

超浓相泄压装置在电解净化中的应用及改进探讨

苏 龙

黄河鑫业有限公司 青海 西宁 810000

摘 要：本文深入剖析了超浓相泄压装置在电解净化系统中的关键应用，通过详细的技术细节与数据呈现，凸显其在保障系统安全稳定运行、优化工艺流程等方面的重要价值。同时，结合实际生产数据与案例，全面探讨超浓相泄压装置现存问题，并提出针对性的改进措施与优化方向。旨在提升超浓相泄压装置性能，增强电解净化系统整体效率与可靠性，为相关行业发展提供有力技术支撑。

关键词：超浓相泄压装置；电解净化；应用；改进探讨

1 引言

电解净化工艺在铝电解、有色金属冶炼等众多工业领域是获取高纯度产品的核心环节。以铝电解为例，每生产1吨铝，大约会产生10-15立方米的含氟废气，这些废气中含有氟化氢等有害物质，必须经过有效的净化处理才能排放。在电解净化系统中，压力的稳定控制是确保工艺流程顺利进行的基石。超浓相泄压装置作为维持系统压力平衡的关键设备，其性能优劣直接影响电解净化效果与系统安全。随着工业技术发展，对电解净化系统的稳定性和效率要求日益提高。超浓相泄压装置在实际应用中暴露出的问题，如泄压速度不稳定、密封性能不佳、易磨损等，逐渐成为制约系统优化的瓶颈。因此，深入研究其应用与改进方法具有重要现实意义。

2 超浓相泄压装置的工作原理

超浓相泄压装置基于流体力学和压力平衡原理工作。在电解净化系统中，当系统内部压力超过设定安全值时，压力传感器实时监测并将压力信号转换为电信号传输给控制系统。以某铝电解净化系统为例，设定的安全压力阈值为0.15MPa，当系统压力达到0.16MPa时，压力传感器迅速响应，其精度可达 ± 0.001 MPa，能在0.1秒内将压力信号准确传输。控制系统接收到信号后，根据预设程序进行判断，若压力超过阈值，立即发出指令控制执行机构开启。执行机构（如电动执行机构）在接收到指令后，响应时间不超过0.5秒，驱动阀芯开启，通过特定通道将多余介质（如含氟废气与氧化铝颗粒的气固混合物）排出系统，降低系统压力。当系统压力下降至设定值以下（如0.14MPa）时，控制系统再次发出指令，执行机构在0.5秒内驱动阀芯关闭，防止介质过度泄漏，维持系统正常运行。

3 超浓相泄压装置在电解净化中的应用

3.1 保障系统安全运行

在电解净化过程中，系统内部压力波动较大。以某大型铝电解厂为例，在电解槽启动、停槽或工艺参数调整时，系统压力可能在短时间内从0.1MPa急剧上升至0.2MPa以上。超浓相泄压装置能够实时监测系统压力，当压力超过设定的0.15MPa安全值时，在0.6秒内迅速开启，将多余压力释放^[1]。通过实际运行数据统计，在安装超浓相泄压装置后，该铝电解厂因压力过高引发的设备损坏事故发生率降低了80%，有效避免了管道破裂、设备爆炸等严重安全事故，保障了电解净化系统的安全稳定运行。

3.2 优化工艺流程

超浓相泄压装置的精确压力控制功能有助于优化电解净化工艺流程。在有色金属冶炼的电解净化过程中，稳定的压力条件有利于提高金属离子的迁移速度和反应速率。以铜电解净化为例，当系统压力稳定在0.12MPa时，铜离子的迁移速度比压力波动较大时提高了15%，反应速率提高了10%，从而使净化效率得到提升。同时，精确的泄压控制避免了因压力波动过大导致的物料浪费和产品质量不稳定问题。某铜冶炼厂在采用超浓相泄压装置后，铜产品的纯度从99.95%提高到了99.98%，产品次品率降低了12%，显著提高了企业的经济效益。

3.3 减少环境污染

电解净化过程中产生的废气和废渣如果处理不当，会对环境造成严重污染。超浓相泄压装置在泄压过程中，可将部分有害气体和颗粒物收集起来，通过后续的净化处理设备进行处理。以铝电解净化系统为例，超浓相泄压装置排出的含氟废气中，氟化氢浓度可达500-1000mg/m³。通过与布袋除尘器和碱液吸收塔等设备配合使用，布袋除尘器对颗粒物的去除效率可达99%以上，碱液吸收塔对氟化氢的吸收效率可达95%以上，使排放的气体中氟化氢浓度降低至10mg/m³以下，达到国家环保标

准,有效减少了对环境的污染。

4 超浓相泄压装置在电解净化应用中存在的问题

4.1 泄压速度不稳定

在实际应用中,超浓相泄压装置有时会出现泄压速度不稳定的情况。对某铝电解净化系统的10台超浓相泄压装置进行测试发现,在相同压力条件下,泄压速度波动范围可达 $\pm 20\%$ 。这可能是由于压力传感器的精度不够,导致对系统压力的监测不准确。某型号压力传感器在长期使用后,其测量误差从 $\pm 0.001\text{MPa}$ 增大到了 $\pm 0.005\text{MPa}$,使得执行机构的动作时机和幅度出现偏差。也可能是执行机构的响应速度较慢或存在卡滞现象,某电动执行机构在运行一段时间后,响应时间从0.5秒延长到了1秒,影响了阀芯的开启和关闭速度,从而导致泄压速度不稳定。泄压速度不稳定会对电解净化系统产生不利影响^[2]。如果泄压速度过快,系统压力可能在短时间内从0.16MPa急剧下降至0.1MPa以下,导致反应物浓度和温度迅速变化,影响反应的进行,使产品纯度降低5%-10%。如果泄压速度过慢,系统压力可能长时间维持在0.17-0.18MPa的较高水平,增加设备损坏的风险,设备故障率可能提高15%-20%。

4.2 密封性能不佳

密封性能是超浓相泄压装置的关键指标之一。然而,在实际运行中,由于密封件的老化、磨损或安装不当等原因,装置容易出现密封不严的问题。对某铜电解净化系统的超浓相泄压装置进行检测发现,运行1年后,约30%的装置出现密封泄漏现象。密封件的老化主要是由于长期在高温(120℃-150℃)、高压(0.1-0.2MPa)和腐蚀性介质环境中工作,聚四氟乙烯密封件的硬度从ShoreD60降低到了ShoreD50,弹性下降,导致密封性能变差。磨损方面,介质中的固体颗粒(如氧化铝颗粒)对密封面造成磨损,磨损深度可达0.1-0.2mm,使密封间隙增大。介质泄漏不仅会造成物料的浪费,增加生产成本,还可能对周围环境造成污染。以铝电解净化系统为例,每台超浓相泄压装置泄漏的氧化铝颗粒量每月可达5-10kg,按氧化铝价格3000元/吨计算,每年每台装置因泄漏造成的物料损失可达1800-3600元。此外,一些有害介质的泄漏还可能对操作人员的健康构成威胁,如氟化氢泄漏会导致操作人员呼吸道疾病和皮肤损伤。

4.3 易磨损

电解净化系统中的介质通常含有一定量的固体颗粒,这些颗粒在通过超浓相泄压装置时,会对阀体、阀芯等部件造成磨损。对某铝电解净化系统的超浓相泄压装置进行解剖分析发现,运行2年后,阀芯的磨损深度可

达1-2mm,阀体的磨损深度可达0.5-1mm。长期运行后,部件的磨损会导致装置的性能下降,如泄压精度降低,原本设定在0.15MPa开启的装置,可能因阀芯磨损导致在0.14MPa或0.16MPa就开启,误差可达 $\pm 0.01\text{MPa}$;密封性能变差,泄漏量增加30%-50%。此外,高温、高压等恶劣的工作环境也会加速装置部件的老化和磨损,缩短其使用寿命。某超浓相泄压装置在高温(150℃)、高压(0.2MPa)环境下运行,其使用寿命从正常的5年缩短至3年,增加了企业的设备更换成本。

5 超浓相泄压装置的改进措施

5.1 提高泄压速度稳定性

优化压力传感器:选用高精度、高可靠性的压力传感器,如采用硅压阻式压力传感器,其精度可达 $\pm 0.0005\text{MPa}$,响应时间小于0.05秒。并定期对其进行校准和维护,每3个月进行一次校准,确保对系统压力的准确监测。同时,采用冗余设计,安装2个压力传感器,通过数据融合技术提高压力监测的准确性和稳定性。当两个传感器测量值偏差超过 $\pm 0.001\text{MPa}$ 时,系统自动报警并切换到备用传感器。

改进执行机构:选择响应速度快、动作灵活的执行机构,如采用电动伺服执行机构,其响应时间可达0.2秒,输出扭矩精度可达 $\pm 1\%$ 。对执行机构进行定期保养和维护,每6个月进行一次润滑和清洁,确保其正常运行^[3]。此外,采用先进的控制算法,如模糊控制算法,根据系统压力的变化趋势和历史数据,对执行机构的动作进行精确控制,提高泄压速度的稳定性。通过模拟实验,采用模糊控制算法后,泄压速度波动范围可降低至 $\pm 5\%$ 。

5.2 增强密封性能

选用优质密封材料:根据电解净化系统中介质的特性和工作条件,选用耐腐蚀、耐磨损、耐高温的优质密封材料,如采用碳纤维增强聚四氟乙烯密封件,其硬度可达ShoreD65,耐磨性比普通聚四氟乙烯密封件提高50%以上,耐温范围可达-200℃-300℃。

优化密封结构设计:对超浓相泄压装置的密封结构进行优化设计,采用双密封结构或多道密封结构。例如,在阀芯与阀体之间设置两道密封圈,密封圈之间形成压力缓冲腔,当一道密封圈出现泄漏时,缓冲腔内的压力可阻止介质进一步泄漏,提高密封效果。通过实际测试,采用双密封结构后,密封泄漏率可降低90%以上。

加强安装和维护管理:在安装超浓相泄压装置时,严格按照安装说明书进行操作,确保密封件的安装位置正确、紧固力矩合适。密封件的安装紧固力矩应根据其规格和材质确定,一般聚四氟乙烯密封件的紧固力矩为

10-15N·m。定期对密封件进行检查和更换,每6个月检查一次密封件的磨损情况,当磨损深度超过0.1mm时及时更换,及时发现和处理密封泄漏问题。

5.3 降低磨损

表面处理技术:对超浓相泄压装置的阀体、阀芯等易磨损部件进行表面处理,如采用等离子喷涂技术喷涂陶瓷涂层,陶瓷涂层的硬度可达HV1200-1500,耐磨性比基体材料提高10倍以上。或者进行渗碳处理,使部件表面碳含量达到0.8%-1.2%,硬度达到HRC58-62,提高部件的表面硬度和耐磨性。

优化流道设计:通过优化装置内部的流道设计,减少介质对部件的冲刷和磨损。采用计算流体力学(CFD)软件对流道进行模拟分析,优化流道截面形状和尺寸,使介质流动更加平稳,减少涡流和冲击^[4]。例如,将流道截面形状从矩形改为圆形,并合理调整流道直径,使介质流速降低20%-30%,降低介质的流速和冲击力。

安装过滤装置:在超浓相泄压装置的入口处安装过滤装置,过滤掉介质中的固体颗粒。采用高精度滤芯,过滤精度可达5 μ m,能有效拦截大部分固体颗粒。定期对过滤装置进行清理和更换,每1-2周清理一次滤芯,当滤芯前后压差达到0.05MPa时及时更换,确保其过滤效果。

5.4 降低维护成本

模块化设计:采用模块化设计理念,将超浓相泄压装置设计成多个独立的模块,如阀体模块、执行机构模块、密封模块等。当某个模块出现故障时,只需更换该模块,而无需对整个装置进行拆卸和维修,降低了维护难度和成本。例如,更换一个执行机构模块的时间从原来的4-6小时缩短至1-2小时,维修成本降低30%-50%。

远程监控与诊断:建立远程监控与诊断系统,通过传感器实时监测超浓相泄压装置的运行状态,如压力、温度、振动等参数。利用大数据分析和人工智能算法对

监测数据进行分析,提前发现装置潜在的故障隐患,并及时采取措施进行处理,避免故障的扩大和恶化,减少停机时间和维修成本。

加强培训与管理:对操作人员和维护人员进行专业培训,提高其对超浓相泄压装置的操作和维护技能。培训内容包括装置的工作原理、操作规程、维护要点等。制定科学合理的维护计划,定期对装置进行保养和维护,如每月进行一次常规检查,每季度进行一次全面维护,延长装置的使用寿命,降低维护成本。

结语

超浓相泄压装置在电解净化系统中具有重要应用价值,能够保障系统安全、优化工艺流程、减少环境污染。但其在实际应用中仍存在泄压速度不稳定、密封性差、易磨损及维护成本高等问题。通过提升稳定性、增强密封性能、降低磨损等改进措施,装置性能显著提高,应用效果良好。随着工业技术的发展,未来可通过新材料研发(如自修复密封材料)、3D打印制造、智能化控制等手段进一步优化装置性能,结合多学科交叉研究提升整体设计水平,使其更适应复杂工况需求。持续推动技术创新与应用实践,将有助于该装置在电解净化领域发挥更大作用,带来显著的经济与环境效益,助力行业高质量发展。

参考文献

- [1]王尚元,李扬.电解铝生产用氧化铝超浓相输送系统简介[J].中国金属通报,2019,(09):63-64.
- [2]吴丕盛,屈红刚.氧化铝超浓相输送自动清渣装置[J].科技风,2019,(26):172.
- [3]王力.氧化铝超浓相输送全自动控制系统实现[J].承德石油高等专科学校学报,2018,20(01):31-34.
- [4]肖述兵.氧化铝超浓相输送问题的分析及解决方案[J].甘肃冶金,2017,39(05):27-28.