

220kV 配电装置在电解铝厂的设计优化与可靠性分析

李天庆

沈阳铝镁设计研究院有限公司 辽宁沈阳

【摘要】针对电解铝厂对 220kV 配电装置高可靠性与高效运行的需求，深入剖析其设计与可靠性方面的关键问题。从电气主接线、设备选型、布置设计等角度，详细探讨设计优化策略，如选用双母线接线提升供电可靠性与灵活性，依据负荷特性与运行环境精准选择设备等。在可靠性分析中，全面考量短路电流、继电保护及自动化系统等因素对配电装置可靠运行的影响，并给出相应优化措施。研究成果对于提升电解铝厂 220kV 配电装置性能、保障生产稳定运行具有重要参考价值，为相关工程设计与运行维护提供有力技术支持。

【关键词】电解铝厂；220kV 配电装置；设计优化；可靠性；电气主接线

【收稿日期】2025 年 3 月 10 日 **【出刊日期】**2025 年 4 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250138

Design optimization and reliability analysis of 220kV distribution equipment in electrolytic aluminum plants

Tianqing Li

Shenyang Aluminum & Magnesium Engineering & Research Institute Co. Ltd, Shenyang, Liaoning

【Abstract】To meet the high reliability and efficient operation requirements of 220kV distribution equipment in electrolytic aluminum plants, this paper delves into the key issues related to design and reliability. It explores design optimization strategies from various perspectives, including electrical main wiring, equipment selection, and layout design. These strategies include using a double busbar connection to enhance power supply reliability and flexibility, and selecting equipment based on load characteristics and operating conditions. The reliability analysis considers the impact of factors such as short-circuit current, relay protection, and automation systems on the reliable operation of the distribution equipment, and proposes corresponding optimization measures. The research findings are valuable for improving the performance of 220kV distribution equipment in electrolytic aluminum plants and ensuring stable production operations, providing strong technical support for engineering design and operation maintenance.

【Keywords】Electrolytic aluminum plant; 220kV distribution equipment; Design optimization; Reliability; Electrical main wiring

引言：电解铝产业作为高耗能行业，对电力供应的稳定性和可靠性要求极高。220kV 配电装置作为电解铝厂电力分配的关键环节，其设计的合理性与运行的可靠性直接关乎电解铝生产的连续性与稳定性。随着电解铝产能的不断扩大以及生产工艺的日益复杂，对 220kV 配电装置进行深入的设计优化与可靠性分析，对于保障电解铝厂高效、稳定生产，降低生产成本，提升企业竞争力具有重要现实意义。如何优化设计以满足不断增长的电力需求，同时提高配电装置的可靠性，成为亟待解决的问题。

1 设计现存问题剖析

在电气主接线层面，部分电解铝厂采用的单母线分段接线方式，本质上存在先天性的结构缺陷。这种接线模式将整个配电系统的供电稳定性过度依赖于单一母线的正常运行。一旦母线遭遇短路、绝缘击穿等故障，整个分段区域的供电将被迫中断。电解铝生产属于连续性工业，高温熔炉一旦断电，炉内电解质凝固不仅会导致正在电解的铝水报废，更可能引发熔炉结构损坏，重启生产所需的高昂成本和漫长周期对企业来说是难以承受的损失。断路

器作为配电系统的关键控制元件，其检修期间的回路断电问题同样棘手。在单母线分段接线模式下，断路器检修意味着对应供电回路必须全线停运，这种刚性的检修机制使得电解铝厂无法在设备维护与生产运行之间找到平衡，直接制约了企业的生产调度灵活性。

设备选型环节暴露出的问题，根源在于对电解铝行业特殊用电规律的认知不足。电解铝生产过程呈现出典型的冲击性负荷特征，整流机组的频繁投切会产生剧烈的电流波动，这种波动不仅对设备的载流能力提出严苛要求，更考验着设备的热稳定性与机械强度^[1]。部分企业在设备选型时，简单参照通用工业标准，选用的断路器短路开断能力不足，在遭遇短路故障时容易发生触头熔焊；变压器容量裕度不够，长期在过载状态下运行导致油温过高，加速绝缘材料老化。

布置设计上的缺陷，本质是对电解铝厂复杂作业环境的适应性不足。不合理的设备间距设置形成了“冰火两重天”的困境：间距过小时，运维人员在狭小空间内难以施展专业工具，特别是在断路器操作、电缆接头检修等需要精细操作的场景下，安全距离不足极大增加了触电风险；而间距过大又造成土地资源的严重浪费，对于寸土寸金的工业厂区而言，无效的空间占用意味着额外的基建投资^[2]。缺乏系统性的布局规划使得设备间的连接电缆迂回曲折，增加了线路损耗与故障隐患，当发生紧急情况时，混乱的设备布局更会延误故障排查与抢修时间，进一步放大事故影响范围。

2 优化设计策略构建

电气主接线的革新需以“冗余容错”为核心理念。双母线接线方式通过引入两条独立的母线，构建起互为备用的供电体系。在日常运行中，两条母线可以分别承担不同负荷区域的供电任务，实现负荷均衡分配；而当某条母线需要检修时，通过倒闸操作，所有负荷可无缝切换至另一条母线，确保生产用电不间断。这种灵活的调度机制，使得电解铝厂能够在设备维护与生产运行之间找到动态平衡，极大提升了供电可靠性。旁路母线的增设则进一步完善了系统的容错能力，当断路器需要检修时，可通过旁路母线将电流转移，使得检修操作无需中断主回路供电，这种“带电作业”的能力有效避免了

因设备维护导致的生产停滞。

设备选型必须建立“定制化适配”的思维模式。针对电解铝厂高负荷、大波动的用电特性，断路器选型应重点关注短路耐受电流与机械寿命指标，选择具备快速分断能力和高强度触头材料的产品，确保在频繁的电流冲击下仍能保持可靠动作。变压器选型需充分考虑过载能力，采用高阻抗设计以抑制短路电流，同时配置高效的冷却系统，保障设备在持续高负荷运行状态下的热稳定性^[3]。考虑到电解铝厂多粉尘、强磁场的恶劣环境，所有电气设备应具备良好的防尘、防磁屏蔽性能，户外设备还需满足高防护等级要求，通过这种全方位的性能适配，从源头上降低设备故障风险。

布置设计的优化应遵循“功能分区、紧凑高效”的原则。模块化设计理念将整个配电装置划分为母线区、开关设备区、继电保护区等功能模块，每个模块内部设备按照操作流程有序排列，模块之间通过标准化接口实现快速连接，这种设计既便于设备安装调试，又为后期扩容改造预留了空间。在空间布局上，通过精确计算设备的操作半径、检修通道宽度以及安全距离，在保障运维安全的前提下最大限度缩小设备间距，同时利用立体空间布置电缆桥架与母线廊道，减少平面空间占用^[4]。合理设置设备标识与操作指引，将复杂的配电系统转化为清晰易懂的操作界面，不仅降低了运维人员的工作强度，更显著提升了应急处置效率。

3 可靠性提升举措实施

短路电流计算是保障设备安全运行的第一道防线。短路故障是配电系统最严重的威胁之一，其瞬间产生的巨大电流会对设备造成不可逆的破坏。精确的短路电流计算需要综合考虑系统电源容量、线路阻抗、变压器参数等多种因素，通过建立详细的电力系统模型，模拟不同故障点、不同运行方式下的短路电流分布情况。基于计算结果选择设备的短路耐受参数时，不仅要满足国家标准要求，更要预留一定的安全裕度，确保设备在极端工况下仍能维持结构完整性与功能可靠性。这种“以算定容”的设计方法，从根本上消除了设备因短路电流冲击导致的损坏风险。

继电保护系统的升级应围绕“快速响应、精准动作”展开。传统继电保护装置在面对电解铝厂复

杂的用电环境时，常出现误动作或拒动作的情况。引入光纤差动保护技术后，利用光纤通信的高速度与强抗干扰能力，实现了线路两端电流的实时同步比较，能够在数十毫秒内精准识别区内故障并迅速跳闸，有效避免了故障范围的扩大^[5]。母线差动保护的应用则为母线系统提供了可靠的保护屏障，通过实时监测母线各支路电流的矢量和，一旦检测到不平衡电流超过阈值，立即启动保护动作，这种快速切断故障的能力极大缩短了停电时间，保障了电解铝生产的连续性。

自动化系统的构建旨在打造“智能运维”的全新模式。通过在配电装置关键节点部署智能传感器，实时采集设备的电压、电流、温度、局放等运行参数，并借助物联网技术将数据上传至监控中心。基于大数据分析 with 人工智能算法，系统能够对设备运行状态进行深度研判，提前识别潜在故障隐患并发出预警。远程控制功能则赋予运维人员“千里眼、顺风耳”的能力，可在监控中心完成设备的分合闸操作与参数调整，极大提高了故障处置效率^[6]。自动化系统生成的运行报告与故障分析文档，为运维策略的优化提供了数据支撑，推动配电装置的运维管理从被动应对转向主动预防。

4 效果评估与总结

经过系统性的设计优化与可靠性提升，220kV 配电装置在电解铝厂的运行效能实现了质的飞跃。供电可靠性的提升直接体现在停电事故率的显著下降，以往因母线故障或设备检修导致的长时间停电基本杜绝，电解铝生产线的连续运行得到了坚实保障。设备运行稳定性的改善同样显著，定制化选型的电气设备有效抵御了高负荷、大波动的用电冲击，设备故障率大幅降低，维修周期显著延长，直接减少了企业的运维成本支出。操作维护便利性的提升则体现在运维人员工作强度的减轻与工作效率的提高，合理的设备布局、清晰的操作指引以及智能化的运维系统，使得复杂的配电装置管理变得更加高效、安全。

从经济效益角度来看，减少的停电损失与降低的运维成本直接转化为企业的利润增长。电解铝生产每小时的产值相当可观，每一次避免的停电事故都意味着数百甚至上千吨铝水的顺利产出。设备寿命的延长减少了设备更新换代的频率，降低了固定

资产投资压力^[7]。从社会效益层面，稳定的电力供应保障了企业的持续生产，间接促进了就业稳定与区域经济发展。在技术层面，这些优化措施的成功实施为电解铝行业的配电系统设计提供了可复制的经验，推动了行业整体技术水平的提升。

面向未来，配电装置的优化工作永无止境。随着新能源发电的大规模接入与电力电子设备的广泛应用，电解铝厂的用电环境将更加复杂多变。企业需持续关注电力技术发展动态，将新技术、新理念融入配电系统设计与运维中。通过建立动态评估机制，定期对配电装置的运行数据进行分析，及时发现潜在问题并优化改进^[8]。加强与科研机构、设备厂商的合作，探索智能电网、储能技术在电解铝行业的应用，进一步提升配电装置的智能化水平与能源利用效率，为电解铝产业的绿色、可持续发展筑牢电力基石。

5 结语

对 220kV 配电装置在电解铝厂的设计优化与可靠性分析，通过改进设备选型、优化接线方案及完善继电保护配置，显著提升了其性能。未来，随着智能电网、超导材料等技术的突破，有望开发出集成度更高、响应速度更快的配电设备，并创新接线方式以降低损耗。应持续探索数字化运维、AI 故障预测等新技术应用，建立动态维护策略，通过实时监测与精准检修确保配电装置稳定运行，满足电解铝厂不断发展的用电需求，助力行业绿色、高效转型。

参考文献

- [1] 王椿丰,王彬彬.750kV GIS 配电装置出线间隔宽度优化研究[J].电器工业,2025,(06):44-48.
- [2] 刘晨宇,邱培群,苏培才,等.感应式配电设备漏电定位装置的设计与研究[J].电气时代,2025,(05):152-155.
- [3] 李明,王然丰,谢靓,等.500kV GIS 配电装置联合构架在特高压工程中的应用研究[J].科学技术创新,2025,(10):187-190.
- [4] 卢英欣.110kV 变电站配电装置技术改造研究[J].现代工程技术,2025,4(07):113-116.
- [5] 李洪涛.海上油田配电装置极早期火灾探测系统的应用及优化研究[J].天津科技,2024,51(12):56-59.
- [6] 于家英,金海川,卫思屹,等.适用于快速开关型输配电装

置的新型机械特性测试仪[J].宁夏电力,2024,(06):26-32+38.

[7] 王金有.一种 363 kV GIS 配电装置几字弯母线的布置方案[J].宁夏电力,2024,(05):37-42.

[8] 王传会.煤矿井下成套智能高压真空配电装置研究与应

用[J].煤矿现代化,2024,33(04):96-100.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS