

SIMPLIFIED SERIES OF
CIVIL ENGINEERING

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

杨杰 编著

简明土木工程系列专辑

框架结构计算分析与 设计实例

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



知识产权出版社
www.cnipr.com



TU323. 5/3

2008

Simplified Series of Civil Engineering

清华大学土木工程系组编

丛书主编 崔京浩

杨杰 编著

简明土木工程系列专辑

框架结构计算分析与 设计实例

中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



知识产权出版社
www.cnipr.com



内容提要

本书是由清华大学土木工程系编组的“简明土木工程系列专辑”中的一本，主要针对建筑结构中最常见的结构型式——框架结构，重点讲述了其结构计算与工程设计的基本方法和详细过程。书中按照结构设计的流程，首先介绍了框架结构的方案布置、荷载分析、内力与侧移的近似计算方法，并给出了荷载效应组合的实用公式；然后分别针对非抗震设计和抗震设计讲述了截面验算方法与相应的构造要求；最后针对一个工程实例，用大量篇幅逐步详尽地阐述了框架结构设计的全过程。

本书全部内容均依据我国现行的最新结构设计规范组织编写，并对规范罗列条文的叙述方式进行了梳理，尽可能以表格的形式将相关内容归纳总结，以便于读者理解和查阅。全书严扣规范，讲解细致，表格清晰明了，例题细致精准，具有极强的实用性和可操作性，使工程设计人员，尤其是初学入门者，能够在掌握框架结构设计基本理论的基础上，形成清晰的设计思路，掌握规范的设计计算流程。

本书可作为高等院校土木工程专业的教学用书、毕业设计参考书，也可供工程设计人员参考查阅。

选题策划： 阳 淼 张宝林 E-mail: yangsanshui@vip. sina. com; z_baolin@263. net

责任编辑： 阳 淼 张宝林

文字编辑： 张 冰

图书在版编目 (CIP) 数据

框架结构计算分析与设计实例 / 杨杰编著. —北京: 中国水利水电出版社: 知识产权出版社, 2008

(简明土木工程系列专辑 / 崔京浩主编)

ISBN 978 - 7 - 5084 - 5647 - 8

I. 框… II. 杨… III. ①框架结构—结构计算②框架结构—结构分析③框架结构—结构设计 IV. TU323. 5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 085490 号

简明土木工程系列专辑

框架结构计算分析与设计实例

杨杰 编著

中国水利水电出版社 出版发行 (北京市西城区三里河路 6 号; 电话: 010 - 68367658)
知识产权出版社 (北京市海淀区马甸南村 1 号; 电话: 010 - 82005070)

北京科水图书销售中心零售 (电话: 010 - 88383994、63202643)

全国各地新华书店和相关出版物销售网点经售

中国水利水电出版社微机排版中心排版

北京市兴怀印刷厂印刷

140mm×203mm 32 开本 7.625 印张 205 千字

2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

印数: 0001—4000 册

定价: 20.00 元

版权所有·侵权必究

如有印装质量问题, 可由中国水利水电出版社营销中心调换
(邮政编码 100044, 电子邮件: sales@waterpub. com. cn)

清华大学土木工程系组编

简明土木工程系列专辑

编 委 会

名誉主编 陈肇元 袁 驹

主 编 崔京浩

副主编 石永久 宋二祥

编 委 (按汉语拼音排序)

陈永灿 胡和平 金 峰 李庆斌

刘洪玉 钱稼茹 王志浩 王忠静

武晓峰 辛克贵 阳 森 杨 强

余锡平 张建民 张建平

编 辑 办 公 室

主 任 阳 森

成 员 张宝林 彭天赦 张 冰 邹艳芳

总序

国务院学位委员会在学科简介中为土木工程所下的定义是：“土木工程（Civil Engineering）是建造各类工程设施的科学技术的统称。它既指工程建设的对象，即建造在地上、地下、水中的各种工程设施，也指所应用的材料、设备和所进行的勘测、设计、施工、保养、维修等专业技术”。土木工程是一个专业覆盖面极广的一级学科。

英语中“Civil”一词的意义是民间的和民用的。“Civil Engineering”一词最初是对应于军事工程（Military Engineering）而诞生的，它是指除了服务于战争设施以外的一切为了生活和生产所需要的民用工程设施的总称，后来这个界定就不那么明确了。按照学科划分，地下防护工程、航天发射塔架等设施也都属于土木工程的范畴。

土木工程是国家的基础产业和支柱产业，是开发和吸纳我国劳动力资源的一个重要平台，由于它投入大、带动的行业多，对国民经济的消长具有举足轻重的作用。改革开放后，我国国民经济持续高涨，土建行业的贡献率达到1/3；近年来，我国固定资产的投入接近甚至超过GDP总量的50%，其中绝大多数都与土建行业有关。随着城市化的发展，这一趋势还将继续呈现增长的势头。

相对于机械工程等传统学科而言，土木工程诞生得更早，其发展及演变历史更为古老。同时，它又是一个生命力极强的学科，它强大的生命力源于人类生活乃至生存对它的依赖，甚至可以毫不夸张地说，只要有人类存在，土木工程就有着强大的社会需求和广阔的发展空间。

随着技术的进步和时代的发展，土木工程不断注入新鲜血液，呈现出勃勃生机。其中工程材料的变革和力学理论的发展起

着最为重要的推动作用。现代土木工程早已不是传统意义上的砖瓦灰砂石，而是由新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法武装起来的为众多领域和行业不可或缺的大型综合性学科，一个古老而又年轻的学科。

综上所述，土木工程是一个历史悠久、生命力强、投入巨大、对国民经济具有拉动作用、专业覆盖面和行业涉及面极广的一级学科和大型综合性产业，为它编写一套集新颖性、实用性和科学性为一体的“简明系列专辑”，既是社会的召唤和需求，也是我们的责任和义务。

清华大学土木工程系是清华大学建校后成立最早的科系之一，历史悠久，实力也比较雄厚，有较强的社会影响和较广泛的社会联系，组编一套“简明土木工程系列专辑”，既是应尽的责任也是一份贡献，但面对土木工程这样一个覆盖面极广的一级学科，我们组编实际起两个作用：其一是组织工作，组织广大兄弟院校及设计施工部门的专家和学者们编写；其二是保证质量的作用，我们有一个较为完善的专家库，必要时请专家审阅、定稿。

简明土木工程系列专辑包括以下几层含义：简明，就是避免不必要的理论证明和繁琐的公式推导，采用简洁明快的表述方法，图文并茂，深入浅出，浅显易懂；系列，指不是一本书而是一套书，这套书力争囊括土木工程涵盖的各个次级学科和专业；专辑，就是以某个特定内容编辑成册的图书，每本书的内容可以是某种结构的分析与计算，某个设计施工方法，一种安装工艺流程，某种监测判定手段，一个特定的行业标准，等等，均可独立成册。

这套丛书不称其为“手册”而命名为“系列专辑”，原因之一是一些特定专题不易用手册的方法编写；原因之二是传统的手册往往“大而全”，书厚且涉及的技术领域多，而任何一个工程技术人员在某一个阶段所从事的具体工作又是针对性很强的，将几个专业甚至一个项目的某个阶段集中在一本“大而全”的手册势必造成携带、查阅上的不方便，加之图书的成本过高，编写机构臃肿，组织协调困难，出书及再版周期过长，以致很难反映现

代技术飞速发展、标准规范规程更新速度太快的现实。考虑到这些弊端，这套系列专辑采用小开本，在选题上尽量划分得细一些，视专业、行业、工种甚至流程的不同，能独立成册的绝不合二为一，每本书原则上只讨论一个专题，根据专题的性质和特点有的书名仍冠以“手册”两字。

这套系列专辑的编写严格贯彻“新颖性、实用性、科学性”三大原则。

新颖性，就是充分反映有关新标准、新规程、新规范、新理论、新技术、新材料、新工艺、新方法，老的、过时的、已退出市场的一律不要。体现强劲的时代风貌。

实用性，就是避免不必要的说理和冗长的论述，尽可能从实用的角度用简洁的语言以及数据、表格、曲线图形来表述；深入浅出，让人一看就懂，一懂能用；不是手册，胜似手册。

科学性，就是编写内容均有出处，参考文献除国家标准、行业标准、地方标准必须列出以外，尚包括引用的论文、专著、手册及教科书。

这套系列专辑的读者对象是比较宽泛的，它包括大专院校师生，土木工程领域的管理、设计、施工人员，以及具有一定阅读能力的建筑工人。它既可作为土建技术人员随身携带及时查阅的手册，又可选作大专院校、高职高专的教材及专题性教辅材料。

崔京浩

2005年10月于清华园

崔京浩，男，山东淄博人。1960年清华大学土建系毕业，1964年清华大学结构力学研究生毕业，1986~1988年赴挪威皇家科学技术委员会做博士后，从事围岩应力分析的研究。先后发表论文150多篇，编著专业书4本，参加并组织编写巨著《中国土木工程指南》，任编辑办公室主任，并为该书撰写绪论；主持编写由清华大学土木工程系组编的“土木工程新技术丛书”和“简明土木工程系列专辑”，并任主编。曾任清华大学土木系副主任，现为中国力学学会理事，《工程力学》学报主编，享受国务院特殊津贴。

前言

框架结构是一种常见的建筑结构体系，广泛应用于住宅、办公楼、商场、宾馆以及多层工业厂房。框架结构的主要承重体系简单规则、受力特点明确，在建筑结构设计的教学与实践环节中，占有重要的地位。

虽然已有很多介绍框架结构设计的图书，然而近年来我国建筑结构设计规范进行了大量的修订，以《建筑结构荷载规范》为例，《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)于2002年1月颁布，自2002年3月1日起施行。原《建筑结构荷载规范》(GBJ 9—87)于2002年12月31日废止。随后又于2006年7月对《建筑结构荷载规范》(GB 50009—2001)进行了局部修订(包含部分强制性条文，如第3.2.3条、第3.2.5条、第4.1.1条和第7.1.1条)。建设部规定自2006年11月1日起应按2006年修订版的《建筑结构荷载规范》实施。虽然目前常用建筑结构设计规范的频繁修订已经告一段落，但这轮修订却使得此前大部分图书所援引的规范条文已经是废止失效的内容。因而真正按照最新规范编写结构设计的教科书和参考书是非常有必要的，也是广大读者所期待的。

本书即是按照当前现行的最新结构设计规范组织编写的，成书期间针对部分规范条文的最新修订，及时对书稿内容进行了调整，力争使本书内容能够带给读者最新的知识。可以预见，本书所涉及的主要规范内容，将会在今后一段较长的时间内保持稳定。

本书针对框架结构的计算与设计，按照工程设计流程分7章依次展开讲述，具体内容如下：

第1章，对框架结构进行了整体概述，介绍了部分国内外较

为知名的框架结构建筑；结合框架结构的组成介绍了其主要特点，并给出了其分类方法，以及框架结构建筑的适用高度和高宽比。

第2章，主要介绍了框架结构的结构布置基本原则，以及如何将实际结构简化为计算简图。本章首先结合图例对结构体系的规则性进行了阐述；进而介绍了结构的柱网布置和承重方案；随后讲述了三种变形缝的设置原则和具体要求，并对框架结构中填充墙的设置及其对计算的影响进行了专门介绍；然后讲述了计算简图的简化方法，以及基本构件截面尺寸的估算方法；最后讨论了楼面梁计算刚度的调整问题。

第3章，分析了作用于结构上的荷载，并具体给出了永久荷载、活荷载、雪荷载、风荷载及地震作用的计算方法，以及如何通过荷载布置得到结构的最不利内力。

第4章，在第2章和第3章的基础上，主要讲述了内力与侧移的近似计算方法。竖向荷载作用下的内力计算采用分层法；水平荷载作用下的内力计算可根据情况分别采用反弯点法、 D 值法和悬臂梁法。框架结构的侧移由两部分组成，文中分别介绍了具体的计算方法，并给出了结构侧移需满足的限值，随后对重力二阶效应做了专门论述。

第5章，主要介绍如何通过荷载效应组合，将第4章计算得到的内力转化为结构的设计内力，其中涉及控制截面的确定、荷载效应组合、最不利内力选择和内力调幅等。为便于设计者查阅应用，书中还特别给出了多高层框架结构的荷载效应基本组合的实用组合公式表。

第6章，重点介绍了框架结构的非抗震设计和抗震设计。本章首先介绍了非抗震设计时框架梁和框架柱截面验算要求与构造要求，以及框架节点的构造处理；然后在此基础上对抗震设计展开重点论述，包括抗震等级的确定方法、三水准两阶段设计方法、延性框架设计原则和截面验算以及构造要求。

第7章，主要针对一个工程实例，详细地列出了框架结构计

算与设计的全过程，包括基本计算参数的取用与计算、各种荷载（作用）计算、结构内力计算、荷载效应组合、结构性能控制指标验算和截面配筋设计等。计算过程尽量采用图表化的表述方法，思路清晰、步骤详尽，指导性强，参考价值大。

本书从2005年起开始着手写作，其间历时3年，数易其稿。在整个编写过程中，中国水利水电出版社的阳森副总编辑和张冰编辑给予了充分理解和大力支持，在此表示深深地感谢！东南大学的李爱群教授和南京航空航天大学的艾军教授也始终对本书的出版给予关怀，在此一并表示衷心地感谢！

作者真诚希望，本书能为土木工程专业学生的建筑结构设计课程的学习、毕业设计以及新从业的工程设计人员提供有益的帮助，使他们能够快速且正确地掌握结构设计的基本流程、计算理论与设计方法。

此外，热诚希望广大读者对本书提出宝贵意见，以使本书能不断完善。

目 录

总序	
前言	
第1章 框架结构概述	1
第1节 框架结构的组成与特点	5
第2节 框架结构的分类	7
第3节 框架结构房屋的适用高度和高宽比	9
第2章 结构布置与计算简图	11
第1节 结构布置	11
第2节 计算简图	25
第3章 荷载分析	34
第1节 荷载计算	34
第2节 荷载布置	51
第4章 内力与侧移的近似计算方法	55
第1节 竖向荷载作用下的分层法	55
第2节 水平荷载作用下的反弯点法	59
第3节 水平荷载作用下的 D 值法	64
第4节 水平荷载作用下的悬臂梁法	82
第5节 侧移计算	83
第6节 重力二阶效应及结构稳定	87
第5章 设计内力	92
第1节 控制截面	92
第2节 荷载效应组合(含地震作用)与最不利内力	93
第3节 内力调幅	100
第4节 内力组合步骤	101

第 6 章 截面配筋验算与构造	103
第 1 节 框架的非抗震设计/103	
第 2 节 延性框架的抗震设计/124	
第 7 章 框架结构设计实例详解	150
第 1 节 工程设计基本资料/150	
第 2 节 计算参数确定/151	
第 3 节 内力计算/162	
第 4 节 荷载效应组合/188	
第 5 节 结构主要控制指标验算/191	
第 6 节 截面配筋设计/193	
附录 A 常用材料和构件的自重	207
附录 B 常用材料强度	224
参考文献	226
出版者的话	

第 1 章 框架结构概述

框架结构是多高层建筑较多采用的结构形式，可广泛适用于民用住宅、办公楼、旅馆、医院、商场和工业车间等，如图 1.1 所示。

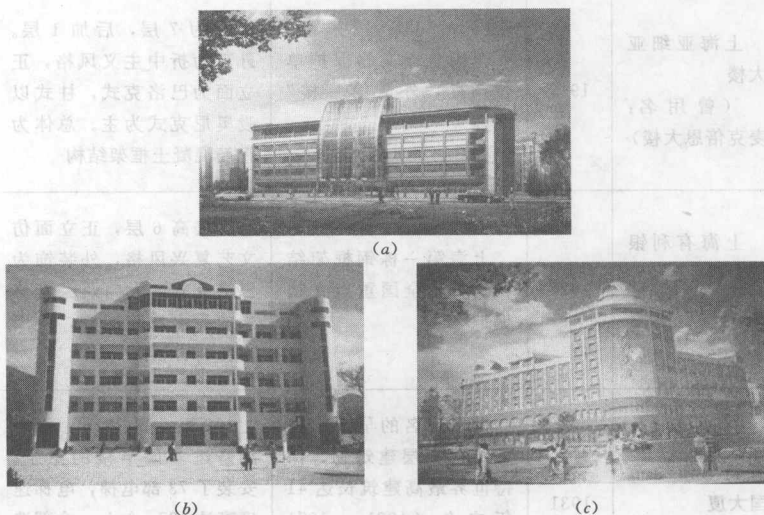


图 1.1 常见的框架结构建筑

(a) 综合办公楼；(b) 中学教学楼；(c) 商场

采用框架结构的建筑非常多，其中部分国内外较为知名的框架结构建筑经整理列于表 1.1 中。

表 1.1 部分国内外较为知名的框架结构建筑

建筑名称	年份	特 色	说 明
美国芝加哥家庭 保险公司大楼 (见图 1.2)	1884	世界上第一栋近代高层建筑，首次采用了钢框架结构	10 层，55m，毁于 1931 年

续表

建筑名称	年份	特 色	说 明
巴黎蒙玛尔特教堂	1894	第一个用钢筋混凝土框架结构建造的教堂	由法国著名建筑师包柱设计
美国因格尔斯大楼 (见图 1.3)	1903	世界上最早的钢筋混凝土框架结构高层建筑。1974年,被评为美国历史性地标建筑	地上 16 层, 建筑高度 64m
上海亚细亚大楼 (曾用名: 麦克倍恩大楼)	1913	全国重点文物保护单位, 有“外滩第一楼”之称	原为 7 层, 后加 1 层。外观为折中主义风格, 正立面为巴洛克式, 柱式以爱奥尼克式为主。总体为钢筋混凝土框架结构
上海有利银行大楼 (曾用名: 友宁大楼)	1922	上海第一栋钢框架结构大楼, 全国重点文物保护单位	大楼高 6 层, 正立面仿文艺复兴风格, 外装饰为巴洛克式, 大门两旁有修长的爱奥尼克式柱, 外墙用花岗岩贴面
美国纽约帝国大厦 (见图 1.4)	1931	世界著名的早期钢框架结构高层建筑物, 保持世界最高建筑长达 41 年之久 (1931 ~ 1971 年), 是目前纽约的最高建筑	102 层, 高 381m; 创每周修建 4 层半楼的纪录; 安装了 73 部电梯, 电梯速度高达 427m/min; 全部造价 4100 万美元, 1945 年遭轰炸机碰撞后修复
上海国际饭店 (见图 1.5)	1934	中国人自己筹资建造的第一栋摩天大楼和 20 世纪 30 年代亚洲最先进的酒店, 上海滩 20 世纪 30~40 年代的地标建筑, 上海市地理坐标原点 (0, 0) 所在地	占地面积 1179m ² , 地上 22 层, 地下 2 层, 地上高度 83.8m, 大楼总建筑面积 15650 m ² 。在 1952 年之前一直是“远东第一高楼”。1983 年南京建成金陵饭店前一直是中国第一高楼

续表

建筑名称	年份	特 色	说 明
上海同济大学文远楼 (见图 1.6)	1954	我国最早的、唯一的、典型的德国包豪斯风格的建筑，是中国第一栋现代主义建筑	典型的 3 层不对称的错层式钢筋混凝土框架结构建筑，其建筑面积达 5050m ² 。主要建筑师是黄毓麟、哈雄文，主要结构师是俞载道，当时是为同济大学建筑系教学使用而设计建造的，后作为土木学院办公楼使用至 2005 年，现为建筑与城市规划学院使用。该建筑于 2007 年完成了世界一流的生态节能改造
北京民族饭店 (见图 1.7)	1959	新中国第一座全装配式框架结构的饭店，是建国 10 周年十大建筑之一	主楼高 11 层，东西跨度 100m，南北跨度 50m，建筑面积 4.58 万 m ² ，2008 年北京奥运会接待饭店



图 1.2 美国芝加哥家庭保险公司大楼



图 1.3 美国因格尔斯大楼

表 1.1



图 1.4 美国纽约帝国大厦



图 1.5 上海国际饭店



图 1.6 上海同济大学文远楼



图 1.7 北京民族饭店

第 1 节 框架结构的组成与特点

框架结构是由水平放置的梁构件和竖向放置的柱构件组成的主要承重框架，与楼（屋）面板共同构成的空间受力结构，并通过布置非承重填充墙（隔墙）形成适应需要的独立的建筑空间，如图 1.8 所示。

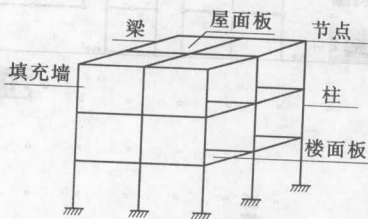


图 1.8 框架结构的基本形式

梁与柱的连接处通常称为框架节点，一般采用刚性连接 [《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3—2002)，以下简称《高规》(JGJ 3—2002)] 规定：框架结构的主体结构除个别部位