



普通高等教育“十二五”精品规划教材

钢 结 构

主 编 佟国红 赵金友
副主编 孙绪杰 杨 杰
赵荣飞 于 威



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

普通高等教育“十二五”精品规划教材

钢 结 构

主 编 佟国红 赵金友

副主编 孙绪杰 杨 杰

赵荣飞 于 威



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书按照 GB 50017—2003《钢结构设计规范》、GB 50018—2002《冷弯薄壁型钢结构技术规范》、CECS 102: 2002《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》及 SL 74—95《水利水电工程钢闸门设计规范》编写。内容包括绪论, 钢结构的材料, 钢结构的连接, 轴心受力构件, 梁, 拉弯和压弯构件, 重型单层厂房钢结构, 轻型钢结构设计, 平面钢闸门。书中列举了较多的例题, 书末有附录、列出了设计需要的各种数据和系数, 供查用。

本书除介绍设计规范有关规定外, 更注重钢结构基本理论和设计方法的介绍, 理论和实际并重。本书可作为土木工程、水利类专业钢结构教材, 还可供有关工程技术人员参考、阅读。

图书在版编目 (C I P) 数据

钢结构 / 佟国红, 赵金友主编. — 北京: 中国水利水电出版社, 2011. 5
普通高等教育“十二五”精品规划教材
ISBN 978-7-5084-8630-7

I. ①钢… II. ①佟… ②赵… III. ①钢结构—高等学校—教材 IV. ①TU391

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第094866号

书 名	普通高等教育“十二五”精品规划教材 钢结构
作 者	主编 佟国红 赵金友 副主编 孙绪杰 杨杰 赵荣飞 于威
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	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
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	184mm×260mm 16开本 20.5印张 490千字 1插页
版 次	2011年5月第1版 2011年5月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	38.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

前言

1996年我国全年钢产量已跃居世界第一。钢结构环保、可持续发展的特性以及国家相关政策技术的支持,使钢结构达到了蓬勃发展的时代。新材料、新技术和新工艺等日新月异,在国民经济的各个领域,钢结构都得到了大量应用,我国目前正处在向钢结构强国迈进的道路上。

随着钢结构在国民经济各领域的大量应用及各学科之间的交叉、融合,在钢结构的教材编写内容上有必要拓宽知识面,为学生搭建一个较宽的平台,这是本书编写的宗旨。

《钢结构》是学生学习建筑钢结构的性能、计算和设计的一门工程技术型课程,其内容是一个有机整体,从材料的选择、连接的计算到基本构件和结构的设计,都存在相互呼应和密切联系之处。此外,该课程又与《建筑材料》、《理论力学》、《材料力学》、《结构力学》和《弹性力学》等先修课程有内在的联系。学习时应先懂得各种构件和连接的破坏方式和工作性能,然后掌握设计规范规定的计算方法,最后做到能正确选用钢材,掌握三大基本构件(轴心受力构件、受弯构件和压弯构件)及连接的设计步骤及方法。另外,根据不同专业的特点,本书在第四章、第七章及第九章分别给出了轴心受压构件的柱脚、钢屋架、平面钢闸门的详细设计例题,要求学生从中了解结构或构件所承受的荷载及荷载的传递路线,学会结构选型及结构布置,掌握构件及连接内力的计算及截面尺寸的设计,掌握施工图的绘制。

全书共九章。第一章绪论,简要介绍钢结构的特点、应用、发展现状及趋势以及钢结构的基本设计方法;第二章钢结构的材料,介绍钢材的主要性能、影响钢材性能的主要因素、钢材的疲劳、常用钢材的种类、规格及选用;第三章钢结构的连接,介绍钢结构的连接方法、角焊缝与对接焊缝连接的计算与构造、焊接残余应力与变形、普通螺栓连接计算与构造、高强度螺栓连接计算与构造;第四章轴心受力构件,介绍轴心受力构件强度与刚度计算、轴心受压构件的整体稳定和局部稳定计算、实腹式与格构式轴心受压构件的截面设计、柱头和柱脚;第五章梁,介绍梁的强度、刚度、整体稳定、局部

稳定的计算、加劲肋的设计、型钢梁及组合梁的设计、梁的连接与构造；第六章拉弯、压弯构件，介绍拉弯和压弯构件的强度和刚度计算、实腹式压弯构件的整体稳定和局部稳定、实腹式和格构式压弯构件的截面设计和构造要求；第七章重型单层厂房钢结构，介绍单层厂房钢结构的组成及荷载、横向框架的结构类型、纵向传力系统、屋盖结构体系、桁架的杆件及节点设计、吊车梁设计；第八章轻型钢结构设计，简要介绍轻型屋面类型、实腹式檩条设计、门式刚架构件设计；第九章平面钢闸门，介绍平面钢闸门的组成以及面板、梁格、支撑及零部件的设计。

本教材第一章、第三章、第八章由沈阳农业大学佟国红编写；第二章及附录一、附录二、附录三的表1~表4由沈阳农业大学于威编写；第四章、第六章及附录五~附录七由东北林业大学赵金友编写；第五章及附录四由云南农业大学杨杰编写（其中，第五章的第4~6节由沈阳农业大学佟国红编写；第7节由东北林业大学赵金友编写）；第七章由黑龙江工程学院孙绪杰编写；第九章及附录三的表5~表8、附录八~附录十三由沈阳农业大学赵荣飞编写。本书由佟国红、赵金友担任主编，孙绪杰、杨杰、赵荣飞、于威担任副主编。第一章至第三章、第八章和第九章由佟国红统稿，第四章至第七章由赵金友统稿。

本书的完成与出版，得到了编写人员单位领导和同事的鼓励 and 大力支持，特此致谢。本书编写过程中引用了较多的参考文献，在此对本书引用参考资料的作者们致以衷心的感谢。

限于编者的理论水平和实践经验，书中的不足之处在所难免，恳请同行专家及广大读者不吝指教。

编者

2011年2月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 钢结构的特点和应用	1
第二节 钢结构的设计方法	3
第三节 我国钢结构的发展	7
思考题	10
第二章 钢结构的材料	11
第一节 钢材的主要性能	11
第二节 影响钢材性能的主要因素	13
第三节 钢材的疲劳	18
第四节 钢材的规格及选用	21
思考题	25
第三章 钢结构连接	26
第一节 钢结构的连接方法	26
第二节 焊接方法和焊缝形式	26
第三节 角焊缝的构造和计算	32
第四节 对接焊缝的构造和计算	44
第五节 焊接残余应力和焊接变形	46
第六节 普通螺栓连接的构造和计算	49
第七节 高强螺栓连接的性能和计算	62
思考题	68
习题	69
第四章 轴心受力构件	71
第一节 概述	71
第二节 轴心受力构件的强度和刚度	72
第三节 轴心受压构件的整体稳定	76
第四节 轴心受压构件的局部稳定	89
第五节 实腹式轴心受压构件的截面设计	91

第六节 格构式轴心受压构件的截面设计	95
第七节 轴心受压构件的柱头和柱脚	105
思考题	113
习题	113
第五章 梁	115
第一节 概述	115
第二节 梁的强度和刚度	116
第三节 梁的整体稳定	121
第四节 梁的局部稳定	126
第五节 组合梁腹板屈曲后强度	130
第六节 型钢梁的设计	132
第七节 焊接组合梁设计	133
第八节 钢梁的连接构造	142
思考题	145
习题	145
第六章 拉弯、压弯构件	147
第一节 概述	147
第二节 拉弯、压弯构件的强度和刚度	148
第三节 实腹式压弯构件的整体稳定	151
第四节 实腹式压弯构件的局部稳定	159
第五节 实腹式压弯构件的截面设计	161
第六节 格构式压弯构件的截面设计	164
思考题	171
习题	171
第七章 重型单层厂房钢结构	174
第一节 单层厂房钢结构的组成、布置及荷载	174
第二节 单层厂房横向框架的结构类型	180
第三节 单层厂房纵向传力系统	182
第四节 屋盖结构体系	183
第五节 桁架形式和截面设计	187
第六节 桁架节点设计及施工图绘制	192
第七节 设计例题——梯形钢屋架设计	201
第八节 吊车梁设计	211
思考题	221
第八章 轻型钢结构设计	222
第一节 概述	222
第二节 轻型屋面	223

第三节 檩条	225
第四节 门式刚架	233
思考题	245
第九章 平面钢闸门	246
第一节 概述	246
第二节 平面钢闸门的组成	247
第三节 面板设计	248
第四节 梁格设计	250
第五节 支撑设计	256
第六节 平面钢闸门的零部件设计	257
第七节 设计例题——露顶式平面钢闸门设计	262
思考题	276
附录一 钢材的化学成分和机械性能	278
附录二 疲劳计算的构件和连接分类	280
附录三 型钢规格和截面特性	283
附录四 梁的整体稳定系数	301
附录五 轴心受压构件的稳定系数	304
附录六 各种截面回转半径的近似值	307
附录七 柱的计算长度系数	308
附录八 钢材及机械零件的容许应力	310
附录九 连接的容许应力	311
附录十 矩形弹性薄板弯矩系数	312
附录十一 轴套材料、混凝土容许应力	314
附录十二 胶木滑道	315
附录十三 材料的摩擦系数	316
参考文献	317

第一章 绪 论

第一节 钢结构的特点和应用

一、钢结构的特点

钢板、型钢及钢索经过加工、连接、安装而组成的工程结构称为钢结构。与钢筋混凝土结构、砖石结构和木结构相比，钢结构具有以下主要特点：

1. 强度高，质量轻

钢的密度较大 ($\rho=7850\text{kg/m}^3$)，但强度很高，其密度与屈服点的比值小，故在相同承载力情况下，钢构件所需要的截面小，自重轻。经过分析，当跨度和荷载相同时普通钢屋架的质量只有钢筋混凝土屋架的 $1/4\sim 1/3$ ，若采用薄壁型钢屋架则接近于 $1/10$ 。质量轻，则便于运输和安装，特别适宜于建造大跨度、超高、荷载重的结构，也更适用于有移动和装拆要求的结构。此外，由于质量轻，可减轻基础、地基处理的费用与工程量。

2. 塑性、韧性好，可靠性高

钢材具有良好的塑性，破坏前一般都会产生明显的变形，可及时补救，故钢结构在一般情况下，不会发生因偶然超载或局部超载而引起突然破坏；钢材的韧性好，钢结构对动荷载的适应性强，抗震性能好。钢材的内部组织比较均匀，接近各向同性体，弹性模量大 ($E=206\times 10^3\text{N/m}^2$)，可简化为理想的弹塑性体，和力学计算中的基本假设符合，所以钢结构的实际工作性能和力学计算结果最相符合。因此，钢结构设计计算准确，结构设计可靠性较高。

3. 制作简便，工业化程度高，工期短

钢结构一般都在专业化的金属结构厂制造，采用机械加工，批量生产，成品的准确度和精密度高，制成的构件可运到现场拼装，可缩短周期、降低造价。

4. 密闭性好

钢结构采用焊接连接后密封性好，适宜于建造要求气密性和水密性好的气罐、油罐、管道和高压容器等。

5. 可装拆性

用螺栓连接的钢结构，易于拆卸，故适宜于建造连接简便可拆迁及可移动的结构，适用于超市货架、脚手架、广场小品及雕塑、临时展厅，还可用于塔式起重机、钻井塔架等移动性结构。

6. 耐腐蚀性差

钢材在潮湿环境中，特别是处于有腐蚀性介质的环境中容易锈蚀，必须注意防护，用油漆或镀锌加以保护，而且在使用期间还应定期维护，与其他结构相比，维护费用高。虽然已经研究出耐候钢，由于价格贵，生产上还不能大量使用。

7. 耐火性差

当温度低于 100°C 时, 钢材的主要性能变化小, 其耐热性能好。但当温度超过 250°C 时, 其材质变化较大, 温度达到 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$ 时, 强度几乎为零。当温度在 150°C 以上时或在短时间内可能受到火焰作用时, 须采用隔热和防火措施, 如在结构或构件外包混凝土或其他防火材料。

另外, 钢结构的稳定问题和低温冷脆现象也应引起重视。

二、钢结构的应用

1. 重型工业厂房结构

设有工作繁忙和起重量大的起重运输设备及有较大振动的生产设备的车间, 多采用钢结构。如冶金工厂的炼钢车间、轧钢车间, 重型机械厂的铸钢车间、水压机车间、锻压车间, 造船厂的船体车间, 电厂的锅炉框架, 飞机制造厂的装配车间等。

2. 大跨度房屋的屋盖结构

为减轻大跨度房屋屋盖的自重, 就需采用自重较轻的钢结构。如各种大跨度的体育馆、会议展览中心、飞机库等一些大跨度房屋的屋盖, 常用钢结构网架、悬索结构等。

3. 多层及高层建筑

由于钢结构自重轻, 体积小、施工简便, 在多层及高层民用建筑中得到了广泛的应用。高层建筑钢结构的结构体系主要有框架结构体系、框架—剪力墙结构体系、框架—支撑结构体系、框架—核心筒结构体系和筒体体系。

4. 高耸结构

高耸结构包括塔架和桅杆结构。高耸结构高度越大, 所受风荷载和地震的影响也越大, 采用钢结构比较合适。

5. 大跨桥梁结构

钢结构桥梁施工简便、快捷, 且易于维修, 在大、中跨度桥梁中应用广泛。

6. 密闭结构

应用于密闭性要求较高的板壳结构, 如高压容器、煤气柜、储油罐、高压输水管等。

7. 拆移结构

应用于需经常装拆和移动的各类起重运输设备和钻探设备, 如塔式起重机和采油井架等; 可拆迁的建筑工地的生产、生活用房, 临时的展览馆、看台等。

8. 轻型钢结构

轻型钢结构围护结构自重轻, 恒荷载轻, 承重结构截面小, 容易做到标准化、自动化、机械化快速制作安装, 劳动强度轻, 适用于大、中、小跨度结构及单、多层的工业、农业、民用建筑。

9. 水工钢结构

如可移动或转动的钢闸门、阀门、拦污栅、升船机等, 可拆移的钢栈桥等, 海洋工程中的钻井、采油平台结构。

10. 钢与混凝土组合结构

为充分发挥钢和混凝土两种材料各自的优点, 近年来, 钢与混凝土组合结构发展较快, 如钢与混凝土组合梁、钢与混凝土组合楼板、钢管混凝土柱等。

第二节 钢结构的设计方法

一、结构的功能要求

建筑结构设计的基本要求是力求以最经济的手段获得在预定条件下具有某种预期功能的结构。

结构在规定的设计使用年限（一般结构取 50 年）内应满足的功能如下：

1. 安全性

在正常施工和正常使用时，能承受可能出现的各种作用（包括荷载、外加变形和约束变形等），以及在偶然事件发生时及发生后，结构仍能保持必需的整体稳定性，如仅产生局部损坏而不致发生连续倒塌。

2. 适用性

在正常使用时具有良好的工作性能，如不出现影响正常使用的过大变形等。

3. 耐久性

结构在正常维护下具有足够的耐久性能，如不产生影响结构能够正常使用到规定的设计使用年限的严重锈蚀等。

上述三项功能（安全性、适用性和耐久性）总称为可靠性。

二、可靠度

结构在规定的时间（设计使用年限）内，在规定的条件（正常设计、正常施工、正常使用）下，完成预定功能（安全性、适用性、耐久性）的能力，称为结构的可靠性。衡量结构可靠性大小的指标是结构可靠度。结构可靠度是对结构可靠性的定量描述，即结构在规定的时间内，在规定的条件下，完成预定功能的概率。结构可靠度与结构的使用年限长短有关。

结构的设计使用年限如表 1.1 所示。

表 1-1

结构的设计使用年限

单位：年

类 别	设计使用年限	示 例
1	5	临时性结构
2	25	易于替换的结构构件
3	50	普通房屋和构筑物
4	100	纪念性建筑和特别重要的建筑结构

三、概率极限状态设计方法

若整个结构或结构的一部分超过某一特定状态，就不能满足设计规定的某一功能要求，此特定状态称为该功能的极限状态。极限状态可分为下列两类。

1. 承载能力极限状态

这种极限状态对应于结构或构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形。包括倾覆、强度破坏、丧失稳定、疲劳破坏、结构变为机动体系或出现过度的塑性变形等。

2. 正常使用极限状态

这种极限状态对应于结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值。当结构或

构件出现影响正常使用或外观的变形、影响正常使用或耐久性能的局部损坏（包括裂缝）、影响正常使用的振动或影响正常使用的其他特定状态的情形之一时，应认为超过了正常使用极限状态。

结构或构件的可靠度受荷载、材料强度、材料规格等因素的影响，这些因素具有随机性，可表示为 X_i ($i=1, 2, \dots, n$)。描述结构的工作性能的结构功能函数，可与这 n 个随机变量建立函数关系：

$$Z = g(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (1-1)$$

采用荷载效应 S 和结构抗力 R 来表示影响结构或构件可靠度的诸因素， S 与 R 可认为相互独立的随机变量，则：

$$Z = g(R, S) = R - S \quad (1-2)$$

显然， $Z > 0$ ，表示结构抗力大于荷载效应，结构处于可靠状态； $Z = 0$ ，表示结构达到临界状态，即极限状态； $Z < 0$ ，表示结构处于失效状态。

把失效的可能性用失效概率 p_f 表示，则：

$$p_f = P(Z < 0) \quad (1-3)$$

把结构的可靠度用 p_s 表示，则：

$$p_s = P(Z \geq 0) \quad (1-4)$$

结构的可靠度与失效概率具有下列关系：

$$p_s = 1 - p_f \quad (1-5)$$

设 R, S 均为正态变量，其平均值分别为 μ_R, μ_S ，标准差分别为 σ_R, σ_S ，则功能函数 Z 也服从正态分布，其平均值和标准差分别为：

$$\mu_z = \mu_R - \mu_S \quad (1-6)$$

$$\sigma_z = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2} \quad (1-7)$$

功能函数 Z 的概率分布密度曲线如图 1-1 所示。

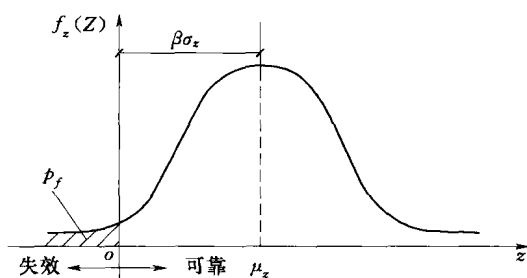


图 1-1 功能函数 Z 的概率密度曲线

图 1-1 阴影面积表示失效概率，失效概率可用积分求得：

$$p_f = P(Z < 0) = \int_{-\infty}^0 f_z(Z) dz \quad (1-8)$$

令图 1-1 中坐标原点 o 到平均值 μ_z 的距离为 $\beta\sigma_z$ ， σ_z 为 Z 的标准差，则

$$\beta = \frac{\mu_z}{\sigma_z} = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-9)$$

β 值越大， p_f 越小，结构就越可靠，因此 β 被称为可靠指标或安全指标。 β 与失效概率 p_f 的对应关系：

$$p_f = \phi(-\beta) \quad (1-10)$$

式中： $\phi(\cdot)$ 为标准正态分布函数。

表 1-2 为 β 与 p_f 的对应值。

表 1-2 失效概率与可靠指标的对应关系

β	2.7	3.2	3.7	4.2	4.5
p_f	3.5×10^{-3}	6.9×10^{-4}	1.1×10^{-4}	1.3×10^{-5}	3.4×10^{-6}

当 R 与 S 不按正态分布时, 结构构件的可靠指标应以结构构件作用效应和抗力当量正态分布的平均值和标准差代入式 (1-9) 进行计算。

当功能函数 Z 为非线性函数时, 可将此函数展开为泰勒级数而取其线性项计算 β 。由于 β 的计算只采用分布的特征值, 即均值 μ_z (一阶原点矩) 和方差 σ^2 (二阶中心矩), 而不考虑 Z 的全分布, 故此法称为一次二阶矩法。

GB 50068—2001《建筑结构设计统一标准》(以下简称《统一标准》) 规定各类构件的可靠指标见表 1-3, 钢结构构件的可靠指标一般取 3.2。钢结构一般情况下属延性破坏, 故总体安全等级为二级。

表 1-3 结构构件承载能力极限状态的可靠指标

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	3.7	3.2	2.7
脆性破坏	4.2	3.7	3.2

3. 极限状态设计表达式

采用失效概率 p_f 或可靠指标 β 进行设计, 比较复杂, 也不容易把握。《统一标准》建议采用按极限状态计算的分项系数设计表达式, 分项系数中隐含了可靠指标 β 。GB 50017—2003《钢结构设计规范》(以下简称《规范》) 规定, 承重结构均应按承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。

对于承载能力极限状态荷载效应的基本组合按下列设计表达式中最不利值确定:

可变荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0(\gamma_G \sigma_{GK} + \gamma_{Q1} \sigma_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} \sigma_{QiK}) \leq f \quad (1-11)$$

永久荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0(\gamma_G \sigma_{GK} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} \psi_{ci} \sigma_{QiK}) \leq f \quad (1-12)$$

式中: γ_0 为结构重要性系数, 对安全等级为一级或设计使用年限为 100a 及以上的结构构件, 不应小于 1.1, 对安全等级为二级或设计使用年限为 50a 的结构构件, 不应小于 1.0, 对安全等级为三级或设计使用年限为 5a 的结构构件, 不应小于 0.9; σ_{GK} 为永久荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力, N/mm^2 ; σ_{Q1K} 为在基本组合中起控制作用的一个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力 (该应力使计算结果为最大), N/mm^2 ; σ_{QiK} 为其他第 i 个可变荷载标准值在结构构件截面或连接中产生的应力, N/mm^2 ;

γ_G 为永久荷载分项系数,当永久荷载效应对结构构件的承载能力不利时,对式(1-11)取1.2,对式(1-12)取1.35,当永久荷载效应对结构构件的承载能力有利时,取1.0,验算结构倾覆、滑移或漂浮时取0.9; γ_{Q1} 、 γ_{Qi} 分别为第一个和第*i*个可变荷载分项系数,当可变荷载效应对结构构件的承载能力不利时,在一般情况下取1.4(当楼面活荷载标准值大于4.0kN/m²时取1.3),有利时,取为0; ψ_{ci} 为第*i*个可变荷载的组合值系数,按荷载规范的规定采用; f 为结构构件或连接的强度设计值(表1-4和表1-5),N/mm²,对钢材为屈服强度与抗力分项系数的比值。

对于一般排架、框架结构,由可变荷载效应控制的组合可采用下列简化的设计表达式:

$$\gamma_G(\gamma_G\sigma_{GK} + \psi \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi}\sigma_{QiK}) \leq f \quad (1-13)$$

式中: ψ 为简化式中采用的荷载组合系数,一般情况下取0.9,当只有一个可变荷载时取1.0。

由永久荷载效应控制的组合,仍按式(1-12)进行计算。

对于偶然组合,极限状态设计表达式宜按下列原则确定:偶然作用的代表值不乘分项系数;与偶然作用同时出现的可变荷载,应根据观测资料和工程经验采用适当的代表值。具体的设计表达式及各种系数,应符合专门规范的规定。

对于正常使用极限状态,《统一标准》要求分别采用荷载的标准组合、频遇组合和准永久值组合进行设计,使其变形值不超过容许值。

$$v_{GK} + v_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci}v_{QiK} \leq [v] \quad (1-14)$$

式中: v_{GK} 为永久荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值,mm; v_{Q1K} 为起控制作用的第一个可变荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值(该值使计算结果最大),mm; v_{QiK} 为其他第*i*个可变荷载标准值在结构或结构构件中产生的变形值,mm; $[v]$ 为结构或结构构件的容许变形值,mm。

表 1-4

钢材的强度设计值

单位: N/mm²

钢 材		抗拉、抗压 和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}
牌号	厚度或直径 (mm)			
Q235 钢	≤ 16	215	125	325
	$> 16 \sim 40$	205	120	
	$> 40 \sim 60$	200	115	
	$> 60 \sim 100$	190	110	
Q345 钢	≤ 16	310	180	400
	$> 16 \sim 35$	295	170	
	$> 35 \sim 50$	265	155	
	$> 50 \sim 100$	250	145	

续表

钢 材		抗拉、抗压 和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压 (刨平顶紧) f_{ce}
牌号	厚度或直径 (mm)			
Q390 钢	≤ 16	350	205	415
	$> 16 \sim 35$	335	190	
	$> 35 \sim 50$	315	180	
	$> 50 \sim 100$	295	170	
Q420 钢	≤ 16	380	220	440
	$> 16 \sim 35$	360	210	
	$> 35 \sim 50$	340	195	
	$> 50 \sim 100$	325	185	

注 表中厚度指计算点的钢材厚度，对轴心受拉和轴心受压构件是指截面中较厚板件的厚度。

表 1-5 钢 铸 件 的 强 度 设 计 值 单位：N/mm²

钢 号	抗拉、抗压和抗弯 f	抗剪 f_v	端面承压（刨平顶紧） f_{ce}
ZG200~400	155	90	260
ZG230~450	180	105	290
ZG270~500	210	120	325
ZG310~570	240	140	370

第三节 我国钢结构的发展

我国古代建筑和冶金技术处于较高水平，钢结构用于建筑结构最早的是铁索桥，现存最早的铁索桥是四川大渡河泸定桥。新中国成立以后，尤其是实行改革开放政策以后，经济建设有了突飞猛进的发展，钢结构也有了前所未有的发展，其应用领域有了较大的扩展，如应用于重型厂房、多高层房屋、单层轻型房屋、体育场馆、大跨桥梁结构、大跨度会展中心、高耸建筑、机场候机楼、大型客机检修库、自动化高架仓库、大型船闸等，其中包括上海卢浦钢拱桥（图 1-2），沈阳桃仙机场航站楼钢结构工程（图 1-3），上海东

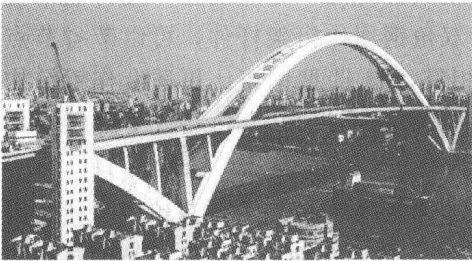


图 1-2 上海卢浦大桥

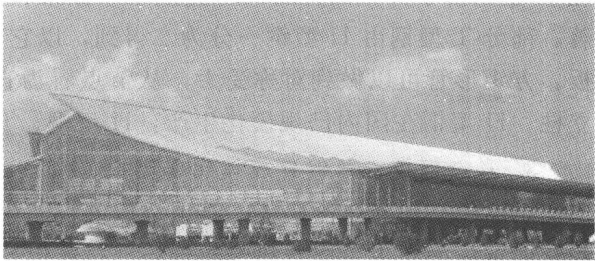


图 1-3 沈阳桃仙机场航站楼钢结构工程

方明珠电视塔（图 1-4），某多层钢结构房屋（图 1-5），北京奥运会主体育场——鸟巢（图 1-6），国家大剧院（图 1-7）等。目前，随着科学技术的飞速发展，钢结构新材料、新结构形式以及新制作安装工艺也层出不穷。



图 1-4 上海东方明珠电视塔

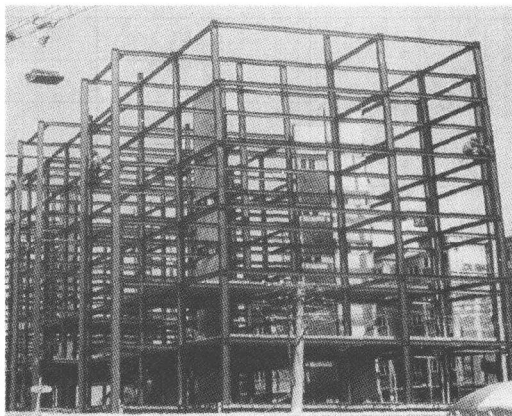


图 1-5 某多层钢结构房屋

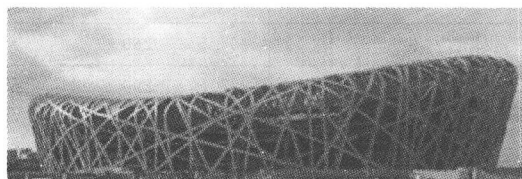


图 1-6 北京奥运会主体育场——鸟巢

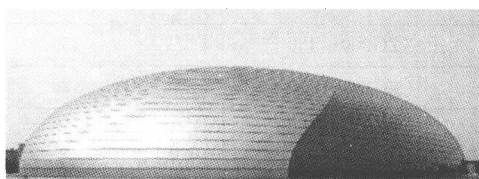


图 1-7 国家大剧院

一、高性能钢材的应用

1. 高强度钢材

《规范》除 Q235 钢、Q345 钢和 Q390 钢外，将 Q420 钢列为推荐钢种，Q460 钢也已在国家体育场等工程成功应用，未来强度更高的结构用钢将会不断出现，并用于工程实践。

2. H 型钢、T 型钢及方矩形管

由于普通工字钢在形式和尺寸方面的限制，在应用时不能充分合理地发挥作用，而热轧 H 型钢由于其截面开展，可直接用来做梁、柱或屋架杆件等，工期缩短，经济效果显著。部分 T 型钢由 H 型钢一分为二得到，以它代替双角钢用作桁架杆件，可以节省节点板。方矩形管可以做到对称受力，从节点看为直线相贯，与 H 型钢相比更适合作钢结构立柱。H 型钢在国内已规模化生产，H 型钢、T 型钢及方矩形管的应用必有广阔的前景。

3. 彩涂钢板、热镀锌或镀铝锌钢板

彩涂钢板即彩色涂层板，是由金属基板、化学转化膜和有机涂层三部分组成。建筑用彩涂层钢板的基板主要有热镀锌钢板、热镀铝锌钢板等。热镀锌是最常用的一种钢结构防腐保护措施，热镀铝锌具有更好的防腐性能。轻钢结构采用彩板做面材，集建筑和装饰于

一体, 结构自重轻, 现场组装方便, 施工周期短。

另外, 用镀锌板压制的压型钢板还可用于高层建筑的组合楼盖, 它既可以代替模板同时又可承受拉力。

4. 耐候钢、耐火钢、Z 向钢

耐候钢是在普通钢中添加一定量的合金元素制成的低合金钢, 所添加的合金元素如 Cu、P、Cr、Ni 等。耐候钢具有良好的耐腐蚀性能, 与普通钢相比可节约大量的涂装和维护费用, 能够取得较好的经济效益; 与采用涂层法防腐的钢结构相比, 采用耐候钢还能够减少环境污染。

耐火钢通过合金处理能够在高温下 (通常指 600°C 高温下) 的一定时间内 (通常指 1~3h) 保持较高的强度 (屈服强度值不低于室温时的 $2/3$), 从而增加建筑物抵抗火灾的能力, 保证结构的安全使用。

Z 向钢也称为抗层状撕裂钢。钢材发生层状撕裂与非金属夹杂物的分布、密集程度有直接的关系, 也与钢材基体金属的塑性和韧性有关。Z 向钢是保证厚钢板在厚度方向具有良好的抗层状撕裂能力。

二、新结构形式的应用

1. 轻钢结构

轻钢结构, 即为轻型钢结构建筑体系, 采用热轧轻型 H 型钢、轻型焊接型钢、冷弯薄壁型钢等高效经济截面钢材。结构自重轻, 抗震性能好, 施工周期短, 环保性好, 综合效益高。轻型钢结构主要结构形式有单层工业厂房结构, 大跨度单层房屋结构, 多层、高层及超高层建筑结构等。

2. 预应力钢结构

采用高强度钢材, 对钢结构施加适当的预应力, 以提高结构承载能力, 改善结构受力状态, 增加结构稳定性, 减少结构变形, 达到节约材料、降低造价的目的, 应用于大跨度结构、桥梁结构、重型厂房、高耸结构、索膜结构、网架网壳结构等。

3. 组合结构

钢结构受压时受稳定条件的控制, 强度优势不能充分发挥, 而混凝土则最宜承受压力, 两者组合起来共同受力能充分发挥各自的长处, 从而达到提高承载力和节约材料的目的。钢与混凝土组合梁可以减小梁高, 节省空间; 钢管混凝土柱在压力作用下, 钢管和混凝土之间产生相互作用的紧箍力, 提高抗压强度, 改善塑性和韧性, 提高抗震性能; 压型钢板组合楼板中, 压型钢板既是模板又作为底面受拉配筋。

4. 大跨空间结构

大跨空间结构代替平面结构节省钢材。结构类型包括平板网架结构、网壳结构、悬索结构、膜结构和索膜结构等。

5. 多、高层钢结构

多、高层钢结构具有自重轻、抗震性能好、有效使用面积大、工业化程度高、建设速度快等特点。结构体系主要有框架结构体系、框架—剪力墙结构体系、框架—支撑结构体系、框架—核心筒结构体系及筒体体系等。