

# 建筑结构设计新编

## 钢结构设计

乐延方 编

郑洪国 杨俊悌 审校

9081  
1  
JIAN ZHU JIE GOU SHE JI XIN BIAN

安徽科学技术出版社

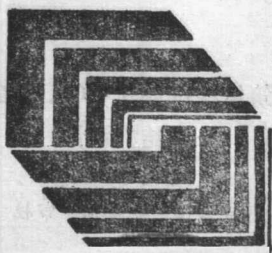
丛书  
之五

# 建筑结构设计新编

## 钢结构设计

乐延方 编

郑洪国 杨俊悌 校审



安徽科学技术出版社

责任编辑：解安华

封面设计：王士龙

建筑结构设计新编(丛书之五)

钢结构设计

乐延方 编

郑洪国 杨俊悝 审校

\*

安徽科学技术出版社出版

(合肥市跃进路1号)

新华书店经销 安徽新华印刷厂印刷

\*

开本：787×1092 1/32 印张：10.25 字数：228,000

1988年1月第1版 1988年1月第1次印刷

印数：00,001—15,000

ISBN7-5337-0143-7/TU·6 定价：2.15元

# 目 录

<b>第一章 概论</b> .....	1
第一节 我国钢结构发展情况简介 .....	1
第二节 钢结构特点和应用范围 .....	2
第三节 钢结构设计的基本要求 .....	4
第四节 钢结构当前的发展趋向 .....	4
<b>第二章 钢结构用材料</b> .....	7
第一节 建筑用钢材单向均匀受拉时工作性能 .....	7
第二节 钢结构对钢材的性能要求 .....	14
第三节 影响钢材力学性能的主要因素 .....	20
<b>第三章 钢结构设计方法</b> .....	27
第一节 概述 .....	28
第二节 近似概率极限状态设计法 .....	30
第三节 钢材疲劳和疲劳强度计算 .....	44
<b>第四章 钢结构的连接</b> .....	60
第一节 概述 .....	61
第二节 焊透的对接焊缝 .....	62
第三节 角焊缝 .....	74
第四节 未焊透的对接焊缝 .....	89
第五节 焊接应力和焊接变形 .....	102
第六节 普通螺栓连接的构造和计算 .....	105
第七节 高强螺栓连接的构造和计算 .....	126
<b>第五章 梁</b> .....	136

第一节	梁的类型和截面型式	138
第二节	梁的强度计算	139
第三节	梁的整体稳定	147
第四节	梁的刚度计算	171
第五节	梁的截面选择	173
第六节	梁的局部稳定	180
第七节	组合梁截面的改变	205
第八节	焊接梁翼缘焊缝计算	206
<b>第六章</b>	<b>拉杆、压杆和柱</b>	<b>219</b>
第一节	构件截面型式	221
第二节	轴心受拉构件	223
第三节	实腹式轴心受压构件	225
第四节	格构式轴心受压构件	251
第五节	拉弯构件	268
第六节	实腹式压弯构件	272
第七节	格构式压弯构件	298
第八节	柱脚	305
<b>附录</b>	<b>主要参考文献</b>	<b>323</b>

# 第一章 概 论

钢结构目前已应用于各类建筑结构，由民用建筑到工业厂房，由多层建筑到大跨结构随处可见。钢结构越来越多地被采用，这是由于钢材接近理想弹性——塑性体，强度高，结构轻，构件加工工业化程度高和施工方便等优点所决定的。

## 第一节 我国钢结构发展情况简介

我国是最早用铁建造承重结构的国家，早在公元前200多年的秦代就在桥梁建造中使用了铁桥墩，汉明帝时代建造起世界上第一座深山峡谷上的铁链悬桥。历代还有不少地方用铁建筑高塔的。

解放以后，随着社会主义建设的发展，我国钢结构建筑也有了发展，50年代初期建起的鞍钢、武钢、包钢、长春汽车制造厂等的巨大钢结构厂房，有些在规模上和技术上已达到当时较先进水平。1968年建成的南京长江大桥，其跨度和难度都远远超过武汉长江大桥，它标志着我国桥梁和钢结构技术水平已接近世界先进行列。

近20年来，我国在大跨度建筑中许多采用了钢结构，如上海体育馆(110米直径)，南京五台山体育馆(76.8×88.7米)，北京首都体育馆(112×99米)，北京工人体育馆(94米)，杭州

浙江人民体育馆(80×60米)。高耸钢结构在我国也在发展,如广州电视塔高200米,上海电视塔高210米,北京测污染观察塔高达325米(桅杆型)等。

此外,油罐、贮气柜和钢结构高层建筑都在发展。

## 第二节 钢结构特点和应用范围

### 一、钢结构与其它结构相比有如下特点

1. 钢材强度高, 结构重量轻: 钢材的屈服强度高, 在相同条件和相同荷载下, 钢结构要比其它结构轻, 构件也小; 例如在跨度和荷载都相同时, 钢屋架的重量约为钢筋混凝土屋架的三分之一至四分之一。

2. 钢材质地均匀, 接近各向同性的理想弹性——塑性体: 钢材内部组织较均匀, 各向物理力学性能基本相同, 在使用应力阶段, 属于理想弹性体, 应力达到屈服点后, 又可看作理想塑性体, 所以钢结构实际受力情况和力学计算中的假定相当符合, 计算可靠。

3. 钢材有良好的塑性和韧性: 钢材塑性好, 一般情况下不会因偶然超载或局部荷载而发生突然断裂破坏; 钢材韧性好, 对动力荷载适应性强。

4. 制作工业化程度高, 施工周期短: 钢构件在专业化工厂中生产, 质量易保证, 现场拼装方便。

5. 密闭性好: 钢材组织紧密, 不渗漏, 焊接连接密封, 所以适合高压容器。

6. 钢材具有可焊性: 钢结构采用焊接连接使连接大为简

化，适应各种复杂结构形状需要。

7. 钢材具有一定耐热性，但防水性差：钢材在 200℃ 内时，材质变化较小，300℃ 以后，钢材强度明显下降，在 500~600℃ 时钢材强度几乎完全丧失；所以在热源附近的钢结构，要用混凝土、砖等包起来。

8. 钢材易锈蚀：钢材最大缺点是易锈蚀，尤其在腐蚀性介质或潮湿环境下，所以钢结构都需要仔细除锈，刷涂料，过一段时间又要重新刷涂料，维护费用较高。

钢材是国民经济中贵重材料，价格也比较贵，钢结构的采用应适当控制。钢结构一般用在跨度大，荷载大，振动大，密封要求高的结构中，要求结构轻的可拆装的也可采用钢结构。

## 二、钢结构适用于下列结构

1. 重型工业厂房承重结构。这类结构特点是跨度较大，吊车吨位较大，厂房较高；

2. 大跨度建筑结构。建筑跨度越大，减轻结构自重越重要，结构自重轻具有明显经济效果。大跨度屋盖承重结构主要采用拱、网架、悬索、索网和预应力钢结构；

3. 高层建筑和高耸塔桅结构。该类结构特点是除自重外，主要承受风载，而钢结构自重轻，截面小对承受风载是有利的；

4. 可拆卸的移动式结构。钢结构特别适合装拆的结构使用，不但装拆方便，运输重量也轻；

5. 轻型钢结构建筑。中小型房屋和一些设施，其跨度小，荷载小，结构的轻巧是主要要求，钢结构自重小又轻巧，适宜于搞这类结构，轻钢结构比普通钢结构自重减小 20~50%，



与钢筋混凝土结构相比，在用钢指标接近的情况下，结构自重可减轻70%左右；

6. 容器、管道、栈桥和支架等。

上列项目采用何种结构材料应综合多方面经济指标——材料费、制作费、运输费、设备、工期等等来决定。

### 第三节 钢结构设计的基本要求

结构设计应满足功能要求，结构安全可靠，技术先进，经济合理，主要的方面有：

结构应有足够强度、刚度和稳定性；

材料、结构方案和构造措施要符合建筑物功能要求，有较好耐久性；

自重要轻，省工省时；

便于运输，便于维修；

适当注意外观。

所以在钢结构设计中应注意结构选型，结构布置，采用新计算理论和方法，选用优质钢材和薄壁型钢。

### 第四节 钢结构当前的发展趋向

近年来钢结构理论研究和技术水平有所发展，随着我国社会主义建设的发展，钢结构的应用也将有更大增长和发展，为适应新的形势需要，下列几点需要进行研究和提高：

## 一、研制和应用高强度钢材和新型钢材

高强度钢材对跨度大、高度高、荷载重的结构非常有利。结构用高强钢材一般都是低合金钢，有良好的塑性和韧性。目前我国采用屈服点为 $350\text{N/mm}^2$ 的16锰钢已很普遍，15锰钒钢和15锰钛钢也有应用(屈服点为 $400\text{N/mm}^2$ )。15锰钒钢综合性能较好，已列入新的钢结构规范(下称86规范)。国外高强度钢应用普遍，许多国家规范中已列入屈服点大于 $700\text{N/mm}^2$ 的钢材。应用高强度钢材是节约用钢量的重要途径，我国尚要研究更高强度的钢材。

除了采用高强度钢材，国外生产一种H型钢，如图1-1所示，可直接作为梁和柱，加快建设速度。我国现已有定点生产焊接H型钢，但规格不多；压型钢板也是一种新产品，是由 $0.5\sim 1\text{mm}$ 的薄钢板压制而成，在其上浇上混凝土后，可做楼盖。在压型钢板之间填充聚氨脂塑料，可作屋面板、楼板和墙板，我国已有生产；冷弯薄壁型钢目前我国产量不高。

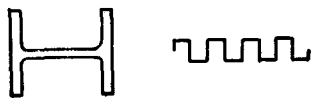


图1-1 H型钢和压型钢板

## 二、构件和结构计算理论的研究

随着计算技术和测试技术的发展，很多学者对构件和结构作了理论分析和实验研究并取得一些成果，但还存在不少问题，如钢材塑性充分利用；动力荷载下结构反应；残余应力对结构强度和稳定性的影响；板件屈曲后的承载能力和断

裂力学应用到钢结构上来等问题，都有待进一步研究。

### 三、结构型式革新和应用

薄壁型钢结构、悬索结构、网架结构和预应力钢结构对减少耗钢量有重要意义，我国从50年代开始对预应力钢结构进行了研究，并在一些工程中采用；60年代起采用网架钢结构和悬索钢结构，节约了钢材；高层钢结构和索网结构也开始应用，尚需在计算理论和结构形式上进行研究。

### 四、组合构件应用

钢和钢筋混凝土组合构件发挥了两种材料的长处，经济效果明显，86规范已列入钢与钢筋混凝土组合梁的若干规定；应进一步研究组合构件的工作性能和合理的计算方法；图1-2示意了钢与钢筋混凝土组合梁和钢管混凝土柱。

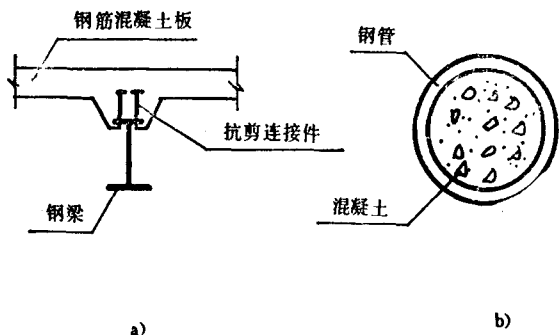


图1-2 组合梁和柱

除上述问题之外，钢结构中应用优化设计，钢结构的防火和防锈蚀，以及钢结构制作工艺和施工技术的改进等等都要进一步研究。

## 第二章 钢结构用材料

86规范对74规范在材料方面的变更，主要是对74规范的第4条、第7~11条内容进行修改。

86规范中增加了新钢种15锰钒钢为承重结构用钢材，15锰钒钢在工程实践中已使用20余年，综合性能较好，经济效益明显，与使用3号钢比较一般可节约钢材15~25%。

86规范中已不再推荐使用侧吹转炉钢，因其性能较差。

高强螺栓中，86规范推荐了8.8级的35号钢、10.9级的20锰钛硼钢和35钒硼钢。

钢材设计指标74规范采用容许应力表达，86规范按概率设计法定出钢构件的抗力分项系数，将钢材屈服强度的标准值除以抗力分项系数，作为钢材设计强度列在规范表格中，以 $f$ 表示设计强度，以N(牛)和mm(毫米)为单位。

### 第一节 建筑用钢材单向均匀受拉时工作性能

了解钢材在各种应力状态下的工作性能才能较好地、合理地依据工程实际情况选择钢材，保证结构安全可靠，满足使用要求和节约钢材。

钢材抵抗外力作用，而不超过其承载能力和允许变形的能力统称为钢材力学性能，如弹性、强度、塑性和韧性等都是钢材力学性能指标。

钢材力学性能指标是钢结构设计的依据之一，力学性能指标大多靠试验测定。结构是复杂的，受力多种多样，在钢材内部引起的应力也是各种各样的，所以不可能对每种受力情况都做试验和加以测定，而单向均匀拉伸试验是钢材最重要的试验，其结果是最主要的钢材性能指标，从单向拉伸得到的力学指标可作为其它受力情况下力学指标的依据或基础。

### 一、单向均匀受拉试验曲线

钢材单向均匀受拉时的性能是以大家熟悉的静力拉伸试验的荷载——变形曲线(或应力——应变)来表示，图2-1为常用低碳钢的应力——应变曲线，纵坐标为 $\sigma$ (N/mm<sup>2</sup>)，横坐标为 $\epsilon$ (%)，由图2-1可知低碳钢一次均匀单向拉伸应力——应变曲线可分为四个阶段：

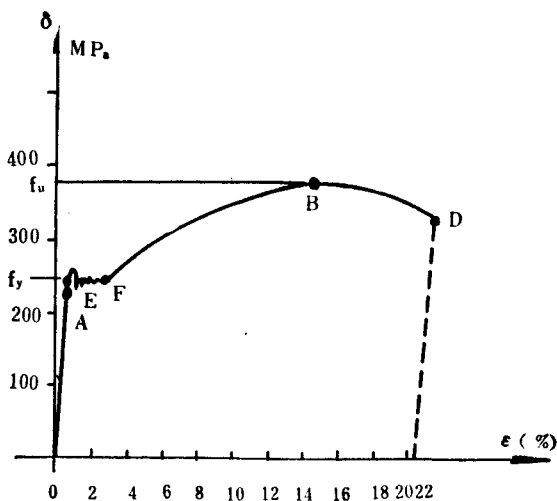


图2-1 低碳钢的应力——应变曲线

1. 弹性阶段OE。这阶段特征是荷载增加，变形也增加。当荷载卸掉后，变形也恢复，没有残留变形，只有弹性变形且很小。

OA段应力应变为直线关系，完全符合胡克定律，A点的应力称作比例极限 $\sigma_P$ ，相应的荷载称作比例极限荷载 $N_P$ ；E点的应力称作弹性极限 $\sigma_e$ ，相应的荷载称作弹性极限荷载；OA段具有完全弹性性质，弹性模量 $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ ，AE段仍具有弹性性质，但非线性 $E_t = \frac{d\sigma}{d\epsilon}$ 称为切线模量。

2. 屈服阶段ECF。这阶段特征是荷载与变形不成正比。变形增快，甚至出现荷载不增加而变形也在发展的现象，好似钢材屈服了，卸荷后变形不能全部恢复，而留有残余变形——塑性变形；屈服时曲线上出现锯齿形上下波动，我们取波动部分的最低点(下限)的应力称作屈服点(或流限) $\sigma_s$ ，用符号 $f_s$ 表示(因波动部分上限的应力受试验条件影响灵敏，故不取它为流限)。

从曲线上E点开始到曲线再度上升的起点F为止，其变形范围较大，相应的应变幅度称为流幅。

流限和流幅是钢材的两个重要力学性能指标。

3. 强化阶段FB。这阶段特征是弹性略有恢复，塑性特征仍非常明显，抵抗外荷载能力有提高， $\sigma-\epsilon$ 曲线呈微上升状；B点的应力称作抗拉强度(极限强度)，用符号 $f_u$ 表示，相应的荷载称作极限荷载，是试件能承受的最大荷载。

4. 颈缩阶段BD。这阶段特征是承载能力又有恢复， $\sigma-\epsilon$ 曲线下降(实际由于截面颈缩，应力是上升的)，变形继续发展直至D点试件断裂；这阶段出现在应力达到抗拉强度 $f_u$ 之

后，那时试件在材料质量较差处截面横向收缩——颈缩现象。

颈缩区的伸长及横向收缩(见图2-5)是反映钢材塑性性能的重要标志。

## 二、3号钢的几个力学指标

从上面 $\sigma$ - $\epsilon$ 曲线了解了钢材在单向均匀拉伸下的四个阶段，为建立量的概念，现在具体研究一下3号钢的主要力学性能指标。图2-2所示曲线是3号钢在常温下静力拉伸试验的结果，从图上可见各阶段的应力、应变为：

比例极限  $\sigma_P \geq 200 \text{ N/mm}^2$   $\epsilon_P \approx 0.1\%$

弹性极限  $\sigma_e$ 与 $\sigma_P$ 非常接近

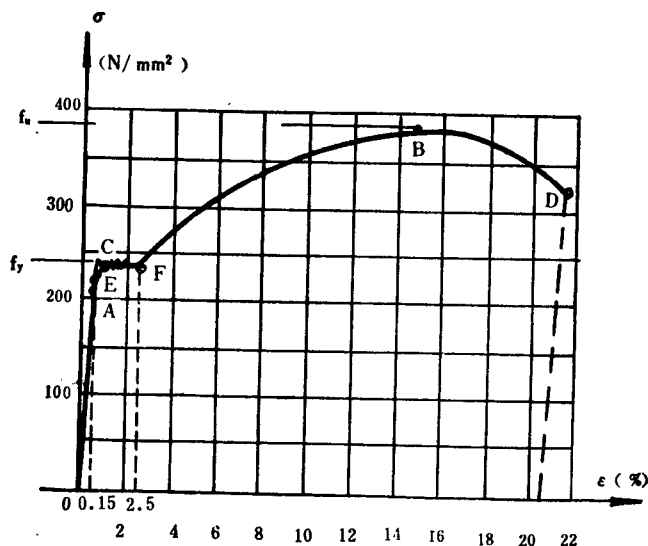


图2-2 3号钢单向均匀受拉 $\sigma$ - $\epsilon$ 曲线

屈服点	$f_y \geq 240 \text{N/mm}^2$	$\epsilon_s \approx 0.15\%$
流幅	从 $\epsilon \approx 0.15\%$ 至 $\epsilon \approx 2.5\%$	
抗拉强度	$f_u = 380 \sim 470 \text{N/mm}^2$	
伸长率	$\delta_{10} \approx 21\%$	
弹性模量	$E \approx 2.1 \times 10^5 \text{N/mm}^2$	

### 三、钢材的两种破坏形式

钢材的主要成分是纯铁体，它是由九个原子组成的结晶体，是体心立方晶格如图2-3所示。

晶格内各原子所以能维持其平衡位置是由于相互存在着作用力，有吸引力又有排斥力，这些力的大小与原子间间距有关，单晶体受外力  $P$  作用，将使原子间距离发生改变，外力所作的功转变为晶体内能，如果  $P$  为拉力，增加的内能将使原子间间距增大，那原子间的吸引力也将

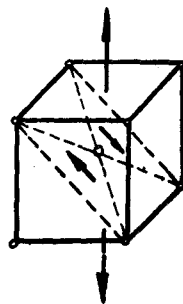


图2-3 体心立方晶格  
相应增长，以保持与外力引起拉应力相平衡。当拉力  $P$  消失，原子又回到原来的位置上；如果  $P$  为压力，使原子间距减小，原子间排斥力将增加，以保持与外力引起压应力相平衡；当压力  $P$  消失，原子也回到原来位置上；晶格在上述受力状态产生的变形为弹性变形，所以钢材的弹性性能是以原子相互间的作用力来表现的，弹性变形的产生和消失是一种内储能变化的结果。

晶格的抗压能力很大，几乎无极限点，而抗拉能力有极限点。

在外拉力  $P$  作用下，使晶格原子间距  $r$  大于某一值，原子



间的结合被破坏，虽变形不大，但局部应力很高，超过了材料抵抗分离的拉力 $R_c$ ，材料就突然破坏，且伴有响声，这种破坏形式称为脆性破坏。

钢材塑性变形可看作是原子在晶格中受剪应力而相互间产生滑移的结果。剪切滑移往往沿原子数量最多的斜面发生（见图2-3），当晶格滑移面贯穿全部材料截面，材料就破坏，这种破坏称为塑性破坏。

就单晶体来说，抗断裂拉力 $R_c$ 远大于抗剪切滑移的抗力 $R_s$ ，但在钢材亿万个晶格组成的复晶体中，由于存在珠光体和固溶体和存在位错、缺陷等，使 $R_s$ 提高，在各种条件下当 $R_s$ 大于 $R_c$ 时，钢材就将发生脆性破坏。

塑性破坏的特征是：通常构件应力达到抗拉强度 $f_u$ 和变形过大时发生。破坏前有明显较大塑性变形，断口呈纤维状，色发暗，断口与作用力方向常成 $45^\circ$ 。由于塑性变形大，延续时间长，易补救，所以并不危险，也易避免发生塑性破坏。

脆性破坏的特征是：通常平均应力小于屈服点 $f_y$ ，而局部应力很高，在变形很小的情况下发生。破坏是突断，破坏前没有明显变形，断口平齐，光泽晶粒状，常常断时有响声。因为突然破坏对人们危害大，所以要特别注意防止脆性破坏。

#### 四、钢结构设计中采用的钢材主要特性

由上述钢材单向均匀受拉试验研究，可得出下面几点钢材的工作特性，作为钢结构设计基础：

1. 钢结构设计中取钢材屈服点 $f_y$ 为钢材静力荷载下可以达到的最大应力。取钢材屈服点 $f_y$ 作为设计最大能承载的应