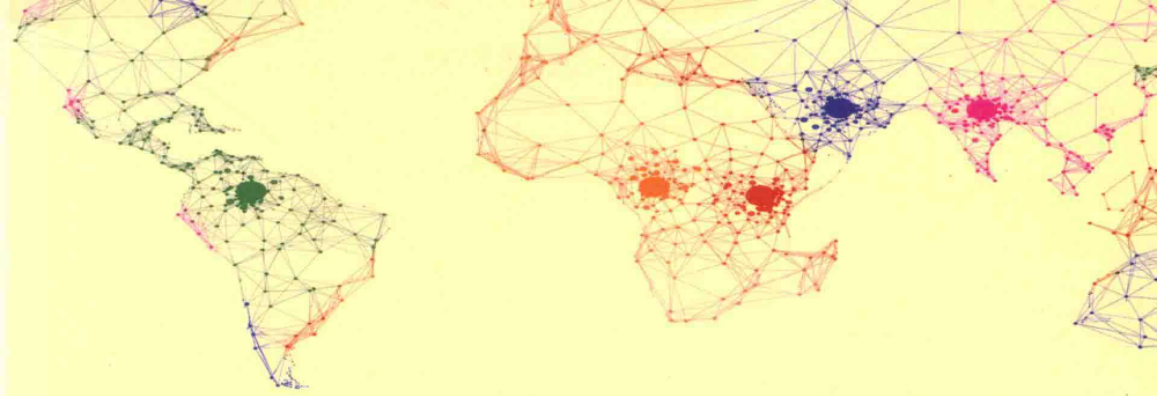


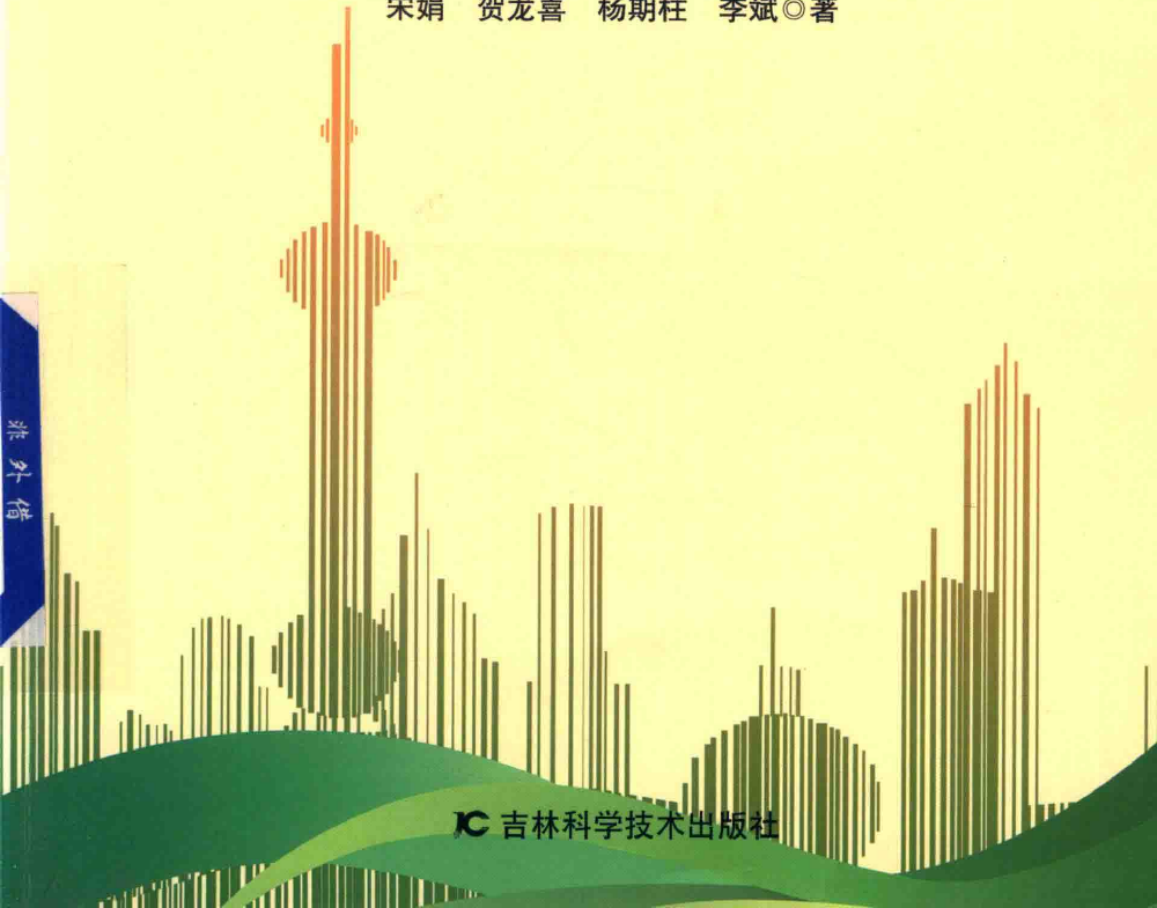


# 基于BIM技术的 绿色建筑施工新方法研究

JIYU BIM JISHU DE LVSE JIANZHU  
SHIGONG XIN FANGFA YANJIU

宋娟 贺龙喜 杨期柱 李斌◎著

非外借



吉林科学技术出版社

# 基于 BIM 技术的绿色建筑 施工新方法研究

宋 娟 贺龙喜 杨期柱 李 斌◎著

## 图书在版编目 ( CIP ) 数据

基于 BIM 技术的绿色建筑施工新方法研究 / 宋娟, 贺龙喜, 杨期柱著. — 长春: 吉林科学技术出版社, 2018.4

ISBN 978-7-5578-3964-2

I. ①基… II. ①宋… ②贺… ③杨… III. ①生态建筑—工程施工—应用软件 IV. ①TU74-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 076103 号

## 基于 BIM 技术的绿色建筑施工新方法研究

著 宋 娟 贺龙喜 杨期柱  
出版人 李 梁  
责任编辑 孙 默  
装帧设计 韩玉生  
开 本 787mm×1092mm 1/16  
字 数 210千字  
印 张 13.75  
印 数 1-3000册  
版 次 2019年5月第1版  
印 次 2019年5月第1次印刷

出 版 吉林出版集团  
吉林科学技术出版社  
发 行 吉林科学技术出版社  
地 址 长春市人民大街4646号  
邮 编 130021  
发行部电话/传真 0431-85635177 85651759 85651628  
85677817 85600611 85670016  
储运部电话 0431-84612872  
编辑部电话 0431-85635186  
网 址 www.jlstp.net  
印 刷 三河市天润建兴印务有限公司

书 号 ISBN 978-7-5578-3964-2  
定 价 88.00元  
如有印装质量问题 可寄出版社调换  
版权所有 翻印必究 举报电话: 0431-85659498

# 前言

## PREFACE

当今建筑业的能源消耗占据社会总能源消耗的很大比例，为了实现可持续发展，节约能源，绿色建筑的理念应运而生。绿色建筑是从开始设计到施工再到运营的整个全生命周期中，使用可持续发展理念的绿色建筑技术，使之成为节地、节水、节材、节能，为人们提供健康、适用和高效的使用空间，与自然和谐共生的建筑。在信息化时代的今天，用计算机辅助人们高效的工作已成必然，而 BIM（建筑信息模型）技术就是一种以三维信息化为载体辅助建筑行业设计、建造、运营的技术手段。

本书通过对 BIM 技术的特点及相关标准，绿色建筑设计的原则、目标和绿色建筑设计策略等相关基础理论研究，结合 BIM 的可视化设计、协同设计、信息互用、性能模拟等优势和特点，提出 BIM 技术在绿色建筑中的应用方法，解决绿色建筑在传统设计中存在的问题，介绍 BIM 技术在绿色建筑设计中应用的工作流程。本书将绿色建筑设计按时间顺序分为：设计前期、方案设计、初步设计、施工图设计四个设计阶段，并在每个设计阶段结合绿色建筑的设计要点，分析出 BIM 的应用点，然后提出相应 BIM 技术的具体应用策略。在设计前期阶段，应用 BIM 技术进行场地气候分析、场地建模、场地高程、坡度、排水等分析，最后进行场地的设计包括场地的平整、场地的道路设计；在方案设计阶段，应用 BIM 技术参数化、可视化的特点，结合日照、通风等性能模拟对建筑的体型、总平面布局进行被动式设计，然后以简单 BIM 模型为基础，进行性能分析对比选

出最优方案；在初步设计阶段，应用 BIM 技术参数化、协同各专业对方案进行深化设计，并结合各种性能模拟进行设计的优化，以便达到绿色建筑评价标准中的要求；在施工图设计阶段，应用 BIM 可视化进行管线的排布，并进行管线的碰撞检查，为绿色施工做预备。

# 目 录

## CONTENTS

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第一章 概 述                     | 01  |
| 第一节 BIM 技术研究背景、目的及意义        | 02  |
| 第二节 BIM 技术的特点               | 15  |
| 第二章 BIM 技术的研究内容、方法及技术路线     | 19  |
| 第一节 研究内容                    | 20  |
| 第二节 研究方法                    | 32  |
| 第三节 技术路线                    | 40  |
| 第三章 绿色施工与建筑信息模型（BIM）        | 49  |
| 第一节 绿色施工                    | 50  |
| 第二节 建筑信息模型（BIM）             | 61  |
| 第三节 绿色 BIM                  | 71  |
| 第四章 BIM 技术在建筑工程绿色施工过程中的应用实例 | 79  |
| 第一节 BIM 技术在建筑工程绿色施工中的应用价值   | 80  |
| 第二节 BIM 技术在建筑工程绿色施工中的具体应用   | 104 |

**第五章 BIM 技术在建筑施工过程中的问题 .....121**

    第一节 BIM 技术在建筑施工过程中的优点 ..... 122

    第二节 BIM 技术在建筑施工过程中的缺点 ..... 157

**第六章 BIM 技术的未来展望 .....193**

    第一节 BIM 技术的推广 ..... 194

    第二节 BIM 技术在建筑施工领域的发展 ..... 202

**参考文献.....212**

# 第一章 概 述



随着我国经济的快速发展和信息化水平的不断提高, 各行各业都面临着巨大的变革。随着物联网和智慧城市的兴起, 以及数字化城市建设步伐的加快, 传统的建筑业迫切需要尽快实现信息化和数字化。Building Information Modeling (BIM) 概念的提出和引进为传统的建筑业和工程项目管理信息化指明了方向。在本书的第一章我们将就 BIM 技术的研究背景、目的、意义及特点进行详细的讲解, 希望通过本章的讲解, 广大读者可以对 BIM 的相关技术有所了解。

## 第一节 BIM 技术研究背景、目的及意义

本节我们将就 BIM 技术的研究背景、目的及意义进行详细的讲解, 希望通过本节的讲述, 广大读者能够对 BIM 的相关技术知识有所了解, 也为之后 BIM 技术与绿色建筑施工方法的介绍做好铺垫。

### 一、问题的提出

进入互联网时代, 数字化信息技术已经给众多传统产业行业带来了翻天覆地的变化。数字化模型在制造业的应用历史已有很长的时间了, 三维软件、数字化控制操作等新技术的使用和推广为制造业提高生产效率起到了重要的作用。但建筑业依旧处于信息化的较低阶段, 同时随着智慧城市建设的加快, 物联网和云计算技术等广泛运用, 都迫切要求传统建筑业加快信息化数字化进程。由于建筑规模不断扩大和建筑形式的日趋复杂, 我国建筑行业现在流行和广泛应用的基于 CAD 技术的工程项目管理已经不能完全适应这种要求。建筑行业呼唤新的技术出现, 以提高建筑业的信息化水平, 并适应日趋复杂的建筑设计和工程管理的需要。一种新的理念与技术即建筑信息建模 BIM(Building Information Modeling, 后面没有特殊说明 BIM 都是指“Building Information Modeling”的简称) 应运而生。

BIM 最初只是一种理念, 一经提出之后, 在欧美等发达国家被逐步推广和运用到工程建设领域, 从而引发了建筑业的革命性变化。经过不断完善和发展, 目前国外 BIM 正在成为建筑业的主流技术和工程管理的有用工具, 建筑业的 BIM 时代已经来临。BIM 不是一个软件或一类软件的事情, 它是信息化技术的一个集成, 是基于全新理念的一种管理方式, 其服务于建设项目的整个生命周期, 主要包括设计、建造、运营维护几个阶段。项目各参与方可以通过这个信息平台协同工作、实现信息顺畅交流和不断集成, 从而实现工程项目管理的主要目标: 提高工程施工质量、节约投资、工期合理可控。同时其对于避免失误、减少变更, 沟通协调等方面也具有传统技术无法比拟的优势。尽管我国的 BIM 应用还处在起步阶段, 存在种种问题和困难, 但是建筑业实现数字化信息化的趋势是不可抗拒的。同时基于 BIM 的工程项目管理也是今后工程项目管理发展的必然趋势, 这也是物联网、数字城市、绿色建筑等发展理念对建筑业和工程项目管理的共同选择。

## 二、研究目的与意义

### (一) 研究目的

目前国内 BIM 在工程项目管理中的运用还仅限于个别大型项目, 同时目前的运用大多仅限于项目建设初期即工程设计阶段, 与 BIM 所倡导的全生命周期综合应用的理念还有很大差距, 离真正的普及和推广还相差甚远。本书的研究目的是: 通过查阅相关文献, 分析 BIM 的作用及其相对于 CAD 的优势, 对 BIM 的运用现状进行总结和归纳。分析 BIM 对工程项目管理的作用; 找出目前国内 BIM 在工程项目管理应用中存在的问题和障碍因素, 制定相关的解决办法和对策, 实现基于 BIM 的工程项目管理的普及和推广, 真正实现工程管理乃至整个建筑业的信息化和数字化变革。

### (二) 研究意义

从工程项目全生命周期管理理论划分中可以看出, 工程项目是一个从项目决

策设计、到项目施工、再到项目运营维护的循序渐进的过程,每一个阶段都按照工程建设规律有序开展。同时每个阶段的工作又需要其他阶段的相关部门、相关专业的协调与配合。每个阶段工作的完成,都是下个阶段工作的开始。前面形成的信息就是下一步工作的基础,所以每个阶段都需要统一的信息采集标准和统一的信息发布渠道,以确保整个项目生命周期中工程信息的准确传递,并确保信息的完整与统一。对于工程项目各参与方来讲,工程项目的存在状态处在不断变化的过程中,在工程项目建设的不同阶段对工程信息的要求也是不同的,如何保证不同阶段项目管理工作对工程信息的需求,是工程项目管理过程中遇到的首要问题。

传统的基于 CAD 技术的工程项目管理信息传递经常出现信息的失真和错误,导致工程项目管理工作难以实现高效率和管理精细化,这是传统工程项目管理实施过程中的一个困境和难题。BIM 的出现和发展正在改变这种局面,国内外 BIM 的发展实践证明基于 BIM 模型的工程项目管理,通过相关 BIM 软件及其信息平台实现信息的实时交流,完成信息的共享与集成,并保持了信息传递过程中的完整性和准确性,能够实现工程项目建设不同阶段的信息共享和交流,减少信息传递过程中的失真和错误,使工程项目建设更加高效和流畅,并能实现工程管理的精细化,为工程项目管理的信息化打下了坚实的基础。本书研究的意义在于:通过阐述 BIM 概念和工作原理,分析了 BIM 在工程项目管理中的应用,建立了基于 BIM 的工程项目管理新模式,对于加快工程项目管理的信息化水平和经济效益具有重要意义。

### 三、国内外研究现状

#### (一) 国外 BIM 的研究及发展现状

自 BIM 技术和理念产生至今,在各国政府的推动下,BIM 的研究和运用获得了长足的发展。BIM 在工程领域的应用得到不断扩展,从最初的单纯设计阶段使用,到项目全生命周期使用,为工程项目建设信息化进程做出了重要贡献。美

国是最早使用 BIM 的国家，美国于 2003 年制定了国家 BIM-3D-4D 计划，之后陆续刊印了一系列的 BIM 运用指南。美国于 2004 年编制《国家 BIM 标准》，通过该标准实现 BIM 运用的标准化和规范化，实现了信息交流和传递的统一。该标准（Industry Foundation Classes）是为了满足建筑行业的信息交换与共享而产生的，是建筑行业事实上的数据交换与共享标准，用来解决建筑业所涉及的各个专业在 BIM 信息交换时数据格式不统一的难题能使 BIM 的开发和运用环节标准统一，实现所有基于 BIM 模型及相关软件信息的互联互通，推动基于统一标准的 BIM 的不断完善和发展。

在 BIM 的发展过程中，政府的作用举足轻重，许多政府都规定在国家投资的工程建设项目中必须运用 BIM 进行建设。随着 BIM 的应用越来越广泛，为了提升 BIM 在整个项目生命周期的使用价值，规范 BIM 的发展，美国联邦政府于 2009 年制定了《BIM 项目实施计划指南》，以规范 BIM 的运用。在此基础上又对 BIM 的具体工作流程不断细化和规范，对项目生命周期各阶段 BIM 信息的发布和最终交付形式做了进一步规范。为了更有效地推进 BIM 的运用和推广，美国政府又针对 BIM 的技术规范和质量标准做了严格的界定，同时为了应对 BIM 运用过程中可能出现的纠纷和问题，专门制定了适用于该领域的法律及相关法规。在 BIM 运用方面，新加坡也是比较先进的国家，为了推进 BIM 的运用发展，把美国的 BIM 标准引进国内，建立了基于 IFC 网络审批政务系统。用法律把 BIM 技术作为建设依据，强制新加坡国内的大型商业建设项目必须采用。新加坡政府在 BIM 运用中发挥了重要作用，政府投资的工程建设项目如果建筑面积大于 5000 平方米，其项目的建设必须采用 BIM 技术。这种手段大大促进了新加坡建筑领域 BIM 的广泛运用和建筑业信息化水平的提升。

在日本 BIM 也已经被广泛使用，并取得了很大的效果，在日本国内 BIM 软件企业很多，开发了大量的 BIM 软件，在企业中使用得也比较广泛。日本政府于 2010 宣布在全国推行 BIM，同时制定了适合本国的 BIM 标准，并由政府层面进行推进。BIM 在欧洲多国如：英国、加拿大、挪威以及亚洲的韩国、新加坡等

也被广泛采用,随着各国纷纷制定适合本国国情的 BIM 标准,并不断规范 BIM 实施指南,新的基于 BIM 的工程管理模式正在迎来新时代。BIM 正引发建筑业和工程项目管理领域的一次彻底的革命。

Autodesk 公司在其发布的《Autodesk BIM 白皮书》对 BIM 进行了如下定义: BIM 是一种用于设计、施工、管理的方法,运用这种方法可以及时并持久地获得高质量、可靠性好、集成度高、协作充分的项目信息。Bentley 公司《Bentley BIM 白皮书》这本书中, Bentley 将 BIM 定义为: BIM 是一个在联合数据管理系统下应用于设施全寿命周期的模型,它包含的信息可以是图形信息也可以是非图形信息。

Graphi soft 公司 2003 年 2 月发布了《Graphi soft BIM 白皮书》,该报告认为: BIM 是建设过程中的知识库,它所包含的信息包括图形信息、非图形信息、标准、进度及其他信息。美国建筑科学研究院在《国家建筑信息模型标准》中对广义 BIM 的含义作了阐释: BIM 包含了三层含义,第一层是作为产品的 BIM,即指设施的数字化表示;第二层含义是指作为协同过程的 BIM;第三层是作为设施全寿命周期管理工具的 BIM。被誉为 BIM 之父的 Chuck Eastman 教授在其著作中指出, BIM 并不能简单地被理解作为一种工具,它体现了建筑业广泛变革的人类活动,这种变革既包括了工具的变革,也包含了生产过程的变革。

## (二) 国内 BIM 的研究及发展现状

目前 BIM 在中国是个出现频率很高的概念,我国工程项目管理领域从 2000 年左右关注 BIM 技术。BIM 被引进国内后,首先是一些专业机构和科研院所开展了一些有针对性的研究,使 BIM 概念和理念被大家所熟悉,其次一些工程软件企业开始引进一些 BIM 软件,并开展相关的培训,之后很多专业学者开始针对 BIM 在我国的应用开展了相关的工作。随着 BIM 的研究深入和不断应用,一些国产软件企业也开始研制自己的 BIM 软件,同时由于工程建设的复杂性日益增加,国内一些大的工程建设项目开始逐步使用 BIM 做一些具体工作。目前

主要在设计阶段运用较多。同时关于 BIM 的研究主要是针对工程项目的不同阶段展开的, 主要包括 BIM 对工程进度、工程造价、工程设计的影响和作用。目前 BIM 在工程项目管理中的具体运用正在不断发展之中。

为了推动 BIM 的研究和发展, 政府和许多协会与机构纷纷举办了关于 BIM 的研讨会、培训班等种种活动。一些软件公司也不断研发基于 BIM 的相关软件, 如 Autodesk 公司开发了 Autodesk Revit Architecture 2010、Revit 2010、Revit Structure 2010 以及 Autodesk Navis works 2010 等众多软件。在国家和地方层面的不断推动和支持下, BIM 在建筑领域的应用正在逐步展开和不断推广。《建筑业信息化关键技术研究与应用》项目入选国家科技攻关“十二五”项目名单, 该项目主张将 BIM 建筑信息模型作为实现建筑业信息化的手段, 更是被住建部认可为建筑信息化的最佳解决方案。在国家“十二五”规划中, 建设部发布的《2011-2015 年建筑业信息化发展纲要》中明确指出了建筑业在这段时间内的总体发展目标是: “建筑企业信息系统的普及应用, 加快建筑信息模型 (BIM)、基于网络的协同工作等新技术在工程中的应用, 推动信息化标准建设, 促进具有自主知识产权软件的产业化, 形成一批信息技术应用达到国际先进水平的建筑企业。”

2016 年建设部发布的《2016-2020 年建筑业信息化发展纲要》里再次明确建筑业“十三五”时期的发展目标是: “全面提高建筑业信息化水平, 着力增强 BIM、大数据、智能化、移动通讯、云计算、物联网等信息技术集成应用能力, 建筑业数字化、网络化、智能化取得突破性进展, 初步建成一体化行业监管和服务平台, 数据资源利用水平和信息服务能力明显提升, 形成一批具有较强信息技术创新能力和信息化应用达到国际先进水平的建筑企业及具有关键自主知识产权的建筑业信息技术企业。”从国家“十五”规划开始一直到“十三五”都在推进建筑业的信息化水平和 BIM 的发展, 可见国家对 BIM 的发展高度重视。在理论研究方面, 目前针对 BIM 的研究主要侧重在以下几个方面:

1. 对 BIM 软件体系的研究。这主要有何关培等人较为系统的对 BIM 的概念

及其相关软件进行较为系统的研究,把 BIM 软件分成了两大类,BIM 核心建模软件和其他软件;王珺的 BIM 理念及 BIM 软件在建设项目中的应用研究等。

2.BIM 在设计阶段的运用研究。宋勇刚的 BIM 在项目设计阶段的应用研究;荣华金的基于 BIM 的建筑结构设计方法研究等。

3.BIM 在工程项目进度管理中的作用研究。主要有李伟的对 BIM 技术的研究及其在建筑施工中的应用分析;张建平的基于 BIM 和 4D 技术的建筑施工优化及动态管理;李勇的施工进度 BIM 可靠性预测方法等。

4.BIM 对工程造价管理的作用研究。主要有谢尚佑基于 BIM 技术全寿命周期造价管理研究及应用;朱芳琳的基于 BIM 技术的工程造价精细化管理研究等。

5.BIM 在工程项目全寿命周期的影响研究。主要有宋麟的 BIM 在建设项目生命周期中的应用研究;赵灵敏的基于 BIM 的建设工程全寿命周期项目管理研究等。

6.BIM 运用过程中的障碍研究,主要有何清华、钱丽丽等的 BIM 在国内外应用的现状及障碍研究;潘嘉怡、赵源煜的中国建筑业 BIM 发展的障碍因素分析;刘波、刘薇的 BIM 在国内建筑领域的应用现状与障碍研究等。同时国内已有许多工程项目已经采用了 BIM 技术,如 2008 年北京奥运会场馆的建设、上海虹桥国际枢纽工程、天津港码头等项目。不过目前国内的 BIM 运用主要集中在设计阶段,在项目施工阶段和后期的运营维护阶段则较少运用。同时由于国产 BIM 软件的缺乏和有关 BIM 标准的不统一,很少有基于项目寿命周期的全过程运用,要想在工程项目管理中普遍推广和运用 BIM 目前还有较大难度。

## 四、BIM 理论及其概念界定

### (一) BIM 理论及其概念的内涵要素

BIM 是 Building Information Modeling 的简称。从字面意思看就是:建筑信息模型。美国国家 IFC 标准对 BIM 的定义是:“兼具物理特性与功能特性的数字化建筑信息模型,该模型所包含的信息数据是为项目的全寿命周期服务的,从项目的概念设计阶段开始到项目运营阶段都可实现信息的共享及集成。BIM 发挥

作用的基础是：项目各参与方在项目生命周期的不同阶段在 BIM 建模中进行的信息输入、获取、修改和整合过程，进而实现 BIM 模型信息的共享与集成，以支持和体现项目各参与方的职责。BIM 是基于国家统一标准的数字化信息共享模型，从而实现各项作业的相互协同。”基于上述定义我们可以从如下两个方面来对 BIM 进行界定。

1. BIM 是结果和过程的统一体。作为结果即：“兼具物理特性与功能特性的数字化建筑信息模型，该模型所包含的信息数据是为项目的全寿命周期服务的，从项目的概念设计开始就可以实现信息的共享。”这时 BIM 是作为信息模型结果，是作为一种产品信息的形式存在的。传统的 3D 建筑模型仅有物理特性，BIM 模型却同时包含了两个特性即：物理特性和功能特性，这就是 BIM 模型相对于传统技术的最大优势。在物理特性上，与传统的 3D 建筑模型是一样的，是可供观察和体验的；在功能特性，这是传统的 3D 建筑模型所不具备的，特指此模型所携带的该建筑的所有相关数字化信息。作为过程即：“BIM 发挥作用的基础是：项目各参与方在项目生命周期的不同阶段在 BIM 建模中进行的信息输入、获取、修改和整合过程，进而实现 BIM 模型信息的共享与集成，以支持和体现项目各参与方的职责。”这与美国查克伊士曼博士等人的定义（建筑信息建模是对于项目进行设计、施工和运营维护管理的一种新型方法过程……BIM 不是某一个软件或者某一种软件，它是一种管理具有众多不确定因素的项目施工过程的人为举措）是基本一致的。

除此之外，由美国宾夕法尼亚大学建筑工程学院的 CIC 研究小组的一项研究报告中给出了 BIM 作为建模过程的更贴切的定义：“BIM 是一种管理过程，其目的在于通过建设项目数字化信息模型的开发、使用和传递以提高项目或项目集的设计、施工和运营管理能力。”可见 BIM 是一个围绕项目建设寿命周期不断完善、不断调整逐渐充盈丰满的动态的信息采集过程。它是工程项目的整个寿命周期服务的信息化模型和数据库，不仅仅服务工程建设领域，在后期的运营维护阶段仍然能发挥重要作用。

2. 通过 BIM 能实现信息和数据的多维模拟。传统的 CAD 技术主要是平面的 2D 技术, 只能通过简单地平面图像来表示建筑物, 只有两个维度即长和宽。BIM 模型则是动态的 3D 模型, 除了长和宽之外增加了高度的维度, 实现了图像的立体化, 能够更为清晰地展现建筑物的所有特点, 更加形象直观, 在这个基础上可以增加更多的维度实现所谓 4D、5D 乃至 ND。所谓 4D 即在三维的基础上增加了时间维度, 可以进行时间方面的管理。5D 在 4D 的基础上增加了成本的维度, 便于我们进行成本控制。这样工程项目管理所有涉及的因素都可以加入 BIM 之中形成所谓的 N 维模型, 以便更好地进行项目管理工作。

传统的 2D 模型只有长和宽的二维尺度, 是用点、线、图形等平面元素来构建目标体, 也就是长度和宽度。目前国内建筑领域的各类设计图和施工图的制作方法基本都是 2D 模型, 就是目前工程项目领域占主导地位的 CAD 技术。在 2D 模型的基础上后来开发了传统的 3D 模型, 多了一个度即高度 (Height), 从而实现了工程项目的视觉化功用, 但不具备信息传递功能。由于没有相应的平台, 项目参与方的信息交流只能是一对一的, 这就造成信息在传递过程中不断地失真, 造成各种错误的发生。当然上述两种模型都是以 CAD 技术为基础的, 不能完全表达项目建设所需要的全部信息, 经常出现错误。传统的 CAD 图纸不是数字化的图像, 被人们形象地称为“聋哑图形”, 在工程项目管理中要花费大量的人力物力对上面的图形进行识别和计算, 这是一种繁重的体力劳动。工程管理和造价人员需要耗费大量的精力和时间来进行图形和钢筋算量, 经常出现很多错误。

虽说 CAD 技术也在不断发展, 能够实现多种建筑实体的有效整合, 以此满足设计构件的需要, 并具有更强的操作性。但最终的问题是: 要修改和编辑整体几何模型却困难重重, 同时单独的施工图无法与整体模型实现信息互通, 导致信息传递失效, 就更不用说实现同步化了。可以说传统的 CAD 技术已经达到了发展的极限, 无法满足物联网数字化时代关于智慧城市建设的工程管理的需要, 迫切需要新的数字化信息的出现, BIM 应运而生。

BIM 信息化模型的问世解决了传统 2D 及 3D CAD 模型在上述两个应用上的