

# 探究高电压设备绝缘老化及状态检修技术

郭 鹏 咸永强 杜银海

国网吴忠供电公司 宁夏 751101

**摘 要：**随着电力系统规模的不断扩大和复杂化，高电压设备在电力传输和分配中扮演着越来越重要的角色。本文通过分析绝缘老化导致的绝缘强度下降、局部放电增加及其对设备稳定运行的影响，阐述对高电压设备进行状态检修的必要性，包括提升设备可靠性、提高电网稳定性以及保障经济效益与社会效益。文章还详细讨论优化高电压设备状态检修的具体路径，包括建立状态检修管理体系、加强人员培训与技能提升、完善设备档案管理以及加强技术研发与创新。本研究旨在为电力系统的安全稳定运行提供理论支持和实践指导。

**关键词：**高电压设备；绝缘老化；状态检修；电网稳定性；技术创新

## 引言

高电压设备在长期运行过程中不可避免地面临绝缘老化的问题，这不仅影响设备的性能和寿命，还可能危及整个电力系统的安全稳定运行。因此，深入研究高电压设备绝缘老化的机理、危害以及相应的检修技术，对于确保电力系统的可靠性和效率具有重要意义。本文将从高电压设备绝缘老化的危害表现入手，分析其对设备性能和系统稳定性的影响。继而探讨检验高电压设备状态的重要性，阐述其对提升设备可靠性、提高电网稳定性以及保障经济效益与社会效益的积极作用。最后，本文将重点讨论高电压设备状态检修的优化路径，包括管理体系建设、人员培训、档案管理以及技术创新等方面，以期为电力企业提供切实可行的解决方案。

## 一、高电压设备绝缘老化的危害表现

### （一）绝缘强度下降

绝缘强度的下降是高电压设备绝缘老化最直接和最严重的危害表现。随着时间的推移，绝缘材料在电场、热场、机械应力等多种因素的长期作用下，其分子结构逐渐发生变化，导致绝缘性能劣化。这种劣化主要表现为介电强度、绝缘电阻和机械强度的全面下降。介电强度的降低使得绝缘材料更容易在高电压下发生击穿，大大增加设备发生绝缘故障的风险。绝缘电阻的降低则导致漏电流增加，不仅造成能量损失，还可能引发局部过热，进一步加速绝缘劣化的进程。此外，机械强度的下降使得绝缘材料更易受到外力损伤，如振动、冲击等，这进一步损害了其绝缘性能。这三个方面的下降相互影响、相互加剧，形成一个恶性循环，最终可能导致设备

的完全失效。因此，及时监测和评估绝缘强度的变化，对于预防重大事故和延长设备使用寿命至关重要。

### （二）局部放电增加

局部放电的增加是绝缘老化过程中一个关键的危害表现，它既是绝缘老化的结果，又是加速绝缘劣化的重要因素。随着绝缘材料的老化，其内部会逐渐形成微小的空隙、裂纹或积聚杂质，这些缺陷成为局部放电的发源地。局部放电的增加主要体现在放电频率的提高、放电强度的加大以及放电范围的扩大。放电频率的增加意味着绝缘材料受到的电气和热应力也相应增加，加速材料的劣化过程。放电强度的加大则直接导致每次放电对绝缘材料造成更严重的损伤，形成更多的微小缺陷。随着老化过程的推进，局部放电的发生区域会逐渐扩大，最终可能导致绝缘材料的完全击穿。这种恶性循环不仅加速绝缘材料的老化，还可能引发更严重的设备故障。因此，通过先进的检测技术及时发现和监测局部放电的变化，对于评估绝缘老化程度和预防设备故障具有重要意义。

### （三）影响设备稳定运行

绝缘老化对高电压设备稳定运行的影响是全方位的，不仅直接危及设备本身的性能和寿命，还可能对整个电力系统的安全稳定运行造成严重威胁。首先，绝缘性能的下降直接影响设备的可靠性，增加设备发生突发性故障的概率，缩短设备的实际使用寿命。其次，绝缘老化可能导致设备内部电阻增加、发热量增大，从而降低设备的运行效率，增加能源损耗。这不仅影响单个设备的性能，还可能降低整个电力系统的运行效率。此外，绝缘老化严重时可能引发的设备突发性故障，不仅威胁操

作人员的人身安全，还可能引发更大范围的电力系统事故，造成广泛的社会影响。最后，随着绝缘老化程度的加深，设备需要更频繁地维护和检修，这不仅增加运营成本，还可能影响电力供应的连续性。因此，及时发现和处理绝缘老化问题，对于确保高电压设备的稳定运行和电力系统的安全可靠供电至关重要。

## 二、检验高电压设备状态的重要性

### (一) 提升设备可靠性

定期检验高电压设备状态对于提升设备可靠性具有至关重要的作用。通过系统性的状态检验，可以及时发现设备中存在的潜在问题，如绝缘性能下降、局部放电增加等，从而在问题恶化之前采取必要的预防措施。这种基于实际状态的维护策略不仅能够更有针对性地进行维护和修理，避免不必要的过度维护或维护不足，还能有效延长设备的使用寿命，最大化设备投资的回报。同时，定期的状态检验可以大大减少设备的突发性故障，提高设备的整体可靠性和可用性<sup>[1]</sup>。这种方法不仅能够降低设备故障率，还能优化维护资源的分配，提高维护效率。此外，通过长期积累的检验数据，可以建立设备性能衰减模型，为设备的更新换代和技术改造提供科学依据，从而在整个生命周期内保持设备的高可靠性。因此，高电压设备状态检验已成为确保电力系统安全稳定运行的关键环节。

### (二) 提高电网稳定性

高电压设备作为电力系统的重要组成部分，其运行状态直接关系到整个电网的稳定性。通过定期和全面的状态检验，可以有效防止单点故障演变为大范围的连锁故障，维护电网的整体稳定性。了解设备的实时状态有助于更好地进行电网调度，合理分配负荷，提高电网运行的稳定性和效率<sup>[2]</sup>。保持高电压设备处于良好状态可以提高整个系统抵抗外部干扰的能力，如雷击、短路等。此外，设备状态的实时监测和分析为智能电网的建设和运营提供重要支撑，有助于实现电网的智能化和自动化。通过建立完善的状态监测系统，可以实现对关键设备的实时监控，及时发现并处理潜在的问题，从而提高整个电网的可靠性和稳定性。同时，这些数据还可以用于电网规划和优化，为未来电网的扩建和升级提供重要参考。因此，高电压设备状态检验不仅是维护当前电网稳定性的重要手段，也是推动电网向更智能、更可靠方向发展的关键因素。

### (三) 保障经济效益与社会效益

对高电压设备进行状态检验不仅能带来直接的经济

效益，还能产生广泛的社会效益，这种双重效益使得状态检验工作变得尤为重要。在经济效益方面，通过预防性维护和及时修复，可以显著降低设备的运营和维护成本<sup>[3]</sup>。保持设备良好状态还可以减少因绝缘老化等问题造成的电力损耗，提高能源利用效率，从而降低运营成本。在社会效益方面，稳定可靠的电力供应对于现代社会的正常运转至关重要，高电压设备的可靠运行直接关系到供电的可靠性。通过有效的状态检验，可以防止高电压设备故障引发的安全事故，维护公众安全和社会稳定。此外，对高电压设备状态检验技术的研究和应用推动相关技术的进步，促进电力行业的整体发展，为相关产业链创造新的发展机遇。同时，可靠的电力供应为其他行业的发展提供基础保障，间接促进整体经济的增长。因此，高电压设备状态检验不仅是一项技术工作，更是一项具有重要经济和社会意义的系统工程。

## 三、高电压设备状态检修的优化路径

### (一) 建立状态检修管理体系

建立科学、完善的状态检修管理体系是提高检修效率和效果的关键。首先，根据设备类型、重要程度和运行环境等因素，制定差异化的检修策略，合理分配检修资源，确保重点设备得到充分关注。其次，制定科学的设备状态评估标准，包括各项参数的正常范围、警戒值和危险值，为检修决策提供客观依据。同时，优化检修流程，明确各个环节的责任和要求，确保检修工作的有序进行。

引入现代信息技术，建立设备状态监测和管理平台，实现数据的实时采集、传输和分析，为决策提供及时、准确的信息支持<sup>[4]</sup>。最后，基于设备状态数据，建立预警机制，及时发现潜在问题并采取相应措施。这一综合性的管理体系不仅能提高检修工作的效率和质量，还能实现检修资源的优化配置，降低检修成本，提高设备的整体可靠性。同时，它为实现预测性维护和基于状态的维护提供了基础，推动检修模式从被动响应向主动预防转变，从而更好地保障高电压设备的安全稳定运行。

### (二) 人员培训与技能提升

高素质的检修人员是保证状态检修质量的关键要素，因此，加强人员培训与技能提升至关重要。首先，应制定系统的培训计划，涵盖理论知识、操作技能和安全意识等方面，提高检修人员的综合素质。这包括对高电压设备原理、故障诊断技术、最新检修方法等内容的深入学习。其次，通过模拟训练和现场实践，提高检修人员的实际操作能力和问题解决能力。可以利用虚拟现实

(VR)等先进技术,模拟各种复杂的检修场景,让人员在安全环境中积累经验。

此外,组织经验交流活动,促进检修人员之间的相互学习和技能提升,创造一个持续学习和进步的氛围。随着新技术的不断涌现,及时开展新技术、新设备的培训也变得尤为重要,使检修人员能够掌握最新的检修技术和方法<sup>[5]</sup>。这种全方位、多层次的培训体系不仅能提高检修人员的专业水平,还能增强其职业认同感和工作积极性,从而提高整个检修团队的整体效能。通过持续的人才培养,可以建立一支高素质、专业化的检修队伍,为高电压设备的可靠运行提供强有力的人才保障。

### (三) 加强设备档案管理

完善的设备档案管理是实现科学检修的基础,它为检修决策提供重要依据。首先,应建立电子档案系统,将设备的基本信息、运行记录、检修历史等数据电子化,方便查询和分析。这个系统应具备强大的数据处理能力,能够支持复杂的数据分析和可视化展示<sup>[6]</sup>。其次,确保档案信息的实时更新,及时记录设备运行状态、检修记录等信息,保证档案的时效性和准确性。这要求建立严格的档案更新机制,明确各部门的责任,确保信息的及时、准确录入。利用大数据技术对设备档案进行深入分析,挖掘潜在的问题和规律,为检修决策提供支持。通过对历史数据的分析,可以预测设备的劣化趋势,优化维护策略。

同时,制定统一的档案管理标准,确保不同部门、不同时期的档案信息具有可比性和一致性,这对于进行长期趋势分析和跨设备比较至关重要。最后,建立安全可靠的数据备份机制,防止重要信息丢失。可以采用云存储等先进技术,确保数据的安全性和可访问性。通过这种系统化、标准化、信息化的档案管理,不仅能为日常检修提供准确的历史数据支持,还能为设备全生命周期管理、资产优化配置等提供重要依据,从而提高整个电力系统的管理水平和运行效率。

### (四) 加强技术研发与创新

技术创新是提高状态检修效率和精度的重要驱动力,也是应对不断变化的设备状态和运行环境的关键。首先,应重点开发先进的检测技术,如在线监测系统、智能诊断算法等,提高检测的准确性和实时性。这可能包括利用物联网技术实现设备状态的实时监控,或应用人工智能算法提高故障诊断的准确性。其次,研究新型绝缘材料及其老化机理,为设备更新和维护提供理论支持。通

过深入了解材料性能和劣化过程,可以开发出更耐久、更可靠的绝缘材料,延长设备寿命。

将机器学习、深度学习等人工智能技术应用于设备状态分析和故障预测,提高诊断的准确性和预测能力。这不仅能提高检修的精确性,还能实现预测性维护,大大降低设备故障率。开发针对高电压设备状态检修的专业软件,实现数据分析、诊断决策的自动化和智能化,提高检修效率。同时,研究和推广新的检修工艺,提高检修质量,减少对设备运行的影响<sup>[7]</sup>。此外,加强与高校、科研院所的产学研合作,共同开展基础理论研究和应用技术开发,推动检修技术的持续创新。通过这种多方面的技术创新,不仅能够不断提高状态检修的技术水平,还能为整个电力行业的技术进步作出贡献,最终实现高电压设备运行的更高可靠性和效率。

### 结束语

总之,高电压设备绝缘老化及状态检修技术的研究是一个复杂而重要的课题。它需要电力行业的专业人士持续关注 and 深入研究,也需要跨学科、跨领域的合作。只有不断提高认识,加强研究,优化技术和管理,才能有效应对高电压设备绝缘老化带来的挑战,确保电力系统的安全、稳定、高效运行,为经济社会发展提供可靠的电力保障。未来,随着智能电网技术的发展和人工智能等新兴技术的广泛应用,高电压设备的状态检修将迎来新的发展机遇。

### 参考文献

- [1]王超.高电压设备在线监测技术在智能电网中的研究与实施[J].电气技术与经济,2024(02):24-26+33.
- [2]王熙然.高压绝缘设备运行时非接触诊断研究[J].电器工业,2023(08):39-42.
- [3]王宝琦.高电压配电设备的运行技术分析[J].集成电路应用,2023,40(05):146-147.
- [4]衣红印.变电站高电压试验设备的现状与技术改进分析[J].集成电路应用,2022,39(11):212-213.
- [5]刘成宝.高电压设备绝缘老化及其状态检修技术探讨[J].科技资讯,2022,20(11):38-40.
- [6]曹小连.高电压设备绝缘老化及绝缘检修策略研究[J].光源与照明,2022(01):186-188.
- [7]安霆,李旭帆,陈崇杨,等.基于多传感器的高电压设备故障检测装置[J].仪表技术,2021(05):70-72.