



# 钢结构

## 设计方法

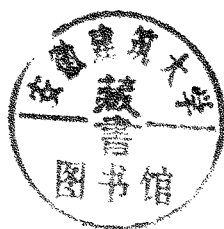
童根树◎著

GANGJIEGOU  
SHEJI FANGFA

中国建筑工业出版社

# 钢结构设计方法

童根树 著



中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

钢结构设计方法/童根树著. —北京: 中国建筑工程  
出版社, 2007

ISBN 978-7-112-09589-6

I. 钢… II. 童… III. 钢结构-结构设计 IV. TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 115668 号

**钢结构设计方法**

童根树 著

\*

中国建筑工程出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京蓝海印刷有限公司印刷

\*

开本: 787 × 1092 毫米 1/16 印张: 21 $\frac{3}{4}$  字数: 537 千字

2007 年 11 月第一版 2007 年 11 月第一次印刷

印数: 1—4000 册 定价: 42.00 元

ISBN 978-7-112-09589-6

(16253)

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)

本书分三个部分。第一部分钢结构设计方法总论：对钢结构设计方法的整个理论体系进行了系统的论述，对钢框架稳定设计的各种方法及其演化进行阐述和评述，系统总结了多层和高层钢结构和钢框架的分类、内力分析方法及其配套的稳定性设计方法，高层钢结构失稳模式的判定方法。对钢结构抗震设计的重要概念和方法进行介绍和评论，介绍了重要的抗震设计的基本理论和正在发展中的钢结构抗震设计方法，特别是对一些重要概念的阐述，对阻尼、后期刚度、二阶效应、多自由度体系等对地震力的影响等进行了介绍。总结和提出了钢结构的延性地震力计算方法及其配套的抗震设计措施，在总结归纳的基础上，发展了梁、柱、板、抗侧力结构体系的分类方法，设计了四个结构影响系数表。介绍梁柱连接的各种分类方法，并介绍了五种最常用梁柱连接节点的设计方法。以很大的篇幅研究锚栓柱脚、外包式柱脚和埋入式柱脚的设计技术。

第二部分钢—混凝土组合梁基本理论及其设计方法：钢—混凝土组合梁设计方法的变化非常多，有弹性设计与塑性设计、完全组合与非完全组合、自重组合与非自重组合等，本书介绍了考虑滑移影响的组合梁弹性弯曲理论，对栓钉的抗滑移刚度进行论述，介绍简支组合梁的各种设计方法，对连续组合梁的内力分析模型、弯矩调幅的幅度以及配套的钢截面宽厚比的限制、正负弯矩区楼板有效宽度等进行了详细介绍。以相当多的篇幅介绍了组合楼盖体系的振动舒适度设计。

最后一部分介绍了与钢结构配套的新技术和新方法，包括钢筋桁架楼板技术，嵌套搭接的连续檩条设计方法，上弦可拆卸的三角组合钢桁架楼盖结构体系，连续吊车梁的设计方法，以及与钢结构建筑配套的装配式剪力墙的设计技术。

本书值得每一位从事结构工程设计的技术人员阅读参考。本书可作为结构工程专业的硕士和博士研究生作为高等钢结构设计理论的泛读教材。书中提出的大量新的公式，具有简单、可操作的特点，并配有解说和简单的推导，可供工程技术人员应用参考。

\* \* \*

责任编辑：赵梦梅

责任设计：赵明霞

责任校对：梁珊珊 张虹

# 前 言

过去十年,各种类型的钢结构都在我国获得了大范围的应用,结构工程师有幸参与了这个过程。钢结构应用的快速发展促进了对钢结构设计方法的研究。由于研究手段的现代化,这十年钢结构稳定理论和抗震设计理论的研究取得了巨大的进展,与钢结构配套的新技术也不断出现。

要设计经济安全的钢结构,离不开对钢结构工作性能的深入把握。本书是作者十年来在钢结构理论和设计方法方面的研究工作的部分总结,偏向工程应用。相当多的内容在国内钢结构技术和有关软件的培训班上,特别是在杭州市结构与地基研究会的学术活动中作过演讲。由于这个缘故,本书的部分章节会出现一点口语化的语言。

本书分以下三篇:

## 一、钢结构设计方法总论

这是本书的主要部分,占近一半的篇幅,其目的是系统论述钢结构设计方法的理论体系。共分七章。

第1章对宏观和微观层面的钢结构设计方法在总体上进行论述、总结、讨论和发展,内容涉及钢结构设计问题的各重要方面,如截面分类、弹性和塑性内力分析方法与构件设计方法的配套,一阶分析、二阶分析、整体屈曲分析、两种刚度验算、破坏机构控制设计法、钢结构中如何应用弯矩调幅法等。

第2章对框架稳定性设计方法及其演化进行阐述和评述,包括计算长度法、修正的计算长度法、计算长度系数的物理意义,层稳定系数法和假想荷载法。

第3章系统论述多层和高层钢结构和钢框架的分类、内力分析方法及其配套的稳定性设计方法,并包含了双重抗侧力体系中框架柱稳定计算的两个算例。

第4章对钢结构抗震设计的重要问题进行评论和论述,介绍了重要的抗震设计的基本理论(地震力理论)和正在发展中的钢结构抗震设计方法,特别是对一些重要概念的阐述,对一些重要参数如阻尼、后期刚度、自由度数等对地震力的影响等进行了论述。

第5章与第4章呼应,系统地总结和提出了钢结构的延性地震力计算方法及其配套的抗震设计措施,在总结归纳的基础上,发展了梁、柱、板、抗侧力结构体系的分类方法,设计了四个结构影响系数表。

第6章介绍梁柱连接的各种分类方法,并介绍了五种最常用梁柱连接节点的设计方法。第7章以很大的篇幅研究锚栓柱脚、外包式柱脚和埋入式柱脚的设计。

## 二、钢—混凝土组合梁设计理论及其应用

钢—混凝土组合梁以其经济节省而得到大量的应用,但是组合梁及其设计方法的变化非常多,有弹性设计与塑性设计、完全组合与非完全组合、自重组合与非自重组合等,值得用较多的篇幅对其理论和设计方法的各个方面进行系统的阐述。

第8章系统全面地介绍了考虑滑移影响的组合梁弹性弯曲理论,对栓钉的抗滑移刚度

的取值进行论述,对组合梁的挠度放大系数和钢—混凝土组合作用系数进行了理论推导。

第9章介绍各种简支组合梁的设计方法。

第10章是连续组合梁的设计方法,其中特别论述不同的内力分析模型(变截面和等截面)和分析方法(塑性和弹性分析)、弯矩调幅的幅度以及配套的钢截面宽厚比的限制、求正负弯矩区楼板有效宽度的计算等。

第11章介绍组合楼盖体系的振动舒适度设计,这是组合楼盖体系以及轻型人行桥梁的重要设计内容之一,国内还没有系统地介绍过。

第12章则是连续组合梁采用不同方法设计的两个例子,并附有评论及对比。

这部分的篇幅占1/3。

### 三、钢结构配套新技术和新方法

这一部分是介绍作者主持和参与开发研究的几项与钢结构配套应用的技术。第13章的钢筋桁架楼层板技术,它因施工无须支模、其性能又与现浇钢筋混凝土楼板一样,而具有广泛的推广应用前景。第14章介绍嵌套搭接连接的连续檩条设计方法的研究。第15章是上弦可拆卸的三角组合钢桁架楼盖结构体系,在9~21m的大跨度楼盖中应用,它具有巨大的经济性。第16章则介绍了连续吊车梁的设计方法。最后一章则是与钢结构建筑配套的装配式剪力墙的设计技术,包含带竖缝的剪力墙和实体混凝土剪力墙的设计技术,笔者认为这种预制的剪力墙对实现钢结构住宅和普通高层钢结构工程的产业化具有一定的价值。

在本书出版之际,向张磊、赵伟、米旭峰、邢国然、赵永峰等博士表示感谢,他们分别对连续檩条、梁柱端板螺栓连接、钢支撑架和竖缝墙的抗震设计方法、框架设计的层稳定系数法、钢结构的延性地震力理论和组合梁理论进行了仔细的研究。作者希望,本书的出版能够对我国钢结构设计方法和技术的发展起一定的促进和推动作用。

最后感谢浙江杭萧钢构股份有限公司董事长单银木先生对作者研究工作长期的支持,宁波峰领建筑科技发展有限公司杨峰先生为本书的出版也提供了很大的帮助,借此机会对他们表示深深的感谢。

童根树

2007年5月11日于杭州,浙江大学

# 目 录

## 第一篇 钢结构设计方法总论

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 钢结构设计方法总论</b> .....          | 2  |
| 1.1 第 1 层次的设计方法：安全度的考虑 .....          | 2  |
| 1.1.1 可靠度问题 .....                     | 2  |
| 1.1.2 荷载组合 .....                      | 3  |
| 1.2 第二层次的分析方法：内力分析方法 .....            | 4  |
| 1.2.1 各种分析方法简介 .....                  | 4  |
| 1.2.2 为什么要发展二阶分析方法 .....              | 5  |
| 1.3 第三层次的设计方法：截面和构件的设计 .....          | 6  |
| 1.3.1 四类截面的定义 .....                   | 6  |
| 1.3.2 四类截面的定量指标 .....                 | 7  |
| 1.3.3 不同类别截面的应用 .....                 | 9  |
| 1.4 各个层次设计方法的配套 .....                 | 9  |
| 1.5 机构控制设计法（能力设计法） .....              | 10 |
| 1.6 关于目前广泛采用的 E-P 设计法的一个评论 .....      | 13 |
| 1.7 关于塑性设计方法和弯矩调幅法 .....              | 14 |
| 1.8 钢结构采用弯矩调幅法 .....                  | 16 |
| 1.9 关于一阶弹性分析和二阶弹性分析 .....             | 17 |
| 1.10 如何看待屈曲分析得到的弹性临界荷载 .....          | 18 |
| 1.11 如何看待假想荷载法？ .....                 | 20 |
| 1.12 钢结构设计中的两种刚度验算：长细比与挠度和侧移验算 .....  | 21 |
| 参考文献 .....                            | 22 |
| <b>第 2 章 框架稳定设计方法的发展</b> .....        | 23 |
| 2.1 传统的计算长度系数法——框架柱稳定性设计的方法 .....     | 23 |
| 2.2 为什么计算长度系数法能够应用于框架柱的稳定设计 .....     | 24 |
| 2.3 框架有侧移失稳——一个简单的判定准则 .....          | 24 |
| 2.4 同层各柱的相互作用——修正计算长度系数法及其困难 .....    | 25 |
| 2.5 框架整体屈曲分析方法应用于设计——一种可能被误用的方法 ..... | 27 |
| 2.6 层与层的相互作用——三层或二层模型 .....           | 28 |
| 2.7 基于层整体弹塑性失稳的框架稳定系数 .....           | 29 |
| 2.8 按照整层失稳模式的稳定性设计建议 .....            | 30 |
| 2.9 对建议的说明和一个算例 .....                 | 33 |

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 2.10 框架柱无侧移失稳与框架层整体有侧移失稳的相互作用 .....                  | 34 |
| 参考文献 .....                                           | 35 |
| <b>第3章 结构和框架的分类及稳定性计算</b> .....                      | 36 |
| 3.1 框架分类 1: 强支撑框架和弱支撑框架、纯框架 .....                    | 36 |
| 3.2 框架分类 2: 有侧移框架和无侧移框架 .....                        | 37 |
| 3.3 支撑架的分类 .....                                     | 37 |
| 3.4 结构分类: 侧移不敏感结构和侧移敏感结构 .....                       | 38 |
| 3.5 关于线性分析和二阶分析及其稳定性计算 .....                         | 40 |
| 3.6 内力采用线性弹性分析时框架柱的计算长度系数 .....                      | 44 |
| 3.7 强支撑框架的判定准则 .....                                 | 45 |
| 3.8 弱支撑框架柱的计算长度系数 .....                              | 47 |
| 3.9 弹塑性非线性分析作为设计工具的规定 .....                          | 49 |
| 3.10 双重抗侧力结构中框架柱稳定算例 .....                           | 52 |
| 3.10.1 剪切型支撑架算例 .....                                | 52 |
| 3.10.2 弯曲型支撑架算例 .....                                | 54 |
| 参考文献 .....                                           | 58 |
| <b>第4章 钢结构抗震设计漫谈</b> .....                           | 60 |
| 4.1 弹性结构对地震的反应及其设计采用的地震力 .....                       | 60 |
| 4.1.1 结构设计采用的地震力 .....                               | 60 |
| 4.1.2 弹性加速度反应谱——单一的设计要求 .....                        | 60 |
| 4.1.3 三水准设防目标——三种地震作用 .....                          | 61 |
| 4.1.4 为什么不按照弹性反应要求对结构进行设计 .....                      | 63 |
| 4.2 结构的弹塑性地震反应及其设计目标 .....                           | 63 |
| 4.2.1 结构的弹塑性地震反应分析 .....                             | 63 |
| 4.2.2 对弹塑性结构设计的双重要求: 延性和承载力及其两者之间的妥协 .....           | 64 |
| 4.3 国际上两种地震力理论 .....                                 | 64 |
| 4.3.1 小震弹性地震力理论及其背后隐藏的实质 .....                       | 64 |
| 4.3.2 承载力抗震调整系数 $\gamma_{RE}$ 的物理意义及其对延性钢结构的排斥 ..... | 65 |
| 4.3.3 延性地震力理论 .....                                  | 67 |
| 4.3.4 能力谱方法及其与延性地震力理论的联系 .....                       | 71 |
| 4.3.5 地震力的社会政治因素 .....                               | 72 |
| 4.3.6 欧美日的结构影响系数中究竟包含了哪些因素? .....                    | 72 |
| 4.4 对层间侧移的限值如何影响结构实际承受的地震力? .....                    | 73 |
| 4.5 耗能能力——客观地认识其作用 .....                             | 74 |
| 4.5.1 地震输入一个结构的能量是一定的吗? .....                        | 74 |
| 4.5.2 在地震中具有决定性作用的是耗能能力还是延性? .....                   | 75 |
| 4.5.3 对欧美日一些强调延性却不一定强调耗能能力的抗震设计规定的理解 .....           | 76 |
| 4.6 阻尼、后期刚度、滞回曲线的形状、二阶效应和多自由度等对结构抗震性能的影响 .....       | 78 |
| 4.6.1 阻尼的影响 .....                                    | 78 |
| 4.6.2 后期刚度的影响 .....                                  | 78 |



|                                                |            |
|------------------------------------------------|------------|
| 4.6.3 滞回曲线形状的影响 .....                          | 79         |
| 4.6.4 二阶效应的影响 .....                            | 79         |
| 4.6.5 多自由度的影响 .....                            | 80         |
| 4.7 延性好的钢结构在什么时候实际上延性是不好的? .....               | 80         |
| 4.7.1 放大支撑力的设计 .....                           | 80         |
| 4.7.2 对“保险丝”构件提出过高的要求 .....                    | 81         |
| 4.7.3 抵抗水平地震力的构件承担了竖向荷载 .....                  | 81         |
| 4.7.4 框架柱轴压比、长细比和宽厚比过大 .....                   | 82         |
| 4.8 中震(大震)下形成破坏机构,各种结构的稳定性如何保证? .....          | 83         |
| 4.9 抗震设计的荷载组合及其验算公式 .....                      | 83         |
| 4.9.1 合理的地震作用:我国的结构影响系数应该包含哪些因素? .....         | 83         |
| 4.9.2 抗震可靠度问题:设计验算公式的推导 .....                  | 84         |
| 4.9.3 动力弹塑性分析决定的地震力,其效应为什么能够与恒活荷载效应线性组合? ..... | 85         |
| 4.10 当前对不同设防烈度采用不同的长细比、宽厚比限值是否合理 .....         | 86         |
| 参考文献 .....                                     | 87         |
| <b>第5章 与抗震设计有关的结构和构件的分类及结构影响系数</b> .....       | <b>89</b>  |
| 5.1 引言 .....                                   | 89         |
| 5.2 构件和板件的分类 .....                             | 90         |
| 5.2.1 板件的分类 .....                              | 90         |
| 5.2.2 柱的分类 .....                               | 92         |
| 5.2.3 梁的分类 .....                               | 93         |
| 5.3 抗侧力构件的分类 .....                             | 94         |
| 5.4 结构影响系数 $C$ .....                           | 98         |
| 5.4.1 结构影响系数和荷载组合 .....                        | 98         |
| 5.4.2 结构影响系数建议值 .....                          | 99         |
| 5.5 强柱弱支撑验算要求 .....                            | 103        |
| 参考文献 .....                                     | 104        |
| <b>第6章 梁柱连接节点的分类及其设计计算</b> .....               | <b>105</b> |
| 6.1 梁柱半刚性连接对于框架线性和非线性性能的影响 .....               | 105        |
| 6.2 梁柱连接节点的分类 .....                            | 107        |
| 6.2.1 梁柱连接基于刚度的分类 .....                        | 107        |
| 6.2.2 梁柱连接基于强度和变形能力的分类 .....                   | 109        |
| 6.2.3 梁柱连接的综合分类 .....                          | 109        |
| 6.3 梁柱节点部位的设计 .....                            | 110        |
| 6.3.1 梁柱节点部位横向加劲肋的设置和设计 .....                  | 111        |
| 6.3.2 梁柱连接节点域的设计计算 .....                       | 112        |
| 6.3.3 两种工艺孔 .....                              | 113        |
| 6.4 各种节点设计方法 .....                             | 114        |
| 6.4.1 改进的栓焊混合梁柱连接节点 .....                      | 114        |
| 6.4.2 全焊接梁柱连接的设计规定 .....                       | 117        |
| 6.4.3 自由翼缘节点 .....                             | 118        |

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| 6.4.4 外伸端板螺栓连接节点设计方法 .....          | 119 |
| 6.4.5 矩形钢管(混凝土)柱的横隔板贯通式梁柱连接节点 ..... | 125 |
| 参考文献 .....                          | 127 |
| <b>第7章 钢柱脚锚栓的设计方法</b> .....         | 128 |
| 7.1 锚栓的类型 .....                     | 128 |
| 7.2 国内外对锚栓研究的概况 .....               | 129 |
| 7.2.1 锚栓仅受拉力情况 .....                | 129 |
| 7.2.2 锚栓仅受剪力情况 .....                | 131 |
| 7.2.3 锚栓既受拉力又受剪力情况 .....            | 132 |
| 7.3 锚栓抗剪的计算方法 .....                 | 132 |
| 7.4 锚栓抗拉和抗剪计算方法 .....               | 134 |
| 7.5 单个螺栓承载力总结 .....                 | 135 |
| 7.6 锚栓内力的计算 .....                   | 137 |
| 7.6.1 各种计算方法介绍 .....                | 137 |
| 7.6.2 两个例子 .....                    | 140 |
| 7.6.3 对各种方法的评论 .....                | 142 |
| 7.6.4 柱脚底板厚度的确定 .....               | 142 |
| 7.7 基于极限状态的柱脚设计方法 .....             | 143 |
| 7.8 外包式柱脚设计 .....                   | 144 |
| 7.8.1 外包式柱脚及其传力分析 .....             | 144 |
| 7.8.2 外包式柱脚中轴力的传递 .....             | 147 |
| 7.8.3 外包式柱脚的设计方法 .....              | 149 |
| 7.9 埋入式钢柱脚的传力分析与设计 .....            | 152 |
| 7.9.1 中柱的埋入式柱脚 .....                | 152 |
| 7.9.2 边柱和角柱:抵抗水平冲切 .....            | 153 |
| 7.9.3 基础竖向冲切不够的处理 .....             | 154 |
| 参考文献 .....                          | 155 |

## 第二篇 钢—混凝土组合梁基本理论及其设计方法

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| <b>第8章 考虑组合面滑移影响的钢—混凝土组合梁弯曲理论</b> .....    | 158 |
| 8.1 考虑界面滑移下的挠度计算研究 .....                   | 158 |
| 8.1.1 对于滑移影响的研究概述 .....                    | 158 |
| 8.1.2 栓钉抗滑移刚度的确定 .....                     | 159 |
| 8.2 考虑滑移影响的组合梁弯曲理论 .....                   | 162 |
| 8.2.1 基本假设 .....                           | 162 |
| 8.2.2 静力法的平衡微分方程及其边界条件 .....               | 163 |
| 8.2.3 能量法 .....                            | 166 |
| 8.2.4 简支梁情况下的解 .....                       | 168 |
| 8.2.5 其他边界条件下的解 .....                      | 170 |
| 8.3 挠度放大系数和截面抗弯刚度折减系数 .....                | 172 |
| 8.3.1 《钢结构设计规范》GB 50017—2003 公式存在的问题 ..... | 172 |

|                                   |                                    |     |
|-----------------------------------|------------------------------------|-----|
| 8.3.2                             | 考虑界面滑移影响的简支梁挠度放大系数 .....           | 172 |
| 8.3.3                             | 考虑界面滑移影响的简支梁截面抗弯刚度 (仅计算挠度用) .....  | 173 |
| 8.3.4                             | 与规范公式的对比 .....                     | 174 |
| 8.3.5                             | 非简支边界条件下的应用 .....                  | 175 |
| 8.3.6                             | 一个完全组合塑性设计简支梁的变形算例及其评论 .....       | 175 |
| 参考文献 .....                        |                                    | 176 |
| <b>第9章 钢与混凝土简支组合梁的设计计算</b> .....  |                                    | 178 |
| 9.1                               | 基本设计规定 .....                       | 178 |
| 9.1.1                             | 钢—混凝土组合梁的适用范围 .....                | 178 |
| 9.1.2                             | 钢材设计指标 $f$ 和混凝土设计指标 $f_c$ .....    | 178 |
| 9.1.3                             | 混凝土楼板参与组合梁共同工作的有效宽度—简支梁 .....      | 179 |
| 9.1.4                             | 混凝土楼板参与组合梁共同工作的有效宽度—连续梁 .....      | 180 |
| 9.1.5                             | 参加组合梁工作的混凝土楼板的高度 .....             | 181 |
| 9.1.6                             | 一个栓钉的承载力 .....                     | 181 |
| 9.1.7                             | 钢梁截面宽厚比的规定 .....                   | 183 |
| 9.1.8                             | 荷载组合 .....                         | 184 |
| 9.2                               | 简支组合梁的分类和设计计算内容 .....              | 184 |
| 9.2.1                             | 自重组合梁和非自重组合梁 .....                 | 184 |
| 9.2.2                             | 完全抗剪组合梁和非完全抗剪组合梁 .....             | 185 |
| 9.2.3                             | 简支组合梁设计选项及其计算内容 .....              | 185 |
| 9.3                               | 正弯矩截面承载力计算: 弹性设计 .....             | 186 |
| 9.3.1                             | 截面性质 .....                         | 186 |
| 9.3.2                             | 考虑滑移影响以后的组合梁截面折算抗弯刚度 .....         | 187 |
| 9.3.3                             | 荷载类别, 内力记号 .....                   | 188 |
| 9.3.4                             | 非自重组合梁施工阶段的验算 (弹性设计和塑性设计均适用) ..... | 189 |
| 9.3.5                             | 自重组合梁 (施工阶段下部有支撑) 的承载力和变形计算 .....  | 190 |
| 9.3.6                             | 非自重组合梁承载力和变形计算 .....               | 190 |
| 9.3.7                             | 栓钉数量计算 .....                       | 191 |
| 9.3.8                             | 混凝土楼板纵向抗剪计算 .....                  | 192 |
| 9.4                               | 简支组合梁的塑性设计 .....                   | 194 |
| 9.4.1                             | 完全组合梁正弯矩截面承载力计算: 塑性设计 .....        | 194 |
| 9.4.2                             | 非完全组合梁正弯矩截面承载力计算: 塑性设计 .....       | 194 |
| 9.4.3                             | 组合梁的抗剪承载力 .....                    | 195 |
| 9.4.4                             | 栓钉数量的计算 .....                      | 195 |
| 9.4.5                             | 使用阶段的挠度计算及应力验算 .....               | 195 |
| 9.4.6                             | 混凝土楼板纵向抗剪计算 .....                  | 196 |
| 参考文献 .....                        |                                    | 196 |
| <b>第10章 钢与混凝土连续组合梁的设计计算</b> ..... |                                    | 197 |
| 10.1                              | 钢—混凝土连续组合梁的内力分析方法 .....            | 197 |
| 10.1.1                            | 由混凝土开裂和钢材塑性变形引起的两种内力重分布 .....      | 197 |
| 10.1.2                            | 两种弹性分析计算模型: 等截面模型和变截面模型 .....      | 198 |
| 10.1.3                            | 塑性分析方法: 边跨和中间跨 .....               | 199 |

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| 10.1.4 塑性分析方法应用条件 .....                    | 201 |
| 10.1.5 分析方法总结 .....                        | 201 |
| 10.2 连续组合梁的弹性设计 .....                      | 202 |
| 10.2.1 连续组合梁的约定 .....                      | 202 |
| 10.2.2 连续非自重组合梁施工阶段的验算(弹性设计和塑性设计均适用) ..... | 202 |
| 10.2.3 连续自重组合梁承载力和变形计算 .....               | 203 |
| 10.2.4 连续非自重组合梁承载力和变形计算 .....              | 204 |
| 10.2.5 自重组合和非自重组合连续梁的栓钉计算 .....            | 205 |
| 10.2.6 楼板纵向抗剪计算 .....                      | 206 |
| 10.3 连续组合梁的塑性设计 .....                      | 206 |
| 10.3.1 连续自重和非自重完全组合梁的强度计算 .....            | 206 |
| 10.3.2 非完全组合梁正弯矩截面承载力计算 .....              | 207 |
| 10.3.3 栓钉数量的计算 .....                       | 207 |
| 10.3.4 正负弯矩区混凝土楼板纵向抗剪计算 .....              | 207 |
| 10.3.5 使用阶段的挠度计算和应力验算 .....                | 208 |
| 10.4 楼板抗裂计算和构造要求 .....                     | 210 |
| 10.4.1 使用环境分类和裂缝宽度限值 .....                 | 210 |
| 10.4.2 裂缝宽度计算 .....                        | 211 |
| 10.4.3 最小配筋要求 .....                        | 211 |
| 10.4.4 抗裂配筋要求 .....                        | 212 |
| 10.5 框架主梁设计成组合梁要注意的事项 .....                | 212 |
| 10.5.1 框架主梁采用钢—混凝土组合梁的优点 .....             | 212 |
| 10.5.2 框架主梁采用钢—混凝土组合梁的技术措施 .....           | 212 |
| 参考文献 .....                                 | 216 |
| <b>第 11 章 楼板和人行天桥自振频率和舒适度的控制</b> .....     | 217 |
| 11.1 引言 .....                              | 217 |
| 11.2 楼盖振动加速度限制 .....                       | 218 |
| 11.3 楼盖振动模型 .....                          | 219 |
| 11.4 人行走引起的轻型框架结构楼盖的振动 .....               | 220 |
| 11.5 人行走引起的钢—混凝土组合楼盖结构振动 .....             | 223 |
| 11.6 人们有节奏运动引起的楼盖结构振动 .....                | 228 |
| 11.7 楼盖振动的计算机分析 .....                      | 231 |
| 参考文献 .....                                 | 232 |
| <b>第 12 章 连续组合梁算例</b> .....                | 233 |
| 12.1 非自重组合三跨连续梁弹性设计 .....                  | 233 |
| 一、设计资料 .....                               | 233 |
| 二、设计计算 .....                               | 234 |
| 三、按照变截面连续梁模型得到的弯矩分布 .....                  | 248 |
| 四、点评 .....                                 | 252 |
| 12.2 非自重组合连续梁塑性设计 .....                    | 252 |
| 一、设计资料 .....                               | 252 |

|              |     |
|--------------|-----|
| 二、设计计算 ..... | 252 |
| 三、点评 .....   | 269 |

### 第三篇 钢结构配套新技术与新方法

|                                                |     |
|------------------------------------------------|-----|
| <b>第 13 章 自承式钢模板系统性能试验和设计方法研究</b> .....        | 272 |
| 13.1 钢筋桁架自承式模板楼板及其优点 .....                     | 272 |
| 13.2 试验研究介绍 .....                              | 273 |
| 13.2.1 试件和试验装置 .....                           | 273 |
| 13.2.2 试验装置和加载方案 .....                         | 274 |
| 13.3 试验结果及分析 .....                             | 275 |
| 13.3.1 施工阶段的试验 .....                           | 275 |
| 13.3.2 材料性质试验 .....                            | 277 |
| 13.3.3 正常使用阶段的试验 .....                         | 277 |
| 13.4 试验结论、设计建议 .....                           | 279 |
| 13.4.1 施工阶段 .....                              | 279 |
| 13.4.2 使用阶段工作性能和极限承载力 .....                    | 279 |
| 13.5 钢筋桁架自承式模板楼板的设计和构造要求 .....                 | 280 |
| 13.5.1 钢筋桁架楼板的长度 .....                         | 280 |
| 13.5.2 焊点的承载力 .....                            | 280 |
| 13.5.3 钢筋桁架混凝土楼板设计 .....                       | 280 |
| 参考文献 .....                                     | 284 |
| <b>第 14 章 嵌套连接冷弯斜卷边 Z 形连续檩条的抗弯性能试验研究</b> ..... | 285 |
| 14.1 引言 .....                                  | 285 |
| 14.2 试验概况及试验装置 .....                           | 286 |
| 14.2.1 搭接段的极限承载能力试验 .....                      | 287 |
| 14.2.2 搭接段刚度试验 .....                           | 288 |
| 14.3 试验结果及分析 .....                             | 289 |
| 14.3.1 材性试验 .....                              | 289 |
| 14.3.2 极限承载能力试验 .....                          | 289 |
| 14.3.3 搭接段刚度试验 .....                           | 292 |
| 14.4 结论与设计建议 .....                             | 293 |
| 参考文献 .....                                     | 294 |
| <b>第 15 章 大跨度组合桁架楼盖结构体系</b> .....              | 295 |
| 15.1 “三得”楼盖结构体系简介 .....                        | 295 |
| 15.2 设计计算方法 .....                              | 297 |
| 15.2.1 桁架各杆件截面的验算 .....                        | 297 |
| 15.2.2 连接的计算 .....                             | 299 |
| 15.2.3 挠度的计算 .....                             | 301 |
| 15.2.4 楼面结构的自振频率计算 .....                       | 303 |
| 15.2.5 楼板的强度和挠度计算 .....                        | 303 |
| <b>第 16 章 两跨连续吊车梁设计应用条件、方法和程序</b> .....        | 306 |

|        |                                 |     |
|--------|---------------------------------|-----|
| 16.1   | 引言 .....                        | 306 |
| 16.2   | 连续吊车梁的应用条件 .....                | 306 |
| 16.3   | 有限元法两跨连续吊车梁内力分析 .....           | 307 |
| 16.4   | 两跨连续吊车梁的弹性稳定分析 .....            | 308 |
| 16.4.1 | 方法简述 .....                      | 308 |
| 16.4.2 | 直接采用有限元方法进行临界弯矩计算的方法 .....      | 308 |
| 16.4.3 | 程序的实施和实现 .....                  | 311 |
| 16.4.4 | 吊车梁的水平隔撑 .....                  | 312 |
| 16.5   | 验算内容介绍 .....                    | 312 |
| 16.6   | 两跨连续吊车梁经济性分析 .....              | 313 |
| 16.7   | 采用连续吊车梁时门式刚架设计要点 .....          | 313 |
| 16.8   | 基础沉降对吊车梁和框架柱影响的定量分析 .....       | 314 |
| 16.8.1 | 对吊车梁的影响分析及其设计要求 .....           | 314 |
| 16.8.2 | 对柱的影响分析及其设计要求 .....             | 315 |
| 16.9   | 节点和加劲肋设计（仅作参考） .....            | 315 |
| 第 17 章 | 钢框架内嵌带竖缝钢筋混凝土剪力墙的设计 .....       | 317 |
| 17.1   | 引言 .....                        | 317 |
| 17.2   | 竖缝剪力墙肢的设计分析 .....               | 318 |
| 17.3   | 竖缝剪力墙承受竖向荷载的问题 .....            | 323 |
| 17.4   | 竖缝剪力墙和钢梁的连接件的设计要求 .....         | 323 |
| 17.5   | 梁腹板受挤压屈曲计算 .....                | 324 |
| 17.6   | 竖缝墙内预埋钢板设计要求 .....              | 326 |
| 17.7   | 内力计算模型：壁式框架模型和等效剪切板模型 .....     | 326 |
| 17.8   | 构造要求 .....                      | 329 |
| 17.9   | 弹塑性分析采用的墙板骨架曲线（ $V-u$ 曲线） ..... | 330 |
|        | 参考文献 .....                      | 331 |

# 第一篇 钢结构设计方法总论

# 第 1 章 钢结构设计方法总论

本章的题目很大，因此只能提纲挈领地介绍和讲述。

所谓的设计方法，由三个层次的设计规定、公式和程序构成：

- (1) 第一层次是指安全度的考虑，包括荷载组合；
- (2) 第二层次的方法是内力分析方法，是结构力学的内容；
- (3) 第三层次的方法是指具体钢构件、连接等的设计，是专业课需要讲解的内容，

例如：

- 截面和连接的强度设计计算；
- 构件的设计（稳定性设计计算）；
- 挠度的控制；
- 侧移的验算；
- 疲劳验算；
- 钢筋混凝土的裂缝宽度验算；
- 构造要求。

下面逐步地展开讲解各个层次的设计方法。

## 1.1 第 1 层次的设计方法：安全度的考虑

### 1.1.1 可靠度问题

第一层次的设计方法在国家规范《建筑结构可靠度设计统一标准》（GB 50068—2001）和《建筑结构荷载规范》（GB 50009—2001）中有详细规定。我们已经知道，我国采用以概率理论为基础的极限状态设计法，但是全概率的方法是难以落到实处的，一是荷载和抗力等原始资料积累的不易，二是极限状态的非线性以及概率运算本身的复杂性，因此在概率理论的指导下进行了简化。一次二阶矩法中出现的可靠指标是在荷载和抗力均服从正态分布下的一种可靠度度量措施，但是从可靠指标转换成可以实际操作的荷载和抗力分项系数，已经偏离原来的可靠度理论很远了。

现在国际上比较通用的结构设计方法的称呼是荷载和抗力分项系数设计法（Load & Resistance Factored Design）简称为 LRFD 设计法。

如果在 20 世纪 70 年代结构设计采用单一的安全系数法的话，现在也可以称为分项安全系数法。从分项安全系数的概念来理解分项系数的取值，就会变得非常简单：离散性大的，不确定性大的，采用的安全系数就大；活荷载比恒载变异性大，分项安全系数就大，正常情况下恒载  $\gamma_D = 1.2$ ，活载的分项安全系数为  $\gamma_L = 1.4$ 。而抗力的分项系数，对于钢材，变异性较小，所以可以取得较小，对于 Q235 钢材  $\gamma_R = 1.087$ ，对钢材 Q345 和



Q420:  $\gamma_R=1.10$ , 对于混凝土则有  $\gamma_R=1.40$ 。

还有结构的重要性系数  $\gamma_0$ 。

### 1.1.2 荷载组合

《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001) 对于恒载组合采用了比较抽象的表达式, 对于低层建筑结构, 我们将其展开表示为

$$1.35D+0.7 \times (1.4L) \quad \text{这是一种恒载很大、活载很小的情况下的组合} \quad (1-1a)$$

$$1.2D+1.4L \quad (1-1b)$$

$$1.2D+1.4L+0.6 \times 1.4W \quad \text{活荷载为主的有风组合} \quad (1-1c)$$

$$1.2D+1.4 \times 0.7(\text{或 } 0.9)L+1.4W \quad \text{风荷载为主的组合} \quad (1-1d)$$

$$(0.9 \text{ 或 } 1.0)D+1.4W \quad \text{风荷载为主的倾覆验算, 极少构件抗拉验算} \quad (1-1e)$$

$$1.2(D+0.5L)+1.3E \quad \text{地震工况的验算} \quad (1-1f)$$

$$D+0.5L+1.3E \quad \text{地震工况的倾覆验算} \quad (1-1g)$$

上述组合, 如果展开, 因为风荷载和地震作用均有 4 个方向, 总共有 22 种。而竖向活荷载则存在棋盘式的不利荷载分布, 因此对于某个构件 (梁或者柱), 在上述每一个大类的荷载组合中, 还必须先进行活荷载不利分布的预组合, 这种预组合, 对于每一个构件都是不同的, 见图 1-1。

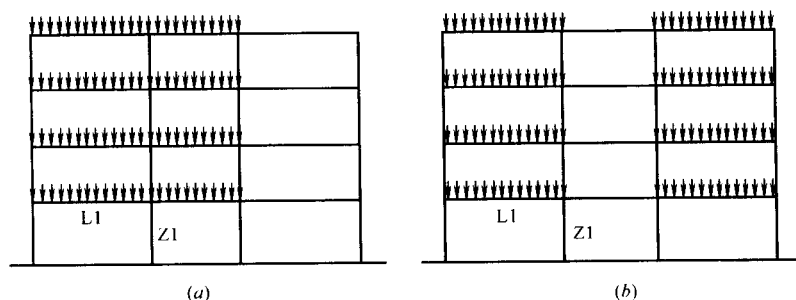


图 1-1 活荷载的预组合

(a) Z1 轴力和 L1 右端弯矩的预组合; (b) L1 跨中弯矩和 Z1 弯矩的预组合

梁和柱的设计, 还可以按照 GB 50009—2001 第 4.1.2 条的规定, 对活荷载进行折减, 这条规定也是在预组合中加以考虑。

对于大跨结构, 还需要考虑竖向地震作用的组合:

$$1.2(D+0.5 \text{ 或 } 0.8L)+1.3E_h+0.5E_v(\text{竖向地震}) \quad (1-1h)$$

$$1.2(D+0.5 \text{ 或 } 0.8L)+1.3E_v(\text{竖向地震}) \quad (1-1i)$$

某些构件和节点需要以下组合:

$$(D+0.5L)+(2 \sim 3)E_h \quad (1-1j)$$

这是中震弹性要求, 是对特别重要的结构的竖向构件提出的设计要求。当某些构件在正常组合下不满足 capacity design technique (即能力设计法, 或称为机构控制法) 的设计要求时, 就可以采用上述组合进行设计验算。

对于高层建筑, 荷载组合有

$$1.35D+0.7 \times (1.4L) \quad (1-2a)$$