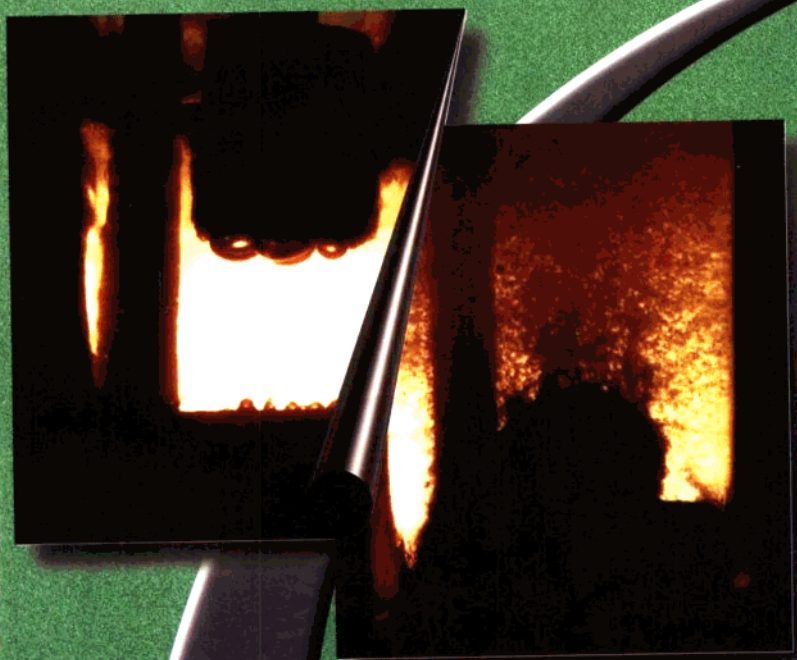


华夏英才基金资助出版项目

铝电解原理与应用

邱竹贤 著



中国矿业大学出版社

华夏英才基金资助出版项目

铝电解原理与应用

邱竹贤 著

中国矿业大学出版社

铝电解原理与应用

邱竹贤 著

责任编辑 黎 强 责任校对 何 戈

中国矿业大学出版社出版发行

新华书店经销 中国矿业大学出版社印刷厂印刷

开本 850×1168 1/32 印张 18.375 插页 8 字数 490 千字

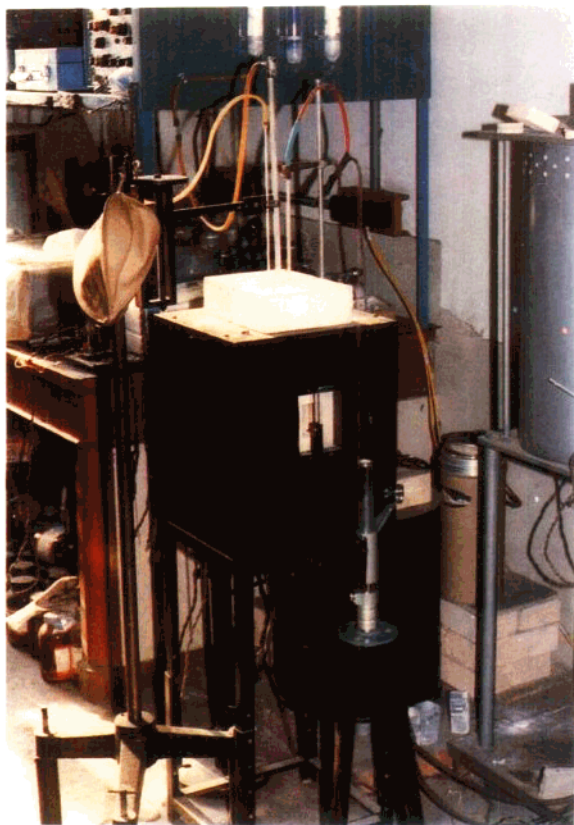
1998 年 7 月第一版 1998 年 7 月第一次印刷

印数:1~1200 册

ISBN 7 - 81040 - 603 - 5

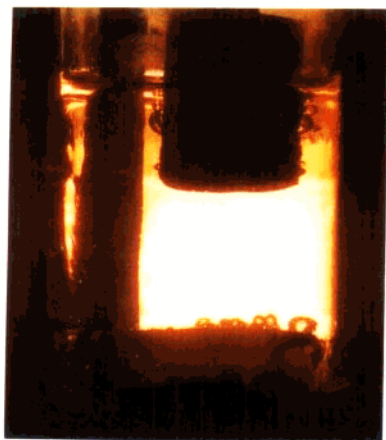
TF·3

定价:60.00 元



图片 1 透明电解槽全图

(图片 1~14 的说明见第 10 章后注解)



(a)



(b)



(c)



(d)

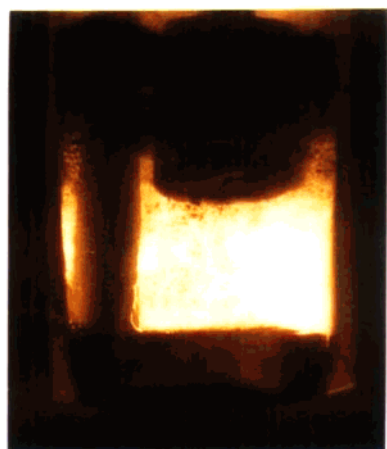
图片 2 铝(Al)电解

(a) 冰晶石—氧化铝熔液电解前($t = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$);

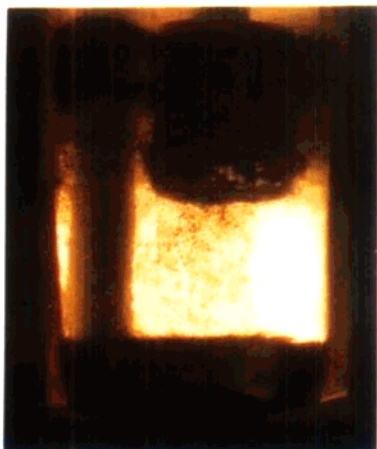
(b) 开始铝电解, $I = 3\text{ A}$;

(c) 继续电解, $I = 3\text{ A}$;

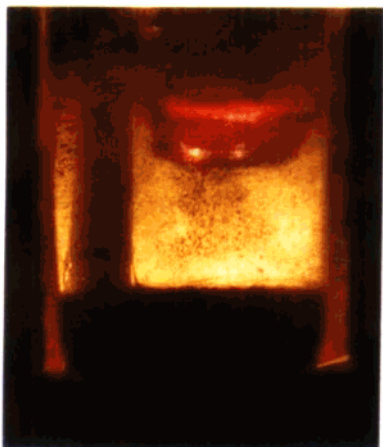
(d) 继续电解, $I = 3\text{ A}$;



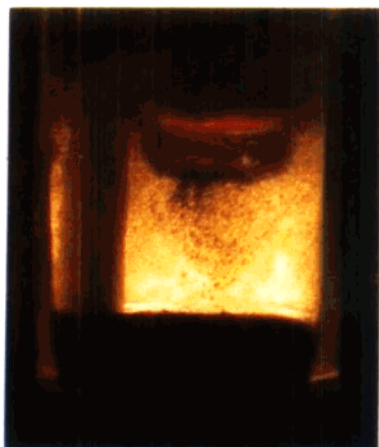
(e)



(f)



(g)



(h)

图片 2 铝(Al)电解

(e) 增大电流, $I = 15\text{ A}$, 开始发生阳极效应;

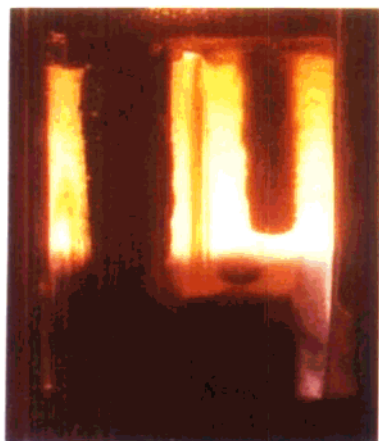
(f) 继续发生阳极效应, $I = 20\text{ A}$;

(g) 继续发生阳极效应, $I = 25\text{ A}$;

(h) 继续发生阳极效应, $I = 30\text{ A}$, 有明显的气体喷射现象。



(a)



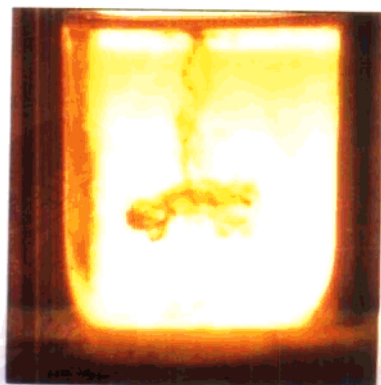
(b)

图片 3 铝溶解时生成金属雾

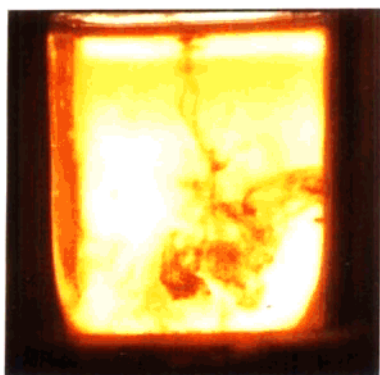
- (a) 铝在冰晶石—氧化铝熔液中溶解时生成紫色金属雾($t = 850\text{ }^{\circ}\text{C}$)；
 (b) 冰晶石—氧化铝熔液在双室电解槽中电解：左室为阴极室，生成紫色金属雾，金属雾从阴极室扩散入右室即阳极室。右室炭阳极上析出 CO_2 气体，它氧化掉扩散进来的铝雾。故铝雾只能上升到距阳极底掌一定远处，在本实验中约为 5 mm 。



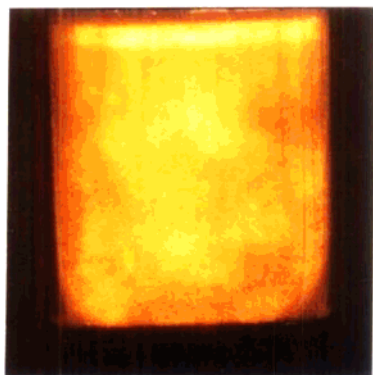
(a)



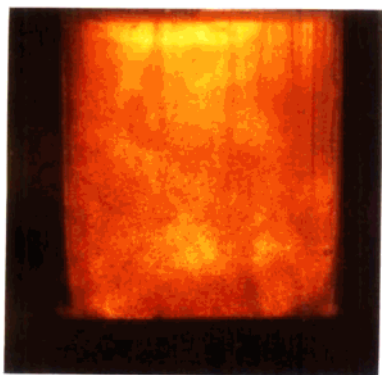
(b)



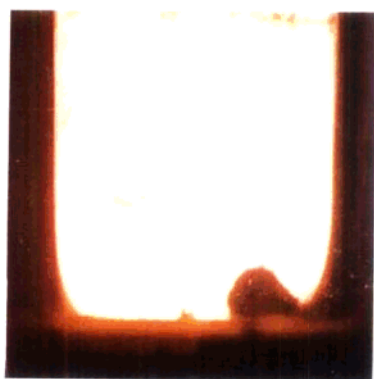
(c)



(d)



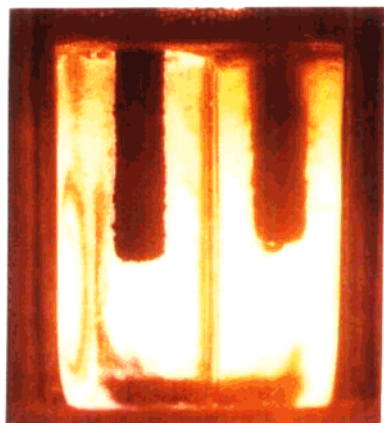
(e)



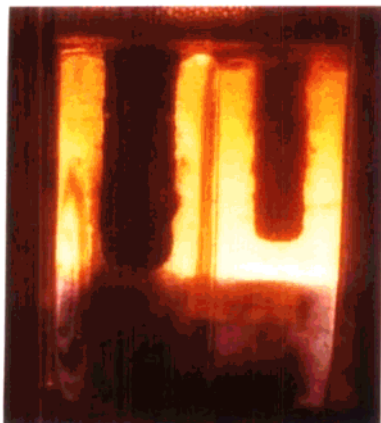
(f)

图片 4 氧化铝(Al_2O_3)在冰晶石熔液中的溶解现象

- (a) 未加氧化铝的冰晶石溶液(摩尔比 = 1.2, $t = 850\text{ }^\circ\text{C}$);
- (b) 氧化铝溶解 0.5% (质量)时;
- (c) 氧化铝溶解 1.0% (质量)时;
- (d) 氧化铝加入量为 3% (质量)时;
- (e) 氧化铝加入量为 5% (质量)时;
- (f) 停止加料后,未溶解的氧化铝沉降在底部,成为团块。



(a)



(b)

图片 5 铝电解中的炭阴极膨胀现象

左为阴极,析出铝雾;右为阳极,析出 CO_2 气体。电解质组成: $\text{NaF}:\text{AlF}_3$ (摩尔比) = 1.2, Al_2O_3 为 5%, NaCl 为 10%, $t = 800^\circ\text{C}$ 。

(a) 开始电解时;

(b) 电解 30 min 后。



(a)



(b)

图片 6 双极性电极铝电解与惰性阴极铝电解

(a) 双极性电极铝电解: 左为炭阴极, 中为炭电极(双极性), 右为炭阳极;

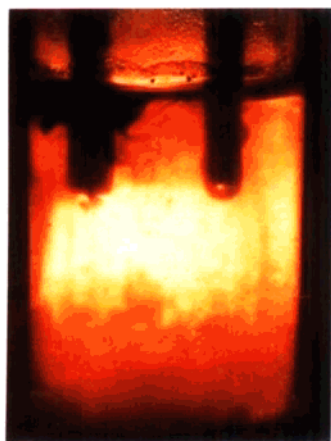
(b) 惰性阴极铝电解: 左为 TiB_2 阴极, 右为炭阳极。



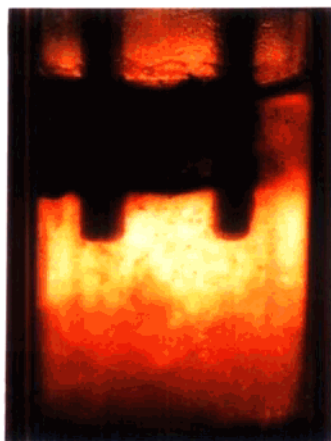
(a)



(b)



(c)



(d)

图片 7 镁(Mg)电解

电解质组成: 5% MgCl_2 + 95% [$\text{NaCl}:\text{KCl}$ (摩尔比)=1], $t = 800\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(a) 电解开始, 左为阴极, 右为阳极;

(b)、(c)和(d) 继续电解, 阴极上析出镁, 镁液上浮; 阴极上析出 Cl_2 气, 使熔液呈红色。



(a)



(b)

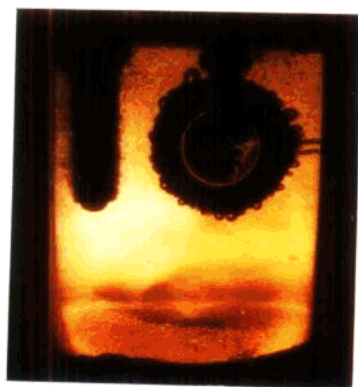
图片 8 三层液铝电解精炼过程($t = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$)

(a) 电解开始;

(b) 电解继续进行。在电解槽中,被提纯的铝在下层,精炼出来的铝在上方。



(a)

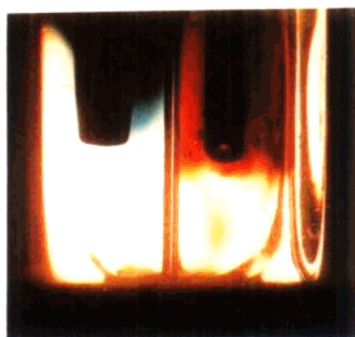


(b)

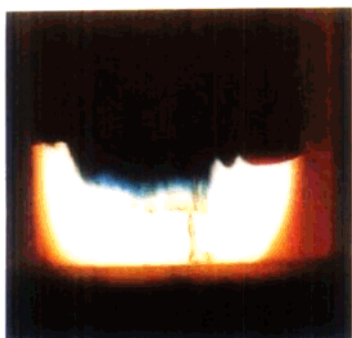
图片 9 融盐电解中的电极效应

(a) NaCl 融盐电解中钠雾的“(阴)极效应”, $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, 30 A , 30 V 。左为阳极,右为阴极;

(b) 冰晶石—氧化铝融盐电解中炭阳极上的阳极效应, $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, 20 A , 20 V 。左为阴极,右为阳极。



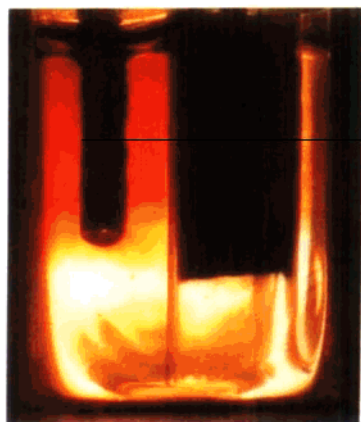
(a)



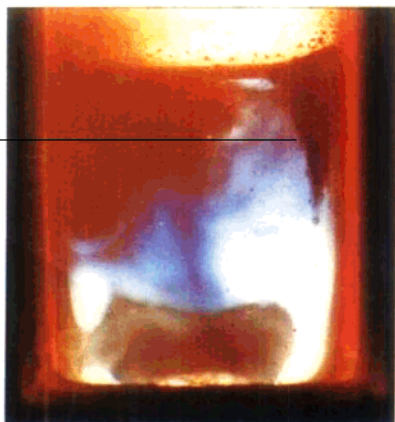
(b)

图片 10 钾(K)电解

- (a) 钾电解, KCl 熔液在双室槽中电解, 左室为阴极室, 析出钾, 熔液呈绿色;
右室为阳极室, 析出 Cl_2 气, 熔液呈红色;
- (b) KCl 熔液中加入钾, 熔液呈绿色。 $t = 900^\circ\text{C}$ 。



(a)



(b)

图片 11 钠(Na)电解

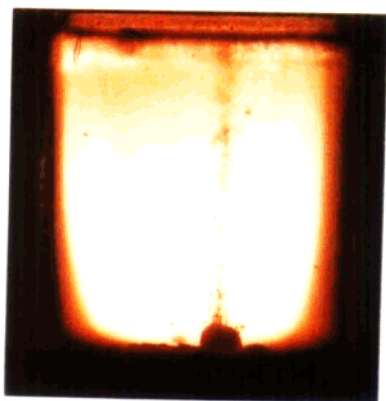
- (a) 钠电解, NaCl 熔液在双室槽中电解, 左室为阳极室, 析出 Cl_2 气, 熔液呈红色; 右室为阴极室, 析出钠, 熔液呈蓝色;
- (b) NaCl 熔液中加入钠, 熔液呈蓝色。 $t = 900^\circ\text{C}$ 。



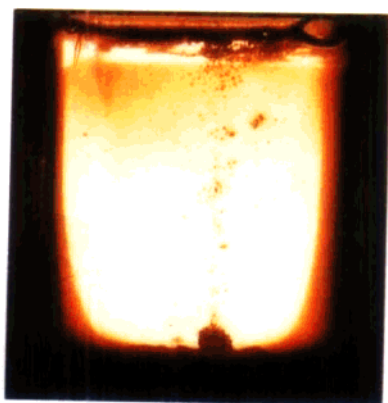
(a)



(b)



(c)



(d)

图片 12 锌(Zn)电解与溶解

电解质组成: 5% ZnCl_2 + 95% [$\text{NaCl}:\text{KCl}$ (摩尔比) = 1], $t = 800^\circ\text{C}$ 。左室为阴极室, 析出颗粒状锌; 右室为阳极室, 析出 Cl_2 气, 熔液呈红色。

(a)、(b) 电解;

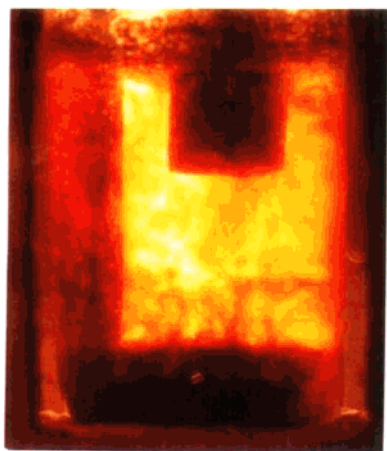
(c)、(d) 溶解。 $t = 500^\circ\text{C}$ 。



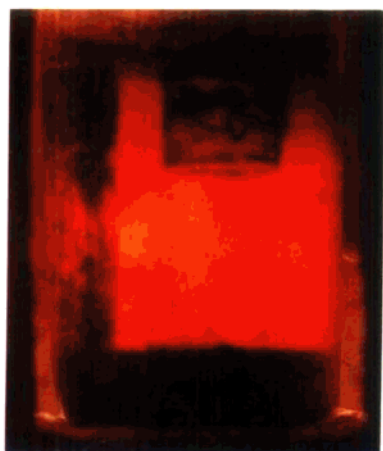
(a)



(b)



(c)



(d)

图片 13 铅(Pb)电解

电解质组成: 5% PbCl_2 + 95% [$\text{NaCl}:\text{KCl}$ (摩尔比)=1], $t = 800\text{ }^{\circ}\text{C}$, 阳极上析出 Cl_2 气, 使熔液染成红色。

(a)、(b) 正常电解时;

(c)、(d) 发生阳极效应时。



(a)



(b)



(c)



(d)

图片 14 氯气(Cl_2)对熔液染色的影响($t = 800\text{ }^\circ\text{C}$)

电解质组成: 5% PbCl_2 + 95% [$\text{NaCl}:\text{KCl}$ (摩尔比) = 1]

(a) 未通入 Cl_2 气;

(b)、(c)和(d) 通入 Cl_2 气后, 熔液呈红色。

前 言

全世界的铝产量现在接近 2400 万吨,仅次于钢,居各种有色金属之首位。我国正在积极发展铝工业,铝产量接近 200 万吨,是当今世界的产铝大国,未来的发展前程似锦。故撰写一本有关铝冶金基础理论与应用的书籍是必要的。

本书的编写工作开始于 60 年代初期,当时出于教学和科研的需要。承蒙徐采栋先生推荐,1985 年在上海科学技术出版社出版了《铝冶金物理化学》一书。诚因国内外的铝冶炼生产技术和科学研究在随后十多年里迅速发展,深感此书在内容上需要作大的补充和修改。故历经几度寒暑,广泛阅读当代文献,并汇集实验室研究成果,修订成此书,取名为《铝电解原理与应用》。此书蒙中国矿业大学出版社襄助出版。

编写此书的一些基本想法仍然是:

第一,力图把铝冶金的原理和应用密切联系起来,视工业生产实践和实验研究为知识的主要源泉。

第二,由于冰晶石—氧化铝熔液是高温熔液,而且具有很大的侵蚀性,故铝电解的理论研究工作比较难于进行,若干基本理论,例如有关熔液结构和电极反应的见解,至今仍然存在着分歧。因此,本书注意收集、整理已有的文献资料,侧重于研究方法、实验装置和研究结果的阐述,以便为理论研究工作提供参考。本书前部刊出的 12 页彩色图片,是多年来在透明电解槽上拍摄到的,涉及铝、镁、钾、钠、铅、锌的融盐电解,观测到若干重要的现象,具有一定的

科学价值,可供研究讨论。

第三,本书对于炼铝新方法给予相当的重视。这是因为现在通用的炼铝方法还有不少缺点,例如电耗率甚高,每吨铝需 15 000 kW·h。从长远来看,改革现有的生产技术,研究新的炼铝方法是非常必要的。本书分析讨论了几种炼铝新方法,可以从中选择究竟哪条途径是可行的,或者是有前途的。

本人在多年的国际学术交往中,曾先后访问挪威、新西兰、丹麦、澳大利亚、美国、日本、俄罗斯等国的铝厂、大学和研究所,结识了多位著名的融盐化学专家,获益良多,其中尤其要感谢挪威奥斯陆大学的凯·格罗泰姆教授(Professor Kai Grjotheim)多年来对我学术思想的启迪和具体的帮助。

本书的编写修订还引用了东北大学轻金属冶炼教研室的一些教师和研究生在铝冶金方面的部分研究论文资料。对于他们的热情支持和帮助,本人始终铭记于心。

还有一点需要说明:由于国际现行的标准在热焓、焓、反应热、粘度以及其他有关熔液的物理化学参数方面仍继续沿用工程单位制,为尊重引出文献并确保计算分析的准确性,本书在有些章节中仍按原单位引用了若干文献及数据。考虑到我国已于1993年开始推行国际单位制(SI),故在采用工程单位制的同时,本书尽可能地给出了两种单位制的换算关系。这一点敬请读者谅解。

本书承蒙中共中央统战部“华夏英才基金”首批资助出版,感激之情,难以言表。

沈阳北方净化技术有限公司在其创建初期也给予部分资助,实为难得,谨此致谢。

由于本人学识水平有限,书中一定有不少缺点和错误,敬请读者给予批评指正。

邱竹贤

1997年7月12日