

21世纪高等职业院校土木工程专业系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会推荐教材
北京市高等学校教育教学改革立项项目教材

钢结构

吴宝瀛 编著

清华大学出版社

21世纪高等职业院校土木工程专业系列教材
中国土木工程学会教育工作委员会推荐教材
北京市高等学校教育教学改革立项项目教材

钢结构

吴宝瀛 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是由土木工程学会教育委员会推荐的 21 世纪高等职业院校土木工程专业系列教材之一,是根据高等职业院校土木工程专业的培养目标和教学大纲编写的。

全书从钢结构的特点和设计方法入手,对钢结构的材料,钢结构的连接,轴心受力构件,受弯构件,拉弯、压弯构件等的破坏形式及一般计算方法进行了说明,并根据高职学生的特点,增加了课程实训,求职面试可能遇到的典型问题应对二章。

本书可作为高等职业、高等专科院校和普通大学专科土木工程专业的钢结构教材,也可作为高等教育自学考试房屋建筑工程的钢结构辅导教材,亦可作为在土木工程专业中从事钢结构设计、施工的技术人员的参考用书。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

钢结构/吴宝瀛编著. —北京:清华大学出版社,2009.4

(21 世纪高等职业院校土木工程专业系列教材)

ISBN 978-7-302-19778-2

I. 钢… II. 吴… III. 钢结构—高等学校:技术学校—教材 IV. TU391

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 041252 号

责任编辑:徐晓飞 赵从棉

责任校对:赵丽敏

责任印制:孟凡玉

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京四季青印刷厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:203×253 印 张:12.75 插 页:1 字 数:376 千字

版 次:2009 年 4 月第 1 版 印 次:2009 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~3000

定 价:27.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:023164-01

编 委 会

名誉主编：袁 驹 江见鲸

主 编：崔京浩

副 主 编：陈培荣

编 委(按姓名拼音排序)：

傅裕寿 金荣耀 李 锐 李崇智 刘琮昕

刘全义 刘世奎 苏 乾 王嵩明 吴宝瀛

徐晓飞 杨国富 易可佳 张正威 周 坚

周玉明

编辑办公室主任：徐晓飞

丛书总序

这套“21 世纪高等职业院校土木工程专业系列教材”，由于具有突出的针对性、实用性、实践性和应对性，受到中国土木工程学会教育工作委员会的好评，被列为“中国土木工程学会教育工作委员会推荐教材”；同时由于在内容安排、教学理念、培养模式等方面的特色，入选“北京市高等学校教育教学改革立项项目教材”。

我国现阶段面临着严峻的就业形势，其中人才结构问题非常明显：一方面表现为职业技能人才严重不足；另一方面普通本科毕业生又出现过剩的局面。因此，高等职业院校得到迅猛发展，土木建筑类高等职业院校尤其突出。

土木建筑业属于劳动密集型行业，我国农村 2 亿富余劳动力有一半（约 1 亿）在建筑业打工，这部分劳动者技术素质偏低，迫切需要为生产第一线充实技术指导人员（施工技术员）。这部分技术人员就是高职院校土木建筑工程专业的培养目标。

为此，我们专门组织了一批具有高级职称又在高职院校（北京科技经营管理学院建工专业）任教 5 年以上，具有丰富教学经验的教师编写了这套教材。整套教材贯彻了如下的原则和要求：

（1）突出针对性——高职土木的培养目标是生产第一线的技术人才，通常称之为“施工技术员”。因此，在编写时有针对性地删减了繁琐的理论推导和冗长的分析计算，增加生产第一线的专业知识和技能；做到既要充分体现高职土木的培养目的，又要兼顾本门课程理论上和专业上的系统性和完整性。

（2）突出实用性——大幅度地增加“施工技术员”需要的专业知识和职业技能，特别是“照图施工”的知识和技能，克服过去那种到工地上看不懂图的弊端。为此，所有专业课均增加了有关识图的内容。

（3）突出实践性——大力改进实践环节，加强职业技能的培训。第一，所有专业课在最后均增加了一章“课程实训”，授课配合必要的参观和现场讲解。第二，强化“毕业综合实训”，围绕学生毕业后到生产第一线需要的知识和技能进行综合性的实训。为此本套教材专门编写了一本《毕业综合实训指导》，供教师在最后的实训环节参考。

（4）突出应对性——现代求职一个重要的环节是面试，面试的效果对求职成败有重要的影响。因此，本套教材每种书都专门讨论应对面试的内容、能力和职业素质，归纳为“本门课程求职面试可能遇到的典型问题应对”一章。

在编写这套教材时，虽然经过反复讨论和修改并经过两轮的教学实践，但是仍不可避免地存在不足乃至错误，请广大读者和同行指出、不吝赐教。

主编：崔启浩 于清华园

前 言

本书是编者在总结多年高职、高专教学经验的基础上,根据高等职业院校土木工程专业的培养目标和教学大纲,专门为高职、高专人才的培养而编写的。

本书按照“少而精”的原则进行编写,保持了学科体系的完整性。在删减理论推导和冗长分析的基础上,尽量做到讲清基本概念;在引进主要概念时,尽量做到简明、自然。

本书按照“学以致用”的原则,对基本理论、计算方法和例题的配置相对加强,使学生通过学习本书,对国家规范、标准做到心中有数。

本书针对高职、高专人才的培养特点,增加了“课程实训”和“本门课程求职面试可能遇到的典型问题应对”两章,使学生能较好地处理生产第一线可能遇到的问题,在工作中能较快地进入状态。

本书直接选用了参考文献中的部分习题,在此向文献的诸位作者表示感谢。

本书中的图表及书后附录大部分直接选自参考文献2,在此特向文献的两位主编陈绍蕃先生和顾强教授表示感谢。

在编写本书的过程中,得到了丛书主编的多次指导,在此表示感谢。

限于编者水平,书中肯定有错误和不足之处,希望读者给予批评指正。

吴宝瀛

于北京建筑工程学院

2008年10月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 钢结构的特点和应用	1
1.1.1 钢结构的特点	1
1.1.2 钢结构的应用	1
1.2 钢结构的组成	2
1.2.1 钢结构所受荷载	2
1.2.2 钢结构的组成	2
1.3 钢结构的设计方法	2
1.3.1 承重结构的两种极限状态	2
1.3.2 可靠度结构设计	3
1.3.3 分项系数设计表达式	3
1.4 钢结构的发展	4
习题	5
第 2 章 钢结构的材料	6
2.1 钢结构用材的要求	6
2.2 钢材的力学性能	6
2.2.1 单向拉伸时的性能	6
2.2.2 冷弯性能	7
2.2.3 冲击韧性	8
2.3 影响钢材性能的因素	8
2.3.1 化学成分的影响	8
2.3.2 成材过程的影响	10
2.3.3 结构钢材的脆性破坏	11
2.4 常幅疲劳计算	11
2.5 钢材的类别及选用	15
2.5.1 建筑钢材分类	15
2.5.2 型钢规格	15
2.5.3 钢材的选择	17
习题	17
第 3 章 钢结构的连接	18
3.1 概述	18
3.2 焊缝连接	18
3.2.1 焊缝的缺陷和级别	19

7.1.1 支撑体系的作用	127
7.1.2 支撑体系的布置	128
7.1.3 支撑和屋架连接构造及识图	129
7.2 钢屋架节点设计和识图	129
7.2.1 识图和构造要求	129
7.2.2 节点的构造和计算	131
7.2.3 节点的设计示例	135
7.3 梁与梁的连接	136
7.3.1 主次梁的连接	136
7.3.2 梁的拼接	139
7.4 多层框架梁柱的连接	142
7.4.1 梁柱的连接	142
7.4.2 梁柱节点的受力	143
7.5 实腹式檩条、拉条的设计	144
7.5.1 实腹式檩条的截面形式和放置	144
7.5.2 实腹式檩条和拉条的设计	144
7.6 平台设计	147
第 8 章 本课程求职面试可能遇到的典型问题应对	162
8.1 常识性问题	162
8.2 概念性问题	163
8.3 识图	168
附录	172
附录 1 型钢规格表	172
附录 2 螺栓和锚栓规格	183
附录 3 钢材、焊缝和螺栓连接的强度设计值	184
附录 4 工字形截面简支梁等效弯矩系数和轧制工字钢梁的稳定系数	186
附录 5 轴心受压构件的稳定系数	187
附录 6 各种截面回转半径的近似值	190
参考文献	191

5.1.3	梁的设计要求	82
5.2	梁的强度	83
5.2.1	梁的抗弯强度	83
5.2.2	抗剪强度	85
5.2.3	局部抗压强度	86
5.2.4	折算应力	86
5.3	梁的整体稳定	89
5.3.1	梁整体失稳的现象	89
5.3.2	梁整体稳定性的保证	90
5.3.3	梁的临界荷载	91
5.3.4	梁的整体稳定计算公式	91
5.3.5	梁的整体稳定算例	93
5.4	梁的局部稳定	96
5.4.1	翼缘板的容许宽厚比	96
5.4.2	腹板加劲肋的设置	96
5.4.3	梁的局部稳定算例	100
5.5	焊接梁翼缘焊缝的计算	103
5.6	梁的截面设计	104
5.6.1	型钢梁的设计	104
5.6.2	组合梁截面设计	105
	习题	107
第 6 章	拉弯和压弯构件	109
6.1	概述	109
6.1.1	应用和截面形式	109
6.1.2	拉弯、压弯构件的设计要求	110
6.2	拉弯和压弯构件的强度计算	111
6.3	实腹式压弯构件的整体稳定	113
6.3.1	弯矩作用平面内的稳定	113
6.3.2	弯矩作用平面外的稳定	115
6.3.3	例题	116
6.4	实腹式压弯构件的局部稳定	120
6.4.1	压弯构件腹板内的受力状态	120
6.4.2	规范规定的压弯构件腹板高厚比的限值公式	120
6.4.3	翼缘宽厚比的限值	121
6.4.4	算例	121
6.5	柱脚	123
	习题	125
第 7 章	课程实训	126
7.1	屋盖和柱间支撑体系	126

3.2.2	焊缝的代号	20
3.3	对接焊缝的构造和计算	21
3.3.1	对接焊缝的构造要求	21
3.3.2	对接焊缝的计算	22
3.4	角焊缝的构造和计算	23
3.4.1	角焊缝计算的基本假设和基本公式	23
3.4.2	角焊缝的尺寸限制和构造要求	24
3.4.3	常用连接方式的角焊缝计算	26
3.5	普通螺栓连接的构造和计算	32
3.5.1	普通螺栓的排列和构造要求	32
3.5.2	普通螺栓连接的受力性能	34
3.5.3	普通螺栓群连接的计算	36
3.6	高强度螺栓连接的构造和计算	42
3.6.1	高强度螺栓连接的性能和构造	42
3.6.2	高强度螺栓连接的计算	44
	习题	49
第4章	轴心受力构件	51
4.1	概述	51
4.1.1	应用和截面形式	51
4.1.2	设计要求	52
4.2	轴心受拉和轴心受压构件的强度和刚度	52
4.2.1	轴心受拉(压)构件的强度	52
4.2.2	轴心受拉(压)构件的刚度	52
4.3	实腹式轴心受压构件的整体稳定和局部稳定	54
4.3.1	轴心受压构件整体稳定的概念	54
4.3.2	实际轴心受压构件的整体稳定	55
4.3.3	轴心受压构件的局部稳定	58
4.3.4	实腹式轴心受压柱算例	60
4.4	格构式轴心受压构件	67
4.4.1	格构式轴心受压构件的组成	67
4.4.2	格构式轴心受压构件绕虚轴方向的整体稳定	67
4.5	柱头和柱脚	70
4.5.1	柱头的构造和计算	70
4.5.2	柱脚的构造和计算	72
	习题	78
第5章	梁	80
5.1	概述	80
5.1.1	梁的应用和截面形式	80
5.1.2	梁格	81

第 1 章 概 述

学习要点：钢结构的特点和应用；分项系数设计表达式中各项符号的含义。

1.1 钢结构的特点和应用

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是用钢板、热轧型钢组成的承重结构,和其他材料的结构相比,有如下特点。

(1) 材料的强度高,塑性和韧性好。强度高,构件的截面小,厚度薄(对受压等构件要进行稳定性计算,是钢结构设计中重要的内容);塑性好,结构在一般条件下不会因超载而突然断裂;韧性好,结构具有吸收较多能量的能力,抗震性能好。

(2) 材质均匀,接近各向同性,和力学计算的假定较符合。因而其计算结果和实际情况较符合,计算可靠。

(3) 制造简便,施工质量好,工期短。大量构件可在专业化的金属结构厂做成,精度高;可在工地或地面拼装,也便于改建、加固和拆迁。

(4) 密封性好。适用于制造高压容器、管道等。

(5) 质量轻。这是由于钢材的强密比较混凝土大得多,相对同等结构承受力的其他结构(如混凝土结构)具有更轻的质量。这对吊装运输是有利的,对抗震也有利。但对可变荷载的变动敏感,对荷载超额的不利影响大。

(6) 钢材的耐腐蚀性差。在使用期间需定期保养。近年来出现的耐候钢具有较好的抗腐性能,已逐步得到推广和应用。

(7) 耐热但不耐火。钢材长期经受 100°C 辐射热,其强度变化不大,具有一定的耐热性。但钢材不耐火,在 600°C 时已不能承重,所以必须有防火措施。

1.1.2 钢结构的应用

1. 跨度大、高度高、荷载重的结构

(1) 大跨结构。结构跨度越大,自重在全荷载中所占的比重就越高,所以钢结构自重轻、强度高的优点在大跨结构中得到了广泛应用。

(2) 重型厂房结构。这种厂房里吊车的起重重量大,作业繁重,并且荷载往往是动荷载,其承重结构应采用钢结构。

(3) 高层建筑物的骨架,也是钢结构的应用范围。

(4) 高耸结构。如电视塔,其高度很高,受风载及地震作用很大,也是钢结构的应用范围。

2. 密封性要求高的结构

如高压容器、储油罐、高压输水管等。

3. 需经常装拆和移动的结构

如塔式起重机、采油井架等。

4. 轻钢结构

因其具有轻便和施工快速的特点,也得到了广泛应用。

钢结构因其具有诸多优越性,将会得到更加广泛的应用。

1.2 钢结构的组成

1.2.1 钢结构所受荷载

大部分钢结构都是由一系列一维杆件组成的平面结构或空间结构,其所承受的荷载有竖向、横向、纵向三种。竖向荷载一般包括结构的自重、屋面荷载、吊车轮压等;横向荷载一般包括横向风载、吊车横向水平制动力等;纵向荷载一般包括山墙纵向风载、吊车纵向水平制动力等。

1.2.2 钢结构的组成

钢结构应用范围非常广泛。不同工程结构,为了更好地发挥钢材的性能,有效地承受外力,所采用的结构形式也不相同,所以钢结构的结构形式较多。如用于单层工业厂房的结构形式是由一系列平面承重结构用支撑构件连成空间结构;大跨结构众多,常用的有平板网架、网壳、悬索结构、索膜结构等;多高层结构为适用不同高度常用的有刚架结构,刚架和抗剪桁架、剪力墙组成的结构,框筒、筒中筒、束筒等筒体结构等。桥梁和塔桅结构形式众多。

钢结构作为重要以杆件体系组成的三维空间结构,主要由三种基本受力构件组成:第一种是轴心受力构件;第二种是受弯构件;第三种是拉弯或压弯构件。本书将对这三种基本构件作较详细的介绍。

1.3 钢结构的设计方法

和其他结构一样,钢结构的设计采用以概率论为基础的极限状态设计法,并采用分项系数设计表达式进行计算。

钢结构是在钢筋混凝土结构课以后开课。因为可靠度理论是一门专门的学科,本章对一次二阶矩近似概率设计法的理论不作介绍了。本节仅就这种方法的几层意思作简要说明。

1.3.1 承重结构的两种极限状态

1. 承载能力极限状态

承载能力极限状态是指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。这包含两种情况:

其一是指某一截面的应力超过材料强度、构件整体丧失稳定或在特定条件下出现低应力状态的脆性断裂；其二是结构或构件虽未出现破坏但产生了不适于继续承载的变形。承载能力极限状态绝大多数是不可逆的，一旦发生即导致结构失效。

2. 正常使用极限状态

正常使用极限状态是指结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定限值，例如出现影响正常使用的变形、振动或局部破坏等。正常使用极限状态中的变形、振动的限制通常是在弹性范围内，是可逆的。

思考题：

承载能力极限状态和正常使用极限状态对变形的限制有什么不同？

1.3.2 可靠度结构设计

按照概率极限状态设计法，结构的可靠度的定义是：结构在规定的时间内、规定的条件下，完成预定功能的概率。预定功能是指结构的安全性、适用性、耐久性，或统称为可靠性。完成预定功能，就是对规定的某种功能来说结构不失效。

结构的可靠度通常受荷载、材料性能、几何参数等具有随机性的因素的影响。可靠的结构设计是指失效概率小到可以接受的程度。

思考题：

1. 什么是可靠度？
2. 什么是可靠的结构设计？

1.3.3 分项系数设计表达式

1. 承载能力极限状态表达式

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

式中， $R = \frac{R_k}{\gamma_R}$ 为结构抗力的设计值，其中 R_k 是抗力的标准值，取自其概率分布的 0.05 下分位点， γ_R 是抗力分项系数； S_{Gk} 、 S_{Qk} 是恒荷载和可变荷载效应的标准值，取自其概率分布 0.05 上分位点。 $i=1$ 是最大的可变荷载效应； γ_G 、 γ_Q 分别是恒荷载分项系数、可变荷载分项系数； γ_0 为结构重要性系数，分为三级：一级 $\gamma_0=1.1$ ；工业民用建筑为二级， $\gamma_0=1$ ；三级 $\gamma_0=0.9$ ； ψ_{ci} 为第 i 个可变荷载的组合系数，其值 ≤ 1 。

对于一般排架、框架结构，可采用简化规则，当只有一个可变荷载时，式(1-1)变为

$$\gamma_0 (\gamma_G S_{Gk} + \gamma_Q S_{Qk}) \leq R \quad (1-1a)$$

当有多个可变荷载时，式(1-1)变为

$$\gamma_0 \left(\gamma_G S_{Gk} + 0.9 \sum_{i=1}^n \gamma_{Qi} S_{Qi} \right) \leq R \quad (1-1b)$$

2. 分项系数 γ 的取值

《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001)规定的目标可靠指标 β 值，是通过将原有《标准》作反演算，找出隐含在现有工程结构中的可靠指标 β 值。它从整体上继承了原有的可靠度水准。

一般钢结构(安全等级为二级)采用 $\beta=3.2$ ，相应的失效概率是 $P_f=6.87 \times 10^{-4}$ 。目标可靠指标 β 值和相应失效概率如表 1-1 所示。

表 1-1 目标可靠指标 β 值和相应失效概率

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
延性破坏	$3.7/1.08 \times 10^{-4}$	$3.2/6.87 \times 10^{-4}$	$2.7/3.47 \times 10^{-3}$
脆性破坏	$4.2/1.34 \times 10^{-5}$	$3.7/1.08 \times 10^{-4}$	$3.2/6.87 \times 10^{-4}$

分项系数 γ 的取值和可靠指标 β 值有关,为计算简便,恒荷载和可变荷载的分项系数都取定值。一般情况下,恒荷载的分项系数 $\gamma_G=1.2$,可变荷载的分项系数 $\gamma_Q=1.4$;在 S_{Gk} 和 S_{Qk} 异号的情况下, $\gamma_G=1.0$, $\gamma_Q=1.4$ 。确定构件的 γ_R 值的原则是与目标可靠指标 β 值的偏离最小。对 Q235 钢构件, $\gamma_R=1.087$;对 Q345, Q390, Q420 钢构件, $\gamma_R=1.111$ 。

3. 正常使用极限状态表达式

当验算变形是否超过规定限值时,不考虑荷载的分项系数,即用荷载的标准值计算。荷载效应的组合有短期组合(标准组合)和长期组合(准永久组合)。钢结构或构件只按短期组合,其表达式是

$$w = w_{Gk} + w_{Q,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{Qi} w_{Qi,k} \leq [w] \quad (1-2)$$

式中, w 为结构或构件的变形值; w_{Gk} 为恒荷载标准值在结构或构件中产生的变形值; $w_{Q,k}$ 为最大可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值; $w_{Qi,k}$ 为第 i 个可变荷载标准值在结构或构件中产生的变形值; ψ_{Qi} 为第 i 个可变荷载组合值系数,当有风荷载参与组合时取 0.6,无风荷载时取 1.0,一般框、排架,当有两个或两个以上荷载参与组合且有风荷载时取 0.85,其他情况取 1.0; $[w]$ 为规范规定的结构或构件的容许变形值。

当只有一个可变荷载时,

$$w = w_{Gk} + w_{Q,k} \leq [w] \quad (1-2a)$$

思考题:

承载力极限状态和正常使用极限状态在计算时有什么区别?

1.4 钢结构的发展

钢结构的发展体现在以下几个方面。

1. 采用新的高性能钢材

高性能钢材的重要特性是强度高,并具有优良的塑性和韧性。例如,1988 年发布的《钢结构设计规范》中,强度最高的钢材是 15MnV,相当于 Q390,2002 年新修订的规范增加了 Q420 级钢。从发展趋势看,还会有强度更高的结构用钢出现。

2. 掌握结构的真实极限状态

对结构承载能力的认识越清楚,钢材的利用就越合理,计算手段的改进将为此提供有利条件。

3. 开发新的结构形式

推广高强度钢索的应用,如大跨度的索膜结构和张拉整体结构,两种不同性能的材料取长补短协同工作的钢和混凝土组合结构,索和拱配合使用的杂交结构等。

4. 提高钢结构的制造技术和工艺水平

钢结构的制造也无例外地向机电一体化发展,制造安装质量也要跟上。

习 题

- 1.1 结构的承载能力极限状态包括哪些计算内容? 正常使用极限状态包括哪些计算内容?
- 1.2 可靠度指标和失效概率有什么关系?
- 1.3 钢结构主要由哪几种基本受力构件组成?
- 1.4 钢结构的特点有哪些?
- 1.5 分项系数设计表达式中各项符号的含义是什么?
- 1.6 结构抗力的标准值,取自其概率分布哪一个分位点作为其代表值? 其保证度是多少?

第 2 章 钢结构的材料

学习要点：衡量材料力学性能好坏的指标；使钢材变脆的因素；型钢符号的含义；选择钢材应考虑的因素。

2.1 钢结构用材的要求

1. 两种破坏现象

塑性破坏(延性破坏)的特征是当应力超过屈服点 f_y 后材料有明显塑性变形,当应力继续增大,断面出现颈缩,有持续的变形时间。

脆性破坏(非延性破坏)的特征是破坏前无征兆(变形很小),断口平直,破坏突然发生。

钢结构需用强度高且塑性性能好的材料制作,应当注意的是原来塑性表现极好的钢材也会因工作条件的改变而出现脆性破坏现象。

2. 钢结构对钢材的要求

(1) 较高的强度。即要求钢材的屈服强度 f_y 较高,这样可减少截面尺寸,减轻自重,节约钢材;要求抗拉强度 f_u 较高,可以增加安全储备。

(2) 足够的变形能力。即要求塑性好,可降低脆性破坏的危险;韧性好,在动荷载作用下吸收较多的能量,降低脆性破坏的危险。

(3) 良好的加工性。包含良好的冷、热加工和可焊性,不会因加工给强度、塑性、韧性带来有害影响。

钢结构规范推荐采用普通碳素钢 Q235,低合金钢 Q345, Q390 及 Q420,规范中未推荐的钢慎用。

2.2 钢材的力学性能

2.2.1 单向拉伸时的性能

钢材在常温、静载条件下一一次单向均匀拉伸在拉力试验机上进行,由试验读数绘制出图 2-1(a)所示的应力-应变(σ - ϵ)曲线。曲线中的直线段 Oa 的终点 a 以下的应力 σ 和应变 ϵ 成比例,符合胡克定律, a 点的应力记为 f_p ,称为比例极限。 a 点以上附近还有一点称为弹性极限,试验时不易求得,总之 a 点以上曲线开始偏离直线。到达 b 点时,荷载不增加,变形持续增大,发生塑性流动。到达 c 点,曲线接近一水平直线。 b 点的应力记为 f_y ,称为屈服强度。 c 点以后,随着应力 σ 增加,应变 ϵ 继续增大,但其斜率逐渐减小,到达 d 点时,试件发生颈缩现象,如图 2-2(b)所示, σ - ϵ 曲线开始下降,到 e 点试件被拉断。 d 点的应力记为 f_u ,称为抗拉强度。

图 2-1(b) 是屈服点附近的放大图。过了屈服点 b 后, $\sigma-\epsilon$ 曲线发生抖动, 抖动区的最高点称为上屈服点, 最低点称为下屈服点, 上屈服点不太稳定, 下屈服点比较稳定, 能反映材料的性能, 通常下屈服点的应力记为屈服强度 f_y 。

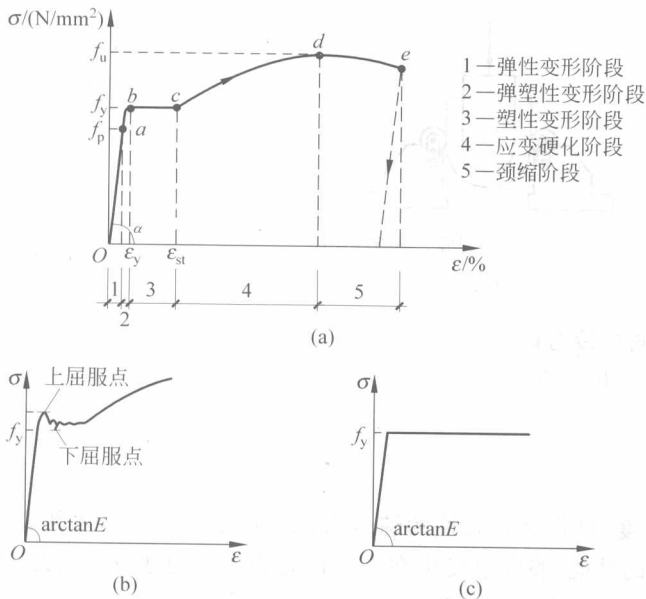


图 2-1 钢材拉伸试验所得 $\sigma-\epsilon$ 曲线(未按比例画出)

- (a) 钢材 $\sigma-\epsilon$ 曲线; (b) 屈服点附近 $\sigma-\epsilon$ 曲线放大图;
(c) 理想弹塑性体的 $\sigma-\epsilon$ 曲线

一次单向拉伸试验较易进行, 且便于规定标准的试验方法来确定钢材的性能指标, 由一次单向均匀拉伸的应力-应变规律示出的力学性能指标如下:

(1) 屈服强度 f_y 。 f_y 的应变 ($\epsilon=0.15\%$) 和比例极限 f_p 的应变 ($\epsilon=0.1\%$) 很接近, 在弹性计算时常以纤维应力达到 f_y 作为弹性设计的强度标准, 或材料抗力的标准。

(2) 抗拉强度 f_u 。出现屈服平台之后, 材料应变硬化曲线的最高点的应力为 f_u , 之后出现颈缩断裂。以 f_u 作为强度储备, 规范规定钢材的强屈比 $f_u/f_y \geq 1.2$ 。

(3) 弹性模量 E 。 E 是弹性阶段应力-应变之比, 即直线 Oa 的倾角的正切值, $E = \tan \alpha$ 。计算时不论钢种, 都取 $E = 2.06 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 。

(4) 伸长率 δ 。

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2-1)$$

它是表征材料塑性性能的一个指标, 是断裂前试件的永久变形和原标定长度的百分比。取圆形试件直径 d 的 5 倍或 10 倍为标定长度, 相应的伸长率记为 δ_5, δ_{10} 。

(5) 理想弹塑性模型(图 2-1(c))在屈服点 f_y 之前材料为弹性其弹性模量为 E , f_y 之后为塑性, 其弹性模量 $E=0$ 。后面的计算都以此模型为依据。

2.2.2 冷弯性能

冷弯试验是将厚度为 a 的试件放在图 2-3(a) 所示的支座上, 在压力机上进行。根据试件厚度, 按规定的弯心直径 d 将试件弯曲 180° (图 2-3(b)), 表面及侧面无裂纹或分层为合格。它是衡量材料塑性变形能力的指标, 也是