

轻金属 新技术



QING JIN SHU
XIN JI SHU

中国有色金属工业总公司情报研究所编
《轻金属新技术》编辑组

轻 金 属 新 技 术

第 四 集

中国有色金属工业总公司情报研究所
《轻金属新技术》编辑组^编

一九八七年十月

内 容 提 要

《轻金属新技术》第四集共选登了29篇译文,取自国外最新文献,主要内容涉及综合述评、国际市场动向、氧化铝生产、铝电解生产、炭素制品生产和铝熔铸与加工方面的最新技术和研究成果。

轻 金 属 新 技 术

中国有色金属工业总公司情报研究所 编
《轻 金 属 新 技 术》编辑组
编 辑 江 达 罗海基 吴树椿
封面设计· 张仲华

※

中国有色金属工业总公司情报研究所出版
(北京市东城区新中街乙十三号)
中国有色金属工业总公司情报研究所发行科发行
北京市朝阳区东方印刷厂印刷

技
術
進
步
之
花

叶志强

丁卯年夏

叶志强同志（原中国有色金属工业总公司副董事长、中国有色金属企业管理协会理事长）为本书的题词——“技术进步之花”。

编 者 的 话

《轻金属新技术》已出版了第一、第二、第三集，普遍得到广大读者的欢迎，不少读者给编辑部来信要求继续出版第四集、第五集……。我们一方面应广大读者的要求，另一方面为了贯彻中央批准的有色金属工业优先发展铝的重要方针，为完成“七五”计划对铝工业提出的奋斗目标，我们继续编辑出版了《轻金属新技术》第四集并着手准备第五集。第四集共选编了二十九篇译文，主要选自美国冶金学会轻金属委员会年会文献《铝生产工艺一百周年》、《轻金属1986》等，内容包括综合述评、国际市场动向、氧化铝生产、电解铝生产、炭素制品生产、铝熔铸和加工。这些译文反映了在上述专业领域的世界最新技术和研究成果。

本书可供有色金属系统各级领导和从事轻金属生产、设计、研究、教学等部门的广大科技工作者、企业管理人员、高等院校有关专业的师生参考。

本书是在中国有色金属工业总公司和中国有色金属学会的大力支持下编辑出版的。在编译过程中，得到北京有色冶金设计研究总院、中南工业大学的大力支持，特别是陈岱、韦涵光、刘天齐、扬重愚等同志在选题和译文审校方面作了许多工作，在此谨向他们表示衷心感谢。

本书由江达（兼主编）、罗海基、吴树椿三位同志负责审订和编辑，由于水平有限，定有不少缺点和错误，敬请广大读者和有关专家批评指正。

中国有色金属工业总公司情报研究所
《轻 金 属 新 技 术》编辑组

前 言

中国有色金属工业总公司情报研究所编辑出版的、以美国冶金学会轻金属委员会年会论文集《轻金属1983》、《轻金属1984》和《轻金属1985》的部分译文为主的《轻金属新技术》第一、二、三集先后发行后，颇受铝工业界的欢迎。现选译美国《轻金属1986》和《铝生产工艺一百周年》等中的29篇论文，继续编辑《轻金属新技术》第四集，以应需要。

美国轻金属年会论文在国际上享有传播和交流轻金属（基本是铝）科学研究和技术成就水平较高的声誉，是了解当前世界上铝的研究方向和技术发展的一个重要来源。

鉴于国内可能参加美国轻金属年会的人数极少，购入的《轻金属》论文集也很少，而大多数同志阅读译文又比原文容易得多，继续出版《轻金属新技术》供铝工作者参考，自然是有益的和重要的。

五十年代初，当我们开始建设自己的铝工业时，欧美铝工业已积有60多年的发展历史和生产经验，并且正处在大发展的时期。在这个条件下，我们重视学习和汲取国外技术是必然的。虽则30多年来我们并不是没有取得结合自己的资源条件等独创的技术成就，但是长期来自觉不自觉地形成了重模仿轻创造，重生产轻科研，重实用轻理论等倾向。甚之也有未经认真研究国外技术的机理和装置的性能，以及经济条件，就盲目追求的问题。这与我们已建有的铝工业基础和具有的经验和科技水平是不相称的，也不能很好适应当前面临的铝工业大发展的要求。可以庆幸的是近年以东北工学院邱竹贤教授为首所进行的电解铝的科学基础研究成绩卓著。在国际上显露了我国的科技实力。希望在铝工业界和有关方面的共同努力下，《轻金属新技术》的继续出版也将会作出自己的贡献。

我国拥有发展铝工业的资源条件。已探明的铝土矿储量约14亿吨。铝生产还须有丰富的电力资源。我国可能开发的水电容量

达3.8亿千瓦,年可发电量19,000亿度。动力煤储量约3300亿吨。在世界各国中,我国资源居于前列,与北美,东、西欧,东亚等主要产铝国家比,条件远为优越,铝工业的发展前景远大。

优先发展铝已是我国有色金属工业的一条重要方针和一项艰巨任务。当前要求较快地达到供求平衡。随着现代化的进程,工业用途和生活消费的需要量将有很大的增长,后十年,以至下个世纪的前50年,生产规模将不断扩大,技术要求将不断提高。任重道远,从根本上说,我们必须进一步抓紧科学研究和技术开发,使产能、质量、应用技术和经济效益都达到国际的前列。当然,在任何时候,我们都必须加强国际技术的交流。

与我国的情况不同,近些年世界铝工业处境极为困难。工业结构和地理分布正出现根本性的变化。日本铝生产早已崩溃,美国也在衰退,西欧工业国也已出现萎缩,大多数欧洲国家都不易扩展。具有铝矿和廉价电力资源的南半球已在崛起,第三世界将逐渐在国际铝工业中占有较大的比重。现在是我们发挥自己的有利条件,加速发展铝工业,首先是满足国民经济的需要,其次是相机打开进入国际铝工业和国际铝市场通道的时候了。过去我们依靠资源起家,现在已是必须依靠科学发展和技术进步来建立一个强大和先进的铝工业。我们要在科学技术上独树一帜,活跃在国际舞台上。我们还需要研究国际铝工业形势及其经验和教训,研究原料供应,产业结构,供求关系,贸易问题和新材料、新用途的开发等等广泛的经济和工业问题,更经济有利地建设我国的铝工业。希望情报研究所和有关单位重视和加强这方面的工作。

借此机会对《轻金属新技术》的成功和编辑部的努力表示敬意。希望编译益精,内容益丰,出版益快,更有效地为读者服务。

中国有色金属学会

轻金属学术委员会主任委员

陈 岱

一九八七年十月

目 录

综 合 述 评

- 霍尔—埃鲁特铝电解生产方法一百年来
的发展……………〔加拿大〕J. P. McGeer (1)
- 霍尔—埃鲁特电解槽电能消耗的历史
……………〔美国〕Warren E. Haupin (15)
- 拜耳法的展望……………〔瑞士〕Nils Oeberg (27)
- 霍尔—埃鲁特电解槽炭电极一百年的进展
……………〔美国〕David Belitskus (44)

国 际 市 场 动 向

- 西方世界铝和氧化铝的产销与外贸动向
……………〔美国〕John W. Moberly (63)
- 西方世界镁的市场动向与发展计划
……………〔美国〕Byron B. clow (67)

氧 化 铝 生 产

- 氧化铝的性质对其在电解质熔体中溶解过程的影响
……………〔澳大利亚〕A. N. Bagshaw〔新西兰〕B. J. Welch (71)
- 拜耳法中的合成絮凝剂技术
……………〔美国〕L. J. Connolly D. O. Owen等 (82)
- 美国铝业公司的氧化铝加压焙烧法
……………〔美国〕S. W. Suceeh & C. Misra (102)

拜耳法生产中氧化铝的产出率

.....〔巴 西〕R. Den Hond(112)

预测热交换器因结疤传热系数的降低

.....〔美 国〕G. A. O'NEILL(122)

氧化铝厂建设的工厂布置和预组装的基本概念

.....〔澳大利亚〕A. R. KJar, A. J. Crisp(136)

安装在铝电解槽顶由蓄能流态化输送的多点下料料斗

.....〔法 国〕Jean-Pascal. Hanrot(145)

改造传统多层沉降槽为高效率沉降槽

.....〔加拿大〕P. F. Baggett等(154)

铝 电 解 生 产

铝电解槽用惰性阳极.....〔美 国〕S. P. Ray(167)

在现有的铝电解厂中增加阳极棒尺寸以提高电流

.....〔美 国〕M. Michael Baltzell(185)

铝电解槽的稳定性——一种新的探讨

.....〔法 国〕R. J. Moreau(194)

电解铝的低熔点电解质.....〔挪 威〕K. Grjotheim等(205)

铝电解中阳极-阴极间距小时的电流效率

.....〔挪 威〕S. Rolseth等(217)

炭 素 制 品 生 产

铝电解时阳极炭消耗的实验室研究

.....〔挪 威〕T. Müftüoglu(230)

炭素原料对铝电解槽阳极的影响

.....〔加 拿 大〕P. J. Rhedey等(241)

阳极焙烧温度和电流密度对阳极炭粒脱落的影响

- [美国] E. R. Cutshall (253)
- 阳极电流和氧化铝结壳厚度对阳极组装中双金属接合点温度的影响..... [加拿大] Nouri Levy 等 (267)

铝 熔 铸 与 加 工

- 钛和硼的浓度对铝晶粒细化剂的影响
..... [美国] G. T. Campbell (274)
- 从铝铸造车间的废渣中直接回收金属的新方法
..... [法国] G. Zahorka (287)
- 熔体损失的测定..... [美国] J. H. L. Van Linden 等 (301)
- 从铝液中清除微量碱金属元素用的搅拌反应槽计算机
模型—Alcoa 622 工艺..... [美国] J. G. Stevvens 等 (315)
- 挪威奥达尔松达尔公司的铝精炼在线系统
..... [挪威] E. Myrbostad, T. Pedersen 等 (326)
- 多铸次过滤系统..... [美国] D. V. Neff 等 (336)

附 录

115次AIME年会文献《Light Metals 1986》

- 中文目录..... (354)

霍尔—埃鲁特铝电解生产方法

一百年来的发展

〔加拿大〕 J. P. McGeer

在霍尔—埃鲁特法发明一百周年之际，美国金属学会轻金属委员会编辑了一百周年文集。文集的目的是突出一百年来铝工艺冶金学的重大发展。本文是根据一百周年文集、没有公布的材料和巴西提供的关于历史性展望等文章选编而成。

在继续取得进展的时候，电流效率与年份的关系曲线说明实质上是呈指数发展的，逐步接近于理论上的极限(图1—1)。电能利用率的提高基本上是采用两种途径实现的：加大电解槽，进而降低电解槽散热表面的相对热损失和提高电流效率。科学和技术上的进展推动了这方面极大的发展。

虽然铝电解槽在我们最初形成的印象是一台粗糙而构造简单的设备，但通过许多科学和技术的推动使电解槽和电解生产效率逐步取得进展。

表 1 生产方法所取得的进展

大致年份	最大安培数	电耗 (kwh/公斤)	电流效率 (%)
19世纪90年代	<6,000	20~50	30~70
20世纪10年代	20,000	26	74
20世纪20年代	30,000	22~30	75~80
20世纪30年代	45,000	20*	直到80
20世纪40年代	55,000	20	80~85
20世纪50年代	125,000	18~20	直到90
20世纪60年代	175,000	13~16	直到93
目 前	250,000	13	直到96

值得牢记的是规模经济合理性的推动力。从资本生产率的观点看，对规模的经济性勿需进一步说明。可是从电能利用率的观点看，进一步详尽阐明是有益的。电解铝生产过程从本质上说就是将电流通过融盐电解质，电解质就是一个电阻器，因而产生热量。由于电解槽在低于 1000°C 的温度下操作，所以电解槽通过热的对流和辐射散失掉大量热。为降低热损百分比，电解槽应当加大。电解槽加大后，基于传统上表面积与容积的关系，比值降低，从而热损百分比也跟着下降。当别的设计因素还起作用的时候，在很早的时候铝工业就试图加大电解槽，当然也相应研究了适用的技术基础。例如1890年匹兹堡冶炼公司就将电解槽的长度加长一倍以扩大早两年已建成的生产能力。

阳 极 技 术

阳极电流密度是确定电能利用率的关键因素，而阳极的大小又是确定电解质中电流密度的重要因素。电解质中电流密度和路线长度加在一起构成对电流的总电阻，从而产生了热量。表2说明多年来阳极电流密度是如何变化的。还显示了这种变化对电耗的影响。

表2的后两项说明，一直到最近，欧洲和北美的实际情况是有差别的，因为欧洲能源费用较高，为了获得较高的电能利用率，所以电解槽设计为低电流密度（也

即 <0.7 ）。而美国的电解槽则主要设计为高电流密度（即 >1.0 ），虽然最大限度地降低了投资并提高了劳动生产率，却增大了电能

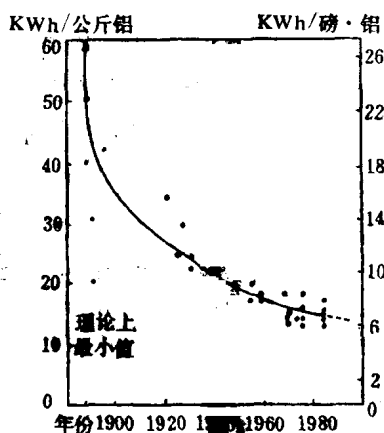


图1-1 霍尔-埃鲁特电解槽的电耗发展

消耗。

表 2 电耗改变对电流密度和年份的关系

年 份	电 流 (千安)	阳极电流密度 (安/厘米 ²)	电 耗 (kwh/公斤铝)
1890	6	6.4	—
1905	15	3.85	25
1920	20	1.2	25
1930	30	1.2	22
1940	50	1.1	18.7
1950	60	1.31	18.3
1955	80	1.13	17.1
1960	99	0.73	14.1
1965	120	0.69	13.7
1970	150	1.04	16.1

加大电解槽能在生产率和电能利用率上受益，但阳极尺寸也必须加大。在制造大型阳极的技术未掌握之前，早期生产中唯一的选择是增加阳极的数量。初期阳极是用挤压机生产的，直径75毫米，长400毫米。随后直径加大到125毫米，到二十世纪初所建造的电解槽，其特点是具有40或40多个这样的阳极（图1—2）。挤压这种石油焦和粘合剂混合料的动力限制了直径的加大，而制造方法采用的是圆形截面。法国早期有些电解槽就是圆形的，所以有人就叫电解槽为“锅”，标准电解槽是矩形的，用的是矩形电极。头一个矩形电极是模压成型的，属于劳动密集性作业。到20世纪20年代是用水压机成型的，截面积大约30公分×40公分的阳极。鉴于生产实心的阳极坯料，大约每平方英寸需5000磅的压力，因此水压机成型的阳极就有一个经济尺寸上的限制。

随着震动技术的发展，利用更大型水压机，解决了阳极制作成本的经济限度问题。先是在欧洲，随后在北美都采用了炭素混合生料震动的新工艺，即先将生混合料置于模中，上面加重量，用每分钟1800转的偏心驱动轴带动而产生震动。采用这种方法能达到水压机成型同样的捣实度。由于震动技术的发展才解决了预

焙阳极在规格尺寸上所受的~~限制~~。今天已能制造出截面积达1.6米×1米的预焙阳极。

由于初期对阳极尺寸的限制加上其他方面的因素导致铝的生产厂家大规模地转向二十世纪初由铁合金炉工业发展起来的连续自焙阳极。铝工业把自焙阳极看成是增大阳极尺寸可行的方法，同时减少劳力和改为预焙阳极时生产的中断。制造每公斤铝约需半公斤炭素以及连续自焙阳极提供了连续进行替换的方法。

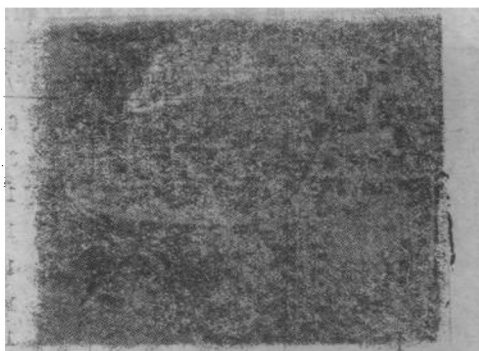


图1—2 加拿大铝业公司Shawinigan铝厂于1901年安装的具有小型预焙阳极的早期霍尔电解槽—阳极达64个。

连续自焙阳极是挪威Electrokemisk公司研制的。1934年使用这种自焙阳极的生产厂家总的年生产能力约21,000吨。到1938年，生产能力增长到160,000吨，考虑到当时铝工业规模，这种增长速度显然是非常快的。

导致快速增长的另一优点是对连续自焙阳极电解槽可能封闭并收集排出的气体和烟尘，从而大大改善了厂房内部和外部的环境。当这种封闭形式随后发展为预焙槽时，只有增大电解槽规格以便从工程经济上加以解决的时候才能得到改善。

二十世纪二十年代进行试验为铝生产采用一种电炉式的圆形电极，这种电极带有圆形外壳和翅片。采用这种电极有以下缺点，翅片是铁制的，因而使产品受铁质的污染；电极过度焙烧；难于从阳极下面排出气体，电流分布不均等等。只有在长方形电极上放置可移除的阳极棒时，这种电极才获得成功。首次在工业上使用这种电极是1932年法国 Alasis 化工和电冶金产品公司的 Riouperoux 厂。

已经建造的侧插连续自焙阳极电解槽最大为 135,000 安培。一般是在 60,000~90,000 安培范围内操作。因为阳极棒由侧部向阳极分配电流,而阳极棒必须移除更换新的,阳极的宽度就受到限制,因此想提高电解槽的能力就必须增加阳极长度。全部操作必须在地面上进行,采用机械化作业是比较复杂的。基于上述原因加上其他方面的困难从而发展成后来的上插阳极连续自焙电解槽,这种电解槽具有许多优点:例如,没有以上所指出的限制,可以加大阳极宽度;整个阳极可以利用架空吊车进行操作;收集的烟气只是小范围吸入的少量气体。最近的发展导致环境保护设施费用的降低。对上插自焙阳极电解槽的早期试验研究是 20 世纪 40 年代初由法国彼施涅公司进行的,到目前已经建成 180,000 安培的电解槽。

在第二次世界大战铝增长期间,侧插连续自焙阳极电解槽度过了黄金时代,此后就由上插电解槽所控制。最近,预焙阳极又处于领先的地位。

通过震动技术增大预焙阳极尺寸的能力是带有根本性的问题。预焙阳极的选用使比较大的铝厂投资有所降低,生产控制良好并提高了效率(因为一部分原因是阳极底部气体散失所经路程缩短了),环境也得到了进一步改善。

连续自焙阳极电解槽的主要问题是阳极焙烧过程排出的含炭烟气。当预焙阳极是在炉内焙烧时,这种烟气就可以收集并加以处理。但当阳极是在电解厂房内焙烧时,就和连续自焙阳极一样,烟气的收集和处理几乎不可能,势必危害环境。

为了全面阐述阳极的发展史还应当提到连续预焙阳极。这项工艺失败的根本原因是因为设计上有重大缺点——它增大了阳极的电压降。主要的困难也就在于一个预焙块与另一个预焙块如何可靠地衔接的问题。

对阳极材料曾进行过大量研究工作,有许多文献是有用的。由石油从延迟焦化罐中提炼出来的石油焦是各种阳极聚合体的主要来源,而从煤的焦化所得沥青则是聚合物中的主要粘合料。也

曾经试用过其他各种材料。

预焙阳极的焙烧几乎全部都是在石油基燃料点火的环式炉中进行的。早些时候曾用电阻炉焙烧阳极，但未能生产出焙烧均匀的产品，却对操作效率产生有害的影响。还曾试用过耐火材料工业上用的隧道窑，证明并不太经济并且在环境保护上难以控制。卧式烟道（即敞开式）炉和立式烟道（即封密式或称Reidhammer式）炉在今天的炭素工业中都有应用。

阴 极 技 术

工业术语把铝电解槽的钢壳，砖和其他绝缘体和炭素衬里称谓阴极。从科学上讲这是不正确的，应当说铝液槽本身才是电解的阴极。最早确定炭是唯一适合用做电解质和铝金属的电容的材料。尽管进行过大量研究工作，但始终还没有寻找出更好的替代物质。电解质实际上是容纳在自身的凝结壳中。这一“凝结壳”保护了炭素内衬防止电解槽上方来的空气和电解质本身的侵蚀。因此在电解槽的设计中要求侧壁有充分的热流通过，以便保持一层冷凝的电解质结壳。

铝金属可以熔于炭中。看来炭与铝的反应非常缓慢，缓慢到不成为确定电解槽寿命的因素，除非金属对炭的反应速度高到足以引起腐蚀和侵蚀，造成炭的快速耗损和电解槽的过早损坏。

还比较早的发现出料铝液直接在炭的上面会导致阴极的效率不佳，估计有可能是因为生成碳化铝所致。因此规定在电解槽中要经常保持一层铝金属，电解槽的尺寸由 0.6×0.4 米随后增加到目前的最大型电解槽，大约是 13.3×4.3 米。

霍尔的第一台电解槽想来是用石油焦做衬里，而埃鲁特的却用的是木炭。正如以后所测定的那样，这些材料特别容易受到电解时产生的钠的侵蚀。所以早期的电解槽寿命短，典型的只有几天到几个月。但由煤制得的焦炭，就不怎么受侵蚀，这种焦炭可以大量地，比较廉价的，从通常炼钢工业的焦化过程获得，以其优异的性能用做电解槽衬里的标准材料。

二十世纪十五年代电解槽衬里的通用方式是用煤焦油沥青和煤焦炭混合物经人工模造压实和捣实而成。随后在用到电解槽上之前先将原料焙烧到 $500\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。但在电解槽尺寸加大之后要利用这种工艺得到没有缺陷没有裂缝的经过焙烧的衬里是非常困难的。因此在工业上就转向采用预焙块做衬里，在炭块之间和四周采用捣实的整体大块混合物。整体大块的衬里寿命为 $600\sim 1000$ 天。随着转而采用炭块，连同改进机械设计和衬里的作法，目前工业实践的标准寿命大约为2000天。提高阴极寿命的另一个重要因素是选择更好的原料。例如实验室试验说明，无烟煤不易受碱的侵蚀，因此可以制得效果更好的衬里。另一个可能引起严重影响这种侵蚀的重要变数是原料和炭块的热处理温度，在比较高的处理温度下会构成这一影响因素。

目前制造阴极炭块几乎全用电来焙烧无烟煤，在有些情况下加入部分石墨。炭块应在使用之前先经过焙烧，有一定的焙烧温度范围。提高焙烧温度和增加石墨含量无疑会增加炭块的成本，但有人认为通过电传感性的提高和衬里寿命的延长足以补偿成本的上升。这方面的改进是否可以成功地抵偿增加的炭块成本，目前在工业领域内还将继续是个有争议的问题。

机械化和自动化

铝电解经常性的主要操作过程，包括出铝，阳极操作，向电解液中加氧化铝，控制阳极工作面和铝液池（即阴极）之间的距离。早期所有这些都是人工操作的，但今天电解槽还用人工操作已罕见。

早期，出铝作业是从其它冶金工业上移植过来的，或者是铝水包，或者对大型电解槽采用出铝孔。后一种情况就需要强大的劳动力来打开出铝孔。一旦铝液被抽完，电解质开始工作，就把出铝孔用粘土和炭制成的塞子封死。使铝液流入地面上的孔道内。由图1—3可以看出这种布置，这种作法一直延续到本世纪。美国金属学会的一百周年文集中有这段时间的大量图片。