

电缆终端电场分布优化对运行可靠性的影响研究

高天元 吴文清

黄石市深博电气有限公司 湖北 黄冈 438204

【摘要】：电缆终端作为电力系统的重要组成部分，其电场分布对运行可靠性起着至关重要的作用。优化电缆终端的电场分布能够有效降低电气应力，减少设备故障的概率，提升电力系统的稳定性。本研究通过对电缆终端电场分布的优化分析，探讨了不同优化策略对电力设备运行可靠性的影响，提出了一种有效的优化方法，并对其实施效果进行了实验验证。研究结果表明，优化电场分布能够显著提高电力设备的长期运行可靠性，为电力系统的安全运行提供了技术支持。

【关键词】：电缆终端；电场分布；优化；运行可靠性；电气应力

DOI:10.12417/2811-0722.26.05.067

引言

电缆终端在电力系统中作为重要的连接节点，其电场分布直接影响着电力设备的稳定性与可靠性。由于电缆终端处于电力系统的关键位置，其电场分布的不合理容易导致设备故障，影响系统的安全运行。近年来，随着电力系统对稳定性和安全性要求的提高，电缆终端的电场优化问题逐渐受到重视。优化电场分布不仅能够降低设备的电气应力，减少故障发生率，还能够延长设备的使用寿命。有效的电场优化策略对电力设备的可靠性提升至关重要。通过深入研究电场分布与设备运行的关系，能够为电力系统的优化设计提供理论依据和技术支持。

1 电缆终端电场分布的重要性分析

1.1 电缆终端的工作原理与作用

电缆终端作为电力传输系统的关键组成部分，主要用于连接电力电缆与其他电气设备，如变压器、开关设备等。其作用在于确保电流能够顺畅地从电缆传输到其他设备，同时也承担着防护、绝缘以及电气接地等功能。电缆终端的工作原理依赖于其内部结构，包括绝缘层、导体和金属接头的合理设计。通过合理设计电缆终端的几何结构和材料选择，能够降低接头处的电气应力和热应力，延长设备的使用寿命。电缆终端内部的电场分布决定了其运行性能与可靠性，合理的电场分布设计对确保电缆终端及整个电力系统的稳定性至关重要。

1.2 电场分布对电力设备影响的机制

电场分布对电力设备运行的影响深刻且复杂。电缆终端由于电压的不均匀分布，常常在终端处产生局部电场应力，这种应力容易引发绝缘材料的击穿或老化，从而导致设备的故障。特别是在高压电力系统中，电场的集中区域往往出现在电缆端头和接地端，这些部位的电气应力大，容易引发电气击穿，进而影响设备的正常运行^[1]。随着电场的均匀性加剧，电缆终端的绝缘材料可能会经历局部过热、老化或损坏，甚至引发短路或火灾等严重后果。控制电场分布的均匀性、减少应力集中，是提升电力设备运行稳定性的重要手段。

1.3 电场不均匀性引发的潜在风险

电场不均匀性是电力设备中常见的一个问题，尤其是在电缆终端处表现得尤为明显。在电缆终端的接头区域，由于几何形状和材料的差异，电场容易发生集中，产生局部电气应力。这些应力可能会超出绝缘材料的耐受范围，导致击穿现象的发生。电场不均匀性不仅影响电缆终端的绝缘性能，还可能引发电气设备的局部过热或电力系统的稳定性问题。随着电场不均匀性的持续存在，电缆终端的老化速度会加快，设备出现故障的概率也会增加。为了有效规避这些风险，优化电场分布、消除不均匀电场应力成为确保电力设备长期稳定运行的关键。

2 电场分布优化的研究方法策略

2.1 电场优化模型的构建

电场优化模型的构建是电缆终端电场分布优化的关键步骤。为了准确模拟电场的分布情况，需要建立基于电磁场理论的数学模型。通常采用有限元法（FEM）来进行数值求解，这一方法能够精确描述复杂几何形状和电气特性下的电场分布。模型中考虑的因素包括电缆终端的几何形状、材料特性、导体电流密度、绝缘层的电导率等。电场的强度和分布主要取决于这些参数之间的相互作用，构建模型时必须考虑实际工况的影响。电缆终端的材料结构可能导致电场在某些位置集中，从而增加局部电气应力，进而影响设备的稳定性。通过对不同工作条件下电场分布的仿真，可以揭示电场的均匀性及其对电力设备的潜在影响，为后续优化策略的制定提供科学依据。

2.2 优化算法与优化目标的选择

在电场优化的过程中，选择合适的优化算法和设定合理的优化目标是提高优化效果的关键。常用的优化算法包括遗传算法、粒子群优化（PSO）和模拟退火算法等，这些算法可以有效地搜索到全局最优解。在实际应用中，优化目标通常是减少电场分布的最大值和均匀度，降低电气应力集中的区域。优化过程需要确定目标函数，通常通过最小化电场应力集中的峰值或最大化电场的均匀性来评估优化效果^[2]。优化目标还可以根据设备的运行可靠性要求进行调整，确保优化后的电场分

布不仅符合电气设计标准，还能有效提升设备的长期运行稳定性。在目标选择时，需要权衡电缆终端的工作性能、成本以及安装环境等多方面的因素，以确保优化方案的可行性和实用性。

2.3 优化方案的实施与验证

优化方案的实施不仅仅依赖于理论模型和优化算法，还需要在实际工程中进行验证。优化后的设计方案需要通过实验验证来检查其实际效果。通常，实验验证通过对比优化前后的电场分布数据，来评估优化方案的有效性。实验过程中，会采用高精度的电场测量仪器对电缆终端的电场进行实时监测，以便捕捉到优化实施后的电场变化情况。优化方案的长期可靠性也需要通过加速老化试验或高压测试来验证其在实际运行中的稳定性。这些实验数据将为优化设计提供反馈，帮助进一步调整和完善优化策略。通过多次实验与反馈，最终确保优化方案能够在实际电力系统中稳定运行，从而提升电力设备的可靠性和安全性。

3 电场分布优化对电力设备运行可靠性的提升

3.1 电气应力与设备可靠性的关系

电气应力是指电力设备在运行过程中，由电场、磁场及温度变化等因素产生的应力，这些应力直接影响设备的运行稳定性和可靠性。在电缆终端和其他高压电气设备中，电场的不均匀分布容易导致局部电气应力增大，造成绝缘材料的击穿或老化，从而引发故障。电气应力集中区域通常出现在接头、绝缘环等部位，这些区域往往承受较高的电场强度。当电气应力超过材料的耐受限度时，设备的运行可靠性显著下降，甚至导致设备的突然失效。优化电场分布、减小电气应力集中，不仅能够延长电力设备的使用寿命，还能提高电力系统的整体可靠性，降低突发故障的概率，确保电力设备能够稳定、持续地运行。

3.2 优化电场分布的效果分析

通过对电场分布进行优化，能够有效减少电气应力集中，提高电力设备的运行可靠性。在优化后的电场分布中，电场的均匀性得到了显著改善，原本容易出现应力集中的部位得到了有效缓解，从而降低了设备局部过热或绝缘失效的风险^[3]。实验数据表明，优化电场分布能够明显减少电缆终端的热应力，降低故障发生率。电场分布优化有助于增强电力设备的抗击穿能力，使其在高压运行条件下更加稳定。通过采用不同的优化方法，如改变电缆终端的几何结构或使用特定的材料，能够进一步改善电场分布的效果，达到提升设备可靠性的目标。优化后的设备在长期运行中的可靠性和安全性均有显著提升，表明电场分布优化是提高电力设备运行稳定性的重要手段。

3.3 优化方案的实施效果

电场分布优化方案的实施效果在实际运行中得到了充分

验证。通过实施优化方案，电缆终端及其他电力设备的电气应力得到了有效分散，电场不均匀性明显减弱。经过高压实验和老化测试，优化后的电力设备在长时间高压运行中的可靠性表现更为突出，设备故障率显著降低。在电场优化实施后的设备中，电气应力的集中点得到了有效控制，绝缘层的老化过程被显著延缓，提升了设备的使用寿命和运行稳定性。对比未优化的设备，优化后的设备在电气应力分布均匀性、故障率以及设备寿命等方面均表现出明显的优势。这些实践证明，电场分布优化不仅能够提高电力设备的短期稳定性，还能够在长期使用中保持较高的可靠性和安全性，为电力系统的平稳运行提供了有力保障。

4 电缆终端电场分布优化的实验与验证

4.1 实验设计与方案

实验的设计旨在系统验证电场分布优化对电力设备稳定性和运行可靠性的具体影响。为此，实验首先选取了一种标准的高压电缆终端模型，并在实验室环境中构建了多个测试工况。电场分布的优化方法通过调整电缆终端的结构和材料配置来实现，特别是针对电缆终端接头处的电场集中现象，采用了改进的几何设计和优化的绝缘材料。这些优化设计能有效分散电场，减少电气应力集中，从而降低击穿风险。实验中设计了多组对比实验，比较优化前后的电场分布、设备运行状态及故障率，测试环境涵盖了不同的工作电压、电流以及温湿度条件。实验方案还包括了高压和过载测试，验证电场优化在极端工况下的可靠性和稳定性。在实验过程中，还特别关注了电场强度变化的监测，以及不同优化设计对电力设备长期运行影响的评估。

4.2 实验数据分析与结果

实验过程中，电场分布数据通过高精度电场探测仪器进行采集。测试结果揭示了优化前后电场分布的显著差异。优化设计使得电场在电缆终端各部位变得更加均匀，尤其是之前电场集中度较高的接头区域，优化后电场强度得到有效降低，电气应力的分布趋于平稳^[4]。通过测量不同工况下电气应力的变化，可以看出优化后的设备表现出了更强的抗击穿能力，绝缘材料的破坏率显著减少。优化电场分布的电力设备在高压和长时间负荷运行下的稳定性也得到了显著提升，表现出了更低的故障发生率。实验结果表明，优化后的电缆终端在多种工况下均能保持稳定的电场分布，避免了电气应力集中引发的过热和绝缘老化现象。数据分析进一步证实了电场分布优化在提升设备安全性和延长使用寿命方面的积极作用。

4.3 结果讨论与评估

通过对实验结果的深入分析，电场分布优化方案的有效性得到了充分验证。优化设计在减少电气应力集中、提高设备运行稳定性和可靠性方面表现出了显著优势。在优化后，电场均

匀性得到了有效改善,电气应力过大的部位得到了缓解,从而显著降低了电力设备在高压运行中的故障风险。优化后的电缆终端具备了更强的抗击穿能力,延缓了绝缘层的老化过程。与传统设计相比,优化方案能够提高电力设备的安全性,减少设备因电气应力集中而发生的过热和击穿现象。尽管优化方案在实验室条件下表现优异,实际应用中可能会面临更多的变量和复杂情况,在推广应用时,仍需对优化设计进行适应性调整。优化的长效性仍需进一步验证,特别是在不同电力系统和气候条件下的表现。优化后的电场分布能够显著提升电力设备的运行可靠性,减少维护成本,为电力系统的安全稳定运行提供了坚实的基础。

5 电场优化对电力系统整体稳定性的影响

5.1 系统稳定性分析

电力系统的稳定性通常指系统在遭遇扰动后,能否迅速恢复到平稳运行状态的能力。电场优化直接影响电力设备,尤其是电缆终端及其接头部分的电气应力分布,进而影响整个电力系统的稳定性。电气设备的可靠性和抗扰动能力密切相关,电场不均匀的存在容易在高负荷或异常工况下导致设备故障,进而影响电力系统的安全稳定运行。优化电场分布能够减少局部电气应力集中,降低设备因电气应力失效而引发的连锁反应。电场优化能够有效减轻设备的过载风险,增强电气设备的自适应能力,使得电力系统能够在面对电网波动和负荷变化时维持更加平稳地运行。通过优化电缆终端的电场分布,可以提升电力系统在高压、过载等极端工况下的抗干扰能力,从而确保整个电力网络的稳定性。

5.2 电场优化在不同环境下的适应性

电场优化的效果在不同工作环境下可能会受到外界因素的影响。在不同的气候条件下,温度、湿度、风速等因素可能对电缆终端及其绝缘层的性能产生影响,优化方案必须具备广

泛的适应性。实验数据显示,电场优化不仅在常规环境下具有显著的效果,在极端条件下如高温、低温或高湿度环境中,优化设计依然能保持其稳定性和可靠性^[5]。优化电场分布的设计考虑了材料的热膨胀系数、绝缘层的湿度耐受性等因素,通过选择适应不同环境的材料和结构,能够确保电力设备在多变的工作条件下都能保持较低的电气应力,降低设备因环境变化导致的故障风险。电场优化的适应性确保了电力系统在多种复杂环境下的高效运行,提高了系统的可靠性和灵活性,尤其在高压环境中表现尤为突出。

5.3 优化方案对系统长期稳定性的贡献

电场优化方案对系统长期稳定性的贡献体现在多个方面。通过优化电缆终端的电场分布,能够有效降低电力设备的老化速度,延长其使用寿命,从而提升电力系统的长期稳定性。在电力系统的长期运行过程中,电气设备的性能往往随着时间推移而逐渐下降,电场不均匀性加剧会加速设备的老化,增加故障发生的概率。优化后的电场分布能够减缓这种衰退过程,减少设备的维护频率和更换成本。电场优化能够增强电力系统在长期运行中的可靠性,降低突发故障的发生率,从而提高电力系统整体的运行效率和安全性。优化方案不仅改善了电力设备的运行性能,还降低了因设备故障而导致的系统停运或损害,进一步提升了电力系统在长时间运行过程中的可靠性和稳定性。

6 结语

电缆终端电场分布优化对于提高电力系统的稳定性和可靠性具有重要意义。优化电场分布不仅能有效降低电气应力,减少设备故障风险,还能够提升电力系统在不同工况下的适应性和长期稳定性。实验验证结果表明,优化设计能够显著改善设备运行性能,延长使用寿命,并为电力系统的安全运行提供可靠保障。优化方案的实施为电力设备设计和电力系统的稳定运行提供了科学依据,并具有广泛的应用前景。

参考文献:

- [1] 陈永航. 6kV 电缆终端头故障产生原因分析及制作工艺要求[J]. 电力设备管理, 2025, (19): 45-47.
- [2] 刘华祥, 张朋松, 方进. 基于高温超导电缆终端的应力锥设计与分析[J]. 低温与超导, 2025, 53(07): 12-16+50.
- [3] 高创业, 漆春, 王汝飞, 等. 冷缩电缆终端高频电压响应特性及数值模拟分析[J]. 仪器仪表用户, 2025, 32(04): 9-11.
- [4] 祝贺, 何峻旭, 郑亚松, 等. 电缆终端应力锥错位缺陷对界面温度及应力分布的影响[J]. 电工技术学报, 2024, 39(01): 65-75.
- [5] 荣以平, 唐晓光, 徐小龙, 等. 电缆终端头扩径率对应力锥应力及电场分布的影响[J]. 电工技术, 2022, (23): 247-251.