

隧道供配电系统故障诊断与预警技术研究

傅伟志

福建泉厦高速公路管理有限公司 福建 泉州 362000

摘要：隧道供配电系统作为隧道交通设施的重要组成部分，其安全稳定运行对于保障隧道内车辆通行和人员安全具有重要意义。基于此，本文简要分析了隧道供配电系统故障诊断，包括变压器故障、电缆故障、配电箱故障等方面，并针对其预警技术进行了研究，证明了所提技术的有效性和实用性，为隧道供配电系统的故障诊断与预警提供了一种新的思路和方法。

关键词：隧道；供配电系统；故障诊断；预警技术

引言

隧道供配电系统作为隧道内照明、通风、监控等设备的能源供应源，其运行状态直接关系到隧道内车辆通行和人员安全。然而，由于隧道环境的特殊性，如湿度大、温度高、空间有限等，以及供配电系统本身的复杂性，使得系统在实际运行中容易出现各种故障，如设备老化、短路、过载等。因此，开展隧道供配电系统的故障诊断与预警技术研究，对于及时发现和处理故障，提高系统的可靠性和安全性具有重要意义。

1 隧道供配电系统预警技术

1.1 实时监测与分析

在隧道供配电系统中，关键参数包括但不限于电流、电压、电量、接点温度等，它们直接反映了电力系统的运行状态。为了实现实时监测，我们需要借助物联网技术，通过部署智能仪表、测温装置等物联网终端，来采集这些关键参数的数据。智能仪表可以实时监测电流、电压和电量等参数，具有高精度、高可靠性和远程通信的能力。测温装置则能够实时监测接点温度，通过红外测温或接触式测温等方式，将温度数据实时上传至监控中心。这些物联网终端不仅能够实时采集数据，还能通过无线通信技术将数据传输至云端或本地监控中心，实现数据的集中管理和分析^[1]。在数据到达监控中心后，我们需要借助数据分析技术来对这些关键参数进行深入挖掘和分析。数据分析技术可以帮助我们识别数据中的异常模式、趋势和关联关系，从而预测系统的运行状态和潜在故障。例如，通过对比历史数据和实时数据，我们可以发现电流或电压的异常波动，进而判断是否存在电路短路或过载的风险。通过监测接点温度的变化趋势，我们可以预测设备是否即将过热，从而提前采取降温措施。此外，数据分析技术还可以帮助我们评估系统的能效和稳定性，为优化系统设计和运行策略提供

科学依据。在实时监测与分析的基础上，我们可以构建一套完善的预警系统，预警系统通过设定阈值和规则，对关键参数进行实时监控和判断。一旦参数超出正常范围或达到预警条件，系统将立即触发预警机制，通过声光电报警、短信通知、邮件提醒等方式，将预警信息及时传达给相关人员。

1.2 数据收集

在隧道供配电系统中，预警技术的实施离不开高效的数据收集与深度分析。这一过程的起点在于数据的广泛收集，而终点则是对这些数据进行深度挖掘和智能分析，以揭示潜在的安全隐患，为系统的预防性维护提供科学依据。第一，通过部署在隧道供配电系统中的各类传感器和智能仪表，我们可以实时采集到电流、电压、电量、温度等关键参数的数据。这些数据不仅反映了电力系统的当前运行状态，还蕴含着丰富的历史信息和未来趋势。然而，原始数据往往包含噪音、缺失值或异常值，直接分析可能导致误导性的结论。因此，数据清洗成为了数据收集后不可或缺的一步。第二，数据清洗旨在剔除无效或错误的信息，包括处理缺失值、去除重复数据、修正异常值等，以确保后续分析的准确性和可靠性。在数据清洗的基础上，异常检测成为了预警技术的关键环节，异常检测旨在识别出数据中的异常波动，这些异常波动往往预示着潜在故障的发生。为了实现这一目标，我们可以设定合理的阈值，当数据超过或低于这些阈值时，即触发预警机制。第三，除了异常检测，趋势预测也是预警技术的重要组成部分，趋势预测利用历史数据，建立预测模型，对系统未来的运行状态进行预估。这有助于我们提前发现潜在的故障趋势，为预防性维护提供依据。

1.3 预警机制

(1) 预警机制的构建基于高效的信息传递和响应体

系,当预警系统检测到潜在故障时,它会立即生成预警信息,并通过多种渠道向管理人员发送。这些渠道包括但不限于短信、邮件、APP推送等,以确保管理人员无论身处何地都能迅速获取预警信息。预警信息的内容通常包括故障类型、位置、严重程度以及建议的应对措施等,以便管理人员能够迅速了解情况并作出决策。(2)应急预案是针对可能发生的各种故障情况预先制定的应对方案,包括故障排查、设备抢修、人员疏散等。一旦预警机制被触发,系统会自动调用相应的应急预案,指导管理人员和运维团队进行快速响应和处理。应急预案的执行不仅依赖于管理人员的决策和指挥能力,还需要运维团队的紧密配合和高效执行。因此,定期对应急预案进行演练和培训,提高团队的应急响应能力,是确保预警机制有效运行的关键。(3)预警机制还可以与隧道内的其他安全系统进行联动,实现故障的快速响应和处理。如当预警系统检测到电气设备过热或短路等潜在火灾风险时,它可以自动触发消防系统的报警装置,启动喷水灭火或气体灭火等应急措施。并且,预警系统还可以与通风系统进行联动,调整隧道内的空气流动,以减少烟雾和有害气体的积聚,为人员疏散和救援提供有利条件^[2]。这种跨系统的联动机制,大大提高了隧道供配电系统应对突发事件的能力和效率。(4)在预警机制的构建中,还需要考虑信息的反馈和闭环管理,一旦故障被处理完毕,管理人员需要将处理结果反馈给预警系统,以便系统对预警效果进行评估和改进。

1.4 数据的可视化展示

在隧道供配电系统的预警技术中,数据的可视化展示扮演着至关重要的角色,它不仅是预警信息传达的重要手段,更是管理人员全面、直观了解系统运行状况,做出精准决策的关键工具。通过图形化界面,复杂的数据被转化为直观、易于理解的视觉元素,使得管理人员能够迅速把握系统的整体运行状况,及时响应预警信息,从而有效提升系统的安全性和可靠性。一方面,数据的可视化展示首先体现在系统运行状态的实时监控上。在隧道供配电系统中,各类传感器和智能仪表实时采集电流、电压、电量、温度等关键参数数据,这些数据通过预警系统的处理和分析,最终以图表、仪表盘等形式呈现在管理人员的眼前。例如,电流和电压的实时数据可以通过动态折线图展示,管理人员可以清晰地看到数据的波动情况和变化趋势。另一方面,除了实时数据的展示,历史数据趋势的可视化也是数据可视化展示的重要组成部分。通过对历史数据的整理和分析,预警系统可以生成各类趋势图,如时间序列图、散点图等,

展示关键参数在过去一段时间内的变化趋势。这些趋势图不仅有助于管理人员了解系统的长期运行状况,发现潜在的问题和规律,还可以为预测系统的未来运行状态提供重要参考。

2 隧道供配电系统故障诊断

2.1 干式变压器故障诊断

干式变压器在隧道供配电系统中扮演着电能转换和分配的重要角色,其稳定运行对于隧道的照明、通风、监控等系统的正常工作具有决定性影响。然而,由于运行环境复杂、负载变化大等因素,干式变压器在运行过程中可能会出现各种故障,这些故障不仅会影响隧道的正常运营,还可能对人员和设备安全构成威胁。其中,干式变压器常见的故障类型包括绝缘电阻下降、铁心多点接地、变压器跳闸、绕组过热以及声音异常等。绝缘电阻下降可能是由于绕组表面凝聚水汽、积聚灰尘或绝缘材料受潮引起;铁心多点接地则可能由外部因素如金属异物遗留、绝缘材料受潮凝露,或内部因素如绝缘材料缺陷、设计安装不当等导致;变压器跳闸可能是由高压二次柜电流保护装置整定值偏小或变压器内部故障引起。针对干式变压器的故障诊断,需要采取一系列科学有效的方法。首先,可以通过定期检测绝缘电阻、绕组直流电阻、铁心接地电阻等参数,及时发现潜在的故障隐患;其次,利用红外热成像技术可以实时监测变压器绕组和铁心的温度分布,及时发现过热现象;此外,还可以通过分析变压器运行时的声音特征,判断是否存在内部故障^[3]。而对于已经发现的故障,需要采取针对性的处理措施。例如,对于绝缘电阻下降的故障,可以通过清洁绕组表面、使用自然风干或烘干等措施进行处理。对于铁心多点接地的故障,需要根据具体原因进行清洁、烘干或逐级排查处理。对于变压器跳闸和绕组过热的故障,需要检查负载情况、散热条件以及内部短路等问题,并采取相应的处理措施。

2.2 电缆故障诊断

在隧道供配电系统中,电缆作为电能传输的“血脉”,其重要性不言而喻。然而,电缆故障却是这一系统中不可忽视的隐形挑战。其中,接头故障是电缆故障中的一大隐患。在电缆铺设过程中,由于施工不当、材料质量不佳或长期运行中的振动、温度变化等因素,电缆接头处可能出现松动、断裂或接触不良等问题。这些问题不仅会影响电缆的正常传输性能,还可能引发局部过热、电弧放电等严重后果。因此,对电缆接头的定期检查和维修至关重要。这包括对接头外观的检查、接触电阻的测量以及必要的紧固和更换工作。一方面,针对

电缆接头温度监测,采用电缆中接头测温传感器是一种高效且智能的解决方案。这类传感器能够实时监测接头温度,一旦温度异常升高,即可立即发出警报,提示运维人员采取预防措施,有效预防因接头过热导致的故障或火灾。相较于传统的人工巡检,测温传感器不仅大幅提高了监测的准确性和时效性,还显著减少了人力投入,降低了运维成本。特别地,对于贵司主要使用的铝缆,由于其热膨胀系数较大,接头处更易因热胀冷缩产生松动或接触不良,因此,安装测温传感器尤为必要。另一方面,针对铝缆多次被老鼠咬损的问题,采取物理防护与智能监测相结合的策略显得尤为重要。其一,可以在电缆及其接头处安装防鼠网、防鼠板等物理屏障,有效阻挡老鼠等小动物的接近;其二,利用在线绝缘监测装置,可以实时监测电缆绝缘状态,一旦绝缘性能下降,即表明可能存在被咬损的风险,运维人员可据此迅速定位并采取修复措施。其三,考虑到老鼠活动的规律性,如夜间更为活跃,可以结合智能监控系统的行车时间节点分析,设定特定时段加强监控,进一步提升防鼠效果。

2.3 配电箱故障诊断

配电箱故障是一个不容忽视的问题,它可能由多种因素引起,如开关故障、保险丝熔断、线路故障等,这些故障一旦发生,往往会导致隧道内供电异常,甚至引发更严重的安全事故。因此,对配电箱的定期检查和维
护,是确保隧道供配电系统安全稳定运行的重要一环^[4]。其中,由于长期运行、频繁操作或环境因素(如湿度、温度、腐蚀等)的影响,配电箱内的开关可能出现接触不良、机械卡滞或损坏等问题。这些问题不仅会影响开关的正常操作,还可能导致电路短路或断路,进而影响隧道内电气设备的供电。为了预防开关故障,我们可以在配电箱内安装智能传感器,实时监测开关的温度、电流、电压等关键参数,并通过无线网络传输至远程监控中心。一旦监测到异常数据,如温度过高、电流过载等,系统立即发出预警信号,提示运维人员采取相应措施,这种实时监测和预警机制能够显著降低因开关故障导致的停电风险,提高运维响应速度。并且,还可以利

用自动化巡检机器人定期对配电箱进行巡检,通过高清摄像头和红外热成像仪等设备,对开关的外观、温度以及接触情况进行全面检查。机器人可以将巡检数据实时上传至云平台,由智能算法进行分析处理,自动识别潜在故障点,这种方式不仅提高了巡检效率和准确性,还大大减轻了运维人员的工作负担。另外,由于隧道环境复杂,配电箱内的线路可能受到潮湿、腐蚀、振动等多种因素的影响,导致线路老化、断裂或接触不良。针对潮湿环境,我们可以采用高性能的密封材料和防水接头,确保箱体的密封性,防止水汽侵入。同时,在隧道内易积水区域,应增设排水设施,保持隧道环境干燥。此外,我们还可以在配电箱内部安装除湿设备,如除湿机或除湿包,通过物理吸附或冷凝等方式,有效降低箱体内的湿度。而针对腐蚀环境,我们应优先考虑耐腐蚀性能优异的材料,如不锈钢、铜合金等,以减少腐蚀对线路的影响。并且,对线路进行防腐处理也是必不可少的,我们可以使用防腐涂料、镀层等材料对线路进行保护,提高线路的耐腐蚀能力。

结语

总之,通过对隧道供配电系统故障诊断与预警技术的研究,提出了一种基于大数据分析和云计算技术的故障诊断与预警方法。该方法通过实时采集和分析隧道供配电系统的运行数据,结合机器学习算法和智能诊断技术,能够实现对系统潜在故障的及时发现和预警。未来,我们将继续深入研究隧道供配电系统的故障诊断与预警技术,探索更加高效、智能的故障诊断方法和预警机制,为隧道交通的安全运行提供更加有力的技术保障。

参考文献

- [1]黄炎阶,徐沁.浅谈变电站直流系统典型故障诊断及处理[J].2021(2013-29):121-122.
- [2]王国民,党政,纪哲夫等.基于变电站直流电源系统故障诊断的研究[J].电子乐园,2019(4):14-17.
- [3]万李峰.高速公路隧道LED节能照明控制系统设计[J].中国交通信息化,2019(12):130-133.
- [4]孙爱军.高速公路隧道照明及供配电节能思考[J].中国交通信息化,2019(08):38-39+100.