

低压配电系统电气安全防护技术应用分析

陈 冲

中核汇能河南能源有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：本文围绕低压配电系统的电气安全防护展开系统性研究，梳理了过载、短路、漏电、电位失衡四类核心电气安全隐患的形成机理与危害特征，逐一解析过载短路、漏电、接地、电磁干扰四类主流防护技术的工作原理、适用场景与应用要点，从分层分级体系构建、环境适配防护、参数精准匹配、多技术协同四个维度提出防护技术优化应用策略，可为不同场景下低压配电系统的安全防护方案设计与运维管理提供专业参考，助力降低电气故障发生概率，提升系统整体运行可靠性。

关键词：低压配电系统；电气安全；防护技术；应用分析

引言：在当前各行业用电负荷持续攀升、用电场景复杂度不断提升的背景下，低压配电系统作为直接面向终端用电设备的核心供电环节，其安全运行状态直接关系到用电人员人身安全与生产生活秩序稳定。长期以来，低压配电系统因隐患隐蔽性强、故障诱因多元，始终是电气安全管理重点与难点领域。本文从系统隐患特征、核心防护技术、优化应用路径三个层面展开完整论述，旨在厘清各类防护技术的适配逻辑与协同机制，为低压配电系统的安全防护体系建设提供清晰的技术落地思路。

1 低压配电系统主要电气安全隐患

低压配电系统的电气安全隐患主要源于设备性能衰减、线路工况异常、负载匹配失衡及系统结构紊乱，整体具备隐蔽性、突发性和传导性特征，各类隐患相互叠加、相互影响，是引发电气故障的核心诱因，主要可分为四类。（1）过载隐患。配电线路、开关器件、变压设备等核心元器件均具备固定额定承载参数，当系统整体负载超限、瞬时负载激增，或设备长期处于高负荷运行状态时，回路实际工作电流将超出额定阈值，引发线路持续发热、绝缘层加速老化、元器件性能衰减等问题。持续性过载会不可逆损耗设备与线路性能，最终导致线路烧毁、设备停运等故障。（2）短路隐患。线路绝缘层老化、磨损、破损，线路搭接结构异常，设备内部元件击穿等工况问题，会造成配电系统相线与相线、相线与零线直接导通，形成短路故障。短路故障发生瞬间会产生超大瞬时电流，释放大热量并伴随高强度电弧，极易造成配电设备损毁、线路熔断，引发大范围配电回路故障。（3）漏电隐患。线路绝缘受潮、老化破损，设备外壳绝缘性能失效，线路接头松动、密封结构失效等，会导致系统电流出现非正常泄漏，部分电流传导至设备

金属外壳及接地结构。漏电问题不仅会造成电能无效损耗，还会引发外壳带电，同时漏电产生的局部高温会加剧周边部件老化，诱发次生电气故障。（4）电位失衡与接地异常隐患。配电系统接地结构布置不合理、接地电阻数值超标、接地线路接触不良或断路，会导致故障电流无法正常泄放，带电隐患无法及时消除。同时，系统运行过程中的电压波动、电磁扰动会引发全域电位失衡，破坏用电设备运行稳定性，加剧电气部件损耗，滋生各类隐性电气故障^[1]。

2 低压配电系统核心电气安全防护技术

2.1 过载与短路防护技术

过载与短路防护是低压配电系统最基础的前置防护技术，核心功能为实时监测回路电流状态，快速响应电流异常工况，阻断过载、短路故障扩散，保护输电线路与配电设备本体安全。该技术主要依托熔断器、断路器、热继电器等核心器件实现防护功能，各类器件的工作原理与防护定位各有侧重，适配不同配电层级与负载工况。（1）熔断器依托熔体热熔断特性实现故障切断，过载或短路大电流通过熔体时会使其快速受热熔断，主动切断故障回路，阻断异常电流传输，具备结构简单、响应速度快、稳定性强的特点，适配末端小型配电回路的基础防护。断路器具备双重防护机制，可通过延时脱扣功能应对短时、轻微过载工况，规避不必要的设备动作，保障系统稳定运行；针对短路瞬时大电流，可实现快速脱扣跳闸，高效切断故障电路，且具备可重复使用特性，多用于主干配电线路及核心配电设备防护。热继电器主要适配动力类负载设备，通过实时感应设备运行温度变化，在设备长期过载升温时触发保护动作，切断控制回路，规避动力设备过热烧毁问题。（2）该类防护技术的核心应用要点为参数精准匹配，需结合配电线

路线径、设备额定电流、负载运行特性精准设定防护阈值,规避参数过大导致的防护失效、参数过小引发的频繁误跳闸问题,保障防护动作的精准性与稳定性^[2]。

2.2 漏电防护技术

漏电防护技术主要用于防控系统漏电故障,消除设备带电、局部高温等隐患,是终端配电安全防护的核心技术,核心执行设备为漏电保护器。其工作原理基于电流矢量平衡特性,系统正常运行状态下,回路火线与零线电流矢量和保持为零,保护器无触发信号;当回路出现漏电故障,部分电流通过接地结构流失,火线与零线电流产生差值,保护器检测到异常电流信号后,可瞬时触发跳闸动作,切断供电回路,彻底消除漏电隐患。

(1)按照防护灵敏度可将漏电防护划分为高、中、低三个等级。高灵敏度漏电防护聚焦终端精细化安全防护,适配小型终端用电回路;中、低灵敏度漏电防护侧重线路与大型设备防护,主要用于规避漏电引发的设备损伤与回路故障。同时,漏电防护可采用分级联动模式,通过总配电端、分配电端、终端设备端多级防护配合,实现全域漏电监测与故障阻断,提升防护容错性。(2)在技术应用过程中,需结合配电系统运行工况适配设备型号,针对潮湿、多尘、开放式等恶劣运行环境,选用高密封、高适配性的漏电保护器件,同时精准区分系统正常微弱泄漏电流与故障漏电流,有效规避设备误动作,提升防护系统运行稳定性。

2.3 接地安全防护技术

接地防护技术通过搭建规范化、标准化的接地体系,实现故障电流快速泄放、系统电位平衡、设备静电消除,从根源降低电位失衡、设备带电引发的安全隐患,是低压配电系统最基础的保障性防护技术。当前低压配电系统主流接地防护方式包含保护接地、工作接地、重复接地三类。(1)保护接地是将用电设备金属外壳、金属支架等非带电金属结构与接地装置可靠连接,设备出现绝缘破损、内部漏电故障时,故障电流可通过接地装置快速导入大地,降低设备外壳对地电压,消除带电隐患。工作接地通过配电系统中性点接地,稳定系统对地电压,抑制电压波动,保障配电输出电压的连续性与稳定性,避免电压异常损伤用电设备。重复接地通过在配电线路分段节点、末端增设接地点位,弥补单一接地方式电阻偏大、接地断点等缺陷,提升故障电流泄放效率,降低线路断线、接地失效引发的安全隐患。

(2)接地防护技术的应用核心为严控接地电阻参数,保障接地线路全程连通、接地节点牢固可靠,常态化规避节点腐蚀、松动、氧化等问题,确保故障工况下电流可

快速、顺畅泄放,充分发挥接地体系的基础防护效能。

2.4 电磁干扰防护技术

低压配电系统中高频用电设备、大功率开关设备、变频设备运行时会产生高频电磁信号,同时外部环境电磁信号也会侵入配电回路,引发电压畸变、电流谐波紊乱、设备信号异常等问题,加剧电气部件老化损耗,滋生隐性电气故障。电磁干扰防护技术主要用于抑制系统内外电磁扰动,净化电能质量,保障配电系统与精密用电设备稳定运行。(1)当前主流电磁防护方式包含屏蔽防护、滤波防护、接地优化三类。屏蔽防护通过金属屏蔽层包裹配电线路与精密控制设备,阻隔内外电磁信号的相互耦合与干扰,削弱电磁扰动影响。滤波防护通过在配电回路加装滤波器、电抗器等器件,过滤电流、电压中的高频谐波,矫正畸变电能波形,解决谐波引发的设备发热、绝缘老化、电能质量失衡等问题。接地优化通过专用屏蔽接地、单点接地等规范化方式,规避接地环路引发的次生电磁干扰,提升系统整体抗干扰能力。

(2)该技术主要适配精密用电设备、自动化配电系统等对电能质量、运行稳定性要求较高的配电场景,可有效消除电磁干扰带来的隐性隐患,延缓设备老化速率,延长配电系统整体使用寿命^[3]。

3 低压配电系统防护技术的优化应用策略

3.1 构建分层分级的组合防护体系

低压配电系统分为主干配电、分支配电、终端用电三个层级,各层级负载容量、故障影响范围差异显著,需针对性搭配防护技术,实现分层管控、逐级防护。

(1)主干配电层级决定整个系统的运行稳定性,以短路防护、过载防护和重复接地防护为核心,配置大容量、高稳定性保护器件,规避系统性电气故障。(2)分支配电层级兼顾整体稳定性与局部安全性,搭配基础过载短路防护与二级漏电防护,阻断局部故障向主干网络与终端设备扩散。(3)终端用电层级聚焦设备安全与回路稳定,以高灵敏度漏电防护、设备保护接地、电磁干扰防护为主,精准防控终端细微电气隐患。通过多技术分层组合配置,实现故障分级阻断,避免局部故障扩散为全域故障^[4]。

3.2 结合运行环境适配防护技术

在低压配电系统防护技术的优化应用框架中,结合运行环境适配防护技术是提升系统运行可靠性的核心路径。运行环境的各项物理参数直接决定配电系统的隐患类型、故障发生概率与设备损耗速率,需严格依据不同场景的环境特性差异化配置防护方案,全面强化防护措施的针对性与实际效能。(1)常规干燥室内环境下,无

特殊干扰与侵蚀因素,采用标准化配置的过载、短路、剩余电流动作基础防护体系,匹配对应线路载流能力设定保护动作阈值,即可满足系统长期稳定运行的防护要求。(2)潮湿多水汽的封闭环境中,线路绝缘易受水汽侵蚀出现绝缘性能衰减,需强化剩余电流防护与接地系统配置,选用防潮型防护器件,加密接地节点布设,有效提升系统防潮防漏电能力。(3)多粉尘、腐蚀性环境易引发设备触点氧化、线路外层老化加速,需对防护设备实施密封防护处理,同步优化过载保护动作参数,规避接触不良引发的异常过载误动作。高频电磁密集环境下,重点强化滤波与屏蔽防护配置,持续净化电能质量,保障后端精密用电设备稳定运行。

3.3 优化防护设备参数匹配设计

在低压配电系统防护技术的优化应用体系中,优化防护设备参数匹配设计是保障防护效能的核心环节,防护设备的参数匹配精度直接决定最终防护效果,参数失衡会直接引发防护失效或过度防护两类典型问题。(1)在技术方案设计阶段,需完整采集回路线路线径、线路传输长度、后端用电设备额定功率、负载启动特性等全维度基础参数,通过标准化计算流程精准核算过载保护阈值、短路脱扣电流、剩余电流动作电流等核心指标。

(2)针对电机类感性负载场景,需充分考量设备启动阶段的瞬时大电流特性,合理设置过载保护的延时动作参数,规避启动冲击电流引发的无意义误跳闸问题。针对长距离配电回路,需结合线路全程阻抗损耗优化短路保护的灵敏度,保障线路远端的短路故障可被有效检测、快速切断。针对多设备并联的配电回路,需精准设定剩余电流保护的差值,区分系统正常微弱泄漏电流与故障漏电电流,保障整套防护系统精准、稳定运行。

3.4 依托技术协同提升防护完整性

在低压配电系统防护技术的优化应用体系中,依托技术协同提升防护完整性是构建全维度安全屏障的核心路径。各类电气安全防护技术并非独立运行,具备极强的协同互补特性,单一防护环节的覆盖盲区可通过跨技术联动实现有效填补。(1)过载与短路防护可精准管控回路异常大电流,减少大电流热效应持续作用对线路绝

缘层的不可逆损伤,从运行源头降低漏电故障的发生概率。(2)接地防护可为漏电、短路故障提供稳定的低阻电流泄放通道,大幅提升故障阻断的响应可靠性,弥补单一电流检测类防护的性能短板。(3)电磁防护可净化回路电能质量,减少电压畸变、谐波干扰引发的设备隐性损耗,降低非电流类因素诱发的次生电气故障风险。(4)在系统落地应用过程中,需打破单一防护技术的功能局限,实现电流防护、接地防护、电磁防护的深度协同,构建覆盖故障前置预防、实时状态监测、故障快速阻断、存量隐患消除的全流程防护体系,全面提升低压配电系统的安全运行水平^[5]。

结束语

低压配电系统的安全防护是一项覆盖设计、建设、运维全生命周期的系统性工作,单一防护技术无法实现全域隐患的完整覆盖。只有立足不同配电层级的运行特性、差异化的现场环境条件,通过精准的参数匹配实现各类防护技术的深度协同,才能构建出兼具针对性与可靠性的全流程防护体系。未来随着配电场景的持续拓展,低压配电安全防护技术还需结合现场运行数据不断迭代优化,持续填补传统防护的覆盖盲区,为各领域用电场景的稳定运行筑牢安全屏障。

参考文献

- [1]乔霖.低压配电系统中的安全性设计与故障预防分析[J].中国科技期刊数据库 工业A,2026(5):139-142.
- [2]褚梅寒.建筑电气施工中低压配电系统设计与实现分析[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(3):044-047.
- [3]侯雪松.低压电气设备安全隐患排查与防护技术研究[J].电力研究,2026,9(5):205-208.
- [4]宿爱柏.低压电气供配电系统线路防雷击设备安全措施研究[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2026(2):062-065.
- [5]张世坤,张磊,洪建.基于故障特征分析的低压配电系统剩余电流保护整定优化[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2026(1):119-122.