

普通高等教育“十三五”规划教材

数字建筑与增强打印技术



徐欣 编著



长江出版传媒
湖北科学技术出版社

数字建筑 与增强打印技术

徐欣 著

 长江出版传媒
 湖北科学技术出版社

图书在版编目 (C I P) 数据

数字建筑与增强打印技术 / 徐欣著. -- 武汉 : 湖北科学技术出版社, 2015. 7
ISBN 978-7-5352-8157-9

I. ①数… II. ①徐… III. ①数字技术—应用—建筑设计—研究 IV. ①TU201.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第178896号

策 划: 王珊珊

责任校对: 谭紫实

责任编辑: 刘玲 赵静

封面设计: 王梅 马巧娜

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027-87679468

地 址: 武汉市雄楚大街268号

邮编: 430070

(湖北出版文化城B座13-14层)

网 址: <http://www.hbstp.com.cn>

印 刷: 北京华忠兴业印刷有限公司

邮编: 102209

督 印: 焦帅

787×1092 1/32

印张 9.5

0插图

181千字

2015年7月第1版

2015年7月第1次印刷

印 数: 1—2000

定价: 33.00

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

摘 要

BIM 通过参数化实体造型技术使计算机可以表达真实建筑所具有的信息，在设计施工的综合数字环境中保持信息不断更新并可提供访问，及时反应出变化的过程，深刻地改变建筑物的运作方式与建造的方式。我国 BIM 的一系列标准要包括投资与开发方、策划师、建筑师、工程师、造价师、施工总包、施工分包、预制构件商、供货商、咨询师、估价师、银行、律师、建设管理部门、物业管理方、改建、扩建、拆除等不同利益相关方提供相关数据与协同工作技术。国外“BIM”软件应该按照我国专业及 BIM 标准进行改造，形成 P-BIM 软件。模型整体结构宜分为任务信息模型以及共性的资源数据、基础模型元素、专业模型元素四个层次。P-BIM 软件的主要特点就在于其与专业技术与管理工作的紧密结合，保证工程技术数据的正确性，具有查验模型是否符合任务所涉及相关工程建设标准及其强制性条文的功能。BIM 软件的选择应与企业的发展战略和信息化技术发展需要高度契合，施工企业为竞争优势会深入发掘 BIM 的功能。

全 IP 网络架构的物联网集智能传感网、智能控制网、智能安全网的特性于一体，真正做到将识别、定位、跟踪、监控、管理等智能化。通过超级计算机和云计算将物联网整合起来，实现网上数字地球、数字建筑与人类社会和物理系统的整合。在此基础上，人类可以以更加精细和动态的方式管理建筑活动，从而达到“智慧”状态。复杂流动网络、多重分形、多智能体系统、细胞自动机等模型系统为建筑生成设计提供了大量与生成设计相关的建模方法。数字技术是建筑环境、功能、空间、建模技术及建造控制之间的粘合媒介和工具。社会大数据计算将人机交互设定成为一个社会实践的环境，使用系统科学、人工智能、数据挖掘等科学计算理论作为研究方法，可为人类更深入地认识建筑使用人的社会问题，为人类发现

建筑价值提供了更多的机会。

增强现实 (AR) 可通过传感技术将虚拟建筑对象准确地“放置”在真实场地环境中，使其融为一体，为用户呈现一个感官效果真实的新环境。技术上需在按照用户的角度重新建立坐标，将获取的视频图像进行视觉图像检测，解析出标示，再将虚拟建筑显示到场景中。丰富的网络大数据可以为增强现实应用提供源源不断的实时更新的内容。打印建筑以 BIM 为蓝本，通过软件分层离散和建筑微纳米数控机器人，利用激光束、热熔喷嘴等方式将建筑打印材料进行逐层堆积黏结，最终叠加成型，制造出建筑实体产品。

关键词：BIM；智慧地球；物联网；复杂系统；AR；打印建筑

Abstract

BIM allows the computer to express the information of real building by parameters of solid modeling technology, keeps constantly updated information and can provide access in the design and construction of integrated digital environment, timely responses to the changes of process and profoundly changes the mode of operation of the buildings and their construction. A series of standards of our BIM provide relevant data and collaborative work technology to different interest related parties include investment and development, planning designers, architects, engineers, cost engineers, construction general contractor, construction subcontracting, precast concrete manufacturers, suppliers, consultants, appraisers, banks, lawyers, construction management department, property management, reconstruction, expansion, and dismantling. Foreign BIM software should be transformed in accordance with our country's professional standards of BIM, so they form P-BIM software. The overall structure of the model should be divided into four levels: the task information model and the common resource data, the basic model element and the professional model element. The main features of P-BIM is their combining with professional technology and management work closely, ensure the correctness of the engineering data. P-BIM has the function to inspect model meeting the mission involved in the related engineering construction standards and the mandatory provisions. The choice of BIM software should be highly fit for the development strategy and information technology, and the construction enterprise will further explore the function of BIM for the competitive advantage.

The whole IP network architecture is integrated with the characteristics of intelligent sensor network, intelligent control network, intelligent security network.

Internet of things can be intelligent, such as recognition, localization, tracking, monitoring, management and so on, integrat online digital earth, digital architecture and human social and physical systems through the supercomputer and cloud computing. On the basis of this, human beings can manage the building activity in a more precise and dynamic way, so as to achieve the "wisdom" state. Complex mobile networks, multifractal, multi-agent system, cellular automata and other model systems provide a lot of modeling methods for building generating design. Digital technology is the adhesion medium and tool between architectural environment, function, space, modeling technology and construction controlling. Social big data to calculate the human-computer interaction is set to become a social practice, using system science, artificial intelligence, data mining and other calculation theory as a research method, provide more opportunities for human in-depth understanding of construction user's social problems to founding building values.

Enhanced reality (AR) "placed" virtual building objects accurately in the real field environment by sensing technology, make them a whole, present a real sensory effect of new environment for the user. The technology needs to reestablish the coordinates according to the user's angle. The acquired video images can be detected by the visual image, then resolve the marking, so the virtual architecture is displayed to the scene. Rich network data can provide a steady stream of real-time updates for AR applications. Printing architecture is modeled by layered software discrete and building micro nano CNC robot based BIM. Using a laser beam and hot melt nozzle, printing building material stack layer by layer, form final stack molding, create a building entity products.

KEY WORDS : BIM; Intelligent Earth; Internet of Things; Complex System; AR; Print Architecture

绪 论

目前，建筑界正在发生着数字技术的创新，掌握这一技术的建筑工作者催生中国建筑的未来。随着数字技术工具的深入开发，有必要在大数据时代系统地研究新的建筑设计和施工观念。在非线性的建筑世界里，建筑物、建筑周边的自然及人文环境以及使用建筑的人是三位一体的，以动态及变化的观点看待环境及人的活动，把建筑塑造成为环境影响及人的行为要求的物质实体。线性关系只是对少数简单非线性自然现象的一种理论近似，“非线性”才是自然界的真实特征。非线性建筑观念则是以非线性科学的态度和方法处理建筑设计和施工问题。

采用参数化设计及软件生成方法越来越成为潮流。参数化设计把建筑设计参变量化，即建筑设计是受参变量控制的，每个参变量控制或表明设计结果的某种重要性质，改变参变量的值会改变设计结果。把影响设计的主要因素看成参变量，也就是把设计要求看成参数，并找到某种规则或关系把某些设计要求结合在一起，随着设计要求的变化，设计结果也呈现出多种结果，由于最终的建筑建造只要求一个设计结果，因而，设计过程又是一个求最优值的过程。在参数化设计过程中，最重要的技术环节在于如何把设计要求通过规则或关系转化成形态，以此形态作为设计结果，这一技术环节就是软件生成法，软件生成主要取决于算法及程序，算法明确表现了建筑师选取建筑形态的原因，因而建筑设计的过程更合理更科学。

在数字建构上，中国新一代建筑工作者使建筑设计从作为意识形态的工具还原到作为解决基本建造问题的过程。数字建构包含在计算机内通过算法生成形体，通过增强现实技术表现，再依靠建筑机器人打印加工构件甚至是整个建筑。它具有如下特点：（1）建筑形体最大程度地表现了自身结构逻辑及材料构造逻辑；（2）以生成形体的内部逻辑系统作为结构及构造的基础逻辑；（3）设计、表现、建造

依靠软件技术及建筑机器人。在今天，生成设计已经越来越多地被运用于建筑设计的过程之中，由于它的开放性和包容力，能够将千变万化的设计目标融合到建筑之中，因此，非线性建筑往往也像自然界一样显示出复杂多变的形态。如果不是因为身处数字时代，这类复杂建筑的形态将意味着巨大的成本和技术难度。除了手工时代，人们似乎从来没有像今天一样乐于并且能够设计和建造复杂的建筑。

数字时代的技术特点——数字技术的介入导致非标准的大规模生产成为现实，已经改变了建筑的分析、设计到建造的方式。BIM 是一个国家大力推广的生产方式，因为 BIM 已从工业和信息产业中吸取了丰富的经验，正为建筑行业彻底实现工业化铺平了道路。建设行业当前优先发展数字化建造新技术，从数控机床到 3D 打印机、激光切割和各类机器人的使用。新技术对施工工艺有了更大程度的控制，并保证其精确度，开创了一系列施工新法的先河。

在数字化技术正以前所未有之势使建设行业发生巨大转型这一时代背景下，本书系统地介绍了数字建筑与增强打印技术的基础知识，供土木建筑相关专业技术人员参考使用，在编写过程中，参考引用了大量国内外优秀研究成果，主要参考文献见书后，如[7]被 2.1~2.5、3.3、3.4 引用；[8]被 1.3 引用；[13]被 4.1 引用；[14]被 4.2 引用；[18]被 4.3 引用；[20]被 4.4、4.5 引用；[21]被 5.1~5.3 引用；[22]被 5.4 引用；[23]被 5.5 引用；[24]被 6.3 引用；[25]被 6.8 引用；[25]被 6.8 引用；[31]被 3.1 引用；[32]被 3.2 引用。在此向写出这些文献的卓越学者表示衷心的感谢和崇高的敬意！

由于数字设计和建造还在不断发展，本书观点和方法难免有失偏颇，还望读者批评指正。对于每章思考引申出的问题，欢迎读者进行探讨。

目 录

第一章 数字地球中的建筑信息模型 / 1

1.1 对 BIM 的初步认识	2
1.2 国内 BIM 典型案例	15
1.3 与数字建筑密切相关的数字地球	25

第二章 数字建筑的构建 / 47

2.1 建筑对象的构建	48
2.2 数字建构的等级	50
2.3 数字建构的特征	56
2.4 数字架构	59
2.5 数据的交换	70

第三章 数字建筑的实施 / 87

3.1 国家层面 BIM 的实施	87
3.2 BIM 在地方的实施	110
3.3 数字建筑的参与者	120

3.4 BIM 的愿景	147
-------------------	-----

第四章 非线性建筑原理 / 164

4.1 建筑生成设计	164
4.2 元胞自动机	170
4.3 社会计算	181
4.4 流动网络	190
4.5 多重分形	202

第五章 增强现实技术 / 214

5.1 概述	214
5.2 增强现实的关键技术	217
5.3 手持设备增强现实系统的设计	222
5.4 虚拟演示	234
5.5 增强地图	238

第六章 3D 打印技术 / 244

6.1 3D 打印概念	244
6.2 3D 打印原理	247
6.3 3D 打印材料	250
6.4 3D 打印主流技术	257
6.5 3D 打印相关软件和专利	260

6.6	3D 打印的应用领域和相应的产品·····	262
6.7	3D 打印的普及状况及突破创新·····	272
6.8	4D 打印技术·····	275

第七章 打印建筑 / 280

7.1	国内打印建筑的状况·····	280
7.2	国外打印建筑的介绍·····	283

第一章

数字地球中的建筑信息模型

BIM (Building Information Modeling)，不是一件事或一种软件，而是人类的活动，在设计施工中反映出变化的过程，深刻地改变建筑物的运作方式与建造的方式，已经汇集成了一股潮流，席卷世界的同时，也影响了中国。BIM 作为一个重要项目，已经列入我国科技部国家科技攻关计划。同时，我国建筑

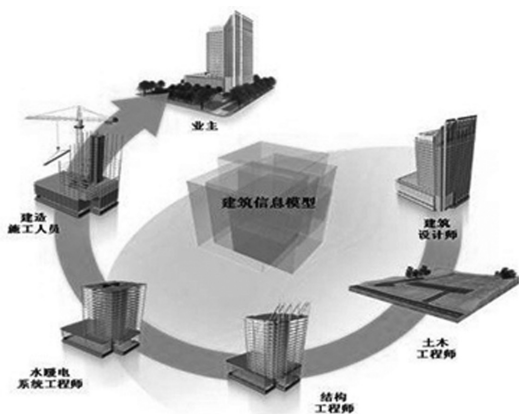


图 1-1 BIM 涉及的主要人员

行业政府与企业 在推动工程项目管理方面开始全面推广工程项目全生命周期管理 (BLM) 概念，BLM 是我国工程项目管理的趋势和主流技术，而 BLM 就是以 BIM 为基础，创建信息、管理信息、共享信息的数字化方法，是建设工程管理的最佳模式。BIM 通过参数化实体造型技术使计算机可以表达真实建筑所具有的信息，信息化的建筑设计得以真正实现，它的发展不仅是现有技术的进步和更新换代，也表现在生产组织模式和管理方式的转型，并更长远的影响人们思维模式的转变。BIM 这场信息革命，对于工程建设从勘察、设计、建造、检测、销售、物业管理等各个环节，见图 1-1，对于整个建筑行业，都必将产生深远的影响。

1.1 BIM 概论

1.1.1 BIM 定义

所谓 BIM，是指通过数字信息仿真模拟建筑物所具有的真实信息，在这里，信息的内涵不仅仅是几何形状描述的视觉信息，还包含大量的非几何信息，如材料的耐火等级、材料的传热系数、构件的造价、采购信息等。实际上，BIM 就是通过数字化技术，在计算机中建立一座虚拟建筑，一个建筑信息模型就是提供了一个单一的、完整一致的、逻辑的建筑信息库。广义的 BIM 还包括建筑施工人员 and 建筑使用人群的仿真。BIM 的技术核心是一个海量数据库，可以容纳从勘察设计到建成使用，甚至是使用周期终结的全过程信息，并且各种信息始终是融洽在一个局部数字地球数据库中。BIM 可以持续即时地提供项目设计范围、进度以及成本信息，这些信息完整可靠并且完全协调。BIM 能够在综合数字地球环境中保持信息不断更新并可提供访问，使建筑师、工程师、施工人员以及业主可以清楚全面地了解项目。这些信息在建筑设计、施工和管理的过程中能促使加快决策进度、提高决策质量，从而使项目质量提高，收益增加。BIM 的应用不仅仅局限于设计阶段，而是贯穿于整个项目全生命周期的各个阶段：设计、施工和运营管理。BIM 电子文件，将可在参与项目的各建筑行业企业间共享。建筑设计专业可以直接生成三维实体模型；结构专业则可取其中墙柱板材料强度及孔洞大小进行计算；设备专业可以据此进行建筑能量分析、声学分析、光学分析等；施工单位则可取其墙上混凝土类型、配筋等信息进行水泥等材料的备料及下料；发展商则可取其中的造价、门窗类型、工程量等信息进行工程造价总预算、产品定货等；而物业单位也可以用之进行可视化物业管理。BIM 在整个建筑行业从上游到下游的各个企业间不断完善，从而实现项目全生命周期的信息化管理。

BIM 以三维数字技术为基础，集成了建筑工程项目各种相关信息的数据模型，是对该工程项目相关信息的详尽表达。它是数字技术在建筑工程中的直接应用，以解决建筑工程在软件中的描述问题，使设计人员和工程技术人员能够对各种建筑信息做出正确的应对，并为协同工作提供坚实的基础。它同时又是一种应用于设计、建造、管理的数字化方法，这种方法支持建筑工程的集成管理环境，可以使建筑工程在其整个进程中显著提高效率和大量减少风险。由于 BIM 需要支持建筑工程全生命周期的集成管理环境，因此建筑信息模型的结构是一个包含有数据模型和行为模型的复合结构。它除了包含与几何图形及数据有关的数据模型外，

还包含与管理有关的行为模型，两相结合通过关联为数据赋予意义，因而可用于模拟真实世界的行为，例如模拟建筑的结构应力状况、围护结构的传热状况。当然，行为的模拟与信息的质量是密切相关的。应用 BIM，可以支持项目各种信息的连续应用及实时应用，这些信息质量高、可靠性强、集成程度高而且完全协调，大大提高设计乃至整个工程的质量和效率，显著降低成本。应用 BIM，马上可以得到的好处就是使建筑工程更快、更省、更精确，各工种配合得更好和减少了图纸的出错风险，而长远得到的好处已经超越了设计和施工的阶段，惠及将来的建筑物的运作、维护和设施管理，并导致可持续地节省费用。BIM 是应用于建筑业的信息技术发展今天的必然产物，见图 1-2。事实上，多年来国际学术界一直在对如何在计算机辅助建筑设计中进行信息建模进行深入的讨论和积极的探索。可喜的是，目前 BIM 的概念已经在学术界和软件开发商中获得共识。

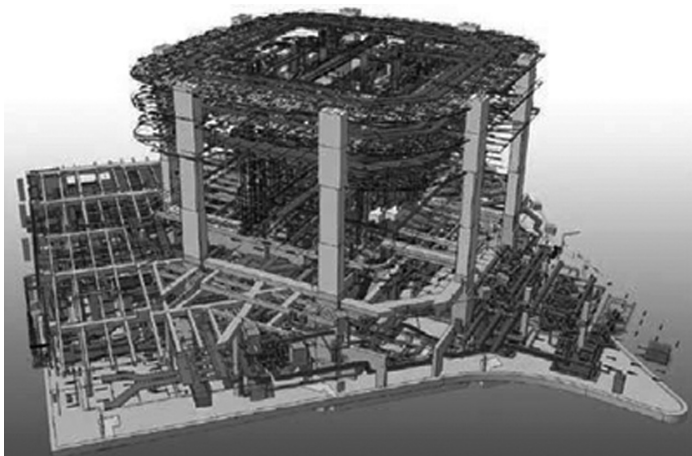


图 1-2 BIM 图

1.1.2 BIM 的核心理念

(1) 参数化设计

参数化设计从实质上讲是一个构件组合设计，建筑信息模型是由无数个虚拟构件拼装而成，其构件设计并不需要采用过多的传统建模语言，如拉伸、旋转等，而是对已经建立好的构件（称为族）设置相应的参数，并使参数可以调节，进而驱动构件形体发生改变，满足设计的要求。而参数化设计更为重要的是将建筑构件的各种真实属性通过参数的形式进行模拟，并进行相关数据统计和计算。在建

筑信息模型中，建筑构件并不只是一个虚拟的视觉构件，而是可以模拟除几何形状以外的一些非几何属性，如材料的耐火等级、材料传热系数、构件造价、采购信息、重量、受力状况等等。

对参数定义属性的意义在于可以进行各种统计和分析，例如我们常见的门窗表统计，在建筑信息模型中是完全自动化的，而参数化更为强大的功能是可以进行结构、经济、节能、疏散等方面的计算和统计，甚至可以进行建造过程的模拟，最终实现虚拟建造。这与犀牛、3D Max 等软件中的三维模型是完全不同的概念，用 3D Max 建立的模型，墙与梁并没有属性的差别，它们只是建筑师在视觉上假设的墙与梁，这些构件将无法参与数据统计，也就不具备利用计算机进行各种信息处理的可能性。

（2）构件关联性设计

构件关联性设计是参数化设计的产生。当建筑模型中所有构件都是由参数加以控制时，如果我们将这些参数相互关联起来，那么我们就实现了关联性设计。换言之，当建筑师修改某个构件，建筑模型将进行自动更新，而且这种更新是相互关联的。例如，我们在实际工程中经常会遇到修改层高的情况，在建筑信息模型中，我们只要修改每层标高的数值，那么所有的墙、柱、窗、门都会自动发生改变，因为这些构件的参数都与标高相关联，而且这种改变是三维的，并且是准确和同步的。我们不再需要去分别修改平立剖。关联性设计它不仅提高了建筑师的工作效率，而且解决了长期以来图纸之间的错、漏、缺问题，其意义是显而易见的。

（3）参数驱动建筑形体设计

参数驱动建筑形体设计是指通过定义参数来生成建筑形体的方法，当建筑师改变一个参数，形体可以进行自动更新，从而帮助建筑师进行形体研究。参数驱动建筑形体设计仍然可以采用定义构件的方法实现。如果我们要设计一个形体复杂的高层建筑，我们可以将高层建筑的每一层作为一个构件，然后用参数（包含一些简单的函数）对这一层的几何形状进行定义和描述，最后将上下两层之间再用参数关联起来，例如设定上下两层之间的扭转角度，这样就可以通过修改所定义的角度来驱动模型，生成一系列建筑形体。这种模式对于生成一些有规律的，但却很复杂的建筑形体是十分有用的。在 Revit 中，还有另外一种方便的工具——体量。体量设计更加接近建筑师的工作模式，建筑师可以从体量推敲做起，而不必关心体量与尺寸参数的关系，当体量推敲满意后，再为体量附着上具有真实属

性的建筑构件,例如给形态附着幕墙、墙、楼板等。体量模式较为强大的功能还在于,当我们再次修改体量时,原先附着的建筑构件可以相应更新。这实际上实现了“先形状后尺寸”的设计方式,其技术思想与“变量化实体造型技术”较为接近。

参数驱动建筑形体设计并不是建筑信息模型所独有的技术,犀牛等软件具备同样的功能。但是在建筑信息模型中,形体可以方便地转化成具有真实属性的建筑构件,如给形态附着幕墙,当我们改变参数,形体发生变化的同时,建筑构件也相应同步变化,这就使视觉形体研究与真实的建筑构件关联起来,视觉模型也就转化为真正的“信息模型”。

(4) 协作设计

在以往,我们理解的协作设计通常是建筑专业与结构水暖电的专业协作。而今天,随着建筑工程复杂性的增加,跨学科的合作成为建筑设计的趋势。在二维CAD时代,协作设计缺少一个统一的技术平台,但建筑信息模型为传统建筑工种提供了一个良好的技术协作平台,例如,结构工程师改变其柱子的尺寸时,建筑模型中的柱子也会立即更新,而且建筑信息模型还为不同的生产部门,甚至管理部门提供了一个良好的协作平台,例如施工企业可以在建筑信息模型基础上添加时间参数进行施工虚拟,控制施工进度,政务部门可以进行电子审图等等。这不仅改变了建筑师、结构工程师、设备工程师传统的工作协调模式,而且业主、政府部门、制造商、施工企业都可以基于同一个带有三维参数的建筑模型协同工作。

(5) 模型的细致程度

英文称作 Level of Details,也叫作 Level of Development。描述一个 BIM 模型构件单元从最低级的近似概念化的程度发展到最高级的演示级精度的步骤。美国建筑师协会(AIA)为了规范 BIM 参与各方及项目各阶段的界限,在其2008年的文档E202中定义了LOD的概念。这些定义可以根据模型的具体用途进行进一步的发展。LOD的定义可以用于两种途径:确定模型阶段输出结果以及分配建模任务。

对于模型阶段输出结果,随着设计的进行,不同的模型构件单元会以不同的速度从一个LOD等级提升到下一个。例如,在传统的项目设计中,大多数的构件单元在施工图设计阶段完成时需要达到LOD300的等级,同时在施工阶段中的深化施工图设计阶段大多数构件单元会达到LOD400的等级。但是有一些单元,例如墙面粉刷,永远不会超过LOD100的层次。即粉刷层实际上是不需要建模的,它的造价以及其他属性都附着于相应的墙体中。

对于任务分配,在三维表现之外,一个BIM模型构件单元能包含非常大量