

人工智能在高速公路信息化安全预警中的应用

杨育忠

云南云岭高速公路工程咨询有限公司，云南 昆明 650000

DOI:10.61369/ERA.2025110015

摘要：人工智能帮助高速公路工程信息化安全预警系统，可以提升预警的精确程度和时效性，依靠智能算法深入分析工程数据，能够迅速找出潜藏的安全隐患，采用机器学习模型预估事故发生的概率，预先发出警报，还能做到即时监测并适时调整，给高速公路工程建设给予全面的安全保障，以后随着数字孪生，生成式 AI 等技术和预警系统结合得越来越密切，就可以塑造起工程全生命时段安全管理的模型，逼真地模仿风险改变的过程。并且自动产生应对办法，而且还要同成本，进度管理以及智慧城市平台联系起来，达成“安全 – 效益 – 地域协同”的多方面控制，促使高速公路工程安全管理朝着智能化，一体化的方向迈进。

关键词：人工智能；高速公路工程；信息化安全预警系统；应用

Application of Artificial Intelligence in Information Security Warning of Expressway

Yang Yuzhong

Yunnan Yunling Expressway Engineering Consulting Co., LTD., Kunming, Yunnan 650000

Abstract : Artificial intelligence enhances the informatization and safety early-warning systems for highway engineering, improving both accuracy and timeliness. By leveraging intelligent algorithms to deeply analyze engineering data, it enables rapid identification of potential safety hazards. Machine learning models predict accident probabilities, issue timely alerts, and perform real-time monitoring with adaptive adjustments, providing comprehensive safety assurance for highway construction. As digital twin technology and generative AI become increasingly integrated with early-warning systems, they can establish full lifecycle safety management models that accurately simulate risk evolution processes. These systems automatically generate response strategies while coordinating with cost management, schedule control, and smart city platforms. This integrated approach achieves "safety-benefit-regional coordination" across multiple dimensions, driving the advancement of intelligent and unified safety management in highway engineering.

Keywords : artificial intelligence; expressway engineering; information security early warning system; application

引言

高速公路工程规模不断增大，安全预警变得越发必要，传统预警系统存在效率低，准确度差等毛病，人工智能有着很强的数据处理和分析能力，给解决这些问题带来了新办法，把它应用到信息化安全预警系统当中，可以明显改善工程的安全性以及管理水平

一、人工智能在预警系统中的基础性应用研究

人工智能推动的高速公路工程安全预知系统，其数据采集与整合阶段要形成起覆盖工程全场景的多源数据网络，保障数据全而且即时，好给后续预知分析赋予支撑，在施工场地，通过布置物联网传感器搜集重要数据，高填方路基区域装设沉降监测传感

器，及时获取路基垂直位移数据，桥梁挂篮施工处设置应力传感器，观测挂篮承重结构的应力变动，隧道施工面装置瓦斯浓度传感器和粉尘监测仪，立刻得到有害气体含量及空气质量数据。数据整合阶段，借助人工智能数据处理技术，把结构化数据和非结构化数据统一代入标准化格式，并存入云端数据库，比如把不同品牌传感器输出的应力数据统一代入“兆帕（MPa）”单位，把

作者简介：杨育忠（1990.02—），男，白族，云南洱源人，大学本科，工程师，从事的研究方向：高速公路工程信息化。

监控影像中的人违规行为标注为“未戴安全帽”“违规跨越防护栏”等标准化标签，消除数据格式差异和信息壁垒，给后续安全预警形成统一、完备的数据根基^[1]。

二、机器学习模型的构建与应用

(一) 模型选择与优化

机器学习模型的选择要符合高速公路工程安全预警的实际需求，先选适配复杂工程场景、容错率高、准确度强的模型，并不断优化模型预警性能，针对高速公路工程安全风险的非线性、多因素关联特性，常用的机器学习模型有随机森林、支持向量机、长短期记忆网络（LSTM）等。在路基沉降风险预警方面，用随机森林模型，这种模型能应对多种输入特征，对异常值不太敏感，可以防止某个因素被误判，针对隧道施工塌方风险预警，用LSTM模型，它擅长处理时序数据，分析不同时间段里围岩变形、支护应力等数据的变化走向，准确找出塌方之前的微小数据变动。同时根据实时的施工数据动态更新模型训练样本，比如每新增100组有效的施工数据就对模型进行一次微调，以此来降低模型因工程场景改变而出现的预警误差，保证模型始终具有较高的识别准确率^[2]。

(二) 事故概率预测

事故概率预测依靠训练好的机器学习模型，配合实时获取的工程数据，量化各类安全风险转化为事故的概率，为预警分级给予量化数据支撑。应用时，把实时监测的风险特征数据输入对应的机器学习模型，模型按照以前训练形成的事故概率计算逻辑，算出事故发生概率数值，比如做桥梁支座偏移风险预测。把支座实时位移量，位移变化速率，支座材质老化程度等数据输入支持向量机模型，模型对比历史支座偏移引发事故的案例数据，算出当前状态下的“支座失效事故”发生概率，如果概率是35%，就有中等事故危险。在路面施工沥青摊铺温度预警里，把沥青摊铺温度，环境温度，风速等数据输入梯度提升树模型，预测“沥青路面离析事故”发生概率，当概率大于60%时，显示高事故危险^[3]。

(三) 预警等级划分

预警等级划分依照事故概率预测结果以及风险影响范围，联系高速公路工程安全管理规范。借助人工智能的分级算法来确定风险等级，先拟定多方面的预警等级划分标准，考虑“事故发生概率”，“风险影响范围”，“可能造成的损失程度”这三个主要指标，把预警等级划分成“蓝色预警（低风险）”“黄色预警（中风险）”“橙色预警（较高风险）”“红色预警（高风险）”四个级别，指定各个级别的量化阈值，像“事故发生概率10%-30%，影响范围只是单个施工班组，也许会引发轻微财产损失”就对应蓝色预警，“事故发生概率60%以上，影响范围波及整个施工标段，也许会致使人员伤亡和重大财产损失”就对应红色预警。在进行等级划分的过程中，人工智能系统会将事故概率预测结果以及实时分析的风险影响范围的数据输入到分级模型中，自动匹配相应的预警等级，例如当系统预测隧道塌方事故概率为75%，并且通过BIM模型分析得出该风险影响隧道掌子面以及后方50米施

工区，影响20名作业人员和3台大型设备时，自动判定为红色预警；当系统预测路基沉降超标事故概率为25%，影响路基施工段10米范围内，没有人员设备暴露时，判定为蓝色预警^[4]。

三、实时监测与动态调整机制

(一) 实时数据跟踪

实时数据跟踪依靠人工智能同物联网技术的深度结合，创建起全天候，无缝衔接的数据监测网络，保证高速公路工程安全预警体系一直可以察觉到工程的安全情况变动。在硬件安装方面，给重要监测设备添加5G通讯模块，做到监测数据几乎即时传送，像路基下沉传感器每30秒搜集一次数据并立刻传到云端系统，桥梁应力传感器每隔10秒更新一次数据，这样就能让系统随时得到工程的动态，在隧道，桥梁这些信号较弱的地方，设置更多的边缘运算节点，先把这些数据进行本地预先处理和暂时保存，防止因为网络中断而造成数据丢失，等到网络恢复正常之后再自动同步到云端。数据跟踪时，人工智能系统依靠实时数据流监测技术，对重要数据指标展开持续跟踪，设定数据更新超时警报，某个传感器若5分钟没上传新数据，系统就会自动发出“设备离线警报”，然后告诉技术人员去检查设备和网络故障^[5]。

(二) 预警策略调整

预警策略调整依靠实时数据跟踪结果以及模型预测更新，借助人工智能的自适应学习能力，及时改善预警参数和应对举措，从而保证预警系统符合工程安全状况的动态改变，当系统察觉到工程数据特征出现明显变动时，便开始预警策略调整流程，譬如路基施工踏入雨季，监测到“路基含水量不断增多”，人工智能系统就会联系以往雨季施工危险数据，自动把“路基滑塌危险”这个特征阈值降低，把原来的“每天下沉量达5毫米就要发出警报”改为“每天下沉量达3毫米就要发出警报”，而且缩减数据监测间隔，由原先的每30秒一次变成每15秒一次，以此加强预警敏感度。如果系统察觉到某种风险的预警准确率下滑，比如说“设备故障风险”的误报率由5%升至12%，就会自动回溯最近的数据，判定是不是因为施工工艺改变或者设备更新才致使风险特征发生改变，从而改良机器学习模型的参数，像改变支持向量机的核函数参数，重新训练模型来削减误报率^[6]。

(三) 应急响应联动

应急响应联动依靠人工智能的智能调度技术，把预警信息迅速传达到相关责任主体，联动工程现场应急资源，做到安全风险的及时处理，当系统发出预警信息之后，人工智能平台就会按照预警级别和风险类别，自动产生应急响应指令，发到对应人员，比如红色预警信息会立刻发到项目总指挥，现场安全员，技术负责人的移动端APP上，带有风险位置定位、风险描述、建议处置办法。而且通过现场广播系统播放语音预警通告，保证人员马上知晓风险。资源联动上，系统会对接工程现场的应急资源管理模块，随时查看能调用的应急设备和人员，要是碰到“边坡滑塌预警”，就自动找出附近的挖掘机，应急抢险班组的联系方式，做成资源调度方案，发给现场调度员，加快应急资源调动时间^[7]。

四、应用效果与发展趋势

(一) 安全保障效果评估

安全保障效果评价要从风险防控效率，事故出现频率，应急处理能力等多个层面来展开，要对人工智能安全预估系统在高速公路工程中实际应用的价值予以量化分析。在风险防控效率方面，通过比较应用系统前后风险识别所花费的时间，来评判预警时效性，比如某高速公路项目应用系统之后，路基沉降超标风险的识别时间由传统的手工巡视的4个小时缩减到15分钟，风险处置响应时间由2小时缩减到30分钟，极大地提升了风险干预速度^[8]。就事故发生频率而言，核算应用系统以后各种安全事故的发生次数和损失大小，像某项目应用系统之前每年会遭遇3起设备故障事故，应用系统以后每年的事故降到1起，事故造成的经济损失从每年50万元降到15万元，而且人员违规操作事情发生的比率下降了60%，从而削减了安全事故隐患。在应急处置能力上，考察系统联动应急资源的效果，像某隧道出现涌水警报之后，系统在5分钟之内就把应急人员叫来，并且把抽排水设备调过来，20分钟之内就把涌水势头压制住，跟传统的处置方法比起来，这种办法省下了40分钟，防止了事故进一步扩大。

(二) 现存问题与改进方向

当前，人工智能在高速公路工程信息化安全预警系统中也还存在一些短板，要结合短板提出改进的方向来提升系统的适应性和稳定性。从技术层面看，有些复杂工程场景下数据采集精度不够高，隧道施工中粉尘浓度过高，AI视觉识别准确率跌到75%，不能准确辨认人员违规情况，多源数据融合时不同类型传感器的数据时间同步性也不好，路基沉降数据和地质雷达数据采集时间相差1分钟以上，造成风险联系剖析不准。从应用层面来看，系统对新的施工工艺和特别地质条件的适应性有所缺乏，面对模块化施工、智能建造等新型工法，风险库缺少相应风险种类和特征阈值，从而不能准确察觉风险。对这些问题，改进的方向应该是技术优化和应用推广，技术上开发更抗干扰的传感器比如防尘高清

摄像头，优化数据同步算法减少多源数据的时间差，应用上定期更新风险库加入新的工艺风险，加强管理人员系统操作培训建立预警处置考核制度，保证系统可以适应工程技术的发展和管理需求^[9]。

(三) 未来应用前景展望

未来人工智能在高速公路工程信息化安全预警系统中的应用会向“更智能、更融合、更全面”方向发展，安全预警的深度与广度将得到进一步拓展，在智能化升级上，将应用生成式AI技术，以工程历史数据和实时数据为基础，自动生成安全风险处置方案，对于“路基边坡滑塌预警”，除了发出预警，还会生成“先撤离人员，再设置临时支护，最后加固边坡”的分步处置方案，并且模拟方案实施的效果；结合数字孪生技术，构建高速公路工程全生命周期数字模型，将预警系统与数字孪生模型联动起来，实时显示风险演变过程，比如模拟隧道塌方风险从萌芽到扩大的过程，帮助管理人员做出更精准的防控决策。在融合应用上，要让安全预警系统与工程成本管理、进度管理系统之间的数据互通，“安全 – 成本 – 进度”协同管控，当系统发出“设备故障预警”时，同时分析故障处置对施工进度的影响以及成本增加的幅度，给管理人员给予综合决策依据。并且要同智慧城市、智慧交通体系融合起来，把高速公路工程施工安全数据归入区域安全管理网络之中，做到跨部门、跨领域共同防控安全风险^[10]。

五、结束语

人工智能在高速公路工程信息化安全预警系统中的应用已取得一定的成果，对高速公路工程的安全预警起到了一定的作用。但仍然需要不断完善技术和方法，才能更好的适应复杂的工程环境。随着人工智能技术的发展，在未来人工智能将在高速公路工程信息化安全预警中发挥更大的作用，推动高速公路工程安全管理达到新的高度。

参考文献

- [1] 王博, 刘昌赫, 张驰, 等. 基于道路监控的高速公路作业区碰撞风险预警 [J]. 浙江大学学报(工学版), 2024, 58(06): 1221–1232.
- [2] 李长寿, 张素君. 人工智能和大数据对高速公路养护运营的安全提升 [C]// 中国公路学会养护与管理分会, 重庆高速公路集团有限公司, 招商局重庆交通科研设计院有限公司. 中国公路学会养护与管理分会第十三届学术年会论文集. 山东欣鹏安全技术咨询有限公司, 2024: 482–486.
- [3] 谢克勇. 基于5G+人工智能的高速公路恶劣天气行车安全灾害预警示范应用技术. 江西省, 江西省气象服务中心, 2023-09-08.
- [4] 王乐宁. 基于人工智能的高速公路车辆安全驾驶预警系统识别方法与系统设计 [J]. 山西交通科技, 2020, (05): 104–107.
- [5] 徐琨. 智能安全监测系统在公路架桥机中的应用 [J]. 江西建材, 2017(11): 179–180.
- [6] 饶舰, 韩佳. 基于大数据的公路工程安全智能管控云平台构建 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2022, 14(2): 120–126.
- [7] 成义龙, 曲超. 大数据与人工智能在公路施工管理中的协同应用 [J]. 世界家苑, 2024(7): 115–117.
- [8] 杨文广, 张茜. 浅析基于工程数字化的新一代管理信息化理论建构及实践展望 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2021, 13(1): 113–121.
- [9] 黄颖, 高杰. “智慧工地”在公路工程项目中应用研究 [J]. 土木建筑工程信息技术, 2019, (4).
- [10] 朱子翔. 基于信息技术的数字安全管理系统在公路工程中的应用研究 [J]. 重庆建筑, 2022, 21(11).