

AI技术在混凝土耐久性预测及检测中的应用

韩 康

河南国龙矿业建设有限公司 河南 永城 476600

摘要：本文探讨了AI技术在混凝土耐久性预测及检测中的应用。首先概述了AI技术与混凝土耐久性相关概念，接着阐述AI技术在混凝土耐久性预测中数据收集处理、模型构建评估与优化的方法，以及在检测中智能检测技术原理、检测方法应用和数据处理分析的流程。最后提出AI技术在混凝土耐久性预测及检测中的应用策略，包括技术创新、人才培养团队建设、标准规范制定，为提升混凝土耐久性管理水平提供新思路。

关键词：AI技术；混凝土耐久性；预测模型；智能检测；应用策略

引言：混凝土耐久性关乎建筑工程安全与寿命，传统方法在预测与检测方面存在局限。AI技术凭借其强大的数据处理与自主学习能力，为解决混凝土耐久性问题提供了新途径。本文将系统介绍AI技术在混凝土耐久性预测及检测中的应用，涵盖相关概念、技术原理、应用方法以及应用策略，旨在推动AI技术与混凝土耐久性研究的深度融合，为提升建筑工程质量与安全性提供有力支持。

1 相关概念与理论基础

1.1 AI技术概述

AI技术定义为通过算法和模型模拟人类智能，实现对数据的高效处理与自主决策的技术体系。其核心在于构建能够学习、推理和解决问题的系统，涵盖从简单规则判断到复杂模式识别的多种功能。基于数学、计算机科学及认知科学原理，AI技术突破传统程序执行逻辑，赋予机器从数据中提取规律并自适应优化的能力^[1]。AI技术包含多种类型。机器学习通过数据驱动的方式，使系统在执行任务过程中不断改进性能。监督学习基于已有标注数据训练模型，实现对新数据的分类与预测；无监督学习则从无标注数据中发现潜在结构和模式，用于数据聚类与特征提取。深度学习作为机器学习的分支，依靠多层神经网络结构，自动提取数据的高阶抽象特征。卷积神经网络擅长处理图像数据，通过卷积层、池化层等结构逐层提取图像特征；循环神经网络则适用于序列数据，能够捕捉时间或顺序信息，在自然语言处理与时间序列预测中发挥重要作用。强化学习通过智能体与环境的交互，以奖励机制为导向优化决策策略，常用于机器人控制和游戏策略制定等领域。

1.2 混凝土耐久性相关概念

混凝土耐久性定义为混凝土结构在长期使用过程中，承受物理、化学和生物等环境因素作用，保持自身

性能稳定、结构完整并满足使用功能的能力。这一特性决定建筑工程的服役寿命与维护成本，贯穿混凝土从浇筑成型到全生命周期的各个阶段。影响混凝土耐久性的因素多样。化学侵蚀方面，酸、碱、盐溶液与混凝土成分发生化学反应，硫酸盐侵蚀使混凝土内部生成膨胀性物质，导致结构开裂；氯离子侵蚀破坏钢筋钝化膜，加速钢筋锈蚀。物理作用包括冻融循环、干湿交替，冻融过程中混凝土孔隙内水分结冰膨胀，反复作用致使结构剥落；干湿交替引发盐类结晶膨胀，破坏混凝土表面。生物因素中，微生物代谢产生的酸性物质腐蚀混凝土，植物根系生长产生的机械力导致混凝土结构裂隙扩展。混凝土配合比设计不合理、施工质量缺陷也会降低其抵抗环境作用的能力，如水泥用量不足、水灰比过大影响密实度，振捣不充分形成内部孔隙，为环境因素侵蚀提供通道。

2 AI技术在混凝土耐久性预测中的应用

2.1 数据收集与处理

获取混凝土耐久性预测所需数据可通过多途径进行。混凝土配合比数据来源于设计文档与施工记录，涵盖水泥、骨料、外加剂等材料的种类与用量信息。环境参数数据采集自施工现场及周边监测站点，包括温度、湿度、酸碱度等指标，反映混凝土服役环境状况。施工工艺数据记录搅拌时间、振捣方式、养护条件等过程参数，这些因素均影响混凝土最终性能。数据清洗环节去除重复、无效数据条目，修正明显错误信息，保证数据可靠性。采用插值法处理缺失数据，根据相邻数据的分布特征估算缺失值^[2]。预处理过程对数据进行标准化操作，将不同量纲的数值统一转换到特定区间，消除数据尺度差异对模型训练的干扰。通过特征工程提取关键信息，分析原始数据间相关性，筛选出对耐久性影响显著的变量，剔除冗余特征，降低数据维度同时提升模型训练效率。

2.2 预测模型构建

机器学习模型中,支持向量机基于结构风险最小化原则,通过寻找最优超平面实现数据分类与回归预测。在混凝土耐久性预测中,支持向量机以预处理后的特征数据为输入,通过核函数将低维数据映射至高维空间,构建非线性预测模型,捕捉复杂变量关系。随机森林算法由多个决策树集成,通过对大量样本有放回抽样构建子数据集,分别训练决策树并汇总结果。该模型在处理高维数据时,能有效避免过拟合问题,通过分析各特征在决策树中的贡献度,识别影响混凝土耐久性的关键因素。深度学习模型方面,卷积神经网络凭借局部连接与权重共享特性,擅长自动提取数据特征。在耐久性预测中,可将混凝土相关数据按特征维度重构为类似图像的矩阵形式,利用卷积层、池化层逐步提取深层次特征,结合全连接层输出预测结果。循环神经网络适合处理具有时间序列特性的数据,在考虑环境因素随时间变化对混凝土耐久性影响时,通过隐藏层状态传递机制,记忆历史数据信息,准确预测耐久性随时间的演变趋势。长短期记忆网络作为改进型循环神经网络,通过门控机制解决梯度消失问题,更好地捕捉长序列数据中的依赖关系。

2.3 预测模型评估与优化

采用准确率、均方误差、平均绝对误差等指标评估模型性能。准确率衡量预测结果与实际值的符合程度,均方误差反映预测值与真实值偏差的平方均值,平均绝对误差则计算误差绝对值的平均值,这些指标从不同角度量化模型预测精度。通过绘制预测值与实际值的散点图,直观分析模型预测结果的分布特征与离散程度。模型优化从参数调整与算法改进两方面展开。利用网格搜索、随机搜索等方法遍历参数空间,寻找使评估指标最优的模型参数组合。对复杂模型进行正则化处理,添加惩罚项约束模型复杂度,防止过拟合。在算法层面,尝试不同的激活函数、优化器,改进数据输入方式,通过对比实验选择更适合混凝土耐久性预测任务的模型架构,逐步提升预测模型的准确性与泛化能力。

3 AI技术在混凝土耐久性检测中的应用

3.1 智能检测技术原理

基于AI的图像识别技术,通过卷积神经网络实现对混凝土表面特征的自动提取与分析。该技术以大量标注图像为训练数据,卷积层通过卷积核扫描图像,提取边缘、纹理等基础特征,池化层降低数据维度并保留关键信息,经多层网络逐层抽象,最终在全连接层实现对图像中缺陷类型与程度的分类判断。声波检测技术则利用超声波在混凝土介质中传播特性,AI算法分析声波的

声时、波幅、频率等参数变化。当混凝土内部存在缺陷时,声波传播路径改变、能量衰减,AI通过机器学习算法建立缺陷特征与声波参数间的映射关系,实现对内部结构完整性的评估。

3.2 检测方法应用

图像识别技术检测混凝土表面缺陷时,先通过高清摄像头采集图像,利用图像增强算法提升对比度,使裂缝、孔洞等缺陷更清晰显现。将预处理后的图像输入训练好的卷积神经网络模型,模型自动识别像素级特征,定位缺陷位置,计算长度、宽度等几何参数。对于细微裂缝,通过阈值分割与边缘检测算法提取轮廓,区分正常表面纹理与缺陷特征。结合深度学习的语义分割技术,对复杂背景下的缺陷进行精准分类,判断其对混凝土耐久性的影响程度。声波检测混凝土内部结构完整性时,在混凝土表面布置多个超声换能器,发射端发出超声波,接收端采集信号^[3]。AI算法对采集到的声波波形进行降噪处理,提取关键参数。采用模式识别方法,将实测波形与数据库中不同缺陷类型的标准波形对比,判断内部是否存在空洞、疏松等缺陷。针对大体积混凝土结构,通过阵列式换能器布置,利用AI构建三维声波传播模型,直观呈现缺陷空间分布,为耐久性评估提供全面依据。

3.3 检测数据处理与分析

AI技术实时接收检测设备采集的数据,利用数据流处理技术进行实时清洗,剔除异常数据点。在特征提取阶段,针对图像数据,运用深度学习的特征金字塔网络融合不同层次特征,增强缺陷表征能力;对于声波数据,通过快速傅里叶变换转换至频域,结合机器学习算法提取频域特征。利用聚类分析算法对特征数据分类,识别相似缺陷模式,建立缺陷数据库。分析过程中,AI根据预设规则与历史数据,评估缺陷对混凝土耐久性的影响等级。生成检测报告时,自动整合检测时间、位置、缺陷详情等信息,采用自然语言处理技术将分析结果转化为文字描述,搭配可视化图表直观展示缺陷分布与严重程度。报告生成后可直接导出或上传至管理平台,方便工程人员快速获取混凝土耐久性状况,为后续维护与修复决策提供支持。

4 AI技术在混凝土耐久性预测及检测中的应用策略

4.1 技术融合与创新

AI技术与传统检测技术融合可发挥互补优势。将超声回弹综合法等传统检测手段获取的物理参数,与AI算法结合。传统超声检测能获取混凝土声速信息,回弹法可测量表面硬度,AI模型对这些数据进行深度分析,构建多参数预测模型。通过挖掘不同参数间潜在关系,弥

补单一传统方法在准确性上的不足,更精准评估混凝土强度与耐久性状况。AI技术与物联网技术结合实现实时动态监测。在混凝土结构关键部位部署传感器,构建物联网监测网络。传感器持续采集温度、湿度、应变等环境与结构数据,通过无线网络实时传输至AI分析平台。AI算法对海量数据流进行实时处理,利用时序分析模型预测环境因素变化对耐久性的影响趋势。当监测数据出现异常波动时,AI系统自动触发预警,为及时采取防护措施提供依据。创新预测与检测方法需探索AI新应用模式。开发基于迁移学习的预测模型,将在其他材料或工程领域训练的AI模型,通过微调适配混凝土耐久性预测任务,减少数据依赖与训练成本。在检测方面,利用生成对抗网络技术,由生成器生成模拟的混凝土缺陷图像,判别器区分真实与模拟数据,提升AI模型对罕见或复杂缺陷的识别能力,拓展检测技术应用边界。

4.2 人才培养与团队建设

培养具备AI技术与混凝土专业知识的复合型人才是关键。在教育体系中,高校可开设交叉学科课程,将机器学习、数据分析等AI课程与混凝土材料学、结构工程课程融合。课程设置涵盖理论教学与实践项目,学生既学习AI算法原理,又参与混凝土实验与工程案例,掌握将AI技术应用于混凝土耐久性研究的方法。企业通过内部培训提升现有人员能力。制定分层培训计划,针对技术人员开展AI工具应用培训,使其掌握常见AI软件与编程框架;对管理人员进行技术趋势与管理理念培训,理解AI技术应用价值与实施路径。组织内部研讨会与技术交流活动,鼓励员工分享项目经验,促进知识共享与能力提升。组建专业团队需优化人员结构。团队中既要有精通AI算法设计与模型开发的技术人员,也要有熟悉混凝土材料性能与工程应用的专业人员,还需配备数据管理与分析人员。建立有效的团队协作机制,明确各成员职责,通过项目驱动模式,让不同专业人员协同工作。在项目实施过程中,定期召开进度会议,解决跨专业协作问题,保障AI技术应用项目顺利推进。

4.3 标准与规范制定

制定AI技术应用标准与规范可统一行业操作。针对数据管理,明确混凝土耐久性相关数据的采集标准,规定数据格式、精度要求与采集频率。建立数据质量评估规范,从完整性、准确性、一致性等维度评价数据质量,确保用于AI模型训练与检测分析的数据可靠。制定数据存储与共享规范,保障数据安全与合理利用。在模型开发与应用方面,制定AI模型开发流程标准。规范模型设计、训练、验证与优化各环节操作,要求在模型训练阶段采用合理的数据集划分方法,在验证阶段选择科学的评估指标。建立模型应用规范,规定模型适用场景与范围,明确模型输出结果的解读方式,防止模型误用。为保证检测结果准确性与可靠性,制定AI检测技术规范。规范检测设备与AI系统的性能要求,包括图像采集设备分辨率、声波检测设备频率等参数标准。制定检测流程规范,对检测前准备、检测过程操作、数据处理与报告生成等环节作出详细规定。建立检测结果质量控制标准,通过重复性试验、对比试验等方式验证检测结果准确性,提升AI技术在混凝土耐久性检测中的可信度。

结束语

AI技术在混凝土耐久性预测及检测中展现出巨大潜力,从数据收集处理到模型构建优化,从智能检测技术原理到检测方法应用,再到技术创新、人才培养团队建设以及标准规范制定,各个环节紧密相连。未来,随着AI技术的不断进步,在混凝土耐久性领域的应用将更加广泛深入,有望为建筑工程全生命周期管理提供更精准、高效的解决方案,推动建筑行业向智能化、可持续发展方向发展。

参考文献

- [1]刘晓,王思迈,卢磊,等.机器学习预测混凝土材料耐久性的研究进展[J].硅酸盐学报,2023,51(8):2062-2073.
- [2]陈昊翔,孙涛,杨海成,等.多海域混凝土结构的耐久性监测及其数据分析[J].腐蚀与防护,2023,44(8):7-12.
- [3]徐伟.高性能钢筋混凝土结构耐久性影响因素及稳定性分析[J].建筑技术开发,2025,52(3):139-141.