

DOI: 10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2017.02.015

绿色建筑评价新标准下 BIM 技术在施工管理中的应用研究

赵 钦¹, 田 庆¹, 刘云贺¹, 黑新宏²

(1. 西安理工大学 土木建筑工程学院, 陕西 西安 710048;

2. 西安理工大学 计算机科学与工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 以现代信息技术与绿色建筑施工管理的融合为研究背景,从绿色建筑评价标准中施工管理的可持续性评价指标和评价方法出发,分析了国内外绿色施工管理 BIM 技术的研究现状,指出 BIM 技术在绿色施工管理应用中存在的困难和进一步研究方向。研究表明,当前引入 BIM 技术的施工管理仍然存在信息技术工具的整体架构缺乏、应用普及度低以及理论手段与管理水平不匹配、需求不平衡等问题。因此,未来基于 BIM 的绿色施工管理应重点关注的研究方向包括:宏观管理和精细化管理的功能结合、信息技术和施工管理的集成融合、智能控制与管理模式的理论整合、应用研究与管理标准的相互渗透。

关键词: 绿色施工; 绿色建筑评价标准; BIM; 环境保护; 资源节约

中图分类号: TU74 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2017)02-0211-09

BIM technology application of construction management under a new assessment standard for green building

ZHAO Qin¹, TIAN Qing¹, LIU Yunhe¹, HEI Xinhong²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. School of Computer Science and Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: Taking the integration of modern information technology's with green building construction management as the application background, based on the sustainable evaluation index and evaluation method of construction management performances of the assessment standard for green building, this paper analyses the research status of green construction management of BIM technology at home and abroad, pointing out the difficulties and further research directions of BIM technology in green construction management application. Research result shows that the construction management of introducing BIM technology still has problems such as the lack of global framework of information technologies, low application popularity, theoretical means's mismatching with management level, demand imbalance and so on. Therefore, the development trend and research on BIM technology for green construction management should focus on the combinations of macro management and meticulous management, integration information technologies and construction management, theoretical integration of intelligent control and management models, and interpenetration of application research and management standard.

Key words: green construction; assessment standard for green building; BIM; environmental protection; resource conservation

作为建筑产品绿色可持续化的代表,绿色建筑是促进建筑业可持续发展的国际科学发展模式。施

工阶段作为建造绿色建筑产品的重要过程,如何实现其绿色可持续性管理已成为建设工程领域一个重

收稿日期: 2016-11-30

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51408488);陕西省科技统筹创新工程计划资助项目(2015KTZDGY01-04);陕西省社发攻关资助项目(2012K12-03-05);陕西省教育厅科学研究计划资助项目(14JK1523)

作者简介: 赵钦,女,博士,副教授,研究方向为 BIM 技术研发与应用。E-mail:zhaoqin6688@xaut.edu.cn

点关注的研究主题,由此催生了对绿色施工过程环境可持续性和创新能力更高的要求^[1,2]。为提升工程施工管理环境的可持续化和信息化水平,施工管理与现代信息技术、精益建造、智能控制之间的融合,已成为绿色施工的未来趋势之一。

近年来,建筑信息模型(BIM)等现代信息技术的发展,改变了传统建筑行业的协同和集成管理模式,并在绿色建筑施工信息化方面取得了良好的应用效果^[1]。BIM技术是基于三维数字技术,集成建筑工程项目数据与模型关键信息的系统化方法^[3],因此更加适用于施工工艺复杂、施工环境管理要求高的建设项目,从而有效避免施工管理过程中环境污染、资源浪费等问题,提升施工管理绿色可持续性水平,实现绿色施工管理。通过现代信息技术与施工管理的融合,实现更加精益、绿色的施工模式,可进一步促使工程施工向着可持续化方向迈进,促进建筑可持续发展目标的实现。

随着全球环境问题日益凸显,世界各个国家和地区相继开始高度关注对环境影响最大的建筑行业,进而制定并实施了符合本国国情的绿色建筑评价体系以评估建筑工程的环境绩效。如,美国的

LEED、英国的 BREEAM、澳大利亚的 Green Star 以及香港的 BEAM+ 等。我国根据能源、资源特色和建筑特点,颁布了《绿色建筑评价标准 GB/T50378—2014》(简称《标准》)作为我国绿色建筑评价相关标准编制的依据^[4]。绿色施工管理被纳入绿色建筑评价体系不仅完善了该评价体系的内容,更使施工可持续发展的理念进一步落地。

近 20 年,BIM 技术在施工管理中的应用研究已取得显著进展,而基于 BIM 的绿色施工管理研究仍处于分散的无组织状态,其巨大的研究潜力有待挖掘。因此,本文旨在结合绿色建筑评价新标准,分析基于 BIM 技术加强建筑施工期间的绿色可持续性的主要研究成果,提出 BIM 技术在绿色施工中的未来研究方向。

1 分析方法

1.1 文献数据分析

由于 BIM 技术在绿色施工管理的应用研究起步较晚,因此本文主要检索了 2008—2015 年发表的文章。其中 2012—2015 年发表的文献占比较大,文献检索结果如图 1 所示。

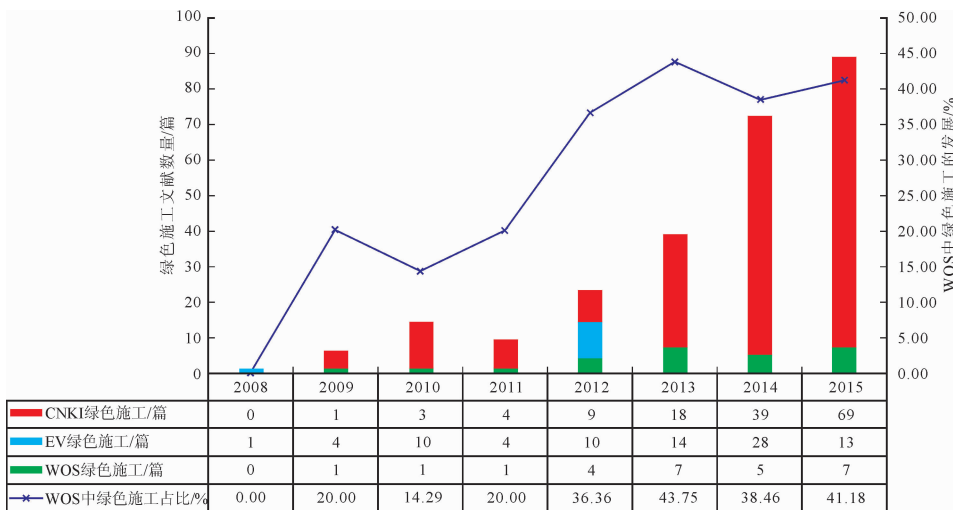


图 1 2008—2015 年各数据库中的文献数量

Fig. 1 Number of documents in databases from 2008 to 2015

由图 1 可知,近年来基于 BIM 的绿色施工研究持续增长,尤其是 2012 年之后,呈现高速增长的趋势。目前 BIM 技术在绿色施工中的应用占比不高,但其比例逐年增加,从 2008 年的 0% 升至 2015 年的 41.18%,表明对本领域的关注度和研究成果正在显著提高。

1.2 绿色施工管理分析

BIM 技术和绿色施工评价标准的结合,可实现绿色施工的管理模式、集成技术和理论研究等方面

的创新,以增强施工管理的绿色可持续性和信息化程度(见图 2)。《标准》中包含的控制项指标是指各类施工控制性管理指标,评分项指标是指在施工过程中各类施工措施性管理指标,以控制项为主,评分项为辅,确保了施工管理绿色评价的科学性和全面性。本文根据《标准》中施工管理指标,依据控制项研究和评分项研究对文献进行分类,并在此基础上讨论 BIM 技术在绿色施工管理中的现存问题和发展方向。

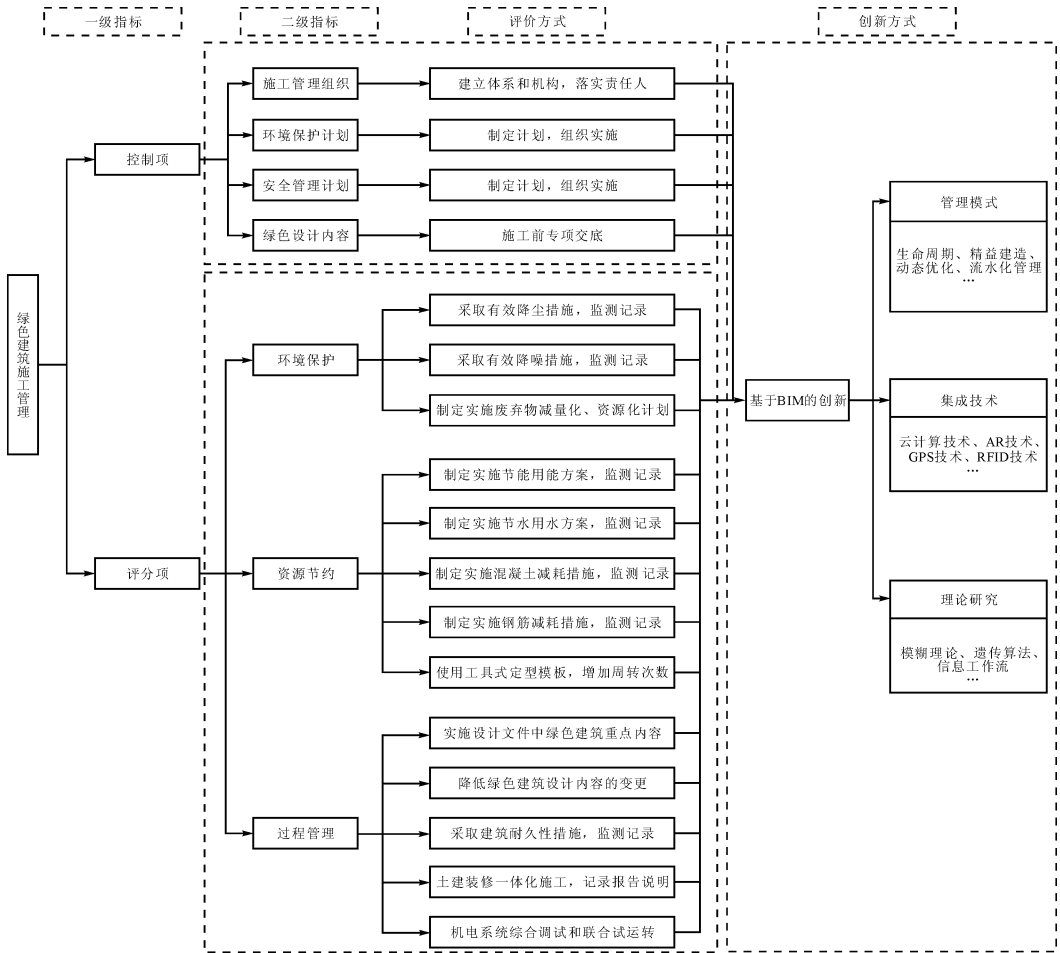


图2 绿色建筑评价标准下施工管理体系框架图

Fig. 2 Construction management system framework under the Assessment Standard for Green Building

2 控制项研究

绿色施工管理控制项指标是做出绿色施工管理评价最基本的依据。本节从管理模式、集成技术、理论研究3个创新点出发,对控制项相关文献进行了文献汇总,如表1所示。

表1 基于BIM技术的控制项研究相关文献
Tab.1 Control items based on BIM technology

创新方式	施工管理组织	环境保护计划	安全管理计划	设计专项交底
管理模式	[5-7]	[15]	[18-20]	[28]
集成技术	[8-12]	[16,17]	[18,21-25]	—
理论研究	[13,14]	—	[26,27]	—

由表1可知,基于BIM技术的控制项研究相关文献中,施工管理组织和安全管理计划的研究较多,且集中在对管理模式和集成技术的创新上,从整体上看,比较缺乏创新性理论研究,具体数量分布如图3所示。

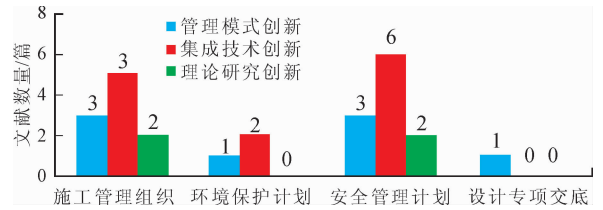


图3 基于BIM技术的控制项研究文献数量

Fig.3 Number of control items based on BIM technology

2.1 绿色建筑项目施工管理体系和组织机构

就绿色施工管理的实施而言,施工管理组织是做出绿色施工决策的关键点,越高效的管理组织模式,越有助于绿色施工的实施(见表2)。

基于BIM的管理模式将流水化施工^[5]、动态优化^[6,7]等模式应用于BIM施工管理,提高了绿色施工组织的多方化程度。通过BIM技术与信息技术的集成,将AR^[8]、云计算^[9]、点云坐标转换^[10]以及RFID^[11]、RTLS系统^[12]等信息技术运用于绿色施工管理,大幅提升了施工管理的智能化程度。同时基于BIM的理论创新研究,如 workflow、模糊理论^[13-14]等,进一步加强了绿色施工管理的信息自动化程度。

表 2 基于 BIM 技术的施工管理组织相关文献内容汇总
Tab. 2 Summary of construction management organization based on BIM technology

创新方式	文献内容			
	文献	时间	特征	成果
管理模式	[5]	2010	流水化施工、精益建造	工作流程和资源管理
	[6]	2014	三阶段动态优化	施工现场方案
	[7]	2015	现场自动化规划	临时设施动态布局
集成技术	[8]	2013	本体与 AR	施工缺陷管理
	[9]	2015	云计算传递	施工进度监控和管理
	[10]	2015	激光雷达、点云坐标转换	施工质量评估
	[11]	2015	RFID 技术	施工信息管理和协作管理
	[12]	2015	RTLS 系统	现场可持续性评估
理论研究	[13]	2014	管理工作流	施工性能管理
	[14]	2013	模糊理论和遗传算法	施工重叠活动管理

2.2 施工全过程的环境保护计划

建筑工程施工环境保护研究已成为绿色施工管理

领域一个重点关注的主题之一,因此基于 BIM 的施工

环境保护研究具有十分重要的现实意义(见表 3)。

表 3 基于 BIM 技术的环境保护计划研究相关文献内容汇总
Tab. 3 Summary of environmental protection program based on BIM technology

创新方式	文献内容			
	文献	时间	特征	成果
管理模式	[15]	2015	绿色施工技术体系	绿色建筑环境保护应用技术
集成技术	[16]	2012	信息流技术	绿色建筑信息管理平台
	[17]	2011	可再生能源技术	绿色施工绿色技术整合
理论研究	—	—	—	—

为了更加科学、有效地进行施工环境保护管理, BIM 技术需要融合相应的施工管理理念,如绿色施工技术体系^[15],以提高建筑施工管理的环境效益和经济效益。同时,陆续有研究进行信息流技术^[16]和可再生能源技术^[17]等与 BIM 技术的集成应用,以确定 BIM 技术在绿色建筑环境保护过程中的应用

机制,实现对建筑资源、能源消耗以及施工污染的监管控制。

2.3 施工人员职业健康安全管理计划

由于建筑施工危险因素多、安全问题复杂,施工人员的职业安全管理已经成为施工管理的重点,基于 BIM 的安全管理计划研究文献如表 4 所示。

表 4 基于 BIM 技术的健康安全管理计划研究相关文献内容汇总
Tab. 4 Summary of health and safety management program based on BIM technology

创新方式	文献内容			
	文献	时间	特征	成果
管理模式	[18]	2011	危险识别	危险因素识别、管理
	[19]	2015	安全监控	数字化安全管理体系
	[20]	2011	动态安全分析	施工冲突和安全管理
集成技术	[18]	2011	PMIS	安全事故自动检测推送
	[21]	2013	三维成像技术	危险过程实时监控
	[22]	2014	传感器技术	密闭空间智能监测
	[23]	2013	AR 和游戏技术	可视化安全风险识别
	[24]	2014	QR 码	紧急情况预防
	[25]	2015	GPS	危险位置识别
理论研究	[26]	2015	本体链接	安全知识可视化查询
	[27]	2016	本体论和语义动态链接	风险和安全管理绩效

通过 BIM 技术在施工安全管理模式方面的应用,对危险因素识别^[18]、安全监控^[19]、施工冲突^[20]等问题进行研究,提高施工过程的职业安全管理水平。BIM 技术通过与信息技术的集成,可实现施工风险识别监控^[21,22]、预警系统^[18,23-24]、安全位置识别^[25],从而达到多形式的安全管控,提高施工职业安全管理的有效性和施工现场安全环境的通畅性。同时,将施工安全本体、风险语义^[26,27]等理论动态链接到 BIM 管理研究中,可进一步增强施工职业安全管理的科学性。

2.4 设计文件中绿色建筑重点内容的专项交底

绿色建筑设计方案专项交底使施工团队能够快速了解不同的绿色设计内容。与传统交底模式相比,各参与方围绕 BIM 模型开展现场情况交底的协调和反馈,可在施工之前做出更明智的决定,从而确保项目实施过程中进度、资金及质量的有效管理^[28]。

3 评分项研究

绿色建筑施工管理评价中评分项主要包括环境保护指标、资源节约指标和过程管理指标(见表 5)。

由表 5 可知,对 BIM 技术的评分项指标措施的研究多集中在资源节约研究,环境保护和过程管理次之,同《标准》分值相比,过程管理研究有待提升。

表 5 评分项文献研究关注度比较

Tab. 5 Comparison of attentiveness of rating items

关注度内容	环境保护	资源节约	过程管理
《标准》分值/分	22	40	38
文献数量/篇	4	9	4

3.1 环境保护

评分项中环境保护指标主要包括施工降尘和降噪、建筑废弃物管理,具体文献如表 6 所示。

目前,基于 BIM 的环境保护管理模式研究中,减量化管理^[29]和精益建造^[30]相继被应用到建筑废弃物管理中,同时集成技术中规划评估系统^[31]也有应用于废弃物管理,以提高废弃物的利用率。而在理论研究方面,小波聚类分析^[32]被应用于降噪管理中,进行噪声监控。需要注意的是,这些研究过于关注特定类型的环境保护措施,同《标准》相比,降尘措施研究仍有待提升。

表 6 基于 BIM 技术的环境保护研究相关文献内容汇总

Tab. 6 Summary of environmental protection based on BIM technology

创新方式	文献内容				
	文献	时间	特征	成果	评价方式
管理模式	[29]	2016	减量化管理	人力和材料返工优化	废弃物管理
	[30]	2016	精益建造	成本和生产率优化	
集成技术	[31]	2013	规划评估系统	废弃物自动估计	废弃物管理
理论研究	[32]	2011	小波聚类分析	设备监测降噪去伪	降噪管理

3.2 资源节约

评分项的资源节约指标主要包括节能节水、混

凝土和钢筋的损耗控制以及工具式定型模板使用,具体文献如表 7 所示。

表 7 基于 BIM 技术的资源节约研究相关文献内容汇总

Tab. 7 Summary of resource conservation based on BIM technology

创新方式	文献内容				
	文献	时间	特征	成果	评价方式
管理模式	[33]	2014	精益建造	资源利用率和施工生产率优化	施工节能管理
	[34]	2016	能耗评估	能源使用效率优化	
	[35]	2013	供应链管理	钢筋供应链过程管理优化	钢筋减耗管理
	[36]	2014	工程量管理	资源分配策略	
	[37]	2016	装配施工技术	施工工序优化	
集成技术	[38]	2014	图像匹配、AR	自动检错优化	混凝土减耗管理
	[9]	2015	云计算技术	实时成本质量信息管理	
	[39]	2014	软件系统	成本软件系统优化	钢筋减耗管理
理论研究	[40]	2016	基于原型上下文感知	项目协作、集成度优化	混凝土减耗管理

精益建造^[33]、能耗评估^[34]等管理模式相继被应用于施工管理中,以提高建筑能源的使用效率。BIM技术在钢筋减耗管理方面的研究主要集中于钢筋供应链过程管理^[35]和工程量管理^[36],进而减少钢筋资源损耗。基于BIM的装配式施工管理^[37]已运用到模板工程的动态化监控中,以提高模板的周转效率。融合BIM的云计算技术^[9]、图像匹配、AR^[38]、软件系统^[39]等技术应用于施工材料管理中,以满足绿色施工的资源节约要求。

表8 基于BIM技术的过程管理研究相关文献内容汇总
Tab. 8 Summary of process management based on BIM technology

创新方式	文献内容				
	文献	时间	特征	成果	评价方式
管理模式	[41]	2014	管理流程架构体系	重点设计内容实施优化	设计实施管理
	[42]	2013	应用流程、障碍分析	建筑装饰自动化信息系统	土建装修一体化
集成技术	[43]	2016	组件模块化	过程变更管理	设计变更管理
	[44]	2016	智能温控系统	混凝土耐久性智能温控	耐久性管理

基于BIM的全生命周期管理架构和流程分析^[41]优化了绿色设计实施管理,同时通过对装饰工程应用的基本流程和应用障碍的分析^[42],大大提高土建装修的一体化程度。将BIM技术与组件模块化^[43]应用于施工过程变更管理和项目管理,避免出现影响建筑绿色性能的重大变更。BIM技术在混凝土耐久性智能温控管理平台^[44]的成功应用,实现了更加智能高效的建筑工程耐久性分析、评估管理。这些创新研究拓展了BIM在施工过程管理中的应用思路,提高了管理过程的智能化程度。但由于理论支撑不足,导致过程管理研究的广度和深度受到限制。

4 讨论和展望

4.1 现有研究存在的问题

随着BIM技术与施工管理的不断融合应用,管理人员对BIM技术价值的持续探索,并取得了一定的成果。但BIM技术在绿色建筑施工阶段的应用还处于起步阶段,其原因总结如下。

1) 传统应用模式改造与绿色BIM管理需求对接不明确、模式成熟度低。传统的绿色施工管理模式均自成体系,应用模式根深蒂固难以改造。且基于BIM的施工管理难以与已有施工管理模式区别和定位,加之贯穿全生命周期的BIM应用项目中大量施工阶段应用需求不明确,导致BIM施工价值体现得不够充分。

利用BIM模型的上下文感知可有效提高项目协作度,促进混凝土的减耗管理^[40]。然而同《标准》资源节约指标内容相比,BIM技术在施工节水方面的研究有待提升。

3.3 过程管理

评分项的过程管理指标主要包括绿色建筑重点内容实施、设计文件变更控制、建筑耐久性控制、土建装修一体化实施以及机电系统综合调试等,具体文献内容如表8所示。

2) 施工管理中信息技术工具应用的整体架构缺乏、普及度不足。粗放型施工管理范围广、问题多,需要管理组织在技术工具的支持下,突破以往BIM研究和应用中所侧重的“人工管理”的组织形式,实现更符合施工组织管理的自动信息处理。此外,目前还欠缺合理高效的信息技术整体应用方案,需要进一步的研究和探索。

3) 理论手段与管理水平不匹配,需求不平衡。施工管理对象可能是宏观的整体施工过程或其中的某个子措施,需要管理系统在理论手段的支持下,打通宏观和微观等多层次的管理需求。当前的BIM应用缺乏同时考虑宏观和微观的管理需求,难以提供相应配套的技术模块。而现代化的管理,对于技术模块的易用性和便捷性也提出了较高的要求,如何实现日常施工管理和应急情况处理的结合,也面临着巨大的挑战。

4) 绿色施工管理措施应用发展不完整,成熟案例缺乏。尽管当前的BIM研究已经在施工管理方面做了很多有益探索,但同《标准》相比,部分绿色施工管理的需要仍无法得到满足,并且缺乏成熟的绿色施工管理BIM应用案例。

4.2 发展趋势

通过上述综述与讨论可知,基于BIM的绿色施工管理应用和研究总体仍处于初级阶段,面临诸多挑战和瓶颈。基于此,本文提出四个主要研究方向。

1) 宏观管理和精细化管理的功能结合。针对

整体的施工管理需求,结合管理技术的发展方向,绿色施工管理将会与 BIM 技术进行深度融合。此外,根据现场的运行状况,对管理策略进行优化完善,尤其是不同管理策略的整合、协调和平滑过渡,进而探索绿色施工合适的运行方式和管理策略。

2) 信息技术和信息管理的集成融合。以物联网传感网络技术为基础,结合 GPS 定位、激光雷达、点云坐标转换等技术实时采集现场管理质量数据,进而集成到建筑 BIM 模型辅助绿色施工监控和管理,使施工过程中缺陷大大减少和管理质量大大提高,实现施工现场的可持续性管理。

3) 智能控制与管理模式的理论整合。利用本体论方法、模糊理论和遗传算法以及专家系统预测技术建立绿色施工管理模型,根据现场的管理计划以及 BIM 模型和管理人员对施工过程的可持续性要求,结合智能控制(人工神经网络、模糊控制)以及现代控制理论,建立一种基于 BIM 的工作信息流及随机优化控制模型,达到最优的施工项目管理和施工管理性能。

4) 应用研究与管理标准的相互渗透。绿色施工管理的目的是使施工过程可持续性和管理性能满足绿色建筑的需求,通过与《标准》措施的协同发展,对管理和资源更全面地监测、分析和展现,进而快速决策、优化施工过程管理措施,实现绿色施工管理全面发展。

5 结 语

随着 BIM 技术的发展,基于 BIM 的绿色施工管理已成为建筑工程管理领域一个新兴的研究趋势。将绿色施工管理与 BIM 技术进行无缝对接,充分利用施工信息资源,对于提升绿色建筑施工管理的绿色可持续性具有十分重要的意义。目前,该领域主要的创新方式包括管理模式、技术集成以及理论研究等,虽然均产生了一定的效果,但仍存在大量疑难问题有待解决。这同时也为 BIM 技术在施工阶段的进一步研究与应用提供了更广阔的发展空间,尤其是其与绿色评价标准融合的理论研究方面更具潜力。

参考文献:

[1] WONG J K W, ZHOU J. Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review [J]. *Automation in Construction*, 2015, 57: 156-165.

[2] 赵钦,刘蓬晨,朱轶韵,等. 基于热舒适改善的陕南乡村民居被动式建筑设计策略 [J]. *西安理工大学学报*,

2014, 30(3): 315-319.

ZHAO Qin, LIU Pengchen, ZHU Yiyun, et al. Rural residence passive design strategies in Southern Shaanxi based on improving thermal comfort [J]. *Journal of Xi'an University of Technology*, 2014, 30(3): 315-319.

[3] BYNUM P, ISSA R R A, Olbina S. Building information modeling in support of sustainable design and construction [J]. *Journal of Construction Engineering and Management*, 2012, 139(1): 24-34.

[4] 时刚,王立雄,张余力,等.《绿色建筑评价标准》分析与设计对策 [J]. *土木建筑与环境工程*, 2016, 4: 64-71.

SHI Gang, WANG Lixiong, ZHANG Yuli, et al. Design countermeasures of the Assessment Standard for Green Building [J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2016, 4: 64-71.

[5] SACKS R, RADOSAVLJEVIC M, BARAK R. Requirements for building information modeling based lean production management systems for construction [J]. *Automation in Construction*, 2010, 19: 641-655.

[6] 王廷魁,郑娇. 基于 BIM 的施工场地动态布置方案评选 [J]. *施工技术*, 2014, (3): 72-76.

WANG Tingkwei, ZHENG Jiao. Dynamic construction site layout scheme selection based on BIM [J]. *Construction Technology*, 2014, (3): 72-76.

[7] KUMAR S S, CHENG J C P. A BIM-based automated site layout planning framework for congested construction sites [J]. *Automation in Construction*, 2015, 59: 24-37.

[8] PARK C S, LEE D Y, KWON O S, et al. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template [J]. *Automation in Construction*, 2013, 33: 61-71.

[9] MATTHEWS J, LOVE P E D, HEINEMANN S, et al. Real time progress management: Re-engineering processes for cloud-based BIM in construction [J]. *Automation in Construction*, 2015, 58: 38-47.

[10] WANG J, SUN W Z, SHOU W C, et al. Integrating BIM and LiDAR for real-time construction quality control [J]. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2015, 79(3-4): 417-432.

[11] WANG Z, WANG L. Green building materials management based on BIM technology [C]//2015 International conference on construction and real estate management: environment and the sustainable building. Luleå, Sweden, 2015: 170-177.

[12] ZHANG C, CHEN J. LEED embedded building infor-

- mation modeling system [C]// Architectural engineering national conference 2015: birth and life of the integrated building. Milwaukee, Wisconsin, 2015: 25-36.
- [13] TSAI M H, MD A M, KANG S C, et al. Workflow re-engineering of design-build projects using a BIM tool [J]. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 2014, 37(1): 88-102.
- [14] MOON H, KIM H, KAMAT V R, et al. BIM-Based construction scheduling method using optimization theory for reducing activity overlaps [J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2013, 29(3): 04014048.
- [15] YAN L, QIN Y, YU Y. Technological innovation in the research and application of green engineering [C]// 2015 International conference on construction and real estate management: environment and the sustainable building. Luleå, Sweden, 2015: 262-271.
- [16] YANG M Y, CHEN S Y, Xu J Y. Information flow molding technology of GBIM [J]. *Advances in Industrial and Civil Engineering*, 2012, 594-597: 2886-2892.
- [17] GUNHAN S. Builders' role: innovative green technologies' integration process in construction projects [C] // International conference on sustainable design and construction. Dubai, United Arab Emirates, 2012: 406-413.
- [18] KIM H, LEE H S, PARK M, et al. Information retrieval framework for hazard identification in construction [J]. *Journal of computing in civil engineering*, 2011, 12(2): 53-63.
- [19] 翟越, 李楠, 艾晓芹, 等. BIM技术在建筑施工安全管理中的应用研究 [J]. *施工技术*, 2015, (12): 81-83.
ZHAI Yue, LI Nan, AI Xiaoqin, et al. Study on construction safety management based on BIM technology [J]. *Construction technology*, 2015, (12): 81-83.
- [20] ZHANG J P, HU Z Z. BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies [J]. *Automation in Construction*, 2011, 20: 155-166.
- [21] AKULA M, LIPMAN R R, FRANASZEK M, et al. Real-time drill monitoring and control using building information models augmented with 3D imaging data [J]. *Automation in Construction*, 2013, 36: 1-15.
- [22] RIAZ Z, ARSLAN M, KIANI A K, et al. CoSMoS: A BIM and wireless sensor based integrated solution for worker safety in confined spaces [J]. *Automation in Construction*, 2014, 45: 96-106.
- [23] PARK C S, KIM H J. A framework for construction safety management and visualization system [J]. *Automation in Construction*, 2013, 33: 95-103.
- [24] LORENZO T M, BENEDETTA B, MANUELE C, et al. BIM and QR-code. A synergic application in construction site management [C]// Creative Construction Conference 2014. Prague, Czech Republic, 2014, 85: 520-528.
- [25] ZHANG S J, TEIZER J, PRADHANANGA N, et al. Workforce location tracking to model, visualize and analyze workspace requirements in building information models for construction safety planning [J]. *Automation in Construction*, 2015, 60: 74-86.
- [26] ZHANG S, BOUKAMP F, TEIZER J. Ontology-based semantic modeling of construction safety knowledge: Towards automated safety planning for job hazard analysis (JHA) [J]. *Automation in Construction*, 2015, 52: 29-41.
- [27] DING L Y, ZHONG B T, WU S, et al. Construction risk knowledge management in BIM using ontology and semantic web technology [J]. *Safety Science*, 2016, 87: 202-213.
- [28] AZHAR S. Building information modeling (BIM): trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry [J]. *Leadership and management in engineering*, 2011, 11(3): 241-252.
- [29] 于海申, 宁传红, 亓立刚, 等. 基于BIM的超高层建筑垃圾减量化探索 [J]. *施工技术*, 2016 (S1): 796-798.
YU Haishen, NING Chuanhong, QI Ligang, et al. Exploration on decrement of construction waste of tall building based on BIM [J]. *Construction technology*, 2016(S1): 796-798.
- [30] BI X, JIA X M. Research on the integration of lean construction and BIM and a case study in Shanghai Tower project [C]// Proceedings of the 6th International Asia Conference on Industrial Engineering and Management Innovation, Atlantis Press, 2016: 1027-1036.
- [31] CHENG J C P, MA L Y H. A BIM-based system for demolition and renovation waste estimation and planning [J]. *Waste Management*, 2013, 33(6): 1539-1551.
- [32] DING L, MA L, LUO H, et al. Wavelet analysis for tunneling-induced ground settlement based on a stochastic model [J]. *Tunnelling and underground space technology*, 2011, 26(5): 619-628.
- [33] XU Y G, QIAN C. Lean cost analysis based on BIM modeling for construction project [J]. *Applied me-*

- chanics & materials, 2014, 457-458; 1444-1447.
- [34] ABANDA F H, BYERS L. An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling) [J]. Energy, 2016, 97: 517-527.
- [35] ARAM S, EASTMAN C, SACKS R. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain [J]. Automation in Construction, 2013, 35: 1-17.
- [36] WANG W C, WENG S W, WANG S H, et al. Integrating building information models with construction process simulations for project scheduling support [J]. Automation in Construction, 2014, 37: 68-80.
- [37] 晏金洲, 刘跃, 姜吉龙. 海门人民医院新院工程关键施工技术 [J]. 施工技术, 2016, 45(11): 122-125.
YAN Jinzhou, LIU Yue, JIANG Jilong. Key construction technology of new Haimen people's hospital engineering [J]. Construction Technology, 2016, 45(11): 122-125.
- [38] KWON O S, PARK C S, LIM C R. A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality [J]. Automation in Construction, 2014, 46: 74-81.
- [39] WEI L S, WEI Q, SUN K. Development of BIM technology in steel structure design software [J]. Applied mechanics & materials, 2014, 501-504: 2546-2549.
- [40] ABEDI M, FATHI M S, MIRASA A K, et al. Integrated collaborative tools for precast supply chain management [J]. Scientia Iranica, 2016, 23(2): 429-448.
- [41] 孙保磊, 付海峰. 建设方驱动模式的 BIM 实施全生命周期管理及目标评价方法研究 [J]. 施工技术, 2014, (3): 67-71.
SUN Baolei, FU Haifeng. Research on the lifecycle management and the target evaluation method of investor drive mode BIM implementation [J]. Construction technology, 2014, (3): 67-71.
- [42] GAN S Q, ZHANG H. Application of virtual construction technology in green construction [J]. Applied mechanics & materials, 2013, 368-370 (1): 1139-1142.
- [43] ISAAC S, BOCK T, STOLIAR Y. A methodology for the optimal modularization of building design [J]. Automation in Construction, 2016, 65: 116-124.
- [44] 廖哲男, 魏巍, 赵亮, 等. 大体积混凝土 BIM 智能温控系统的研究与应用 [J]. 土木建筑与环境工程, 2016, 4: 132-138.
LIAO Zhenan, WEI Wei, ZHAO Liang, et al. Application of intelligent temperature control system of mass concrete based on BIM [J]. Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering, 2016, 4: 132-138.

(责任编辑 王卫勋)