
C1

两相流与传热

[英] D. 巴特沃思 G. F. 休伊特 编

陈学俊 陈听宽 曹柏林 译

原子能出版社

内 容 简 介

两相流及其传热是锅炉、化工设备、轻工设备、反应堆等多种工业设备中的一个重要问题。本书根据多年来的研究成果,系统介绍了气-液两相流、两相传热、流体动力学不稳定性等方面的理论,设计方法及最新试验数据。本书的特点是由浅入深,简单明了,既有全面的论述,又有重点的深入。

本书可供从事热工水力学工作的科学技术人员及大专院校有关专业师生参考。

D. Butterworth and G. F. Hewitt (edi.)
TWO-PHASE FLOW AND HEAT TRANSFER
Oxford University Press, 1977.

两 相 流 与 传 热

[英]D. 巴特沃思 G. F. 休伊特 编

陈学俊 陈听宽 曹柏林 译

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

原子能出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 375 千字

1985 年 2 月第一版·1985 年 2 月第一次印刷

印数 1—4140 统一书号: 15175·525

定价: 2.70 元

目 录

符号一览表

第一章 引言 (G. L. Shires)

1.0 本章目的	10
1.1 两相流	10
1.2 术语	11
1.3 研究两相流的必要性	12
1.4 需要的知识	13
1.5 各章的导引	14
1.5.1 两相流	14
1.5.2 两相传热	15
1.5.3 流体动力不稳定性	16
1.5.4 凝结	16
1.5.5 失水事故	16

第二章 流型 (G. F. Hewitt)

2.0 本章目的	17
2.1 流动工况的定义	17
2.2 流型的描述	18
2.3 流型图	20
2.4 对流型描述的机理性探讨	22
2.5 相变与相平衡态	24
2.6 在蒸发系统与凝结系统中的流动与传热工况	25

第三章 一维流动 (D. Butterworth)

3.0 本章目的	27
3.1 引言	27
3.2 连续性关系式	27
3.3 单相的动量平衡和能量平衡	29
3.4 两相的能量平衡与动量平衡	30
3.4.1 动量方程	30
3.4.2 能量方程	31
3.4.3 均相方程	32
3.4.4 动量方程与能量方程之间的关系	32
3.5 临界流概述	33
3.6 动量方程的积分形式	34

第四章 确定压降的经验方法 (D. Butterworth)

4.0 本章目的	37
4.1 引言	37

4.2	相关参数	38
4.3	均相流动	41
4.4	分相流动	42
4.4.1	分离圆柱模型	42
4.4.2	Lockhart-Martinelli 关系式	43
4.5	混相流动模型	44
4.5.1	Baroczy 关系式	44
4.5.2	Chisholm 与 Sutherland 关系式	45
4.6	空泡份额关系式	48
4.7	空泡份额与摩擦压力梯度之间的关系	50
4.8	动量方程的积分形式	50
4.9	连接件的压降	52
4.9.1	流动面积突扩	52
4.9.2	流动面积突缩	53
4.9.3	弯头	53
第五章	垂直泡状流与弹状流 (G. F. Hewitt)	
5.0	本章目的	55
5.1	一维两相流	55
5.2	不稳态一维流动	57
5.3	Bankoff 变密度模型	58
5.4	通用滑动模型: Zuber 与 Findlay 的解析	58
5.5	泡状流中局部空泡份额的测量技术	60
5.6	垂直弹状流	61
第六章	垂直环状流 (G. F. Hewitt)	
6.0	本章目的	63
6.1	环状流参数	63
6.2	“三角关系”	63
6.3	环状流的界面波	66
6.4	液滴夹带份额的测定	68
6.5	液滴的传质	70
6.6	液体的夹带	71
6.7	环状流闭式解的应用	72
第七章	池内沸腾 (D. B. R. Kenning)	
7.0	本章目的	73
7.1	引言与定义	73
7.2	沸腾曲线	74
7.3	表面情况的影响	75
7.4	几何尺寸的影响	75
7.5	压力的影响	76

7.6 随时间变化的表面温度的影响	77
7.7 不均匀表面温度的影响	77
7.8 溶解气体的影响	77
7.9 薄液层工况	77
7.10 稳定膜态沸腾	78
7.11 临界热通量	79
7.12 核态沸腾	80
7.12.1 汽泡核化	80
7.12.2 汽泡长大	81
7.12.3 传热模型	83
7.13 结论	83
第八章 强迫对流核态沸腾 (D. B. R. Kenning)	
8.0 本章目的	84
8.1 引言	84
8.2 汽泡核化	85
8.3 传热关系式	86
8.4 欠热沸腾中的空泡份额	87
8.5 欠热沸腾中的压降	90
8.6 结论	91
第九章 环状流中的对流传热 (R. A. W. Shock)	
9.0 本章目的	92
9.1 环状流传热概况	92
9.2 层流解	93
9.2.1 能量方程式	93
9.2.2 第一种情况	94
9.2.3 第二种情况	95
9.2.4 第三种情况	95
9.2.5 第四种情况	96
9.3 紊流解	97
9.4 双组分系统中的传热	102
第十章 强迫对流沸腾的估算方法 (R. A. W. Shock)	
10.0 本章目的	107
10.1 对流关系式及与理论的关系	107
10.2 在饱和沸腾与欠热沸腾中迭加核态沸腾	109
10.2.1 引言	109
10.2.2 部分欠热沸腾	109
10.2.3 饱和对流沸腾	113
第十一章 水平管中的沸腾与流动 (D. Butterworth, J. M. Robertson)	
11.0 本章目的	118

11.1	水平流的流型图	118
11.2	分层流	119
11.2.1	有用的几何关系	119
11.2.2	两个相都是层流	120
11.2.3	层流液体-紊流气体	120
11.2.4	两个相都是紊流	121
11.3	分层流向弹状流的过渡	122
11.4	弹状流	123
11.5	泡状流	123
11.6	环状流	123
11.6.1	水平环状流的图解说	123
11.6.2	已经提出的把液体输送到管子顶部的几种机理	124
11.7	传热系数	126
11.8	水平管中的烧毁	126
11.8.1	在实践中烧毁的发生及其影响	126
11.8.2	水平管中烧毁的观测	127
11.8.3	烧毁数据的初步解释	128
第十二章	烧毁概论 (G. L. Shires)	
12.0	本章目的	130
12.1	烧毁的描述	130
12.2	历史	131
12.3	影响烧毁的因素	131
12.4	烧毁的计算	133
12.5	测量垂直管中烧毁的基本方法	133
12.5.1	均匀热通量	133
12.5.2	直管、非均匀热通量	135
12.6	用氟利昂模拟烧毁	136
12.7	复杂几何结构中的烧毁	138
12.7.1	反应堆燃料的烧毁计算	138
12.7.2	锅炉管的烧毁计算	140
12.8	小结	142
第十三章	烧毁机理 (G. F. Hewitt)	
13.0	本章目的	143
13.1	烧毁的定义	143
13.2	烧毁机理的评述	143
13.3	夹带曲线图及其应用	145
13.4	环状流中烧毁起始的计算	148
第十四章	烧毁的测算 (D. H. Lee)	
14.0	本章目的	150

14.1 参数的趋向	150
14.1.1 进口欠热焓	150
14.1.2 质量流速	150
14.1.3 压力	152
14.1.4 几何尺寸	152
14.1.5 局部含汽率	153
14.2 烧毁关系式的准确度	154
14.3 相关参数	154
14.4 圆管内的烧毁	155
14.5 高压圆管内的烧毁	156
14.6 矩形通道内的烧毁	157
14.7 环形通道内的烧毁	158
14.8 棒束内的烧毁	158
14.8.1 整理棒束烧毁数据的全通道模型	158
14.8.2 整理棒束烧毁数据的子通道模型	160
14.9 影响烧毁测算的次要因素	161
14.9.1 热通量分布	161
14.9.2 工质流动方向	162
14.10 烧毁裕度的测算	162
第十五章 沸水系统中的结垢 (R. V. Macbeth)	
15.0 本章目的	164
15.1 引言	164
15.2 有污垢时的实验问题	164
15.3 污垢沉积物的性质	165
15.4 结垢表面上沸腾的特性	166
15.5 四氧化三铁污垢沉积物中的灯芯沸腾模型	168
15.6 污垢沉积物对表面温度的影响	169
15.7 污垢沉积物对烧毁的影响	169
15.8 污垢沉积物对摩擦压降的影响	171
第十六章 流体动力不稳定性概论 (N. A. Bailey)	
16.0 本章目的	173
16.1 引言	173
16.2 “Ledinegg”不稳定性	174
16.3 可压缩容积引起的振荡	175
16.4 空泡长大引起的流量振荡	176
16.5 声学效应	176
16.6 并联通道不稳定性与自然循环回路不稳定性	177
16.7 发生不稳定性的场合	177
16.8 设计者的要求	178

16·9	确定并联通道不稳定性或自然循环回路不稳定性起始的实验方法	179
16·10	有关流体动力不稳定性起始的某些实验研究的评述	180
16·10·1	自然循环回路不稳定性	180
16·10·2	并联通道不稳定性	182
16·11	在设计中应用模型与试验结果时出现的问题	184
16·12	在装置中模型与实验室试验结果的应用	185
第十七章 振荡不稳定性 (R. Potter)		
17·0	本章目的	186
17·1	引言	186
17·2	不稳定性和噪扰放大的一般基础知识	186
17·3	反馈解析概述	187
17·4	沸水堆中不稳定性方式的例子	188
17·5	流体动力不稳定性	189
17·6	说明性的例子	191
17·7	回路的几何特性	192
17·8	其它理论解析方法	194
17·9	结束语	194
第十八章 凝结概论 (D. Butterworth)		
18·0	本章目的	195
18·1	凝结的方式	195
18·2	凝结时对传热的阻力	196
18·3	均匀凝结	197
18·3·1	液滴平衡	197
18·3·2	核化	197
18·4	珠状凝结	199
18·5	直接接触凝结	200
18·5·1	喷液式凝汽器	200
18·5·2	池式凝汽器	201
18·6	界面热阻	202
18·7	气相的传热和传质	203
18·7·1	传质	203
18·7·2	传质对传热的影响	204
18·7·3	凝结曲线	205
18·7·4	存在不凝结气体时的单组分蒸汽	206
18·7·5	多组分凝结	207
18·8	凝结对界面剪应力的影响	208
第十九章 膜状凝结 (D. Butterworth)		
19·0	本章目的	210
19·1	垂直表面上的凝结	210

19.1.1	层流膜状凝结-Nusselt 解	210
19.1.2	Nusselt 解析扩展到包括欠热和非线性温度分布	213
19.1.3	惯性效应的考虑	216
19.1.4	蒸汽过热的效应	217
19.1.5	波动的效应	218
19.1.6	紊动的效应	218
19.2	水平管的凝结	220
19.2.1	单管外侧	220
19.2.2	管束外侧的凝结	221
19.2.3	水平管内侧	222
19.3	具有蒸汽剪切作用的凝结	223
19.3.1	不同的管子方位及蒸汽流动方向	223
19.3.2	具有垂直汽流的水 平 管	223
19.3.3	圆管内流动	224
19.4	增强膜状凝结的特殊表面	225
第二十章 失水事故 (I. Brittain)		
20.0	本章目的	228
20.1	引言	228
20.2	燃料棒性状	229
20.3	失水事故	229
20.3.1	喷放阶段	230
20.3.2	堆芯加热阶段	230
20.3.3	再淹没阶段	230
20.4	临界流模型	230
20.5	喷放期间的流体动力学和传热	231
20.5.1	燃料棒传热	231
20.5.2	烧毁关系式	231
20.5.3	泵模型	232
20.5.4	蒸汽锅筒的性状	232
20.6	停滞问题	232
20.7	堆芯应急冷却系统	233
20.8	小结	233

参考文献

索引

符 号 一 览 表

- a 传热面积 (m^2)
 a_b 汽泡所占表面的面积 (m^2)
 A 通道流通截面积 (m^2)
 A 方程 (9·48) 定义的参数
 A_G 气 (或汽) 流的平均流通截面积 (m^2)
 A_L 液流的平均流通截面积 (m^2)
 Bi 毕奥数, hL_s/k_s
 BO 沸腾数, $\Phi/G\lambda$
 C 方程 (4·45) 中的常数
 C_s 流通面积突然缩小的收缩系数
 C_d 环状流时气相中的液滴浓度 (按均相计算) ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
 C_e 流体动力平衡态下气体核心中的液滴浓度 ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$)
 C_p 比热 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 C_{pA} 组分 A 的比热 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 C_{pG} 气 (或汽) 相的定压比热 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 C_{pL} 液体的定压比热 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$)
 C_T 总克分子浓度 ($\text{kmol}\cdot\text{m}^{-3}$)
 C_0 方程 (5·26) 定义的参数
 C_1 Blasius 方程中的常数
 C_1 Rohsenow 方程 (式 (7·1)) 中的常数, 不同的流体-表面组合时的值示于表 7·1
 D 管径 (m)
 D_b 核态沸腾时的汽泡跃离直径 (m)
 D_G § 4·4·1 所述的分离圆柱模型中气柱的直径 (m)
 D_H 通道的平均水力直径 (m)
 $\mathscr{D}_{AB}$ A 和 B 双组分混合物的扩散系数 ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$)
 f 摩擦系数汽泡频率 (s^{-1})
 f_H 均相流摩擦系数
 f_L 液体在通道内单独流动时的摩擦系数
 f_{sgc} 相应于雷诺数 $V_{sgc}\rho_{sgc}D/\mu_G$ 的单相摩擦系数
 f_{sgci} 方程 (6·13) 定义的界面摩擦系数
 $fn(\)$ 用来表示括号中所含量的函数
 F 单位质量的摩擦能损失 ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$)
 F 方程 (11·2) 定义的 Mandhane 等 (1974) 图中过渡线的修正系数
 F_c Chen (1966) 关系式中对流传热修正系数

- F_G 氟利昂模拟时质量流速的比例因子 (G_w/G_f)
- F_1 远离激波的气体容积通量 (见图 5.3) ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- F_2 流向激波的气体容积通量 (见图 5.3) ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
- g 重力加速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$)
- G 通道中的“质量流速”，即总的质量流量除以通道的流动截面积 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
- G' 离界面 y 距离处流向壁的质量流速 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
- Ga_L 伽利略数 $g\mu_L^4/\rho_L\sigma^3$
- G_C 凝结质量流速 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
- G_D 膜的单位面积上的沉积率 (实际上取管子的表面积作为膜的表面积) ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
- G_E 膜的单位面积上的夹带率 (实际上取管子的表面积作为膜的表面积) ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
- G_f 氟利昂模拟系统的质量流速 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
- G_G 气 (或汽) 相质量流量除以该相的流动截面积, W_G/A_G ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
- G_L 液体流动单位截面积的液体质量流量, W_L/A_L ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
- G_W 汽-水系统中的质量流速 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$)
- h 传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_G 气体主体与液体表面间的传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_{G^*} 没有传质时的气相传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_i 由分子动力效应引起的界面传热系数或有效传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_L 假定液体在管内单独流动时的传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_{L^*} 凝结液膜的局部传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- $\bar{h}_L$ 按垂直表面平均的凝结液膜传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_{LO} 假定管内全部流体具有液体物性时的传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_{mac} Chen (1966) 关系式中传热系数的宏观分量即对流分量 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_{mic} Chen (1966) 关系式中传热系数的微观分量即该态沸腾分量 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_N 从垂直管排顶部算起第 N 根管子的传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- $\bar{h}_N$ 一垂直管排 N 根管子的平均传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- $(\bar{h}_L)_{Nu}$ Nusselt (1916) 解析计算的传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h_p 普朗克常数 (JS)
- h_1 一垂直管排中顶部管子的传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- h^* 凝结侧冷却剂与液体表面之间的综合传热系数 ($\text{Wm}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
- H 分层流中液体的深度 (见图 11.2) (m)
- H 方程 (18.28) 定义的参数
- H_c 矩形通道的高度 (m)
- i 焓 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)
- i $\sqrt{-1}$
- i_G 饱和蒸汽焓 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)
- i_L 饱和液体焓 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)

- i_{TP} 两相焓 ($J \cdot kg^{-1}$)
 j Colburn (1933) 传热 j 因子
 j_{GL} 气体相对容积通量, 方程 (5.6) ($m \cdot s^{-1}$)
 j_{LG} 液体相对容积通量, 方程 (5.7) ($m \cdot s^{-1}$)
 J_A 混合物中 A 组分的克分子通量 ($kmol \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$)
 k_B 波耳兹曼常数, 1.3805×10^{-23} ($J \cdot K^{-1}$)
 k_g 有效紊流热导率 ($Wm^{-1} \cdot K^{-1}$)
 k_G 气 (或汽) 相热导率 ($Wm^{-1} \cdot K^{-1}$)
 k_t 冯卡门常数, 0.36
 k_L 液体热导率 ($Wm^{-1} \cdot K^{-1}$)
 K “滑速比” 即气体平均速度与液体平均速度之比, u_G/u_L
 K_D 液滴沉积的传质系数 ($m \cdot s^{-1}$)
 K_M 传质系数 ($m \cdot s^{-1}$)
 K_W 汽-水系统中的滑速比
 L 通道长度 (m)
 L_b 沸腾长度 (m)
 L_{bf} 氟利昂模拟系统中的沸腾长度 (m)
 L_{bw} 汽-水系统中的沸腾长度 (m)
 L_s 固体的定型尺寸 (m)
 m 液膜厚度 (m)
 m^+ 无因次液膜厚度, $m\rho_L u^*/\mu_L$
 m_m 分子的质量 (kg)
 M 分子量 ($kg/kmol$)
 n Blasius 方程中指数
 $\dot{n}$ 单位容积中核的形成率 ($m^{-3} \cdot s^{-1}$)
 N 方程 (5.33) 定义的非因次组
 N 旁路流量比: 旁路通道中的流量与受热通道中的流量之比
 N 一垂直管排中的管子数
 $\dot{N}''$ 分子通量 (单位面积单位时间的分子数) ($m^{-2} \cdot s^{-1}$)
 N_A 阿佛加德罗数 ($6.023 \times 10^{26} kmol^{-1}$)
 $N_{Eö}$ Eötvös 数 [由方程 (5.34) 定义]
 Nu 努塞尔数, hD/k
 Nu_L 按液体热导率计算的努塞尔数, h_D/k_L
 Nu_{LF} 按液膜厚度计算的液膜努塞尔数
 p 压力 ($N \cdot m^{-2}$)
 p_c 热力学临界压力 ($N \cdot m^{-2}$)
 p_{sat} 饱和蒸汽压力 (对于平表面) ($N \cdot m^{-2}$)
 P 烧毁时管子总功率 (W)
 P_v 单位容积的输入功率 ($W \cdot m^{-3}$)

P_0 进口欠热度为零时的烧毁功率 (W)

Pr_L 液体普朗特数, $C_{pL}\mu_L/k_L$

Pr_G 气相普朗特数, $C_{pG}\mu_G/k_G$

q 单位质量的热能 ($J \cdot kg^{-1}$)

q 由 $p_V(\rho_V - \rho_G)/\rho_L\rho_G\lambda$ (s^{-1}) 得出的参数

q 凝结混合物的释热率 (W)

q_G 气相冷却的释热率 (W)

Q_G 气 (或汽) 相容积流量 ($m^3 \cdot s^{-1}$)

Q_L 液相容积流量 ($m^3 \cdot s^{-1}$)

Q' 通道单位周界的液体容积流量 ($m^2 \cdot s^{-1}$)

r 径向距离 (m)

r 两相区的出口速度与进口速度之比

r_0 方程 (3.49) 定义的参数

r_b 汽泡半径 (m)

r_c 空穴半径 (m)

r_d 液滴半径 (m)

r_f 方程 (3.48) 定义的参数

r_s 方程 (3.50) 定义的参数

r_i 界面处的半径 (m)

r_0 管子半径 (m)

R 通用气体常数 ($8314.3 J \cdot kmol^{-1} \cdot K^{-1}$)

Re 雷诺数, GD/μ

Re_b 汽泡雷诺数, $2\rho_L u_{\infty} r_b / \mu_L$

Re_G 气相表观雷诺数

Re_H 方程 (4.25) 定义的均相流雷诺数

Re_L 液相雷诺数, $(1-x)GD/\mu_L$ 或 $4\Gamma/\mu_L$

Re_{LT} 管子底部的液膜雷诺数

S 由 $\bar{f}(s) = \int_0^{\infty} e^{-st} f(t) dt$ 定义的拉普拉斯变换的变量, 其中 $\bar{f}(s)$ 是 $f(t)$ 的拉普拉斯变换 (s^{-1})

S 比熵 ($J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$)

S 通道周界 (m)

S_C Chen (1966) 关系式中核态沸腾抑制因子

Sc_G 气相施米特数, $\mu_G/\rho_G \mathcal{D}_{AB}$

t 时间 (s)

t 方程 (19.36) 定义的无因次温度

T 温度 (K)

T_b 主体温度 (K)

T_G 气体主体温度 (K)

- T_i 膜表面温度 (K)
 T_{sat} 饱和温度 (K)
 T_w 壁温 (K)
 T_0 冷却剂温度 (K)
 T^+ 方程 (9.37) 定义的非因次温度
 T_i^+ 横穿液膜的非因次温度降
 u 速度 (常用作局部速度) ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 $\bar{u}$ 凝结液膜中的平均速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_b 弹状流中的气泡速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_G 气 (或汽) 相平均速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_{GV} 相对速度, 方程 (5.4) ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_i 界面速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_L 液相平均速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_{LS} 在静止液体中上升的弹状流型气泡周围的液体表面速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_{LV} 相对液体速度, 方程 (5.5) ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_m 管子轴心处的速度, 方程 (5.14) ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_s 弹状流气泡上升速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u_∞ 在无限流体中单个气泡的上升速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 u^* 摩擦速度 $\sqrt{(\tau_0/\rho_L)}$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 U 单位质量的内能 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 U 总传热系数 ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$)
 V 流体比容 ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)
 V_G 气 (或汽) 相比容 ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)
 V_H 均相比容, $xv_G + (1-x)v_L$ ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$)
 V_{TP} 根据两相动量方程的加速项 $x^2v_G/\alpha + (1-x)^2/(1-\alpha)$ ($\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$) 求得的两相有效比容
 V 总表观速度 $V_L + V_G$ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 V_b 单位表面积的气泡容积 (m)
 V_G 气 (或汽) 相表观速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 V_{ic} 气体核心速度 [方程 (6.15)]
 V_L 液相表观速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)
 V_G 方程 (2.3) 定义的非因次气相表观速度
 V_G^* 方程 (11.8) 定义的非因次气相速度
 V_L^* 方程 (2.4) 定义的非因次液相表观速度
 W 单相质量所做的功 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 W 分层流中的表面宽度 (见图 11.2) (m)
 W 通道中的总流量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)
 W_G 气 (或汽) 相质量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)
 W_L 液相质量流量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

W_{LE} 夹带的液体流量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

W_{LF} 液膜流量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)

W^+ 无因次液膜流量, $W_{L1}/2\pi r_0 \mu_L$

x 气 (或汽) 相质量流量份额即 “含汽率” (在第八章中称为热力学含汽率)

x 笛卡儿座标的一个方向 (m)

x_a 环状流起始点的含汽率

x_{BO} 烧毁含汽率

x_d 汽泡跃离时的热力学含汽率

x_f 氟利昂模拟系统中的烧毁含汽率

x_w 汽-水系统中的烧毁含汽率

x_o 进口欠热度为零时的烧毁含汽率

x' 欠热沸腾时的真实含汽率

X 方程 (4.4) 定义的 Lockhart-Martinelli (1949) 参数

X 方程 (11.3) 定义的参数

X_{11} 当两相均作紊流运动时的 Lockhart-Martinelli (1949) 参数: $X_{11} = \left(\frac{1-x}{x}\right)$

$$\left(\frac{\rho_G}{\rho_L}\right)^{0.5} \left(\frac{\mu_L}{\mu_G}\right)^{0.1}$$

y 离壁的距离 (m)

y 笛卡儿座标的一个方向 (m)

y 离液体表面的距离 (m)

y^+ 摩擦距离参数 $yu^*\rho_L/\mu_L$

y 方程 (11.4) 定义的参数

y_b 汽泡高度 (m)

z 沿通道或管子的轴向距离 (m)

z_s 核态沸腾起始点于通道上的距离 (m)

α 空泡份额即气 (或汽) 相所占的容积份额

α_e 通道出口处的空泡份额

α_f 氟利昂模拟系统中的空泡份额

α_m 管子轴心处的空泡份额, 方程 (5.15)

α_T 热扩散率, $k_L/C_{pL}\rho_L$ ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

α_w 汽-水系统中的空泡份额

β 气 (或汽) 相容积流量份额

β 方程 (9.44) 定义的参数

v 方程 (12.1) 中的经验参数

Γ 方程 (4.11) 定义的参数

Γ 单位宽度表面上的液膜流量 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

Γ' 单位长度管子生产的凝结液平均流量

Γ_L 在向下距离为 L 的表面上单位宽度表面的液膜流量 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

- δ_H 传热的等效层流液膜厚度
 δ_M 传质的等效层流液膜厚度
 ΔG 核形成的 Gibbs 自由能
 Δi_i 进口焓与饱和焓之差 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 Δp 压降或压差 ($\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$)
 ΔT_d 汽泡跃离点的欠热度 (K)
 ΔT_e Chen (1966) 关系式中的“有效”壁面过热度 (K)
 $\Delta T_{s,at}$ 壁面过热度, $T_w - T_{s,at}$ (K)
 $\Delta T_{s,ub}$ 欠热度, $T_b - T_{s,at}$ (K)
 e (热量的或动量的) 紊流涡团扩散率 ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
 ε_H 热量紊流涡团扩散率 ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
 ε_M 动量紊流涡团扩散率 ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)
 e 方程 (19.35) 定义的无因次欠热参数
 η 离液膜表面的无因次距离, y/m
 θ 图 3.2 所示的管子轴线与水平线之间的夹角 (度或弧度)
 θ 图 11.2 及 19.12 中所示的夹角 (度或弧度)
 κ Bankoff 参数, 方程 (5.16) 及 (5.17)
 λ 汽化潜热 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 λ 方程 (2.1) 定义的参数
 λ_c 临界波长 (m)
 λ_D 最快增长波的波长 (m)
 λ_f 氟利昂模拟系统中的潜热 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 λ_w 汽-水系统中的潜热 ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1}$)
 Λ 方程 (4.10) 定义的参数
 μ 粘度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)
 μ_A 在环境温度和压力下空气的粘度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
 μ_G 气体或蒸汽的粘度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
 μ_E 有效粘度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
 μ_H 均相流粘度
 μ_L 液体粘度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
 μ_w 大气温度的水的粘度 ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)
 ξ 接触角 (度或弧度)
 ρ 密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 ρ_A 大气条件下的空气密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 $\rho_{s,c}$ 方程 (6.14) 近似给出的气体核心密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 ρ_G 气 (或汽) 相密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 ρ_H 均相密度, $1/V_H$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 ρ_L 液相密度 ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)
 ρ_{TP} 根据两相动量方程的重力项求得的两相密度, $\alpha \rho_G + (1 - \alpha) \rho_L$ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)