

Research on the Selection and Performance of Switchgear in Low Voltage Distribution Systems

Qingyu Wang

Beijing Haiwang Hydrogen Energy Technology Co., Ltd., Beijing, 102200, China

Abstract

This paper focuses on the selection and performance analysis of low-voltage distribution system switchgear. Firstly, explain the research background and purpose, emphasizing its importance in modern power systems and the gap with Europe and America. Continuing with the introduction of classification, selection, and setting principles, the correct selection is ensured through parameter matching and release selection, and performance is analyzed from three aspects: electrical, mechanical, and environmental. Also explore the relationship between selection and performance, and illustrate it with case studies. Finally, summarize the research conclusions, clarify the selection principles, key points, and performance analysis results, and look forward to future research directions, including intelligence, high-performance materials, green environmental protection, and standardized modular design.

Keywords

low-voltage power distribution system; switchgear; selection; performance analysis

低压配电系统中开关设备的选型与性能研究

王庆宇

北京海望氢能科技有限公司, 中国 · 北京 102200

摘 要

本论文聚焦低压配电系统开关设备, 深入探讨其选型与性能分析。先阐述研究背景与目的, 强调在现代电力系统中的重要性及与欧美差距。接着介绍分类、选型与整定原则等内容, 通过参数匹配和脱扣器选择确保选型正确, 从电气、机械、环境三方面分析性能。还探讨选型与性能关系, 结合案例说明。最后总结研究结论, 明确选型原则和要点及性能分析成果, 并展望未来研究方向, 包括智能化、高性能材料、绿色环保及标准化模块化设计。

关键词

低压配电系统; 开关设备; 选型; 性能分析

1 引言

1.1 研究背景

低压配电系统中开关设备极为重要, 其选型与性能影响系统稳定。现代电力系统发展使低压配电系统规模与复杂性增大, 它作为电力传输和分配最后环节, 可靠性和安全性至关重要。开关设备承担控制、保护和隔离电路任务, 虽高低压成套开关设备广泛应用, 但我国与欧美发达国家有差距。实际应用需满足不同负载和环境条件, 如工业场所抗干扰、高层建筑体积小且密封好等, 对其选型与性能分析具有现实意义。

1.2 研究目的

本研究探讨低压配电系统开关设备选型与性能关系并提出优化策略。分析不同类型开关设备, 为电力系统人员提

供选型依据, 提高系统可靠性、安全性和运行效率。考虑环境影响因素, 综合负载性质等选合适类型并注意参数设定。

2 理论基础

2.1 低压开关设备分类

2.1.1 框架式断路器

框架式断路器又称万能式断路器, 零件装于绝缘金属框架内, 常为开启式, 可装多种附件, 便于更换触头和部件。主要用于进线主回路, 体积较大, 能接通、承载和分断正常电路电流。额定电流一般在 200A - 6300A, 分断能力高, 如大型工厂一级配电中, 能为工厂电力供应提供可靠保护, 适用于对分断能力要求高的回路, 如大型设备供电回路。

2.1.2 塑壳式断路器

用于分支回路, 以塑料绝缘体为外壳隔离导体与接地金属部分。结构紧凑、操作容易, 适用于 630A 以下回路。通常含热磁跳脱单元, 大型号配备固态跳脱传感器。过电流脱扣器有电磁式和电子式两种, 电磁式为非选择性断路器,

【作者简介】王庆宇 (1986-), 男, 中国河北邯郸人, 本科, 工程师, 从事电气配电设计研究。

有长延时和瞬时保护；电子式有长延时、短延时、瞬时和接地故障四种保护功能，部分新产品还有区域选择性连锁功能。在工业和商业二级配电中，广泛用于分支回路的保护和控制。

2.2 选型与整定原则

通用原则：低压配电系统中，断路器选型与整定至关重要。要依据配电系统的电压等级、负载类型、短路电流等确定类型与额定参数，如 TN - S、TT 系统选四级断路器。同时，需适配场所环境，多尘、强腐蚀、高海拔等特殊环境，要选对应特性的断路器。此外，附件与操作方式也应契合使用要求。整定经验：长、短延时脱扣器整定电流选取是关键。长延时脱扣器动作电流按公式 $I_n \geq K_{zd} I_{lb}$ 整定，短延时过流脱扣器动作电流需躲过尖峰电流。短延时脱扣器动作时间分三档，依保护选择性，上级比下级长一个时间级差，以此提升系统可靠性^[1]。

3 开关设备选型要点

3.1 工作参数匹配

需确保断路器工作电压、电流与系统相符。

3.1.1 电压一致

断路器工作电压额定值应与供电线路一致，在低压配电系统中这极为重要。若不匹配，可能导致设备无法正常工作甚至引发安全事故。如工作电压低于供电线路电压，断路器可能无法承受线路电压而损坏；高于供电线路电压则可能对其他设备造成过电压损害。

3.1.2 电流适配

断路器工作电流额定值不小于计算电流，通常按 1.25 倍计算。这是为确保断路器能承受系统电流负载，在故障时迅速切断电流以保护设备和人员安全。例如系统电流超额定电流时，断路器应及时跳闸防过载损坏设备。实际应用中要根据系统具体情况计算确定合适的工作电流额定值。对负载较大系统，需选额定电流大的断路器满足电流需求。同时考虑分断能力，根据实际短路电流校对，上下偏差不能过大。如短路电流大的系统，选分断能力高的断路器，以便故障时迅速切断电流保护系统安全。

3.2 脱扣器选择

需根据负载选择合适脱扣器以确保可靠动作。

3.2.1 热脱扣器

在低压配电系统中起过载保护作用。热脱扣器通过双金属片热效应实现过载保护，其额定电流应与电动机或负载额定电流相同。若热脱扣器额定电流小于电动机额定电流，过载时可能无法及时动作，导致电动机过热损坏；若额定电流过大，可能在正常负载下误跳闸，影响系统运行。所以选择热脱扣器时，要确保其额定电流与负载额定电流相同，以保证过载保护的可靠性。

3.2.2 电磁脱扣器

主要用于短路保护，瞬时整定电流大小影响断路器在短路故障下的动作速度和可靠性。其瞬时整定电流要大于负载电路正常工作时的峰值电流。当负载为电动机时，电磁脱扣器瞬时动作整定电流 $I_z \geq K I_{LS}$ （ K 为安全系数，不同系列断路器系数不同， I_{LS} 为电动机起动电流），因为电动机起动时会产生较大起动电流，峰值可达额定电流的 5 - 7 倍。若电磁脱扣器瞬时整定电流小于起动电流峰值，电动机起动时断路器可能误跳闸，影响生产连续性。所以选择电磁脱扣器时，要根据负载特性和实际情况合理设置瞬时整定电流，确保大于峰值电流，以保证短路保护的可靠性^[2]。

4 开关设备性能分析

4.1 电气性能

4.1.1 电压与电流测试

开关设备在低压配电系统中的电压与电流测试至关重要。技术指标明确主要参数，如额定电压 0.4kV、额定绝缘电压 0.69kV，断路器额定电流范围 200A - 6300A。实际应用中要确保其在规定范围内稳定工作，能承受系统电压波动。关注额定电流与短路电流，开关设备需有足够分断能力应对短路故障，如一些设备额定极限短路分断能力达 70kA，额定运行短路分断能力 50kA，可迅速切断故障电流。

4.1.2 绝缘性能评估

绝缘性能是安全保障。绝缘电阻反映对电流阻碍能力，高绝缘电阻可降低触电风险。介质耐压衡量绝缘强度。开关设备绝缘性能需满足特定标准，如低压开关柜额定绝缘电压 690V。可通过专业设备测试，不达标会引发漏电、短路故障。环境因素影响绝缘性能，潮湿高温下性能可能下降，需采取防护措施确保良好绝缘。

4.2 机械性能

4.2.1 操作力与触点压力

操作力与触点压力对开关设备良好接触和稳定操作至关重要。测试开关操作力矩、操作力及触点接触压力可确保性能。操作力应适中，过大致操作困难，过小难保证触点可靠接触。如调整操作力可提高开关操作性能和可靠性。触点压力影响接触电阻和导电性能，压力不足接触电阻增大致发热甚至故障。低压电气开关接触性能分析中，合适触头压力可通过“痕迹法”判断接触面积，如特定宽度面接触有相应接触面积要求，体现合适触点压力的重要性。

4.2.2 寿命与可靠性

寿命与可靠性是重要指标。试验评估耐久性可为选型和使用提供依据。有多种开关寿命测试标准，规定具体要求和方法。实际可通过寿命和可靠性试验评估不同操作条件下机械性能和耐久性。如低压电器寿命测试可全面评估性能。采用威布尔分布模型可预测低压成套开关设备寿命，以

制定维护计划提高可靠性和寿命。开关设备寿命和可靠性受环境因素影响,温度、湿度等环境因素对其有影响。选型和使用时需考虑环境适应性和耐受性,提高可靠性和寿命。

4.3 环境性能

4.3.1 环境适应性测试

环境适应性是开关设备在不同环境下正常工作的关键性能。需适应各种温度、湿度和气压条件。不同开关设备温度适应范围不同,高温下易散热不良影响性能和寿命,可采取增加散热片、通风设计等措施。湿度高时设备可能受潮气影响致绝缘下降和故障,可采用防潮材料、加强密封。高海拔地区气压低影响绝缘和散热,高海拔用的开关设备需特殊设计和测试。

4.3.2 防尘与防水分析

防尘与防水性能对开关设备在恶劣环境下工作至关重要。工业场所和户外环境中,开关设备可能受灰尘、雨水等影响,性能和寿命受影响甚至引发故障。提高防尘防水性能可采用密封设计、高防护等级外壳等,如一些达 IP65 及以上能防灰尘和水分侵入,在进出线口等部位设密封件提高整体密封性。实际应用中根据环境选择合适防护等级设备,户外设备要高防水性,多尘环境需良好防尘性,且要定期维护检查确保性能良好。

5 选型与性能关系

5.1 选择性保护

通过电流、时间等方式实现上下级断路器配合,对低压配电系统的稳定运行至关重要。

5.1.1 电流选择性

依靠动作值差异实现保护。当低压配电系统中发生短路故障时,可根据系统线路阻抗的差异造成上下级断路器测得短路电流大小的不同,开展电流的选择性保护。此项保护依靠相邻级的断路器中脱扣器的动作值不同来实现。按照相关标准,一般要求断路器 1 的最小瞬动电流不小于断路器 2 的最小瞬动电流的 1.4 倍。例如,在一个多级配电系统中,上级断路器的瞬动电流设定为较大值,当下游发生短路故障时,若故障电流未达到上级断路器的动作值,上级断路器不动作,而由下级断路器迅速切断故障电流,实现选择性保护。

5.1.2 时间选择性

保证跳闸时间差实现配合。当短路电流较大时,可根据上下级断路器动作时间不同来实现选择性保护。断路器的断开工作过程包括短路故障后脱扣器自动解扣,触头在操作机构作用下断开,电弧经由灭弧装置熄灭等。为保证时间选择性,断路器必须满足在安秒特性曲线中,主断路器的脱扣时间大于分支断路器的全分断动作时间。例如,上级断路器可设置短延时脱扣器,当故障发生时,下级断路器瞬时动作,若故障电流较大未能及时切断,上级断路器在经过一定时间延时后动作。一般来说,时间级差可取 0.1s 或 0.2s,如当负

荷断路器为瞬时动作时,馈电干线断路器取短延时 0.1s(或 0.2s),则配电变压器低压侧进线断路器短延时取为 0.2s(或 0.4s)。这样通过合理设置时间差,确保在故障发生时,各级断路器能够有序动作,实现选择性保护,缩小故障范围,提高系统的可靠性和稳定性。

5.2 案例分析

5.2.1 成功案例

某大型工业厂房低压配电系统中,设计人员按负载需求和环境条件精心选型。进线主回路用额定电流 2500A、分断能力 65kA 的框架式断路器,满足大型设备启动电流冲击和短路快速分断要求。分支回路采用额定电流 250A 和 400A 的塑壳式断路器。通过合理设置上下级断路器电流和时间参数实现选择性保护。项目中选型合理,开关设备运行性能良好。框架式断路器高分断能力在严重短路时迅速切断故障电流,保护系统安全。塑壳式断路器结构紧凑、操作便利,便于安装维护。选择性保护缩小故障范围,提高系统可靠性和稳定性。如局部设备故障时,仅故障分支回路断路器动作,其他区域设备正常运行。

5.2.2 问题案例

另一小型商业建筑低压配电系统中,设计人员选型未充分考虑负载实际情况和未来发展需求,引发问题。进线回路选额定电流较小框架式断路器,用电负荷增加后常过载报警,夏季高峰跳闸,影响商业活动。分支回路选低价但性能一般的塑壳式断路器,脱扣器动作精度不高,轻微过电流误动作致部分区域频繁停电。上下级断路器未合理设置选择性保护,短路时上下级同时跳闸致大面积停电,给商户带来损失。此案例说明不当选型对低压配电系统性能有负面影响,选型需考虑负载实际、未来需求及系统可靠性稳定性,避免问题^[1]。

6 总结

本研究深入剖析低压配电系统开关设备的选型与性能。明确选型原则,强调工作参数与脱扣器选择要点,从电气、机械、环境性能角度确保设备良好,实现选择性保护,通过案例阐述合理选型的重要性,为系统提供理论与实践支持,提升可靠性、安全性及运行效率。面对科技进步与电力需求增长,未来可从智能化、高性能材料应用、绿色环保设计、标准化与模块化设计着手,推动行业发展,保障电力系统稳定运行。

参考文献

- [1] 康学福.智能型成套开关设备和控制设备检测系统.甘肃省,天水师范学院,2022-09-01.
- [2] 叶红飞.智能模块低压配电系统.四川省,成都民达电力设备有限公司,2020-08-13.
- [3] 杨文海.低压配电系统主回路进线开关设计[J].电子元器件与信息技术,2019,3(10):77-79.