

平行流电解新技术理论研究及应用

王应全

云南冶金高级技工学校 云南省 昆明市 650000

【摘要】在金属行业当中，电解铜指的是一种粗铜借助适当的方式进行通电之后获取纯铜的流程。整体上来说，电解铜与人类的生活和生产均有非常密切的联系，而且在有色金属材料行业的消费当中，其仅次于铝，在机械制造行业，电器行业，化工行业，建筑行业，以及国防工业，等诸多领域当中均有广泛的应用。就当前的现实情况来说，常规情况下电解工艺一般包括始级片电解以及永久不锈钢的阴极电解，属于非常具备代表性的能耗较高的行业。在本文当中将针对平行流电解的新技术进行理论研究，并探究其具体应用，以期能够为相关行业的从业人员提供一定的理论参考。

【关键词】电解铜；平行流；技术理论

通常来说，平行流技术属于全新的一种电解工艺，借助辅助喷射设备，令电解液可以依照预定好的速度以及轨道流动，并起到控制反应速率的作用，进而在最大程度上防止浓度差以及阳极钝化的问题。就电解铜来说，它指的是粗铜借助适当的方式经过通电之后获取纯铜的流程，它和人类的生产和生活都有非常密切的联系，对于我国的有色金属材料行业巨大的消费量来说占据较大的比例，在机械制造行业，化工行业等都有非常广泛的应用。

1 平行流电解技术的理论研究

整体来说铜电解精炼属于涉及到各种各样的电化学反应的流程，其复杂性非常显著，而且各个环节之间相互影响，而电解液循环流动的形式会对阳极泥沉降以及阴极铜质量有关键性意义，也是对电解槽中物理场分布产生影响的重要因素。高电流密度的电解流程当中，单位时间内，自阳极板上所析出的铜离子数量会有明显的增加，在这个时候，必须要配合电解液，通过更快的速度，把铜离子及时输送至阴极板上完成沉积。不过传统端头进液的形式有较大的可能导致电解液处于吸板之外的区域，并完成流动，极板之间循环量以及流速都不是很大，很难满足高电流的密度需求导致浓差极化等问题，电流效率大大降低，不利于铜电解过程。也正因如此，平行流这一技术出现。

1.1 理论基础

在铜电解的流程当中，其阴极板的表面沉积铜元素质量 $m_{\text{铜}}$ 一般可以借助“法拉第定律”所获得：

$$m_{\text{铜}} = \frac{i \cdot A \cdot t \cdot M_{\text{铜}}}{z \cdot F}$$

(i : 电流密度, A/m^2 ; A : 极板的表面积, m^2 ; t : 时间, s ; $M_{\text{铜}}$: 铜离子摩尔质量, 0.064kg/mol ; z : 铜离子电荷数; F : 法拉第常数, 96485C/mol)

从该公式可以发现，在设备参数固定的情况下 (A 固定)，单位时间中在极板中沉积的铜离子的质量和电流的实际密度保持线性关系，电流密度变大，铜离子沉积量也会随之增加，电解槽中产能增加。不过就实际中生产情况而言，电流的密度是不能无限地提升的，存在一个上限数值，也就是常说的“极限电流密度”，一般会受到下述因素所制约：

$$i_{\text{极限}} = z \cdot F \cdot D \cdot \frac{C_0}{\delta}$$

(D : 铜离子的扩散系数, m^2/s ; C_0 : 电解液的入口浓度值, mol/m^3 ; δ : 铜离子的扩散边界层面厚度值, m)

参考上述两个公式，我们可以发现，适当提升电流的密度值，能够令电解过程产量得以有效提升；相对的，适当降低铜离子的扩散边界层厚度能够协助提升理论层面的极限电流密度值，提升阴极铜理论层面的产量。因为铜离子扩散边界层在极板之间，所以可行方式其一就是使用射流装备对每个极板进行强制对流引入，令极板之间电解液流动循环得以提升，实现扩散边界层的厚度缩小的作用。

1.2 底部交错技术

参考图 1，底部交错型平行流技术的分液孔具体位置如图所述。

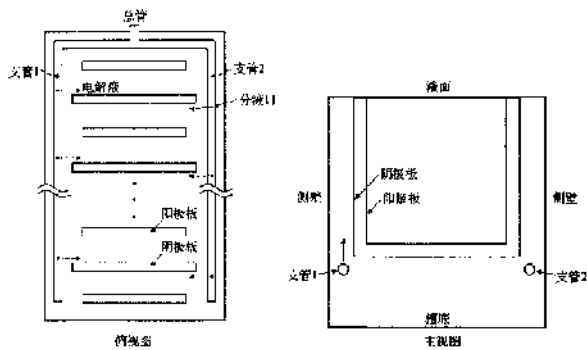


图 1

电解槽的端头所设置的进液孔总管会在液面有适当距离的位置设置两根支管，其通过嵌在电解槽槽体当中的套管被固定于电解槽侧壁，与此同时，支管沿着电解液流动交替分布在分液口。在电解流程逐步进行的过程中，新的电解液通过总管较为均匀地为支管分配，随后从支管分液口进入到极板之间，实现良好的均匀布液效果。因为电解液可以通过适当速度在阴极板的表面平行流动，补充新的铜离子，因此可以认为，采用这一进液形式，可以在相对较高的电流密度电解中降低阴极周围浓差极化，以保证正常电解生产进行过程。

2 平行流电解技术的实际应用

2.1 案例分析

本文所研究的案例是规模为 50 万 t 的电解阴极铜工程项目。建筑永久性的不锈钢阴极，电解工艺，对电解槽平行流进行装置的安装，同时辅以高电解液循环装置展开生产。这一项目主要是结合原有的数千个电解槽，进行平行流装置安装，从循环着，经过变频泵，给予电解槽的工业需求，取代传统的电解循环系统当中高位槽的位置。在这一项目当中，增设的设备是 4 套对应规格的电解液循环设备以及对与电解槽数量一致的平行流装置 PFD。在本次案例当中投入的改造成本金大约在 1 万元以上，建设周期在两年左右，最终实现碳减排大约 7 万吨，对环境的积极效益非常显著，另外每年将能够实现节能创造的经济效益 3600 万元左右，投资的回收期大约四年之内。显然对于平行流技术实现应用来说，该案例是非常成功的，在有色金属行业中相似的成功案例非常多。

2.2 技术应用

就现实情况来看，平行流的电解铜手段已经满足国家的相关专利申请要求，而且也获得了很多权威性的组织的认可，比方说，在 2015 年中旬左右，中国有色金属工业协会组织，对平行流电解铜技术予以科技成果认证，在 2016 年左右，还获得有色金属工业科技金属奖一等奖。显然，在大量的权威机构认可下，平行流技术

也在实际应用当中获得了进一步的深入推广，参考国家技术生产指导中的相关数据，该技术手段的实际应用已经由最初数十家上升到数百家，普及范围非常广泛。

2.3 存在问题

2.3.1 阴极铜少数结晶呈现粗糙的特点

整体来说，阴极铜质量除了必须要保证化学成分满足相关标准之外，还需要保证其表面的光滑和平整，另外周边也要整齐，且结晶相对致密。运转的过程当中，隔一段时间就必须要参考实际情况及时抽取适当的电解槽数量进行有效的提板观察，参考阴极铜生长状况，调节当前的生产指标以及相关设备的基本参数。但是这一过程当中，可以发现极少数情况下阴极铜的表面会出现直径在 5 毫米左右的细小的颗粒，导致表面粗糙，很难满足结晶光洁的相关要求。

另外，还有一种情况，电解液循环槽以及电解槽之内电解液的微量元素经过抽检可以发现，除了铋元素的含量和国家标准比较接近之外，很多元素的含量都远远小于国家的 a 级标准。已经检测过的微量元素当中，镍元素占据比重是最大的，该元素也是火法冶炼当中非常难以去掉的一种杂质，可能会生成很难剥落的薄膜，出现阳极溶解不均，甚至阳极钝化的问题。

参考上述两个现象，我们可以知道，借助火法冶炼进行浇铸阳极板，其中通常会含有较多的杂质元素，在电解中这些元素会大量溶解，并融进溶液当中，提升电解难度，甚至对电解过程造成不利影响。除此之外，在电解过程当中所配置的添加剂，如果不能和阳极板品质保持适应，无法及时有效的抑制阳极板脱落杂质粒子，而是会附着在阴极板表面，并大量形成粒子核。

2.3.2 电解液的入射参数不科学

从整体上来看，底部交错的平行流技术，最大的特征就是可以把新鲜电解液借助较多的分液口保持定向喷进极板之间，并保证电解液实现平均分配且快速循环。但是在实际中，因为聚氯乙烯管壁相对比较厚，因此加工分液口的时候钻头很难保证一次钻通，操作人员一般会运用多次重复打孔的技巧，确保分液口开孔直径一致，而且开孔方向保持竖直，这一操作难度较高。

因为开孔方向的差异，其偏差会令电解液实际的入射角度发生偏移，一般来说偏向槽壁或者偏向极板的情况都有可能发生：如果是偏向槽壁的方向，电解液可能会撞击槽壁，进而丧失动能，导致极板之间循环速度降低；假如偏向极板，就可能令极板之间流场分布产生改变，阻碍铜离子沉积以及阳极泥沉降，进而有阴极铜的表面结晶粗糙风险。

另外，根据一些研究报告可以发现，不同组别的阳极板以及阴极板之间的缝隙可能会出现一些变化。在进

液的支管在槽壁上得以固定之后,分液口位置一般也会得以明确,假如极板没有经过吊装设置与预期位置,分液口以及阴极板对应位置可能会发生一定的偏差问题,造成入射电解液无法和阴极表面贴合流动,严重的还会因为和阳极板太过接近阻碍阳极泥沉降。

由此,底部交错型的平行流技术对于分液口加工以及极板吊装均有较高要求,必须要进行较为精准的测量和管控,避免因操作误差影响电解流程,在较大程度上发挥出平行流技术独特优势特征。

3 结语

综上所述,平行流技术属于一种相对比较先进而且效率比较高的铜电解,精炼新型工艺手段,它能够有效提高产能,并且提高生产效率,是一种非常重要的措施。除此之外,进行生产实践操作的过程当中,工作人员或多或少发现了一些问题存在,比方说阴极铜结晶相对比较粗糙,或者是电解液的参数设定不够合理等问题。出现这些问题,除了可能是因为,操作不当所造成的生产加工问题,也有可能是平行流理论,目前还有一定的缺陷存在。整体来说,就当前生产数据以及实践效果来看,已经为未来技术优化带来了一定参考,相信随着理论基

础的不断完善,以及生产实践经验的不断累积,未来的电解铜,产能以及生产效率都会继续提升。

【参考文献】

- [1] 姚素平,柳彦,付伟岸. DBSA 集成铜电解工艺成套技术和装备开发及应用[J]. 有色金属:冶炼部分,2016(10):58-62.
- [2] 李岩. 平行流铜电解精炼工艺与生产实践研究[J]. 科学与信息化,2019(016):101.
- [3] 李志明,汪倩. 平行流铜电解精炼工艺与生产实践研究[J]. 山东工业技术,2019(05):57.
- [4] 邓文涛,付伟岸,袁剑平. 双向平行流技术在铜电解工艺中的应用及优势[J]. 有色冶金设计与研究,2019(06):28-31.
- [5] 向小艳,夏文堂,杨文强等. 电解液循环方式对电解能耗及铜粉性能的影响[J]. 粉末冶金材料科学与工程,2019(01):23-28.
- [6] 谢文义. 高强度平行流电解提高 A 级铜表面质量实践[J]. 山东冶金,2018(006):76-77.
- [7] 章小兵,袁剑平,赵欣等. 200kt/a 常规不锈钢电解与双向平行流高效电解工艺方案比较[J]. 中国有色冶金,2016(001):10-12.
- [8] 周松林. 高强度铜电解精炼新工艺与生产实践[J]. 有色金属(冶炼部分),2013(02):1-4.