

建筑结构教学丛书

钢 结 构

(按新规范)

GANGJIEGOU

黎 钟 高云虹 编



高等教育出版社

建筑结构教学丛书

钢 结 构

(按新规范)

黎 钟 高云虹 编

高等教育出版社

内 容 简 介

建筑结构教学丛书是分别根据建筑设计新规范(已出版)有关内容编写的,共四本,包括《建筑地基基础》、《混凝土结构与砌体结构》、《钢结构》和《建筑抗震设计》。

本书《钢结构》为丛书之一,是参照已出版的中华人民共和国国家标准《钢结构设计规范》(GBJ17-88)编写的。全书共分九章,计有:绪论,钢材,以概率为基础的极限状态设计法,连接,轴心受压构件,受弯构件,拉弯与压弯构件,单层厂房钢屋盖,21m 芬克式三角形钢屋架设计举例。对于基本构件的计算公式,考虑到教学需要,在工程力学知识和《规范》规定的基础上,作了一般性的推导介绍。各章在阐述基本设计方法中插入了一些例题,还列有焊接工字形钢板组合梁、工字形截面简支吊车梁和三角形钢屋架设计三个较完整的算例,供教学和阅读参考。

本书适合作为工科土建类各专业教材,也可作为工程设计、施工技术人员学习新规范参考。

建筑结构教学丛书

钢 结 构

(按新规范)

黎 钟 高云虹 编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店北京科技发行所发行

北京印刷二厂印装

*

开本 787×1092 1/16 印张 19.25 插页 1 字数 440 000

1990 年11月第 1 版 1990 年11月第 1 次印刷

印数 0001—10 700

ISBN7-04-002969-3/TB·165

定价 4.30 元

0225/31
09

前 言

1988年10月19日我国建设部颁布了新批准的《钢结构设计规范》(GBJ17-88)作为国家标准,并规定1989年7月1日起施行,原《钢结构设计规范》(TJ 17-74)于1991年1月废止。

本书是高等教育出版社出版的“建筑结构教学丛书”中的一种,适合作工科土建类各专业钢结构课程的教学用书,也可供有关工程设计、施工技术人员学习新规范参考。书中内容符合《钢结构设计规范》(GBJ17-88)的规定,并着重介绍普通钢结构设计基本概念、基本构件设计计算,以及单层厂房钢屋盖设计三个方面。对于基本构件的计算公式,考虑到教学的需要,在工程力学知识和规范规定的基础上,作了一般性的推导介绍。根据工科土建类专业的教学要求及一般工程技术人员需要,除在阐述基本设计方法中插入一些例题外,还列有焊接工字形钢板组合梁、工字形截面简支吊车梁,以及三角形钢屋架的屋盖设计三个比较完整的计算例题。三个例题都是集中阐述的。这样处理可能便于设计计算参考,在教学时也可分别插入各节中讲解。在各种构件计算公式阐述之后,都概括地列出了它的设计步骤和设计公式,其目的一方面是介绍设计方法,另一方面是作为所学公式的应用总结。

本书编写过程中除参考了《规范》及其有关资料外,还参考了已出版的钢结构教材,并得到有关方面和所在单位的协助和支持。编写时高云虹同志参加了部分计算例题、屋架计算例题的编写工作和屋架施工图的绘制工作。初稿完成后,承蒙西安冶金建筑学院郭在田教授审阅,提出了很多宝贵的意见,并作了一些修改,编者在此表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,错误和不妥之处望读者提出,以便改正,至为感谢。

编 者

1990年2月

目 录

第一章 绪论1	
第一节 房屋钢结构及其特点.....1	
第二节 钢结构设计.....3	
第三节 钢结构的发展.....4	
第二章 钢材6	
第一节 建筑结构用钢材.....6	
第二节 基本性能.....6	
第三节 三向应力作用下的性能.....9	
第四节 其它因素对钢材性能的影响.....10	
第五节 疲劳、防火与防腐蚀.....13	
第六节 钢材品种及选用.....17	
第三章 以概率为基础的极限状态设计法22	
第一节 极限状态设计概念.....22	
第二节 二阶矩概率极限状态设计.....23	
第四章 连接30	
第一节 连接的基本概念.....30	
第二节 焊接的基本特点.....31	
第三节 对接焊缝设计与计算.....37	
第四节 角焊缝的设计与计算.....40	
第五节 螺栓连接的基本要求.....52	
第六节 普通螺栓的受力与计算.....55	
第七节 高强度螺栓连接.....68	
第五章 轴心受力构件79	
第一节 轴心受拉构件.....79	
第二节 轴心受压构件基本特性.....82	
第三节 轴心受压构件的整体稳定计算.....84	
第四节 实腹式受压构件的局部稳定.....94	
第五节 工字形截面柱身设计.....98	
第六节 轴心受压格构柱.....101	
第七节 轴心受压格构柱截面设计.....108	
第八节 轴心受压柱的柱头和柱脚.....112	
第六章 受弯构件121	
第一节 梁的型式及应用.....121	
第二节 梁的弯曲应力及其抗弯承载能力.....122	

第三节 梁的整体稳定.....127	
第四节 梁的刚度验算.....136	
第五节 型钢梁的设计.....138	
第六节 双向弯曲型钢梁的设计.....140	
第七节 梁的局部稳定.....144	
第八节 直接确定腹板加劲肋的局部稳定计算.....151	
第九节 工字形截面焊接组合梁的设计.....154	
第十节 焊接实腹式吊车梁.....174	
第十一节 梁的连接.....183	
第七章 拉弯与压弯构件188	
第一节 一般性能.....188	
第二节 强度计算.....190	
第三节 实腹式压弯构件的整体稳定.....192	
第四节 压弯杆件的局部稳定.....197	
第五节 实腹式压弯构件的截面设计.....201	
第六节 格构式压弯构件的计算.....202	
第七节 框架柱的计算长度.....207	
第八节 刚接柱脚.....210	
第八章 单层厂房钢屋盖218	
第一节 单层厂房结构的组成与布置.....218	
第二节 钢屋盖系统.....224	
第三节 屋架的形式及尺寸.....230	
第四节 屋架的荷载和内力的计算.....233	
第五节 屋架杆件的计算长度和容许长细比.....235	
第六节 屋架杆件的截面设计.....237	
第七节 屋架节点的设计.....242	
第八节 钢屋架施工图.....251	
第九章 21m 芬克式三角形钢屋架设计举例253	
第一节 设计资料及支撑布置.....253	
第二节 檩条设计.....254	
第三节 屋架设计.....255	
附录 I. 钢材的性能及焊条型号271	

附录II. 热轧普通型钢规格	275	附录V. 柱的计算长度系数	293
附录III. 组合截面的几何特性	282	附录VI. 疲劳计算的构件和连接分类	295
附录IV. 轴心受压构件的稳定系数	289	附录VII. 螺栓截面及锚栓规格	298

第一章 绪 论

第一节 房屋钢结构及其特点

钢结构可用于房屋、桥梁、设备、塔架等,本书只讨论房屋钢结构的设计。采用钢材制作受力构架,用以承受房屋荷载的结构,通常称为房屋钢结构。

房屋钢结构大致有下列几类:

(1) 单层框架式结构,可由屋架和格构式支柱组成(图 1.1a);也可完全采用实腹式构件组成门式刚架(1.1b)。

(2) 大跨度钢结构,包括网架结构、悬索结构等(图 1.1c, d)。

(3) 多层或高层框架结构(图 1.1e, f)。

这些钢结构形式可分别用于厂房、仓库、车站、礼堂、体育馆、剧院、旅馆、办公楼等。本书着重介绍我国应用较多的单层厂房框架的设计,也涉及多层框架的设计问题。

房屋钢结构有以下特点:

(1) 材料强度高。钢材与其它材料相比强度高很多,强度与密度比也大,同样截面的钢材比其它材料能承受较大的荷载,跨越的跨度也大,从而可减轻构件重量。

(2) 材质均匀。材料内部组织接近匀质和各向同性,受力特性与工程力学假定比较吻合,结构计算与实际符合较好。

(3) 材料塑性和韧性好。结构不易因超载而突然断裂,对动荷结构适应性强。

(4) 便于工厂化生产,机械化施工。构件都采用钢板和型材等连接组成,可以采用方便的焊接或螺栓连接,能在工厂成批生产后运到现场安装;精确度高,施工周期短,便于拆卸和加固。

(5) 耐热不耐火。结构表面温度达 150°C 以上时,便需加隔热层作防护措施。

(6) 耐腐蚀性差。容易锈蚀,要定期检查、涂油漆等进行防腐蚀处理。

(7) 材料具有冷脆性。钢材在低温下工作,可能出现脆性断裂。钢材强度高,构件截面小,这是有利的一面,但细长构件容易出现失稳现象。由于钢结构材料重量轻,容易做成轻柔的结构,对下层结构及抗震有利,但又带来对超载的敏感,容易在风吸力作用下产生反向荷载。以上内容将在后面详细叙述。

我国解放后钢结构得到较大的发展。50年代开始即大量用钢结构来建造厂房,如鞍山钢铁厂、武汉钢铁厂、富拉尔基重型机械厂、太原重型机械厂、长春汽车制造厂、洛阳拖拉机制造厂以及后来的宝山钢铁厂等厂房。60年代开始,钢结构又大量用来兴建体育馆,如北京工人体育馆的悬索结构、首都体育馆的网架结构、吉林冰球馆的悬索结构等。近年来在北京、上海、深圳等地接

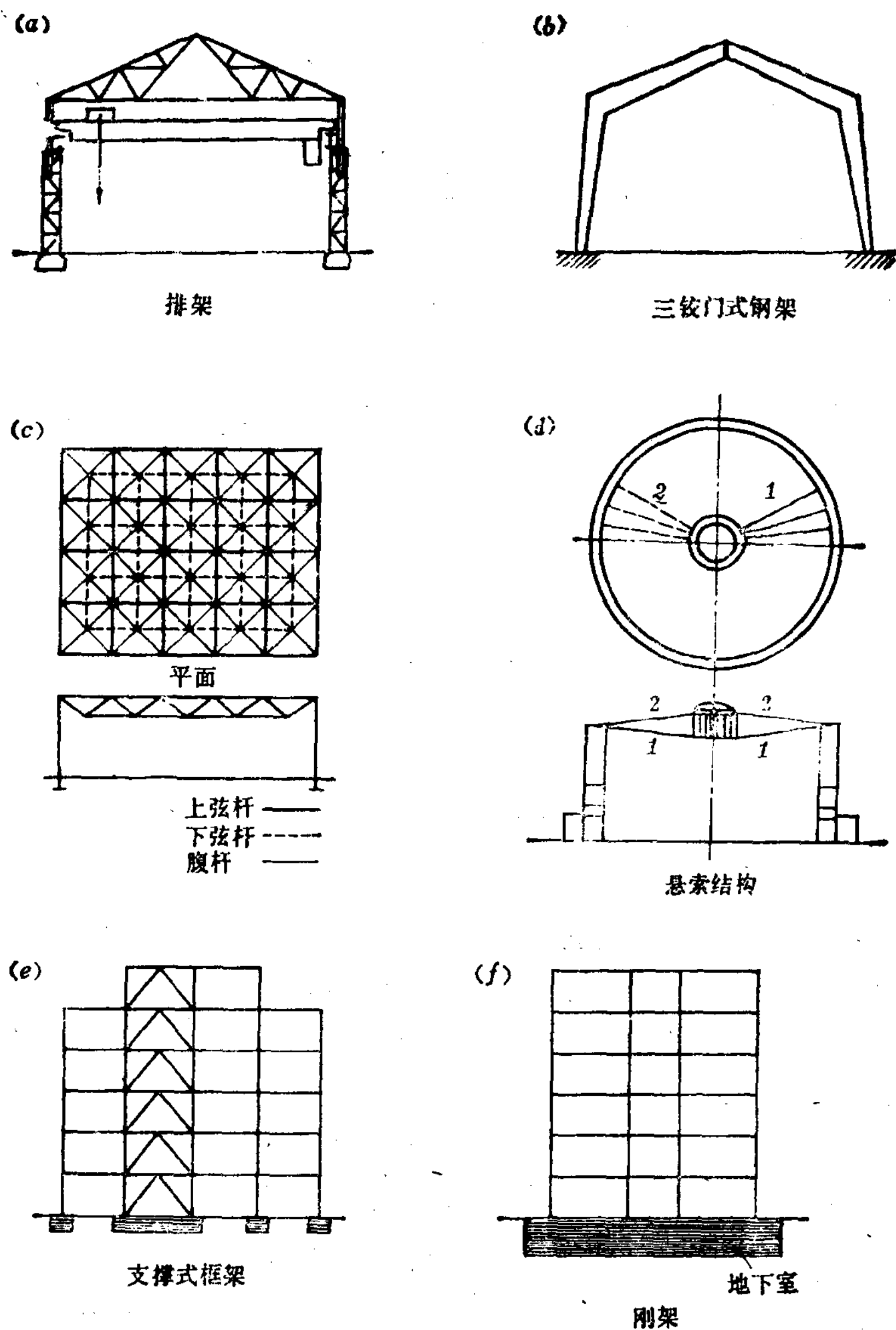


图 1-1 钢结构的型式(图 d 中 1—承重索; 2—稳定索; 中圈为钢内环)

连建造了十余幢高层钢结构房屋, 如 153.98m 高的深圳发展中心大厦, 208m 高的北京京广大厦等。钢结构的应用得到了不断的发展。

由于我国钢产量有限, 价格较贵, 房屋结构方案的选定, 除考虑钢结构的特点外, 还要注意节约钢材, 合理使用钢结构。根据目前我国情况, 在房屋中采用钢结构的大致范围有: (1) 重型工业厂房, 如冶金、重型机械厂房等; (2) 大跨度房屋, 如体育馆、飞机库、剧院、大型仓库、车站等; (3) 有动力荷载的房屋, 如具有较大锻锤或其它动力设备的厂房等; (4) 三、四十层以上的高层建筑; (5) 农村暖房等适合采用轻钢结构的房屋和临时设施, 需要移动、拆卸或在边远地区建造的活动

房屋等。

第二节 钢结构设计

结构设计的目的是要得到一个既满足使用要求,又安全、经济的结构。

结构设计首先是根据建筑设计的要求,考虑结构本身的特点,对制定的各个结构方案进行分析比较,并进行初步设计,以便用来决定最后的结构设计方案。这个过程有时也称为“概念设计”。

结构设计包括以下内容:

(1) 结构整体方案的比较,包括材料的选择,结构型式的确定,构件制作、安装、运输等条件的分析比较。

(2) 根据建筑的要求及整体方案的构成,计算确定整体结构及其各部分构件的荷载。

(3) 对方案中所包括的各构件系统进行分析,以决定其危险截面的轴向力、剪力和弯矩。

(4) 应用第(3)步得到的设计数据进行各种构件截面及连接的设计。

(5) 根据上述各点反复进行比较,作出结构整体和各构件系统的设计方案,据以制作结构施工详图。

钢结构是由各种构件组成的。钢结构方案中的各构件体系如框架及排架结构等可分为以下各种构件:

(1) 梁——承受引起弯矩及剪力的横向荷载的构件。

(2) 拉杆(系杆)——承受轴心拉力的构件。

(3) 柱、压杆、撑杆——承受轴心压力的构件;这些构件也常常既受压又受弯,成为压弯构件。

(4) 桁架、屋架——承受横向荷载的格构式构件。它是压杆与拉杆的组合体。

(5) 檩条——梁式构件的一种,用以支承屋面构造的构件。

(6) 墙架梁——支承外墙板的一种梁式构件。

(7) 支撑体系——由对角交叉的压杆及拉杆,与屋架及柱相连接组成的一种竖向的和水平的桁架,用以传递风荷载,保证结构的稳定和增加结构的刚度。

节点是将构件连接在一起的构造措施,也是传力的部位,如桁架的节点,主梁与次梁的节点等。柱脚的作用是将柱承受的房屋荷载传至基础。

图 1-2 表示一单层厂房及多层房屋结构的构件及节点。本书将按构件分别介绍。

结构分析必须以结构的基本理论与设计原理为基础,并符合规范规定的准则和限制,以达到安全经济的设计。一个有经验的钢结构设计工程师必须充分了解材料的性能、结构的制作方法、施工安装的条件等,这是很重要的。

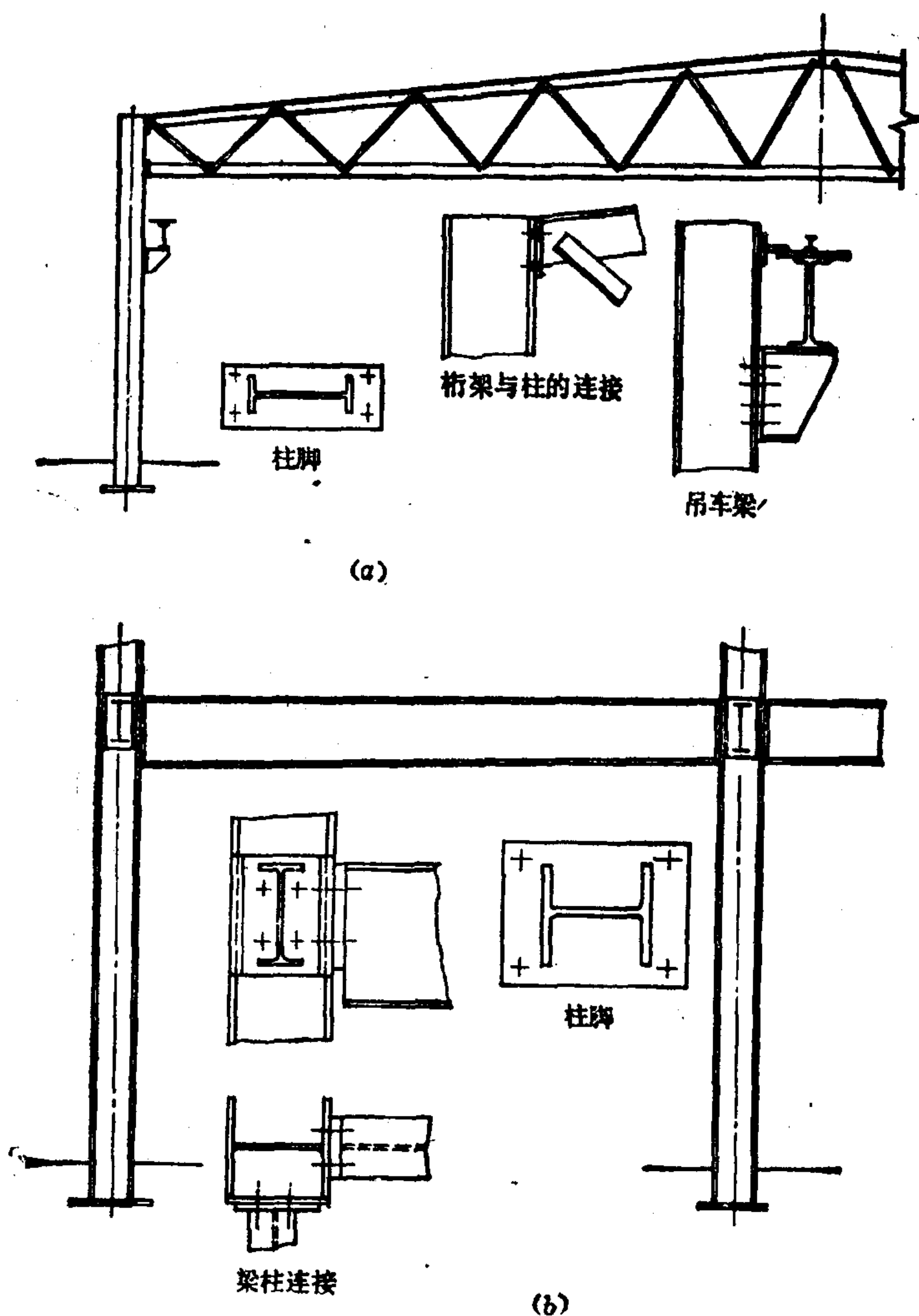


图 1-2 单层厂房及多层房屋的结构与节点。
(a) 单层厂房; (b) 多层房屋

第三节 钢结构的发展

从上面可知,无论是大跨度房屋的钢结构或是高层房屋的钢结构在我国都已得到一定的发展。1989年7月1日,我国开始施行的《钢结构设计规范》(GBJ 17-88)(以下简称规范),采用了概率极限状态设计方法,准确地说是将二阶矩法等效地转化为分项系数的概率极限状态设计法,这是将钢结构按概率设计向前发展了一步。但无论在工程实践和理论研究上我国的钢结构仍有待进一步发展和完善。例如

(1) 高效钢材和型材的发展。我国目前规范推荐使用的屈服强度最高的结构钢材为 15 锰

钒钢,它的屈服强度为 390N/mm^2 ,而国外已达 $700\sim 750\text{N/mm}^2$;我国常用型钢只有工字钢、槽钢、角钢等,对H型钢(宽翼缘工字钢)、T型钢等,则仍有待开发;压型钢板、薄壁型钢,在国外已大量应用,而我国虽有少量的生产及应用,但远远不能满足需要。

(2) 可靠度、稳定理论、断裂理论的研究。目前我国以概率理论为基础的极限状态设计中很多数据的研究分析及理论阐述尚需进一步发展完善;体系的可靠度、疲劳计算的极限状态等问题还没有解决。对于板件屈曲后的强度,压弯构件的弯扭屈曲,空间结构的稳定问题,钢材的断裂理论问题,等等,都是今后要发展的理论研究课题。

(3) 组合结构、预应力结构、高层结构、钢管结构等的研究和发展。规范只对钢管结构及组合梁规定了一般的设计原则,很多设计问题还须逐步提高,以适应推广使用的要求。高层钢结构、预应力钢结构的经验,还有待总结。

(4) 计算机辅助设计的开发。国外采用计算机进行计算在设计工作中越来越占主要地位。所有概略的比较和计算都已用小型计算机进行。计算机的应用加速了计算速度,可以对不同截面进行验算,比用手册计算更能广泛合理地选择截面。

目前,我国迫切需要按最新的结构规范,加速编制各种常用构件的计算程序,并考虑采用计算机绘制结构施工图的问题。

思考题

1. 钢结构的特点、应用范围、钢结构发展趋势与钢结构的设计有何关系?
2. 从钢材受力特性出发谈一谈钢结构计算的特点和两者之间的关系。

第二章 钢 材

第一节 建筑结构用钢材

建筑结构用钢材需要具有高强度,较好的塑性、韧性,足够的变形能力,以及适应冷热加工和焊接的性能。根据目前我国钢材的生产条件及资源情况,钢结构规范建议,钢结构钢材宜采用平炉或氧气转炉 3 号钢(沸腾钢或镇静钢)、16Mn 钢、16Mnq 钢、15MnV 钢、15MnVq 钢。其中除 3 号钢属普通碳素钢外,其它均属低合金钢。它们的质量应分别符合现行标准《普通碳素结构钢技术条件》(GB700-79)、《低合金结构钢技术条件》(GB1591-79)和《桥梁用碳素钢及普通低合金钢板技术条件》(YB168-70)的规定。结构用钢一般加工成工字钢、角钢、槽钢、钢板,以及其它冷弯型材。

第二节 基本性能

一、钢材的组成

结构钢材成分中约 99% 是铁,其余约 1% 是碳(C)、硅(Si)、锰(Mn)等元素,以及少量的磷(P)、硫(S)、氮(N)、氧(O)等杂质元素。15MnV 及 15MnVq 钢还加入了少量的钒(V, 约占 0.04~0.12%)。钢材中碳含量显著地影响钢材的强度,含碳高强度就高,但塑性和韧性都随之降低,而且影响可焊性。焊接结构的含碳量一般控制在 0.2% 以下。锰、硅都是炼钢时作为脱氧剂加入的,都能在一定程度上提高钢材强度。锰还能消除热脆,但会使可焊性降低;硅虽不会对钢材的塑性、韧性、冷弯性能有显著影响,但过量也会降低可焊性和抗锈蚀性。加钒的目的也是增加强度和抗锈蚀性。此外,磷、硫、氧、氮基本上属于有害元素,是炼钢时残余的杂质。硫容易使钢热脆断裂,磷则使钢冷脆。氧的影响与硫相似,氮则与磷相似,但磷的含量控制得好,也可提高强度和抗锈蚀性。

二、基本力学性能

结构用钢材除特殊工程外主要应重视它的力学性能(机械性能)。结构钢主要力学性能包括:强度(屈服强度 f_y 、抗拉极限强度 f_u),伸长率 δ ,冷弯性能和冲击韧性 α_k 。

1. 屈服强度和抗拉极限强度

钢材一次拉伸的应力-应变图是确定钢材强度指标和钢结构设计方法的依据。它的特征对荷载作用下钢材的性能最具代表性。图 2-1a 是低碳钢及低合金钢的应力-应变图;图 2-1b 是典型的低碳钢的应力-应变图。图中范围①几乎是直线,就是完全弹性阶段。超出弹性极限后的曲

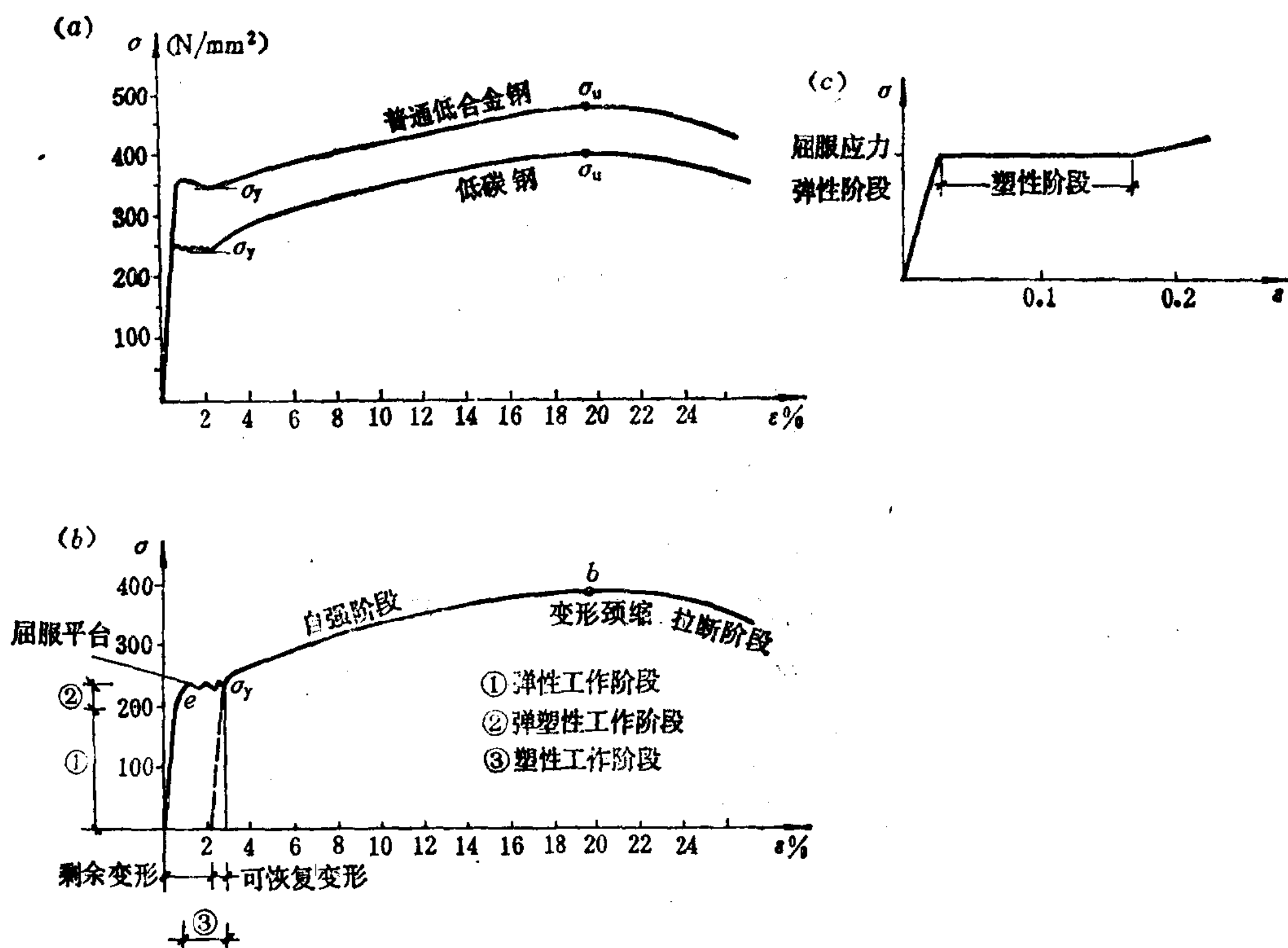


图 2-1 钢材的应力-应变曲线

(a) 低碳钢及低合金钢一次拉伸应力-应变图; (b) 典型的低碳钢应力-应变图; (c) 钢材的简化应力-应变曲线

线范围②为弹塑性工作阶段, 卸载后将产生残余变形。范围③呈现一个很小的台阶, 常称屈服平台, 说明荷载不增加, 变形仍在发展, 这种现象称为屈服。屈服平台实际上是一条上下波动的曲线, 一般取其最低值对应的荷载为屈服荷载 P_y , 对应的应力为屈服应力 σ_y (也就是所定的屈服强度 f_y)。通过平台后由于应变硬化, 强度有所增长。到达最高点 b 就达到抗拉极限应力 σ_u (就是所定的抗拉极限强度 f_u), 试件开始有较大的横向收缩变形, 称为颈缩, 随后即断裂。

由图 2-1b 可见在屈服应力以下, 曲线近于直线, 屈服平台处有相当大的塑性变形发生, 因此, 在钢结构设计中, 常取用如图 2.1c 所示的理想弹塑性应力-应变图形。即在屈服应力以下视为理想弹性, 屈服后视为理想塑性。按弹性阶段设计就是保持钢材的应力-应变不超过它的弹性范围。计算以屈服强度为准则。按塑性设计则以屈服平台为依据, 它不计硬化提高的强度, 利用屈服平台塑性变形的发展, 使截面最终全部或部分达到屈服应力。所以, 屈服应力不但是弹性计算的强度准则, 而且因有明显的塑性变形, 故取为计算构件的强度标准。试件达到抗拉极限强度时即开始颈缩, 很快便断裂。由屈服强度到抗拉极限强度 (即 f_u/f_y) 是一个强度储备, 故抗拉强度 f_u 也是一个重要的强度指标。理想化的应力-应变图可以反映出两个设计阶段的范围。

2. 伸长率 δ

从应力-应变曲线还可以看出, 达到屈服时的应变 $\epsilon = 0.15\%$; 屈服后应变的范围 (屈服平台)

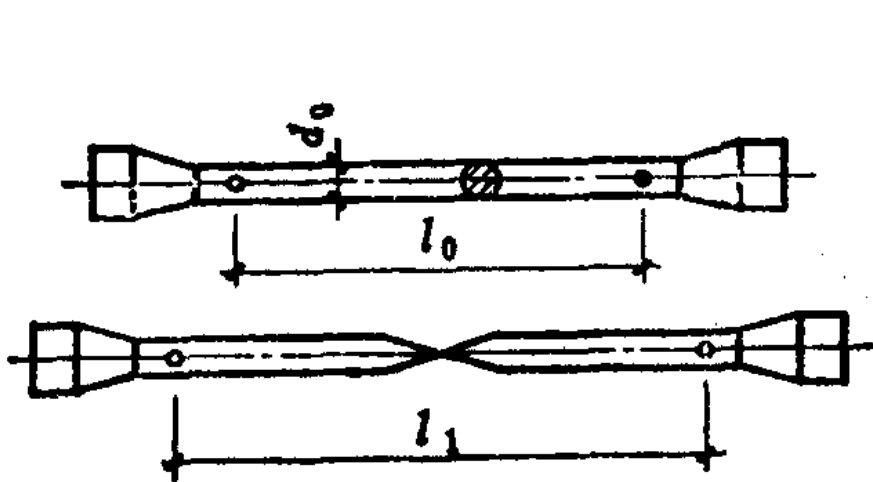


图 2-2 静力拉伸试验的试件

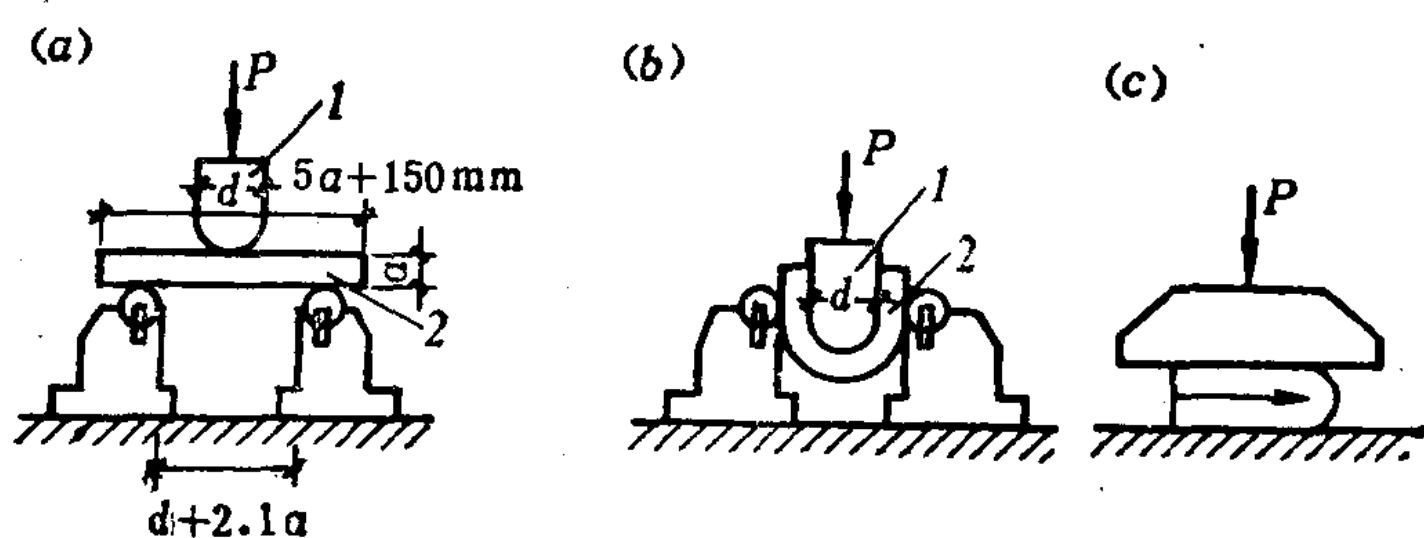


图 2-3 冷弯试验

(a) 试验前; (b) 弯心直径为 \$d\$ 时 \$180^\circ\$ 的冷弯试验; (c) 弯心直径为零时的冷弯试验; 1—冲头, 当试件为 3 号钢时直径 \$d=1.5a\$, \$a\$ 为试件厚度; 2—试件

为 \$0.15\% \sim 2.5\%\$, 而到破坏时它的变形可达 \$20\% \sim 22\%\$ 以上, 相差是很大的, 说明它的塑性变形能力很强。材料在破坏前具有很大的塑性变形对房屋安全很有利。钢材这种塑性变形指标, 常以伸长率 \$\delta\$ 表示。它不但表示塑性变形能力, 还反映材料经受冷加工的能力和说明内部有无缺陷。采用标距长度 \$l_0\$ 与直径之比为 10 及 5 的两种试件分别进行拉伸试验, 以断裂后标距的伸长(残余变形)与原标距之比的百分数来表示 \$\delta\$, 共有两种指标 \$\delta_{10}\$ 和 \$\delta_5\$:

$$\delta_5, \delta_{10} = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (2-1)$$

式中: \$l_0\$ ——试件原标距长度;

\$l_1\$ ——试件拉断后标距的长度。

3. 冷弯性能

这是反映常温加工的塑性变形能力, 判别内部缺陷程度及可焊性的综合指标。试验方法如图 2-3 所示, 用一定弯心直径的冲头将试件加压至需要冷弯的角度(一般取 \$\alpha=180^\circ\$), 其表面及厚度方向两侧无裂缝出现为合格。

4. 冲击韧性

这是钢材断裂时吸收机械能量的量度, 是强度与塑性的综合指标。理论上, 韧性是应力-应变曲线与横坐标围成的面积, 面积越大, 韧性值越大。我国惯用冲击韧性来反映韧性的好坏, 它的试验方法和试样如图 2-4 所示。利用摆锤冲击, 试样有 U 形缺口, 冲击值 \$\alpha_k\$ 为

$$\alpha_k = \frac{P(h_1 - h_2)}{A} \quad (\text{J/cm}^2) \quad (2-2)$$

式中: \$P\$ ——摆锤重(N);

\$A\$ ——试样缺槽处的截面积。

在试样中开缺口, 是因为实际构件总是在缺口处应力值达到高峰, 并在该处发生断裂, 所以缺口处的冲击韧性具有代表性。根据钢材所处温度和时间效应, 冲击韧性可分为: 常温冲击韧性(在 \$20^\circ\text{C}\$ 中测试); 负温冲击韧性(分别在 \$-20^\circ\text{C}\$、\$-40^\circ\text{C}\$ 或 \$-60^\circ\text{C}\$ 中测试); 时效冲击韧性, 即试样经自然时效和人工时效的测试。

结构钢各种力学指标见第一节所述标准中的规定。其中常用的指标有: 3 号钢屈服强度

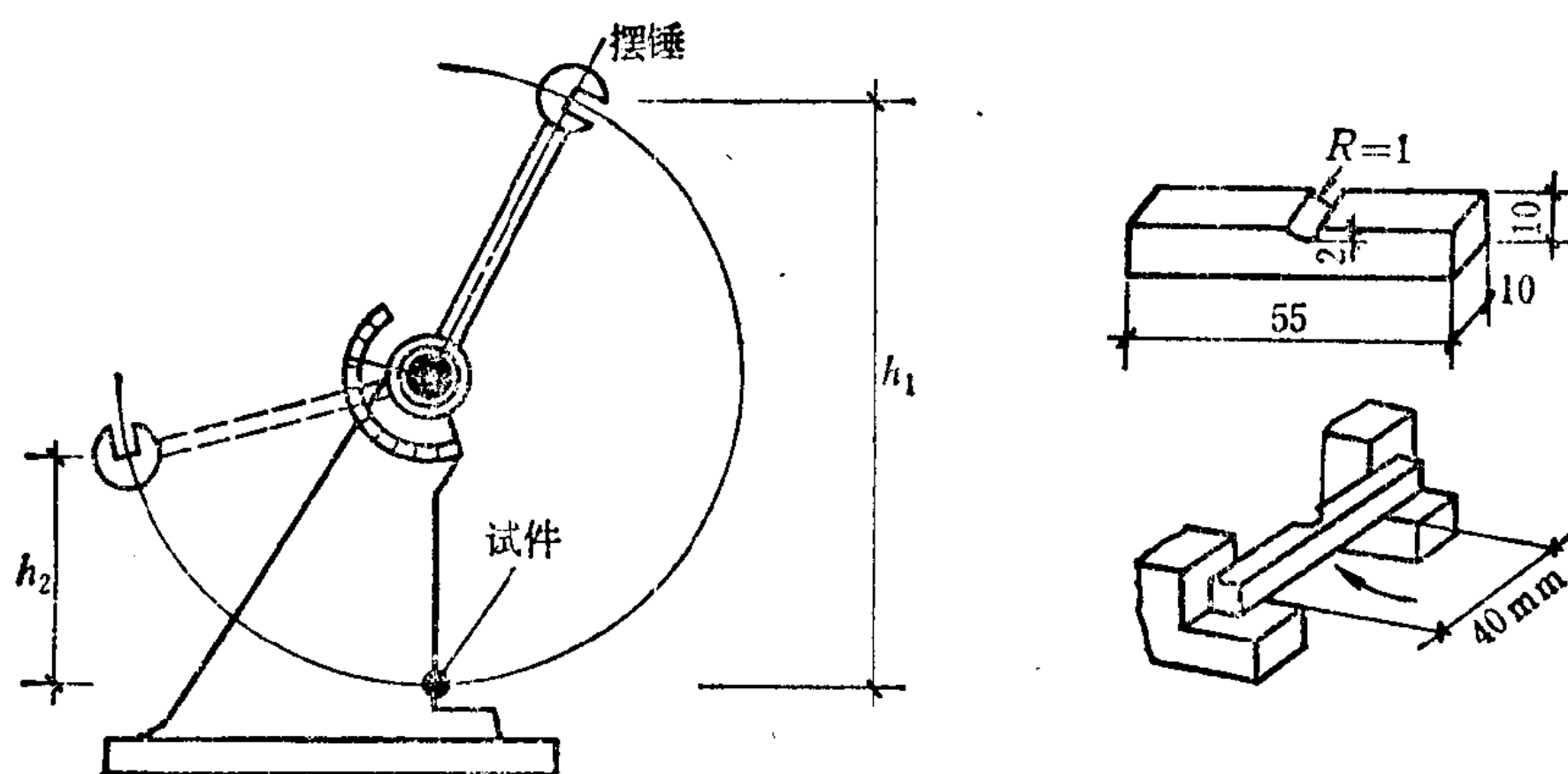


图 2-4 冲击试验及试样

235N/mm²(第一组); 16Mn钢屈服强度355N/mm²(第一组); 15Mn钢屈服强度410N/mm²(厚度及直径<5mm时)。表示钢材弹性性能的弹性模量 $E=206 \times 10^3 \text{N/mm}^2$; 剪切弹性模量 $G=79 \times 10^3 \text{N/mm}^2$; 线膨胀系数 $\alpha=12 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$; 质量密度 $\rho=7850 \text{kg/m}^3$ 。

第三节 三向应力作用下的性能

在单向应力作用下应力达到屈服点时, 钢材便进入塑性状态。但实际构件中往往有两向或三向应力都较大的情况, 例如在连续梁中间支座截面处、工字梁截面腹板与翼缘的连接处, 就不能按单向应力考虑。这时, 钢材由弹性状态转入塑性状态的条件是按能量强度理论计算的折算应力与单向应力下的屈服点相比而得到的:

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 - (\sigma_x\sigma_y + \sigma_y\sigma_z + \sigma_z\sigma_x) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (2-3)$$

当 $\sigma_{\text{red}} < f_y$ 时为弹性状态; 当 $\sigma_{\text{red}} \geq f_y$ 时为塑性状态。当为平面应力状态时(例如有一向应力很小),

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \quad (2-4)$$

在实腹梁的腹板中, 一般 $\sigma_y=0$, 只有正应力 σ 和剪应力 τ , 则上式变为

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (2-5)$$

在纯剪切时, 则

$$\sigma_{\text{red}} = \sqrt{3\tau^2} = \sqrt{3}\tau = f_y \quad (2-6)$$

$$\tau = f_y / \sqrt{3} \approx 0.58f_y \quad (2-7)$$

即剪应力达到屈服点的 0.58 时钢材即进入塑性状态, 所以钢结构规范规定钢材抗剪强度设计值为抗拉强度设计值 f 的 0.58 倍,

$$f_v = 0.58f \quad (2-8)$$

若钢材处于三向均匀受拉状态, 将使塑性变形受到限制, 钢材变脆, 会产生脆性破坏。

第四节 其它因素对钢材性能的影响

实际影响钢材性能的因素很多,下面摘其主要几方面进行介绍。

一、冶金与轧制过程

上述钢材的成分及力学性能为冶金过程中设计所控制,但不可避免有:结晶后化学成分分布不均的偏析,非金属夹杂、气泡、裂纹等缺陷。冶金过程本身又有炉种、脱氧程度等的差异。例如,结构钢常用的转炉熔炼中,顶吹转炉质量就较侧吹的理想,《规范》已不推荐采用侧吹转炉钢作为结构钢。浇注中投入较强的脱氧剂,如硅、锰或铝等时,脱氧(包括氮、一氧化碳)就彻底,注锭时液面已较平静,这种钢称为镇静钢,其质量较好;只投入较弱的脱氧剂(如锰)时,脱氧就不彻底,浇注过程中还不断有气体逸出,形成一种沸腾现象,这种钢称沸腾钢,沸腾钢钢锭内的杂质较镇静钢为多。也有所谓半镇静钢的,其质量介于二者之间。此外,辊轧次数多,钢材中裂纹、气泡等就减少,质量就好,所以钢材的力学性能是按轧制厚度分类规定的。

二、材料几何形状的突变与应力集中

在截面形状改变处,如孔眼、切口、加粗部分等;其最边缘部分的最大应力 $\sigma_{\max}$ 可以达到这一截面上净截平均应力 σ_0 的好几倍, $\sigma_{\max}/\sigma_0=K$ 称为应力集中系数。这种在较小区域里应力突然增高的现象称为应力集中(图 2-5)。

从有开孔或缺口试件中的应力迹线看出,应力线的弯曲在一个方向使材料伸长,在另一个方向上就会使材料缩短。由于应力的急剧改变且不均匀,伸长缩短互相约束可能形成双向应力甚至三向应力,从而引起钢材变脆,受到动力荷载时容易形成裂纹。截面变化越急剧,应力集中也就越严重。

应力集中是局部的。由于其邻近应力较低部分的约束,使它的应变不能发展,弹性极限、屈服点及强度极限都会很高,伸长率减小。当作用力增加时由于钢材的塑性好,变形增大,开孔和缺口稍趋平缓,应力也随着趋于平缓。因此,设计中若仅承受静力荷载,只要使结构具有合适的形状,避免骤然尖锐的改变,并符合规定的有关要求,就可不考虑应力集中问题;但对于有尖锐凹角、缺口或裂缝的截面,以及在动力荷载作用和低温下工作的结构,则应在设计中考虑应力集中问题。

三、硬化

1. 冷作硬化(应变硬化) 钢材经拉伸超过屈服点后卸载,即出现残留变形;再重新加荷,其应力-应变曲线将沿卸载直线重新发展,使屈服点提高而流幅减少。在一定次数范围内可使流幅变得很小,也就是使塑性和韧性变得很小(图 2-6a)。这种现象称为冷作硬化,又称应变硬化。钢结构是不考虑利用硬化提高强度的,因为它容易引起裂纹。钢材经冲孔、剪切等冷加工后也常将其边缘硬化变脆的部位刨掉。对于薄壁冷弯型钢冷弯成型中提高的强度,只允许局部利用。

2. 时效硬化 钢材中的氮和碳,随时间的增长从固熔体中析出,形成渗碳体和氮化物的混

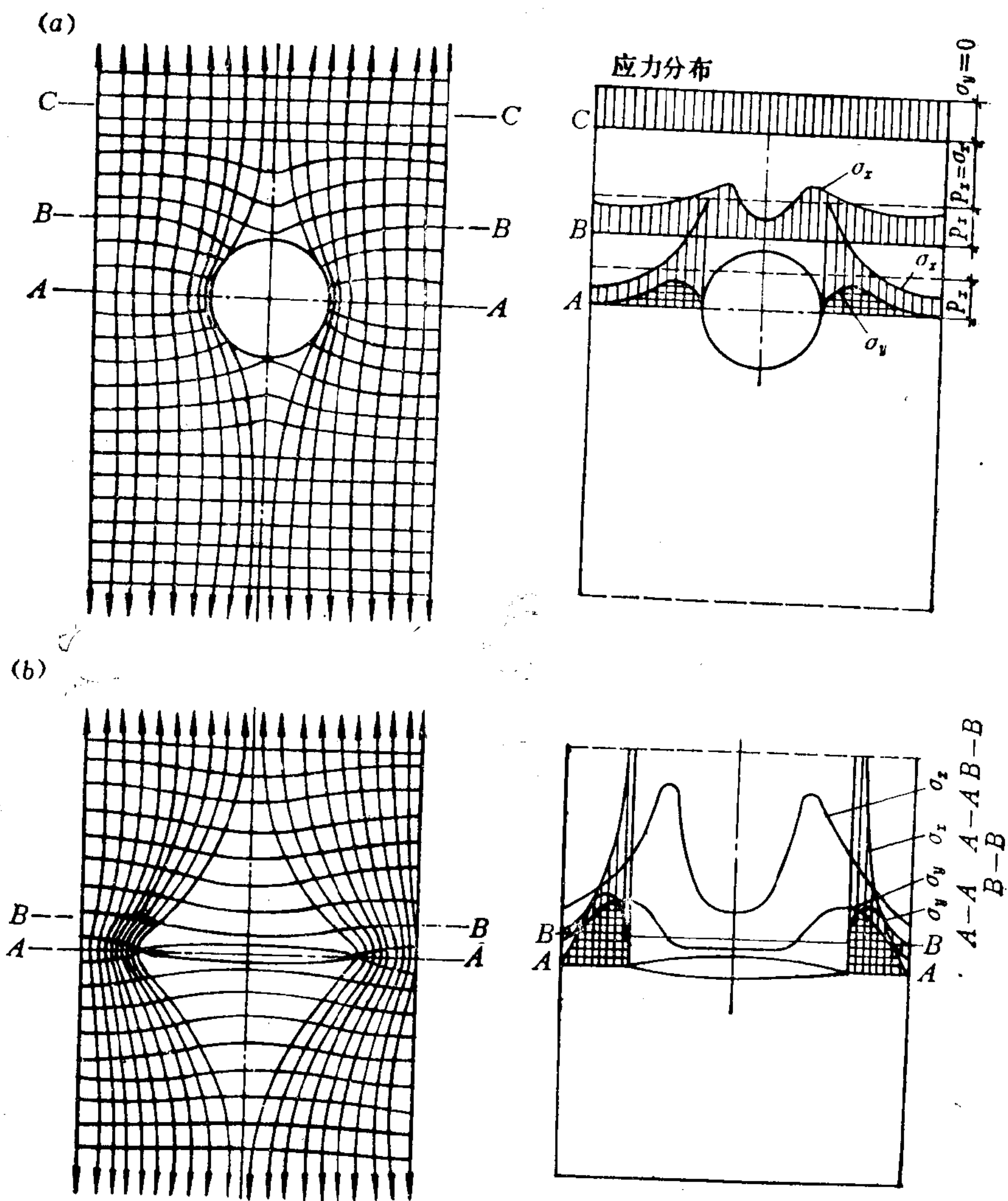


图 2-5 构件形状剧烈变化处的应力

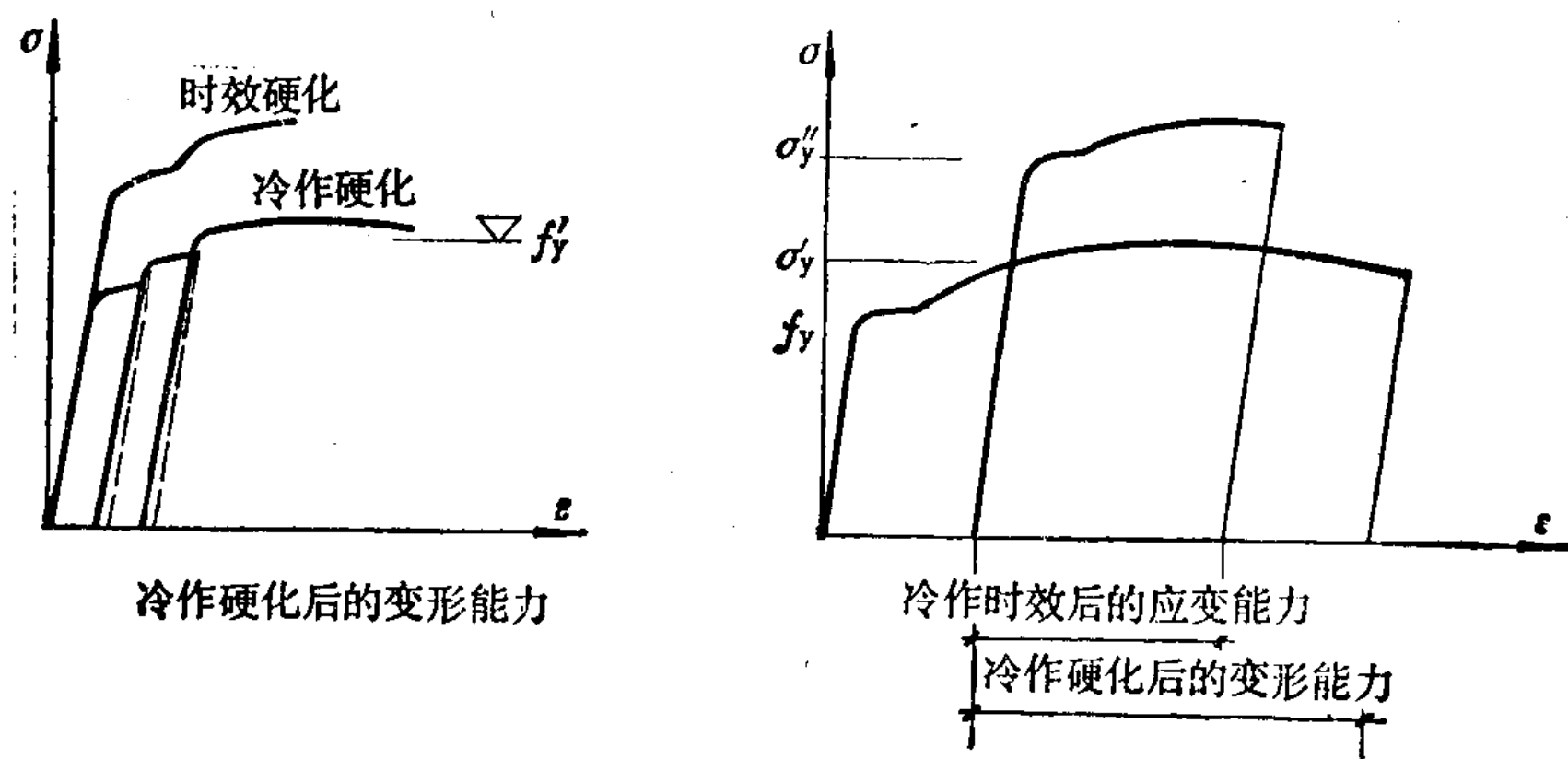


图 2-6 钢材的硬化