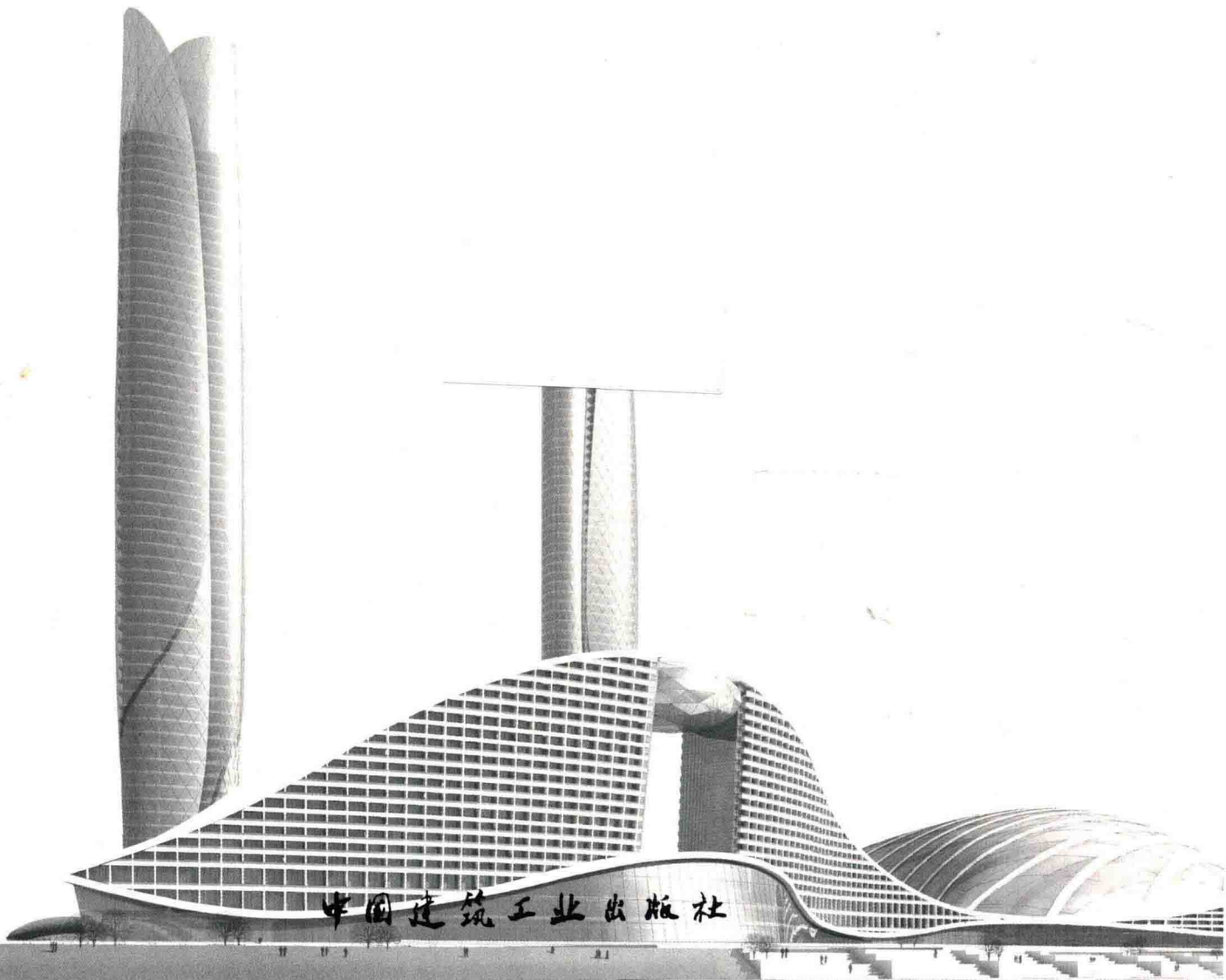


Construction Management 2014

工程管理年刊 2014

中国建筑学会工程管理研究分会 编
《工程管理年刊》编委会



中国建筑工业出版社

工程管理年刊 2014

中国建筑学会工程管理研究分会 编
《工程管理年刊》编委会

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

工程管理年刊 2014/中国建筑学会工程管理研究分会、《工程管理年刊》编委会编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2014. 8

ISBN 978-7-112-17127-9

I. ①工… II. ①中… ②工… III. ①建筑工程-工程管理-中国-2014-年刊 IV. ①TU71-54

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 166489 号

责任编辑: 赵晓菲

责任校对: 李美娜 关 健

工程管理年刊 2014

中国建筑学会工程管理研究分会
《工程管理年刊》编委会 编

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 880×1230 毫米 1/16 印张: 11 字数: 308 千字

2014 年 8 月第一版 2014 年 8 月第一次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978-7-112-17127-9
(25910)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《工程管理年刊》编委会

编委会主任：丁烈云

编委会委员：（按姓氏笔画排序）

王广斌 王建平 王孟钧 方东平

邓铁军 田振郁 包晓春 冯桂烜

孙继德 李启明 杨卫东 余立佐

沈元勤 张文龄 张守健 陈宇彤

陈兴汉 武永祥 罗福周 庞永师

骆汉宾 顾勇新 徐友全 徐兴中

龚花强 谢勇成

顾 问：丁士昭 崔起鸾 杨春宁

前 言

随着计算机、网络、通讯等技术的发展，信息技术在工程建设领域的发展突飞猛进。其中以 BIM 为代表的技术，成为从 20 世纪 60 年代开始的各类信息技术努力的集大成者。建筑信息模型 (BIM) 可以从 Building、Information、Model 三个方面去解释。Building 代表的是 BIM 的行业属性，BIM 服务的对象主要是建设行业；Information 是 BIM 的灵魂，BIM 的核心是创建建设产品的数字化设计信息，基于此能为工程实施的各个阶段、各个参与方的建设活动提供各种与建设产品相关的信息，包括几何信息、物理信息、功能信息、价格信息等；Model 是 BIM 的信息创建和存储形式，BIM 中的信息是以数字模型的形式创建和存储的，具有三维、数字化、面向对象等特征。

正如信息技术深刻改变着其他传统产业的生产方式一样，BIM 技术正改变着当前工程建设与管理的模式。以 BIM 为代表的信息技术推动工程建造模式转向以全面数字化为特征的数字建造模式。BIM 技术对工程建造过程的支持体现为下面两个重要方面：一方面，BIM 技术降低了工程建造各阶段的信息损失，成为解决信息孤岛问题的重要支撑。事实上，BIM 本身就是一个集成了建造、施工过程中的各个阶段、各个参与主体、各个业务系统的集成化技术。BIM 可以理解为一个连接各个信息孤岛之间的桥梁，从根本上解决建筑生命期各阶段和各专业系统间的信息断层难题。另一方面，BIM 技术成为支撑工程施工中的深化设计、预制加工、安装等主要环节的关键技术。越来越多的工程项目开始采用 BIM 技术，并在工程实践中取得了显著的效果。

从工程项目全寿命周期的角度，BIM 技术也日益显示出巨大的价值。传统方式下，设计、施工、运营各阶段“抛过墙”式的信息传递已不能适应当前工程建设与管理的发展要求。BIM 自身具有的信息集成的特性使得工程项目各阶段能够共享信息，创造出更多、更高效的工程应用，服务于各参与方，满足更加智慧、绿色的建筑需要。

在工程建设与管理实践中，以 BIM 为代表的信息技术方兴未艾，无论是从事管理、技术还是教育、科研的业界人士都应重视新技术对传统产业带来的深刻变化。中国建筑学会工程管理研究分会以提高我国建筑业的科学管理水平作为宗旨，自成立以来就始终面向工程管理前沿问题，致力于为工程管理专业领域从事生产、科研、教学的单位和个人打造沟通、交流的平台。自 2003 年以来，工程管理研究分会每年组织一次学术年会，出版一本论文集（2011 年起创办《工程管理年刊》）。这“一会一刊”，目前已经成为我国最具影响力的工程管理专业学术会议和刊物之一，为广大与会人士提供了具有广泛影响的学术论坛和发表最新学术成果、获取学科前沿信息的良好机会，为推动我国建筑业管理水平的提高作出了贡献。

工程管理研究分会将紧跟科学发展的步伐，跟踪工程建设、管理前沿问题，特别将“BIM：工程管理的变革与创新”确定为今年《工程管理年刊》的主题，希望能够对推动信息技术在工程建设与管理领域的研究和应用发挥应有的作用。

目 录

Contents

前沿动态

- 2002~2012年 BIM 领域研究现状与演化趋势分析
..... 王广斌 杨 洋 聂 珂 范美燕 沈慧敏 (3)
- 建设工程领域安全科学研究前沿
..... 陈文艳 张守健 魏静静 (15)
- 基于 BIM 的建筑全生命周期安全管理研究
..... 郭红领 管骊然 (21)
- 基于 BIM 的工程质量管理国外研究现状综述
..... 高志利 祝连波 (28)

行业发展

- 建筑业上市公司财务质量分析与评价
..... 王孟钧 李香花 杨艳会 (35)
- 基于 BIM 技术的工程管理专业核心能力培养研究
..... 骆汉宾 孙 峻 周 迎 (44)
- BIM 课程设计与教学经验分享
..... 谢尚贤 (56)

海外巡览

- BIM 在全球建筑业应用现状
..... 寿文池 汪 军 王翔宇 杨 宇 (65)

典型案例

- 新市镇开发建设项目策划理念创新与实践
——以京南新市镇项目为例
..... 徐友全 孙继德 吴则友 张 园 (79)
- 地铁车站施工 7D 模型研究及应用
..... 林兴贵 饶 阳 杨宜衡 周 迎 (85)

IPD 模式下基于 BIM 的电子看板管理研究及应用	郭俊礼	(93)
基于 BIM 的建筑物施工阶段碳排放测算研究及实例分析	李 兵	(108)
BIM 技术在某项目数字档案管理中的应用	赵灵敏 陈欣欣 张 秦 纪凡荣	(115)
基于云技术的建筑群项目 BIM 集成应用研究	魏 然 徐 捷 彭 雷	(120)
BIM 应用路径分析	赵雪锋	(134)
基于 BIM 的石化装置预制检修研究与应用	雍瑞生	(140)

专业书架

行业报告	(155)
城镇化发展	(157)
BIM 与信息化	(159)
工程管理	(161)
企业管理	(163)
工程法律	(165)
房地产开发与经营	(167)



前沿动态

Frontier & Trend



2002~2012年BIM领域研究现状与演化趋势分析

王广斌 杨洋 聂珂 范美燕 沈慧敏

(同济大学经济与管理学院, 上海 200092)

【摘要】 BIM技术被公认为是解决建筑业生产效率低下问题的有效措施之一。BIM相关研究已引起学术界的广泛兴趣, 主题广泛但缺乏系统梳理。以SCI数据库及ITCon、CME两本期刊中2002~2012年收录或发表的317篇BIM相关文献为研究对象, 运用引文网络分析、共词分析等文献计量学分析方法, 分析了BIM研究的地区分布、进展状况、经典文献、流派构成、研究热点以及未来趋势等, 对BIM领域的理论研究及应用实践均具有重要意义。

【关键词】 BIM; 文献计量学; 引文分析; 共词分析; 演化趋势

Analysis of Research Status and Evolution Trend in BIM Field from 2002 to 2012

Wang Guangbin Yang Yang Nie Ke Fan Meiyan Shen Huimin

(School of Economic and Management, Tongji University, Shanghai 200092)

【Abstract】 BIM has been recognized as one of the effective measures to improve the productivity in AEC industry and became the focus of researchers. But it has a wide range of topics and lack of systematic carding. Taking the 317 BIM-related papers retrieved from SCI database and another two international journals ITCon and CME as data source, this paper used the bibliometrics methods including citation network analysis and co-word analysis to analyze the regional distribution, progress, classic literatures, communities, hotspots and future trends of BIM-related research. And it will be of great significance to the theory research and practical applications in BIM field.

【Key Words】 BIM; bibliometrics; citation analysis; co-word analysis; evolution trend

1 引言

与制造业、航空航天业、汽车行业等传统工业相比, 建筑业一直被认为是科技水平不高、生产效

率低下、行业利益干系人的多元化和各自为利、建设流程的复杂和不连续性、信息知识管理的低效率、新兴技术采纳的相对滞后, 以及创新扩散速率的低下等问题是一直以来阻碍建筑业发展的主

要原因^[1~3]。目前,建筑行业正处于技术和制度变革的过渡时期,而实现变革的重要工具之一即是信息技术的应用^[4]。BIM(Building Information Modeling)已经被广泛接受,并被公认为是有效解决这一问题的工具,如美国国家科学院(The National Academies)提出 BIM 这一互操作技术的广泛应用是解决建筑业上述问题的五个有效措施之一^[2]。

BIM 这一概念于 2002 年被正式提出^[5],尽管近十年来与 BIM 相关的研究得到了高度重视并快速发展,但由于其产生时间较短,而涵盖的主体、内容和方法又非常广泛,目前的研究成果在研究视角、概念界定、方法应用、研究主题等方面普遍存在明显的差异。从学科发展的角度看,如果能够对本领域已有的研究成果进行全面整理,对相关研究主题、方法、视角进行归纳分类,并对其中具有重要贡献的关键节点文献进行总结,将对把握未来研究方向、提升本学科的研究质量具有重要的意义。针对这一目标,本文引入文献计量学方法,结合对经典文献的内容分析,对 2002~2012 年主流期刊中 BIM 相关研究成果进行系统的研究综述。

2 BIM 研究的兴起与发展

关于 BIM 的概念,目前认可度较高的是由美国国家 BIM 标准(NBIMS)所提出,即 BIM 是对设施物理和功能性特征的一种数字化表征;是一个共享的知识资源,是一个分享有关这个设施的信息,为该设施从概念到拆除的全生命周期中的所有决策提供可靠依据的过程;在项目的不同阶段,不同利益相关方通过在 BIM 中插入、提取、更新和修改信息,以支持和反映其各自职责的协同作业^[6]。1975 年,Chuck Eastman 教授在 AIA Journal 上发表的文章中首次提出了“Building Description System”的工作原型^[7]。这是目前有记载的、公认的最早关于 BIM 概念的描述。

20 世纪 80 年代,随着对 BIM 概念的进一步认识,研究逐步开始讨论相关实施技术,包括三维建模、自动成图、智能参数化组件、关系数据库、实施施工进度计划模拟等。20 世纪 90 年代,BIM 研究的发展在全球范围得到广泛的认可,1992 年

出现了最早的英文版本“Building Information Model”一词,由 G. A van Nederveen 和 F. Tolman 在论文中提出^[8]。此时,数据交互的问题已经被提出,1996 年,IAI(Industry Alliance for Interoperability)与时俱进地提出了面向对象的三维建筑产品数据标准——IFC(Industry Foundation Classes)标准^[9]。但因受制于计算机技术的发展,这一阶段的 BIM 研究仅停留于学术范畴内。

2000 年以后,BIM 相关软件得到了长足的发展,最为知名的有 ArchiCAD、Autodesk Revit、Bentley BIM 等。特别是 2002 年,Autodesk 公司首次将 BIM 一词应用于商业推广,这些模型生成工具与同时期的理论研究起到了相辅相成的作用,使 BIM 研究向实际应用的推广迈出了一大步。此外,BIM 研究在欧洲和北美以外的国家和地区也开始兴起。

2002~2008 年间,前几年理论研究仍集中于建模技术的发展。由于对生产流程的关注,逐渐出现对施工现场 BIM 的研究,其中包括自动识别技术,3D 激光扫描技术等。而数据交换的问题仍作为研究重点在持续被关注,在 2004 年,美国基于 IFC 标准编制了国家 BIM 标准——NBIMS(National Building Information Model Standard)。到了后期,则开始出现集成化、生产流程、组织沟通以及绩效评价的研究,呈现出百花齐放的态势。

2008 年至今,BIM 研究和应用在全球范围内都迎来了爆炸式的增长。BIM 应用在建筑师或设计单位中已日趋成熟,其研究的重要性也日益凸显,成为建设工程领域的研究热点之一。BIM 研究的内容和分支也详细复杂,不仅有对数据交换问题等难题的持续研究,也出现了对施工现场、后期运维、效益评价和可持续建筑发展等探讨的研究,包括 RFID 技术的采用、远程机械操作空间模拟、自动识别技术、激光扫描技术的实际应用等。与此同时,新加坡、日本、英国、挪威、澳大利亚、韩国和我国等各个国家纷纷制定了各自的行业数据交换标准,以完善推广 BIM 的业内应用。

综上所述,可见 BIM 研究的重要性日益凸显,逐渐成为研究热点。尤其是近十多年来, BIM 研究呈现出百花齐放的态势,形成了丰富的研究内容和分支。因此,在这样的宏观环境下,对近十年来 BIM 研究的领域、发展脉络和流派进行系统的梳理非常有意义,不仅对 BIM 理论研究有着重要的指导意义,也对 BIM 应用实践提供了前瞻性的指导。

3 研究方法与数据来源

3.1 研究方法

对某一学科的研究文献进行系统分析,一般包括定性分析和定量分析两种视角。前者的重心在于对文献内容的分析和比较,一般由研究人员通过对经典文献的内容分析,深入分析相关研究的演进脉络,并对其认为经典的文献进行内容比较与综述。后者则是运用文献计量学方法,侧重于通过量化指标对该领域全部文献的整体分布和个体特征进行计算和分析,如运用经典的引文网络方法,通过绘制与分析文献的引用网络、共被引网络以及关键词关联网络等,对文献的关注度、子领域的划分以及交叉关系、研究热点的演进等进行客观、精确的研究。

为能够全面展示 BIM 相关研究的发展现状和趋势,本文将综合运用上述两种视角。即首先运用定量研究,通过对相关文献数据的量化分析,发现该领域研究的结构性特征和关键节点;然后根据 BIM 研究特点和规律,对其进行定性解读与修正,最终对 BIM 研究的进展状况、经典文献、流派构成、研究热点以及未来趋势等问题给出尽可能客观、深入的阐释。

3.2 数据来源

为能够全面、客观地反映十年来 BIM 领域的研究进展与成果,本文以权威 Web of Science (SCI)-Expanded 学术数据库为主要检索平台;并根据工程管理领域若干文献综述所选取的重要期刊^[10,11],补充了两本未被 SCI 收录但被 EI 收录且

在 BIM 及项目管理领域受到重视的期刊 *Journal of Information Technology in Construction (IT-Con)* 及 *Construction Management and Economics (CME)*, 以尽量确保文献综述数据来源的权威性与完整性。本研究首先以“BIM”、“building information model *”、“4D”、“four dimension *”、“nD”、“n dimension *”、“building product model”、“VDC”、“virtual design and construction”、“project simulation”、“digital building”、“project visualization”等 12 个关键词,对 2002~2012 年发表的文献进行主题检索,得到 21548 篇文献。然后选取“computer science interdisciplinary application”、“engineering civil”、“construction building technology”、“Business management”、“computer science information systems”、“computer science software engineering”等相关学科精炼检索结果得到 1141 篇文献。接着通过人工识别来进一步删除不相关文献,逐一阅读摘要与结论来判断某篇文献是否属于 BIM 研究范围,最终确定了 317 篇相关文献。对这 317 篇文献进行编码(源自 SCI 的文献编码为 A 类;其余的文献编码为 B 类),收集其标题、来源期刊、发表年份、作者、关键词、施引文献和引用文献等信息用于定量分析。

4 整体研究趋势

基于前述文献样本,本文首先对 2002~2012 年间 BIM 文献的数量变化进行了统计,并以 9 本影响因子较高的 SCI 源刊为例,计算了 BIM 文献在这些期刊上的比例变化,统计结果如图 1 所示。可以看出, BIM 相关研究在过去 11 年间整体处于起步阶段,文献总量整体较低(在样本集中,平均每年 29 篇)。但是其增长非常稳定和显著,无论文献数量还是在所占比重,都增长了 5 倍以上,在建设工程领域主流学术期刊中的地位正稳步提升。

为进一步揭示 BIM 研究的分布特点,本文又对样本集全部文献的来源国别和来源期刊进行了分类汇总,图 2 展示了样本文献的洲际分布和文献数量前十名的地区分布。从图 2 中可以看到, BIM

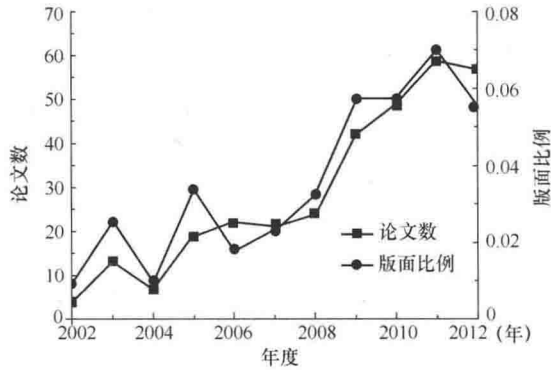


图1 2002~2012年BIM文献数量及在相关期刊中版面比例

研究主要来源于北美洲和欧洲地区，其中美国的相关研究数量遥遥领先；但是韩国、中国香港等亚洲地区同样显示出了在该领域的强劲研究实力，超过了大多数欧美国家，而中国大陆在顶级期刊文献发表数量较少，未能上榜。

图3列示了2002~2012年间发表BIM文献最多的9本期刊，其各年份发表数量在当年全部BIM文献中的比例。可以看到，Automation in Costruction 始终是BIM研究领域最主要的文献来源之一。

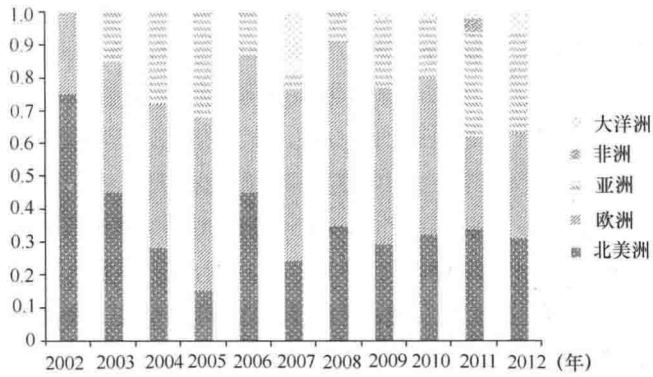


图2 2002~2012年各地区发表BIM文献数量

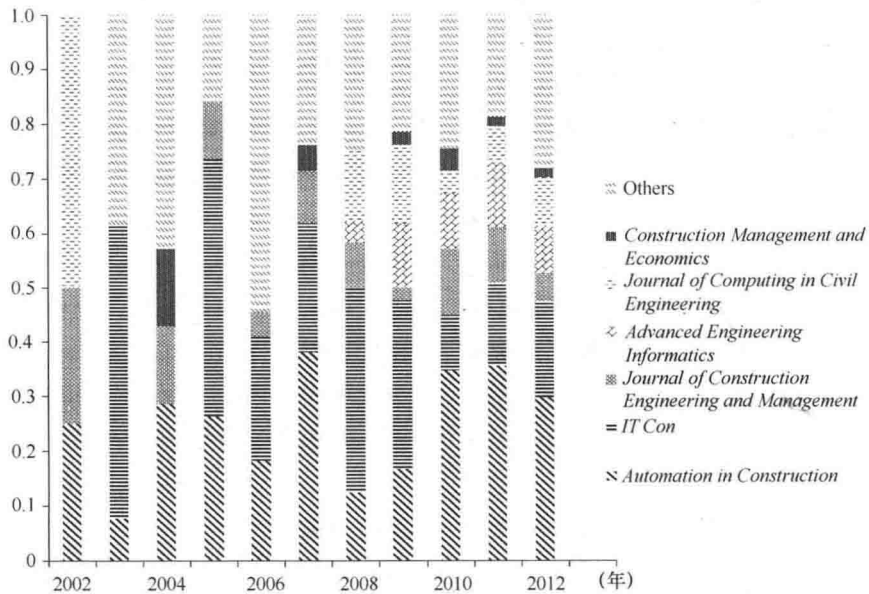


图3 2002~2012年各主要期刊发表BIM文献的比例

5 引文网络分析

为能够更加深入的分析 BIM 研究领域的关键节点文献、研究主题等内容,本文引入了文献计量学中的引文网络分析方法。所谓引文网络,就是以文献之间互相引用和被引用的关系集合为基础,所构建的多种形式的复杂网络系统,其形式主要包括引用网络与共被引网络等。

5.1 引用网络与关键节点文献分析

引用网络是最常见的引文网络形式,即以文献为节点、以文献间的引用关系为边。如果文献 A 引用了文献 B,则在引用网络中,节点 A 到节点 B 之间存在一条有向边。由于能够直观地反映文献的引用数量与分布,因此常被应用于评价学科内的知识交流活跃程度、衡量各文献的贡献并发现经典文献(关键节点)等。

以小节 3 中所述的数据集(共 317 篇)为基础,本文对每篇文章所附参考文献的列表进行了提取,并滤除了其中对本数据集之外文献的引用,发现互相存在引用关系的文献共计 215 篇。以此构建引用网络,如图 4 所示。

通过统计得出,该引用关系网络引用密度(即实际边数与最大可能边数之比)为 0.009976,相对于其他学科略低。这说明目前 BIM 领域的相关研究视角分散、研究者间的交流频度仍然较低,表明该学科仍处于起步阶段,体系尚未健全完善。

考察引用网络的重要目标之一,就是根据引用关系衡量各篇文献对该学科发展的贡献,对此,本文选择了入度排名和 PageRank 排名两种常用算法。所谓入度排名,即根据文献的被引用数(表现为图 4 中指向某一节点的有向边的数量,即“入度”),评价各篇文献所受的关注度高低,作为衡量其价值的量化指标。PageRank 方法则是采用类似网络搜索引擎排名的方式,将每篇文献视作一个网页、文献引用关系视作网页链接,然后通过改进的 PageRank 算法进行迭代计算,其特点在于,如果一篇文献被其他重要文献引用,则该文献自身的重要性也会增加。针对所采集的全部 BIM 文献数据,本文采用上述两种方法分别进行了计算和排名,发现应用每种方法所得的文献排名基本相同。因此选择综合排名靠前的 12 篇文献简要列示于表 1,供学者参考。

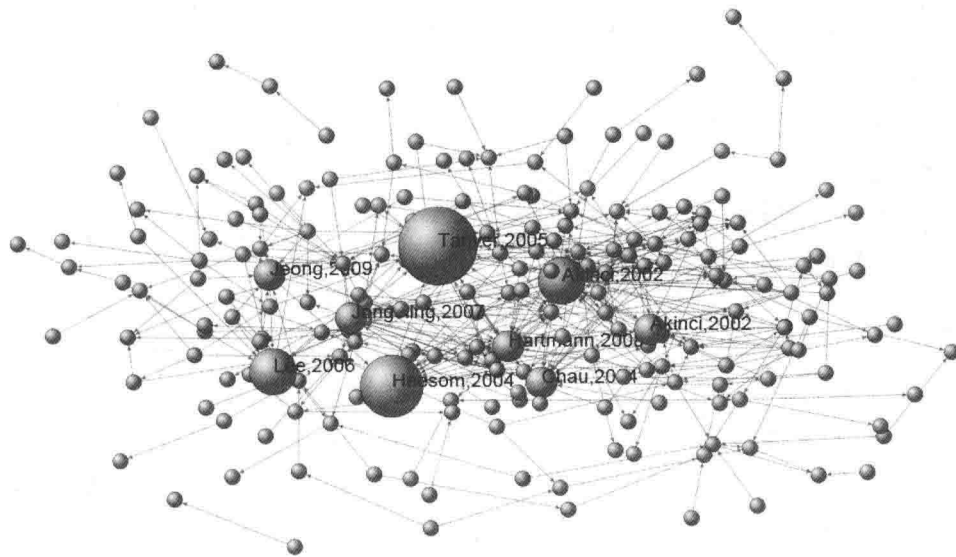


图 4 BIM 文献的引用关系网络

按入度和 PageRank 排名的重要 BIM 文献

表 1

文献编码	发表年份	第一作者	文献标题	入度排名	PR 排名	欧氏距离
A213	2002a	Akinci	Automated generation of work spaces required by construction activities	2	3	3.61
B095	2004	Heesom	Trends of 4D CAD applications for construction planning	5	4	6.40
A198	2005	Tanyer	Moving beyond the fourth dimension with an IFC-based single project database	8	2	8.25
A167	2007	Jongeling	A method for planning of work-flow by combined use of location-based scheduling and 4D CAD	1	9	9.06
A147	2008	Hartmann	Areas of application for 3D and 4D models on construction projects	2	12	12.17
A174	2006	Lee	Specifying parametric building object behavior (BOB) for a building information modeling system	13	5	13.93
A214	2002b	Akinci	Formalization and automation of time-space conflict analysis	8	10	12.81
A202	2004	Chau	Four-dimensional visualization of construction scheduling and site utilization	5	13	13.93
A129	2009	Jeong	Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete	10	11	14.87
A171	2007	Hartmann	Supporting the constructability review with 3D/4D models	5	17	17.72
A131	2009	Succar	Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders	4	18	18.44
A210	2003	Dawood	Development of an integrated information resource base for 4D/VR construction processes simulation	13	14	19.10

综观关键节点文献及其重要的施引文献, 深入挖掘这些经典文献的主要特点或贡献, 可以绘制 BIM 研究关键节点及其演进路径, 如图 5, 其中“*”表示属于 4D 技术研究的文献, 序号表示排名。以时间为序举例, Akinci 等发表了两篇施工空间与冲突分类分析的开创性文献^{[12][13]}; Jongeling 等开创性提出在 4D 技术中用 location-based 代替 activity-based 的进度计划方法^[19]; Hartmann 等首次提供了 3D/4D 技术应用领域及目的清单^[21]; Jeong 等证明了 IFC 是最有效的 BIM 数据交换格式但仍需标准和手册^[22]。图 5 表明, BIM 应用领域由单一拓展到综合应用, BIM 研究视角从技术拓宽到组织与管理视角, BIM 研究热点从技术改进延伸到数据交换格式与标准制定。

5.2 共被引网络与社团流派分布

引文分析的另一个重要工具是共被引网络, 即以文献为节点、以文献间的“共被引”关系为边所构造的加权无向网络。所谓“共被引”, 即当两篇文献 A、B 同时被文献 C 引用时, 则称 A 与 B 之间存在一个共被引关系, 在网络中表现为一条权重为 1 的无向边; 如果 A 与 B 同时被 n 篇文献引用过, 则将 A 与 B 之间的无向边权重设置为 n 。共被引关系一般说明两篇文献之间存在着共同的主题、方法或视角, 因而会被其他文献同时引用。所以共被引网络常被用于发现一个大研究领域内的不同流派或研究主题。

通过对所采集的 BIM 文献数据集进行整理,

共计发现 124 篇文献之间存在 959 个共被引关系，进而构建图 6 所示的共被引网络，并将边的权重体现为线条宽度。

基于图 6 所示的共被引网络，应用网络社团发现算法 fast-greedy 方法，将其划分为 6 个社团(聚

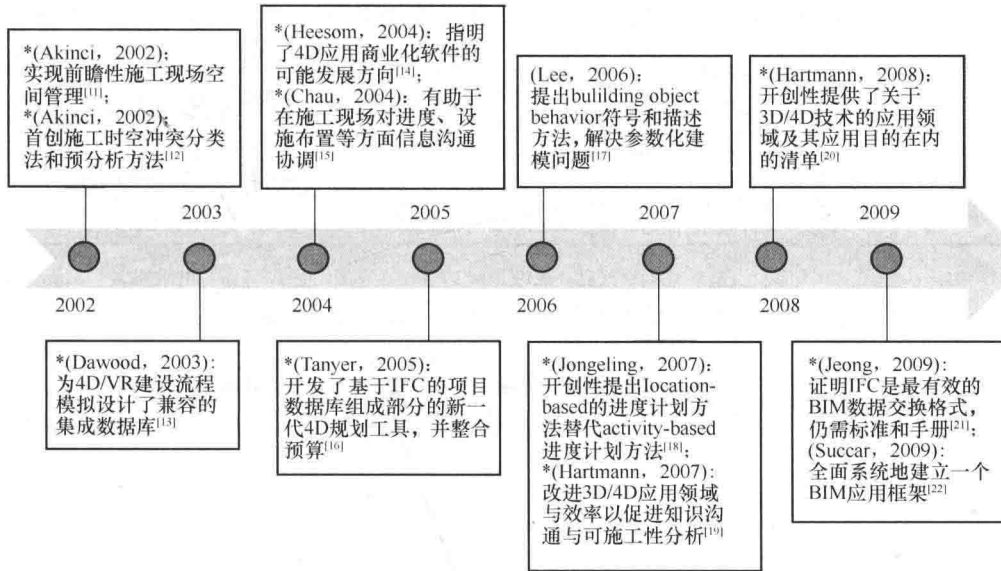


图 5 BIM 研究关键节点文献贡献及其演进

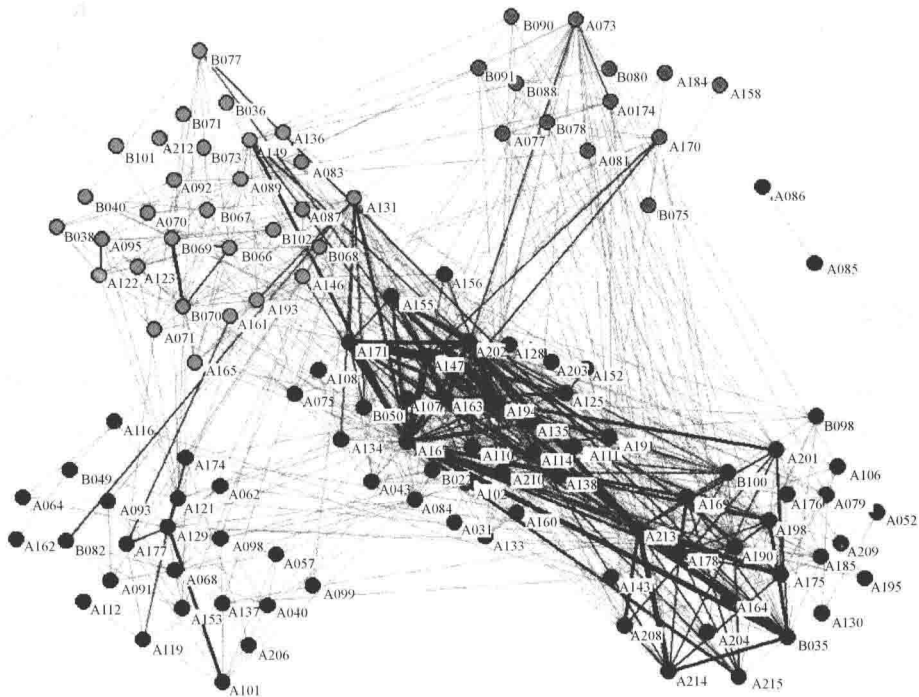


图 6 BIM 文献的共被引网络

类)，每个聚类内部的关联密度都显著高于网络整体，因而可以被用作划分研究主题或流派的参考数据。基于这一定量数据，结合阅读与内容分析，将

当前的 BIM 社团流派划分为 5 个主题，如表 2 所示。

进一步分析各文献第一作者与署名作者后，发

现目前国际上著名的 BIM 研究团队主要有：Stanford 大学的 CIFE 团队，以 Levitt, Martin 为代表，包括 Timo, Akinici, Calvin 等知名学者；佐治亚理工大学的团队，以 Eastman 为代表；以色列大学的团队，以 Sacks 为代表；另外还有香港理工大学的 Chau，清华大学的 Zhang 以及韩国的

Kim。从全球范围来看，美国仍然是 BIM 研究的最重要基地，Stanford 大学的学者已深入世界各地开展 BIM 的研究与推广，他们与全球多个高校都有合作研究，而 Eastman 与 Sacks 合作较为紧密，共同发表了多篇文献，德国、韩国 BIM 研究自称一系，中国内地与香港的合作联系比较多。

BIM 研究社团流派分析

表 2

编号	社团流派	文献数量	内容与特点	代表作者
1	基于 3D/4D 的基础性应用	31	基于 3D/4D 研究，探讨 BIM 的基础性应用，是 BIM 研究网络的中心，与其他社团的连接性都较高，是其他各类社团流派的借鉴	Hartmann, Timo; Jongeling, Rogier
2	应用框架与案例实践	30	占据整个网络中的上支角，主要围绕 BIM 应用框架和案例研究展开，与基于 3D/4D 的基础研究联系紧密，同时也涉及全生命周期及数据交换角度	Sacks, Rafael
3	技术结合	25	主要关注 BIM 技术与其他技术(如 GIS、RFID 等)的结合，因此与其他非中心流派相比与基于 3D/4D 的基础研究的联系最紧密	Bansal, V. K
4	互操作性	23	文献数量相对中等，社团内重点关注互操作性问题，因互操作性问题基于技术基础，源于实践困难，最终又服务于应用，故与 4D 研究、应用实践的联系较为紧密	Eastman, C. M.
5	其他	13	文献数量为五个流派中最少，但关注的范围广泛，包括结构安全(代表文献所提)、可持续建设、nD 应用的拓展以及跨组织关系，是近年来兴起的研究热点与未来的研究方向	—

6 基于关键词的研究热点分析

通过前述共被引网络分析，可以揭示出当前 BIM 研究领域的整体主题分布，但却无法展示更为细节的研究热点变化。而关键词共现网络分析和关键词突现检测，是目前分析学科研究热点的主流方法。

6.1 关键词共现与重要性排名

首先，对样本中全部 317 篇文献的关键词进行了分类整理，将相近关键词(如 BIM 与 Building Information Modeling)合并，最终得到 481 个关键词。如果两个关键词同时出现于同一篇文献的关键词列表，则这两个关键词之间存在一个“共现”关系，依此可以构建关键词共现网络。为便于展示，

选取 60 个高频关键词并绘制其加权共现网络(如图 7 所示)。高频词阈值的选择依据 Donohue 于 1973 年提出的高频词低频词界分公式： $T = (-1 + \sqrt{1 + 8I_1/2})^{[8]}$ 计算得出，数值为 5。

点的度数中心度是衡量各个节点中心性的指标，可以反映一个节点与其他节点相连情况，如果一个点与许多节点直接相连，说明该点具有较高的度数中心度。点的度数中心度包括绝对中心度和相对中心度，后者是前者的标准化形式。各关键词相对中心度如表 3 所示，分析显示点的度数中心度排名前十位的关键词分别是 BIM、4D、3D、construction management、CAD、building product model、interoperability、integration、visualization、design process，根据关键词共现网络中节点的大小亦能看出。