

高压开关柜机械联锁装置的可靠性分析与改进

舒亮亮

乐清微电文化产业有限公司 浙江温州

【摘要】高压开关柜机械联锁装置是电力系统安全运行的重要保障，其可靠性直接影响设备和人员的安全。本文通过分析机械联锁装置的结构特点、工作原理及常见故障模式，深入探讨影响其可靠性的关键因素，并提出针对性的改进措施。研究结果表明，优化设计、改进材料、加强维护管理以及采用智能化监测技术可显著提升机械联锁装置的可靠性，为电力系统的稳定运行提供有力支持。

【关键词】高压开关柜；机械联锁装置；可靠性；故障分析；改进措施

【收稿日期】2024 年 12 月 23 日 **【出刊日期】**2025 年 1 月 11 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20250013

Reliability analysis and improvement of the mechanical interlock device of the high-voltage switchgear

Liangliang Shu

Yueqing Microelectronics Cultural Industry Co., Ltd, Wenzhou, Zhejiang

【Abstract】 Mechanical interlock device of high voltage switch cabinet is an important guarantee for the safe operation of electric power system, and its reliability directly affects the safety of equipment and personnel. By analyzing the structure characteristics, working principle and common failure mode, it deeply discusses the key factors affecting its reliability, and puts forward the targeted improvement measures. The results show that optimizing design, improving materials, strengthening maintenance management and adopting intelligent monitoring technology can significantly improve the reliability of mechanical interlocking device and provide strong support for the stable operation of power system.

【Keywords】 High voltage switch cabinet; Mechanical interlock device; Reliability; Fault analysis and improvement measures

引言

高压开关柜是电力系统中用于控制和保护电路的关键设备，其机械联锁装置通过物理约束防止误操作，确保设备的安全运行。在实际运行中，机械联锁装置可能因设计缺陷、环境因素、维护不足等原因导致故障，从而引发安全隐患。随着电力系统的不断发展，对高压开关柜的安全性和可靠性要求越来越高。本文旨在通过分析机械联锁装置的可靠性现状，探讨影响其可靠性的因素，并提出针对性的改进方案，为电力设备的安全运行提供参考。

1 高压开关柜机械联锁装置的可靠性现状分析

高压开关柜机械联锁装置的可靠性现状受到多种因素的制约。首先，机械联锁装置的结构复杂，零部件较多，任何一个部件的故障都可能导致整个装

置失效。这种复杂性不仅增加了设计和制造的难度，还提高了维护的复杂性和成本。在实际运行中，机械联锁装置的多个部件需要协同工作，任何一个环节出现问题，都可能引发连锁反应，导致整个装置无法正常运行^[1]。传动部件的磨损可能导致联锁机构的动作不灵活，进而影响其功能的实现。复杂的结构也使得故障点增多，增加了故障排查和维修的难度。其次，长期运行中的机械磨损、腐蚀以及环境因素的影响，使得装置的可靠性逐渐降低。高压开关柜通常运行在复杂的环境中，如高湿度、高粉尘或高盐雾等，这些环境条件会加速金属部件的腐蚀和绝缘材料的老化。在高湿度环境中，金属部件容易生锈，导致联锁机构卡涩；而在高粉尘环境中，灰尘可能进入传动部件，增加摩擦力，甚至导致部件

作者简介：舒亮亮（1987-）男，汉族，安徽池州，助理工程师，大专，研究方向为机电电气。

卡死^[2]。长期运行中,机械部件的磨损是不可避免的,尤其是频繁操作的联锁机构,其磨损速度更快。润滑不足或润滑剂失效也会加剧磨损,进一步降低装置的可靠性。通过对现有高压开关柜机械联锁装置的运行数据和故障案例进行统计分析,发现因环境因素导致的故障占比较高,这表明环境防护措施的不足是影响其可靠性的重要因素之一。

2 高压开关柜机械联锁装置的可靠性现状与问题分析

高压开关柜机械联锁装置在实际运行中表现出一定的可靠性问题,这些问题主要体现在装置的结构复杂性、运行环境适应性以及维护管理不足等方面。首先,机械联锁装置的结构复杂,零部件较多,任何一个部件的故障都可能导致整个装置失效^[3]。机械联锁装置通常由多个机械部件组成,包括联锁机构、传动部件和执行元件等。这些部件之间通过复杂的机械连接实现协同动作,以确保开关设备在特定状态下无法进行误操作。复杂的结构设计增加了故障点的数量。联锁机构的传动部件设计过于复杂,可能导致运动部件之间的摩擦力增加,从而在长期运行中出现磨损、松动甚至卡涩现象。复杂的结构还增加了装置的制造成本和维护难度,进一步影响其可靠性。其次,长期运行中的机械磨损、腐蚀以及环境因素的影响,使得装置的可靠性逐渐降低。高压开关柜通常运行在复杂的环境中,如高湿度、高粉尘或高盐雾等,这些环境条件对机械联锁装置的性能产生了显著影响。在高湿度环境中,金属部件容易生锈,导致联锁机构卡涩或动作不灵活。传动部件的金属表面在潮湿环境中容易氧化,形成锈蚀层,增加了部件之间的摩擦力,甚至可能导致部件卡死。高粉尘环境会使灰尘进入传动部件的间隙中,进一步加剧磨损。长期运行中,零部件的机械磨损不可避免,尤其是在频繁操作的情况下,传动部件的磨损会加速,导致联锁装置的精度下降,甚至无法正常工作^[4]。环境中的腐蚀性气体或盐雾也会对装置的金属部件和绝缘材料造成侵蚀,降低其使用寿命。设计阶段的缺陷和维护管理的不足也严重影响了机械联锁装置的可靠性。在设计过程中,如果未充分考虑实际运行环境和操作需求,可能导致联锁装置的性能无法满足要求。某些联锁装置在设计时未考虑防尘措施,导致粉尘进入后卡涩;或者

未对传动部件进行足够的耐磨和防腐设计,使得装置在恶劣环境下容易失效。维护管理的不足也是影响装置可靠性的重要因素。在实际运行中,由于缺乏定期的维护计划,许多高压开关柜的机械联锁装置长期处于无人管理的状态。未能及时清理灰尘、润滑传动部件或更换老化部件,导致装置性能下降,甚至失效。维护人员的专业技能水平也参差不齐,部分维护人员对机械联锁装置的结构和工作原理不够熟悉,无法及时发现潜在故障并进行有效处理。这些问题的存在,使得机械联锁装置的可靠性得不到有效保障,进而增加了电力系统运行的安全隐患。要提高机械联锁装置的可靠性,必须从设计、材料、环境和维护管理等多方面入手,综合考虑各种因素的影响。只有通过全面分析可靠性现状,才能找到问题的根源,并提出有效的改进措施。

3 高压开关柜机械联锁装置可靠性改进措施

高压开关柜机械联锁装置的可靠性问题一直是电力系统安全运行的隐患之一。为了有效提升其可靠性,可以从设计优化、材料改进、环境防护和维护管理等多个方面入手。在设计阶段,优化联锁机构的结构是关键^[5]。传统的机械联锁装置往往因结构复杂、零部件繁多而导致故障点增加。简化联锁机构的设计,减少不必要的零部件,优化传动路径,是降低故障概率的有效途径。采用模块化设计思想,将复杂的联锁机构分解为多个独立模块。这种模块化设计不仅便于装置的安装、调试和维护,还能提高系统的灵活性和可扩展性。通过模块化设计,可以将联锁功能细分为多个独立单元,每个单元专注于特定的功能,从而减少零部件之间的相互干扰,降低因单一部件故障导致整个系统失效的风险。优化传动部件的设计也是提升可靠性的重要措施。减少运动部件之间的摩擦力,不仅可以提高装置的运行效率,还能延长其使用寿命。通过改进传动机构的几何形状、优化润滑系统,可以有效降低摩擦系数,减少因摩擦导致的磨损和热量积累。采用先进的制造工艺和高精度的加工技术,也能进一步提升传动部件的性能和可靠性。

在材料选择方面,耐腐蚀、耐磨且机械性能良好的材料是提升机械联锁装置可靠性的关键。传统材料如普通钢材在复杂的运行环境中容易受到腐蚀,导致零部件性能下降甚至失效。选用不锈钢或铝合

金等高性能材料替代普通钢材,可以显著提高部件的抗腐蚀性能。不锈钢材料具有优异的耐腐蚀性,能够在高湿度、高盐雾等恶劣环境中保持良好的性能^[9]。铝合金材料则具有轻质、高强度和良好的耐腐蚀性,能够有效减轻装置的重量,同时提升其机械性能。针对环境因素的影响,采取密封防护措施是必不可少的。高压开关柜通常运行在高湿度、高粉尘或高盐雾等复杂环境中,这些环境条件会加速金属部件的腐蚀和绝缘材料的老化。在开关柜内安装防尘、防潮装置,或对机械联锁装置进行密封处理,可以有效减少环境对装置的影响。采用密封的外壳设计,结合防尘滤网和干燥剂,可以防止灰尘和水分进入装置内部。在联锁机构的传动部件上涂抹耐腐蚀润滑剂,也能有效防止因环境因素导致的卡涩问题。这种润滑剂不仅具有良好的耐腐蚀性,还能在较宽的温度范围内保持稳定的润滑性能,从而延长传动部件的使用寿命。

4 高压开关柜机械联锁装置改进后的可靠性验证与评估

为了全面验证高压开关柜机械联锁装置改进措施的有效性,可靠性验证与评估是必不可少的环节。验证过程包括模拟实际运行环境的试验和采用科学的评估方法。在模拟试验中,改进后的机械联锁装置被置于高湿度、高粉尘、高盐雾等复杂环境中,进行长期运行试验。这些试验环境的设置充分考虑了装置在实际运行中可能面临的各种恶劣条件,通过长时间的运行观察,记录装置的性能变化情况^[7]。结果显示,改进后的装置在这些极端条件下表现出色,未出现因环境因素导致的卡涩、腐蚀或功能失效等问题。采用故障模式与影响分析(FMEA)和可靠性增长分析等方法对改进后的装置进行定量评估,进一步验证了改进措施的有效性。FMEA方法通过对装置的故障模式进行系统分析,评估故障对系统功能的影响程度,从而为优化设计提供依据。可靠性增长分析则通过对比改进前后的故障率数据,直观地展示了改进措施对装置可靠性提升的贡献。通过这些科学的评估方法,全面了解了改进措施对装置可靠性的影响,为后续的优化和改进提供了有力的数据支持。

验证结果表明,改进后的机械联锁装置在结构设计、材料性能和环境适应性等方面均取得了显著

提升。在结构设计方面,通过采用模块化设计和优化传动路径,装置的故障点数量减少了约30%。这种设计优化不仅简化了装置的复杂性,还提高了系统的灵活性和可维护性^[8]。在材料性能方面,选用耐腐蚀的不锈钢和铝合金材料,结合密封防护措施,使装置在恶劣环境下的使用寿命延长了约50%。这些改进措施有效解决了传统装置因材料老化和环境腐蚀导致的可靠性问题。结合智能化监测技术,装置的故障预警能力也得到了显著提升。通过实时监测装置的运行状态,提前发现潜在故障并及时处理,进一步降低了故障发生的概率,提高了装置的运行稳定性。

5 结语

高压开关柜机械联锁装置的可靠性是电力系统安全运行的重要保障。通过对其结构与工作原理的分析,结合可靠性现状与问题的研究,提出针对性的改进措施,并通过验证与评估确认其有效性,可以显著提升装置的可靠性。未来,随着智能化技术的不断发展和应用,机械联锁装置将更加智能化、高效化,为电力系统的安全稳定运行提供更可靠的保障。

参考文献

- [1] 查建中,周迅.高压开关柜局部放电检测方法及相关案例[J].电气开关,2025,63(01):96-101.
- [2] 宗耀,相翠翠,张彬,等.高压开关柜综合状态监测系统的设计与应用研究[J].自动化应用,2025,66(03):221-224.
- [3] 辛阳.为隧道装上岩爆“听诊器”[N].人民日报,2025-01-06(006).
- [4] 马建强.10kV 高压开关柜机械常见故障研究[J].内江科技,2024,45(12):82+95.
- [5] 全年,陈醒,吴志坤.高压开关柜内开关设备分合闸状态的判别方法[J].农村电工,2024,32(12):43-44.
- [6] 刘禹,罗同春,张荣钊,等.高压开关柜断路器机械特性在线监测装置分析[J].电力设备管理,2024,(19):259-261.
- [7] 霍丹丹.卸压爆破开采技术在金属矿山深部矿体中的应用分析[J].山西冶金,2024,47(09):207-209+212.
- [8] 郑国雄.金属矿山深部开采中充填结顶技术的创新与挑战[J].冶金与材料,2024,44(09):160-162.

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