

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程专业 BIM结构方向 毕业设计指南

王言磊 张祎男 王永帅 张学 编著



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

土木工程专业 BIM结构方向 毕业设计指南

王言磊 张祎男 王永帅 张学 编著



化学工业出版社

·北京·

本书基于土木工程专业 BIM 结构方向的本科毕业设计需求,以某六层混凝土框架结构为例,主要介绍了 Autodesk Revit Structure 和 Autodesk Robot Structural Analysis 软件的基本操作和应用技巧,涵盖了建模、结构分析以及 Revit 与 Robot 模型互导的相关内容,提供了采用这两款软件进行完整结构设计的方法。本书还详细介绍了 PKPM 软件的基本操作方法和技巧,并使用 PKPM 进行了包括建模、参数设置、模型调整、绘制施工图的完整结构设计。同时,本书将基于 Robot 的计算结果与基于 PKPM 的计算结果进行了详细对比分析,使读者能够直观地了解 BIM 技术与传统技术的异同。本书同时介绍了基于 BIM 技术和基于传统 PKPM 方法的结构设计,这有助于开拓毕业生的视野与思路,具有很强的实用性。

本书适用于高等院校土木工程专业学生,也可供土木工程结构设计人员和 BIM 爱好者参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

土木工程专业 BIM 结构方向毕业设计指南/王言磊,张祎男,王永帅,张学编著. —北京:化学工业出版社,2018.1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-31110-8

I. ①土… II. ①王… ②张… ③王… ④张…
III. ①建筑设计-计算机辅助设计-应用软件-毕业设计-高等学校-教学参考资料 IV. ①TU201.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 297952 号

责任编辑:满悦芝

文字编辑:吴开亮

责任校对:边涛

装帧设计:关飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:三河市双峰印刷装订有限公司

装订:三河市双峰印刷装订有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张15³/₄ 字数393千字 2018年3月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

随着建筑行业的迅速发展和信息化数字技术在建筑行业的推广应用，建筑信息模型（Building Information Modeling, BIM）技术正在全方位、多维度地影响建筑业，建筑行业正在经历一次新的变革。BIM 技术的应用改变了建筑设计从业者的工作模式，相较于基于 CAD 技术的二维设计方法，BIM 技术具有三维可视化、参数化、标准化、信息化等优势，显著提升设计的质量和效率。结构设计是工程项目设计的重要环节，也是 BIM 设计的重要组成部分。一些国家，已经将 BIM 技术成熟地应用到结构设计中。如何实现基于 BIM 的结构设计，是当前结构专业的一个热点领域。

目前 BIM 技术在我国结构设计方面的应用尚未得到大范围推广，主要原因是结构物理模型与结构分析模型之间无法做到完美对接，与 BIM 核心建模软件能够实现结构几何模型、荷载模型和边界约束条件双向互导的软件很少。能够实现物理模型、分析模型最大程度互导的软件主要是基于同系列软件之间的。因此，本设计指南中基于 BIM 的设计方法采用了同为 Autodesk 公司产品的 Revit Structure 和 Robot Structural Analysis 作为三维结构建模软件和三维结构分析软件。由于 Robot Structural Analysis 软件并不是针对我国开发，因此在设计规范、计算方法、配筋设计等很多方面还存在一些问题。本指南在详细介绍 Revit 和 Robot 软件操作的基础上，以某六层混凝土框架结构设计为例，还对 Robot 和 PKPM 的计算结果进行了详细对比分析。最后，分别介绍了基于 Robot Structural Analysis 分析结果的三维配筋方法和基于 Revit Structure 的三维配筋技术。

在引入基于 BIM 技术的结构设计的同时，本设计指南还介绍了基于传统 PKPM 的结构设计方法，以该六层混凝土框架结构设计为例，介绍了从结构建模、参数设置、结构调整到绘制施工图的一个完整结构设计流程。

本书适用于高等院校土木工程专业学生，也可供土木工程结构设计人员、管理人员和 BIM 爱好者参考。

本书由大连理工大学王言磊、张祎男、王永帅和张学编著，其中第 1 章、第 4 章、第 6 章、第 8 章由王言磊编写，第 2、3 章由张祎男编写，第 5 章由王永帅编写，第 7 章由张学编写，全书由王言磊统稿。

本书在编写过程中，本科生王珠萍、李冠衡、沈怡丰、张水生和熊涛等人提出了很多宝贵建议；本书的出版还获得了大连理工大学教材出版基金项目（项目编号：JC2017016）的资助。在此，编者谨向对本书编写工作提供无私帮助的本科生和大连理工大学教材出版基金表达诚挚的感谢！

在本书编写过程中，编者参考了大量相关文献资料，在此谨向这些文献的作者表示衷心的感谢。虽然编写过程中力求叙述准确、完善，但由于作者水平有限，书中难免有不足之处，恳请广大读者批评指正。

编著者

2017 年 11 月

目 录

第 1 章 毕业设计的目的和要求	1
1.1 毕业设计的目的	3
1.2 毕业设计的要求	3
1.2.1 毕业设计题目	3
1.2.2 毕业设计任务书	3
1.2.3 加强毕业设计学习	5
第 2 章 BIM 简介、发展与应用	7
2.1 BIM 简介	9
2.1.1 BIM 概念的提出	9
2.1.2 BIM 完成使命的方法	9
2.1.3 BIM 技术及特点	10
2.1.4 BIM 相关软件	11
2.2 BIM 的国内外发展现状	13
2.2.1 BIM 在国外的的发展	13
2.2.2 BIM 在国内发展	16
2.2.3 国内 BIM 应用案例	18
2.3 BIM 在结构上的应用	19
2.3.1 传统设计方法的问题	19
2.3.2 基于 BIM 技术的设计方法	20
2.3.3 结构分析的实现	21
第 3 章 工程概况及前期计算	23
3.1 设计基本资料	25
3.2 建筑方案设计	25
3.2.1 办公建筑设计的一般要求	25
3.2.2 部分建筑图纸	29
3.3 结构方案设计	29
3.3.1 结构设计的原则	29
3.3.2 结构设计准备	30
3.3.3 结构选型与布置	30
3.4 结构方案的确定	33
3.4.1 结构方案	33
3.4.2 结构部分施工方法	33
3.5 梁柱截面尺寸设计	34

3.5.1	柱截面尺寸初估	34
3.5.2	梁、板截面尺寸初估	35
3.6	荷载统计	35
3.6.1	恒荷载标准值计算	35
3.6.2	活荷载标准值计算	36

第4章 基于 Revit Structure 软件的三维结构建模 39

4.1	Revit Structure 软件简介及基本概念	41
4.1.1	Revit Structure 简介	41
4.1.2	用户界面	41
4.1.3	基本概念	46
4.2	Revit 建模	48
4.2.1	建模相关命令	48
4.2.2	毕业设计模型的建立	59
4.3	调整分析模型	70
4.3.1	结构参数设置	71
4.3.2	构件的分析模型	74
4.3.3	分析模型显示控制	76
4.3.4	边界条件	76
4.3.5	结构荷载	77
4.4	毕业设计模型的调整	80
4.4.1	设置荷载组合	80
4.4.2	添加分析模型平面	80
4.4.3	添加边界条件	81
4.4.4	设置杆端约束	82
4.5	从 Revit 到 Robot 的数据转换	83

第5章 基于 Robot Structural Analysis 软件的三维结构分析与设计 85

5.1	Robot Structural Analysis 基本知识	87
5.1.1	Robot Structural Analysis 软件介绍	87
5.1.2	Robot Structural Analysis 软件优势	87
5.1.3	Robot Structural Analysis 国内应用	88
5.1.4	Robot Structural Analysis 软件用户界面	89
5.1.5	视图显示及导航	92
5.2	Robot 结构分析流程	94
5.2.1	Revit 模型导入 Robot	94
5.2.2	计算方法设置	98
5.2.3	结果预览及计算书输出	102
5.2.4	配筋计算	103
5.2.5	Robot 模型更新回 Revit	106
5.3	毕业设计模型分析	107
5.3.1	计算参数设置	107
5.3.2	地震荷载及风荷载施加	108
5.3.3	结果预览及分析	112

第 6 章 基于 PKPM 软件的结构分析与设计 123

6.1	PMCAD 建模及荷载输入	125
6.1.1	PMCAD 建模基本概述	125
6.1.2	建筑模型与荷载施加	126
6.1.3	平面荷载显示校核	141
6.1.4	画结构平面图	142
6.2	SATWE 结构有限元分析	144
6.2.1	接 PM 生成 SATWE 数据	145
6.2.2	结构内力, 配筋计算	160
6.2.3	计算结果分析与调整	162
6.3	墙梁柱施工图设计	171
6.3.1	梁平法施工图	171
6.3.2	柱平法施工图	174
6.3.3	楼板施工图	175
6.4	整榀框架施工图	176
6.4.1	形成 PK 文件	176
6.4.2	生成整榀框架施工图	177
6.5	基础设计	179
6.5.1	基础人机交互输入	180
6.5.2	基础施工图	184

第 7 章 Robot Structural Analysis 分析结果与 PKPM 分析结果对比 187

7.1	质量、质量比的比较	189
7.2	周期比较	191
7.3	水平地震作用下的楼层剪力比较	193
7.4	楼层位移比较	196
7.5	层间位移角比较	198
7.6	内力比较	198

第 8 章 基于 Robot 和 Revit 软件的三维配筋设计 205

8.1	基于 Robot 软件的三维配筋设计	207
8.1.1	所需钢筋配筋	207
8.1.2	提供钢筋配筋	210
8.2	基于 Revit 的配筋	219
8.2.1	钢筋命令进行配筋	219
8.2.2	使用速博插件配筋	224
8.2.3	添加钢筋实例	225

参考文献 246

第 1 章

毕业设计的目的和要求

1.1 毕业设计的目的

毕业设计是土建类各专业本科培养计划中最后一个教学环节,也是学生在大学学习过程中的最后一个十分重要的实践教学环节,是学生走入社会之前的工作预演,是沟通理论学习与工程实践的一座桥梁。毕业设计的目的是培养学生综合应用所学基础课、专业课知识和相应技能,解决土木工程设计问题的综合能力和创新能力,提高学生的综合素质和分析、处理问题的本领。通过毕业设计,学生既要把所学的基础理论、专业知识和实践技能应用到工程实践中,又要熟悉国家(地方、行业)有关规范、条例和规程,将所学知识系统化,提高独自处理各种复杂问题的能力。此外,毕业设计还使学生了解作为一个工程师所担任的责任与义务,提高个人工程素质,为即将走向工作岗位做好准备。

1.2 毕业设计的要求

毕业设计过程包括设计准备、正式设计、毕业答辩三个阶段。设计准备阶段主要是根据设计任务书要求,明确工程特点和设计要求,收集有关资料,拟定设计计划;正式设计阶段需完成设计、计算以及分析等,这一阶段分为:建筑设计、结构设计、施工设计等不同阶段,具体阶段要有严格的时间分配;毕业答辩阶段主要是总结毕业设计过程和成果,深化对有关概念、理论、方法的认识。

在毕业设计前,学生应该了解毕业设计不同阶段要做什么、达到什么标准,形成一个清晰的设计思路。做好毕业设计,对提高学生专业素养,提高毕业生质量是至关重要的。完成一份好的毕业设计,需要从以下几方面入手。

1.2.1 毕业设计题目

土建类各专业都是实践性极强的专业,其毕业生的就业定位相对明确,毕业设计题目应选择具有实际工程背景的课题。同时,为保证学生在毕业设计规定的时间内能得到设计全过程训练,需要选择建设规模大小适中、训练内容能较好满足教学需要的课题。

1.2.2 毕业设计任务书

为了保证学生能够有序地进行毕业设计,指导教师应认真编制毕业设计任务书。毕业设计任务书应包括题目、教学目的、设计内容、设计资料、进度安排等内容。本书中的毕业设计任务书如下所示,供读者参考。

题目:面向 BIM 需求的六层混凝土框架结构三维建模与结构设计

Title: 3D modeling and structure design of a six-story RC
frame structure based on BIM technique

一、基本设计资料

1. 工程名称:大连市某六层办公楼。
2. 工程概况:该工程占地面积约为 750m^2 ,建筑面积约为 4500m^2 ,建筑物主体为六

层，室内外高差 0.3m。

3. 风荷载：大连市基本风压为 0.65kN/m^2 ，场地粗糙程度为 C 类。

4. 雪荷载：标准值为 0.4kN/m^2 ，雪荷载准永久值系数分区为 II 类。

5. 地震作用：抗震设防烈度为 7 度 ($0.1g$)，II 类场地，设计地震分组为第一组。

6. 地质条件：地表 1.1m 以内为杂填土，1.1m 以下为亚黏土，地基承载力 $f_k = 220\text{kPa}$ 。

7. 工程设计使用年限：50 年。

8. 材料选用：均采用 HRB400 钢筋；均采用 C30 混凝土。

二、设计目标、内容和要求

设计目标：培养学生利用 BIM 技术进行多层混凝土框架结构三维建模与结构分析、设计的能力。

主要设计内容：

1. 根据相关设计规范，对这个六层混凝土框架结构的办公楼进行荷载分析：竖向荷载及水平荷载计算、水平荷载作用下框架的内力分析、竖向荷载作用下结构内力计算、荷载效应组合等。

2. 采用三维结构建模软件 Autodesk Revit Structure 对大连市某六层混凝土框架结构的办公楼进行三维结构建模，包括梁、板、柱、基础等（含内部的配筋情况等）。

3. 基于上述建立的三维结构模型和分析的最不利荷载工况，利用 Autodesk Robot Structural Analysis 软件对该六层混凝土框架结构的办公楼进行三维结构受力分析，以分析该结构的内部受力情况。

4. 利用 PKPM 软件对该六层混凝土框架结构的办公楼进行内力分析与设计，并将分析结果与 Autodesk Robot Structural Analysis 的分析结果进行对比。

5. 基于 Autodesk Robot Structural Analysis 和 Autodesk Revit Structure 软件的三维配筋设计。

设计要求：

1. 熟练掌握 Autodesk Revit Structure 软件、Autodesk Robot Structural Analysis 软件和 PKPM 软件。

2. 完成至少 3 张建筑施工图。

3. 完成至少 4 张结构施工图。

4. 完成至少 2 张三维结构图。

三、各阶段时间安排、应完成的工作量

1~3 周：学习 BIM 技术相关知识，确定建筑方案和结构方案，并进行荷载统计；

4~5 周：学习 Autodesk Revit Structure 软件的基本操作技巧；

6~7 周：利用 Autodesk Revit Structure 软件进行三维结构建模；

8~10 周：学习 Autodesk Robot Structural Analysis 软件，并进行结构三维建模分析与设计；

11~12 周：学习 PKPM 软件，并进行结构分析与设计；

13 周：将 PKPM 分析结果与 Robot 的结果进行对比分析；

14~15 周：改图、毕设检测、上交毕业设计说明书和图纸等；

16周：毕设评阅、答辩。

四、应阅读的资料及主要参考文献目录

1. GB/T 50001—2010. 房屋建筑统一制图标准.
2. GB/T 50105—2010. 建筑结构制图标准.
3. GB 50016—2014. 建筑设计防火规范.
4. GB 50009—2012. 建筑结构荷载规范.
5. GB 50010—2010 (2015 版). 混凝土结构设计规范.
6. GB 50003—2011. 砌体结构设计规范.
7. JGJ 94—2008. 建筑桩基技术规范.
8. GB 50007—2011. 建筑地基基础设计规范.
9. GB 50011—2010 (2016 年版). 建筑抗震设计规范.
10. Leonard Spiegel and George F Limbrunner. Reinforced Concrete Design, 5th Edition Tsinghua University Press, 2006.
11. Autodesk Asia Pte Ltd. Autodesk Revit Structure 2012. 上海：同济大学出版社，2012.
12. 王言磊，张祎男，陈炜. BIM 结构——Autodesk Revit Structure 在土木工程中的应用. 北京：化学工业出版社，2016.
13. 王言磊，王永帅. BIM 结构——Autodesk Robot Structural Analysis 在土木工程中的应用. 北京：化学工业出版社，2017.
14. 王言磊，李芦钰，侯吉林，安永辉. 土木工程常用软件与应用——PKPM、ABAQUS 和 MATLAB. 北京：中国建筑工业出版社，2017.
15. Sham Tickoo. Exploring Autodesk Revit Structure 2016, 6th Edition. CADCIM Technologies, 2015.
16. Ken Marsh. Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015: Essentials. Marsh API LLC. 2014.
17. 杨星. PKPM 结构软件从入门到精通. 北京：中国建筑工业出版社，2008.

1.2.3 加强毕业设计学习

在毕业设计过程中，同学们需要以热情好学、求实创新的态度来对待毕业设计的每一个环节，综合运用所学知识解决实际问题，获取新知识，提高独立工作能力，在完成设计任务的同时，真正掌握所用到的方法及计算机软件的使用。同时，同学们也要积极开拓自己的视野，掌握专业发展的方向，为毕业后工作打下坚实的基础。

第 2 章

BIM简介、发展与应用

2.1 BIM 简介

2.1.1 BIM 概念的提出

在 20 世纪 60 年代,随着计算机图形学的诞生和计算机辅助设计(Computer-Aided Design, CAD)的发展,建筑界开展了计算机辅助建筑设计(Computer-Aided Architectural Design, CAAD)的研究。查理斯·伊斯曼在研究 CAAD 的过程中,提出了应用数据库技术建立的建筑描述系统(Building Description System, BDS)的概念,这一概念就是 BIM 的雏形,之后对建筑信息建模的研究不断深入。

1988 年由美国斯坦福大学教授保罗·特乔尔兹(Paul Teicholz)博士建立的设施集成工程中心(CIFE)是 BIM 研究发展进程的一个重要标志。CIFE 在 1996 年提出了 4D 工程管理的理论,将时间属性也包含进建筑模型中。在 2001 年,CIFE 提出了建设领域的虚拟设计与施工(Virtual Design and Construction, VDC)的理论和方法。今天,4D 工程管理和 VDC 都是 BIM 的重要组成部分。

在这期间,软件开发商经过不断努力与实践,开发出了一批不错的建筑软件。匈牙利的 Graphisoft 公司、美国的 Bentley 公司以及美国的 Revit 技术公司都是软件开发商中的代表。美国的 Autodesk 公司在 2002 年收购了 Revit 技术公司,Revit 便成为 Autodesk 公司旗下的产品。

2002 年,时任美国 Autodesk 公司副总裁菲利普·伯恩斯坦首次在世界上提出 Building Information Modeling 这个新的建筑信息技术名词术语,于是它的缩写 BIM 也作为一个新术语应运而生。

随着 BIM 应用的不断扩大以及研究的不断深入,人们对 BIM 的认识不断深化。BIM 的含义比起问世时大大拓展。可以认为,BIM 的含义应当包括以下三个方面。

① BIM 是设施所有信息的数字化表达,是一个可以作为设施虚拟替代物的信息化电子模型,是共享信息的资源,即 Building Information Model,称为 BIM 模型。

② BIM 是在开放标准和互用性基础之上建立、完善和利用设施的信息化电子模型的行为过程,设施有关的各方面可以根据各自职责对模型插入、提取、更新和修改信息,以支持设施的各种需要,即 Building Information Modeling,称为 BIM 建模。

③ BIM 是一个透明的、可重复的、可核查的、可持续的协同工作环境,在这个环境中,各参与方在设施全生命周期中都可以及时联络,共享项目信息,并通过分析信息,做出决策和改善设施的交付过程,使项目得到有效的管理,也就是 Building Information Management,称为建筑信息管理。

2.1.2 BIM 完成使命的方法

尽管工程项目的参与方众多、生命周期时间跨度大、使用的软件产品种类复杂,但是构成这些复杂的业务流程直至整个项目的基本单元却有着相同的结构。

由此可知,组成整个 BIM 宏大使命的基本单元就是:每个任务的输入信息能够从上游的一个或多个任务输出信息中自动获取,每个任务的输出信息能够自动成为下游一个或多个任务的部分或全部输入信息。

美国 BIM 标准把跟 BIM 有关的人员分成如下三类。

① BIM 用户：包括建筑信息创建人和使用人，他们决定支持业务所需要的信息，然后使用这些信息完成自己的业务功能，所有项目参与方都属于 BIM 用户。

② BIM 标准提供者：为建筑信息和建筑信息数据处理建立和维护标准。

③ BIM 工具制造商：开发和实施软件及集成系统，提供技术和数据处理服务。

由于在执行层面所有项目成员都依靠不同的软件产品来完成属于自己职责范围内的信息输入、处理和输出工作，因此对于 BIM 用户来说，BIM 的使命可以简化为一个项目中使用的数十上百个软件之间信息的自由流动，其中上面文字所谓的“自动”就是指不需要人工干预（例如人工解释、人工录入等），机器能够自动识别。

要实现这个目的，本质上有下列三种方式。

① 开发一个超级软件支持所有项目成员完成项目生命周期不同阶段的所有任务：当这样的描述摆在业内人士面前的时候，几乎没有人会认为这件事情实际上可以实现。但是，在现实世界里，不知道是因为 BIM 资料介绍得不清楚还是有些同行理解有误，认为 BIM 可以解决所有问题的人还是有相当一部分的，另外一个常见的误区是所有项目信息都放一个 BIM 模型里面。

② 不同软件之间直接进行信息交换：既可以用来实现人与人之间的信息交换，也可以用来实现软件和软件之间的信息交换。如果涉及的软件数量比较少，这是一个非常有效的方式，但是当互相之间需要进行信息交换的软件数量达到一定程度以后（例如 10 个以上），这种方式的成本会呈几何级数增加。只要有一个软件的数据模型由于版本升级等原因进行了改变，所有其他软件和该软件的接口都要进行更新。

③ 开发一个所有软件都支持的中间文件（数据标准），软件之间的信息交换通过该中间文件来实现。需要说明的是，虽然这种方式最具有可行性，但开发这样一个能够支持所有项目参与方在项目不同阶段使用数以百计和数以千计应用软件完成各自项目职责的数据标准，其需要投入的人力、物力、时间也将是巨大的。

美国的一项研究资料表明，开发和维护 20 个软件之间直接进行信息交换所需要的成本，是开发和维护一个 20 个软件都支持的中间数据标准所需要成本的 20 倍。

这就是今天为 BIM 完成使命选择的办法，开发一个支持项目生命周期所有阶段、所有项目成员、所有软件产品之间自动进行信息交换的数据标准。因为需要支持的范围如此之广，所以必须是一个公开标准（相对于专用标准而言）；又因为需要支持信息自动交换，所以必须是一个结构化的标准（相对于非结构化而言）。

2.1.3 BIM 技术及特点

BIM 技术是一项应用于设施全生命周期的 3D 数字化技术，它以一个贯穿其生命周期的通用数据格式，创建、收集该设施所有相关的信息并建立起信息协调的信息化模型作为项目决策的基础和共享信息的资源。具有以下四个特点。

(1) 操作的可视化

可视化是 BIM 技术最显而易见的特点，BIM 技术的一切操作都是在可视化的环境下完成的。而且为实现可视化操作开辟了广阔的前景，其附带的构件信息（几何信息、关联信息、技术信息等）为可视化操作提供了有力的支持，不但使一些比较抽象的信息（如应力、温度、热舒适性）可以用可视化方式表达出来，还可以将设施建设过程及各种相互关系动态地表现出来。