

人工智能在土木工程领域的应用

刘翔

九江市建设监理有限公司

DOI : 10.32629/jpm.v7i5.8916

[摘要] 基于当前的时代下，土木工程面临着重要的转型，随着建筑工程规模的逐渐增大，对于工程的质量、安全等方面的要求也越来越高，打造精品工程成为了重要的目标。人工智能技术在多个领域中展现出优越的效果，因而将其用于土木工程领域中，由此提高工程效率。本文从土木工程基础应用和创新应用两个方面入手，实现土木工程设计、施工建造及运维管理智能化，并从多模态大模型的工程、智能防灾减灾、自主智能系统及机器人实现创新应用。

[关键词] 人工智能技术；土木工程；建筑领域；应用

Application of Artificial Intelligence in Civil Engineering

Liu Xiang,

Jiujiang Construction Supervision Co., Ltd.

[Abstract] In the current era, civil engineering is undergoing significant transformation. With the increasing scale of construction projects, demands for project quality and safety have become more stringent, making the creation of high-quality projects a key objective. Artificial intelligence technology has demonstrated remarkable effectiveness across various fields; therefore, its application in civil engineering enhances project efficiency. This paper explores both fundamental and innovative applications of AI in civil engineering to achieve intelligent design, construction, and operation management, while also highlighting innovative implementations involving multimodal large-scale models, intelligent disaster prevention and mitigation, autonomous intelligent systems, and robotics.

[Key words] Artificial intelligence technology; Civil engineering; Construction field; Application

1 引言

土木工程在社会发展中占据着较为重要的地位，对推动时代发展和社会进步意义重大，传统模式下的土木工程建设存在一定的弊端，传统工程设计，对人工的依赖性较高，需要通过人工进行调度和协调，在项目管理上的效率比较低，因而比较容易容易出现成本超支或延误工期等现象^[1]。同时土木工程建设中造成的安全事故发生率比较高，安全风险性较高。在建设过程中，形成较大的环境污染和破坏，资源形成较大的浪费，传统粗放式经营模式不符合“双碳”的战略目标，不利于可持续发展。随着人工智能技术的面世和其在应用中达到的效果，已经被列入到国家的战略层面规划中，相关政策明确表示：AI技术属于新一轮科技革命的核心技术，要求加快人工智能和实体经济的深度融合发展，将AI技术在土木工程领域中实现，可实现智能化工程设计、最大化配置资源及精确推算灾害等，

在提高工程设计效率的同时，降低工程的整体造价，使其使用时间得到延长，可助力于土工工程的绿色转型发展^[2]。

将人工智能和土木工程融合发展，首先，利用计算机视觉(CV)达到精确的结构监测，在质量管控上提升识别的精确度，对比于人工检测的效率要大大的提升，以厘米级别的精确度，达到实景三位底座，实现工程的实景三维重构；其次，以自然语言处理(NLP)实现知识的重新构建，通过自然语言处理，对工程设计规范条文进行全面的解析，自动生成合规的方案，同时实现高效的风险管控，分析事故报告，并提取出隐性知识，构建安全规则库，达到精确的风险预警；最后，采用机器人技术，在施工中通过3D打印机器人自适应路径的和合理规划，解决异形结构施工的难题，采用检测机器人和AI损伤标注，实现自动化的运维管理，可替代人工完成危险区域的巡检，避免安全事故，以集群协作的模式，采用无人挖掘机结合卡车强

化学习调度系统，使得土方工程效率得到有效提升^[3]。

2 人工智能在土木工程中的基础应用

结合土木工程的建设流程和工程特点，将人工智能进行合理的应用，主要体现在三个方面：

2.1 智能设计的创新

设计是土木工程建设中最为基础环节，传统模式下，工程设计人员需要耗费大量的时间和精力，对施工方案进行规划，且需要做力学计算和图纸的绘制等，设计进度慢，效率偏低，存在一定的局限性^[4]。通过引入人工智能，可在设计上实现创新路径。借助于机器学习算法，可深度学习和分析海量历史设计案例、设计规范、类似工程数据等。在建筑结构的设计上，采用生成式对抗网络 (GAN)，通过系统可自动生成多种结构设计的方案，并标识具体的材料性能、结构力学等有关参数，对多种设计方案进行对比分析，形成有效评估，由此缩短了工程结构设计的时间，同时实现了建筑结构用料的最优化，达到安全标准的同时也节约了资源。在具体设计中，可联合 BIM 技术，利用智能交互界面，可实时性修改并调整设计模型，系统会随之自动对有关数据进行更新，达到检测碰撞和模拟性能的作用。例如：商业楼结构设计上，采用 BIM 技术联合人工智能，在设计环节提前发现建筑内多处管线碰撞的缺陷，在未开工之前就进行了修正和协调，成功的避免了施工后的返工，不仅避免了延长施工周期，还节约了一定的成本。

2.2 智能建造技术

人工智能在土木工程中落实，体现在施工的智能建造技术上，以此技术的应用，达到建设的自动化和精准化效果^[5]。施工中使用智能化设备，可提高施工效率，节约施工周期，如：无人驾驶压路机，不需要人工操作，在设备上安装好传感器和导航系统，只需要开启设备后，就可自动化规划压实路线，对压实度进行实时性的检测，结合预设的参数，其作用精确度比较高，在提高作业效率的同时也使其施工质量得到提升。

随着装配式建筑的增多，使用预制构建的频率也越来越高，通过 3D 打印技术联合人工智能，可结合建筑需求快速打印出符合设计需求的构建模型，相较于传统的施工方式，利用 3D 打印技术可短时间内完成建筑主体结构建造，缩短工期，降低人工成本。在进行预制构件装配作业中，也可以使用机器视觉及机器人技术，可达到精准的预制构件定位，提高安装的效率，装配的失误率在毫米级别。

2.3 智能监测及运维

工程项目建设完成后，需要做好监测和运维工作，在此阶段引入人工智能，可在传感器网络和机器学习算法为核心的智能监测系统中。对相关工程的结构应力、位置移动、振动等有

关的数据实现实时性收集，利用这些数据信息建立模型，对结构的情况进行精确的预测。例如：某大型桥梁工程项目。布设了多台传感器，能够实现在每小时内采集到百万级数据点。在数据分析上借助于深度学习算法，可对桥墩细微裂缝发展趋势进行提前预测，有效的避免了重大安全事故的发生。

无人机巡检联合人工智能图像识别技术，对建筑物表面的破损、渗漏等缺陷可进行快速的检测。预先设置好航线，无人机在航线内完成建筑物的航拍，利用人工智能算法，对采集到图像数深度分析，对缺陷自动识别后形成报告。和人工巡检对比，其效率得到了较大的提升，并且其巡检结果更加精确。检测数据和预测结果为依据，在智能运维系统的支持下，自动形成建筑维护方案，对各项资源进行合理配置，使其运行维护的成本降低。

3 人工智能驱动的创新应用

3.1 多模态大模型的工程应用

3.1.1 自动报告生成

利用 Sig LLM 框架+无人机巡检实现自动报告生成，以多模态大模型，对无人机巡检的时序图像和传感器收集的数据进行深度解析后，形成结构化事故报告。无人机巡检的灵活性较高，可以覆盖到施工的各个区域，并且得到的图像和视频具有比较高的分辨率，利于解析。实时巡检数据传输到 Sig LLMs 系统中，借助于语言理解及生成能力，把图像中的施工场景信息以文字的形式输出，结合相关施工规范及标准等，形成达标的施工报告。

例如：某铁路工程，采用传统人工巡检的方式，完成报告需要 4 个小时，并且存在超过 5% 的漏检率，为解决这一缺陷，采用 Auto Repo 框架，集成无人机 CV 数据和 Sig LLM 时序分析模块，可再 10min 内自动生成巡检报告，且漏检率大大的降低，以 LLM 零样本的检测后发现多处轨枕裂缝现象，比人工识别精确高，由此提前进紧急处理，降低后期工程的维护成本。

3.1.2 跨模态决策

不同模态信息之间实现高效的转换和执行决策，可使得施工效率提高并降低安全风险，人工智能引入，形成智能化跨模态决策系统，以文本指令的方式实现对机械设备的操作驱动。在具体的施工阶段，施工人员以语言指令的方式进行指挥，系统于语音识别技术，把指令转化文本形式，通过自然语言处理算法，对其指令含义进行理解，实现精确的指令执行。施工人员操作更加便利，可以使得机械设备响应实践缩短，进而提高施工效率，也可以减少因人工手动操作而形成的失误，降低施工安全风险。

3.2 智能防灾减灾应用

土工工程在建设过程中，也会面临自然环境因素的影响，那么对于自然灾害的监测十分重要。通过对灾害的模拟、预警，能够最大化的降低自然灾害对于土工工程建设的影响。在工程建设中常见灾害，如：地震、滑坡等。

面对地震灾害，传统管理方式没有结合人员分布、建筑结构响应等多动态因素的考虑。因而引入人工智能，实现地震响应莫比和疏散路径优化的创新。采用多智能体系统，基于地震模拟场景中，以“智能体”代表多个因素，如：人员、结构构件、环境因素等，由智能体间的交互及信息共享，对地震发生时，建筑结构应力变化、人员位置和行动轨迹变化等进行实时性的模拟，由此可以规划出最佳的疏散路径，为面临地震灾害发生后人员逃生提供最佳机会，减少人员伤亡。在山区的工程会面临滑坡灾害，对滑坡进行预警，可结合 BP 神经网络与 GIS 平台，利用 BP 神经网络，学习和训练大量历史滑坡数据，构件滑坡发生和各影响因素间复杂的关系模型。利用 GIS 平台，对地理空间信息进行实时性采集，实现空间分析和数据可视化展示。两者联合应用可提前实现对滑坡的预警，使得相关部门和人员对滑坡进行紧急应对，最大化的降低了滑坡带来的人员伤亡和财产损失。

3.3 自主智能系统及机器人应用

机械设备是土工工程中必定会应用的，且大型工程还需要多台机械设备协调作业，在此情况下，对机械设备的运行调度十分关键，关系到施工的效率、安全。传统的调度模式，难以覆盖全面，那么就会造成调度效率偏低。可采用集群协作施工模式，如：无人挖掘机-卡车协同调度。在机械设备上安装传感器及通信设备，使其在运行中对自生状态、周边环境信息得到实时性的感知，利用强化学习算法，设定合理的智能体，使其在环境交互中得到最佳的协作策略。

在隧道工程中，为实现高效的检测作业，采用隧道检测机器人结合 AI 缺陷自动标注技术，隧道检测机器人搭载高清摄像头、激光扫描仪等多种检测设备，可沿隧道壁自动行驶，采集隧道衬砌表面的图像和结构数据。A 算法实时分析采集到的海量数据，通过图像识别及深度学习技术，可以对衬砌表面的裂缝、剥落、渗漏水等缺陷进行自动识别，并精准标注缺陷位置、大小及类型。例如：在某城市地铁隧道检测项目中，使用该技术后，检测效率相比人工检测提高了 5 倍以上，检测准确率从人工的 80% 提升到 95%，使得隧道检测的效率和准确性得到较大的提升，确保了隧道的安全运营。

3.4 可持续性 & 绿色建造应用

在土木工程全生命周期中，建筑材料的生产和使用是碳排放的重要来源。联合 BIM 技术和 AI 技术结合，可以动态计算

材料碳排，并且推荐低碳方案。BIM 模型集成了建筑项目从设计到施工再到运维的全生命周期信息，AI 算法可根据模型中的材料用量、运输距离、施工工艺等数据，结合不同材料的碳排放因子，实时动态计算项目碳足迹。同时，基于对大量低碳材料和工艺案例的学习，AI 系统能够为设计师和施工方推荐低碳替代方案。例如，在某高层住宅项目设计阶段，通过 BIM-AI 系统分析，将部分传统钢材替换为再生钢材，并优化混凝土配合比，最终实现项目整体碳排放量降低约 20%。

建筑废弃物的大量产生对环境造成巨大压力，废弃物智能分拣机器人借助计算机视觉识别技术，为建筑废弃物资源化利用提供了创新解决方案。机器人通过高分辨率摄像头采集废弃物图像，计算机视觉算法对图像中的废弃物进行识别和分类，准确区分出可回收材料（如金属、木材、砖石等）与不可回收废弃物。在某建筑拆除现场，部署废弃物智能分拣机器人后，每小时可分拣废弃物约 5 吨，可回收材料分拣准确率达到 90% 以上，显著提高了建筑废弃物回收利用率，减少了对新资源的开采需求，降低了环境污染，推动了绿色建造发展。

4 结论

在土木工程领域内应用人工智能技术，是推动建筑行业转型的核心驱动力，在土木工程的基础应用，涉及到智能设计的创新、智能建造技术、智能监测及运维，由此实现土木工程设计、施工及管理的智能化。同时联合人工智能，从多模态大模型的自动报告生成与跨模态决策，到智能防灾减灾系统的灾害推演与实时预警；从自主智能系统与机器人的集群协作施工和高效检测，再到绿色建造中的碳足迹优化与废弃物智能分拣，人工智能全方位重塑了土木工程的设计、建造、运维流程。在创新应用下土工工程的建设效率得到较大的提升，加快了土木共成功全生命周期的智能化、绿色化发展，以此实现社会、经济和环境三重效益。

[参考文献]

- [1] 师文浩. 人工智能技术在土木工程领域的应用[J]. 住宅与房地产, 2020(9): 283-283.
- [2] 吕光东. 人工智能方法在土木工程监测中的运用[J]. 国际公关, 2020(2): 11.
- [3] 崔自强, 杨淑娟, 于德湖. 人工智能在建筑施工领域应用研究进展[J]. 山东建筑大学学报, 2023, 38(4): 117-125.
- [4] 罗芳. 人工智能方法在土木工程监测中的运用[J]. 中国科技期刊数据库 工业 A, 2021(1): 43-45.
- [5] 金芝专. 智能化施工技术在土木工程中的应用研究[J]. 中文科技期刊数据库 (文摘版) 工程技术, 2024(002): 10-11.