

断路器操动机构性能优化与可靠性提升研究

任梦辉 张世浩

国网河南省电力公司浉池县供电公司 河南 三门峡 472000

摘要: 随着电力系统的不断发展,对断路器操动机构的性能与可靠性要求日益提高。断路器作为电网中的关键设备,其操动机构的性能直接影响电网的稳定运行。本文旨在探讨断路器操动机构的性能优化与可靠性提升方法,为相关领域的研究与实践提供参考。

关键词: 断路器操动机构类型;可靠性提升方法

引言

断路器操动机构是断路器的重要组成部分,负责驱动断路器触头的分合闸操作。其性能与可靠性直接关系到断路器的使用寿命、操作效率及电网的安全稳定运行。因此,对断路器操动机构进行性能优化与可靠性提升研究具有重要意义。

1 断路器操动机构类型及特点

1.1 弹簧操动机构

弹簧操动机构,作为一种经典的断路器操动方式,其核心在于利用弹簧储存的能量来驱动断路器的分合闸操作。这种机构的设计理念简洁明了,因此其结构相对简单,制造成本也较为低廉,这使得它在众多场合中得到了广泛的应用。然而,弹簧操动机构也存在一些固有的局限性。首先,其操作速度直接受到弹簧性能的影响,弹簧的储能能力和释放速度决定了断路器的分合闸速度,这在一定程度上限制了断路器的性能提升。其次,由于弹簧操动机构在频繁的操作过程中,其机械部件如传动齿轮、轴承等容易受到磨损,这不仅会降低机构的传动效率,还可能引发故障,从而影响断路器的可靠性。因此,在使用弹簧操动机构时,需要定期对其进行维护和检查,以确保其正常运行。

1.2 永磁操动机构

相较于弹簧操动机构,永磁操动机构则是一种更为新颖、先进的操动方式。它将电磁机构与永久磁铁有机地结合在一起,利用永久磁铁的保持力来稳定地保持断路器的分合闸状态。这种设计使得永磁操动机构具有一系列显著的特点。首先,其结构简洁明了,省去了传统的弹簧储能机构,使得整个机构更加紧凑、轻量化。其次,由于采用了永久磁铁作为保持力来源,永磁操动机构具有极高的机械可靠性,有效避免了传统弹簧机构中因弹簧疲劳、断裂等导致的故障问题。此外,永磁操动机构还易于实现远程控制和自动化控制,只需通过电磁

线圈的通断电即可轻松实现分合闸操作。最重要的是,永磁操动机构在分合闸状态下仅需要消耗极少的能量来维持状态,大大降低了断路器的能耗^[1]。

2 性能优化方法

2.1 结构优化

结构优化是提升操动机构性能的关键途径之一,它涉及多个方面的精细调整与创新设计。

调整磁路饱和度是结构优化的首要任务。磁路饱和度对永磁操动机构的磁场强度和输出力具有直接影响。通过精准计算和设计磁路结构,可以优化磁路的饱和度,确保磁能能够更高效地转化为机械能。合理的磁路设计能够减少磁漏和磁阻,从而降低能量损耗,提升机构的效率和响应速度。同时,优化后的磁路结构还能增强机构的稳定性,有效减少因磁场波动而引发的故障和损坏。采用新型材料也是结构优化的重要手段。随着科技的不断发展,越来越多的高性能材料被应用于断路器操动机构中。这些新型材料具备更高的强度、更出色的耐磨性和抗腐蚀性,能够显著提升操动机构的耐用性和可靠性。例如,高强度合金材料的应用可以在保持足够强度和刚性的同时,减轻机构的重量;而高性能永磁材料则能提供更强的磁场,使操动机构在更小的体积内实现更大的输出力^[2]。此外,创新结构设计也是结构优化的重要方向。以双动铁心永磁操动机构为例,这种机构在传统单动铁心的基础上,增加了辅助铁心。在合闸过程中,辅助铁心能够起到将部分气隙短路的作用,从而有效降低合闸所需的能量。这种能量降低不仅可以减轻操动机构的负担,延长断路器的使用寿命,还能提高机构的稳定性和抗干扰能力,使操动机构在更加恶劣的工作环境中也能保持稳定的性能。

2.2 控制策略优化

在断路器操动机构的性能优化过程中,控制策略的优化占据了举足轻重的地位。通过采纳诸如模糊控制、

神经网络控制等先进控制策略,能够显著提升操动机构的控制精度与响应速度。模糊控制,作为一种基于模糊逻辑的控制方法,特别擅长处理那些具有不确定性和模糊性的信息。对于操动机构这类复杂的非线性系统而言,其动态变化往往难以用精确的数学模型来描述。而模糊控制则能够凭借其独特的优势,更好地适应这些变化,实现更为精细的控制。通过模糊控制的应用,可以对操动机构的动作过程进行微调,使其分合闸动作更加准确无误、迅速敏捷。神经网络控制则充分利用了神经网络强大的学习能力和自适应能力,对操动机构进行智能化控制。神经网络能够深入学习和识别操动机构的运行模式,并根据实时反馈的信息,灵活调整控制策略,从而达到更优的控制效果。这种控制策略不仅提升了操动机构的控制精度,还显著增强了其抵御外部干扰的能力。此外,实时监测操动机构的工作状态也是提升系统可靠性的重要手段^[3]。传统的故障检测方法往往需要在故障明显发生后才能进行检测和修复,而实时监测则能够在故障初露端倪时便发出警报,使得相关人员能够迅速采取措施,有效防止故障的进一步扩大。这种实时的故障监测和处理机制,为断路器操动机构的稳定运行提供了有力保障,大大提高了系统的可靠性。

2.3 仿真与优化设计

在断路器操动机构的研发过程中,仿真与优化设计技术发挥着举足轻重的作用。虚拟样机技术作为一项先进的工具,被广泛应用于这一领域,为断路器操动机构的设计和优化提供了全新的途径。通过利用虚拟样机技术,可以建立起断路器操动机构的高精度动力学模型。这个模型能够准确反映操动机构的实际工作原理和动态特性,包括其运动学行为、动力学响应以及各部件之间的相互作用等。有了这个模型,设计师们就可以在计算机上进行全面的仿真分析,而无需依赖实际的物理样机。仿真分析的过程中,可以对操动机构的各种设计参数进行细致的调整和优化。比如,可以改变弹簧的刚度、调整永磁体的磁力大小,或者修改传动机构的尺寸和形状等。通过这些调整,可以观察操动机构性能的变化,找到最佳的设计参数组合,从而提高机构的效率、可靠性和耐用性。与传统的物理样机试制方法相比,仿真与优化设计技术具有显著的优势。它大大缩短了产品开发周期,因为设计师们可以在虚拟环境中快速迭代和优化设计方案,而无需等待物理样机的制造和测试。同时,这种方法还提高了产品的质量,因为通过仿真分析可以预先发现和解决潜在的问题,确保产品在实际使用中表现出色。此外,仿真与优化设计技术还为产品的后

续维护和升级提供了便利。通过建立完整的仿真模型,可以对操动机构在不同工况下的性能进行预测和评估,为制定维护计划和升级策略提供科学依据。

3 可靠性提升方法

3.1 选用高可靠性材料

在断路器操动机构的设计与制造过程中,选用高可靠性材料是提升产品整体可靠性的关键环节。操动机构作为断路器的核心部件之一,其传动部件如凸轮、拐臂和连杆等,在长期的运行过程中承受着巨大的机械应力和摩擦磨损,因此,这些部件的材料选择至关重要。为了减少机械故障,提高产品的可靠性,我们应选用具有高硬度、高耐磨性的材料来制造这些关键传动部件。高硬度材料能够有效抵抗外部冲击和压力,保持部件的形状和尺寸稳定,从而确保操动机构的精确动作。同时,高耐磨性材料能够减少部件在运动过程中的磨损,延长使用寿命,降低维修和更换的频率。具体来说,对于凸轮这样需要承受复杂运动轨迹和高频率接触的部件,选用具有高硬度和良好耐磨性的合金钢或陶瓷材料,可以显著提高其抗磨损能力和使用寿命。拐臂和连杆等传动部件,则可以选择具有高强度和良好韧性的合金材料,以确保其在承受大负荷和冲击时不易变形或断裂。此外,在选用材料时,还应考虑材料的腐蚀抵抗性、温度稳定性以及与其他部件的相容性等因素。腐蚀抵抗性强的材料能够防止部件在恶劣环境中受到腐蚀损害,保持其表面光洁度和机械性能。温度稳定性好的材料能够在高温或低温环境下保持稳定的物理和化学性质,确保操动机构的正常运行。而与其他部件相容性好的材料则能够减少部件之间的摩擦和磨损,提高整个操动机构的可靠性和稳定性。选用高可靠性材料是提升断路器操动机构可靠性的重要方法。通过合理选择具有高硬度、高耐磨性、腐蚀抵抗性强、温度稳定性好以及与其他部件相容性好的材料,可以显著减少机械故障,提高产品的可靠性和使用寿命。

3.2 改进制造工艺

在断路器操动机构的制造过程中,改进制造工艺对于提升产品的可靠性至关重要。为了确保操动机构能够精准、稳定地运行,必须着重提高关键控制点的设计精度和加工质量,并严格把控零部件的选材与制造工艺。在设计精度方面,需要对操动机构的关键控制点进行细致入微的设计。这包括精确计算各部件的尺寸、形状和配合关系,确保每一个细节都符合设计要求。为了实现这一目标,可以采用先进的设计方法和工具,如计算机辅助设计(CAD)和有限元分析(FEA),对操动机构

进行模拟和优化,从而提高设计的准确性和可靠性。在加工质量方面,必须确保产品的加工精度与设计要求高度吻合。这要求制造过程中使用高精度的加工设备和工具,并严格控制加工过程中的各项参数,如切削速度、进给量和切削深度等。同时,还需要对加工过程进行严格的监控和检测,及时发现并纠正任何可能的偏差,确保产品的加工质量达到设计要求^[4]。此外,零部件的选材也是制造过程中不可忽视的一环。必须根据操动机构的工作环境 and 性能要求,选择具有合适机械性能、耐磨性、耐腐蚀性和高温稳定性的材料。同时,还需要对选材过程进行严格的把控,确保所选材料符合设计要求,并且具有良好的加工性和可靠性。

3.3 加强维护保养

在断路器操动机构的运行过程中,加强维护保养是确保其长期稳定运行、提高系统可靠性的关键措施。为了有效预防和减少故障的发生,需要定期对操动机构进行全面的检查和维护。具体来说,应定期检查弹簧的初始拉力和压力。弹簧是操动机构中的重要部件,其性能直接影响操动机构的动作速度和准确性。因此,必须定期对弹簧进行检测,确保其拉力和压力符合设计要求。一旦发现弹簧拉力或压力异常,应及时进行调整或更换,避免因弹簧性能下降而导致的故障。此外,对弹簧进行日常防腐处理也是必不可少的。由于操动机构通常工作在较为恶劣的环境中,弹簧容易受到腐蚀和磨损。因此,需要定期对弹簧进行防腐处理,如涂抹防腐剂或进行表面镀层处理,以延长弹簧的使用寿命。同时,还应检查操动机构的其他关键部件,如凸轮、拐臂、连杆等传动部件的磨损情况和润滑状态。对于磨损严重的部件,应及时更换;对于润滑不足的部件,应加注适量的润滑剂,以确保其正常运转。另外,定期对操动机构进行清洁也是维护保养的重要环节。应清除机构表面的灰尘和杂物,保持其清洁干燥,以避免因杂物进入机构内部而导致的故障。通过定期对操动机构进行维护保养,如检查弹簧的初始拉力和压力、对弹簧进行日常防腐处理、检查其他关键部件的磨损情况和润滑状态以及定期清洁等。

4 案例分析

以某型126kV真空断路器操动机构作为研究对象,

开展了深入的机械可靠性研究。针对该操动机构在复杂工况下可能面临的可靠性问题,提出了一种基于失效物理和可靠性物理(PoF/RP)的可靠性设计方法。该方法首先聚焦于操动机构内部传动部件的冲击疲劳寿命。通过对这些部件在工作过程中受到的冲击载荷进行详细分析,结合材料的力学性能和疲劳特性,进行了理论上的寿命预测。这一过程不仅考虑了部件的静态强度,还充分考虑了动态载荷对部件疲劳寿命的影响,使得预测结果更加贴近实际。为了验证这一理论方法的有效性,进行了仿真计算。利用先进的仿真软件,对操动机构在实际工况下的运行状态进行了模拟,特别关注了传动部件在冲击载荷作用下的应力分布和变形情况。通过仿真结果与理论预测的对比,发现两者具有较高的吻合度,从而验证了该方法的准确性。实际应用结果表明,采用基于失效物理和可靠性物理(PoF/RP)的可靠性设计方法,可以显著提高126kV真空断路器操动机构的可靠性。这一方法不仅为操动机构的设计提供了科学依据,还为后续的制造、使用和维护提供了有力的支持。通过这一方法的应用,可以预期断路器在更复杂、更恶劣的工况下也能保持稳定的运行性能,从而提高整个电力系统的安全性和可靠性。

结束语

断路器操动机构的性能优化与可靠性提升是电力系统稳定运行的重要保障。通过结构优化、控制策略优化、仿真与优化设计以及选用高可靠性材料、改进制造工艺和加强维护保养等方法,可以显著提高断路器的性能和可靠性。未来,随着技术的不断发展,断路器操动机构的性能与可靠性将得到进一步提升。

参考文献

- [1]张巍,李炜,钟著辉,马俊,李鹏.控制回路的分合闸监视故障处理优化研究[J].陕西电力,2016,44(02):77-79+88.
- [2]李强,任春琪.断路器操动机构与继电保护控制回路的配合分析[J].产业与科技论坛,2014,13(05):56-57.
- [3]尹红.断路器操动机构与继电保护控制回路的配合[J].中国城市经济,2011(26):203-204.
- [4]曹树江,林榕.断路器操动机构与继电保护控制回路的协调与配合[J].继电器,2005(24):72-77.