



预焙槽炼铝

(第3版)

邱竹贤 编著

Yubeicao Lianlü

Al



冶金工业出版社

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

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

预焙槽炼铝

(第3版)

邱竹贤 编著

Al

北京

冶金工业出版社

2005

内 容 简 介

本书对代表现代铝工业主要发展方向的预焙槽炼铝技术进行了全面系统的剖析。全书分3篇,共26章,阐述了现代炼铝的基本原理和铝工业国内外发展概况及趋势;详细介绍了预焙槽炼铝的生产技术,涉及炼铝过程中对电流效率、电能消耗等工艺参数的控制,铝电解槽的磁场、铝液循环流动、冰晶石-氧化铝熔液对电极的湿润和渗透、阳极效应、低温铝电解等铝电解槽内的现象,铝精炼、铝合金等相关技术,以及预焙阳极电解槽、预焙阳极等主要设备;同时介绍了惰性阳极、惰性阴极和铝电解槽的绝缘侧壁等炼铝新技术,铝电解槽的过程控制、烟气治理、破损与维护、废旧阴极炭块和炭渣的回收利用等辅助技术内容;另外,附录中收录了元素的电化学当量,预焙槽的物料平衡和能量平衡计算,金属铝、镁、硅以及炼铝物料的国家标准等有用资料。

本书主要适于从事铝工业的生产技术、工程技术和研究人员阅读,也可供高校冶金专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

预焙槽炼铝/邱竹贤编著. —3版. —北京:冶金工业出版社,2005.1

ISBN 7-5024-3558-1

I. 预… II. 邱… III. 预焙电解槽—炼铝
IV. TF821.327

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 049715 号

出版人 曹胜利(北京沙滩嵩祝院北巷39号,邮编100009)

责任编辑 杨传福 谭学余 李 梅 美术编辑 李 心

责任校对 王贺兰 李文彦 责任印制 牛晓波

北京市铁成印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

1980年6月第1版,1988年8月第2版,2005年1月第3版,2005年1月第3次印刷

169mm×239mm;39.75印张;5插页;773千字;609页;6601-10600册

89.00元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街46号(100711) 电话:(010)65289081

(本社图书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

第 2 版 序 言

《预焙槽炼铝》初版脱稿于 1978 年,至今已有 8 年。近数年来,全世界铝工业取得了重大的技术进展:第一,电解槽的容量大幅度增大,系列电流强度达到 28 万安培;第二,电解的电流效率突破 90%,少数超过 92%;第三,各国竞相研制新型电极材料,电解槽的类型将要发生重大的变革。其目的是为增产和节电。鉴于我国有丰富的铝矿资源和能源,铝工业的发展正方兴未艾,因此重新修订此书。修订时在电流效率,节省电能以及电极新材料等方面做了较多补充,其余各章节也做了适当的修改。作者希望此书能为发展我国铝工业贡献绵薄。书中阙失疏漏之处,敬祈读者不吝指正为幸。

编 著 者
1985 年

第 3 版序言

《预焙槽炼铝》初版脱稿于 1978 年,第 2 版脱稿于 1985 年,现在是第 3 版,定稿于 2004 年。这 3 个版本先后历时 26 年,均蒙冶金工业出版社鼎力支持,给予出版,作者谨致以深切的谢意。

在这 26 年内,全世界的铝工业发生了重大改革:(1)铝的年产量增加了 80%,1978 年为 1460 万 t,2003 年达到 2700 万 t。(2)电解槽的容量,1978 年美国铝业公司的最大预焙槽为 22 万 A,现在法国彼施涅公司扩充到 50 万 A。我国铝工业在此期间也发生了重大变化。记得 1978 年,我国只有郑州铝厂和抚顺铝厂有 7 万 A 系列与 10 万 A 试验预焙槽,全国主要用 6 万 A 侧插棒自焙槽,铝的年产量只有 40 万 t。但令人惊异的是,到 2003 年我国原铝产量迅速增加到 550 万 t,雄居世界首位。新建的铝厂大多采用 30 万 A 预焙槽,原有的自焙槽纷纷改建成 20 万 A 级的预焙槽,我国铝电解工业的格局基本改观。

由于预焙阳极铝电解槽的迅速发展,1980 年出版的《预焙槽炼铝》及 1988 年的第 2 版早已脱销,而且内容远不适应于时代的需求,许多读者提出再次修订的意见。因此冶金工业出版社与作者商议再次修订《预焙槽炼铝》,出版第 3 版。

作者在修订此稿时,从书架上寻找到初版与第 2 版两个版本,翻阅其内容,闻到时代的气息,感触颇深,并感谢广大读者对此书的爱护之忧。我整理了自己近年来发表的有关预焙槽炼铝基础研究的著作,作为此书的主要内容。同时我广泛阅读美国出版的 *Light Metals* 年刊从 1995~2003 年的重要文章,我国出版的《轻金属》月刊中的重要文章,以及王平甫和宫振主编的《铝电解炭阳极技术》、田应甫的《大型预焙槽的生产实践》和霍庆发的《电解铝》诸书。另外,我从东北大学诸位学者的著作和博士学位论文中摘取其精华,作为本书的重要素材。我还阅读了德国新出版的 *Aluminium Electrolysis - Fundamentals of the Hall-Héroult Process* (第 3 版,2001 年),我从此书中获得新的思路 and 观点。

我对于上述多方面的资料深表钦仰。

本书名曰《预焙槽炼铝》，顾名思义，既包括槽本身，又要兼顾炼铝，即其基本原理。所谓“预焙”是与“自焙”相对而言的，两者都是炭阳极。但是，现在惰性电极风起云涌，大有取代炭阳极之势，故本书也重点介绍了惰性阳极、惰性阴极和绝缘侧壁等新内容。

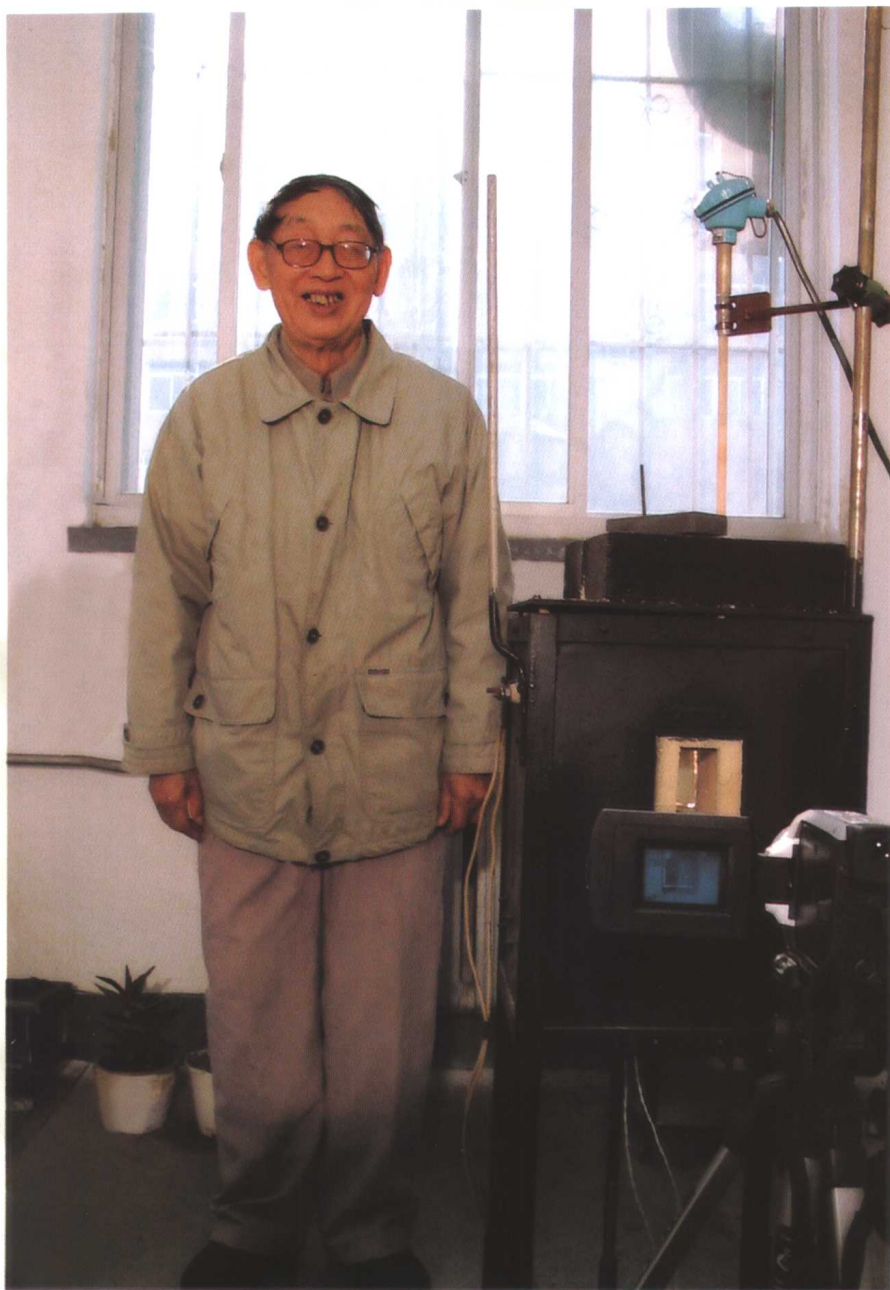
本书承蒙国家科学技术学术著作出版基金委员会资助，感激之情，难以言表。本书中有铝厂实例8则，蒙贵州铝厂、平果铝厂、抚顺铝厂、青海铝厂、豫港龙泉伊川铝厂、南山铝厂、兰州铝业股份有限公司和青铜峡铝厂等提供素材，尤其是青海铝厂、豫港龙泉伊川铝厂、南山铝厂、兰州铝业股份有限公司和青铜峡铝厂给予了大力支持，谨在此一并致谢。我国还有不少有特色的铝厂，容以后补进去，以便让读者进一步了解我国铝工业的概貌。

诺贝尔化学奖评委、挪威格罗泰姆教授(Professor Kai Grijotheim)，是世界上一位伟大的铝冶金学家，他对我国的铝工业、教育和科学研究极其关注，并为多位青年学者提供出国访问的机会，凡此一切，我们终生不忘。他不幸于2003年4月17日逝世，谨在此书中致以沉痛悼念。

作者希望本书能为促进我国铝工业发展贡献绵薄之力。书中阙失疏漏之处，敬祈读者不吝指正为幸。

邱竹贤

2004年7月于沈阳东北大学



彩图1 作者在实验室(旁边为透明电解槽摄像全图)



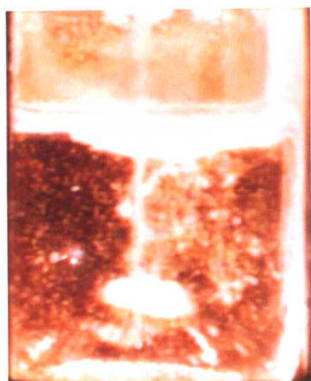
a



b



c

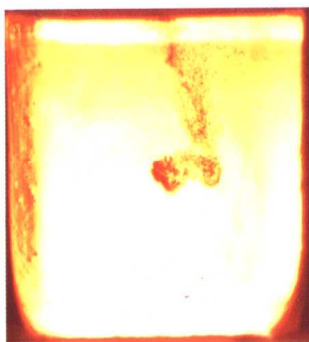


d

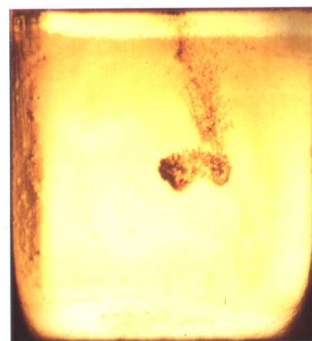
彩图2 在透明电解槽中拍摄到的氧化铝在冰晶石熔液中的溶解过程 (*a~d*)



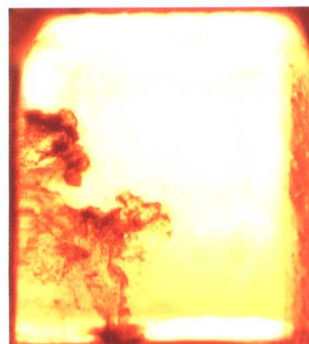
a



b



c



d

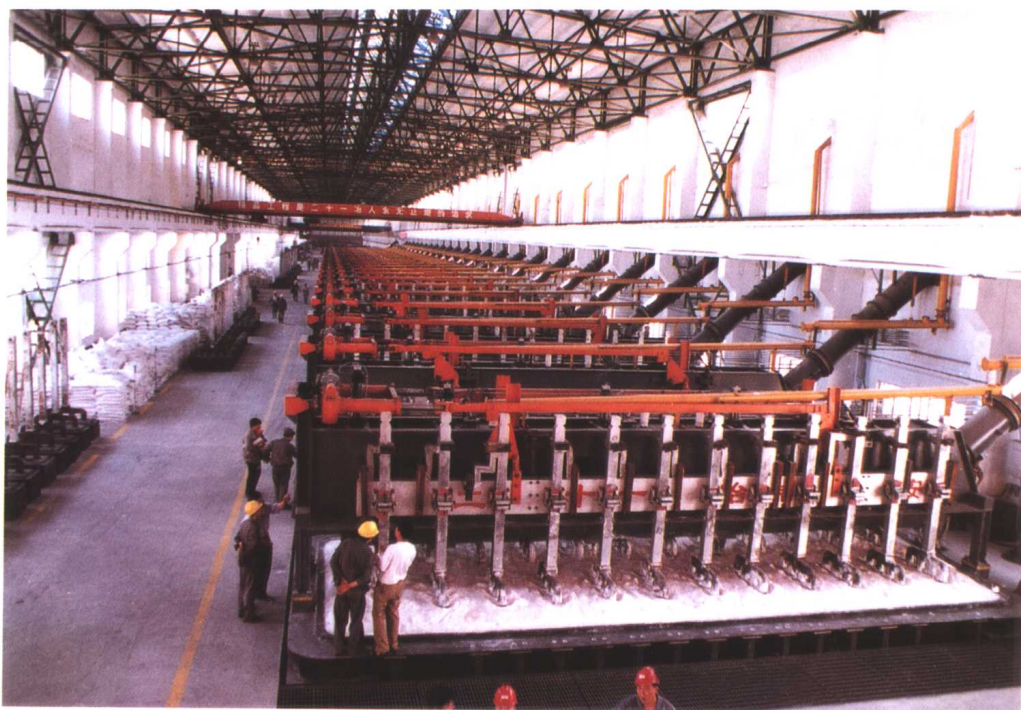
彩图3 氧化铝 (Al_2O_3)在冰晶石熔液中的溶解现象
(相当于现代点式下料时的浓度)

a — 已经溶解了 2% Al_2O_3 的熔液 (NaF/ AlF_3 物质的量比为 2.0, 900°C)

b — 加入 1% Al_2O_3 时

c — 加入 1.5% Al_2O_3 时

d — 加入 2% Al_2O_3 时



彩图 4 贵州铝厂 200kA 大型预焙槽系列



彩图 5 贵州铝厂烟气净化系统



彩图6 广西平果
铝厂 320kA 大型预焙
槽系列



彩图7 抚顺铝厂
200kA 大型预焙槽系列



彩图8 青海铝厂
200kA 大型预焙槽系列

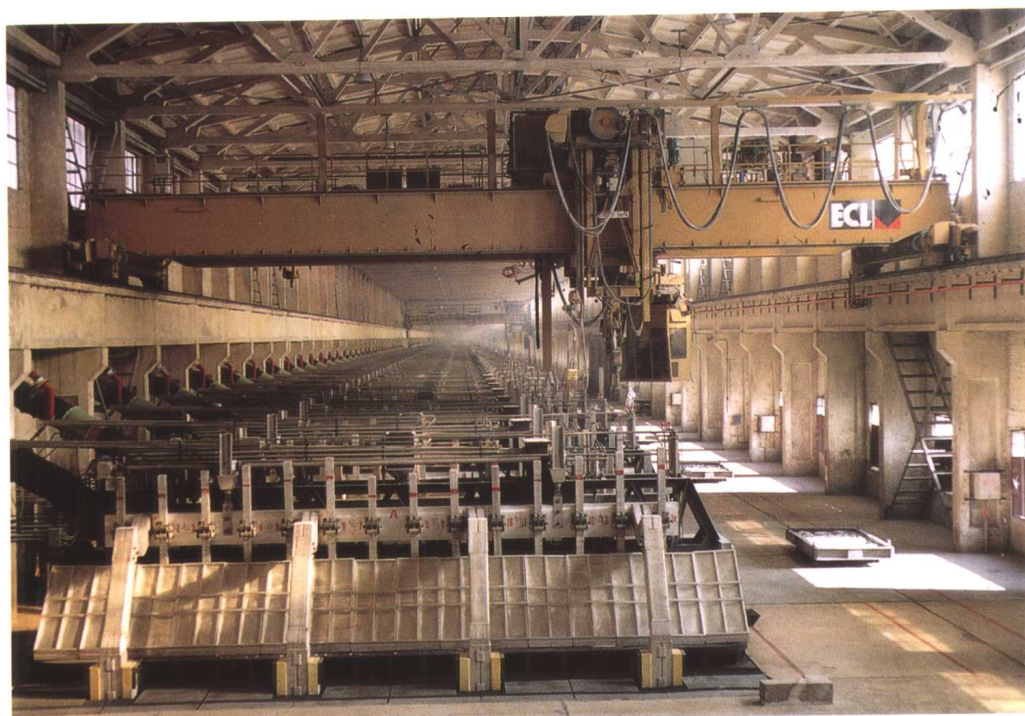
彩图9 龙泉伊川铝厂
300kA 大型预焙槽系列



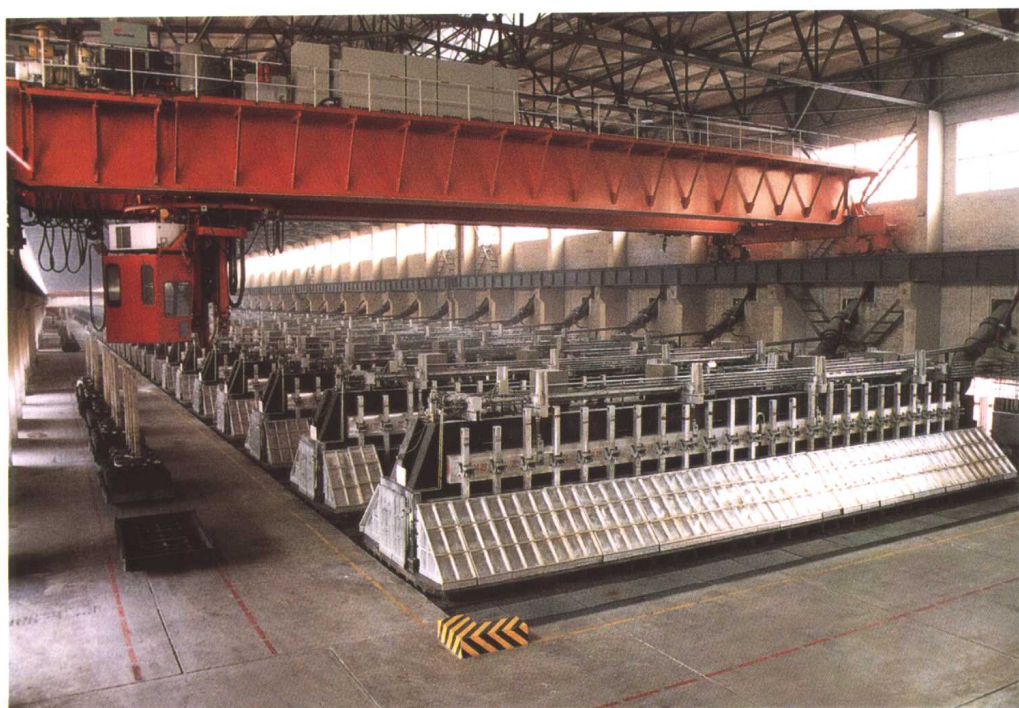
彩图10 南山铝厂
300kA 大型预焙槽系列



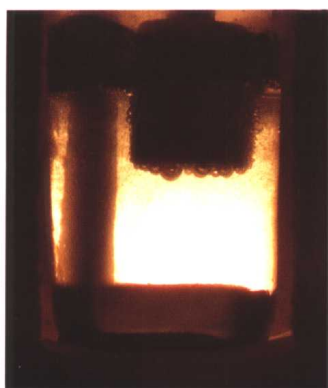
彩图11 兰州铝业
股份有限公司 200kA
大型预焙槽系列



彩图 12 青铜峡铝厂 200kA 大型预焙槽系列



彩图 13 青铜峡铝厂 350kA 大型预焙槽系列



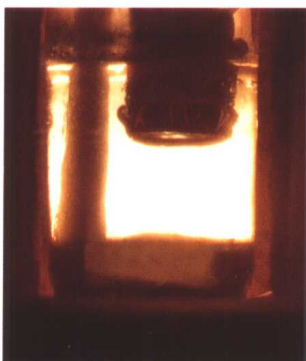
a



b



c



d

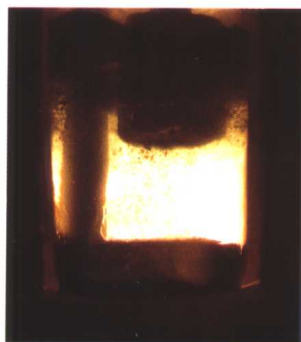
彩图 14 在透明电解槽中记录到的铝电解过程 (一)

a — 冰晶石-氧化铝熔液电解(850℃), 3A, 炭阳极上有小气泡

b — 继续电解, 3A, 炭阳极上气泡增大

c — 继续电解, 3A, 炭阳极上气泡增大

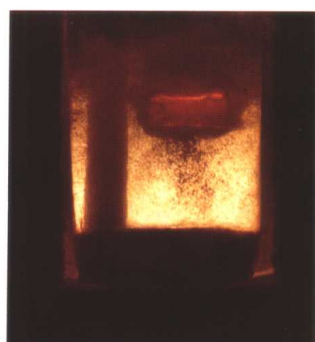
d — 继续电解, 3A, 炭阳极上小气泡合并成大气泡



a



b



c

彩图 15 在透明电解槽中记录到的铝电解过程 (二)

a — 增大电流至 15A, 开始发生阳极效应

b — 增大电流至 20A, 继续发生阳极效应

c — 增大电流至 30A, 继续发生阳极效应

d — 铝在冰晶石-氧化铝熔液中溶解时产生紫色金属雾



d



a

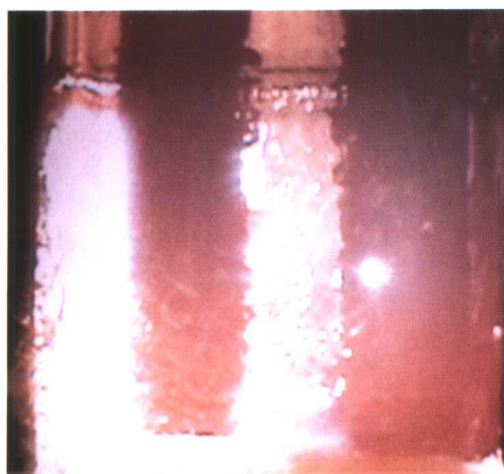


b

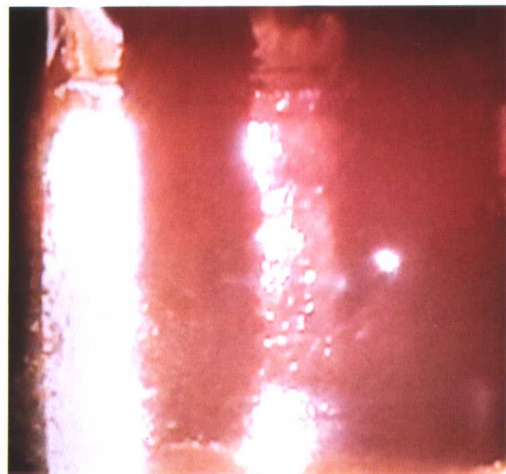
彩图 16 300A 惰性阳极电解时产生氧气

a - 白色气泡层为氧气

b - 300A 惰性阴极盘在镀覆 TiB_2
后的形貌



a



b

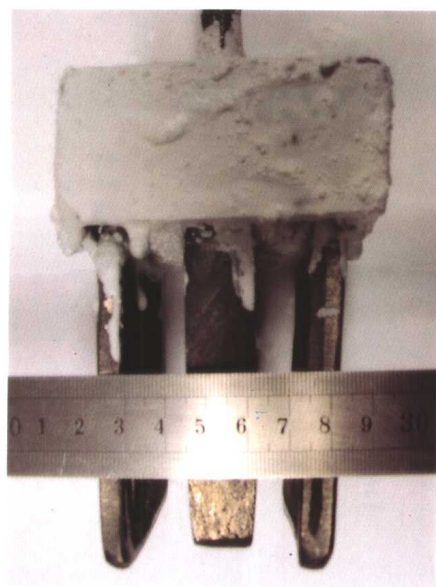
彩图 17 惰性阳极在透明电解槽中电解析出氧气

a、*b* - 左为阳极室，插入惰性阳极，产生氧气；
右室为阴极室，插入炭棒，生成铝雾



a

b



c

彩图18 惰性阳极在透明电解槽中电解

a、*b*—左室为阴极室，插入炭棒，
产生铝雾；右室为阳极室，
插入惰性阳极，产生氧气
c—300A 复合惰性阳极在电解
后的形貌

目 录

第 1 篇 炼铝的基本原理与铝工业概况

第 1 章 绪论	3
1.1 炼铝的历史	3
1.2 铝的性质和用途	4
1.2.1 铝的物理性质	5
1.2.2 铝的化学性质	5
1.2.3 铝合金的种类	7
1.2.4 铝的用途	9
1.3 铝电解用的原料和熔剂	12
1.3.1 铝电解生产流程	12
1.3.2 铝电解的原料:氧化铝	12
1.3.3 铝电解的熔剂:氟盐	15
参考文献	18
第 2 章 铝电解质基础体系和添加剂	19
2.1 铝电解质基础体系	19
2.1.1 NaF-AlF_3 二元系	19
2.1.2 $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-Al}_2\text{O}_3$ 二元系	22
2.1.3 $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-AlF}_3\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三元系	25
2.2 铝电解质的改善:添加剂的应用	27
2.2.1 氟化钙(CaF_2)	27
2.2.2 氟化镁(MgF_2)	29
2.2.3 氟化锂(LiF)	30
2.2.4 氯化钠(NaCl)	31
2.2.5 添加剂对电解质初晶点的综合影响	33

2.2.6 工业铝电解质的发展趋势	35
参考文献	36
第3章 铝电解质的物理化学性质	37
3.1 密度	37
3.1.1 密度测量方法	37
3.1.2 $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-Al}_2\text{O}_3$ 熔液的密度	38
3.1.3 NaF-AlF_3 熔液的密度	38
3.2 电导率	40
3.2.1 电导率的测量方法	40
3.2.2 Na_3AlF_6 和 NaF 的电导率	41
3.2.3 $\text{Na}_3\text{AlF}_6\text{-Al}_2\text{O}_3$ 熔液的电导率	41
3.2.4 炭粒和氧化铝悬浮物对熔液电导率的影响	43
3.3 迁移数	44
3.3.1 迁移数的测量方法	44
3.3.2 迁移数的测量结果	45
3.4 铝电解质的酸碱度	46
3.4.1 铝电解质酸碱度的表示方式及其相互关系	47
3.4.2 工业铝电解质的物相	49
3.4.3 工业电解质 NaF/AlF_3 物质的量比的测定	50
3.4.4 离子选择电极法	55
3.4.5 调整电解质酸碱度的计算	60
参考文献	61
第4章 氧化铝在冰晶石熔液中的溶解	62
4.1 氧化铝在冰晶石熔液中的溶解反应	62
4.2 氧化铝的溶解速度	63
4.2.1 温度对氧化铝溶解速度的影响	65
4.2.2 添加剂对氧化铝溶解速度的影响	66
4.3 工业电解槽中氧化铝的溶解	67
4.4 氧化铝浓度的检测方法	69
4.5 透明槽观测氧化铝的溶解过程	73
4.5.1 透明电解槽	73
4.5.2 氧化铝试样的粒度和组成	74
4.5.3 实验过程	74