



教育部高等学校材料科学与工程教学指导委员会
金属材料与冶金工程教学指导委员会

规划教材

● 丛书主编 刘业翔

冶金热工基础

主 编 王 华
副主编 于庆波 周子民 张家元
郑 忠 谢安国



中南大学出版社

www.csupress.com.cn

冶金热工基础

主 编 王 华

副主编 于庆波 周子民 张家元

郑 忠 谢安国

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

冶金热工基础/王华主编. —长沙:中南大学出版社,2010

金属材料与冶金工程专业规划教材

ISBN 978-7-5487-0019-7

I. 冶... II. 王... III. 冶金炉-热工学-高等学校-教材

IV. TF061.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 070663 号

冶金热工基础

主 编 王 华

☐责任编辑 刘 辉

☐责任印制 文桂武

☐出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-88876770

传真:0731-88710482

☐印 装 长沙利君漾印刷厂

☐开 本 787×1092 1/16 ☐印张 33.5 ☐字数 833 千字 ☐插页

☐版 次 2010 年 5 月第 1 版 ☐2010 年 5 月第 1 次印刷

☐书 号 ISBN 978-7-5487-0019-7

☐定 价 60.00 元

图书出现印装问题,请与经销商调换

教育部高等学校材料科学与材料工程教学指导委员会
金属材料与冶金工程教学指导委员会

规划教材

编审委员会

丛书主编

刘业翔

编委会委员

李 劼	王 华	周子民	秦毅仁
唐谟堂	陈 津	王克勤	于庆波
张家元	谢安国	郑 忠	唐道文
王 皓	梁小平		

前 言

.....

随着科学技术的不断发展,冶金新技术不断涌现,对冶金过程及其热工过程理论的研究提出了更高的要求。为满足现代冶金技术专业人才和工程技术人员培训的需要,本书按照教育部高等学校材料科学与材料工程教学指导委员会、金属材料与冶金工程专业教学指导委员会教材出版规划的要求,依据冶金工程专业的教学大纲编写。作为冶金工程、热能工程等专业本科生的教学用书。

大多数冶金过程都是在高温、多相条件下进行的复杂物理化学过程,同时伴有动量、热量和质量的转换与传输现象。本书结合国家节能减排的方针与政策和冶金工程学科对热能基础知识的需要,着重阐述冶金热工方面工程热力学、流体力学和传热传质学的基础理论和计算原理,并注意反映国内外先进科学技术成就和冶金工程学科知识广度的需要。本书在编排上分三篇,内容力求加强基础、便于自学、理论联系实际的原则。第一篇为工程热力学,包括第1章至第11章,对工程热力学的基本概念、基本定律、气体及蒸汽的热力学性质,各种热力过程和循环的分析计算及化学热力学基础知识等内容作了比较详细的论述,力求帮助读者能较好地掌握能量守恒、能量贬值原理以及基本热力过程和循环的计算和分析方法。第二篇为流体力学,包括第12章至第18章,主要讨论流体的性质、动量传递、流体静力学和动力学基本方程流动阻力损失及管路计算等基本内容,并根据工程实际需要,介绍流速和流量等测量仪表的测量原理以及两相、多相流体的流动情况;介绍了流体输送通用机械—泵与风机工作的基本原理;以相似原理为基础的模型实验方法在流体力学中有着广泛的应用,本篇最后扼要地介绍流体力学中的相似原理、模型试验方法以及量纲分析法。第三篇为传热传质学,包括第19章至第26章,主要研究因温度差或浓度差引起的热量或质量传递过程,前几章主要介绍了传热基本概念,导热、对流换热和辐射换热的基本定律、热传递微分方程(组)以及热传递计算;后几章主要介绍传质基本概念,扩散传质和对流传

质机理和传质方程,并分析了传质对传热的影响,最后以双膜传质理论来分析综合传质过程,并简要分析了相界有化学反应的传质过程、多孔介质内部扩散与化学反应,以及传热与传质同时发生的综合传输过程等。

全书由王华担任主编和全书的统稿工作,其中第1~7章由东北大学秦勤(第1~6章)、于庆波(第7章)负责编写;第8~11章由辽宁科技大学谢安国负责编写;第12~18章由中南大学周予民、张家元负责编写;第19~22章由昆明理工大学马文会(第19,20章)、包桂蓉(第21章)、胡建杭(第22章)负责编写;第23~26章由重庆大学郑忠、朱道飞负责编写。

本书在编写过程中参考了大量的文献资料,中南大学出版社为作者提供了宽松的编写条件,使得本书得以如期出版,在此一并表示感谢。

由于水平所限,书中难免有不妥之处,敬请读者不吝指正。

编 者

2010.4

主要符号表

序号	符号	符 号 意 义
1	a	热量传输系数, m^2/s
2	A	面积, m^2
3	A_c	截面积, m^2
4	c	比热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$; 混合物总物质的摩尔浓度, mol/m^3
5	c_f	速度, m/s
6	c_p	比定压热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
7	c_v	比定容热容, $\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
8	c_i	混合物中组分 i 的摩尔浓度, mol/m^3
9	D_{AB}	组分 A 在混合物 AB 中的扩散系数, m^2/s
10	$D_{AB, \text{eff}}$	有效扩散系数, m^2/s
11	D_{AA}	自扩散系数, m^2/s
12	d	耗油量, kg/J ; 含湿量, kg/kg (干空气)
13	d_A	A 组元分子直径, m
14	E	总能(储存能), J ; 辐射力, W/m^2
15	E_d	扩散活化能, J/mol
16	E_x	焓, J
17	E_k	宏观动能, J
18	E_p	宏观位能, J
19	F	力, N
20	G	投入辐射, W/m^2 ; 对流传质速率, mol/s
21	H	焓, J
22	$\Delta H_c^\ominus$	标准燃烧焓, J/mol
23	$\Delta H_f^\ominus$	标准生成焓, J/mol
24	h	对流换热表面传热系数, $\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$; 比焓, J/mol
25	J	有效辐射, W/m^2
26	J_A	组分 A 的扩散摩尔通量, $\text{mol}/(\text{m}^2/\text{s})$
27	j_A	组分 A 的扩散质量通量, $\text{kg}/(\text{m}^2/\text{s})$
28	K	平衡常数

续表

序号	符号	符 号 意 义
29	k	波尔茨曼常数, $k = 1.380658 \times 10^{23} \text{ J/K}$
30	k_c	对流传质系数, m/s
31	k_r	反应速率常数
32	$\bar{l}$	气体分子平均自由程, m
33	M	分子量; 摩尔质量, kg/mol
34	M_a	马赫数
35	m	质量, kg
36	N	混合物的总传质摩尔通量, $\text{mol}/(\text{m}^2/\text{s})$
37	n	多变指数; 分子浓度, 即单位容积内分子数
38	N_i	组分 i 的传质摩尔通量, $\text{mol}/(\text{m}^2/\text{s})$
39	n_i	组分 i 的质量通量, $\text{kg}/(\text{m}^2/\text{s})$
40	p	绝对压力(压强), Pa 或 N/m^2
41	p_b	大气压力, Pa 或 N/m^2
42	p_e	表压, Pa 或 N/m^2
43	p_s	饱和压力, Pa 或 N/m^2
44	p_v	真空度, 湿空气中水蒸气分压力, Pa 或 N/m^2
45	Q	热量, J
46	Q_p	定压热效应, J
47	Q_v	定容热效应, J
48	q_m	质量流量, kg/s
49	q_v	体积流量, m^3/s
50	R	气体常数, $\text{m}^2/(\text{s}^2 \cdot \text{K})$
51	R_A	组分 A 在传质相内化学反应产物的生成率
52	r	分子间的距离, m
53	S	熵, J/K
54	S_g	熵产, J/K
55	S_f	(热)熵流, J/K
56	S_m	摩尔熵, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
57	$S_m^\ominus$	标准摩尔绝对熵, $\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$
58	T	绝对温度, K
59	t	时间, s ; 温度, $^\circ\text{C}$

续表

序号	符号	符 号 意 义
60	t_w	湿球温度, $^{\circ}\text{C}$
61	U	热力学能, J
62	U_m	摩尔热力学能, J/mol
63	u	比热力学能, J/kg
64	$\bar{u}_A$	分子运动平均速度, m/s
65	u_s	沉降速度, m/s
66	V	体积, m^3
67	v	比体积, m^3/kg
68	v_m	摩尔平均速度, m/s
69	W	膨胀功, J
70	W_f	流动功, J
71	W_{net}	循环净功, J
72	W_s	轴功, J
73	W_t	技术功, J
74	W_u	有用功, J
75	w_i	混合物中组分 i 的质量分数, 无因次
76	x	干度(专指湿蒸气中饱和干蒸气的质量分数)
77	x_i	混合物中组分 i 的摩尔分数, 无因次
78	α	离解度
79	δ	厚度, m
80	ε	制冷系数; 发射率; 压缩比; 多孔介质的孔隙率, 即孔隙度, 无量纲
81	$\varepsilon(\lambda)$	光谱发射率
82	ε'	供暖系数
83	η_c	压气机绝热效率
84	η_t	循环热效率
85	$\eta_{t,c}$	卡诺循环热效率
86	λ	导热系数, $\text{J}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{K})$
87	μ	动力粘度, $\text{Pa}\cdot\text{s}$ 或 $(\text{N}\cdot\text{s})/\text{m}^2$
88	φ_i	体积分数
89	γ	运动粘度, $\text{m}^2\cdot\text{s}$
90	θ	角度

续表

序号	符号	符 号 意 义
91	ρ	质量密度, kg/m^3
92	σ	表面张力, N/m
93	τ	切应力, N/m^2
94	ξ	摩阻系数, 无量纲
95	ζ	摩擦系数, 无量纲
96	Bi	毕渥准数, 无量纲
97	Eu	欧拉准数, 无量纲
98	Fo	傅里叶准数, 无量纲
99	Nu	努塞尔准数, 无量纲
100	Pr	普朗特准数, 无量纲
101	Re	雷诺准数, 无量纲
102	St	斯坦顿准数, 无量纲
103	Sc	施密特准数, 无量纲

目 录

第一篇 工程热力学

第1章 基本概念	(3)
1.1 热能的利用	(3)
1.2 工程热力学的研究对象和研究方法	(3)
1.3 热力系统和平衡状态	(4)
1.4 工质的状态参数和状态方程	(5)
1.5 热力过程和热力循环	(8)
习 题	(11)
第2章 热力学第一定律	(12)
2.1 热力学第一定律的实质	(12)
2.2 系统的储存能量	(12)
2.3 系统与外界传递的能量	(13)
2.4 热力学第一定律解析式	(16)
2.5 稳定流动能量方程	(19)
2.6 稳定流动能量方程式的应用	(21)
习 题	(26)
第3章 理想气体的性质	(28)
3.1 理想气体	(28)
3.2 理想气体状态方程式和通用气体常数	(28)
3.3 理想气体的热力性质	(30)
3.4 理想混合气体	(37)
习 题	(42)
第4章 理想气体的热力过程	(44)
4.1 研究热力过程的目的及一般方法	(44)
4.2 定容过程	(44)
4.3 定压过程	(46)
4.4 定温过程	(47)
4.5 绝热过程	(49)
4.6 多变过程	(51)
习 题	(57)

第 5 章 热力学第二定律	(59)
5.1 热力学第二定律的任务	(59)
5.2 热力学第二定律的两种说法	(60)
5.3 热力学第二定律两种表述的等效性	(61)
5.4 卡诺循环及其效率	(61)
5.5 卡诺定理	(65)
5.6 状态参数熵	(67)
5.7 熵增原理及熵方程	(70)
5.8 焓与熵	(73)
5.9 孤立系的熵增与焓损失	(77)
5.10 热力学第二定律对工程实践的指导意义	(80)
习 题	(81)
第 6 章 水蒸气	(83)
6.1 概述	(83)
6.2 基本概念	(83)
6.3 水蒸气的产生过程	(84)
6.4 水蒸气表和图	(88)
6.5 水蒸气的热力过程	(92)
习 题	(94)
第 7 章 气体与蒸汽的流动	(96)
7.1 概述	(96)
7.2 稳定流动的基本方程	(96)
7.3 喷管截面变化规律	(98)
7.4 气体流经喷管的流速和流量	(100)
7.5 有摩阻的绝热流动	(105)
7.6 绝热节流	(106)
习 题	(108)
第 8 章 压气机的热力过程	(109)
8.1 单级活塞式压气机的工作原理	(109)
8.2 单级活塞式压气机所需的功	(109)
8.3 余隙容积的影响	(111)
8.4 多级压缩和级间冷却	(113)
8.5 叶轮式压气机的工作原理	(116)
8.6 引射式压缩机简述	(117)
习 题	(118)
第 9 章 活塞式内燃机循环	(120)
9.1 汽油机实际工作循环和理想循环	(120)

9.2 柴油机的实际工作循环和理想循环	(124)
9.3 活塞式内燃机各种理想循环的比较	(129)
9.4 其他循环	(130)
习 题	(134)
第 10 章 制冷循环	(136)
10.1 制冷装置的理想循环——逆向卡诺循环	(136)
10.2 压缩空气制冷循环	(136)
10.3 压缩蒸汽制冷循环	(140)
10.4 气流引射压气式制冷装置	(142)
10.5 吸收式制冷装置	(143)
习 题	(144)
第 11 章 化学热力学基础	(145)
11.1 概述	(145)
11.2 热力学第一定律在有化学反应系统内的应用	(146)
11.3 绝热理论燃烧温度的计算	(150)
11.4 化学平衡与平衡常数	(153)
11.5 离解与离解度, 平衡移动原理	(155)
11.6 化学反应方向判据及平衡条件	(158)
11.7 热力学第三定律, 熵的绝对值	(162)
习 题	(164)

第二篇 流体力学

第 12 章 流体力学及动量传递	(169)
12.1 流体力学的任务和研究对象	(169)
12.2 流体力学的发展概况和研究方法	(169)
12.3 流体的连续介质模型	(171)
12.4 流体的主要物理力学性质	(172)
习 题	(180)
第 13 章 流体静力学	(181)
13.1 作用在流体上的力	(181)
13.2 静止流体中应力的特征	(182)
13.3 流体平衡的微分方程及其积分	(183)
13.4 重力场中静止流体压强分布规律	(185)
13.5 压强的测量	(186)
13.6 静止液体作用在曲面上液体的总压力	(192)
13.7 液体的相对平衡	(197)
习 题	(200)

第 14 章 流体动力学	(203)
14.1 流体流动现象的描述	(203)
14.2 流体质量衡算——连续性方程	(209)
14.3 流体能量衡算——伯努利方程	(212)
14.4 动量方程	(218)
14.5 流体流动阻力计算	(220)
14.6 管路计算	(236)
14.7 流量测量	(242)
14.8 伯努利方程应用	(246)
14.9 水击现象	(249)
习 题	(251)
第 15 章 两相流体力学	(301)
15.1 两相流体力学的定义及发展	(301)
15.2 气体—液体混合物在管内的流动	(254)
15.3 气固两相流在管内的流动	(264)
习 题	(277)
第 16 章 多相流动	(279)
16.1 颗粒相的物理特性	(279)
16.2 多相流动的基本方程组	(289)
16.3 多相流动的数学模型	(295)
第 17 章 流体输送	(301)
17.1 离心泵	(301)
17.2 离心式通风机	(325)
17.3 其他输送设备	(330)
习 题	(336)
第 18 章 相似原理和量纲分析	(338)
18.1 流动的力学相似	(338)
18.2 动力相似准则	(340)
18.3 流动相似条件	(343)
18.4 量纲分析法	(346)
习 题	(350)

第三篇 传热传质学

第 19 章 基本概念	(355)
19.1 传热学研究对象及其在工程上的应用	(355)
19.2 热传递的基本方式	(355)

19.3	温度场和温度梯度	(356)
19.4	传热速率、传热系数和热阻	(357)
第 20 章	导热	(358)
20.1	导热的基本定律	(358)
20.2	导热微分方程式	(360)
20.3	通过平壁的稳态导热	(363)
20.4	通过圆筒壁和球壳的稳态导热	(368)
	习 题	(369)
第 21 章	对流换热	(370)
21.1	对流换热过程	(370)
21.2	对流换热微分方程式组	(374)
21.3	相似原理在对流换热过程中的应用	(376)
21.4	内部流动强制对流换热及其实验关联式	(379)
21.5	外部流动强制对流换热及其实验关联式	(382)
21.6	流体自然对流时的换热	(386)
21.7	凝结和沸腾时的对流换热	(388)
	习 题	(393)
第 22 章	辐射换热	(395)
22.1	热辐射的基本概念	(395)
22.2	黑体辐射基本定律	(396)
22.3	实际物体的辐射与吸收特性	(399)
22.4	辐射角系数	(400)
22.5	物体间辐射换热的计算	(406)
22.6	气体辐射	(413)
	习 题	(414)
第 23 章	传质基本概念	(416)
23.1	传质过程的特点	(416)
23.2	混合相中物质浓度表达式	(417)
23.3	物质流速与通量	(419)
	习 题	(422)
第 24 章	扩散传质	(423)
24.1	菲克第一定律与扩散系数	(423)
24.2	稳态扩散传质	(438)
24.3	非稳态扩散传质	(450)
24.4	纯金属偶的互扩散	(454)
	习 题	(457)
第 25 章	对流传质	(458)
25.1	对流传质机理	(458)

25.2	对流传质微分方程	(460)
25.3	传质相似系数	(465)
25.4	对流传质的实验公式	(477)
	习 题	(481)
第 26 章	综合传质问题分析	(482)
26.1	相际平衡与平衡浓度	(482)
26.2	双膜传质理论与贯通传质系数	(488)
26.3	相界有化学反应时的传质	(492)
26.4	多孔介质内部扩散与化学反应	(496)
26.5	传热与传质同时发生的综合传输过程	(504)
	习 题	(505)
附 录		(506)
附表 1	常用气体的某些基本热力性质和临界参数	(506)
附表 2	几种理想气体的真实摩尔定压热容公式	(506)
附表 3	理想气体的平均比定压热容	(507)
附表 4	理想气体的平均比定容热容	(508)
附表 5	气体的平均比热容的直线关系式	(509)
附表 6	空气的热力性质	(509)
附表 7	理想气体的热力性质	(512)
附表 8	一些物质在 25℃ 时的燃烧焓 $\Delta H_c^\ominus$	(514)
附表 9	一些物质的标准生成焓、标准吉布斯函数和 25℃, 100 kPa 时的绝对熵	(515)
附表 10	饱和水的热物性参数	(516)
附表 11	干空气的热物理性质 ($p = 1.01325 \times 10^5$ Pa)	(517)
附表 12	伦纳德 - 琼斯势函数确定的碰撞积分 Ω_0 值	(518)
附表 13	固体二元体系的扩散系数	(518)
附表 14	气体二元体系的扩散系数	(519)
参考文献		(520)

第一篇

工程热力学