

Modern Aluminum Electrolysis Production Technology and Management



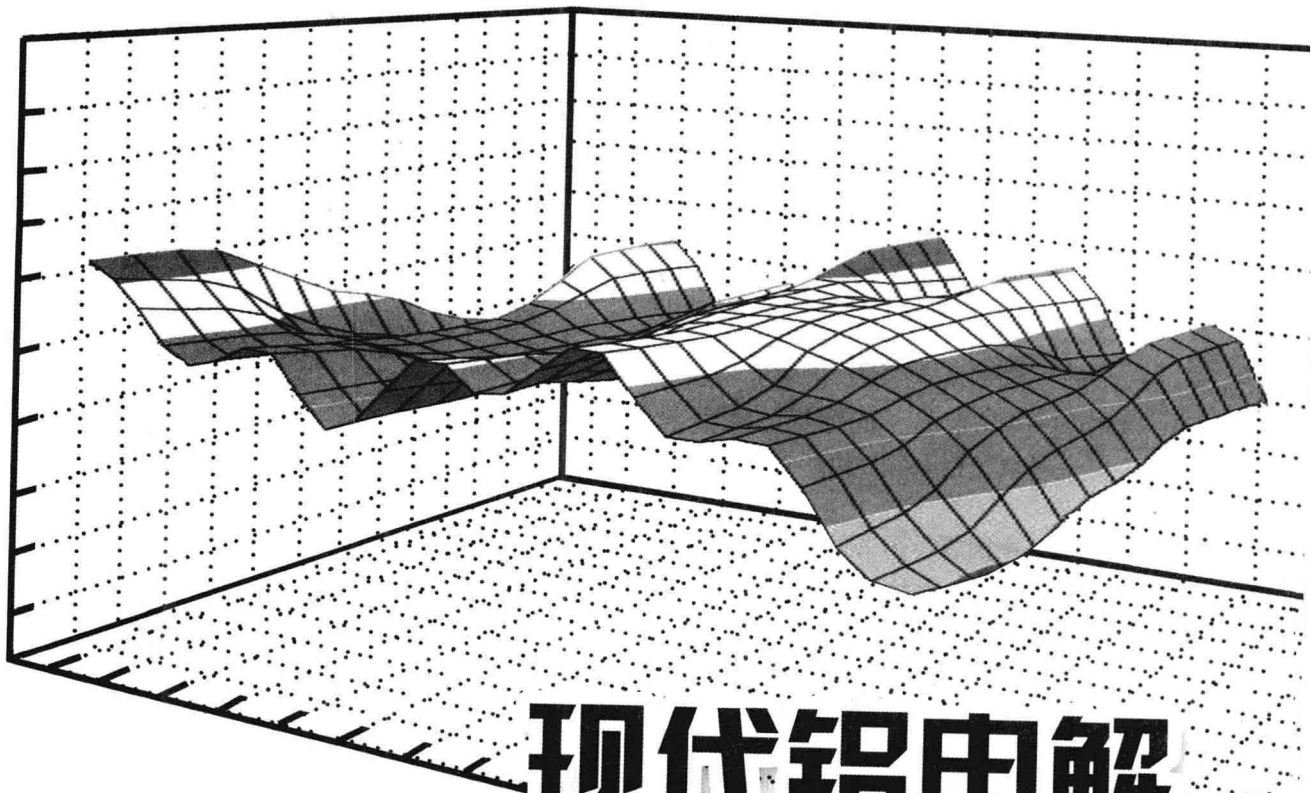
现代铝电解 生产技术与管埋

梁学民 张松江 主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

Modern Aluminum Electrolysis
Production Technology and Management



现代铝电解 生产技术与管理

梁学民 张松江 主编



中南大学出版社
www.csupress.com.cn

内容提要

本书共6篇29章120多万字。主要以国内典型电解铝企业320 kA、400 kA系列生产线建设与生产管理、技术创新为实例,系统介绍了电解铝工业的发展和现状、400 kA级铝电解生产技术及管理、原铝熔铸生产与管理、铝电解用预焙阳极、电解铝工程技术与管理、铝电解生产实践与研究等方面的内容;认真阐述了大型铝电解槽不停电停开槽等一系列技术创新成果在铝电解生产上的应用实践;研究分析了电解铝技术发展导向和节能降耗思路。

本书适于从事铝电解生产管理、工程建设、技术研究人员和中、高等院校冶金专业学生阅读、参考,也可作为铝电解生产一线员工的培训实用教材。

图书在版编目(CIP)数据

现代铝电解生产技术与管理/梁学民,张松江主编.
—长沙:中南大学出版社,2011.11

ISBN 978-7-5487-0428-7

I. 现... II. ①梁... ②张... III. ①氧化铝电解-生产技术
②氧化铝电解-生产管理 IV. TF821.032.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第214453号

现代铝电解生产技术与管理

梁学民 张松江 主编

责任编辑 秦瑞卿

责任印制 周颖

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 长沙市华中印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 47.5 字数 1230千字 插页 12

版 次 2011年11月第1版 2012年8月第2次印刷

书 号 ISBN 978-7-5487-0428-7

定 价 120.00元

图书出现印装问题,请与经销商调换

序

中国铝电解技术自20世纪70年代末引进160 kA中间下料预焙槽技术之后，从消化国外技术开始，揭开了中国现代铝电解技术发展的序幕。以铝电解槽热电磁力特性及磁流体数学模型研究为核心，在工艺、材料、过程控制及配套技术等方面展开了广泛深入的研究工作。进入21世纪以来，基础理论、大型铝电解槽开发以及工程应用取得了一系列成果，成功开发了320 kA、400 kA、500 kA以上的特大型电解槽技术，使电解铝行业的技术进步令人注目。

近几年来，我国有色金属工业持续快速发展，通过自主创新和产学研联合攻关，成功研究开发了一大批有色金属工业节能减排、资源综合利用等行业共性、关键技术并用于生产，显著提高了企业生产技术装备水平，增强了我国有色金属工业的竞争力。河南中孚实业股份有限公司是河南铝工业的典型代表，多年来，坚持科学发展观，走可持续发展的道路，发挥煤-铝-电-铝深加工产业链优势，形成了“一体双翼”的发展模式，即以产业为基础，以资本运营和科技创新为双翼，不断创新发展、做强做大。2007年8月，牵头与中科院、国内著名大学、行业先进企业共15家单位成立了“国家高效节能铝电解技术创新战略联盟”，先后承担了一批国家重大专项以及“863”、“973”和科技支撑计划等重大攻关项目，铝电解方面的节能和低碳技术的研究开发取得了较大进展。

自2002年以来，河南中孚实业股份有限公司先后建成投产了320 kA、400 kA系列电解槽，开发应用了大型铝电解系列不停电停开槽技术，组织实施了国家科技支撑计划“低温低电压铝电解新技术”、国家“863”计划重点项目“高温超导技术研究”等重要项目，生产管理与科技创新实践值得总结、值得思考、值得学习。该公司科技、生产管理人员利用业余时间，对8年来的生产管理实践、技术创新成果进行了认真梳理，集结成书，权且作为贡献给电解铝行业同仁的一份薄礼。

中国有色金属工业发展任重而道远。本书的特色是“源于实践、总结实践”。希望此书能进一步激发电解铝行业同仁探索新思路、研发新技术的热情，为推动整个行业的持续、健康发展作出更大的贡献。

中国有色金属工业协会副会长
河南豫联能源集团有限责任公司董事长



前 言

21 世纪的前十年，中国铝电解技术有了突飞猛进的发展，320 kA、350 kA、400 kA、500 kA 系列铝电解槽相继建成、投产。敢想敢做的中国铝电解人，不断开拓创新，锐意进取，使得中国铝电解装备水平、生产技术日新月异，科技创新、节能降耗成果丰硕，中国已成为铝电解生产大国，并正向技术强国迈进。

本书以河南中孚实业股份有限公司为实例，全面总结该公司近年来特大型预焙槽铝电解工程建设、生产技术与管理、科技创新等方面的实践经验，有两大特色：一是生产实践和技术管理内容丰富，有思想，有创新，实用性强；二是介绍了一系列节能环保、综合利用方面的新技术、新突破，对推动科学发展、促进节能减排有着抛砖引玉的作用。

本书编写历时近三年。在编写过程中，得到了河南豫联能源集团有限责任公司、河南中孚实业股份有限公司、林州市林丰铝电有限责任公司、东北大学设计院、河南银湖铝业有限责任公司、郑州中实赛尔科技有限公司、郑州久达科技有限公司、株洲天桥起重机股份有限公司、西安中电变压整流器厂、多氟多化工股份有限公司等单位领导的关心和支持；康定军、娄恒、赵浩然、张宏洲等同志为编辑此书付出了辛勤努力。在此，一并表示感谢！

由于我们水平有限，难免存在不足之处，恳请各位读者批评指正。

编 者
2011 年 11 月

目 录

第一篇 电解铝工业的发展和现状

第 1 章 世界电解铝工业的发展和现状	1
1.1 铝的发现及炼铝技术的发展	1
1.2 铝电解槽型的发展	2
1.3 国外电解铝工业的分布及其生产技术	3
1.4 世界铝消费状况	9
第 2 章 中国现代电解铝工业的发展状况	12
2.1 中国电解铝工业的发展	12
2.2 中国铝电解技术的发展	15

第二篇 400 kA 级铝电解生产技术及管理

第 3 章 铝电解生产的基础理论	19
3.1 铝电解的基础理论	19
3.2 原材料及质量管理	31
第 4 章 电解槽焙烧启动及后期管理	40
4.1 装炉	40
4.2 焙烧	43
4.3 启动	54
4.4 电解槽启动后期管理	60
第 5 章 铝电解生产工艺管理	66
5.1 电解质成分管理	66
5.2 两水平管理	69
5.3 槽温的管理	71
5.4 槽电压管理	73
5.5 出铝管理	83

5.6	加料管理	87
5.7	阳极效应管理	79
5.8	保温料管理	91
5.9	阳极更换管理	92
5.10	大型预焙槽生产管理理念	95
5.11	阴极内衬破损与维护	102
5.12	病槽及常见事故处理	108
第6章	铝电解节能技术	115
6.1	强化电流技术	115
6.2	垂直出电技术	117
6.3	不停电开关技术	130
6.4	超导技术	139
6.5	新型内衬结构及材料	146
6.6	异型阴极铝电解槽技术	155
6.7	负压平衡技术	161
6.8	余热回收技术	172
6.9	固体废物处理技术	174
6.10	一浸二焙阳极技术	178
6.11	自动熄灭效应技术	183
第7章	电解铝供电	186
7.1	供电主要设备	187
7.2	整流技术	191
7.3	稳流技术	195
7.4	谐波治理技术	200
7.5	电气保护技术	202
7.6	供电系统节能及安全	214
7.7	电解铝厂区动力电配置	218
第8章	供料供风技术	223
8.1	氧化铝输送	223
8.2	氧化铝输送设备	227
8.3	粉碎料输送	228
8.4	空气压缩技术	231
第9章	烟气净化	244
9.1	烟气收集净化概述	244
9.2	烟气危害及来源	247

9.3	烟气的湿法净化	248
9.4	烟气的干法净化	250
9.5	净化效果检测	256
9.6	全氟化碳(PFC)管理	259
第 10 章	计算机控制技术	262
10.1	计算机控制系统理论	262
10.2	计算机控制系统配置	264
10.3	计算机自动控制系统	266
10.4	现场和控制中心联系	272
10.5	系统的维护	272
第 11 章	铝电解企业数据信息管理	274
11.1	信息化在电解铝企业的现状	274
11.2	生产系统管理工具	281
11.3	网络管理及维护	289
11.4	全面预算管理	292
第三篇 原铝熔铸生产与管理		
第 12 章	熔炼工艺	295
12.1	铝合金的分类	295
12.2	熔炼	297
12.3	熔炼设备	307
12.4	熔炼净化	317
12.5	净化设备	323
第 13 章	铸造及热处理	335
13.1	铸造	335
13.2	连铸连轧	354
13.3	连续铸轧铝板的生产工艺	370
13.4	均匀化热处理工艺	378
第 14 章	产品检验	388
14.1	检测技术	388
14.2	铸造缺陷	398

第四篇 铝电解用预焙阳极

第 15 章 预焙阳极用原料	405
15.1 石油焦	405
15.2 煤沥青	409
15.3 残极	411
第 16 章 煅烧生产工艺	412
16.1 罐式炉煅烧	412
16.2 回转窑煅烧	417
16.3 回转窑无风嘴煅烧技术	430
16.4 煅烧烟气脱硫	434
第 17 章 成型生产工艺	437
17.1 成型生产工艺和设备	437
17.2 原料的分级与制备	438
17.3 配料工艺	441
17.4 黏结剂(沥青)用量与配方、生产工艺的关系	444
17.5 不同配方对阳极质量的影响	445
17.6 石油焦、沥青原料对糊料质量和阳极质量的影响	446
17.7 影响生阳极质量的工艺因素	446
第 18 章 焙烧工艺	452
18.1 煤沥青在焙烧过程中的变化	452
18.2 升温速度对阳极质量的影响	453
18.3 焙烧温度对预焙阳极的影响	453
18.4 焙烧炉及燃烧控制	454
18.5 焙烧的烟气净化	459
18.6 焙烧炉的维修	461
第 19 章 预焙阳极组装	464
19.1 阳极组装发展史	464
19.2 阳极组装设备	465
19.3 磷生铁配比	478
19.4 组装浇铸技术	481
19.5 导杆维修	483
19.6 钢爪浇铸	485

第 20 章 煨烧余热发电技术	487
20.1 煨烧余热发电	487
20.2 煨烧余热发电工艺流程	487
20.3 汽轮机	489
20.4 余热发电水处理系统	497

第五篇 电解铝工程技术与管理

第 21 章 电解铝工程概述	499
21.1 工程建设的限制因素	499
21.2 厂区总图配置	501
21.3 铝电解系统工艺配置	501
第 22 章 工程程序管理	504
22.1 项目决策	504
22.2 项目设计	506
22.3 施工阶段	507
第 23 章 电解槽的制作和安装	510
23.1 安装要求	510
23.2 母线制作及安装	510
23.3 槽壳制作及安装	518
23.4 电解槽筑炉	523
23.5 上部结构安装	530
23.6 电解槽的验收	532
23.7 电解系列的高压试验和短路试验	533
23.8 预焙阳极电解槽用有关金属及绝缘材料质量要求	534
第 24 章 铝电解辅助设备安装	538
24.1 设备安装规范	538
24.2 组装车间的设备安装与验收	543
24.3 净化储运系统的安装	564
24.4 铸造设备的安装	567
24.5 空压系统的安装	571
24.6 电解多功能机组的安装和调试	576

第六篇 铝电解生产实践与研究

第 25 章 电解铝生产技术导向	595
25.1 中国铝电解的技术创新.....	595
25.2 低电压运行下提高电流效率的探讨与分析.....	601
25.3 大型铝电解槽生产低温节能技术.....	606
25.4 铝电解槽阴极侧部可压缩结构研究.....	615
第 26 章 铝电解生产实践	621
26.1 320 kA 大型预焙槽生产管理实践	621
26.2 320 kA 电解槽二次启动的实践操作	625
26.3 大型预焙铝电解槽长时间压低负荷的应对措施.....	631
26.4 焦粒焙烧启动对电解槽寿命的影响.....	634
26.5 320 kA 大型预焙电解槽的启动后期管理	638
26.6 强化电流对铝电解生产的影响.....	642
26.7 影响铝电解系列安全生产的因素.....	645
26.8 正常生产管理期技术条件对电解槽寿命的影响.....	648
第 27 章 铝电解工艺管理	652
27.1 400 kA 铝电解槽参数分析及工艺优化	652
27.2 NB 调整在铝电解生产中的重要作用	658
27.3 铝电解槽生产过程中过热度.....	663
27.4 过热度的控制与无水氟化铝的应用.....	666
27.5 电解槽炉底压降升高的因素.....	669
27.6 无水氟化铝在实际生产中的应用.....	672
27.7 大型预焙电解槽换极针振的分析与措施.....	675
27.8 影响炉帮形成的技术参数调整.....	678
27.9 高分子比冰晶石生产工艺及应用.....	682
27.10 预焙阳极焙烧工艺的优化	685
第 28 章 铝电解节能探索	690
28.1 320 kA 大型预焙槽生产综合节能技术探索	690
28.2 320 kA 铝电解槽生产的节能探索	695
28.3 不停电开槽技术在 320 kA 铝电解槽上的应用	700
28.4 铝电解槽强化电流的技术条件与经济指标.....	703
28.5 400 kA 电解槽节能增效生产实践	711
28.6 铝电解槽表面结壳的处理及循环利用.....	714

第 29 章 设备工艺管理与技术应用	718
29.1 电液比例控制系统在联合压脱机中的应用	718
29.2 PLC 在悬链系统自动控制中的应用	720
29.3 恒流控制在 320 kA 供电系统的应用	725
29.4 通讯故障的原因及处理方法	730
29.5 电解槽自动控制系统的数据分析	732
29.6 大型电解槽自动下料系统的模糊控制	734
29.7 铝电解厂监控系统电源危害成因及防护方法	737
29.8 400 kA 电解稳流控制系统新技术与应用	741

附图

第一篇

电解铝工业的发展和现状

第 1 章 世界电解铝工业的发展和现状

自 1886 年霍尔 - 埃鲁特发明冰晶石 - 氧化铝熔盐电解生产铝的方法, 并形成规模生产阶段以来, 该法一直是生产金属铝的唯一方法。由于电解法生产能耗高、环境污染较严重, 近百余年来人们不断寻求节能环保、高效平稳的新工艺和炼铝方法, 如惰性阳极电解新工艺、黏土氯化 - 氯化铝电解法、碳热还原法等, 其中有的已进入大型工业化试验阶段。但是由于技术及经济方面的诸多原因, 均未能在工业化生产得到应用。因此 120 余年来, 世界铝工业仍然采用霍尔 - 埃鲁特冰晶石 - 氧化铝熔盐电解生产金属铝的方法。

1.1 铝的发现及炼铝技术的发展

铝是化学性质十分活泼的化学元素, 它在自然界中绝大多数以氧化铝形式存在, 但也有极少数的自然铝被发现以元素状态存在。铝的冶炼技术发展是从化学法制取发展到了现代应用的电解法, 目前还有正在研究的溶液离子电解法。

铝的发现首先是对明矾(硫酸铝)认识, 在 8 至 9 世纪, 明矾第一次在俄罗斯生产得到并用于染色业和用山羊皮鞣制皮革。

16 世纪, 德国医生兼自然科学历史学家帕拉塞斯(Paracelsus P. A. T. 1493—1541)证实了明矾是“某种矾土盐”, 其中一种成分是一种金属氧化物, 后来叫做氧化铝。

1754 年, 德国化学家马格拉夫(Marggraf. A. S. 1709—1782)能够分离“矾土”。这正是帕拉塞斯提到过的那种物质。

1807 年, 英国的戴维才把隐藏在明矾中的金属分离出来, 用电解法发现了钾和钠, 却不能够分解氧化铝。即使如此, 瑞典的贝采尼乌斯已为这无法获得的金属取名“铝土”。后来, 戴维又改称它为铝。

1808 年, 丹麦的 Oersted 用钾汞还原无水氯化铝, 得到了研磨时可呈现金属光泽的粉末, 后来证明他得到的是一些不纯净的铝。

1827 年, 德国 Wohler 用钾还原无水氯化铝, 得到了细微的金属颗粒。1845 年, 他把氯化铝气体通过熔融金属钾表面, 得到了金属铝。

1854 年, 法国 Deville 用钠还原 $\text{NaCl} - \text{AlCl}_3$ 络合盐, 获得金属铝, 同年在巴黎附近建成

了世界第一个铝冶炼厂。

1854 年, 德国 Bunsen 宣称利用炭电极电解 $\text{NaCl} - \text{AlCl}_3$ 络合盐得到了金属铝;

1883 年, 美国 Bradley 提出了电解冰晶石 - 氧化铝熔盐技术方案, 但未获得专利;

1886 年, 美国的 Hall 和法国的 Heroult 同时申请了冰晶石 - 氧化铝熔盐电解法炼铝的专利并获得批准, 这便是我们所称的 Hall - Heroult 法。一直至今, 世界上所有的铝厂都是使用此种技术。

1.2 铝电解槽型的发展

出现了 Hall - Heroult 法炼铝技术后, 电解铝技术发展至今已有 120 多年。120 多年以来, 炼铝的原理没有任何的改变, 但是其相关的技术及生产指标已有了多次的变革性发展, 最主要的改变是电解槽的形式。

从电解槽的电流容量上的发展, 1888 年电解法应用于工业炼铝时, 由于电力整流等原因, 早期的电解槽只有几千安培。而至今, 仅中国在运行的 400 kA 以上的槽型已经有十几家企业, 而 500 kA 系列化生产也已经投产, 600 kA 槽型也在规划之中。在槽型上, 从早期的小型预焙阳极电解槽到自焙阳极电解槽, 再到现在的特大型预焙阳极铝电解槽型。

19 世纪末, 开始了小型预焙阳极电解槽, 当时电解槽的电流强度只有几千安培, 电流效率低, 吨铝直流电耗高。电流效率只有 70%, 而直流电耗高达 42000 kWh。

进入 20 世纪以后, 随着整流技术的发展, 小型预焙电解槽的电流强度得到了提升, 同时出现了自焙阳极电解槽。1923 年开始出现了槽容量为 25 kA 的侧插式自焙阳极电解槽。电流效率也从 70% 提高到了 80%, 直流电耗下降到了 20000 kWh。

20 世纪 50 年代以后, 电解槽电流强度的发展趋势如图 1 - 1 所示。到 20 世纪 60 年代, 小型预焙阳极电解槽的电流强度提升到了 50 kA, 侧插式自焙阳极电解槽的电流强度则提升到了 60 ~ 80 kA, 同时上插式自焙阳极电解槽也开始出现。电流效率和直流电耗指标得到进一步提升, 电流效率达到了 85% 以上, 吨铝直流电耗下降到 18000 kWh 以下。

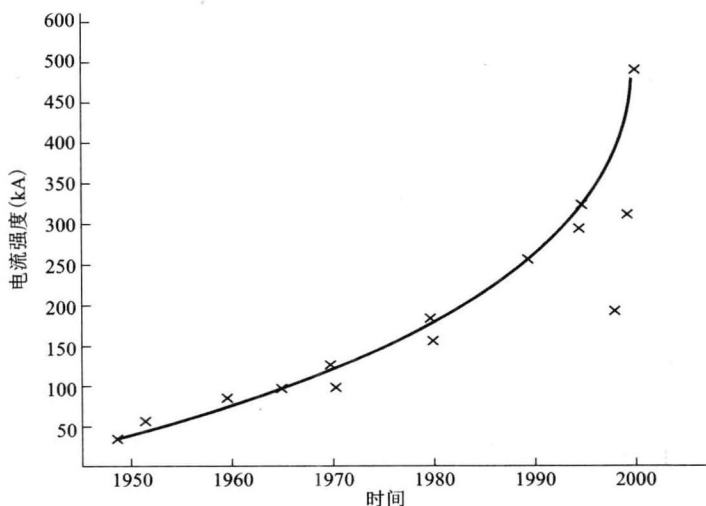


图 1 - 1 近 50 年铝电解槽电流强度增大趋势

20 世纪 70 年代后, 自焙阳极电解槽与预焙阳极电解槽同时得到了发展, 电流强度超过了 100 kA, 电流效率接近 90%, 吨铝直流电耗可以降低到 15000 kWh 以下。进入 80 年代以后, 预焙阳极电解槽的优势逐渐显现。预焙阳极电解槽更容易实现大型化, 生产指标更优于自焙阳极电解槽等。

1990 年后, 预焙阳极电解槽得到了全面的推广。2000 年后部分自焙阳极电解槽也纷纷进行了预焙阳极电解槽改造, 预焙阳极电解槽的槽型发展到了 500 kA 的超大容量槽型。经济指标也有了进一步的提升, 电流效率最高可达到 95% 以上, 吨铝直流电耗降到了 12800 kWh 以下。

1.3 国外电解铝工业的分布及其生产技术

世界上大约有 50 个原铝生产国家和地区, 美国、俄罗斯、加拿大都是原铝生产大国。早年, 俄罗斯的布拉茨克铝厂和克拉斯诺雅尔斯克铝厂年产 70 ~ 80 万吨产能属规模最大。澳大利亚则是世界上矿储丰富而且电力开发潜力大国, 铝工业发展前景甚好。2006 年至 2010 年世界原铝产量分布如图 1-2 所示。

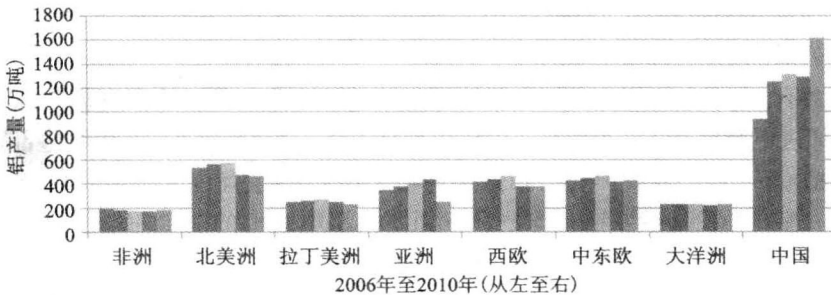


图 1-2 2006 年至 2010 年世界原铝产量分布

1.3.1 美国

美国曾经是世界产铝大国, 但由于能源危机的爆发, 其国内的铝厂大部分关闭, 并向国外转移。利用澳大利亚、加拿大等国的矿产资源和电力优势, 投资生产原铝, 而其铝消费大国形势并没有因此改变, 并在国内大力发展再生铝产业。

在过去的近 100 年, 世界金属铝生产的增长飞速, 美国金属铝的生产一直处于世界领先地位。据统计资料显示, 1900 年世界铝总产量是 6800 吨, 当时美国年生产了 2296 吨金属铝。1909 年, 世界铝年总产量为 3 万吨, 美国年产量为 1.32 万吨。美国原铝产能在 1929 年突破 10 万吨, 实际产量达到 10.2 万吨; 1953 年, 产能突破 100 万吨, 实际产量高达 113.6 万吨; 1963 年, 产能突破 200 万吨, 实际产量达 209.8 万吨; 1969 年, 产能突破 300 万吨, 实际产量达 344.1 万吨; 1973 年, 产能突破 400 万吨, 实际产量达 410.9 万吨。美国原铝生产历史上产量最高纪录, 是在 1980 年创下的, 年产量达 465.4 万吨。

20 世纪 90 年代, 美国主要的铝业公司有: 美国铝业公司、凯撒铝业公司、雷诺金属公司等。其主要包括 23 个电解铝厂以及 7 个氧化铝厂。经历了近二十年的风雨, 截至到 20 世纪末, 美国的铝业公司中原有的三大铝业公司已经发生了很大的变化。在 1999 年, 凯撒铝业公

司申请破产保护，而美国铝业公司刚刚合并了雷诺金属公司，因此目前美国铝业公司是美国最大的铝业公司。

美国的电解铝技术主要采用的是凯撒铝冶炼技术。凯撒铝业公司总共开发了五种不同类型的预焙阳极电解槽：边部进电，端部立柱母线预焙槽 P—57、P—69、P—90；边部进电，边部立柱母线预焙槽 P—80、P—86。其依据凯撒公司研发出来的预焙槽的年份而命名的。

目前凯撒 P—57 型 90 kA 预焙槽在 Raverswood 和 Comalco 铝厂有 4 台槽仍然在运行。凯撒 P—69 型 150 kA 端部立柱母线，中间下料预焙槽是最早的预焙槽之一，在美国的七个电解铝厂投入使用，但是大多铝厂已经将中间下料改为点式下料。凯撒铝业公司于 1981 年在塔科马港市（美国华盛顿州西部港市）开发并运行了 6 台 P—80 型 195 kA，26 块阳极，四个边部立柱母线，点式下料预焙槽，但是现在已经不再使用了。在当时，这种技术不仅仅在美国使用，位于瑞典松兹瓦尔的一条 60 kA 索德博格型电解铝生产线在 1987 年改为 56 台凯撒 P—86 型 150 kA 端部立柱母线、点式下料预焙槽。在俄国纳德沃伊齐有超过 30 台 HS 索德博格型电解槽改成了凯撒 K—93 型 60 kA 端部进电，点式下料，六块阳极的预焙槽。

1.3.2 俄罗斯以及乌克兰等独联体国家

俄罗斯铝工业在全球铝产量以及铝工业发展中占有重要地位。苏联时期的铝工业在 1932 年建设沃尔霍夫铝厂以来，截止到 20 世纪 80 年代，年产铝能力达到 360 万吨以上，在当时是仅次于美国的第二大产铝国家。

苏联时期共有 14 家电解铝企业，主要使用索德博格型电解槽，俄罗斯拥有六种不同的预焙槽技术：端部进电预焙槽 C—50、C—125、C—160、C—175M2、C—190 和边部进电，边部立柱母线预焙槽 C—255。多数预焙槽和索德博格型电解槽是有位于圣彼得堡的 VAMI 学院研发并设计的。字母“C”是俄罗斯预焙槽和索德博格型电解槽的前缀。端部进电预焙槽 C—125、C—160、C—175M2、C—190 的母线系统已经被改进为在中间四分之一的位置有立柱或者不对称的补偿母线来减少因在同一车间中密集排列的电解槽所产生的强磁场的影响。C—255 型 255 kA，边部进电，边部立柱母线，点式下料在 20 世纪 70 年代晚期由 VAMI 研究开发出来的，在苏联的伏尔加格勒建造了四台原型槽，然后在 Tadjik 建造了第五台和第六台。C—255M1 是 C—255 的升级版，在 Sayansk 建造了三台。同时与 VAMI 达成协议研发了五台 CA—300 型 300 kA 边部进电，边部立柱母线，点式下料预焙槽，并在 Sayansk 投入运行，但目前这些试验槽已经不再使用了。

目前独联体现有的电解铝企业中，有 11 个电解铝厂在俄罗斯境内，另外有 3 个电解铝厂分别在乌克兰、阿塞拜疆和塔吉克斯坦。由于俄罗斯境内有比较丰富的水电资源，低廉的电价，促使其成为一个产铝大国。电解铝过程中使用的氧化铝、沥青、焦炭、冰晶石以及氟化铝主要由国内供应，仅有一小部分靠进口。苏联在 1930 年开始建设国内第一家氧化铝企业——沃尔霍夫氧化铝厂。截止 1990 年，其已经拥有 10 余家氧化铝企业，并且产能高达 560 万吨。其生产氧化铝原料（一水硬铝石、一水软铝石、霞石和明矾石）主要来源于独联体国家的 6 座矿山，其不足部分是从西方国家进口使用。

在 20 世纪六七十年代，苏联比较大型电解铝企业有两个，即布拉茨克铝厂和克拉斯诺雅尔斯克铝厂，生产规模都为年产量 80 万吨，其电解槽的形式大多是上插棒自焙阳极电解槽，其能耗非常高，而且对环境污染严重。现在耗用巨资与德国等国合作，对电解槽技术进行了改造，建成了 300 kA 大型预焙阳极电解槽系列。

目前,俄罗斯的原铝产量在世界排名中位居第二,仅次于中国,其产量占世界总产量的11.5%。俄铝联合公司为俄罗斯最大的电解铝生产企业,自2000年以来,其综合铝产量平均年增长率超过10%;尤其是在2005至2007年期间,其增幅高达16%。造成其快速增长的主要原因是由于俄罗斯的制造业以及建筑业的飞速增长,从而导致对原铝的需求不断增长。2007年,俄罗斯工业用铝年消费量约110万吨;2008年,其年消费量达到了122万吨,增幅达到了6.8%。这样高的增幅,主要得益于国家基础设施建设之活跃。俄罗斯铝业公司作为全球铝行业巨头之一,其电解铝生产所需水和电占其所用能源的80%。为了企业的可持续发展,俄罗斯铝业公司未来的发展战略是:一方面是继续加大能源的投入,逐步实现电解铝生产能源的自给自足;另一方面是综合化生产和多元化经营模式,以达到满足公司电力需求的增加以进一步降低生产成本。2007年11月,俄罗斯铝业公司首次与政府、私人公司之间达成协议,共同建设全球铝业最大的投资项目——博古昌斯科耶能源和金属复合项目。该项目还包括在安加拉河兴建一座3000兆瓦的水电站和电解铝厂,其总投资大约36亿美元。该项目不仅给当地创造了相当大的就业机会和税收收入,而且还带动当地的基础设施建设,如铁路、高速公路等,还有发展当地的造纸业和铁矿石采掘业等。这一项目将奠定俄罗斯电解铝行业飞速发展的前景。

1.3.3 加拿大

加拿大有丰富的水电,所以铝工业极为发达。美国原有的一部分铝厂因能源供应关系,纷纷转移到加拿大建厂生产,因此加拿大境内的铝产量骤然增加到200多万吨,居世界第三位。

加拿大因其魁北克和哥伦比亚州丰富的水力,在10年前就原铝生产方面可与美国和欧洲抗衡。加铝和魁北克政府宣布合作投资5.5亿美元在约奎尔建立年产60000吨的试验厂,以检验AP50冶炼技术。该冶炼技术可节省能源、减少排放物并提高生产效率。几乎加铝在沙格奈河的所有冶炼厂都是由自己所有的水力发电厂供电。

1.3.4 澳大利亚

澳大利亚是世界上铝资源大国,其铝矿资源丰富,而且矿石品位较高,在澳大利亚矿业经济中占有重要地位。氧化铝是澳大利亚铝工业的主要产品,其产量在全球居于首位,同时澳大利亚也是一个主要的氧化铝出口国,但是其金属铝产量为150多万吨,位居世界第五位。澳大利亚生产金属铝主要的电源是来自于热能。目前,澳大利亚铝行业主要有以下几部分组成:5个铝土矿矿山;7个氧化铝冶炼厂和6个电解铝厂。

表1-1 21世纪以来澳大利亚铝土矿、氧化铝和精炼铝产量(单位:万吨)

年份	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009*
铝土矿	5380.2	5379.9	5413.5	5560.2	5659.3	5995.9	6178.0	6239.8	6403.8	6523.1
氧化铝	1568.0	1631.3	1638.2	1652.9	1670.1	1770.4	1831.2	1985.3	1944.6	—
精炼铝	176.9	179.7	183.6	185.7	189.5	190.3	193.2	195.9	197.4	194.3

澳大利亚经营的铝矿工业公司主要有:澳大利亚美国铝业公司(Alcoa of Australia Limit-