[状态检测]

高压电网系统中设备状态检测研究

文/金春雷
保定天威新域科技发展有限公司

高压电网是我国工业生产必不可少的一部分，对高压电网设备状态的检测和评估工作有效确保高压电网的运行质量，为生产提供保障，促进电力行业的可持续发展。当前，我国社会上各个领域都加强对高压电网运行稳定性的关注，对设备状态的评估也经过了演变和发展。为确保电网设备能够稳定合理运行，需要采用科学合理的检测技术对设备运行状态进行分析，对潜在的隐患进行及时的筛查和排除，有效降低维保成本，提升企业的经济效益。对检修技术和机制的目标和方法及电网系统设备状态检修技术的发展进行阐述，举出典型的电网设备故障案例，对高压电网系统中设备状态检测进行分析和研究，为电网检修工作提供有效参考。

电网设备状态的检测主要结合设备状态的检测信息对设备的健康状态和故障进行评估。设备故障具备发展的过程，检测技术可以在故障形成的初始阶段对其进行检测和定位，对故障的处置进行及时的决策，结合实际情况进行维护和检修，有效降低企业的检测维修成本。

高压电网系统中设备检修的目标和方法

1. 检修的目标

检修工作的首要目标是确保高压电网系统中的设备安全、稳定地运行。包括检查设备是否存在潜在的安全隐患，如绝缘损坏、过热和机械磨损等，并及时进行修复或更换，防止设备故障引发安全事故。定期的检修和维护，可以有效地延长设备的使用寿命。包括清洁设备、润滑移动部件和调整设备参数等措施，保持设备处于良好的工作状态，减少因老化或磨损导致的设备报废。设备的良好运行状态对于保证电能质量至关重要。检修工作可以确保设备输出的电压和频率稳定，减少谐波和波动，提高电能质量，满足用户对电能品质的要求。对设备的检修和优化，提高整个高压电网系统的运行效率。调整设备的运行参数，改善系统的负荷分配，减少能量损耗，提高系统的整体能效。定期检修有助于及时发现并处理设备的小问题，防止发展成大故障，减少停电事件的发生，保证电力供应的连续性和可靠性。随着环保意识的提升，高压电网系统的检修工作还需要考虑到环保要求，比如减少污染物排放、节能减排等，实现绿色、低碳的发展目标。

2. 检修的方法

（1）定期检修法

在高压电网系统中，设备的定期检修是确保系统稳定运行和安全的重要措施。包含设备外观检查、紧固件检查、绝缘电阻测量、介质损耗因数测量、局部放电检测、操作机构检查、机械特性测试、密封性能检查、直流电阻测量、交流耐压试验和保护装置校验。检验步骤与流程为明确检验对象、时间、地点、人员分工和安全措施等。根据检验项目，准备相应的检测仪器、仪表和工具等，确保其状态良好。熟悉被检验设备的结构、性能、运行状况及历史检验记录等。按照电力安全规定，办理相应的工作票，明确工作内容和安全措施。对检验过程中记录的数据进行整理和分析，判断设备性

能是否符合要求。对检验中发现的问题进行分类和处理，提出相应的维修、更换或改造建议。根据检验结果，编制详细的检验报告，包括设备基本信息、检验项目、检验结果和问题处理建议等。对检验报告进行审核，确保内容准确完整，然后将其归档保存，以便后续查阅和参考。

（2）绝缘检修方法

高压电网系统中的设备绝缘检修是确保电力系统稳定运行的关键环节。使用兆欧表（5 000 V）进行测量，发现绝缘整体或贯通性受潮、脏污、绝缘油劣化、绝缘击穿和严重老化等缺陷。测量直流泄漏电流有助于评估绝缘材料的性能，尤其是在长期运行后的老化程度。参数反映了绝缘材料的电气性能，测量了解绝缘材料的电气性能，为设备的安全运行提供保障。检测局部放电信号，判断设备绝缘是否存在缺陷或老化。对于装有绝缘油的设备，如变压器，需要进行油的击穿电压试验，确保油的绝缘性能符合标准。检测局部放电信号，判断设备绝缘是否存在缺陷或老化，结合设备的历史运行数据和绝缘材料性能，对设备绝缘状态进行评估。在进行绝缘检修时，先进行非破坏性试验，如果发现异常情况，再进行破坏性试验。避免不必要的设备损坏，并确保检修的安全性和有效性。

（3）状态检修法

高压电网系统中的设备状态检修是一种动态的、连续的监测和评估过程，旨在确保设备的安全、可靠和高效运行。通过各种传感器和监测设备收集设备的运行数据，包括电流、电压、温度和振动等参数。利用专业的计算方法对收集到的数据进行综合分析，评估设备的运行状态和预测潜在的故障。基于数据分析的结果，对设备的运行状态进行综合评价，判断设备是否处于正常工作状态，或者是否存在潜在的风险。当检测到设备异常时，进行故障诊断，找出故障原因，采取相应的修复措施。根据设备的实际运行情况和寿命预期，制定预防性维护计划，避免设备因长期运行而导致的性能下降或突然故障。状态检修相比传统的定期检修，能够实时监控设备的运行状态，及时发现并处理问题，减少故障发生的概率。根据设备的具体情况和特点进行个性化的检修，提高检修的准确性和有效性。通过预防性维护，避免大规模的设备故障和停机，降低维修成本和经济损失。

典型案例

1. 概述

某110 kV变电站的电网线路在开关本体处存在着异响的情况，运行人员在巡查时发现并及时进行上报。检修人员首先对设备进行外观检测，确保外部没有损坏情况，又对开合闸的弹簧情况进行检查，确定设备的内部结构没有振动情况存在，连接螺栓也不存在松动的情况。对间隔开关进行压力检测，所得结果为正常范围内，后台系统无异常信号反馈。检修人员采用停电检查的形式对高压电网的开关进行观察，并对存在的异常响声情况进行分析，确定断路器断开状态下无异常响声的情况，对断路器气室内的气体进行检测，得出SO_2气体的含量超标，本次设备检测并未进行局部放电的电压检测，详细情况见表1。

表1　断路器气室气体监测结果

参数名称	参数值
试前压力/MPa	—
试后压力/MPa	—
湿度值（20℃）/（$mg \cdot kg^{-1}$）	38
分解物SO_2/（$mg \cdot kg^{-1}$）	3
分解物H_2S/（$mg \cdot kg^{-1}$）	1
分解物CO/（$mg \cdot kg^{-1}$）	95

2. 现场检查及异常原因分析

2.1 触头及喷口

对断路器三箱的绝缘支撑底座、筒以及拉杆进行检查，主要针对是否有闪络、裂痕以及污垢的情况进行检查，对各个位置的放电情况进行痕迹检查，得出结果为A相的喷口和弧触头出现烧灼，如图1所示，A相的喷口出现烧蚀，如图2所示。

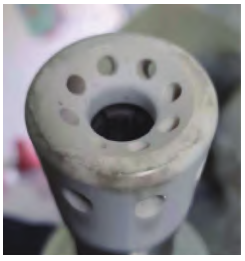

图1　A相大喷口与弧触头烧蚀情况　图2　A相小喷口烧蚀情况

2.2 设备异响原因分析及判断

在高压电网系统中，设备异响由多种原因引

起，电场强度超过空气的击穿强度时，在高压线下产生嗡嗡声。电线有毛刺或连接电杆的地方接触不良，导致高压电弧放电。虽然这种放电不会击穿空气，但会在电线周围产生振动，进而发出声音。电线的固有振动也会引起周围空气振动，形成复杂声波。当电线有交变电流时，在高压线周围产生交变磁场，使得通电钢制电线受磁场力的作用而振动发声。设备因为老化或损坏而产生异常声音。如果设备安装不当，比如基础下沉或安装状态不良，导致设备振动异常，进而发出声音。此外，设备内部的部件如轴承损坏或润滑油不足也会引起异常声音和振动。环境因素如湿度、温度变化和风速等影响设备的运行状态，导致异响。在诊断异响原因时，通常需要结合现场观察、声音分析和设备测试数据等多方面信息进行综合判断。对于某些难以确定的问题，需要借助专业的检测设备和技术人员进行深入分析。现场对线路断路器灭弧室进行拆解检查后发现，A相灭弧室的引弧触头存在烧蚀的情况，喷口内和弧触头都有少量白色粉末的积累，B、C相灭弧室内的大小喷口和弧触头都没有白色粉末积累的情况。能够判断出断路器A、B、C三相的开断电流负荷不同，造成的烧蚀也有不同的程度，由此判断出A相开断的电流负荷较大。

高压电网设备的状态检修

1. 结合高压电网的运行程序进行检修

高压电网的设备状态检修是一个复杂且精细的过程，结合高压电网的运行程序进行检修需要根据设备的运行记录、历史故障数据、预防性维护周期以及国家相关标准和规定，制定详细的检修计划。计划应包括检修的时间窗口、人员配置、所需工具和备件清单。在检修前进行全面的安全风险评估，识别所有潜在的危险因素，并制定相应的安全措施。包括断电操作、接地措施、个人防护装备的使用以及现场监控等。确保所有必要的工具、测试设备和备件都已准备就绪，并且工作人员已经接受了必要的培训和安全指导。此外，还应检查现场的环境条件，如天气状况，确保检修工作的顺利进行。按照检修计划进行现场作业，包括清洁、紧固、更换磨损部件和检测绝缘性能等。在执行过程中，严格遵守操作规程，确保工作质量。完成检修后，进行必要的功能测试和性能验证，确保设备恢复到正常运行状态。包括对设备的电气参数进行精确测量，以及对其运行特性进行评估。详细记录检修过程中的发现、执行的操作、使用的备件以及测试结果。编制检修报告，供后续的维护工作和故障分析参考。在检修后的一段时间内，密切监控设备的运行状态，及时发现并解决任何新出现的问题。根据实际运行情况调整后续的维护计划。根据检修结果和实际运行经验，不断优化检修流程和方法，提高检修效率和质量。

2. 结合高压电网的运行技术进行检修

结合高压电网的运行技术进行设备状态的检修需要利用先进的传感器和监测技术，实时收集设备运行数据，包括温度、电流、电压、振动和噪声等关键参数。数据可以通过监控和数据采集系统（SCADA系统）进行实时监控，或者通过智能传感器自动上传至云平台进行远程分析。采用大数据分析技术，对收集到的运行数据进行处理和分析，识别设备潜在的故障模式和性能下降趋势。通过建立设备健康模型和预测算法，提前预警可能发生的故障，采取预防性维护措施。使用红外热像仪对设备表面温度进行非接触式测量，识别过热区域，这通常是由于接触不良、绝缘损坏或内部故障引起的。红外检测可以在不停电的情况下进行，对于高压设备的在线监测尤为重要。局部放电是高压设备绝缘老化的早期征兆。通过局部放电检测设备，可以在设备运行过程中检测到微小的放电现象，并评估其对设备绝缘性能的影响。超声检测技术可以用来检测设备内部的裂纹、松动等缺陷。通过分析设备运行时产生的超声波信号，可以定位故障位置并评估其严重程度。定期进行电气试验，如绝缘电阻测试、耐压试验等，以验证设备的绝缘性能是否满足运行要求。测试可以帮助发现潜在的绝缘问题，并为后续的维修提供依据。根据设备的运行数据和检测结果，制定预防性维护计划。对于可能出现故障的部件进行提前更换或维修，减少突发故障的风险。一旦发现故障，迅速采取措施进行处理。对于轻微故障，可以在线修复；对于严重故障，需要停机维修。在故障处理过程中，应确保操作的安全性和对电网运行的最小影响。完成故障修复后，进行设备性能评估，确保恢复到正常运行状态。同时，

更新设备维护记录，为未来的维护工作提供参考。通过上述技术手段，实现高压电网设备状态的精准监测和有效管理，提高设备的可靠性和电网的稳定性。随着技术的不断进步，未来有更多先进的监测和诊断技术应用于高压电网设备状态检修领域。

二次设备问题状态的应对方法

1. 检测二次回路

二次回路的检测对于确保电力系统的安全稳定运行至关重要。检测系统包括获取模块、处理模块、电流互感器短接模块以及显示模块。处理模块能够获取二次回路的设备状态数据，并与预设数据进行比较，获得差别数据，进而发送至显示模块。电流互感器短接模块能够短接二次回路中的电流互感器，并获取短接数据，通过处理模块将数据发送至显示模块。这种技术方案能够实现对全站二次回路的整体监视，并严格执行二次安全措施。变电站继电保护二次设备二次回路带电检测方法涉及到对断路器二次控制回路和启动失灵开入回路的检测。这些检测方法包括选择合适的直流电源系统作为目标二次回路，检测出口压板的实际对地电位值，并与标准对地电压值进行比较，判断二次回路的完整性和正确性。这种检测方法可以发现二次线虚接、螺丝松动和跳合闸出口压板接触不良等异常情况，防止因设备拒动而导致的安全隐患。高压电网系统中二次回路的检测是一个复杂而重要的过程，涉及到多种技术和方法。随着技术的发展，新的检测系统和方法不断涌现，提高检测的准确性和效率，确保电力系统的安全稳定运行。

2. 处理二次回路的电磁干扰

二次回路电磁干扰问题一直是电力系统中的一大难题，不仅影响设备的正常运行，还可能导致误动作、数据错误等一系列问题，进而影响整个系统的稳定性和可靠性。因此，有效地处理二次回路的电磁干扰问题显得尤为重要。电磁干扰的处理可以通过物理隔离来减小外部电磁场对二次回路的影响。在电缆和设备之间设置金属屏蔽层，或者使用屏蔽电缆阻断干扰信号的传播。利用滤波器滤除干扰信号。根据干扰信号的频率特性，设计相应的滤波电路，将干扰信号滤除，只允许有用的信号通过。也可以通过改善接地系统来减小电磁干扰的影响。良好的接地可以将干扰信号引入大地，从而减小其对设备的影响。同时，确保接地电阻符合相关标准，避免因接地不良造成的干扰问题。合理安排设备和线路的布局，尽量减小相互之间的电磁干扰。将敏感设备远离强电磁场源，或者采用交叉布置、错开布局等方式来减少线路间的串扰。

结束语

高压电网系统设备状态的检修需要全面检测设备的参数，依次为依据制定维修方案。目前我国在电网设备的检测方面还存在着一些问题，尤其是在检测方法缺乏系统化和层次化，对设备状态信息的综合分析产生直接的影响。因此未来的发展方向应当构建稳定有效的分析模型，对设备状态进行精准、实时性的在线监测，不断提升和完善高压电网设备系统的诊断率。**EA**

（收稿日期：2024-05-23）

参考文献

[1] 翁宇晗，黄帅飞．电力系统高压设备带电在线检测技术的研究[J]．时代汽车，2024(04)：25-27．

[2] 张潮海，邹可园，张晓星．高压电气设备绝缘气体分解产物光学检测技术研究综述[J]．高电压技术，2023，49(7)：2806-2815．

[3] 徐晨，沙思旭，赵佳．电力系统中高压电气试验的检测与研究[J]．电子乐园，2022(12)：94-96．

[4] 姚聪伟，庞小峰，孙帅，等．基于二次时间信息的断路器操动机构状态预警方法研究[J]．高压电器，2022，58(11)：114-120．

[5] 姚娜，王啸，杨传江，等．电网调控技术支持系统中设备监控大数据研究[J]．水电水利，2022，6(7)：65-67．

[6] 林树青．基于人工智能的配电网设备负载预测预警系统设计研究[J]．电脑知识与技术：学术交流，2022，18-16：108-110．