工程与管理科学
Engineering and Management Science
第 8 卷◆第 10 期◆版本 1.0◆2026 年
文章类型：论文|刊号（ISSN）：2705-0637(P) / 2705-0645(O)

铝电解生产中氟化盐消耗管控策略实践研究

李广晋
青海百河铝业有限责任公司　青海省西宁市　811600

DOI：10.32629/ems.v8i10.22591

［摘　要］铝电解生产过程中，氟化盐是维持电解质体系稳定重要的辅料之一，同时也是影响生产成本、物料平衡以及环保绩效的因素。氟化盐消耗水平受到原料质量、工艺条件、设备状态、操作管理和回收能力等多种因素的影响，在实际生产中仅靠经验进行控制易导致波动和浪费现象的发生。因此，本文从氟化盐消耗机理入手，对生产现场中影响消耗的主要因素进行了分析研究并提出了以工艺稳定、过程监测、精细操作、回收再利用和制度化管理为主的管控策略及在生产实践中如何实施的应用途径；通过研究发现，建立全流程、可追溯、可评价的氟化盐消耗管控体系有利于提高铝电解生产的稳定性，减少物料消耗，实现绿色高效的运行。

［关键词］铝电解；氟化盐；消耗管控；电解质；工艺稳定；资源回收

一、引言

铝电解生产过程是原铝生产的重中之重，在此期间需要保持合理的电解质组成以及良好的槽况控制才能保证稳定的运行。其中氟化盐作为电解质体系中的重要组分之一，对于降低电解质熔点、改善导电性能、调节铝液与电解质界面等有着重要的作用；但同时由于氟化盐会在生产中因为挥发、夹带、渗漏、反应消耗、回收不完全等因素而发生损耗，如果不能得到很好的管控不但会造成生产成本上升还会造成电解质组成的不稳定从而影响到电解槽的正常运行。因此随着铝电解行业对节能降耗、清洁生产和精细化管理的要求越来越高，氟化盐消耗管控已经由一个简单的辅料管理问题逐渐演变为涉及到工艺、设备、操作和环保的问题。

二、氟化盐消耗管控的理论基础与影响因素分析

（一）氟化盐在铝电解生产中的作用机理

氟化盐在铝电解过程中的主要任务在于组成电解质，在电解质中起到调节电解质物理化学性质、保持电解反应环境稳定等的作用;合适的氟化盐配比可以改善电解质的流动性，降低电解温度，提高电流效率并利于铝液与电解质的分离。此外，氟化盐还会对电解质的表面张力、密度、黏度及挥发性产生一定的影响，进而间接地影响了槽内的物料循环、阳极的工作状态和烟气收集的效果。如果氟化盐添加过多或者过少，都会打破电解质平衡，导致槽温波动、分子比异常、炉帮变化、氟化物排放增加等一系列问题的发生。所以，对于氟化盐来说，不能简单的认为只是“补加”一种辅料，而是要作为电解槽工艺控制的一部分进行考虑。只有实现了稳定的氟化盐组分调控,才能保证铝电解生产的连续平稳运行，达到各项技术经济指标的达标优化，氟化盐的管控质量直接影响着企业的生产能耗、产品产量和环保排放情况。

（二）影响氟化盐消耗的主要因素

氟化盐消耗不是单个因素所导致，是多个条件综合作用的结果：在原料质量上，氧化铝、氟化盐本身的质量（包括纯度、粒度、含水率和杂质）会影响电解质稳定性和杂质过多会引发副反应从而增加氟化物损失；在工艺条件上，电解温度、分子比、极距、槽电压、阳极更换周期和电解质高度的变化，都会改变氟化盐的挥发和夹带的程度；在设备状态上，槽壳密封性、烟道系统的完整情况、下料系统准确与否及收尘装置运行效果都直接影响着氟化物的逸散和回收效率；在操作管理上，加料频次、补盐方式、槽况判断、异常处理和记录追溯的能力也都直接关系到氟化盐消耗是否可控；在回收体系上，如果对收尘灰、电解质残料和废渣处理不善会造成氟资源流失，加大了外购补充的压力。所以要管控好氟化盐消耗就必须从源头、过程、末端三个方面同时进行。对于不同的影响因素采取分级管控措施，才能抓住管控的关键点,避免因无差别的操作造成的资源浪费和工艺波动。

三、铝电解生产中氟化盐消耗管控存在的问题

（一）过程监测不足导致消耗控制滞后

在实际生产过程中，一些企业的氟化盐消耗情况仅能进行总量上的统计，并不能做到对于单槽、单班、单工序消耗的变化情况进行细致地跟踪和记录；同时因为电解质成分、槽温、烟气成分等指标检测次数较少，在成本核算或者库存

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

盘点的时候才发现氟化盐消耗存在异常现象而无法及时追查其原因。此外，如果过程上没有得到有效的监控，则会使得补加策略更多依靠经验和主观意识来决定，“多补防缺”，也有可能是“少补观望”。这不仅会造成物料浪费的问题，还会影响电解质的稳定性。

甚至可能由于氟化盐的组成长时间偏离工艺要求导致电解槽出现热不平衡、电流效率降低等问题更为严重的问题，从而增加整个生产的运行成本。

（二）操作标准化程度不高影响消耗稳定性

铝电解的生产环节多、工序繁杂，在不同的班组和岗位对于氟化盐补加、槽况调整以及异常处置等理解可能会存在一定的差别，如果操作规程不够细化，则在现场执行时没有一个统一的标准，就很容易出现加料量波动、补盐时机不一、电解质调整幅度过大的问题;尤其是在槽况发生波动的时候，如果没有系统的认识氟化盐消耗的变化情况，有可能采取一些临时性的、局部性的措施来解决，虽能短期内缓解现象，但从长远来看则会使电解质体系不稳定，并增加了后期管控的难度。

更有甚者，由于操作不规范造成的氟化盐组分偏离，在一段时间内都需要进行更多的调整来使其回归正常状态，并且在此过程中会不断推高单吨铝的氟化盐消耗量，同时还会影响电解槽寿命和阳极炭块消耗等一系列其它指标，从而拉低企业的总体生产效益。

（三）回收与再利用体系不完善造成资源流失

氟化物的回收也是降低氟化盐消耗的一个重要手段，在一些生产现场仍然存在着收尘、转运、配料以及再利用等环节之间的衔接问题:如果收尘灰没有得到及时地检测其成分，并进行合理的回用，则会造成氟资源的闲置或者误用；电解质残料如果没有分清类别也会对再利用产生影响。另外，如果回收物料的质量变化很大,而又缺少相应的适配性措施时，操作人员可能会选择少回多加新的盐来应对这种状况，进而导致总体消耗量上升。

另外一些企业的场地和转运流程有限制，在回收物料暂存、转运的过程中还会出现氟化物逸散的现象，这不但带来了环保问题，而且会直接导致可回收氟资源的无效损失；更为严重的问题是有些生产线还没有建立起完整的回收物料台账，对于来自不同来源的回收物料其氟含量统计不清楚，无法准确把握回用量，这也造成了氟资源的更大浪费，使得回收再利用体系不能充分发挥出降本控耗的作用。

四、氟化盐消耗管控策略的构建

（一）建立全流程消耗管控框架

对氟化盐消耗进行管控应该从“投入——使用——监测——回收——评价”的 5 个方面形成闭环：在投入上，要严格控制氟化盐采购的质量、入库检验和配料的准确性，防止由于原料波动导致后期消耗出现异常；在使用上，根据电解槽运行情况来决定补加的原则，并且强调按需补加、精准补加，尽量少盲目的投料；在监测上，完善电解质成分、槽温、烟气治理和物料平衡的数据采集机制，使得消耗的变化可以得到及时地发现和解释；在回收上，加强收尘灰、电解质残料以及含氟废弃物的分类管理和氟资源回用的比例提升；在评价上，则要把消耗指标同工艺稳定性和操作规范性、设备完好率和环保绩效结合起来作为综合考核依据。

通过各个环节管控的结果进行定期复盘评价，并以此来反向优化投入、使用等各个环节的管控标准，使整个管控体系不断迭代和升级，在此过程中可以一改以往管控分散割裂的局面，实现对原料进厂至废弃物回收全过程的管控覆盖，避免某一环节管控调整不能适应全流程的要求情况的发生，从而为精准地降低氟化盐消耗搭建起一个完整的制度基础。

（二）强化工艺稳定与操作精细化

一是保证工艺的稳定性来降低氟化盐消耗。应该通过对电解质组成的控制范围进行优化，使得分子比、槽温以及电解质的高度在合理的范围内波动，尽量少出现由于剧烈调整而造成氟化物挥发和夹带的情况；二是要细化操作，在加料、补盐、换极、出铝、槽况调整等方面要有具体的标准，并且针对不同的工况有相应的氟化盐控制要求。特别是对于新启动槽、异常槽和大修恢复槽需要采取差异化的管控措施，不能一概而论地采用相同的补加方式。三是要加强岗位培训工作，让操作人员了解氟化盐消耗与槽况之间存在的关系，由原来的“被动补料”，向“主动控耗”的转变。

在此基础上，建立操作记录和槽况变化对应的台账，帮助操作人员总结不同工况下对氟化盐进行调整的经验，并逐渐养成适合自身生产线上槽况的特点的操作习惯，避免不必要的补加操作，在一线执行层面上落实控耗的要求；同时通过定期组织岗位技能比武或优秀操作经验分享等形式，促进成熟的控耗操作方法在全车间范围内的推广应用，逐步减小不同班组之间以及不同操作人员之间的操作差异性，整体提

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.

高生产线操作精细化程度，保证氟化盐消耗能够长期稳定的处于合理的区间内。

五、管控策略在生产实践中的应用路

（一）完善数据监测与异常预警机制

在实践中，氟化盐消耗管控需要依靠较为完整的数据体系支撑，在实践过程中可以通过完善班组记录、槽况记录、物料台账和环保运行记录，形成可追溯的消耗数据链；通过对电解质分子比、氟化物排放趋势、收尘系统运行状态、补加量变化等方面的信息进行定期分析，有利于发现消耗异常的前兆，并且一旦有某台槽或者某个时段出现了消耗偏离的情况，则要及时地从原料质量、工艺参数、设备状态以及操作行为四个方面的因素去排查问题，不能只看一个指标就下结论，通过建立异常预警和原因追溯机制，把事后统计变成过程控制，提高管控的主动性和准确性。

依托目前铝电解生产线上已经搭建好的智能化管控平台，可以将相关数据接入到实时监测中，在发现氟化盐消耗超出设定范围后及时进行预警提醒，让工艺管理人员能够第一时间定位异常槽号及可能原因，减少异常响应时间，防止消耗异常继续扩大造成的浪费；对于排查出来的异常诱因，则需要同时建立异常处置档案，包括问题根源、处置方案以及最终控耗效果等信息，并作为后期类似异常处置的参考，不断丰富异常预警模型的判定依据，逐渐提高预警的精准度和处置效率，夯实氟化盐消耗管控的数据基础。

（二）推动回收再利用与制度化协同管理

氟化盐消耗降低不能只靠减少补加，更要提高氟资源循环利用率，在生产中要规范收尘灰、电解质残料和含氟物料的收集、检测、储存和回用过程，并保证回用物料成分可控、用量合理；对于成分波动大的回收物料可以通过配伍使用、分批加入或者与工艺调整联动等手段来降低其对槽况的影响。同时加强部门间的制度化协同管理：明确生产、技术、设备、环保和仓储等部门在氟化盐管控上的责任分工，形成定期分析、问题通报、整改验证和标准更新的工作机制，以制度的形式固化有效的管控方式，让管控策略由阶段性的举措变为长久的运行机制。

各部门围绕回收流程建立跨岗位的协同对接台账，从回收物料的转运、检测到现场回用，做到每一批次物料的全程可追溯，杜绝出现回收物料错放、成分不明随意回用影响槽况稳定的状况；同时定期梳理在回收再利用的过程中发现的堵点，并根据生产工艺调整和设备升级的情况及时对管理制度进行更新，保证制度流程能够适应现场生产的需要，不断提升含氟回收物料的回用比例，进一步减少新鲜氟化盐的补加量，在降低成本的基础上减少含氟废弃物的外排，达到降本又环保的目的。

对于回收再利用过程中的损耗环节可以结合 XX 生产线的生产数据对各个环节进行细化管控阈值，并确定不同成分回收物料的允许掺加范围，通过工艺参数跟踪来优化回用方案，避免由于回用不规范导致槽况波动从而增加氟化盐消耗；可以通过组织专项的操作培训，让一线班组清楚地了解回收物料管控的要求，把制度化的管控要求落实在每个操作环节中去，避免出现制度要求和实际执行相脱离的情况，保证回收再利用流程稳定运行。

结语

总之，氟化盐消耗管控是铝电解生产精细化管理重要组成部分，在本质上就是通过对电解质体系进行稳定、操作行为进行规范、监测手段进行完善以及回收能力提高来达到物料消耗与生产稳定的平衡状态；在实际工作中不能简单地把氟化盐管理看作是对补加数量的把控，而是要把它放在整个工艺、设备、环保和成本管理的大背景下考虑，并且在未来随着检测技术和数据管理及智能控制的发展，氟化盐消耗管控会更加强调过程感知、趋势预判和闭环优化等环节。建立一套科学、系统的、可执行的管控策略对于降低生产成本也有助益，同时有利于推进铝电解行业的绿色低碳发展。相关的管控经验也可以作为铝电解行业其它原辅料的精细化管控借鉴，帮助全生产链条的节能降碳水平不断提升。

[参考文献]

[1]汤昌廷,姜海涛,周平.铝电解生产过程中氟化铝消耗量的计算[J].轻金属,2016(02):28-33.

[2]姬凤武,何召迅,胡官海,等.铝电解槽均衡添加氟化铝的研究与生产实践[J].轻金属,2024(06):41-45.

[3]李学文,康聪波,王磊,等.氟化铝消耗的因素影响分析及应用[J].有色金属设计,2025,52(02):46-49.

[4]汪林.铝电解槽的氟平衡及降低氟排放的措施分析[J].轻金属,2018(05):21-25.

[5]杨刚.铝电解生产降低氟化铝消耗的实践探索[J].有色矿冶,2014,30(02):29-31.

Copyright © This work is licensed under a Commons Attibution-Non Commercial 4.0 International License.