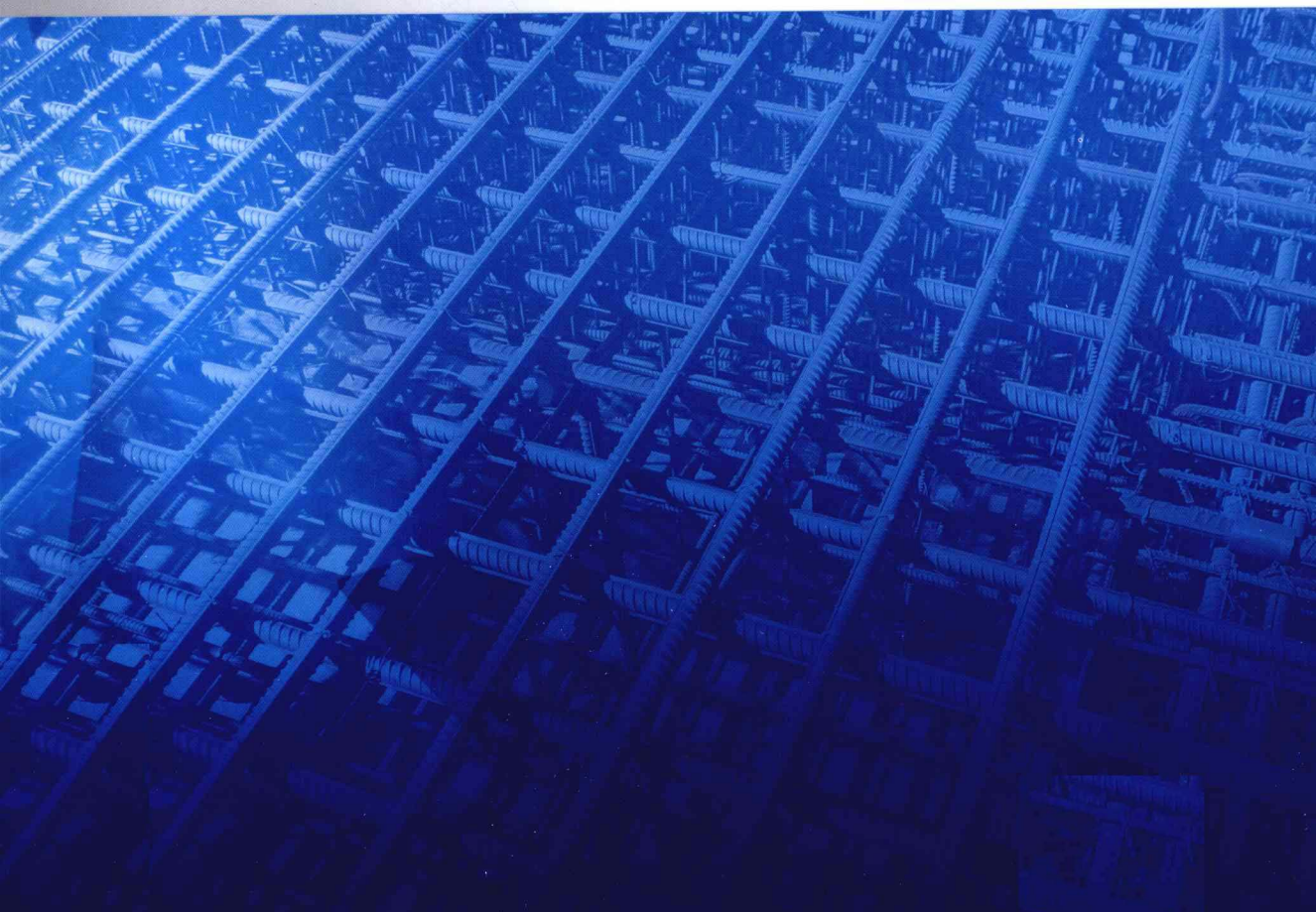


王静峰 王波 编著

# 钢结构设计与应用范例



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

# 钢结构设计与应用范例

王静峰 王波 编著



机械工业出版社

本书系统地阐述了钢结构的设计要求、材料性能、荷载规定、计算方法和构造措施,介绍了工程常用的钢结构设计软件与绘图软件,重点概括了工业厂房钢结构、多高层房屋钢结构的设计方法,详细给出了工业厂房钢结构、多层房屋钢结构和辅助钢结构(如钢楼梯、钢雨篷和钢网架)的工程设计实例。每个典型实例都有详尽的计算过程、施工图绘制方法和设计软件操作步骤。本书可供土木工程领域的设计、施工、科研人员 and 高等院校土木工程专业的师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计与应用范例/王静峰,王波编著. —北京:机械工业出版社, 2012.6

ISBN 978-7-111-38426-7

I. ①钢… II. ①王…②王… III. ①钢结构—结构设计—高等学校—教材 IV. ①TU391.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第100903号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:赵荣 责任编辑:赵荣 李坤

版式设计:霍永明 责任校对:张媛

封面设计:路恩中 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2013年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·23.25印张·5插页·621千字

标准书号:ISBN 978-7-111-38426-7

定价:59.00元



凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

# 前 言

钢结构因其具有材料强度高、重量轻、抗震性能好、工业化程度高、施工周期短、可回收循环利用等优点，且其结构体型又具有新颖和灵巧等美学特征，因而越来越广泛地应用于土木建筑领域。目前，节能、高效、环保和产业化已成为钢结构发展的必然趋势，此趋势将推动我国土木工程师不断加深对钢结构设计的认识和学习。

本书是结合作者多年来的钢结构教学和设计经验，吸收国内外钢结构研究成果，撰写而成。本书中与规范有关的内容是按照国家及行业现行标准编写，反映了我国土木工程领域钢结构设计的最新要求。本书将设计理论与工程实例、手工计算与计算机辅助计算、建筑设计与结构设计、主体钢结构设计与辅助钢结构设计相结合，内容翔实、深入浅出，具有较强的实用性和可操作性。

全书共计 10 章，包括钢结构设计要求、结构的材料性能、建筑结构荷载、钢结构设计理论、工业厂房钢结构设计、多高层房屋钢结构设计、钢结构设计软件与绘图软件、工业厂房钢结构设计实例、多层房屋钢结构设计实例、辅助钢结构设计实例。本书由王静峰、王波共同撰写。本书的大纲拟定及全书的统稿和修改由王静峰负责。此外，研究生王晓倩、张伊楚、陈文静、陈馨怡等为本书手稿的编排、插图的绘制及相关实例的计算付出了大量精力，在此深表感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在不妥和疏漏之处，敬请读者批评指正，并将意见寄至合肥工业大学土木与水利工程学院建筑工程系。

编 者

# 目 录

前言	
第 1 章 钢结构设计要求	1
1.1 钢结构设计趋势与要求	1
1.2 钢结构设计步骤	1
1.3 设计计算书编写	3
1.4 设计图绘制	3
1.5 螺栓与焊缝的表示	6
1.6 结构极限状态设计	8
第 2 章 结构的材料性能	10
2.1 钢材	10
2.2 混凝土	15
第 3 章 建筑结构荷载	20
3.1 永久荷载	20
3.2 楼面和屋面活荷载	22
3.3 厂房吊车荷载	26
3.4 雪荷载	27
3.5 风荷载	29
第 4 章 钢结构设计理论	34
4.1 设计基本规定	34
4.2 受弯构件的计算	44
4.3 轴心受力构件的计算	57
4.4 拉弯、压弯构件的计算	66
4.5 构件的计算长度	71
4.6 构造要求	75
4.7 连接计算	76
4.8 钢与混凝土组合梁设计	90
第 5 章 工业厂房钢结构设计	99
5.1 门式刚架的组成与布置	99
5.2 荷载与荷载效应组合	102
5.3 计算假定与计算简图	104
5.4 内力和变形计算	105
5.5 主刚架梁、柱设计	106
5.6 节点设计	113
5.7 支撑构件、次结构及围护结构设计	116
第 6 章 多高层房屋钢结构设计	122
6.1 多高层房屋钢结构的组成和类型	122
6.2 结构的平面布置与竖向布置	124
6.3 荷载与荷载效应组合	128
6.4 计算模型与分析方法	135
6.5 作用效应验算	141
6.6 构件设计	143
6.7 节点设计	149
第 7 章 钢结构设计软件与绘图软件	155
7.1 PKPM 软件 STS 模块	155
7.2 ETABS 软件	158
7.3 MTS 软件	160
7.4 3D3S 软件	162
7.5 MSTCAD 软件	163
7.6 XSTEEL 软件	165
7.7 TSSD 软件	167
第 8 章 工业厂房钢结构设计实例	172
8.1 工业厂房设计资料	172
8.2 工业厂房建筑设计	174
8.3 工业厂房结构设计	177
8.4 工业厂房软件设计	221
第 9 章 多层房屋钢结构设计实例	235
9.1 房屋钢框架设计资料	235
9.2 房屋钢框架建筑设计	237
9.3 房屋钢框架结构设计	239
9.4 房屋钢框架软件设计	285
第 10 章 辅助钢结构设计实例	303
10.1 钢楼梯设计	303
10.2 钢楼梯设计实例	305
10.3 钢雨篷设计	311
10.4 钢雨篷设计实例	313
10.5 钢网架设计	321
10.6 钢网架设计实例	341
10.7 钢网架软件设计	352
附录	359
附录 A 全国部分城市的雪压值和风压值	359
附录 B 风荷载体型系数	360
附录 C 单层工业厂房钢结构施工图	插页
附录 D 六层房屋钢结构施工图	插页
参考文献	365

# 第1章 钢结构设计要求

## 1.1 钢结构设计趋势与要求

钢结构设计需要设计人员综合运用所学的基础理论、专业知识和绘图技能来分析、解决和处理工程实际问题。在钢结构设计学习过程中，初学者需要注重自己综合能力的培养：

- (1) 调查取证，查阅中外文献，收集资料和自主学习的能力。
- (2) 理论分析、制订设计方案的能力。
- (3) 综合运用专业理论知识，熟练进行人工计算的能力。
- (4) 运用钢结构设计软件，熟练操作计算机进行计算和绘图的能力。
- (5) 熟悉相关设计规范和构造图集的能力。

随着中国钢产量的不断提升和钢结构应用的日益广泛，社会对钢结构从业人员的需求量越来越大，同时对从事钢结构设计和施工的人员提出了更高的专业理论知识和实践操作技能要求，本书的内容有助于相关人员提升自身能力以满足这些要求。

今后钢结构设计的发展趋势主要有：

(1) 结构形式要求多样化。随着经济的发展、技术的进步，结构形式的要求日益多样化，如工业厂房钢结构、多层房屋钢结构、空间网架结构、索膜结构和混合结构等。设计时应科学论证，合理优化。

(2) 设计题目工程化。钢结构设计的选题尽量结合工程实际，应能真正反映本专业领域的发展水平和前沿动态，使初学者真正了解和参与工程实际，培养其工程设计的思维方式和实战能力。

(3) 设计电算化。在钢结构设计中，要求从业人员既要有手算能力，同时也要有熟练运用计算机进行电算和绘图的能力。目前设计单位都已采用了成熟的钢结构设计软件，如PK-PM软件的STS模块、ETABS、MTS、3D3S等进行钢结构设计，未来还将有更多的国外优秀设计软件进入中国。为了尽快适应钢结构设计和施工的发展，初学者应熟练操作相关软件，进行结构计算和绘图。

## 1.2 钢结构设计步骤

进行钢结构设计时应根据设计基本信息资料，参考钢结构设计规范、设计手册、教材等，先进行结构形式选择、结构和构件尺寸布置，确定结构计算简图；再进行荷载组合和内力计算，计算时要考虑结构构件在不同荷载组合情况下的内力计算；然后进行构件截面设计、节点设计和基础设计；最后根据计算结果确定构件尺寸，绘制钢结构施工图，完成施工组织设计。结构计算首先要进行手算，然后进行电算，将手算的结果与电算结果进行比较，分析手算的合理程度，以加深对钢结构设计理论的熟悉程度。

钢结构设计的主要步骤包括资料收集、结构选型、结构布置、计算简图绘制、荷载计算、荷载组合确定、内力计算、内力组合确定、构件截面设计、构件连接与节点设计、基础

设计、施工图绘制等。

(1) 资料收集。需要收集的资料包括两部分：一是实际工程资料，包括施工场地周边环境资料、地质资料、水文资料、气象资料、地震资料等；二是钢结构设计所需的各种设计手册、设计规范（标准）、设计图集、设计工具书等。

(2) 结构选型。钢结构体系的结构形式大致可分为门式刚架结构、钢框架结构、钢框架-支撑结构、钢框架-混凝土剪力墙结构、交错桁架结构、巨型结构加子结构体系等。门式刚架结构可分为单跨、双跨、多跨刚架及带挑檐的和带毗屋的刚架等形式。

各结构形式都有一定的适用范围，应根据材料性能、受力特点、建筑使用要求及施工条件等因素合理选择。结构选型实际上是选择合理的结构方案，是一项综合性很强的技术工作，必须慎重对待。

(3) 结构布置。选择好结构形式后，就可进行结构体系的平面和竖向布置。有抗震要求的结构平面布置宜简单、规则、对称，减少偏心；平面长度不宜过长，凸出部分长度宜减小，凹角处宜采取加强措施。建筑的立面和竖向剖面力求规则，结构的侧向刚度应均匀变化，避免刚度突变；竖向抗侧力构件的截面和材料强度等级应自下而上逐渐减小，避免抗侧力结构的承载力发生突变。设计时应调整平面形状和尺寸，采用构造和施工措施，不设伸缩缝、防震缝和沉降缝。需要设缝时，应使三缝合一，并将房屋结构划分为独立的结构单元。

例如，门式刚架的结构布置首先要确定合理的跨度、合适的刚架间距，之后要确定柱脚连接，梁、柱截面尺寸，最后还要进行伸缩缝的设置，墙梁布置和支撑布置等。网架结构的结构选型和结构布置则包括确定网架结构类型、网格尺寸、网架厚度、支座位置及约束形式等内容。

(4) 计算简图绘制。进行钢结构设计时，需要将复杂的工程结构经过综合分析，抽象为简单合理的力学模型，画出计算简图，以便于分析设计。如，钢框架结构房屋是由横向和纵向框架组成的空间结构，在手算时，通常近似地按两个方向的平面框架分别计算。钢框架计算简图用梁、柱的轴线表示。

(5) 荷载计算。作用在工程结构上的荷载有直接荷载与间接作用。直接荷载分为竖向荷载和水平荷载。竖向荷载有楼（屋）盖重力荷载、均布活荷载、雪荷载、积灰荷载及悬挂荷载、吊车荷载等；水平荷载有风荷载、地震荷载。间接作用包括温度作用、地基不均匀沉降变形等。荷载有永久荷载、可变荷载、偶然荷载。如普通屋架上的荷载包括恒载（屋面重量和屋架自重）、屋面均布活荷载和雪荷载（两者取大值）、风荷载、积灰荷载及悬挂荷载。

(6) 荷载组合确定。根据结构荷载规范，须考虑各种不同工况下的荷载组合，以最不利的荷载组合来控制结构设计。

(7) 内力计算。计算出结构构件在每种荷载下其控制截面可能的内力（弯矩、剪力、轴力或其中某一项）。

(8) 内力组合确定。按照不同工况下，每种荷载组合对应的内力进行组合。

(9) 构件截面设计。取结构构件控制截面最不利的一种或几种内力组合值进行截面设计。

(10) 构件连接与节点设计。钢结构构件的连接与节点设计是结构设计的重要组成部分。设计时初学者容易产生只重视钢结构计算，而忽视钢结构构造措施要求的倾向。构造连接处理不当的构件或节点往往会成为工程事故的隐患，因此必须重视构造连接的设计。如，

钢梁的横向加劲肋应切角，以防三向焊缝相交造成严重的应力集中；当实腹式柱腹板高厚比大于80时，应设置横向加劲肋等。

(11) 施工图绘制。施工图绘制是钢结构设计的一个重要环节。初学者不仅要能看懂钢结构设计图的细部构造，而且要自己学会用工程语言规范表达。要保持图面整洁，便于审核，同时易于让施工人员理解设计意图。

## 1.3 设计计算书编写

### 1.3.1 设计计算书编写目的

1999年2月13日国务院在“加强基础设施工程质量管理”的通知中要求建立工程质量终身负责制，这是为了保障建设工程质量提出的一个重要措施。施工图设计作为工程建造的第一步，必须符合“经济、安全、适用、美观”的方针。为此，国家相关部门，出台了大量的国家规范、行业规程和地方工程建设标准。设计必须符合规范规定是保证工程安全的必要条件，同时也是保证工程质量具有可追溯性的必然要求。因此，在设计计算书中，需要详细记录工程设计的相关信息，如设计委托书编号、工程地质勘察资料、设计的工艺参数及结构的荷载取值、结构设计依据标准等。

### 1.3.2 设计计算书所含内容

设计计算书作为与施工图相配套的重要文件，必须对下列要点进行详细记录：

(1) 设计依据。主要包括设计荷载、地震设计资料及相关的参数取值、房屋的抗震等级及与房屋建筑紧密相关的材料等。

(2) 设计所依据标准名称。如钢结构设计必须满足现行的《钢结构设计规范》(GB 50017)、《高层建筑钢结构设计规程》(DG/TJ 08-32)、《建筑结构荷载规范》(GB 50009)、《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)、《门式刚架轻型房屋钢结构技术规程》(CECS 102)、《空间网格技术规程》(JGJ 7)等。

(3) 结构内力计算所采用的计算模型、简化假设。应用结构设计软件进行计算时，必须详细记录荷载取值、模型参数的取值、内力调整系数的取值等。

(4) 结构计算的主要结果。计算结果包括位移、内力及相应的内力组合。同时对构件设计的内力取值进行说明；对结构正常使用极限状态的变形进行验算等。

(5) 钢结构的节点设计。应对钢结构的节点设计进行详细的记录，如与节点相连的构件尺寸、焊缝长度、焊高等，并与结构施工图内容保持一致。

## 1.4 设计图绘制

### 1.4.1 绘图依据

建筑结构制图所依据的规范和标准有：《总图制图标准》(GB/T 50103)、《建筑制图标准》(GB/T 50104)、《建筑结构制图标准》(GB/T 50105)、《房屋建筑制图统一标准》(GB/T 50001)等。



### 1.4.2 图纸幅面

标准型图纸幅面有 5 种，其代号为 A0、A1、A2、A3、A4。图纸布置形式如图 1-1 所示。幅面和图框尺寸应符合表 1-1 的规定。在绘图时，可以根据所绘图样种类及图样的大小选择图纸。

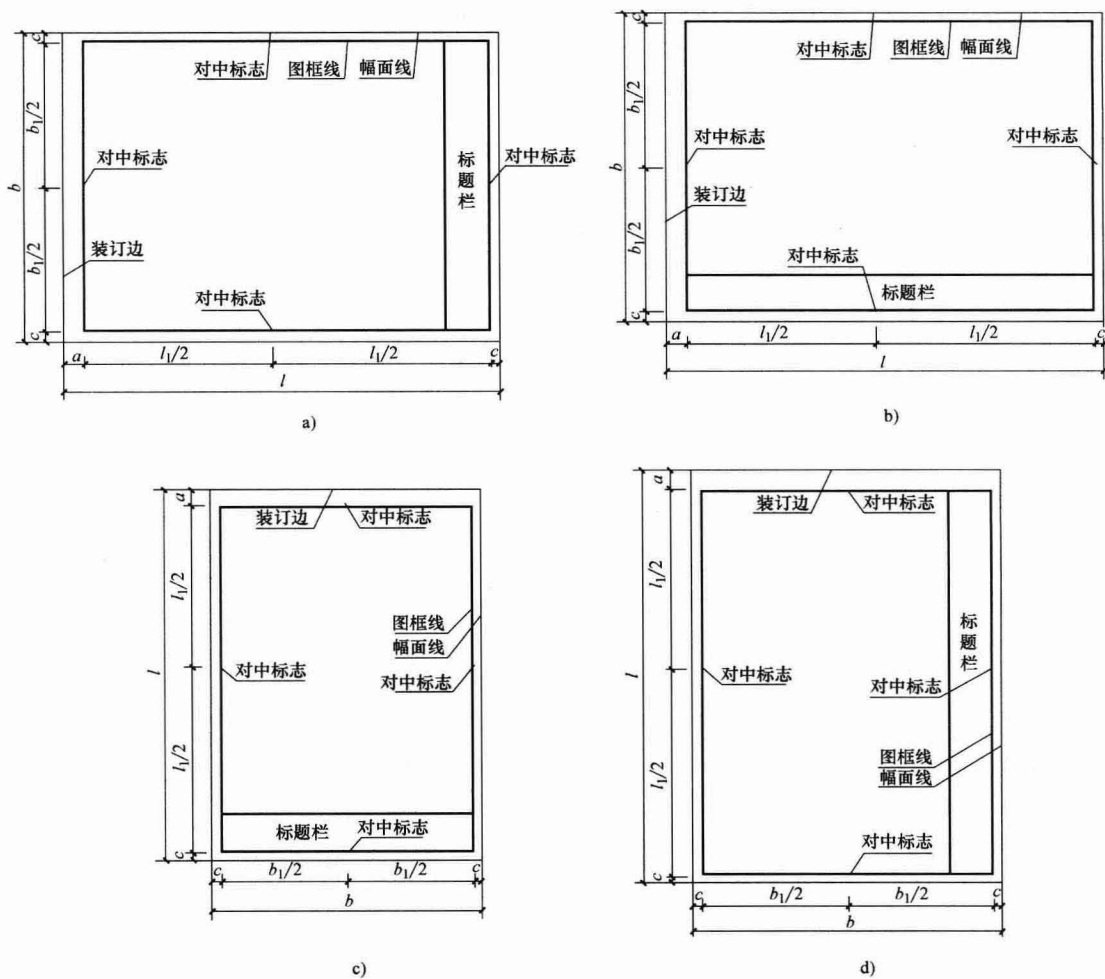


图 1-1 结构施工图标准图纸幅面

- a) A0 ~ A3 横式幅面 (一)
- b) A0 ~ A3 横式幅面 (二)
- c) A0 ~ A4 立式幅面 (一)
- d) A0 ~ A4 立式幅面 (二)

表 1-1 幅面和图框尺寸

(单位: mm)

幅面代号 尺寸代号	A0	A1	A2	A3	A4
$b \times l$	841 × 1189	594 × 841	420 × 594	297 × 420	210 × 297
$c$	10		5		
$a$	25				

### 1.4.3 图样比例

绘图时应根据图样的用途、被绘物体的复杂程度，选用表 1-2 中的常用比例，特殊情况下也可选用可用比例。

表 1-2 图样比例

图名	常用比例	可用比例
结构平面图 基础平面图	1:50, 1:100, 1:150	1:60, 1:200
圈梁平面图、总图 中管沟、地下设施等	1:200, 1:500	1:300
详图	1:10, 1:20, 1:50	1:5, 1:25, 1:30

注：当构件的纵、横向断面尺寸相差悬殊时，可在同一详图中的纵、横向选用不同的比例绘制。轴线尺寸与构件尺寸也可选用不同的比例绘制。

### 1.4.4 字体设置

(1) 图纸上的文字、数字和符号等，应清楚正确、字体端正。汉字一般用仿宋体。大标题、图册封面、地形图等汉字，也可写成其他字体，但应易于辨认。

(2) 汉字的简化书写，必须符合国务院公布的《汉字简化方案》和有关规定。

(3) 数量的数值注写，应采用正体阿拉伯数字。各种计量单位凡前面有量值的均应采用国家颁布的单位符号注写。单位符号应采用正体字母。

(4) 分数、百分数和比例数的注写，应采用阿拉伯数字和数学符号，如四分之三、百分之二十和一比十应分别写成  $3/4$ 、20% 和 1:10。

(5) 当注写的数字小于 1 时，必须写出个位的“0”，小数点应采用圆点，齐基准线书写。

### 1.4.5 图线宽度

图线的宽度  $b$  宜从下列线宽系列中取用：1.4mm、1.0mm、0.7mm、0.5mm、0.35mm、0.25mm、0.18mm、0.13mm。每个图样应根据其复杂程度与比例大小，先选定基本线宽，再选用表 1-3 中相应的线宽组。

表 1-3 线宽组

(单位：mm)

线宽比	线宽组			
$b$	1.4	1.0	0.7	0.5
$0.7b$	1.0	0.7	0.5	0.35
$0.5b$	0.7	0.5	0.35	0.25
$0.25b$	0.35	0.25	0.18	0.13

注：1. 需要缩微的图纸，不宜采用 0.18 及更细的线宽。

2. 同一张图纸内，各不同线宽中的细线，可统一采用较细的线宽组的细线。

### 1.4.6 基本符号

图样中相应的符号应一致，且符合相关规定的要求，具体的符号绘制方法参见相关制图

教材。

### 1.4.7 钢结构制图

钢结构设计图一般包括：

(1) 设计说明。设计说明中应含有以下内容：设计依据、荷载资料、项目类别、工程概况、所用钢材牌号和等级（必要时提出力学性能和化学成分要求）、连接件的型号和规格、焊缝质量等级、防腐及防火措施。

(2) 基础平面图及详图。其中应包括钢柱与下部混凝土构件的连接构造详图。

(3) 结构平面（包括楼面、屋面）图。结构平面图应注明定位关系、标高、构件（可用单线绘制）的位置及编号、节点详图索引号等。必要时应绘制檩条、墙梁布置图和关键剖面图；空间网架应绘制上弦杆、下弦杆和关键剖面图。

(4) 构件与节点详图。简单的钢梁、柱可用统一详图和列表法表示，注明构件钢材牌号、尺寸、规格，加劲肋做法，绘出节点详图并注明施工与安装要求；格构式梁、柱支撑应绘出平、剖面图，注明定位尺寸、总尺寸、分尺寸，构件型号、规格、组装节点。

(5) 钢结构施工详图。根据钢结构设计图编制构件的零件放大图，标准细部尺寸、材质要求、加工精度、工艺流程要求、焊缝质量等级等，且对零件进行编号；根据运输和安装能力确定构件的分段和拼装节点。

图纸编排的顺序如下：

(1) 按工程类别，先建筑结构，后设备基础、构筑物。

(2) 按结构系统，先地下结构，后上部结构。

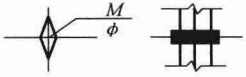
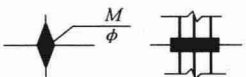
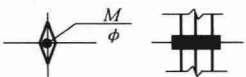
(3) 在一个结构系统中，按布置图、节点详图、构件详图、预埋件及零星钢结构施工图的顺序编排。

## 1.5 螺栓与焊缝的表示

### 1.5.1 螺栓、孔与电焊铆钉的表示

螺栓、孔与电焊铆钉的表示方法见表 1-4。

表 1-4 螺栓、孔与电焊铆钉的表示方法

序号	名称	图例	说明
1	永久螺栓		1. 细“+”线表示定位线 2. $M$ 表示螺栓型号 3. $\phi$ 表示螺栓孔直径 4. $d$ 表示膨胀螺栓、电焊铆钉直径 5. 采用引出线标注螺栓时，横线上标注螺栓规格，横线下标注螺栓孔直径
2	高强度螺栓		
3	安装螺栓		

(续)

序号	名称	图例	说明
4	膨胀螺栓		1. 细“+”线表示定位线 2. $M$ 表示螺栓型号 3. $\phi$ 表示螺栓孔直径 4. $d$ 表示膨胀螺栓、电焊铆钉直径 5. 采用引出线标注螺栓时，横线上标注螺栓规格，横线下标注螺栓孔直径
5	圆形螺栓孔		
6	长圆形螺栓孔		
7	电焊铆钉		

### 1.5.2 常用焊缝的表示

钢结构的焊缝表示方法应符合现行国家标准《焊缝符号表示法》(GB/T 324)和《建筑结构制图标准》(GB/T 50105)的规定。

单面焊缝的标注方法应符合下列规定：

(1) 当箭头指向焊缝所在一面时，应将图形符号和尺寸标注在横线上方；当箭头指向焊缝所在另一面（相对应的那面）时，应将图形符号和尺寸标注在横线下方（见表1-5中单面焊缝标注方法）

(2) 表示环绕钢构件周围的焊缝时，其围焊缝符号为圆圈，绘在引出线的转折处，并标注焊脚尺寸 $K$ 。（见表1-5中相同焊缝标注方法）

双面焊缝的标注，应在横线的上下都标注符号和尺寸。上方表示箭头一面的符号和尺寸，下方表示另一面的符号和尺寸；当两面焊缝尺寸相同时，在横向上方标注焊缝的符号和尺寸（见表1-5中双面焊缝标注方法）。

表 1-5 焊缝标注方法

名称	角焊缝				对接焊缝	三面围焊
	单面焊缝	双面焊缝	安装焊缝	相同焊缝		
形式						
标注方法						

## 1.6 结构极限状态设计

结构设计应遵守现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068)的规定。任何工程结构在设计使用年限内都应具备必要的安全性、适用性和耐久性,三者总称为结构的可靠性。用来度量可靠性的指标称为可靠度。结构设计要解决的根本问题是在结构的可靠性和经济性之间取得平衡,使较为经济的结构能以适当的可靠度满足各项预定的功能要求。

影响结构安全性能的因素很多,如荷载、材料性能、施工质量和计算方法等,这些因素一般都是随机变量。极限状态设计法是将影响结构安全的各种参数作为随机变量用概率论和数理统计方法进行分析,采用可靠度理论,求出结构在设计使用年限内满足基本功能要求的概率,并采用分项系数设计表达式进行计算。

结构的极限状态是指整个结构或构件能满足设计规定的功能要求的临界状态,超过这一状态,结构或构件便不能满足设计要求。一般情况下,承重结构都应按以下两种极限状态进行设计:

(1) 承载能力极限状态。结构或构件达到最大承载能力或达到不适于继续承载的变形,包括强度破坏、疲劳破坏、失稳、倾覆等。

(2) 正常使用极限状态。结构或构件达到正常使用的某项规定的限值,包括出现影响正常使用或影响外观的变形、影响正常使用的振动以及影响正常使用或耐久性的局部破坏等。

用  $R$  表示结构的抗力,它取决于材料性能和结构构件的几何特征。用  $S$  表示荷载对结构的作用效应,包括直接施加在结构上各种荷载,引起结构外变形或约束变形的其他间接作用,如地震、温度变化等。用  $Z$  表示结构的功能函数,  $Z = R - S$ 。当  $Z > 0$  时,表示结构可靠;当  $Z < 0$  时,表示结构失效;当  $Z = 0$  时,表示结构处于极限状态。

按照概率极限状态设计法,结构可靠度定义为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。这里所说的完成预定功能就是指对于规定的某种功能来说结构不失效( $Z \geq 0$ )。以  $P_s$  表示结构的可靠度,  $P_s = P(Z \geq 0)$ ; 以  $P_f$  表示结构的失效概率,  $P_f = P(Z < 0)$ ,  $P_f = 1 - P_s$ 。因此,结构可靠度的计算可以转换为结构失效概率的计算。可靠的结构设计指的是使失效概率小到人们可以接受的程度。考虑到直接应用结构可靠度或结构失效率进行概率运算比较复杂,为了方便工程设计,在概率设计法的基础上,采用了工程技术人员熟悉的分项系数极限状态设计表达式。表达式中的分项系数应根据规定的可靠指标按概率设计法确定。

对于承载能力极限状态,荷载效应的基本组合应按下列设计表达式中最不利值确定:

可变荷载效应控制组合

$$\gamma_0(\gamma_G S_{Gk} + \gamma_{Q1} S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{Qik}) \leq f \quad (1-1)$$

永久荷载效应控制组合

$$\gamma_0(\gamma_G S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{Qik}) \leq f \quad (1-2)$$

式中  $\gamma_0$ ——结构重要性系数,对安全等级为一级、二级和三级的结构分别取 1.1、1.0 和 0.9;

$\gamma_G$ ——永久荷载分项系数，当由可变荷载效应控制的组合对结构不利时取 1.2，当由永久荷载效应控制的组合对结构不利时取 1.35，当永久荷载效应对结构有利时取 1.0，验算结构倾覆、滑移或漂浮时取 0.9；

$\gamma_{Q1}$ ， $\gamma_{Qi}$ ——可变荷载分项系数，一般情况取 1.4，对于标准值大于或等于  $4\text{kN/m}^2$  的楼面荷载取 1.3；

$S_{Q1k}$ ， $S_{Qik}$ ——第一个和其他第  $i$  个可变荷载的标准值；

$\psi_{ci}$ ——第  $i$  个可变荷载组合系数，当有风荷载参与组合时取 0.6，当无风荷载参与组合时取 1.0；

$f$ ——结构抗力设计值；

$S_{Gk}$ ——按永久荷载标准值  $G_k$  计算的荷载效应值；

对于一般排架、框架结构，可采用简化表达式。

由可变荷载效应控制的组合按下式计算：

$$S = \gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \psi \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qik}) \quad (1-3)$$

式中  $\psi$ ——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；

$R$ ——结构抗力设计值；

$G_k$ ——永久荷载标准值。

由永久荷载效应控制的组合，仍按式 (1-2) 计算。

对于正常使用极限状态，组合结构应分别按荷载的短期效应组合和长期效应组合进行验算，以满足结构构件的使用要求，使变形、裂缝等计算值不超过相应的规定限值。

短期效应组合

$$S = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qik} \quad (1-4)$$

长期效应组合

$$S = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qik} \quad (1-5)$$

式中  $\psi_{qi}$ ——可变荷载的准永久值系数。

## 第2章 结构的材料性能

### 2.1 钢材

钢材的力学性能通常是指钢材在外力作用下显示出的各种性能，包括强度、塑性、冷弯性能及韧性等。各项性能由试验测定，试验试件及试验方法要符合国家标准的有关规定。

#### 2.1.1 钢材的强度

钢材的强度可以用材料的比例极限  $f_p$ 、屈服强度（屈服点处的应力） $f_y$  与抗拉强度  $f_u$  这几个有代表性的强度指标来表达，这些强度指标可以通过常温、静载条件下的一次拉伸试验得到的钢材应力-应变（ $\sigma - \epsilon$ ）曲线（图 2-1）来确定。

(1) 比例极限  $f_p$ 。图 2-1 中  $OA$  线段为钢材的弹性阶段，这一阶段应力与应变符合虎克定律，成正比关系，且卸荷后变形可完全恢复。钢材弹性阶段最大应力值即为比例极限  $f_p$ 。

(2) 屈服强度  $f_y$ 。图 2-1 中  $A$  点过后，应变不再与应力成正比，应力-应变关系呈曲线形式，钢材处于弹塑性阶段直至  $B$  点， $B$  点的应力为钢材的屈服强度  $f_y$ 。在此之后应力基本不变而应变持续发展，形成水平线段  $BC$ ，为钢的塑性阶段。

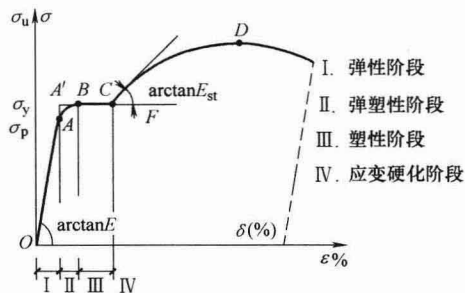


图 2-1 碳素钢应力-应变曲线

因此钢材的屈服强度  $f_y$  是衡量结构的承载能力和确定强度设计值的重要指标。图 2-2 所示是简化的碳素钢的应力-应变曲线。

对于没有明显屈服强度的高强度钢材或硬钢，其屈服强度的判定是根据试验分析结果确定的名义屈服强度，以卸荷后试件中残余应变为 0.2% 所对应的应力为名义屈服强度，用  $\sigma_{0.2}$  表示，如图 2-3 所示。

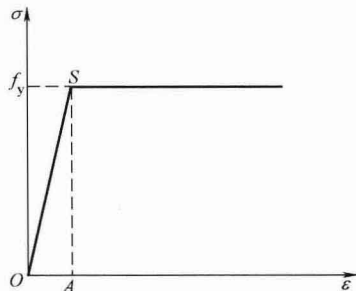


图 2-2 简化的碳素钢应力-应变曲线

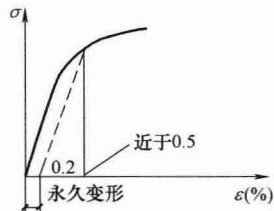


图 2-3 名义屈服强度

(3) 抗拉强度  $f_u$ 。超过屈服台阶，材料出现应变硬化，直至图 2-1 中曲线最高处的  $D$  点，试件发生颈缩现象，这点的应力  $f_u$  称为抗拉强度或极限强度。当以屈服点的应力  $f_y$  作

为强度限值时，抗拉强度  $f_u$  成为材料的强度储备。

### 2.1.2 钢材的塑性

塑性是指钢材破坏前产生塑性变形的能力，其值可由静力拉伸试验得到的伸长率  $\delta$  来衡量。 $\delta$  等于试件拉断后的原标距的塑性变形（即伸长值）与原标距之比值，以百分数表示。当试件的标距长度与试件直径  $d$  之比为 10 时，以  $\delta_{10}$  表示；当该比值为 5 时，以  $\delta_5$  表示。同一试件的  $\delta_5$  比  $\delta_{10}$  要偏大一些，通常使用  $\delta_5$  表征钢材的塑性。

### 2.1.3 钢材的冷弯性能

钢材的冷弯性能可反映钢材在常温下进行冷加工时产生塑性变形的能力，冷弯性能可通过冷弯试验来检验，试验装置如图 2-4 所示。根据试样厚度，按规定的弯心直径将试样弯曲  $180^\circ$ ，其表面及侧面无裂纹或分层则为“冷弯试验合格”。

冷弯试验不仅能反映钢材的冷加工性能，还能综合反映钢材的塑性和冶金质量。钢构件在制作、安装过程中要进行冷加工，尤其是焊接结构焊后变形的调直等工序，都需要钢材有较好的冷弯性能。

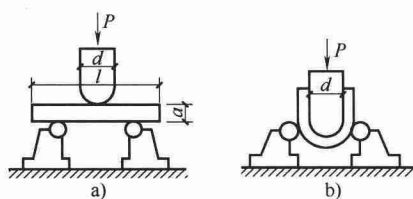


图 2-4 钢材冷弯试验

### 2.1.4 钢材的韧性

钢材的韧性与抵抗冲击作用有关的性能，是钢材断裂时吸收机械能能力的量度。吸收较多能量才断裂的钢材，是韧性好的钢材。钢材在静载作用下一次拉伸断裂时所吸收的能量，用单位体积吸收的能量来表示，其值等于应力-应变曲线下包围的面积。塑性好的钢材，其应力-应变曲线下包围的面积大，所以韧性值大。

实际结构中，脆性断裂一般并不发生在单向受拉的地方，而总是发生在有缺口、应力较为复杂的区域，因此，实际工作中用冲击韧性来衡量钢材抗脆断的性能。其中具有代表性的是钢材的缺口冲击韧性，简称冲击韧性或冲击功。

在寒冷地区建造的钢结构不但要求钢材具有常温（ $20^\circ\text{C}$ ）冲击韧性指标，还要求具有负温冲击韧性指标，以保证结构具有足够的抗脆性破坏能力。

### 2.1.5 钢材种类与型号

#### 1. 钢筋

(1) 钢筋的种类及材料性能。我国《混凝土结构设计规范》（GB 50010）推荐使用的普通钢筋的种类及其强度标准值  $f_{yk}$ 、设计值  $f_y$  以及弹性模量  $E_s$  可按表 2-1 采用。

表 2-1 钢筋的种类及材料性能

牌号	符号	$f_{yk}/(\text{N}/\text{mm}^2)$	$f_y/(\text{N}/\text{mm}^2)$	$E_s/(10^5\text{N}/\text{mm}^2)$
HPB300	$\Phi$	300	270	2.10
HRB335	$\Phi$	335	300	2.00
HRBF335	$\Phi^F$			



(续)

牌号	符号	$f_{yk}/(N/mm^2)$	$f_y/(N/mm^2)$	$E_s/(10^5 N/mm^2)$
HRB400	Φ	400	360	2.00
HRBF400	Φ <sup>F</sup>			
RRB400	Φ <sup>R</sup>			
HRB500	Φ	500	435	2.00
HRBF500	Φ <sup>F</sup>			

## (2) 钢筋的选用原则

1) 适当的强度和屈强比。屈强比小, 则结构的强度储备大, 但比值太小钢筋强度的有效利用率低, 所以应有适当的屈强比。

2) 足够的塑性。工程设计中要求结构具有足够的塑性(延性), 避免脆性破坏。

3) 良好的焊接性能。要求钢筋具备良好的焊接性能, 焊接后不应产生裂纹及过大的变形, 以保证焊接接头性能良好。

4) 良好的耐久性和耐火性。

5) 与混凝土具有良好的粘结。

## 2. 型钢

### (1) 型钢钢材的种类

钢材按其化学成分可分为非合金钢、低合金钢与合金钢三类。按主要性能及使用特性, 非合金钢可进一步分为规定最低强度(如碳素结构钢)或以限制含碳量为主的各种类别, 低合金钢可进一步分为低合金高强度钢与低合金耐候钢等类别。实际工程中应用于组合结构的钢材主要有两大类: 碳素结构钢和低合金高强度钢。

钢材的牌号简称为钢号, 下面分别介绍碳素结构钢和低合金钢的牌号及性能。

1) 碳素结构钢。钢号由四个部分组成, 依次是:

① 屈服强度。用字母 Q 代表。

② 屈服强度的数值 ( $N/mm^2$ )。

③ 质量等级符号。有 A、B、C、D 四种, 从 A 到 D 表示钢材质量等级依次提高, A 级钢只保证抗拉强度、屈服强度、伸长率, 必要时可附加冷弯试验的要求; B、C、D 级钢均保证抗拉强度、屈服强度、伸长率和冲击韧性等力学性能。

④ 脱氧方法符号。F、b、Z、TZ, 分别表示沸腾钢、半镇静钢、镇静钢和特殊镇静钢。

如, Q235-B·F, 表示屈服强度为  $235N/mm^2$  的 B 级沸腾钢。

碳素结构钢的牌号有 Q195、Q215、Q235 及 Q275, 其中 Q235 最为常用。

2) 低合金高强度结构钢。钢号的表示方法与碳素结构钢相似, 但质量等级分为 A、B、C、D、E 五级, 且无脱氧方式符号。如, Q345-B, 表示屈服强度为  $345N/mm^2$  的低合金高强度结构钢。

低合金高强度结构钢的牌号有 Q345、Q390、Q420、Q460、Q500、Q550、Q620、Q690 八种, 其中 Q345、Q390、Q420 三种最为常用。

3) 钢材的物理性能。钢材的弹性模量  $E = 2.06 \times 10^5 N/mm^2$ 。

4) 钢材的强度。钢材的强度设计值, 应根据钢材厚度或直径按表 2-2 取用。