

我国 BIM 研究热点及演进的可视化分析

高瑞龙, 陈宜晨

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 对 BIM 研究领域现有研究文献进行可视化分析可以更直观地掌握当前研究热点, 分析未来研究趋势. 本研究首先通过收集 CNKI 数据库中 BIM 相关的高水平文献, 然后通过预处理获取高频关键词, 建立高频关键词共现矩阵, 运用社会网络分析软件和网络可视化绘图软件生成关键词共现网络图, 并使用层次聚类方法构建了 BIM 研究的建筑信息化、低碳施工、生产运行及节能生产四类类团, 其次通过高频关键词共现矩阵和聚类结果生成 BIM 研究热点战略坐标图, 最后通过对战略坐标图系统分析, 揭示了 BIM 研究的演进趋势, 并给出未来研究方向的建议.

关键词: BIM; 统计分析; 可视化; 文献

中图分类号: TU17

文献标志码: A

文章编号: 1006-7930(2017)04-0578-07

A visual analysis of the research hotspot and evolution of BIM in China

GAO Ruilong, CHEN Yichen

(School of Management, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: The visual analysis of the existing literatures in the BIM research field can grasp the current research hotspots more intuitively and analyze the future research trends. In this paper, the high-level literatures related to BIM in CNKI database were collected first, and high-frequency keywords through preprocessing obtained, in building up high-frequency co-occurrence matrix. The social network analysis software and network visualization software were used to generate co- Low-carbon construction, production operation and energy-saving production. Secondly, the BIM research hotspot strategy coordinates are generated by high-frequency co-occurrence matrix and clustering results. The BIMs are used to construct BIM information. Finally, through the analysis of the strategic coordinate system, the evolution trend of BIM research is revealed, and the future research directions are given.

Key words: BIM; statistical analysis; visualization; literatures

目前, BIM (Building Information Modeling) 已成为国内外学者和建筑业界人士关注的焦点. BIM 技术以 3D 信息模型为载体, 集成了建筑、结构、MEP (Mechanical, Electrical & Plumbing) 以及后期施工及运营等建设项目有关信息, 旨在实现建筑全生命周期各阶段和各参与方之间的信息共享, 有助于建设流程的协同, 解决建设行业因流程割裂所造成的效率低下问题. 除此之外, BIM 还能够有效改善项目相关决策的质量与速度、管理供应链、提高数据准确性以减少数据重新输入所需时间、减少设计和施工冲突及其所导致的重复工作、提高建筑的全生命周期管理等.

BIM 是建筑业信息通信技术 (Information and Communication Technology, ICT) 的一次重大转变, 有利于提高建设行业的生产力. 近十多年来, 伴随着信息技术的飞速发展, 与 BIM 相关的研究受到了高度重视, BIM 技术也得到快速发展和广

泛应用, 被誉为继 CAD 之后建筑业的又一次革命. BIM 源自于 20 世纪 70 年代美国政府投资的公共项目, 之后得到大力推广. 目前, 英国是使用 BIM 最为广泛的国家之一. 在欧美等发达国家和地区, 对 BIM 的研究经历了从理论研究、创新性的探索研究到实践应用研究的发展变化^[1]. 近年来, 在创新、协调、绿色、开放、共享“五大发展理念”的指导下, 我国的 BIM 研究迅速发展, 目前已成为发展最快的国家之一, 很多大型项目对 BIM 的应用已有相当规模和深度, 并取得了良好的效果. 目前我国将 BIM 应用于设计阶段和施工阶段主要有四种模式, 即设计主导模式、施工主导模式、业主主导模式 (设计施工协同) 和咨询主导模式.^[2] 本文进一步深入系统地分析、梳理了近年来 BIM 领域的研究热点及演进历程. 其热点主要有建筑信息化、低碳施工、生产运行和节能生产等, 其演进经历了从探索到稳步上升的趋势. 同

时, BIM 在应用过程中, 也存在行业内部对 BIM 定位模糊、BIM 应用与施工脱节、信息管理不到位、BIM 进度滞后等问题。本文运用文献可视化研究技术对我国 BIM 研究情况进行系统分析, 有助于推进 BIM 技术的理论研究和实践应用, 也将为行业的整体提升和科学发展起到积极的作用。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文以 CNKI 数据库作为数据来源, 检索期刊类别为: SCI、EI、CSSCI 和核心期刊, 时间界定为 2007 年 1 月—2016 年 6 月, 检索时间为 2016 年 9 月 6 日。以“BIM”作为主题词进行精确检索, 共检索出 818 篇相关文献, 通过阅读文献题目与摘要对文献进行清理, 删除与本研究无关的文献, 如医学类相关 BIM 文献等, 最终使用的相关文献为 561 篇, 提取所有关键词共 1 480 个。

1.2 研究方法

相较于其他常用方法, 本研究所运用到的可视化分析法可以使读者更直观、更清晰地认识所研究的对象, 以便更加科学地揭示规律, 理清关系, 发现研究热点及演进趋势, 预测事物的发展方向。其中, 共词矩阵是关键词共现频率的总集, 对共词聚类结果(类团)有决定性的影响, 在本研究的 BIM 类团分析中能弥补聚类算法的不足, 有助于对类团成员的修正及对类团成熟度的判断。

本研究数据处理采用 SPSS20.0、SATI3.2 软件, 图形采用 Netdraw 绘制。本研究所采用的计算方法如下:

(1)高频关键词共现矩阵生成公式:

$$E_{ij} = \frac{F_{ij}^2}{F_i F_j} \tag{1}$$

式中: E_{ij} 为相似矩阵元素的值; F_{ij} 为词条 T_i 和词条 T_j 的共现次数; F_i 为 T_i 出现的总频次; F_j 为 T_j 出现总频次。

(2)绘制 BIM 研究演进图谱的频率分布计算公式为:

$$R_{ij} = \frac{F_{ij}}{\sum_{k=1}^n F_{kj}} \tag{2}$$

式中: R_{ij} 为频率分布矩阵元素的值, F_{ij} 为第 i 个词条在第 j 年的频次, F_{kj} 为第 k 个词条在第 j 年的频次, 共有 n 个词条。^[3]

(3)高频关键词聚类分析中所用到的 Euclidean 距离, 其测算公式为:

$$d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \tag{3}$$

即两个个体之间变量差值平方和的平方根。

(4)战略坐标图

在战略坐标中, X 轴为向心度(Centrality), 表示领域间相互影响强度, Y 轴为密度(Density), 表示某一领域内部联系强度, 公式如下:

$$Density = \frac{\sum_{i,j \in \varphi_s} E_{ij}}{n-1} (i \neq j) \tag{4}$$

$$Centrality = \frac{\sum_{i \in \varphi, j \in (\varphi - \varphi_s)} E_{ij}}{N-n} \tag{5}$$

式中: $E_{ij} = \frac{(C_{ij})^2}{C_i C_j}$, C_{ij} 表示词对 W_i 和 W_j 在文献集合中出现的频次; C_i 表示词 W_i 在文献集合中出现的频次; C_j 表示词 W_j 在文献集合中出现的频次, E_{ij} 的值域为 $[0, 1]$ 。 φ_s 表示一个类团即一类关键词的集合, φ 表示整个关键词网络。 N 表示整个关键词网络中包含的关键词个数, n 表示某个类团包含的关键词的个数。

1.3 数据预处理

运用 SATI3.2 对 CNKI 数据库导出的题录文件进行预处理, 选择词频 ≥ 7 的关键词作为高频关键词, 共计 27 个, 如表 1 所示。

表 1 高频关键词列表

Tab. 1 The high frequency keywords list

序号	关键词	频数	序号	关键词	频数	序号	关键词	频数
1	BIM	207	10	建筑业	13	19	运维管理	8
2	建筑信息模型	162	11	可视化	12	20	模拟	8
3	信息化	79	12	深化设计	12	21	建模	8
4	项目管理	23	13	施工	11	22	三维设计	8
5	应用	20	14	绿色建筑	11	23	工程管理	8
6	Revit	16	15	IFC 标准	10	24	精益建造	7
7	高层建筑	15	16	协同设计	10	25	城市轨道交通	7
8	全生命周期	15	17	碰撞检测	9	26	管线综合	7
9	施工技术	13	18	钢结构	9	27	建筑节能	7

数成正比, 节点之间的连线表示关键词两两之间的共现关系, 可较为清晰地表征各关键词之间的相互联系, 及其在 BIM 研究领域被学者关注的程度。从图中可以看出, 图谱边缘的关键词和图谱中间的关键词连线较多, 关系较为紧密, 而边缘关键词之间的联系则相对较弱。

结合图 1 和表 2 的关键词分析, 本文运用 SA-TI 生成相似矩阵, 并用统计软件 SPSS20.0, 使用层次聚类方法, 聚类方法采用组内链接, 类内距离采用平方 Euclidean 距离, 得到如图 2 所示的聚类树状图。

利用高频关键词共现矩阵和聚类结果, 得到我国 BIM 研究主题的战略坐标图, 如图 3 所示。战略坐标图包含相对向心度和相对密度两个指标。向心度用来衡量一个类团与同一研究领域的其它类团联系的紧密程度, 向心度越大, 说明某一研究领域的主题类团与其它主题类团有着紧密的联系, 因此该主题在这一研究领域中就占据核心地位。而密度是一种用来衡量主题类团内部关联强度的指标, 它表示该主题类团维持和发展自己的能力。取各研究类团向心度和密度的均值作为坐标原点, 便得到各类团的相对向心度和相对密度。

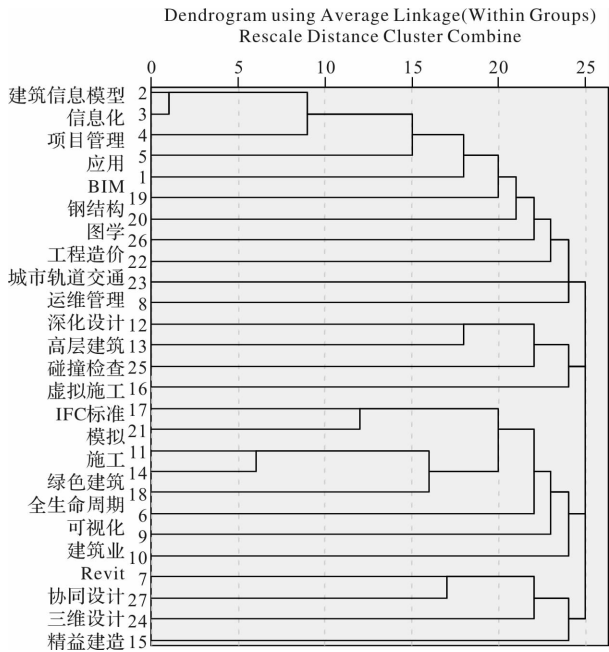


图 2 聚类分析谱系图

Fig. 2 Clustering analysis pedigree chart

聚类分析树形图给出了聚类每一次合并的情况。在这里, 我们以“25”为刻度来划分聚类, 根据聚类分析树形图, 可以分为四类: 建筑信息模型、信息化、项目管理、应用、城市轨道交通、钢结

构、BIM、建模、可视化、高层建筑、建筑业、工程管理为一类; 施工技术、模拟、施工、绿色建筑为一类; 碰撞检测、管线综合、Revit、协同设计、深化设计、IFC 标准、全生命周期、运维管理为一类; 建筑节能、三维设计、精益建造为一类。通过聚类分析我们可以清楚 BIM 研究高频关键词的聚类结果, 并可以根据聚类结果, 对类团内的高频关键词进行归纳总结, 得出研究热点(类团名称), 如下表 3 所示。

表 3 BIM 研究内容的聚类结果

Tab. 3 BIM research content of clustering results

类团	类团名称	关键词
A	建筑信息化	建筑信息模型、信息化、项目管理、应用、城市轨道交通、钢结构、BIM、建模、可视化、高层建筑、建筑业、工程管理
B	低碳施工	施工技术、模拟、施工、绿色建筑
C	生产运行	碰撞检测、管线综合、Revit、协同设计、深化设计、IFC 标准、全生命周期、运维管理
D	节能生产	建筑节能、三维设计、精益建造

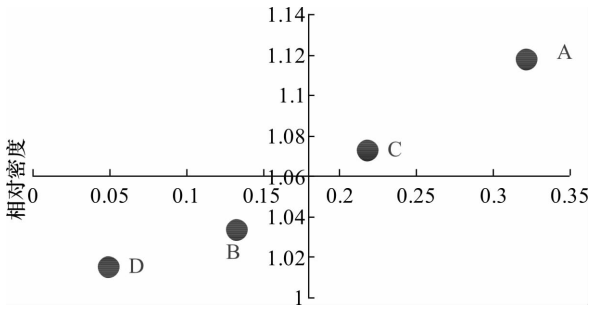


图 3 我国 BIM 研究热点战略坐标图

Fig. 3 Strategic Coordinate Plot of BIM Research Hotspots in China

(1)从图 3 的横坐标相对向心度来看, 四个类团的向心度都较低(都小于 0.35), 说明各类团与其他研究类团联系的数目和强度都比较小, 其中类团 A 和类团 C 位于坐标轴右侧, 即高于平均值, 说明建筑信息化类团和生产运行类团的研究内容处于我国 BIM 研究的中心地位。

(2)从纵坐标相对密度来看, 四个类团的相对密度都较高(大于 1), 其中建筑信息化类团和生产运行类团高于平均值, 表明类团内部的联系紧密, 该两类研究趋于成熟。

(3)类团 A 的向心度和密度均远大于其他类团,表明学者关注度最高和研究力度较大的主题是建筑信息化;其次类团 C 则关注于生产运行方面的研究,注重建筑的优化设计研究。

(4)类团 B 和类团 D 的相对密度较低,说明该两类团研究与其他类团相比尚不成熟,但又同时表明它们有更大的发展空间,或将成为最具发展潜力的研究方向。

3 我国 BIM 研究的演进趋势及发展方向

3.1 文献年度分布分析

本研究借助于文献产出指标来对 BIM 研究情况进行分析,数据来源于已收录在中国知网(CNKI)的数据库。BIM 自 2002 年被提出以来,相关的研究开始由单一向多元发展,根据图 4 可知,2007—2012 年,BIM 的研究处于探索阶段,相关的文献数量缓慢增长,从 2013 年开始大幅度增加,

这表明我国 BIM 的研究迅速升温。

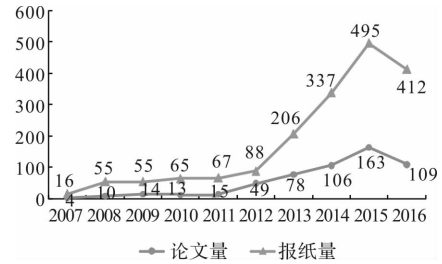


图 4 近十年 BIM 研究期刊及报纸数量变化图

Fig. 4 Changes in Number of BIM Research Journals and Newspapers in the Past Decade

3.2 研究演进趋势

本研究将文献中的高频关键词与发表年份共现,通过可视化的手段呈现研究的演进关系并分析其变化情况。利用 Netdraw 可视化软件绘制 BIM 研究演进图谱,如图 5 所示。其中,圆点代表高频关键词,方点代表年份,年份与关键词之间的连线表示共现关系,其关系强弱与连线的粗细成正比。

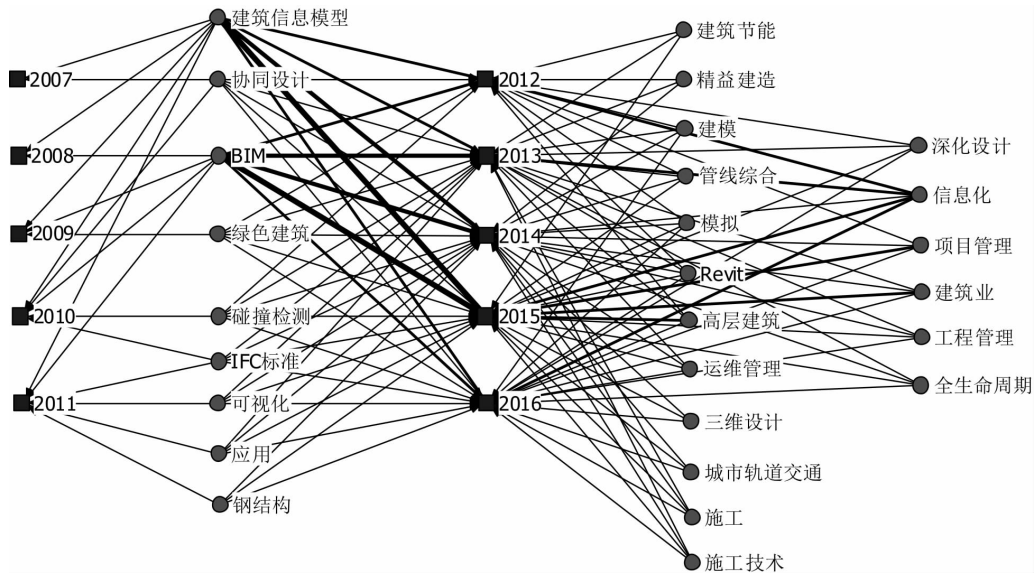


图 5 BIM 研究演进图谱

Fig. 5 BIM research evolution map

根据对上图的年份节点和关键词节点连线数量进行统计,绘制 2007—2016 年节点连线数量表,见表 4。

我国建筑行业信息化水平虽然正在飞速发展,但相对于国外来讲,还是相对滞后的。例如,很多欧美国家建立了相应的行业标准,而我国的标准还不够完善,所以 BIM 技术的研发和应用在我国或多或少受到了一定程度的制约。

从表 4 可以看出虽然我国 BIM 的研究不断增

表 4 2007—2016 年份节点与关键词节点连线数量统计表

Tab. 4 2007—2016 year nodes and key words node connection number statistics table

年份	节点连线	年份	节点连线
2007	2	2012	15
2008	2	2013	22
2009	3	2014	24
2010	5	2015	25
2011	6	2016	24

多,研究内容不断加深,但总体来说我国BIM研究的领域比较集中,每年的热点连线较密集,研究的主要内容集中在对BIM基础方面的研究,2012年以后,在以前研究的基础上,增加了对建筑信息化与低碳施工的研究,研究领域不断扩展.

3.3 研究发展方向

结合上述研究结果,再根据Bilal Succar教授对BIM成熟度的划分,前BIM时代主要是运用CAD技术,数据的传递基本是靠图纸、线面等.后BIM时代,为全生命周期数据的管理.从前BIM时代到后BIM时代,总共经过三个阶段(Stage):S1以主体为基础的模型(Object-based modelling)、S2以模型为基础的协同(Model-based collaboration)、S3以网络为基础的集成(Network-based intergration)^[4].如图6所示:

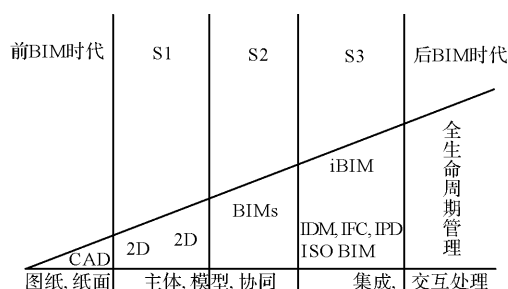


图6 BIM成熟图

Fig. 6 BIM mature figure

以BIM成熟图中的成熟度划分方式来看,我国对BIM技术的研究已经初具规模,国内BIM的研究处于在S2和S3阶段之间:其中,技术性问题主要在于包括4D虚拟施工等在内的设计阶段和施工阶段的协同,BIM的发展需要以更多的技术指导为支撑.管理性问题主要在于信息集成,全生命周期管理的研究,并在与精益建造等理念相结合的同时要考虑到项目管理交付方式的相关要求等^[5].

根据以上研究分析可知,“建筑信息模型”、“绿色建筑”将持续成为我国BIM研究的热点.作为近几年出现的“信息化”、“全生命周期”、“精益建造”等新的热点,其相关研究内容不断增多(通过连线粗细可得),在目前大数据环境下或将持续升温.综合演进图谱和BIM成熟图中出现的项目管理、全生命周期等热点可知,未来在技术方面将侧重于基于大数据下的BIM研究,并在BIM项目管理中对项目全生命周期的进行综合应用,达到效益最大化,实现可持续的发展.基于此,本文

预测未来我国BIM研究的发展方向:

(1)技术方面:大数据时代的到来,数据这个概念正在以前所未有的深度和广度影响着人们的生产、生活,不断加速并推进社会升级和传统行业转型.大数据时代下,工程数据需要从根本上对其思维和行为进行转变,作为一种基础性和战略性资源,工程数据可以从中提取有效知识,并利用这种资源和提取的知识协同解决工程项目中的管理和决策问题.基于云计算的Cloud-BIM是在收集、集成、关联、存储和数据挖掘工程项目大数据的基础上,实现工程项目数据的再利用以及对工程项目的知识管理,它不仅可以使个人与项目团队之间、各个项目组织之间保持一致性、时效性和可持续性,还可以利用项目生命周期对数据进行管理,从而有效提高项目不同组织界面之间的协同工作,有助于把项目数据转换成组织的信息资产.^[6]

(2)管理方面:逐步实现BIM在项目全生命周期的综合应用.BIM的应用已经从简单的理念和方法问题过渡到管理和实践问题.在BIM应用实践过程中应该注重统筹管理,推行BIM辅助设计、指导施工、支持后期运营管理,实现项目全寿命期综合应用.^[7]另外,规范BIM技术的衔接标准和法律法规,研究政策与市场,内因与外力对BIM应用的实际参与者的引导与激励,解决管理组织上的障碍,完成项目的集成化,推进建筑业向技术密集型的转型^[5].

4 结论

本文从文献计量的角度探讨了我国BIM的研究热点及演进趋势,综合应用统计方法和数据可视化手段得到了研究主题的聚类结果与研究热点的知识图谱.相较于传统的文献分析方法,本结果能更直观地反映BIM这一领域的研究热点及演进趋势.本文选取信息可视化软件SATI作为分析工具,综合运用SPSS、Netdraw等软件绘制我国BIM研究领域相关知识图谱以及相应图表,对该领域进行了直观地可视化分析,得出以下结论:

(1)从近十年的BIM研究时间分布上来看,我国BIM研究大致经历了两个阶段,即探索阶段(2007—2012)和上升阶段(2013—2016),见图4.

(2)从高频关键词聚类表和网络图谱可以看出,我国BIM的研究热点主要集中在建筑信息化、低碳施工、生产运行和节能生产.从战略坐标图横

坐标来看,四个类团的向心度都较低(都小于0.35),说明各类团与其他研究类团联系的数目和强度都比较小,其中建筑信息化类团和生产运行类团高于平均值,说明该两类研究内容处于我国BIM研究的中心地位。从战略坐标图纵坐标来看,四个类团的相对密度都较高(大于1),其中建筑信息化类团和生产运行类团高于平均值,表明类团内部的联系紧密,该两类研究趋于成熟,见图3。

(3)从研究领域的整体发展态势及研究演进图谱来看,本文预测未来我国BIM研究的发展方向:一是基于大数据下的BIM研究,如Cloud-BIM;二是实现BIM在项目全生命周期的综合应用。

参考文献 References

- [1] 何清华,杨德磊,郑弦. 国外建筑信息模型应用理论与实践现状综述[J]. 科技管理研究, 2015(3):136-141.
HE Qinghua, YANG Delei, ZHENG Xian. Survey on foreign theory and practice about BIM implementation [J]. Science and Technology Management Research, 2015(3): 136-141.
- [2] 吕坤灿,秦旋,王付海. 基于社会网络分析的项目BIM应用模式比较研究[J]. 建筑科学, 2017(2):138-147.
LÜ Kuncan, QIN Xuan, WANG Fuhai. A comparative study on BIM application modes based on social network analysis [J]. Building Science, 2017(2): 138-147.
- [3] 刘启元,叶鹰. 文献题录信息挖掘技术方法及其软件SATI的实现:以中外图书情报学为例[J]. 信息资源管理学报, 2012(1):50-57.
LIU Qiyuan, YE Ying. A study on mining bibliographic records by designed software SATI: case study on library and information science [J]. Journal of Information Resources Management, 2012(1): 50-57.
- [4] BILAL S, WILLY S, ANTHONY W. Measuring BIM performance: five metrics [J]. Architectural Engineering and Design Management, 2012(8):120-142.
- [5] 纪博雅,戚振强. 国内BIM技术研究现状[J]. 科技管理研究, 2015(6):184-189.
JI Boya, QI Zhenqiang. BIM technology research status in China [J]. Science and Technology Management Research, 2015(6): 184-189.
- [6] 乐云,郑威,余文德. 基于Cloud-BIM的工程项目数据管理研究[J]. 工程管理学报, 2015(1):91-96.
LE Yun, ZHENG Wei, YU Wende. Cloud-BIM based construction project lifecycle data management [J]. Journal of Engineering Management, 2015(1): 91-96.
- [7] 何清华,钱丽丽,段云峰. BIM在国内外应用的现状及障碍研究[J]. 工程管理学报, 2012(1):12-15.
HE Qinghua, QIAN Lili, DUAN Yunfeng. Current situation and barriers of BIM implementation [J]. Journal of Engineering Management, 2012(1): 12-15.

(编辑 桂智刚)

(上接第564页)

参考文献 References

- [1] HIDA T. Brownian motion [J]. Applications of Mathematics, 1980, 11: 44-113.
- [2] ZHANG J, KWOK D Y. Lattice boltzmann method (LBM)[M]. New York:Springer, 2015.
- [3] LADD A J C. Short-time motion of colloidal particles; Numerical simulation via a fluctuating lattice-Boltzmann equation[J]. Physical Review Letters, 1993, 70(9): 1339-1342.
- [4] 聂德明. 颗粒沉降及其在流场中做布朗运动的研究[D]. 杭州:浙江大学, 2011.
NIE D M. Research on the particles sedimentation and Brownian motion [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2011.
- [5] TIWARI A, VANKA S P. A ghost fluid Lattice Boltzmann method for complex geometries [J]. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 2011, 69(2):481-498.
- [6] QIAN Y H, HUMIERES D, LALLEMAND P. Lattice BGK models for Navier-Stokes equation[J]. Euro physics Letters, 1992, 17(6): 479-484.
- [7] LADD A J. Numerical simulations of particulate suspensions via a discretized Boltzmann equation. Part 1. Theoretical foundation[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1994, 271(1):285-309,83
- [8] TSENG Y H, FERZIGER J H. A ghost-cell immersed boundary method for flow in complex geometry [J]. Journal of Computational Physics, 2003, 192(2): 593-623.
- [9] EINSTEIN A. Investigations on the theory of the Brownian movement[M]. Mineola, New York: Dover Publications, 1956: 19-34.

(编辑 桂智刚)