

doi: 10.3969/j.issn.1000-7695.2015.03.028

国外建筑信息模型应用理论与实践现状综述

何清华^{1 2}, 杨德磊^{1 2}, 郑 弦^{1 2}

- (1. 同济大学经济与管理学院, 上海 200092;
2. 同济大学复杂工程管理研究院, 上海 200092)

摘要: 建筑信息模型 (BIM) 的应用是目前建筑行业的焦点。选取近三年的国外优秀期刊相关文献作为研究对象, 系统分析北美、欧洲、澳洲、韩国等发达国家和地区在 BIM 应用的理论、BIM 与可持续发展、实施 BIM 的效益测度以及 BIM 实践的发展趋势等方面的现状, 总结国外 BIM 应用的特征, 为国内建筑行业 BIM 应用研究和实践提供参考。

关键词: BIM 应用; 效益测度; 新技术集成; 可持续发展

中图分类号: TU17

文献标志码: A

文章编号: 1000-7695 (2015) 03-0136-06

Survey on Foreign Theory and Practice about BIM Implementation

HE Qinghua^{1 2}, YANG Delei^{1 2}, ZHENG Xian^{1 2}

- (1. School of Economics and Management;
2. Research Institute of Complex Engineering & Management, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: Current focus in construction industry is about BIM implementation. Based on relative literatures collected from excellent journals abroad, this text reviewed situation about BIM in North America, Europe, Australia, Korea and so on, including BIM implementation theory, BIM and sustainable development, the benefit measurement of BIM, BIM implementation practice trend and so on. At last, there was a summary about the characteristics of BIM abroad which can provide reference to the construction industry in our country.

Key words: BIM implementation; effectiveness measurement; new technology integration; sustainable development

作为建筑工程管理领域的新兴技术和工具, 建筑信息模型 (Building Information Modeling, BIM) 近年来一直是国内外工程管理理论研究领域和实践发展的焦点之一。美国的 Salman Azhar^[1] 等人将其定义为以互通、可重复使用的方式生成、储存、管理、交换和共享建筑信息的过程和程序, 这丰富和扩展了早期的定义。BIM 源自于 20 世纪 70 年代美国政府投资的公共项目, 由于政府的自上而下大力推广, 英国是目前使用 BIM 最为广泛的国家之一。BIM 在国外建设项目各参建方之间的应用从建筑师逐步向承包商延伸, 早在 2010 年前后, 欧洲已有接近一半的建筑师使用过 BIM 或者参与过 BIM 模型的创建, 甚至达到了专家水平^[2]。从区域上看, 在工程师对 BIM 的使用上, 美国、加拿大等北美国家和欧洲的水平相差不多^[3]。

国外对于 BIM 的理论研究也已经到了一个全新的阶段, 各个维度均有文献进行深入分析和研究, 近几年相关文献数量有明显的增加趋势, 预示着国外 BIM 在相关领域的快速发展和进步。本文以 SCI

科学引文索引数据库为索引范围, 并经过精炼, 以《Automation in Construction》、《Journal of Civil Engineering and Management》、《The Scientific World Journal》、《Journal of Computing in Civil Engineering》等该领域国际代表性期刊为核心来源, 以检索得到 2011 年至今的相关文献为研究对象, 对国外在 BIM 应用的理论与实践方面的最新发展现状展开分析, 为国内建筑行业的发展与理论研究提供借鉴和参考。

1 BIM 应用的理论

1.1 BIM 应用的关键理论问题研究

1.1.1 BIM 应用的关键理论问题

BIM 的关键在于通过全寿命周期内持续的、准确的信息沟通实现互通性和可视化, 组织和以人为中心的问题是 BIM 应用所面临的最大挑战^[4]。在发展较早的北美地区, BIM 的成熟和推广采用主要依赖于建设项目业主, 而早期使用 BIM 的业主主要是政府部门及其投资项目, 即公共部门业主, 他们通

收稿日期: 2014-07-23, 修回日期: 2014-09-24

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目“基于 BIM 的精益建设与运营集成管理理论、关键技术及应用研究”(1200219168)

常认为,当市场不具备使用 BIM 的条件时实施 BIM 会因为限制竞争而增加项目成本,人为地制造了 BIM 应用的组织障碍;同时,建设环境相关数据涉及到多种敏感信息,目前 IFC (数据交换标准) 的应用尚未普及, BIM 倡导者为了推动 BIM 在行业内的广泛应用还需要克服技术问题(比如兼容性、可靠性等)、团队分散、员工抗性、缺乏培训以及业务流程调整等众多组织障碍,还有 BIM 实施过程中的法律、合约等问题^[2]。

1.1.2 BIM 的全寿命周期应用

项目全寿命周期具有分阶段、多参与主体、跨学科等特征,由于目前 IFC 的使用普及还不够全面,不能很好地解决建筑环境的信息互通性问题,多重数据传递与交付方式及规则并存,使得 BIM 应用在建项目全寿命周期过程中遇到的问题更加复杂,技术、法律、知识产权等仅是由此产生的众多问题的一部分,现有的解决办法比如用于解决分布式数据存储技术的云计算技术未考虑过程维的数据^[5],而现存问题涉及建设过程的多个利益相关方、跨学科、全生命周期维度。目前,国际上从政府角度对 BIM 的应用推动力度最大的是英国。英国政府规定,为了实现节约成本 20% 的目标,到 2016 年,所有英国政府的建设项目都须使用 BIM^[6]。英国卡迪夫大学的 Rezgui Y 与 Beach T 等人^[2]在英国政府的支持下,根据大量的行业咨询经验探索了 BIM 实施障碍的性质和原因,在考虑建设项目的多学科、多角色和全生命周期复杂性的基础上提出了一个管理多参与人、多规则、全生命周期信息的 BIM 治理模型,解决了多重数据交付规则并存的问题,从改进合作的角度来识别 BIM 实施的障碍,最终促进全生命周期内的应用。

如果实现了在一个设施全寿命周期内的普及, BIM 就能够充当一个具有放置建筑中各种资源时空信息功能的动态数据库。通过对时空关系的理解,一个 BIM 模型在很大意义上能够代表和整合相互独立的控制与管理系统及流程,打破组织鸿沟和信息孤岛,还可以为用户提供更直观的可视化界面,使得决策的安全性和效率具有正向的流线性效应。澳大利亚昆士兰科技大学在澳大利亚研究理事会联动项目计划基金支持下系统性地分析了 BIM 这种功能实现的可能性,提出一种新的理念,将 BIM 用作一个图形化工具用于支持空间存取控制和管理,并为其实现提供了一个概念性授权框架,解决了在 BIM 模型中与外部系统同时存在的结构化数据和能够通过 BIM 界面访问的数据存储库存取规范的授权问题^[7]。

尽管 BIM 的全寿命周期应用效果最好,但早期阶段 BIM 的使用比较频繁,越往后的阶段用的越少,往往一个项目结束时有超过 70% 的阶段是不提供 3D 模型和 Cobie 数据支持的,这主要是因为就不同项

目参与主体来讲,收益也是有差异的。英国阿尔斯特大学联合塔格特(WDR & RT)建筑公司对上述 BIM 在建设项目全生命周期内各个阶段的使用情况进行了调查(如表 1),研究发现,比起其他参建方,业主在财务上是最大受益者,然后依次为设备管理商、软件供应商、主承包商、使用者、咨询方、专业承包商、供应商,而且协作过程的管理比软件技术本身更为重要,投资软件和培训必须同步进行^[8]。由于英国是目前推行 BIM 最为广泛的国家之一,这一调查结果代表了发达国家或地区 BIM 使用的普遍状况。

表 1 英国建设项目全生命周期各阶段对 BIM 的使用^[8]

使用程度	经常使用 (%)	偶尔使用 (%)	从不使用 (%)
可行性研究阶段	26.92	52.56	20.51
设计阶段	54.88	42.68	2.44
施工前阶段(详细设计和招标)	51.90	39.24	8.86
施工阶段	34.67	52.00	13.33
运营管理阶段	8.82	45.59	45.59

1.2 BIM 应用的理论发展

1.2.1 BIM 应用的理论创新

目前,国外学术研究分别从项目建设全生命周期的不同阶段和不同角度对 BIM 的应用细节进行了更加深入详细的分析。美国德克萨斯 A&M 大学的 Jun S B 与韩国汉阳大学的 Young 等人^[9]应用 BIM 的参数化设计技术开发了一种关于在混凝土平板地板系统中放置钢筋的全新建模技术,用于转化施工图和使用自动钢筋弯曲与切割机的钢筋制造。韩国亚洲大学的 Song S 与 Yang J 等人^[10]认为, BIM 的结构框架优化与仿真系统使施工过程实现动态可视化,与 3D 几何数据技术的集成应用可以用来确定施工过程中每个阶段的工作量和进行施工方案寻优。合作与沟通是影响 BIM 实施效果的决定性因素,目前组织内部存在的组织鸿沟、信息沟通、信任缺失、不同团队之间的利益博弈等因素导致的不协作现象制约了 BIM 在促进可持续设计中作用的发挥,呼吁大家积极尝试 ICT 等新兴技术来解决目前的问题^[11-12]。

1.2.2 BIM 应用的效益测度

BIM 的出现从根本上改变了建筑行业从设计、施工到运营维护的工艺流程和效率,但实施 BIM 意味着要承担较高的投资与培训成本,由于项目建设过程的复杂性和情景“鲁棒性”, BIM 应用的效益测度一直是理论研究的难点。作为一项投资,通常, BIM 的投资论证过程是基于投资回报分析的(ROI),这种方法并不能准确反映真正的成本和收益。考虑到这一点,澳大利亚科廷科技大学的 Love P E D 与埃迪斯科文大学的 Craig S 等人^[13]果断推翻了 ROI 论证法,从合并无形收益和间接成本等因素随着 BIM 的使用不断变化的本质入手,主张进行价

值评估,这显然比 ROI 更加科学客观。美国佛罗里达大学的 Brittany K Giel 及 Raja R A Issa 等人^[14]收集了美国建筑行业三组类似项目中的三个案例数据,通过使用标准项目文件估算一开始就使用 BIM 的案例与从未使用过 BIM 的案例在工期、信息请求和变更方面的定量效果对比来说明 BIM 应用的效益,研究结果表明: BIM 在所研究的案例中的确是一项值得的投资,其中三组对比案例中使用 BIM 的案例信息请求因项目规模的不同而分别减少了 30% ~ 70% 不等。尽管一个业主投资 BIM 的决策应该从一个项目的规模和复杂性来进行综合权衡,但总的来说都可以实现不同程度的节约。

1.2.3 BIM 应用与可持续发展

将 BIM 与可持续发展结合起来是一个全新的理念,利用 BIM 收集建筑朝向、各种幕墙以及采光研究等信息可以帮助设计师在设计阶段提高可持续性。最能决定建筑的可持续性特征的是设计和施工前阶段,设计师在项目开工之前可以通过 BIM 获得动态的设计和施工全景仿真,了解建筑能耗及造成意外事故等各种影响,从而改进建筑的可持续性指标。美国佛罗里达大学联合著名的特纳建筑公司调查了当前 BIM 的整体应用以及作为可持续设计与施工工具的现状,以及设计师与承包商们对将 BIM 用于可持续设计和施工的看法,大部分受访者认为 DB (设计/施工) 和 IPD (集成项目交付) 是将 BIM 整合为实现可持续性工具的首要项目交付方法,影响 BIM 应用的互通性与可视化,同时也影响 BIM 实现可持续性设计与施工的作用^[15]。

随着可持续发展观念的进步,对建筑可持续性的要求越来越高,行业开始出现很多绿色建筑评估组织。LEED 是美国应用最广泛的建筑可持续性评级系统,由于 BIM 允许多学科信息交叉叠加在同一个模型中,支持 LEED 认证的文件可以直接或者间接地通过基于 BIM 的可持续性分析功能提供,它可以使得这些可持续性分析相对于传统方法在时间和资源消耗方面更加准确和有效,对于希望拿到 LEED 认证的项目,设计师们必须基于建筑的形式、材料、背景以及机电暖通系统进行深度的可持续性分析^[16]。

另外,BIM 的应用使得先进的知识管理发挥日益明显的作用,将知识管理提升到了一个新的水平,从建筑的全寿命周期来看,有助于推进从设计、施工、资产管理实践到报废清退等资产管理全过程实现可持续性,这在一定程度上不但提高了建筑的可持续性,也同时促进了组织的可持续发展^[5]。

2 BIM 应用的实践发展

2.1 BIM 应用能力的培养

BIM 的普及和效果使得很多企业和项目都试图尝试对这项新技术的应用,但 BIM 应用对企业或者

项目等组织本身的能力是有要求的,一个组织必须首先懂得如何使引入的新技术在组织内部得以消化和适应,才能使其发挥最佳效益,盲目跟随会导致大量的资源浪费,因此,实施 BIM 的第一步是组织的 BIM 应用能力培养。英国的大量实践经验表明,很多 BIM 实施失败甚至很多组织不采用 BIM 的重要原因之一在于他们缺少这方面的专家资源和外部支持组织,没有相应的培训,不懂如何正确地使用 BIM^[17],因此,专业的教育培训组织为了适应市场需求,已经开始调整各自的服务模式,对组织的 BIM 能力培养也有了成体系的方法。澳大利亚纽卡斯尔大学建筑与建设环境学院针对如何培养 BIM 实施的能力,提出应该首先从识别需要学习的能力项目、工作中真正需要应用的技能以及纳入绩效考核的能力指标等方面着手培养组织中个体的 BIM 应用竞争力,并提出了这种竞争力的评估体系,这样可以自下而上地打造组织实施 BIM 的整体能力^[18]。

从教育产业的发展来看,开设建设项目管理课程教育的大学试图将 BIM 理念和技能与学位课程相结合。目前,美国的斯坦福大学、南加州大学、宾夕法尼亚大学、加州理工大学、佐治亚工学院、宾州州立大学、奥本大学等多家知名院校均已经开设了 BIM 相关专业和课程教学,并根据行业发展的 BIM 需求调查,形成了一个建设工程管理专业本科与研究生学历 BIM 教育框架与指南,将有必要进行教学的 BIM 内容和不同学位需要达到的水平进行了分类设定,实现教育产业与 BIM 的行业技能培养的紧密结合^[19-20]。

2.2 BIM 与新技术的集成应用

国外在 BIM 的应用方面更为成熟的现象之一就在于与其他新兴技术的集成应用,如早期使用 Ipad 进行现场管理等现象已经被一些新技术替代。一个 BIM 模型的生成需要经历数据收集、预处理、建模等程序,每一步都将决定最终模型的质量。在数据收集阶段,现在普遍的做法是由点云数据技术来实现的。美国卡内基·梅隆大学的 Engin B A 联合亚利桑那州立大学的 Anil E B 等^[21]对这种由点云数据生成的 BIM 模型进行了偏差分析,提供了通过分析偏差产生模式来识别这些错误的来源、大小以及本质。尽管使用成本较高,3D 激光扫描技术目前已经成为建筑行业 BIM 应用过程中的热点,美国密歇根大学联合美国标准与技术研究院研究了 3D 成像数据技术与 BIM 的集成在钻探与挖掘行业施工过程监控中的应用,用于改进危险作业过程中的安全、效率、质量等问题^[22]。

韩国中央大学的 Chan S P 与庆熙大学的 Do Y L 等^[23]认为,目前建筑行业的缺陷管理方法与思想并没有充分考虑建设过程中缺陷信息流的关系,导致被动而不是积极的缺陷管理。他们在韩国政府 MEST

部及韩国国家研究基金会（NRF）的支持下，将 BIM 与增强现实（AR）和本体数据收集技术实现集成，在此基础上提出了基于事前管理建设缺陷管理新框架，用于改善建筑行业缺陷管理实践；同时，利用遥感技术收集的 3D 数据与 4D-BIM 结合起来，

可以改进施工进度可视化和进度更新系统的输入，弥补原有的自动化施工进度评估方法由于不完全信息导致的局限性^[24]。

通过技术集成实现 BIM 的应用创新已经比较普遍，根据本文选取的文献整理，如表 2 所示。

表 2 BIM 应用中的新技术集成

新技术	建筑行业应用	研究机构	文献时间	国别	支持机构
3D、4D、遥感技术	施工进度评估 ^[24]	韩国中央大学	2013	韩国	韩国国家研究基金会基础科学研究计划（NRF）、韩国教育科学技术部（MEST）基金
Point Cloud Data	BIM 模型偏差分析 ^[21]	美国卡内基·梅隆大学、亚利桑那州立大学	2013	美国	——
增强现实（AR）、本体数据收集技术	建筑缺陷管理 ^[23]	韩国中央大学、庆熙大学	2013	韩国	韩国教育科学技术部（MEST）、韩国国家研究基金会（NRF）
3D 成像数据技术	钻探与挖掘 ^[24]	美国密歇根大学	2013	美国	美国标准与技术研究院
3D 激光扫描技术	房地产咨询 ^[25]	英国朴茨茅斯大学、西英格兰大学、罗伯特戈登大学	2013	英国	——
能源仿真	建筑能耗估算 ^[26]	美国密歇根大学、北卡罗来纳州立大学夏洛特分校	2013	美国	——
施工管理技术	风险管理 ^[27]	荷兰特文特大学	2013	荷兰	——
可持续发展	设计与施工 ^[28]	美国佛罗里达大学	2013	美国	特纳建筑公司
知识管理	资产管理 ^[5]	澳大利亚昆士兰理工大学	2013	澳大利亚	国家建设创新合作研究中心基金
绿色建筑	建筑 LEED 评级 ^[16]	美国奥本大学、佛罗里达国际大学	2011	美国	奥本大学建筑学院、索尔兹伯里大学柏杜商业建筑学院

2.3 BIM 应用领域的扩展

国外 BIM 应用发展成熟的另一个标志就是向其他领域的扩展。英国索尔福德大学联合荷兰代尔夫特理工大学及土耳其贝肯大学等多所高校基于对伊斯坦布尔市应急管理 GIS 系统的研究，发现现有的导航方法明显可以通过使用智能建筑模型的先进语义和几何信息来实现升级，基于这种信息转换方法创新性地提出了一个面向 BIM 的室内导航系统建模方法，致力于改进室内导航^[29]；韩国延世大学的 Soyeon L 与 Mikiyoung H^[30] 将 BIM 用于改善公寓户型设计的多样性，提出了一个客户交互性建筑信息模型，即参数化户型设计方法，称为 CIBIM，这使得客户可以根据 CIBIM 的模拟功能呈现出来的户型效果来选择户型设计，这种多样化可以真实反映客户的期望和需求变化，同时也大大减少了设计师的工作量；美国威斯康星大学麦迪逊分校联合亚利桑那州立大学调查了美国机电工程领域的 BIM 应用现状，调查结果表明，机电工程行业作为劳动密集型的领域，BIM 能够更明显地改善因为缺乏合作和不断增加的系统复杂性导致的效率低下和资源配置问题^[31]。总的来说，应用领域的扩展促进了 BIM 的完善，如表 3 所示。

表 3 BIM 的应用领域

文献时间	应用领域	研究机构	国别	支持单位
2014	钢筋制造 ^[9]	美国德克萨斯 A&M 大学、韩国汉阳大学	美国	韩国汉阳大学研究基金

续上表

文献时间	应用领域	研究机构	国别	支持单位
2013	钻探与挖掘 ^[22]	美国密歇根大学	美国	美国标准与技术研究院（NIST）
2013	室内导航 ^[32]	英国索尔福德大学、中央兰开夏大学、荷兰代尔夫特理工大学、土耳其贝肯大学	土耳其	土耳其贝肯大学
2013	可持续设计和施工 ^[28]	美国佛罗里达大学	美国	特纳建筑公司
2013	公寓户型设计 ^[30]	韩国延世大学	韩国	——
2013	房地产咨询 ^[25]	英国朴茨茅斯大学、西英格兰大学、罗伯特戈登大学	英国	房地产咨询公司协会
2013	机电工程 ^[31]	美国威斯康星大学麦迪逊分校、亚利桑那州立大学	美国	——
2013	高速公路 ^[33]	Institution of Civil Engineers	威尔士	Thomas Telford Ltd.
2012	结构加固螺纹钢浪费管理 ^[32]	加拿大英属哥伦比亚大学	加拿大	——
2012	基于集合的设计方案寻优 ^[34]	韩国汉阳大学	韩国	韩国国家研究基金会（NRF）、韩国教育科学技术部（MEST）基金
2011	LEED 评级 ^[31]	美国奥本大学、佛罗里达国际大学	美国	奥本大学建筑学院、索尔兹伯里大学柏杜商业建筑学院

3 BIM 应用的基本特征

通过对研究文献的整理和归纳发现, 国外关于 BIM 应用的研究和实践已经呈现新的发展特征, 主要体现在以下几个方面:

(1) 可持续发展理念对 BIM 的应用起到了积极的推动作用。可持续发展观倡导建筑对环境的影响和能源的消耗最小化, BIM 的可视化功能可以预演建设过程的成本、质量、安全、能耗等各项指标, 为改善建筑的可持续性提供了更多的空间和机会。

(2) 国外 BIM 的应用开始趋向于产业化发展趋势。BIM 应用不再仅仅局限于建筑行业, 开始向多个应用领域扩展, 而且开始衍生和带动上下游关联产业, 比如软件开发、教育、培训、咨询等; 在应用研究方面, 政府的支持力度较大, 高校与企业联合研究的模式比较普遍, 并已有日益成熟的系统化方法, 研究成果也逐渐得到了行业的普遍认可。

(3) BIM 应用的效益是研究的难点, 也是未来研究的重点。大部分关于 BIM 应用效益的研究是从时间和成本的节约等方面展开的, 由于难以收集 BIM 在时间和成本节约等方面的准确数据, 研究方法多为局部案例对比研究, 缺乏全面有效的定量研究方法, 甚至目前系统评估 BIM 输出结果精确性和准确性的研究也相对较少。

(4) 国外 BIM 应用仍然以设计和施工阶段为主。尽管理论研究认为全生命周期内的应用推广能使 BIM 的实施效果达到最佳, 甚至已有研究关注 BIM 与知识管理和资产管理等运营管理阶段的具体应用, 但目前行业实践仍然以设计和施工阶段为主。

(5) BIM 与其他技术的集成应用成为趋势, 方法更加灵活。国外 BIM 在建筑行业的成功实施及其在可视化和互通性方面的优势大大提高了人们使用 BIM 的积极性, 越来越多的实践开始以灵活多样的方式尝试 BIM 与各种现有技术的集成应用, 以实现更好的成本节约和经济效益。

4 结语

作为一个新的研究领域, 关于 BIM 的研究文献还相对有限, 由于 BIM 本身的理论性较低, 更强调技术和实践, 同时, 再加上国内对 BIM 的应用还没有普及, 理论研究还不够成熟, 本文对国外先进国家和地区关于 BIM 应用方面的研究进行分析, 总结了国外 BIM 应用在短期内迅速发展的原因和经验, 为国内业内人士的实践及学术讨论和研究提供有价值的参考。

参考文献:

[1] 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

[2] REZGUI Y, BEACH T, RANA O. A governance approach for BIM management across lifecycle and supply chains using mixed – modes of information delivery [J]. *Journal of Civil Engineering and Management*, 2013, 19 (2): 239–258

[3] PORWAL A, HEWAGE K N. Building information modeling (BIM) partnering framework for public construction projects [J]. *Automation in Construction*, 2013 (31): 204–214

[4] EASTMAN C, TEICHOLZ P, SACKS R, et al. BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors [M]. 2th ed. Hoboken: Wiley, 2011

[5] KIVITS R A, FURNEAUX C. BIM: Enabling sustainability and asset management through knowledge management [J]. *The Scientific World Journal*, 2013, 983721 (1–14)

[6] VERNIKOS V. Optimising building information modelling and off – site construction for civil engineering [C] // *Proceedings of the ICE – Civil Engineering*. Thomas Telford, 2012, 165 (4): 147–147

[7] SKANDHAKUMAR N, REID J, DAWSON E, et al. An authorization framework using building information models [J]. *The Computer Journal*, 2012, 55 (10): 1244–1264

[8] EADIE R, BROWNE M, ODEYINKA H, et al. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis [J]. *Automation in Construction*, 2013 (36): 145–151

[9] YOUNG S CSEUNG L, JUN S B. Reinforcement placement in a concrete slab object using structural building information modeling (SBIM) [J]. *Computer – Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 2014 (29): 47–59

[10] SONG S, YANG J, KIM N. Development of a BIM – based structural framework optimization and simulation system for building construction [J]. *Computers in Industry*, 2012, 63 (9): 895–912

[11] HARTY J, LAING R. Facilitating meaningful collaboration in architectural design through the adoption of BIM (Building Information Modelling) [C] // *Computer Supported Cooperative Work in Design (CSCWD)*, 2013 IEEE 17th International Conference on IEEE, 2013: 502–508

[12] MIGILINSKAS D, POPOV V, JUOCEVICIUS V, et al. The benefits, obstacles and problems of practical BIM implementation [J]. *Procedia Engineering*, 2013 (57): 767–774

[13] LOVE P E D, SIMPSON I, HILL A, et al. From justification to evaluation: Building information modeling for asset owners [J]. *Automation in Construction*, 2013 (35): 208–216

[14] GIEL B K, ISSA R R A. Return on investment analysis of using building information modeling in construction [J]. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 2011, 27 (5): 511–521

[15] 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

[16] AZHAR S, CARLTON W A, OLSEN D, et al. Building information modeling for sustainable design and LEED rating analysis [J]. *Automation in Construction*, 2011, 20 (2): 217–224

[17] EADIE R, BROWNE M, ODEYINKA H, et al. BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An analysis [J]. *Automation in Construction*, 2013 (36): 145–151

[18] SUCCAR B, SHER W, WILLIAMS A. An integrated approach to BIM competency assessment, acquisition and application [J]. *Automation in Construction*, 2013 (35): 174–189

[19] SACKS R, PIKAS E. Building information modeling education for construction engineering and management. I: Industry requirements, state of the art, and gap analysis [J]. *Journal of Construc-*

- tion Engineering and Management, 2013, 139 (11): 04013016 (1-12)
- [20] PIKAS E, SACKS R, HAZZAN O. Building information modeling education for construction engineering and management. II: Procedures and implementation case study [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2013, 139 (11): 05013002 (1-13)
- [21] ANIL E B, TANG P, AKINCI B, et al. Deviation analysis method for the assessment of the quality of the as-is building information models generated from point cloud data [J]. Automation in Construction, 2013 (35): 507-516
- [22] MANU A, ROBERT R L, MAREK F, et al. A real-time drill monitoring and control using building information models augmented with 3D imaging data [J]. Automation in Construction, 2013 (36): 1-15
- [23] 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
- [24] KIM C, SON H, KIM C. Automated construction progress measurement using a 4D building information model and 3D data [J]. Automation in Construction, 2013 (31): 75-82
- [25] MAHDJOUBI L, MOOBELA C, LAING R. Providing real-estate services through the integration of 3D laser scanning and building information modeling [J]. Computers in Industry, 2013, 64 (9): 1272-1281
- [26] KIM H, ANDERSON K. Energy modeling system using building information modeling open standards [J]. Journal of Computing in Civil Engineering, 2012, 27 (3): 203-211
- [27] HARTMANN T, VAN MEERVELD H, VOSSEBELD N, et al. Aligning building information model tools and construction management methods [J]. Automation in Construction, 2012 (22): 605-613
- [28] 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
- [29] ISIKDAG U, ZLATANOVA S, UNDERWOOD J. A BIM-Oriented model for supporting indoor navigation requirements [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2013 (41): 112-123
- [30] LEE S, HA M. Customer interactive building information modeling for apartment unit design [J]. Automation in Construction, 2013 (35): 424-430
- [31] HANNA A, BOODAI F, EL ASMAR M. State of practice of building information modeling in mechanical and electrical construction industries [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2013, 139, 04013009 (1-8)
- [32] PORWAL A, HEWAGE K N. Building information modeling-based analysis to minimize waste rate of structural reinforcement [J]. Journal of Construction Engineering and Management, 2011, 138 (8): 943-954
- [33] SIBERT B. Using building information modeling on a highway project [C] // Proceedings of the ICE-Civil Engineering. Thomas Telford, 2013, 166 (1): 9-9
- [34] LEE S I, BAE J S, CHO Y S. Efficiency analysis of set-based design with structural building information modeling (S-BIM) on high-rise building structures [J]. Automation in Construction, 2012 (23): 20-32

作者简介: 何清华 (1971—), 男, 浙江东阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为建设项目全寿命周期集成化管理、工程管理信息化、大型复杂工程项目组织。杨德磊 (1982—), 女, 河南南阳人, 工程师, 博士研究生, 主要研究方向为建设项目全寿命周期集成化管理、工程管理信息化、大型复杂工程项目组织。郑弦 (1989—), 女, 湖北仙桃人, 博士研究生, 主要研究方向为工程管理信息化。

(上接第129页)

- 会通讯: 理财版, 2008 (11): 102-103
- [10] 张伯友. 知识产权质押融资风险分解与分布控制 [J]. 知识产权, 2009 (2): 30-34
- [11] BEZANT M. The use of intellectual property as security for debt finance [J]. Journal of Knowledge Management, 1997, 1 (3): 237-263
- [12] NWAUCHE E S. An evaluation of the African regional intellectual property right systems [J]. The Journal of World Intellectual Property, 2003, 6 (1): 101-138
- [13] VERMA S K. Financing of intellectual property: Developing countries' context [J]. Journal of Intellectual Property Rights, 2006 (11): 22-32
- [14] SAMUEL D. Intellectual property valuation: A finance perspective [J]. Albany Law Review, 2006 (22): 1207
- [15] 郑茜茜, 唐惠珠. 浅议科技型中小企业知识产权贷款 [J]. 中外企业家, 2012 (4): 23-25
- [16] 胡代光, 高鸿业. 西方经济学大辞典 [M]. 北京: 经济科学出版社, 2000

作者简介: 程春 (1990—), 女, 陕西咸阳人, 硕士研究生, 主要研究方向为商业银行经营管理。杨立社 (1964—), 通信作者, 男, 陕西武功人, 教授, 主要研究方向为农村经济、金融研究。