

智能传感技术在路面结构健康监测中的应用研究

文 / 王 瑶 徐州市路兴公路工程有限公司

摘要：智能感应设备在道路基础设施状况检测中显著提高了维护的准确性和效能。通过融合多种探测装置，实时收集道路信息并结合海量数据解析与智能算法，能够提前预知道路状况，突破了常规检测手段的局限，提升了损害预估精度与应对速度。案例表明，智能感应设备不仅能减少保养费用，还能延长道路使用寿命。随着科技进步和政策支持，先进感知设备将在未来交通维护中发挥越来越重要的作用，推动道路监测技术向更高水平的智能化和自动化发展。

关键词：智能传感技术；路面健康监测；数据采集；预测模型；交通管理

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.10.062

引言

伴随着车流量不断攀升，道路破损及其所带来的后果，已变成交通设施维护领域的关键议题。常规的道路状况监控手段面临信息搜集不够及时、人工巡查过于频繁等困扰，对道路结构的安全性进行准确判断存在一定难度。智能感应技术被视为一种创新的应对策略，可借助感应设备即时搜集道路信息，整合数据评估与未来趋势推算工具，推出先进的道路状况检测技术。本文将论述智能感应设备在道路状况检测领域的运用情况，剖析其技术特长以及遭遇的困难，并参照具体实例，制定有效的对策和办法。

一、智能传感技术在路面结构健康监测中的意义

（一）智能传感技术的基本概念与特点

智能感应技术主要涉及将传感器、数据解析以及无线传输等前沿科技进行融合，在各类场景中即时搜集、加工与发送信息的平台。该系统能够对道路构造的众多物理指标（如压力、气温、振动、裂痕等）实施不间断的跟踪观察，借助感应装置与运算工具的融合，确保对道路状况的实时监测与报告。这类感应设备普遍具备高自动化程度、精确度高、能源消耗小的特性，能够长时间不间断地运作而无需人工操作，为道路状况监控贡献了全新的应对策略。

（二）对传统监测方法的优势分析

常规的路面状况检查一般依靠人工实地查看以及数量有限的固定式检测工具，诸如表层裂纹的探测、车辆搭载的激光扫描技术等。这些手段在执行过程中受到人工作业节奏和范围的制约，常常难以实现即时监控，也难以详尽了解道路构造的完整情形。而对数据信息进行整理与剖析的程序较为复杂，效率较低。相比之下，智能感应设备借助即时信息搜集与远端信息传输功能，能够提供更为详尽、精确以及即时的道路状况信息，显著增强了检测的速度和准确度。

（三）智能传感技术在路面管理中的战略意义

伴随着车辆通行量的提升以及气候条件的变化，道路状况维护问题正逐步演变为交通设施运营中的核心挑战。运用智能感应技术能够显著增强道路维护工作的效能与合理性。借助即时监控系统观察道路状况，管理者能够迅速掌握道路构造的完好状况信息，精准捕捉道路

破损的初期迹象，随后实施有针对性的保养策略，拓展道路使用年限，力求杜绝重大交通意外事故的发生。尤为关键的是，智能感应设备显著增强了道路养护作业的精确度，还能降低非必要的保养成本，达成对道路管理费用节省的实效。

二、路面结构健康监测的现状与挑战

（一）传统路面监测技术的局限性

常规道路状况监控手段主要依靠人工巡查和固定式检测仪器，如车载激光扫描、裂缝探测仪和路面平坦度检测工具等。这些方法虽然能初步判定道路破损状况，但存在多方面不足。人工检查受限于检查人员的经验和主观看法，容易忽视细微缝隙或瑕疵，且巡检频次不高，难以实现持续监控。稳定型检测仪器在信息收集时，往往无法即时传递最新变化，仅能展示特定时刻的道路状况，缺乏持续追踪能力。此外，常规手段对气象和交通等外界条件较为敏感，在复杂情境下容易产生偏差，难以确保信息准确性。传统管理手段无法满足现代交通治理对道路实时监控的高标准和即时反馈要求。

（二）国内外智能传感技术应用现状

随着技术发展，智能感应设备在道路结构状况检测领域逐渐得到应用并取得一定进展。许多国外前沿国家，如美日及欧洲，已在关键道路区域部署智能感应器联网系统，利用各种探测设备（如压力、气温、水分含量、速度变化等），实时收集道路信息，并通过云服务进行数据解析与决策支持。国内也在部分高速公路和市区道路上开始安装感应设备，以监控道路状况。尽管目前智能感应技术的应用范围还不广泛，整体发展仍有不足之处，但我国在该领域的发展潜力巨大，尤其是在新设施建设与维护方面，越来越多的道路监控项目正在引入智能化感应装置。

（三）智能传感技术应用中的挑战与瓶颈

尽管智能感应设备在道路状况检测领域前景广阔，实施中仍面临一些挑战。首先，传感器价格昂贵，尤其是高精度、长寿命的感应元件，导致初期投入较高，限制了在中小规模项目中的应用。其次，极端气候条件如高温、剧烈震动或极寒环境可能导致感应器故障或误差，影响监测结果的精度。传感设备网络的辐射范围及信息传输问题也需解决，尤其在交通流量大的道路上，如何

保证网络稳定性和即时传输是个挑战。此外，大多数智能感应设备依赖后端的数据解析系统，需要较高的技术水平和计算精度，分析算法的智能化仍是技术瓶颈。最后，行业缺乏统一的质量标准和操作规程，导致设备不兼容，影响技术推广。解决这些问题需要科技创新和跨领域合作的持续推进。

三、智能传感技术的创新应用策略

(一) 数据采集技术的创新发展

伴随着智能感应技术的持续进步，信息搜集手段同样实现了明显的革新。目前，常规的地面状况检测往往仅借助一种型号的感应设备，难以完整精确地呈现道路状况。在当前新兴的智能感应科技领域，各式各样的感应设备（包括应力检测仪、速度变化检测仪、温度与湿度监测器、裂缝探测仪等）在各个领域得到了普遍地使用。借助整合各类信息资源，可以提供更为详尽且精准的路面状况资讯。例如，运用光纤探测器（分散式光纤探测技术）能够精确探测出道路上的细微裂缝，并且可以在广阔区域内完成持续的监控。此外，运用无线传感信息网络技术，可在众多道路区域广泛设置许多经济实惠且

能耗较小的感应装置单元，确保对道路状况进行及时且连续的数据搜集。借助无线数据传输渠道，将信息内容发送到远端的数据处理中心进行解析与操作。

(二) 监测系统的集成与智能化升级

旨在进一步增强道路状况检测设备的运行效能，综合化与自动化改造现已成为现阶段进步的核心目标。综合化涉及将各式各样的感应器、信息搜集单元、通讯设施以及信息处理系统实施高效融合，构建一个运作高效、相互配合的全面监控系统。借助综合平台，能够对道路状况进行全方位的实时观测，涵盖缝隙、塌陷、压力、气温等众多参数，同步运用信息整合手段增强观测准确度。智能化改造主要强调对系统自动分析及警报功能的强化。依托海量数据解析、智能计算模型与算法技术，监控系统可以即时解析感应器所收集的信息，辨别可能存在的道路瑕疵，同时提供智能化的保养指导或预先警报。例如，融合深度计算技术，该系统具备自动辨别裂缝种类及尺寸的功能，并对裂缝蔓延的动向进行预估，从而得以预先采取应对措施。如图 1 所示。

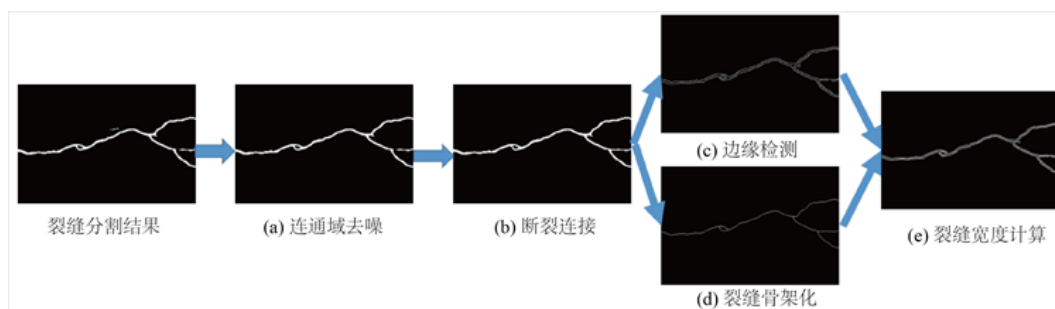


图 1 结合深度学习算法系统识别裂缝

(三) 路面健康预测模型的构建与应用

道路状况预测算法是智能感应技术在路面养护中的关键突破，利用历史监控数据和当前感应器信息，构建数学模型，预测道路损坏及演变趋势。常见的预测方法包括回归技术、神经网络和支持向量机（SVM）等模型。这些系统根据监控信息（如压力、气温、交通压力等），

评估道路的易损地带及破损发生时间，并预测损坏的演变。例如，人工智能技术可基于历史记录建立预报模型，预判特定路段在特定环境下的使用寿命，并预测破坏概率。此类预测系统提供了前瞻性的管理模式，降低意外损害风险，优化保养方案和物资配置，提高道路维护的经济效益和安全保障水平。如表 1 所示。

表 1 路面健康监测中的数据采集与分析

传感器类型	功能	数据采集内容	应用场景	数据分析方法
光纤传感器	裂缝检测与监测	微裂缝变化、裂缝扩展情况	高交通流量路段	数据点回归与趋势分析
加速度传感器	路面震动监测	路面震动频率与幅度	震动影响区域	快速傅里叶变换分析
温湿度传感器	环境监测	温度、湿度变化	极端天气路段	环境变化与路面性能相关性分析
应变计	应力监测	路面受力变化情况	高负荷路段	压力与损伤预测模型
无线传感网络 (Wireless Sensor Network)	数据远程传输与集成	实时数据传输	大规模监测区域	数据融合与综合分析

四、传感技术在路面结构健康监测中案例分析

(一) 国内外成功案例分析

智能感应设备在道路基础设施状况检测领域已取得多项国内外应用成效。美国加利福尼亚州实施了“智能交通走廊”项目，采用光导纤维感应器、应力变化感应器和加速度检测仪等设备，在高速公路和桥梁结构中安装感应器阵列，实时搜集道路状况信息，监测道路压力、气温波动及裂缝扩展，借助云端技术将数据传送至指挥

中心，提供决策支持。在国内，上海的“智能道路”工程在城市核心路段部署了裂缝监测器和应力测量仪，实时收集道路状况信息并运用数据解析算法，灵活配置资源和进行保养，大幅提高了道路养护的精确度与效率。

(二) 案例中的技术应用与效果评估

在位于美利坚合众国加利福尼亚州的“未来交通网络”工程里，采用的光纤传感技术设备能够对道路上的细微裂缝进行即时跟踪观察，借助数据解析手段预估裂

缝蔓延的速率。工程实施至第二年年末，数据显示，借助预先的探测手段识别出缝隙与瑕疵，维修服务的响应时长缩短了大约三成，同步减少了维护费用大约百分之十五。此外，所采用的动态感应元件与速度变化测量器成功记录了道路的构造性调整，协助管理层对交通流量的调整与公路维护方案进行了改进。

在我国的上海“智能道路”工程里，监控系统运用

应力计与裂痕探测器不间断地搜集道路状况信息，智能检测裂缝产生过程及其蔓延动向。历经超过十二个月的持续运作，道路损坏检测的频率较以往手段下降了20个百分点，并且保养费用降低了大约十分之一。数据解析算法亦助力达成了对道路持续状况的远期预估，为道路养护工作贡献了更为严谨与具有预见性的决策辅助。如表2所示。

表2 路面结构健康监测中的应用与效果评估

案例名称	传感器技术	监测内容	应用效果	成本节省	提高效率
美国加利福尼亚州智能高速公路	光纤传感器、应变计、加速度计	路面裂缝、应力、震动	及时发现裂缝发展，优化维修计划	降低 15%	维修相应减少 30%
上海“智慧公路”项目	裂缝传感器、应变计	路面裂缝、结构应力变化	提高路面健康预测精度，减少损伤发生	降低 10%	减少 20% 路面损伤发生率

(三) 经验总结与可借鉴的技术方案

依据前述案例进行剖析，以下几个关键经验值得借鉴：

多传感器融合：运用光导纤维传感器、应力变化检测仪以及加速度检测器等各式各样的感应设备相结合，能够全方位检测道路的完好状况。各类探测器相互补充其独特功能，增强数据监控的精确度和完整性。

数据分析与预测模型：融合海量数据与智能计算模型，对传感设备收集到的信息进行详尽的研究和解读，预估道路损坏的演变和未来走向，为预先保障和整治提供理论支撑，增强维护的精确度。

智能化决策支持系统：依托即时信息与预判算法，打造智能化决策架构，系统自动输出保养提议及警报资讯，降低人为操作程度，增强作业效能与应对节奏。

云平台与远程监控：借助网络云技术对道路信息进行统一存储与处理，务必全天候进行远程监视，确保对道路状况的即时监控，增强管理效能与决策的严谨度。

五、推广智能传感技术的核心步骤

(一) 技术推广的关键步骤

促进智能感应设备在道路基础设施状况检测领域的应用，必须完成数个核心环节。首先，科技推广的根本在于广泛传播与技能教育，对于政府机关、交通运输管理部门以及相关技术工作者，必须进行大规模的技能提升与知识分享活动，增强他们对智能感应科技的理解与运用技巧。借助技能教育及实例交流，能够促进对科技知识的掌握与采纳。其次，示范性工程的建设具有至关重要的价值。在全国各地挑选一些关键道路或示范工程，运用先进智能感应设备进行全方位监控，呈现其在具体运用领域的成效与长处。成效显著的试点工程能为其他区域的普及带来强劲的助力与信念。此外，产业间的协作同样十分关键，政府部门、科研单位与商业实体需紧密携手，携手促进科技创新与实施，特别是在感应器、信息处理及基础设施构建等领域。

(二) 政策支持与行业标准制定

为了更高效地促进智能感应技术的普及，国家扶持是至关重要的。国家机构应当制定相应措施，积极推广智能感应技术在道路交通设施领域的运用。借助政府资金扶持、税收减免等途径减轻企业采纳技术投入的负担。同时，政府部门需着力完善智能道路监控系统相关标准

及技术准则的编制，规范的统一性有助于保证各生产商供应的传感器与系统间的相容性，增强技术运用全过程的综合效能。

(三) 未来发展方向与挑战

在未来的发展过程中，智能传感技术在道路结构健康状况监控领域的进步将着重于智能化水平与自适应性能的增强。感应器将拥有自主检测及环境调节的机能，智能调节数据收集速率及手段，增强监控效能。融合智能科技，监控系统将达成精确预报，及时洞察可能存在的损坏隐患。同时，互联网技术的进步将助力大规模监控系统构建，融合云端技术及边缘数据处理，达成即时数据解析及智能判断辅助。推广面临挑战：研发投入的经济代价较大，特别是高精密度探测装置，对中小型项目实施管控；信息处理效能遭遇了发展障碍，众多传感设备所收集到的信息处理及解析流程亟待改进；此外，技术可靠性有待确认，特别是在复杂的情境中，感应器容易受到气象状况及交通状况的干扰。

结语

智能传感技术在路面结构健康监测中的应用，具有显著的技术优势和广阔的前景。通过实时、精确的数据采集与智能分析，它能够有效提高路面维护的科学性和精度，减少突发性损坏的风险，并优化资源分配。尽管面临技术成本、数据处理及标准化等挑战，但随着技术的不断进步和政策支持的加强，智能传感技术有望在未来交通基础设施管理中发挥越来越重要的作用，为道路安全和可持续发展提供有力保障。

参考文献

[1] 李君. 智能传感技术在桥梁结构健康监测中的应用研究[J]. 智能建筑与智慧城市, 2024, (11): 167-169.
 [2] 柏云飞. 智能传感技术在桥梁结构健康监测中的应用研究[J]. 石河子科技, 2024, (03): 55-57.
 [3] 赵晓康, 胡哲, 张久鹏, 等. 基于光纤传感技术的路面结冰智能监测研究进展[J]. 吉林大学学报(工学版), 2023, 53(06): 1566-1579.
 [4] 林晓蕾. 智能传感技术在电力线路巡检系统中的应用[J]. 电子技术, 2024, 53(12): 204-205.
 作者简介: 王瑶, 男, 江苏徐州, 1988年5月, 汉族, 大学本科, 工程师, 研究方向: 道路路面施工。