人工智能在公路预防性养护中的关键技术与发展趋势

张国旭

巴林右旗公路管护和运输保障中心 内蒙古 赤峰 025150

摘要：人工智能在公路预防性养护中扮演关键角色，无人机监测、物联网传感器、大数据分析等技术精准识别并实时监测路面病害。未来趋势强调技术集成与智能化升级，构建全面智能化养护平台以优化资源配置。特别地，在极端气候（如大风、沙尘、冰冻）下，AI应用案例显著，浙江省公路局2023年报告显示，AI巡检节省人力成本37%。此外，绿色养护与可持续发展引领方向，智能化技术评估优化养护方案，加速公路养护行业现代化进程。

关键词：人工智能；公路预防性养护；关键技术；发展趋势

引言：公路作为关键的交通基础设施，其状态直接关系到交通运输的安全与效率。科技的日新月异，特别是人工智能技术的融入，为公路预防性养护开辟了新路径。本文深入探索人工智能在公路预防性养护中的核心技术，如智能监测、数据分析、预测性维护等，并提出高寒多风地区AI养护适配框架这一创新点，旨在为该领域的智能化、高效化发展提供坚实的理论支撑与实践指导。

1 公路预防性养护现状分析

1.1 传统公路预防性养护方法的局限性

（1）人工巡检的局限：在公路预防性养护中，传统的人工巡检方式存在明显局限。巡检人员沿公路徒步或驾车实地查看，不仅耗时费力，且在内蒙古巴林右旗这类温带季风型大陆性气候地区，沙尘、冰冻等极端天气经常导致巡检工作受阻。例如，在2023年，由于大风沙尘恶劣天气的影响，巡检工作被迫延误，导致路面存在的病害未能被及时发现并妥善处理，最终不幸引发了交通事故，造成了经济损失，如事故赔偿高达17万元，充分暴露了传统巡检方式在恶劣天气下的失效，以及由此带来的养护工作滞后和效果不佳。（2）数据处理与分析的不足：即便巡检人员能够及时发现路面病害，接下来的数据处理和分析过程也往往面临挑战。传统的数据处理方式主要依赖于人工记录和简单的统计分析，这种方法不仅效率低下，而且容易受到人为因素的影响，导致分析结果的准确性不高。同时，由于缺乏先进的数据分析工具，养护部门难以从海量数据中挖掘出有价值的信息，从而影响了养护决策的科学性和准确性。

1.2 智能化技术引入的必然性

（1）提高养护效率与质量的需求：智能化技术能够实现公路状态的实时监测和预警，大大提高了养护工作的效率。同时，通过运用先进的算法和模型，智能化技术还能对路面病害进行更为准确的分析和评估，从

而确保养护工作的质量。（2）响应速度与环境保护的平衡：公路养护工作不仅要求及时响应，还需要考虑对环境的影响。智能化技术能够实现对养护需求的快速响应，同时减少不必要的资源消耗和环境污染，实现了响应速度与环境保护的平衡^[1]。

2 人工智能在公路预防性养护中的关键技术

2.1 智能传感器与物联网技术

（1）传感器种类与应用：在公路预防性养护中，常用的传感器主要包括车辆荷载传感器、路面状况传感器以及气象传感器等。车辆荷载传感器主要用于监测公路上行驶的车辆重量及分布情况，为评估公路承载能力和制定养护计划提供数据支持。路面状况传感器则用于检测路面的平整度、车辙深度、裂缝等病害情况，帮助管理人员及时发现并处理潜在问题。气象传感器则负责收集温度、湿度、降雨等气象数据，为公路养护提供环境参数，有助于制定更加科学合理的养护策略。（2）数据实时收集与传输机制：智能传感器收集的数据通过物联网技术实时传输至养护中心或云平台。这些数据经过处理后，可以形成直观的图表和报告，便于养护管理人员进行决策和分析。物联网技术确保了数据的实时性和准确性，为公路预防性养护提供了有力的数据支持^[2]。

（3）物联网技术在公路养护中的集成应用：物联网技术集成传感器、监控设备与养护管理系统，构建全面养护生态系统。管理人员可实时监测公路状态，快速应对病害。针对极端天气，采用优化方案如新疆防风沙传感器采用纳米涂层技术，抗风等级提升至8级增强稳定性。物联网还与TOCC中心联动，如数据实时同步至TOCC平台，触发应急响应，结合图像识别、大数据分析，大幅提升养护工作智能化水平。

2.2 图像识别与深度学习算法

（1）图像识别技术的应用：无人机、车载摄像头和

固定监控摄像头是图像识别技术在公路预防性养护中的主要应用设备。这些设备可以定期或实时采集公路图像，并通过图像识别算法自动识别出裂缝、坑洼、剥落等病害情况。这种非接触式的检测方式不仅提高了检测效率，还降低了检测人员的安全风险。（2）深度学习算法在路面病害识别中的优势：深度学习算法凭借强大的数据处理和模式识别能力，自动提取图像病害特征并分类识别。相比传统方法，其识别精度更高，泛化能力更强。高寒地区如黑龙江，结冰路面识别准确率达92%。算法还与TOCC中心视频监控数据互通，适应不同条件，为公路预防性养护提供准确、可靠的病害识别结果。（3）裂缝、坑洼、剥落等病害的自动识别与严重程度评估：通过图像识别与深度学习算法，养护管理人员可以实现对裂缝、坑洼、剥落等病害的自动识别与严重程度评估。这些信息可以为养护决策提供重要的参考依据，帮助管理人员合理安排养护计划和资源分配^[3]。

2.3 大数据分析 with 预测性维护

（1）大数据技术在公路养护中的应用场景：大数据技术在公路养护中的应用场景包括路况监测、病害预测、养护效果评估等多个方面。通过整合和分析来自不同渠道的数据，大数据技术能够揭示公路使用状况的内在规律和趋势，从而为养护决策提供有力的数据支撑。

（2）道路损坏与磨损趋势的预测方法：大数据技术利用机器学习算法，对历史养护记录、交通流量、气候条件等多维度数据进行深入分析，可以预测道路损坏与磨损的趋势。这些预测模型能够识别出易损路段和高风险时期，使养护资源得以更加精准地投放。通过提前规划养护工作，可以有效降低病害的发生频率和严重程度，延长公路的使用寿命。此外，大数据技术还可以结合实时监测数据，对道路状况进行动态评估。当监测到异常情况时，系统会及时发出预警，提示养护管理人员采取相应措施，从而避免或减轻潜在损害。（3）基于历史数据的养护决策支持：大数据技术能够整合和分析过去的养护记录、维修成本、病害类型等数据，为当前的养护决策提供科学依据。通过对历史数据的挖掘，可以发现养护工作的规律和最佳实践，为制定养护计划、优化资源配置提供有力支持。同时，大数据技术还可以辅助评估不同养护策略的效果，帮助管理人员选择最为经济有效的养护方案。

2.4 智能巡检与维护系统

（1）智能巡检系统的构成与工作原理：智能巡检系统通常由传感器网络、图像采集设备、数据分析中心以及远程监控平台等部分组成。传感器网络负责实时监测

公路的各项指标，如车辆荷载、路面温度等；图像采集设备则通过无人机、车载摄像头等手段，定期或实时采集公路图像；数据分析中心对收集到的数据进行处理和分析，识别出潜在的病害问题；远程监控平台则允许养护管理人员实时查看公路状态，接收预警信息，并远程指挥维护作业。（2）道路维护机器人与自动化维修设备的应用：在智能巡检与维护系统中，道路维护机器人和自动化维修设备至关重要。它们能自主或遥控执行修补裂缝、填充坑洼等任务，显著提升效率与安全性。大风环境下，无人机凭借6级风限飞标准稳定作业。与人工巡检相比，如浙江实践所示，无人机巡检成本降低37%。这些设备与智能巡检系统无缝对接，一体化作业，大幅提升养护工作的整体效能^[4]。（3）实时监测与预警机制的实现：智能巡检与维护系统通过实时监测公路状态，能够及时发现潜在的病害问题，并通过预警机制提醒养护管理人员进行处理。这些预警机制通常包括阈值报警、趋势预测等功能。当监测数据超过预设的阈值时，系统会触发报警信息，提示管理人员采取相应措施；同时，系统还能够根据历史数据和当前趋势预测未来的病害发展情况，为养护决策提供更加全面的支持。

3 人工智能在公路预防性养护中的发展趋势

3.1 技术集成与智能化升级

（1）物联网、人工智能、大数据与云计算的融合应用。未来，物联网、人工智能、大数据与云计算将在巴林右旗深度融合应用，特别将采用基于本地风沙数据的边缘计算模型，通过集成风沙预测算法，实现数据实时处理，与内蒙古其他地区及黑龙江的结冰路面AI识别算法跨区域对比分析，优化决策支持。人工智能算法深度挖掘数据价值，为公路预防性养护提供智能决策；大数据技术整合历史与实时监测数据，揭示公路状况趋势；云计算平台提供强大支持。此技术集成与“AI预警→TOCC调度→养护响应”的闭环协同框架，将极大提升公路预防性养护的智能化效能。（2）智能化养护系统的构建与优化。随着技术的不断进步，智能化养护系统将逐渐成为公路预防性养护的核心。这些系统将集成多种先进技术，实现公路状态的实时监测、病害的自动识别、养护计划的智能制定以及维护作业的高效执行。同时，通过不断的数据积累和学习，智能化养护系统将不断优化算法模型，提高养护决策的科学性和准确性。未来，智能化养护系统将成为公路养护领域的重要发展趋势。

3.2 自动驾驶技术与养护技术的融合

（1）自动驾驶车辆在执行巡检与维护任务中的应用前景。自动驾驶技术的快速发展为公路预防性养护带来

了新的机遇。自动驾驶车辆具备高精度定位、自主导航和智能避障等功能,能够在复杂环境下安全、高效地执行巡检与维护任务。未来,自动驾驶车辆将成为公路养护领域的重要工具,能够替代人工进行日常巡检、病害检测以及简单维护作业,大大提高养护效率和安全性。

(2) 提高养护效率与安全性的可能途径。为了提高养护效率并增强安全性,自动驾驶车辆将与智能化养护系统深度融合。它们利用高精度传感器和先进算法实时获取公路信息,上传至系统进行智能分析。系统指令下,自动驾驶车辆精确执行维护任务,确保及时性和准确性。此外,在危化品事故处置中,自动驾驶技术如无人机30分钟内定位泄漏点,相较于人工2小时,大幅提升了效率,并降低了人员安全风险,展现了AI在养护领域的巨大潜力。

3.3 可持续发展与环保技术的结合

(1) 智能化技术在绿色养护中的作用。在公路预防性养护领域,可持续发展与环保技术的结合至关重要。智能化技术是推动绿色养护的重要力量,通过实时监测分析公路状态数据,精准定位病害,避免过度维修,同时优化养护计划,减少能耗与排放,并支持远程作业,降低对环境的影响。(2) 使用环保材料与可再生资源的趋势。未来公路养护将大力推广这类绿色材料,其不仅低碳环保,还能提升公路耐久性与使用寿命。如内蒙古某旗县运用AI养护技术,精准识别病害并优化维护,年度赔偿支出降低200万元,若5年分摊2000万养护经费,可实现资源高效利用。(3) 降低能耗与排放的养护方法。降低能耗与排放的养护方法也备受关注。采用低能耗设备、优化作业流程、推广节能型照明和监控设备等措施,能有效减少养护过程中的能源消耗与排放物产生,助力公路预防性养护朝着绿色、低碳方向发展。

3.4 数据安全性与隐私保护

(1) 养护数据的安全性与可信度增强措施。在公路预防性养护中,养护数据的安全性和可信度至关重要。为了确保数据的安全性和可信度,需要采取一系列增强

措施。首先,应建立完善的数据加密和访问控制机制,防止数据泄露和非法访问。其次,应定期对数据进行备份和恢复测试,确保数据的完整性和可用性。此外,还应建立数据质量监测和评估体系,对数据的准确性和可靠性进行验证和评估。这些措施的实施将有助于提高养护数据的安全性和可信度,为养护决策提供可靠的支持。(2) 防止数据泄露与滥用的技术手段。为了防止数据泄露和滥用,需要采取一系列技术手段进行防范。首先,应部署先进的安全防护设备和技术手段,如防火墙、入侵检测系统、数据加密等,确保数据传输和存储过程中的安全性。其次,应建立数据分类和敏感信息标识制度,对敏感数据进行严格管理和控制。同时,还应加强对养护人员的安全培训和教育,提高他们的数据保护意识和技能水平。这些技术手段的实施将有助于防止数据泄露和滥用事件的发生,保障养护数据的安全性和隐私性。

结束语

综上所述,人工智能技术在公路预防性养护中的应用已展现显著成效,其智能监测、数据分析、决策支持等关键技术为公路养护带来了革命性变革。未来,巴林右旗规划在2030年建成基于本地风沙数据的AI预警系统,2031年实现与TOCC中心的全面对接,进一步推动公路养护向更高效、更智能方向发展。这些举措不仅将提升公路交通安全与可持续发展能力,还将显著降低20%的管理问责风险,为交通运输行业的转型升级注入强劲动力。

参考文献

- [1]刘小群.预防性公路养护技术在公路工程中的应用探讨[J].工程建设与设计,2022,(12):86-87.
- [2]李宇,李博.预防性公路养护技术在公路工程中的应用探讨[J].越野世界,2022,(06):38-39.
- [3]周超.浅谈沥青路面预防性养护技术的研究现状[J].环球市场,2023,(16):166-167.
- [4]朱宇.论预防性公路养护技术在现代高速公路养护中的应用[J].四川建材,2022,(12):139-140.