

铝电解槽寿命 的研究

LUDIANJIECAO SHOUMING
DE YANJIU

何允平 段继文 编

冶金工业出版社



铝电解槽寿命的研究

何允平 段继文 编

冶 金 北 京

内 容 简 介

电解槽是铝生产中的关键设备,其寿命又是主要的技经指标。因而国内外铝生产厂家十分注重电解槽寿命的研究。

本书较全面地汇总了 20 世纪 80 年代以来,特别是 1990 年后国内外铝电解行业在铝电解槽寿命研究方面的成果和经验。主要包括电解槽破损原因的分析,电解槽结构和大修工艺过程演变的总结,槽底破损的检测和修补方法以及电解槽砌筑、启动和大修过程中新方法、新材料的研究和应用等。

本书适合铝电解行业工厂、科研、设计部门的技术、管理和生产人员阅读,也可供采用熔盐电解法的其他行业和碳素行业的人员及大专院校冶金系师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

铝电解槽寿命的研究/何允平,段继文编. —北京:冶金工业出版社,1998.10

ISBN 7-5024-2232-3

I. 铝… II. ①何… ②段… III. 炼铝-电解槽-寿命-研究 IV. TF821

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 14008 号

出版人 卿启云 (北京沙滩嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009)

责任编辑 刁传仁 美术编辑 李心 责任校对 王永欣

北京新兴胶印厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

1998 年 10 月第 1 版, 1998 年 10 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/32; 11.5 印张; 256 千字; 358 页; 1-2000 册

17.00 元

(本社图书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

前 言

铝电解槽是铝电解生产的核心装置,它的使用寿命直接关系到铝的产量、质量和成本等各项指标和生产的经济效益。槽寿命的长短受槽型与结构、筑炉材料、焙烧启动方法以及工艺操作制度等多方面因素的影响。因此,对槽寿命的研究一直是铝电解生产、科研、设计等各方面普遍关注的重要课题。

80年代以来,国内外的铝电解工业发展很快,我国的铝电解生产更是多年持续稳定增长,到1997年我国的电解铝年产量已突破200万t。随着铝电解生产技术的突飞猛进,国内外在铝电解槽寿命方面的研究也取得了一系列成果。

为进一步推动和促进我国铝工业的发展,本书较全面地汇总了国内外铝电解行业在槽寿命研究方面取得的成果和经验。全书共收入这方面的论文54篇。这些论文大部分是我们在长时间的工作和业务活动中特邀一些专家学者及有关同志撰写的,也有一部分是选自《轻金属》等刊物。这里仅向各位作者及有关同志致谢。

为使各篇论文和总结更加精炼、节约篇幅,达到出版要求,在本书的汇总编写过程中,在尽量保持原意基础上,对各篇进行了不同程度的压缩和删改,有的还进行了改写。因时间关系,未能再次征求原作者意见,请原谅。

由于时间和编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,希望读者予以批评指正。

编 者

目 录

大型预焙阳极铝电解槽的槽寿命	1
大型铝电解槽早期破损的研究	7
槽膛结构尺寸对电解槽生产及槽壳寿命的影响	21
铝电解槽阴极破块钠侵蚀膨胀测定分析	24
铝电解槽的破损原因和提高槽寿命的措施	33
大型预焙槽的槽底隆起	44
再谈大型预焙槽的槽底隆起	52
60kA 铝电解槽阴极内衬结构的改进	58
60kA 铝电解槽内衬结构的改造	62
青海铝厂 160kA 电解槽停槽因素浅析	66
60kA 侧插自焙槽启动新方法	72
槽外焙烧启动过程中产生大裂缝的处理及预防	79
系列电解槽长时间停电后的重新启动措施	84
中间下料预焙电解槽“铝框-焦垫”焙烧启动法的实践	87
侧插自焙阳极铝电解槽焙烧新工艺	95
60kA 自焙槽快速焙烧启动漏炉分析	99
水灾造成停电的电解系列再启动	105
电炉焙烧自焙槽阳极	111
大修后电解槽启动过程中含破现象的探讨	117
大型预焙槽长时间大幅度降电流下的处理与运行	121
干防渗混合材料在铝电解槽上的应用	127
半石墨质阴极破块在自焙槽上的应用	137

半石墨化阴极碳块在 30kA 铝电解槽上的应用	146
半石墨质碳块在铝电解槽上的应用	153
铝电解槽砌筑和冷捣糊的应用	161
冷捣糊在自焙槽阴极捣固中的应用	173
冷捣糊在大型铝电解槽筑炉中的应用	183
冷捣糊在 160kA 预焙槽上的使用实践及评价	187
铝电解槽内衬新材料的研究与应用	192
Si ₃ N ₄ 结合的 SiC 耐火材料在铝水及冰晶石-氧化铝 熔体中的行为	201
惰性阴极在较低温度电解中的应用	210
铝电解槽用碳-碳化硅复合侧壁碳砖	219
碳化硅对侧部碳块性能的影响	224
惰性材料 TiB ₂ 的研制及在铝电解槽上的应用	228
TiB ₂ -C 复合阴极在 45kA 铝电解槽上的应用	237
铝电解槽侧壁碳结合碳化硅材料的研究	243
天然石墨及其在铝电解中的应用	253
钢棒糊捣固组装阴极碳块工艺试验	258
改进碳素内衬提高电解槽寿命	266
电解质和铝液对微孔硅酸钙保温材料的侵蚀	268
铝电解槽槽壳结构	272
三种 60kA 铝电解槽槽壳的对比研究	290
浅谈侧插槽立柱母线与阳极大母线接点的焊接方法	297
系列全电流焊接大修槽立柱母线新技术	301
预焙槽立柱母线焊口裂断的处理	306
Cu-Al 爆炸焊技术在 60kA 侧插自焙槽上的应用	311
远红外电加热技术在阴极碳块组制作中的应用	317
浅谈 60kA 侧插自焙铝电解槽的槽沿板改造	321

铝电解槽废槽衬的处理和回收利用.....	325
铝电解槽废旧阴极钢棒的回收利用.....	336
铝电解槽炉底破损的检测与诊断.....	340
TiB ₂ 复合层阴极碳块的研制、生产和工业试验	345
破糊捣固的阴极碳块组电阻的测定.....	348
大型铝电解槽的小修.....	351
发展碳素制品生产 提高槽寿命.....	355

大型预焙阳极铝电解槽的槽寿命

青海铝厂 周维国 刘海石

我国铝电解生产已有 40 多年的历史,但生产技术指标仍落后于国际先进水平,大型预焙槽的容量目前仍不超过 160kA,其平均槽寿命只有 1200d 左右。因此,除了能源和原材料外,槽寿命成了制约我国铝工业发展的一个障碍。现在我国已有部分 160kA 中间下料预焙槽的寿命达到 2500d 以上,有的甚至达到了 3000d,且这些槽子仍在以较高的效率生产,说明大型预焙槽的寿命是完全可以提高的。而提高其寿命的关键在于做好电解槽焙烧、启动及正常生产管理。

一、影响槽寿命的因素

从长期生产实践中发现,影响预焙槽寿命的因素不外乎以下几方面。

1. 电解槽设计

(1) 内衬设计。良好的内衬设计应该是侧部加强散热,以促使炉帮尽快长成;底部加强保温,以利于氧化铝在电解质中的溶解和少生成沉淀。

(2) 钢壳结构设计。电解槽钢壳结构的关键在侧部,特别是大面结构和摇篮架结构。目前世界上流行的侧部钢壳结构为通风散热型,有利于炉帮生成;摇篮架结构一般是通长的,而且强度相当大。据法国彼施涅铝业公司报道:280kA 中间下料预焙槽摇篮架采用 400~600mm 高的工字钢焊接而

成，有效地约束了由于内衬吸收氟化钠而导致内衬膨胀使槽壳产生的胀裂，同时也防止了内衬大量吸收氟化钠，大大延长了内衬使用寿命。

贵州铝厂引进的 160kA 中间下料预焙槽钢壳结构不理想，它设置了侧部二翼板，阻挡了气流的上升，使侧部钢壳温度较高（平均 200℃左右），个别处达到 300℃。而美国的 150~180kA 槽侧部钢壳温度只有 60℃。侧部钢壳温度低，才有利于炉帮的生成。

(3) 下料机构设计。目前世界各国普遍采用点式加料器，实现了连续或半连续加料，每隔 30s 下一次料，而且是每次均换点，以使加入电解质中的氧化铝很快溶解，槽内不产生沉淀，而且可以使电解质中的氧化铝浓度控制在 3% 以内，实现平稳生产。这种槽子不但效率高，而且内衬中温度分布均匀，不会产生过大的温度梯度，有利于提高槽寿命。

(4) 电解槽母线配置。由于铝液、电解质的流动而冲刷槽侧部及底部碳块，如碳块稍有缺陷，便会形成冲蚀坑，久之，冲蚀坑就扩大形成漏洞。因此，先进的母线配置应能平衡槽内磁场分布，使铝液流速低于 10cm/s，平稳生产，减小对内衬的侵蚀。

2. 电解槽焙烧启动及正常生产管理

(1) 焙烧。焙烧对槽寿命的影响因素较多。一是升温速度。理想的内衬升温速度应该是 5~10℃/h。升温过快，易产生过大的温度梯度，使应力集中，导致内衬破损；升温过慢则浪费能源。二是焙烧方法。如采用电—铝液焙烧法，先向槽内注入铝液，若槽内衬表面有缝隙，则铝液进入缝隙中，待温度上升便缓慢向下渗透，直至熔蚀钢棒，导致内衬破损或漏炉。采用电—碳粒焙烧法时，内衬升温过快（12.5~15.0℃/h）易

造成热应力集中,但没有铝液进入内衬的忧虑。燃料焙烧法从升温速度和对内衬的影响上都比较理想,但焙烧过程较难控制,而且成本太高。

(2) 启动与启动期管理。从启动方法上看,大型预焙槽不宜采用干法效应启动。因为这样会在槽内衬中产生大量的热,使内衬在短时间内产生突变,导致内衬应力集中,而湿法效应启动和湿法无效应启动比较适合大型预焙槽。从启动后期管理上看,在启动后期的加工制度、出铝制度、工作电压、铝液水平和电解质水平等,都影响电解槽的能量、物料和电压三个平衡状态。

(3) 正常生产管理。这方面对槽寿命的影响因素有:生产技术条件、加工制度、阳极更换制度、出铝制度、阳极效应等。可以说,电解槽的焙烧启动是打基础阶段,基础打好了,全靠正常生产管理来保证或延长槽寿命。

二、延长槽寿命的措施

1. 电解槽的焙烧

电解槽焙烧前,要认真观察阴极状况。对筑炉质量好,阴极面上无裂纹,结合缝处无开缝的电解槽,可采用简单的电—铝液焙烧法,对阴极表面有明显裂纹、结合缝处有开裂的电解槽,应用燃料焙烧法或电—碳粒(粉)焙烧法。采用电—碳粒(粉)焙烧法时也要严格控制升温制度,采用薄层碳粒,以降低其单位时间内的发热量,降低升温速度。电解槽焙烧管理最重要的是控制内衬升温速度,严格内衬温度管理。160kA 中间下料大型预焙阳极电解槽采用电—铝液焙烧法时,按规定的 192h 升温曲线,控制的升温速度为 $4.69 \sim 4.95^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

焙烧电解槽的另一原则是，将阴极烧成一整体。但实际生产中往往很难做到这一点。不管是电—铝液焙烧法、电—碳粒（粉）焙烧法，还是燃料焙烧法，目前都解决不了侧部人造炉帮的烧成问题，这是世界各国都在致力攻关的难题。

焙烧管理的另一要点是，使焙烧末期槽电压控制在 3.5V 以下。有的厂家在焙烧末期把槽电压升高到 4.0V 以上，这种做法不可取。因为此时电解槽内液体电解质少，升高电压使极距增大，如产生波动，则阳极与电解质若即若离，使阳极效应时发时灭，因此槽内衬不断受到热冲击，造成炉底过热，易导致炉底应力集中而早期破损。同时由于炉温升高，也加剧了侧部碳块的氧化烧损，使侧部内衬的寿命缩短。

2. 启动期管理

要建立合理的生产技术条件体系。由于各生产技术条件存在有机联系，因此，制定启动管理制度要总起来考虑。

加料制度不但影响阳极效应数，影响物料消耗、电耗，而且影响槽寿命。加料多时，易在炉底产生沉淀。产生沉淀的部位，炉底电压降大，电流便集中从无沉淀处流过，造成无沉淀处过热，而有沉淀处阴极碳块过冷，产生应力，导致阴极早期破损。

要正确设置工作电压。启动初期，工作电压要稍高，中期逐步降低，后期则降至正常生产电压。降低工作电压的目的是，促使槽子尽快建立炉帮，防止侧部碳块被氧化和人造伸腿破损。据有关文献报道，在电解槽启动开始时，侧部碳块就以 1.0~1.5mm/d 的速度在消耗，这种消耗属电化学消耗、氧化消耗和机械消耗，它不可避免，但可限制其消耗速度。在启动初期，采用高分子比电解质，其初晶温度较高，在电解槽侧部通风散热的条件下，高分子比电解质便会在侧部

碳块及人造伸腿的表面形成结壳,这种结壳达到一定厚度,电解槽便形成了规整的炉膛。

3. 正常生产期管理

转入正常生产期的最重要标志是使槽子达到理想的能量、物料、电压平衡状态,这也是启动末期或正常生产初期的主要任务。

电解槽的能量平衡,是指在电解槽体系内,输入电解槽的能量与电解槽输出的能量、反应所消耗的能量保持平衡状态。要保持电解槽处于能量平衡状态,必须采取以下措施:

(1) 阳极效应系数要控制得当。大型预焙槽的阳极效应系数一般为每槽每昼夜 0.2~1.0 次。在这样的系数下,电解槽基本能保持能量平衡状态。因此,一旦发现电解槽突发效应或滞后效应,应及时查找原因。如确属槽子缺料,则应适当缩短加料间隔时间;如沉淀过多,则适当延长加料间隔;如效应电压高(高于 30V),则槽子可能处于冷行程,宜适当延长效应时间,但也不能超过 10min;如效应电压低,则槽子可能处于热行程,应适当控制效应时间,不能超过 6min。

(2) 稳定系列电流。电流强度对能量平衡影响较大。首先是影响槽子热收入。升高系列电流,则持续一段时间,会使炉帮化掉,内衬遭受较强的热冲击和电解质的强烈腐蚀,缩短槽内衬寿命;降低系列电流,则槽热收入减少,很可能使槽膛长得过大,长成畸型,还可能造成压槽事故,严重时造成停槽。

(3) 保持阳极上的氧化铝保温料厚度稳定。在电解槽工作电压稳定的条件下,阳极上的保温料厚度与能量平衡有密切关系。据日轻研究所测定,阳极上保温料厚度每降低 1cm,等于多散失相当于提高槽电压 0.06V 所散失的热量。

随着时间的延长,氧化铝保温层的导热系数急剧增大,因此要定期更换氧化铝保温料,一般每 5d 更换 1 次。正常生产时,一般阳极上保温料厚度为 16~20cm。

此外,为了保持电解槽规整的炉膛,还要定期测量炉膛参数,以监视炉膛内型的变化。发现炉膛扩大或缩小时要及时查找原因,对症处理。一般为 15~30d 测 1 次。

总之,生产过程中影响槽寿命的因素较多,除了保持能量平衡外,还要保持物料平衡,保持工作电压稳定、更换阳极稳定、出铝稳定等。

大型铝电解槽早期破损的研究

郑州轻金属研究院 赵无畏

铝电解槽的寿命是铝电解技术经济水平的综合标志。理论上,在标准条件下槽寿命可达 10a 或 10a 以上。据资料报道,电解槽出铝口下形成的坑穴深度,如果以大于 5cm/a 的速度增加,按阴极碳块表面距阴极钢棒 25~30cm 计算,在只有正常磨损的情况下槽寿命足以达到 5~6a。而实际上,工业铝电解槽平均寿命多为 3~6a。统计数据表明,影响正常槽寿命的主要因素及其在寿命上所占比例大致如下:槽型结构设计占 20%,筑炉工艺占 20%,选用的材质占 10%,焙烧预热启动方法占 25%,生产管理技术工艺占 25%。但实际情况并非完全如此,因为上述诸多因素中的任何一项严重失误,都可能造成电解槽早期破损;反之,早期破损往往又是几种影响因素复合作用的结果。所以对槽寿命问题要据实分析对待,不能一概而论。

本文以 140kA 中间点式加料预焙槽为例,利用局部和全部刨开阴极装置实地观察测试分析的方法,对槽早期破损问题进行了研究,目的在于为延长电解槽寿命提供有益的建议。

一、焙烧预热过程中的早期渗铝破损

140kA 槽阴极结构如图 1 所示。

采用铝液焙烧 8h 后,发现 10 号电解槽进电 A 侧阴极 K6 的两根钢棒(11 和 12)窗口漏铝水。为查明漏铝原因,做

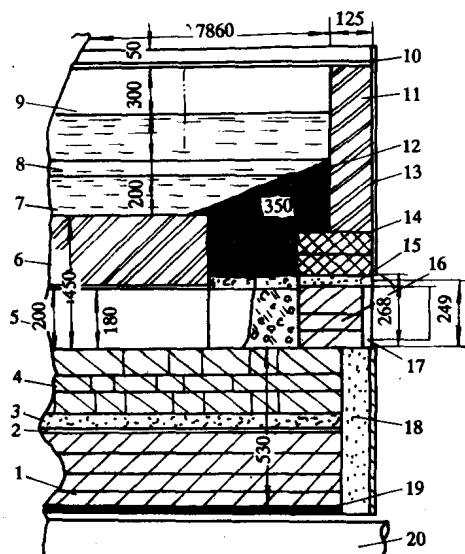


图1 140kA 槽阴极结构

1—轻质保温砖；2—防渗钢板；3—氧化铝粉；4—粘土耐火砖；5—
阴极钢棒；6—半石墨化碳块；7—铝液；8—电解质熔体；9—阳极；
10—槽沿板；11—侧部碳块；12—冷捣糊；13—槽壳侧板；14—高铝
砖；15—耐热混凝土；16—轻质保温砖；17—密封料；18—耐火颗粒；
19—石棉板；20—槽底母线

断电临时停槽处理，并趁热清炉。停槽后的碳素内衬实际状况见图2，边缝糊上有7、9、10、11等四条裂纹和1、2、3、4、5、6、8点碳糊起层，碳块接缝12和13有浅裂纹剥落，碳块接缝上的碳帽全部消失，底块和侧块完好无损。找出漏铝地点是破损处9，刨开该区域的局部，沿铝线跟踪刨开约1100mm×300mm×450mm空间，清楚地看到，铝水是沿着边

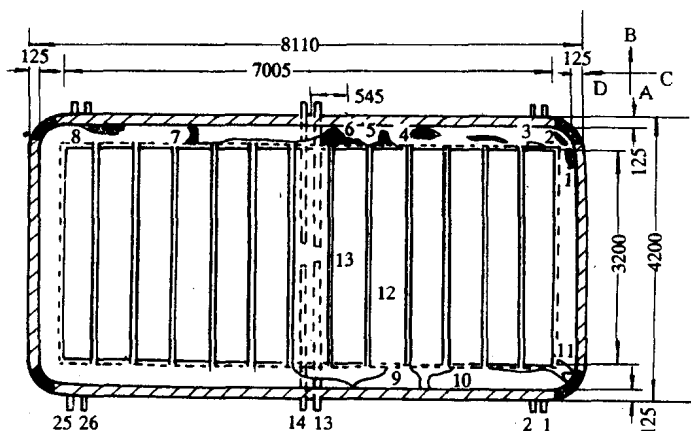


图2 焙烧预热 8h 碳素衬里破损状态

缝糊与 K6 极 A 侧端头压接缝开裂点向下流动，铝水顺钢棒与混凝土间缝隙向外经窗口喷出。同时看到钢棒上和混凝土里均残留有铝，还看到铝线沿钢棒上下表面与燕尾槽和最上层耐火砖缝隙向槽内流去，铝水在碳块碳糊、钢棒和混凝土之间缝隙中四处漫延，可谓无孔不入，有缝就钻。

查明漏炉原因后，用特殊的工艺技术对内衬进行了小修，并趁热立即重新通电焙烧启动。目前该槽还在运行中。

二、铝液中 Fe 含量的监测

对焙烧启动过程中发生钢棒窗口渗铝的 5 号、7 号、9 号、12 号、13 号等 5 台槽原铝中的铁含量作跟踪监测，结果见图 3。启动初期 Fe 含量高只是个暂时现象，经过约 30d 后铝中 Fe 含量按纯稀释效应规律减少到正常铝纯度，唯独 13 号槽

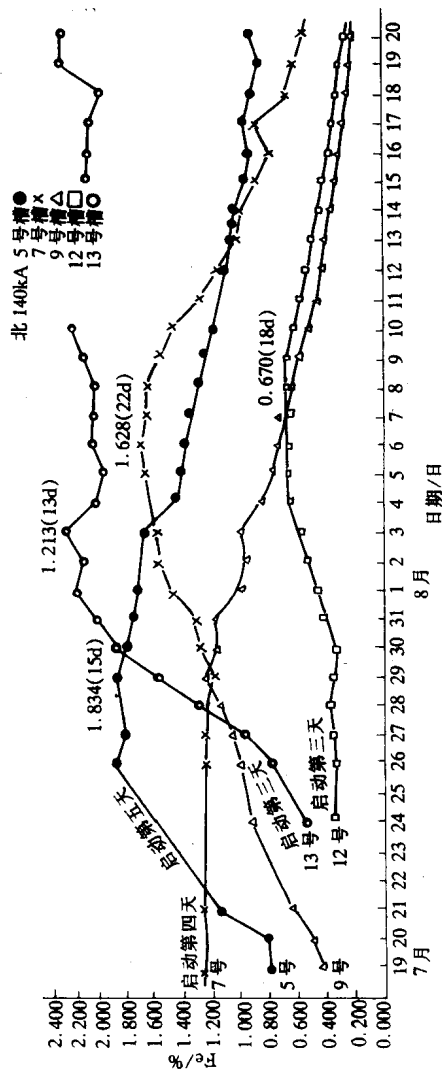


图 3 启动初期铝液中铁含量的变化曲线