

智能土木工程研究现状与应用分析

周洪汉

广西建工集团控股有限公司, 广西 南宁 530000

[摘要] 土木工程作为一个历史悠久的行业, 始终与技术进步紧密相连。从手工建筑到现代机械化施工, 科技在建筑实践中发挥了关键作用。随着城市化加速、资源环境压力增大及市场需求多样化, 传统施工方法的局限性日益凸显, 影响了施工效率、安全性以及资源利用和环境保护。基于此, 智能土木工程凭借独特优势, 逐渐成为应对挑战的有效手段。通过引入智能材料、自动化施工设备、物联网 (IoT) 及人工智能 (AI), 建筑行业实现了信息的实时监控、数据智能分析与决策自动化, 从而显著提升了工程效率与质量。同时, 智能技术的应用为项目的可持续发展开辟了新路径, 优化资源利用、减少环境影响, 促进经济与生态的协调发展。智能土木工程不仅是技术发展的必然结果, 更是满足现代社会建筑行业高标准要求的重要手段。深入研究智能材料、智能结构及智能施工等关键技术的现状与应用, 具有重要的理论价值与实际意义。

[关键词] 土木工程; 智能土木工程; 智能材料

DOI: 10.33142/ucp.v1i4.14145

中图分类号: TU74

文献标识码: A

Research Status and Application Analysis of Intelligent Civil Engineering

ZHOU Honghan

Guangxi Construction Engineering Group Holdings Co., Ltd., Nanning, Guangxi, 530000, China

Abstract: Civil engineering, as a long-standing industry, has always been closely linked to technological progress. From manual construction to modern mechanized construction, technology has played a crucial role in architectural practice. With the acceleration of urbanization, increasing pressure on resources and environment, and diversified market demand, the limitations of traditional construction methods are becoming increasingly prominent, affecting construction efficiency, safety, resource utilization, and environmental protection. Based on this, intelligent civil engineering has gradually become an effective means to address challenges with its unique advantages. By introducing intelligent materials, automated construction equipment, the Internet of Things (IoT), and artificial intelligence (AI), the construction industry has achieved real-time monitoring of information, intelligent data analysis, and automated decision-making, significantly improving engineering efficiency and quality. At the same time, the application of intelligent technology has opened up new paths for the sustainable development of projects, optimizing resource utilization, reducing environmental impact, and promoting the coordinated development of economy and ecology. Intelligent civil engineering is not only an inevitable result of technological development, but also an important means to meet the high standard requirements of the modern construction industry. In depth research on the current status and applications of key technologies such as intelligent materials, intelligent structures, and intelligent construction has important theoretical value and practical significance.

Keywords: civil engineering; intelligent civil engineering; intelligent materials

引言

随着科技的迅猛发展, 智能技术的应用逐渐渗透至各个行业, 特别是在建筑及土木工程领域, 传统的施工方法与管理模式已难以满足现代社会对建筑工程在效率、质量与可持续性方面的高标准。因此, 智能土木工程的理念应运而生, 通过信息技术、数据分析及自动化技术的结合, 推动建筑行业的变革与创新。智能土木工程不仅代表着技术的提升, 更是一种全新的思维方式。该理念强调在设计、施工及运营的全过程中, 先进技术的充分利用以实现资源的优化配置与管理。

1 智能土木工程的重要性

智能土木工程的重要性主要体现在对提升建筑行业整体效率、降低资源消耗以及改善安全性的深远影响。面对全球人口快速增长与城市化进程的加快, 传统土木工程面临诸

多挑战, 例如资源短缺、环境污染及施工安全隐患等问题, 通过整合物联网、大数据分析、人工智能等先进技术, 智能土木工程实现了工程项目的全生命周期管理, 这一转型不仅使得设计与施工的精准度得以提升, 还优化了维护与管理的效率。在施工阶段, 实时监测施工现场各项指标的可能性得以实现, 智能技术的引入使潜在问题能够及时被识别, 从而有效降低事故发生风险。同时, 智能材料的研发与应用, 如自修复材料和感知型材料, 显著增强了结构的耐久性与安全性, 通过资源配置的优化与浪费的减少, 智能土木工程助力实现可持续发展目标, 推动建筑行业向更绿色的方向发展。

2 智能材料研究现状与应用

2.1 感知型智能材料

感知型智能材料是一类能够在外界刺激下主动感知

环境变化并作出响应的材料,通常具备传感能力,能够监测温度、湿度、压力及应变等物理量实现对周围环境的实时反馈。近年来,随着传感器技术与材料科学的迅猛发展,感知型智能材料在土木工程领域的研究与应用日益增多。在实际应用中,这些材料可嵌入建筑结构中,赋予自我监测的能力。例如,智能混凝土可以检测内部裂缝的形成,并通过内置传感器及时向管理系统发送警报,从而有效延长结构的使用寿命。在桥梁、隧道等基础设施的健康监测中,感知型智能材料同样发挥了重要作用,通过实时数据的收集与分析,工程师能够对结构的安全性进行评估,并据此制定相应的维护策略。这种材料的主要优势在于提供数据支持,推动土木工程向智能化、精细化方向发展,显著提升工程的安全性与可靠性。

2.2 记忆型智能材料

记忆型智能材料是一种能够在特定条件下“记住”其形状,并在外部刺激去除后自动恢复至预设形状的材料,这类材料主要基于相变或相变合金等原理,具备卓越的形状记忆效应及恢复能力。在土木工程领域,记忆型智能材料被广泛应用于结构的自适应与故障修复,展现出显著的优势。在具体应用中,记忆型智能材料常常用于桥梁及建筑的抗震设计,当结构受到地震或其他外力影响时,迅速变形以吸收冲击能量的能力使这些材料能够在外力消失后快速恢复至原始形状,从而有效减少结构的损伤。同时,可调节的建筑构件,如可变形的幕墙或自适应支撑系统利用这些材料制造而成,根据环境变化主动调整的能力,使这些构件能够适应不同的负荷与外部条件。另一个重要的应用是记忆型智能材料的自修复能力,当结构出现微小裂缝或变形时,这些材料在适当的温度或其他刺激下能够自动进行修复,延长结构的使用寿命并降低维护成本。

2.3 自适应智能材料

自适应智能材料是一类能够根据外部环境变化自动调节其性能及形状的材料,这些材料具备感知、反馈与响应的功能,使其能够实时适应不同的使用条件。近年来,在土木工程领域,自适应智能材料的应用愈发受到关注,尤其在提高建筑物的安全性、舒适性与功能性方面,展现出巨大的潜力。例如,在气候变化或温度波动明显的地区,能够通过改变导热性或隔热性来调节建筑物能耗的材料,使得这种调节能力不仅提升了居住环境的舒适度,也有效减少了能源消耗,从而助力可持续发展目标的实现。在桥梁及高层建筑中,自适应智能材料实时响应风载、地震等动态荷载,通过调整自身的结构特性显著增强了抗震与抗风能力。在结构健康监测方面,这些材料同样展现出重要作用,通过内置传感器能够实时监测应力、应变等状态的材料,及时反映潜在的安全隐患,这样的反馈机制使得维护工作变得更加精准与高效,减少了对传统人工巡检方法的依赖,这一特性不仅提升了工程的安全性,也优化了维护资源的配置。

2.4 自诊断与自修复材料

自诊断与自修复材料是一种具备自我检测损伤及自动修复能力的创新型材料,这类材料通过内置传感器与修复机制,能够在受损时自动识别问题并实施修复,显著提升了土木工程结构的耐久性与安全性。此技术的问世标志着土木工程向智能化与自适应化的重要进展。在实际应用中,材料的自诊断功能可以实时监测状态,涵盖裂纹、应变及温度变化等指标,通过对这些数据的分析,能够使工程师精准评估结构的健康状况,从而及时采取措施以避免潜在的安全隐患。自修复功能通常依托特殊的化学反应机制,例如嵌入微胶囊的材料,这些胶囊在受到损坏时释放修复剂,填补裂缝并恢复材料的完整性。以桥梁及高层建筑为例,自诊断与自修复材料的应用,能够有效延长结构的使用寿命,同时降低维护频率与成本。在极端天气条件下材料的修复能力尤为关键,它能在短时间内恢复功能确保建筑的安全性。随着技术的不断发展,这类材料的成本逐渐下降,未来将在更广泛的应用领域中展现出更大的潜力。

3 智能结构研究现状与应用

智能结构是通过集成传感器、控制系统和先进材料,使建筑能够感知、分析并主动响应外部环境变化的系统。近年来,智能结构技术在提升建筑安全性、舒适性和能效方面受到了广泛关注。智能结构的核心在于其高效的信息采集与处理能力,使建筑能够实时监测和自我调节,内置的传感器可以收集温度、湿度、振动和应变等数据,实时评估建筑的健康状况,从而及时发现潜在的损伤。例如,在高层建筑和桥梁中,智能结构能够根据风力和地震等外部荷载的变化,自动调整自身的刚度与阻尼特性,提高抗震和抗风能力降低受损风险。此外,智能结构通过自动控制系统优化能源使用。根据室内外温度的变化,智能建筑能够自动调节空调和采暖系统,提高能效并减少资源浪费。例如,一些智能建筑结合光伏材料和储能系统实现自给自足,显著降低对传统能源的依赖。

4 智能施工研究现状与应用

4.1 建筑信息模型(BIM)技术

建筑信息模型(BIM)技术是一种创新方法,通过数字化形式展示建筑项目在整个生命周期中的信息。BIM不仅限于三维建模工具,更是一个整合设计、施工、运营及维护各个阶段的协作平台,显著提升了工程项目的效率与准确性。在智能施工领域,BIM技术的逐渐普及已成为一种标准,促进团队在复杂建筑环境中的协调与管理^[1]。在施工阶段,BIM技术能够提供可视化的三维模型,使所有参与方在同一平台上协同工作,这种可视化优势不仅有助于设计审核,还降低了因信息不对称造成的错误与延误。同时,施工人员在开工前能够全面了解项目细节,从而提高施工的准确性。借助BIM,潜在冲突与问题能够及早识别,项目团队得以进行有效调整与优化,从而减少现场返工的可能性。在施工进度管理与成本控制方面,BIM技术同样发挥着重要

作用,通过对施工任务的时间与资源进行精准建模,科学的施工计划得以制定,项目进展能够实时监控确保按时交付。在成本管理上,详尽的材料清单及成本估算由BIM提供,项目团队得以实现有效的预算控制,从而减少资源的浪费。

4.2 地理信息系统 (GIS) 技术

地理信息系统 (GIS) 技术是一种强有力的工具,能够捕获、存储、管理及分析与地理位置相关的数据。在土木工程及智能施工领域 GIS 的应用愈发广泛,帮助工程师与规划者更深入地理解和利用地理信息,从而支持决策、提升项目效率。GIS 技术的核心优势在于将空间数据与属性数据相结合,使用户能够通过地图和可视化工具直观分析复杂的地理现象^[2]。例如,在城市规划过程中,土地利用状况、交通流量及环境影响等方面的评估,得到了 GIS 的有效支持进而推动科学决策。此外, GIS 还具备整合多种数据源的能力,包括卫星图像、地形数据与社会经济数据,从而为决策提供更全面的背景信息。在施工管理方面,资源配置与调度的优化通常依赖于 GIS 技术的应用,通过将施工现场的地理信息与项目计划相结合,项目进展得以实时监控,确保各项任务顺利进行。最佳的材料运输路线也可借助 GIS 确定,从而降低运输成本与时间避免因复杂地形导致的延误。在灾害管理与应急响应中, GIS 同样发挥着重要作用。自然灾害发生后, GIS 技术能够迅速提供受灾区域的详细信息,帮助救援团队评估损失、制定响应计划,并有效分配资源。

4.3 物联网 (IoT) 技术

物联网 (IoT) 技术通过互联网连接各种物体,实现信息交换与智能控制,正在土木工程及智能施工领域引领传统建筑方法的变革,显著提高施工效率与安全性。多种传感器、设备及系统的互联,使得建筑现场的实时监测与数据分析成为可能。在施工阶段,环境信息、设备状态及人员活动等现场数据,能够通过 IoT 技术收集^[3]。例如,温湿度传感器可以监测施工现场的气候变化,帮助施工团队及时调整工作安排以应对恶劣天气。设备上的传感器能够实时提供工作状态及故障预警,从而协助管理人员进行有效的维护与调度,减少设备故障造成的工期延误。在安全管理方面,至关重要的作用同样由 IoT 技术发挥,工人佩戴智能设备的情况下能够随时监测自身健康状况,并与中心控制系统进行数据交互。当异常情况发生,如心率过快或过度疲劳时警报系统能够及时发出,确保工人的安全。同时,施工现场的安全隐患,如高温及易燃物能够通过 IoT 系统实时监控,迅速采取措施以降低事故风险。在建筑物运营与维护中, IoT 技术同样展示了广泛的应用潜力,通过集成各种传感器,建筑管理者能够实时获取建筑的使用状况、能源消耗及设备运行数据,从而优化运营策略提高建筑的能效与舒适度。

4.4 机器人技术与自动化施工方法

机器人技术与自动化施工方法正以全新的方式重塑

建筑行业的工作流程,提升效率、降低成本并增强施工安全。随着科技的不断进步,土木工程领域中引入越来越多的机器人,它们承担高重复性与高危险性的施工任务,从而减轻人力负担并提升施工质量。在施工现场,多种工作能够由机器人完成,如砖砌、混凝土浇筑、焊接与装配等。例如,砖砌机器人能自动进行砖块的精确铺设,这不仅提升了施工速度,还显著减少了人为错误的发生,通常这类机器人配备先进的传感器与计算机视觉系统,施工过程中实时监测偏差并进行调整,确保结构的精确性与稳定性。无人机的应用则是自动化施工方法的另一个关键方面,在土木工程中,现场勘测、进度监控及安全检查,广泛依赖无人机,借助高清摄像头和激光雷达,无人机能够迅速收集大范围的地形及建筑数据,使项目团队及时掌握施工进度并在必要时进行调整,这种高效的数据采集方式不仅缩短了勘测周期,还提升了信息的准确性。危险任务的执行交给机器人,施工人员得以避免在高风险环境中工作,从而降低事故发生率。例如,在高空作业或有毒环境下,操作可由机器人代替人类进行保障工人的安全。随着人工智能技术的发展,未来的机器人将具备更强的自主学习与决策能力,施工效率与安全性将进一步提高。

5 结语

智能土木工程的迅速发展,正重塑建筑行业的未来,推动技术与创新的深度融合。通过引入智能材料、智能结构、建筑信息模型 (BIM)、地理信息系统 (GIS)、物联网 (IoT) 以及机器人技术与自动化施工方法,行业正朝着更高效、安全和可持续的方向迈进。这些技术的广泛应用,不仅提高了施工效率与工程质量,也为项目管理提供了更为精确的数据支持,增强了决策的科学性。未来,随着技术的不断进步与广泛应用,智能土木工程将面临更为广阔的机遇与挑战。行业需要持续探索与实践实现更高层次的智能化与数字化,以适应日益增长的市场需求。同时,相关标准、政策与人才培养,也需紧跟这一转型的步伐,确保智能土木工程的可持续发展。通过全面整合各种智能技术,建筑行业将能够更有效地应对复杂多变的环境,经济效益与社会效益的双重提升也将得以实现。

[参考文献]

- [1] 付亨利,舒赣平. 土木工程智能结构体系的研究进展[J]. 江苏建筑,2024(2): 18-23.
 - [2] 李皓轩. 人工智能在土木工程中的应用研究[J]. 中阿科技论坛(中英文),2023(11): 63-67.
 - [3] 张强. 土木工程智能结构中传感器原理与应用[J]. 智能建筑与智慧城市,2021(8): 89-90.
- 作者简介: 周洪汉 (1986.4—), 毕业院校: 重庆大学, 所学专业: 土木工程, 就单位: 广西建工集团控股有限公司, 职务: 项目技术负责人, 职称: 工程师。