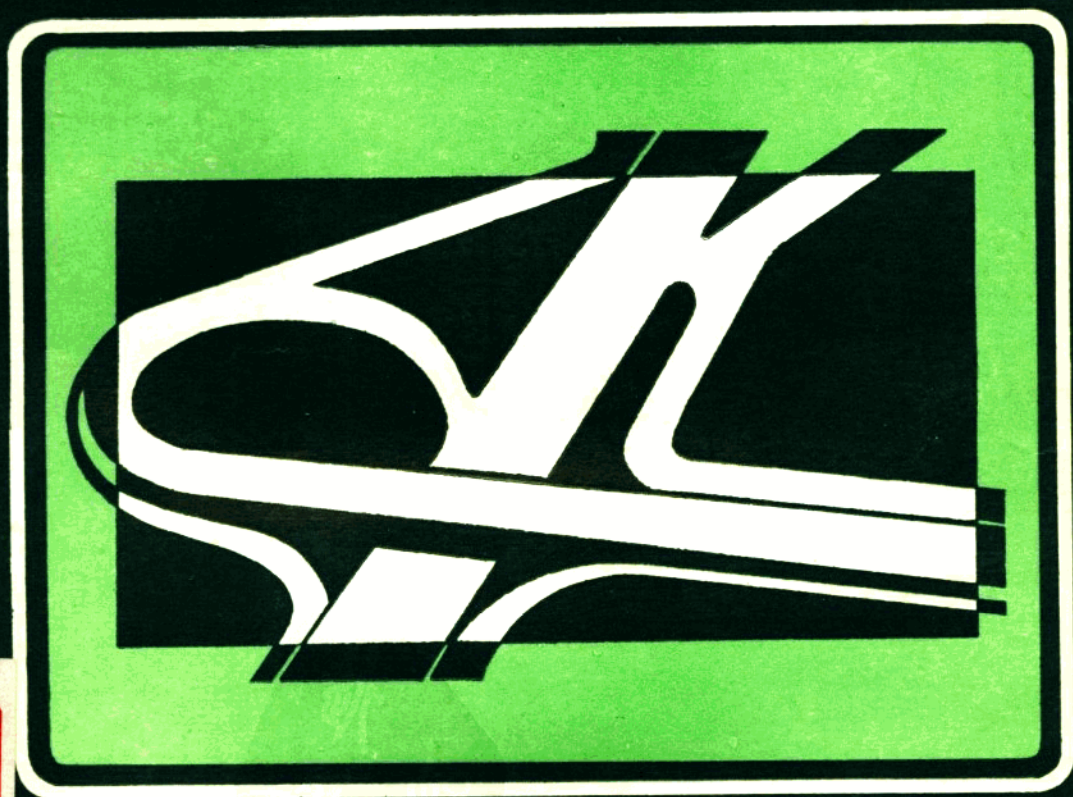


公路与城市道路桥涵隧道专业高等院校试用教材

钢结构与组合结构

杨宏标 编著 徐积善 审



北京科学技术出版社

公路与城市道路桥涵隧道专业高等院校试用教材

钢结构与组合结构

杨宏标 编著 徐积善 审

北京科学技术出版社

内 容 提 要

本书根据公路与城市道路桥涵和隧道专业(大专)教学大纲和编者多年教学经验,并结合工程设计施工的需要编写而成。全书共七章,包括钢结构和钢—混凝土组合结构两部分,组合结构部分是根据工程结构的迅速发展和施工要求,首次在教材中较全面地加以介绍。书中对基本概念和计算公式进行了较详细的说明和推演,并附有例题和实例。书末附录备有供设计用表格、数据。

本书系根据交通部现行《公路桥涵钢结构及木结构设计规范(JTJ025-86)》编写的,除可作有关专业大学本科和大专教材外,也适合成人教育和中专使用,对有关专业的土建设计施工人员也有参考价值。

钢结构与组合结构

杨宏标 编著 徐积善 审

北京科学技术出版社出版

(北京西直门南顺城街12号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

一二〇一工厂印刷

787×1092毫米 16开本 15 5印张 387千字

1991年9月第一版 1991年9月第一次印刷

印数1—4000册

ISBN7-5304-0852-6/T·169 定价: 6.80元

序

随着工程实践和科研成果不断充实完善，新的规范也已经颁布，广大设计人员、施工人员、管理人员、大中专教师 and 在校学生，急需熟悉、消化和掌握它们的适用范围和设计方法，并将其全面、准确地应用于各自所从事的工作中去。本书的出版将在这方面起积极作用，同时也解决了有关专业的大学本科和大专教材问题。

本书有以下特点：

1. 通俗易懂，精简扼要，概念明确，注重实用，便于自学，按高校教育规律，根据实际工程需要，对规范和设计方法的应用作了较全面的阐述。

2. 根据编者的教学经验，吸收国内外有关教科书的有益编排和论述方法，在编写中做了某些探索，注意到阐述中的点、线、面关系和基本概念及基本公式的来源和推演。

3. 为便于读者学习，编者在讲述每一重要概念和方法后，都列有实例，对学生综合运用所学的基本知识和解决实际工程的能力是有利的。

4. 本书首次在教材中较全面地介绍了已经成为五大结构之一的钢—混凝土组合结构。为使尽早掌握这种结构的特点、设计方法并应用于实际工程中去，为国家节约三材起到积极作用。

本书适用于大学本科和大专学校公路与城市道路工程专业、桥涵专业，也可供成人高校、中专有关专业使用。对从事上述各专业及其它土建类工程的设计、施工人员等，也有参考价值。

限于编者水平和时间，书中难免有错误和缺点，敬希广大读者和同行专家及时批评指正，以便进一步修改提高，谨此深表谢意。

本书可与作者所编“钢筋混凝土及砖石结构学”一书配套使用。

徐积善

于北京 1990年4月

目 录

绪 论	(1)
一、钢结构的特点	(1)
二、钢结构的合理使用范围	(1)
三、钢结构的计算方法	(2)
第一章 钢结构的钢材	(5)
§1 钢结构对钢材性能的要求	(5)
一、强度	(5)
二、塑性	(6)
三、韧性	(6)
四、可焊性	(6)
五、冷弯性	(7)
六、耐久性	(7)
§2 影响钢材脆性断裂的主要因素	(8)
一、钢材的破坏形式	(8)
二、发生脆性断裂的因素	(9)
§3 钢材种类	(11)
一、按冶炼方法分	(11)
二、按钢锭浇注方法分	(11)
三、按化学成分分	(12)
四、结构钢的钢种钢号	(13)
五、选用钢材的原则	(14)
§4 钢材规格	(15)
一、钢 板	(15)
二、型 钢	(16)
第二章 钢结构的连接	(17)
§1 钢结构的连接方法	(17)
一、焊接连接	(17)
二、螺栓连接	(17)
三、铆 接	(17)
四、销 接	(18)
§2 钢结构的接头型式	(18)
一、对 接	(18)
二、搭 接	(19)
三、顶 接	(19)

§3 焊接连接	(19)
一、贴角焊缝的构造和计算	(19)
二、对接焊缝的构造和计算	(20)
三、焊接疲劳强度验算	(34)
§4 螺栓连接	(34)
一、普通螺栓连接	(34)
二、高强螺栓连接	(42)
§5 铆钉连接	(47)
§6 钢销连接	(47)
第三章 轴向受力构件	(49)
§1 构件的种类及截面型式	(49)
§2 轴心受拉构件	(50)
一、计算内容	(50)
二、截面设计	(52)
§3 实腹式轴心受拉构件	(54)
一、计算内容	(54)
二、截面设计	(57)
三、构造要求	(58)
§4 格构式轴心受压构件	(61)
一、强度	(61)
二、整体稳定	(61)
三、单肢稳定	(63)
四、缀材	(63)
五、构造要求	(66)
六、设计步骤	(66)
§5 偏心受拉构件	(69)
§6 偏心受压构件	(70)
一、强度	(70)
二、整体稳定	(71)
三、局部稳定和刚度	(74)
第四章 受弯构件	(77)
§1 概 述	(77)
§2 梁的强度计算	(78)
一、弯曲正应力	(78)
二、剪应力	(79)
三、折算应力	(79)
四、双向受弯	(80)
五、疲劳强度验算	(80)
§3 梁的刚度验算	(80)

§4 梁的整体稳定性验算	(81)
§5 梁的局部稳定性验算	(84)
一、受压翼缘板的局部稳定	(84)
二、腹板的局部稳定	(85)
§6 梁的设计	(89)
一、型钢梁	(89)
二、组合梁	(90)
第五章 钢桁架	(111)
§1 概 述	(111)
一、工程应用	(111)
二、分 类	(111)
三、设计步骤	(112)
§2 桁架主要尺寸及腹杆布置	(112)
一、主要尺寸	(112)
二、腹杆布置	(113)
§3 桁架的杆件设计	(114)
一、杆件内力计算	(114)
二、几何长度、计算长度、容许长细比	(115)
三、截面形式	(115)
四、截面尺寸	(116)
五、垫 板	(117)
§4 桁架的节点设计	(117)
一、一般原则	(117)
二、弦杆拼接计算	(117)
三、节点板强度计算	(121)
四、设计步骤	(123)
§5 桁架的设计图	(130)
第六章 钢结构制作	(131)
§1 概 述	(131)
§2 放 样	(132)
§3 料件加工	(133)
一、号料、号孔	(133)
二、切 割	(134)
三、料件矫正	(134)
四、冷弯和热弯	(134)
五、制 孔	(135)
六、边缘加工	(136)
§4 杆件组装	(136)
一、杆件定位	(136)

二、焊缝连接	(138)
三、高强螺栓连接	(145)
四、铆钉连接	(147)
五、杆件上工地孔的钻制	(148)
六、结构物试拼装	(148)
§5 钢结构的除锈、油漆和装运	(149)
第七章 钢—混凝土组合结构	(150)
§1 概 述	(150)
一、组合作用	(150)
二、组合结构的特点及工程应用	(151)
§2 组合梁	(153)
一、材料特性	(153)
二、构 造	(155)
三、荷载作用下的应力阶段	(161)
四、组合截面应力计算	(162)
五、截面应力计算步骤	(166)
六、抗剪连接件计算	(178)
七、挠度验算	(185)
八、连续组合梁	(186)
§3 钢管混凝土结构	(187)
一、概述	(187)
二、单轴压力作用下的工作性能	(187)
三、压扭共同作用下的工作性能	(191)
四、轴向受压构件的容许承载能力计算	(194)
五、压扭构件强度分析	(206)
六、局部承压强度计算	(209)
七、设计与构造	(210)
附表 1 建筑钢的机械性能	(215)
附表 2 建筑钢的化学成分	(216)
附表 3 碳素钢铸件的机械性能和化学成分(GB979-67)	(216)
附表 4 铆钉钢的化学成分和机械性能	(217)
附表 5 45号钢的化学成分和机械性能	(217)
附表 6 40硼钢的化学成分和机械性能	(217)
附表 7 焊条用钢丝的化学成分	(218)
附表 8 焊条的药皮类型和焊接电源	(218)
附表 9 焊条的化学成分和机械性能	(218)
附表 10 钢材的容许应力(MPa)	(219)
附表 11 粗制螺栓和铆钉的容许应力(MPa)	(219)
附表 12 $\rho=0$ 时的 $[\sigma_0^p]$ 值(MPa)	(219)

附表13	钢材容许应力的提高系数 k_1	(221)
附表14	贴角焊缝的标注方法.....	(222)
附表15	对接焊缝剖口形式及标注方法.....	(223)
附表16	螺栓(铆钉)的容许间距.....	(224)
附表17	角钢上的准线表.....	(224)
附表18	工字钢和槽钢腹板及翼缘上的准线表.....	(224)
附表19	普通螺栓的标准直径及其横截面面积.....	(225)
附表20	高强螺栓(铆钉)的增大系数 ξ	(225)
附表21	高强度螺栓的预拉力(kN).....	(225)
附表22	摩擦系数 f 值.....	(225)
附表23	高强螺栓材料及规格尺寸表.....	(225)
附表24	轴心受压构件的纵向弯曲系数 φ	(226)
附表25	杆件的自由长度.....	(226)
附表26	杆件极限长细比 $[\lambda]$ 和梁容许下挠度 $[f]$	(227)
附表27	格构式构件换算长细比 λ_0 计算公式.....	(227)
附表28	组合压杆单板(或板束)的宽厚比限值 $[b/\delta]$	(228)
附表29	缀板尺寸.....	(229)
附表30	各种截面回转半径的近似值.....	(230)
附表31A	型钢规格和截面特性.....	(231)
附表31B	普通工字钢.....	(232)
附表31C	普通槽钢.....	(233)
附表31D	等肢角钢.....	(234)
附表31E	不等肢角钢.....	(236)
参考文献	(238)

绪 论

一、钢结构的特点

优点:

1. 钢材强度高, 可使构件截面很小, 因而大大减轻自重; 另外, 钢材的弹性模量大, 使构件刚度大、变形小, 故适合于大跨度桥梁及其它各种大跨结构。
2. 钢材的材质均匀, 为理想弹塑性体, 在一定的应力幅度内几乎处于完全弹性状态, 符合力学计算的各向同性体假定, 故钢结构计算准确, 可靠性高。钢材的塑性好, 不会因偶然超载引起突然断裂破坏。而其韧性好, 对动荷载的适应性强。钢材的质量可以严格控制, 其变异范围小。
3. 钢构件适于工业化制造, 便于运输, 工地安装速度快, 施工周期短, 不受季节气候影响。
4. 钢结构便于拆卸和拼装, 易于修复和更换。
5. 钢结构比钢筋混凝土结构重量轻, 钢材强度与容重之比较混凝土大的多。同样的跨度, 承受同样荷载, 钢桁架的重量约为钢筋混凝土桁架重量的 $1/3 \sim 1/4$ 。
6. 由于钢材弹性模量大, 且有很好的塑性, 因此在受力变形时, 钢材吸收能量大, 故而钢结构有利于抗震。

缺点:

- 钢材易于锈蚀, 需经常检查和按期油漆, 维修费用高且费时费工。
- 钢结构有一定的耐热性, 但防火性较差。
- 钢结构受压时, 因强度高而设计截面很小时, 其稳定性难以满足要求, 若为了保证稳定性条件, 其强度又不能充分发挥, 浪费材料。
- 钢材价格较其它建筑材料贵, 是国民经济中贵重物资, 在建设中合理使用和节约钢材具有非常重要意义。

二、钢结构的合理使用范围

钢结构在桥梁工程中, 一般公路钢桥目前甚少采用, 主要用来建造特别重要的大跨度桥梁。如1969年胜利建成举世闻名的南京长江大桥。这是我国在独立自主、自力更生、艰苦奋斗精神指引下, 采用国产16Mn普通低合金钢, 自己设计、制造、施工的铁路公路两用桥。正桥为双层钢桁梁, 长1577m。其上层为行车宽15m、两侧人行道各2.25m、四车道的公路桥

面，下层为双线铁路桥。该正桥是钢桁梁共10孔，靠北岸第一孔为128m简支钢桁梁，其余9孔共3联，每联为3×160m连续钢桁梁。

钢结构在公路工程中，常用于各种临时性结构，如钢拱架、支架、架设钢筋混凝土或预应力混凝土梁的钢桁架、钢塔架、浇筑混凝土用钢模板等。另外，钢结构还常用于拆装式军用栈桥，码头中钢引桥和钢栈桥，城市中小型立交桥，在特殊施工条件下所采用的钢管桩，以及钢—混凝土组合梁桥中的钢梁、钢管混凝土桁架桥、地下建筑物的钢管混凝土立柱等。

钢结构在工业与民用建筑、水利工程、海洋工程、起重运输等领域应用都十分广泛，发展速度也非常之快。

三、钢结构的计算方法

钢结构设计，首先应根据使用要求、受力特点和技术经济条件，选择经济合理的结构型式，然后根据外荷载进行内力计算，接着进行截面选择和连接构造设计，保证整个结构及所有构件的连接具有足够的强度、稳定、耐疲劳和刚度，以便在规定的荷载作用下，能安全可靠地满足各种预定的功能要求。

钢结构设计的基本原则是要做到技术先进、经济合理、安全适用。因而结构设计的根本问题，就是要解决所设计的结构，既经济又可靠和适用的问题。

总体来讲，我国钢结构的设计方法大致经历过四个阶段：传统的容许应力法，三系数极限状态法，单一系数表达的极限状态法及目前最新的近似概率极限状态法。在工业与民用建筑结构设计中已经按规范规定的最后一种即近似概率极限状态法进行设计，而在新《桥规》中则以单一系数表达的极限状态法来进行设计。三系数法和单一系数法都属于半概率半经验的极限状态法。

新《桥规》的设计方法是以结构的极限状态为依据，对影响结构安全度的诸因素以数理统计方法，并结合我国工程实践经验进行多系数分析，求出单一安全系数，再以简单的容许应力形式表达，实质上就是半概率半经验的极限状态法。

当整个结构或结构的某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时，此特定状态称为该功能的极限状态。结构的极限状态计算可分为下列两类：

(一) 承载能力极限状态

钢结构承载能力包括静力强度、稳定和耐疲劳三个方面。计算的基本任务是确定构件的截面和连接的尺寸，以保证结构能安全使用而不致破坏。具体讲，即在最不利荷载组合下，必须使结构中每个构件或连接的计算应力 σ ，不超过材料的容许应力。其一般表达式为：

$$\text{强度极限状态} \quad K_1 \sum N_i \leq K_2 \frac{\sigma_s}{K_1} \cdot S \quad (0.1)$$

$$\text{稳定极限状态} \quad K_1 \sum N_i \leq K_3 \frac{\sigma_{st}}{K_1 K_2} \cdot S \quad (0.2)$$

把式(0.1)改为：

$$\sigma = \frac{\sum N_i}{S} \leq K_2 \frac{\sigma_s}{K_1 K_2} = K_2 [\sigma] \quad (0.3)$$

把式(0.2)改为:

$$\sigma = \frac{\Sigma N_i}{S} \leq K_1 \frac{\sigma_{11}}{K_1 \sigma_s} \cdot \frac{\sigma_s}{K_1 K_2} = K_1 \varphi [\sigma] \quad (0.4)$$

式中: N_i ——根据《桥规》(JTJ021-85)确定的标准荷载求得的构件或连接中内力;

S ——构件或连接的几何特性;

σ ——由 ΣN_i 在构件或连接中产生的计算应力;

σ_s ——构件或连接的材料屈服强度极限;

σ_{11} ——构件丧失稳定性时的临界应力;

$[\sigma]$ ——构件或连接的材料容许应力, 等于 $[\sigma] = \frac{\sigma_s}{K_1 K_2}$, 由附表10, 11取用;

K_1 ——荷载系数, 考虑实际最不利荷载组合可能大于计算中所采用的标准荷载值, 应由概率统计求得, 这里由经验确定;

K_2 ——构件或连接的材料系数, 考虑钢材强度的变异性, 应由概率统计求得, 这里也由经验确定;

K_3 ——构件或连接的材料容许应力 $[\sigma]$ 的提高系数, 由附表13取用;

K_4 ——考虑实际构件存在初弯曲及试验误差等不利因素, 所采用的稳定特殊安全系数, 根据实践经验由统计分析得到;

φ ——构件稳定折减系数, 为 $\varphi = \frac{\sigma_{11}}{K_1 \sigma_s}$ 。

关于钢材屈服强度 σ_s 的取值问题, 直接影响结构的安全度, 即使按照一定的原料配比和一定的冶炼工艺制造, 所轧制出来的钢材的强度仍是不均匀的。图(0.1)为已通过出厂前检查的一批I级钢, 以取样所得的屈服强度作为横坐标, 以频率和频数作为纵坐标, 直线代表实测数据的直方图。图中曲线表示与实测数据相近的理论曲线——正态分布曲线。

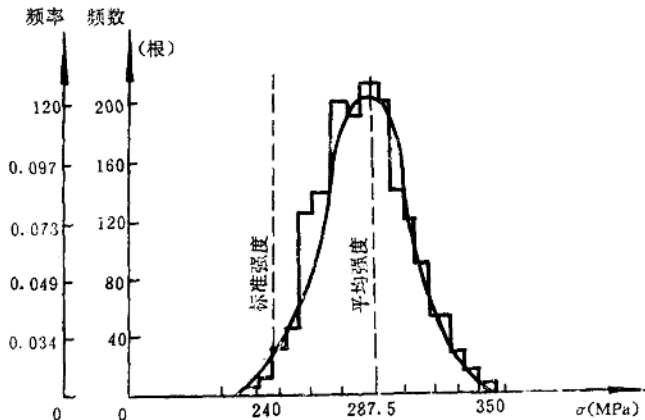


图0.1 钢材屈服强度统计资料

从图中可看出, 该厂生产的I级钢中, 屈服强度为280MPa左右的钢材数量最多, 超过350MPa的钢材很少, 小于210MPa的钢材也很少, 这批钢材平均屈服强度为287.5MPa。当知道屈服强度的变化规律后, 在设计时钢材的标准屈服强度按我国有关规范的规定, 以钢材

的废品限值作为钢材的标准强度取为240MPa，相当于实测数据的概率分布的平均值 $\bar{\sigma}$ 减去两倍均方差 σ (即 $\bar{\sigma} - 2\sigma$)，其强度保证率为97.73%，低于240MPa的保证率只有2.27%。标准强度除以构件和连接的材料系数，相当于设计强度。荷载系数也类似这种意义，只是这个系数(相当于 $K_1 > 1.0$)乘以标准荷载。

关于耐疲劳只是构件或连接在连续反复荷载作用下，才需要进行疲劳强度的验算。而对静力结构或对只承受数值变动的压力构件和临时性结构的构件，则不必验算疲劳强度。当要验算疲劳强度时，其一般表达式为：

$$\sigma = \frac{\sum N_i^k}{S} \leq [\sigma^p] \quad (0.5)$$

式中： N_i^k ——根据《桥规》(JTJ021—85)确定的标准连续反复疲劳荷载求得的构件或连接中的内力；

σ ——由 $\sum N_i^k$ 在构件或连接中产生的计算应力；

$[\sigma^p]$ ——构件或连接的材料容许疲劳应力，根据附表12由式(1.1)或(1.2)通过计算得到。

(二)正常使用极限状态

钢结构正常使用极限状态包括挠度或刚度。计算的基本任务是保证结构或构件不致因挠度过大而影响正常使用，或因过于柔细而易下垂、振动，造成在运输和施工过程中受到损坏。其一般表达式为：

$$f \leq [f] \quad (0.6)$$

$$\lambda \leq [\lambda] \quad (0.7)$$

式中： f ——结构或构件在标准荷载作用下产生的最大挠度；

$[f]$ ——结构或构件容许挠度值，由附表26查用；

$[\lambda]$ ——构件容许长细比，由附表26查用；

λ ——构件实际长细比。

钢结构设计不仅需要力学知识，还应熟悉各种类型钢结构的使用要求、结构特点、钢材性能、构造细节以及具备钢结构制造与安装的实践经验。结构计算在设计中有其重要意义，但有一定局限性，因为有些因素如残余应力，应力集中、焊接应力、焊接变形、锈蚀和裂纹等不便由计算解决，而是通过构造措施予以解决。构造问题只有全面考虑使用要求，制造和安装条件才可得到合理解决。因此，在结构设计中应对构造等问题予以足够重视。

第一章 钢结构的钢材

§1 钢结构对钢材性能的要求

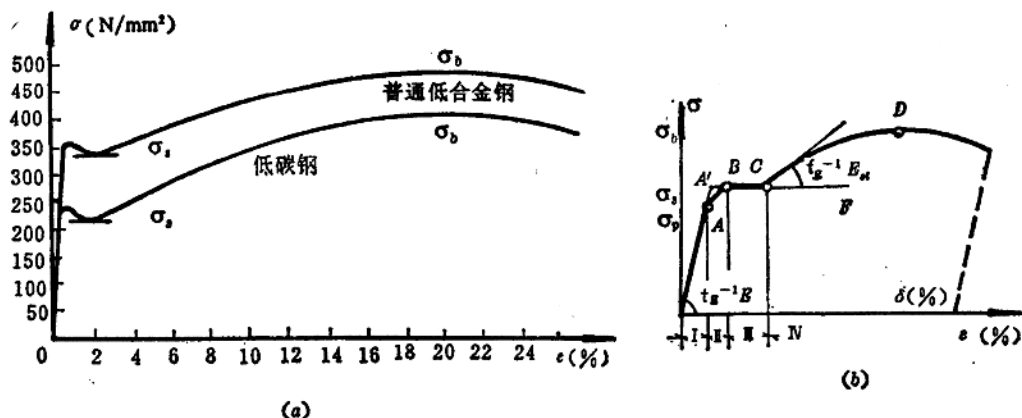
适合于钢结构的钢材称为结构钢。作为结构钢，对其力学性能的要求是多方面的，均应全面衡量。在此，分别对其各种力学指标进行讨论。

一、强 度

钢材^①强度指标主要指屈服极限 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。前者可近似认为是弹性工作阶段的最高应力值。 σ_s 越高，则结构自重越轻，也就越能节约钢材，造价也就越低。后者是钢材破坏前能承受的最大应力。钢材在达到 σ_b 时，已由于产生很大的塑性变形而失去使用性能，实用意义不大，但 σ_b 高者则可增加结构的潜在安全储备。

σ_s 和 σ_b 值是由单向均匀受力的静载拉伸试验获得的，它们只有在承受静载而应力分布又较均匀的结构或构件中，才具有决定性意义。

图1.1(a)为低碳钢和普通低合金钢(含碳量和低碳钢相同)一次拉伸的应力—应变曲线。图1.1(b)为简化的光滑曲线。由应力—应变曲线表示的各种物理力学性能如下： σ_p 为完全弹性性能的最高应力，可称之为弹性比例极限，卸荷后变形可完全恢复。其应力与应变关系服从胡克定律。如图1.1(b)的弹性阶段I。A到屈服点B一段中，应力—应变呈微曲线关系，称



I 弹性阶段 II 弹塑性阶段 III. 塑性阶段 IV. 应变硬化阶段

图1.1 钢材一次单向拉伸应力—应变曲线

^① 以后未作专门说明，均指结构用钢材(结构钢)。

弹塑性阶段Ⅱ。B点应力为屈服应力 σ_s ，或称之为屈服极限。BC段为屈服台阶，是塑性流动阶段。CD为应变硬化阶段Ⅳ， σ_b 为抗拉强度，这一阶段试件出现“颈缩”现象，随后很快断裂。

对于没有明显屈服点的钢材，规定永久变形为0.2%时的应力作为屈服点，有时用 $\sigma_{0.2}$ 表示。为了区别起见，把这种名义屈服点作为屈服强度(图1·2)，在钢结构中对 σ_s 与 $\sigma_{0.2}$ ，不再区分，统一用 σ_s 表示。

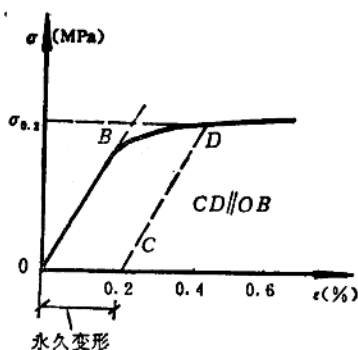


图1·2 名义屈服点

二、塑性

钢材在荷载作用下，断裂前如能产生较大的塑性变形，则称此钢材具有延展性，或称此钢材具有塑性。衡量钢材塑性好坏的主要指标是伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

若试件的原标距长度为 l_0 ，当试件拉断后，原标距间长度伸长为 l_1 ，则该试件伸长率 δ 为：

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

由于伸长率与试件尺寸有关，除应规定试件的标距长度 l_0 外，还应规定 l_0 与试件直径 d_0 之比值。当 $l_0/d_0=5$ 时， δ 以 δ_5 表示；当 $l_0/d_0=10$ 时， δ 以 δ_{10} 表示。 δ 是一种笼统说明钢材塑性的指标，其值越大，钢材的塑性越好。

在实际工程中，构件中的个别区域难免不出现应力集中、个别点的材料缺陷或实际受力与计算假定不相符合等问题。此时，若钢材能具有良好的塑性时，在受力达到一定程度后，个别点的材料会因屈服而产生塑性变形，使构件内部应力趋于均匀，从而不致因这些个别点首先出现裂纹并扩展到全构件截面而导致破坏。尤其是在动力荷载（包括冲击荷载和振动荷载）作用下的结构，材料的塑性好坏常是决定结构是否安全可靠的主要因素之一。故钢材塑性指标和强度指标同等重要。

三、韧性

钢材的韧性是钢材在塑性变形和断裂过程中吸收能量的能力，也是表示钢材抵抗冲击荷载的能力。韧性指标 a_k 是由冲击试验获得， a_k 的单位是 $N \cdot m/mm^2$ ，它是判断钢材在冲击荷载作用下是否可能出现脆性破坏危险的重要指标之一。 a_k 愈大，说明钢材韧性愈好，抵抗冲击荷载的能力也就愈强(附表4, 5, 6, 9)。

四、可焊性

钢材的可焊性是指在一定材料、工艺和结构条件下，钢材经过焊接后能获得良好的焊接连接的性能。包括焊接钢桥在内的焊接钢结构现已普遍应用，它们有时会出现裂纹或脆断现

象。主要原因是焊接时，使局部区域钢料塑性、韧性变差并引起残余应力，焊缝中又有气孔，裂纹、根部未焊透等各种缺陷。通常用可焊性试验来判断所选用的钢材、焊条、焊接工艺和结构形式等是否恰当，以避免发生裂纹和脆断。

可焊性试验包括两方面内容：

(1) 施工可焊性 指焊缝金属产生裂纹的敏感性及由于焊接加热的影响，在近缝区钢材的硬化和产生裂纹的敏感性。若在一定焊接工艺条件下，焊缝金属和近缝区钢材均不产生裂纹，则其可焊性好。

(2) 使用可焊性 指焊接接头和焊缝的冲击韧性与热影响区的钢材塑性。要求它们在施焊后，处于使用阶段时其机械力学性能要不低于母材的机械力学性能。

五、冷弯性

钢材冷弯性指钢材在冷加工(即在常温下加工)产生塑性变形时，对产生裂纹的抵抗能力。钢材的冷弯性能是由冷弯试验来鉴试的，即把钢材试件弯曲至某一规定角度(一般为 180°)，检查其弯曲部分的外面、里面及侧面，如无裂纹、裂断或剥层，即认为该试件所代表的钢材的冷弯性能好。

冷弯性试验作用之一是检验钢材能否适应构件制作中的冷加工工艺过程，之二是通过试验可暴露出钢材的内部缺陷(颗粒组织、结晶排列、非金属夹杂物分布等)，以鉴定钢材的塑性和可焊性。因此，冷弯性试验是鉴定钢材质量的一种良好方法，常作为静力拉伸试验和冲击韧性试验的补充试验，是一项衡量钢材机械力学性能的综合指标。

结构钢上述有关力学性能检验指标，见附表1~6。

六、耐久性

钢材的耐久性主要指耐腐蚀性、耐疲劳性。前者通过采取涂防锈漆等一系列防护措施予以解决，后者主要通过计算及有关构造措施予以解决。

钢材在连续反复荷载作用下，其最大应力在低于抗拉极限强度 σ_s ，甚至低于屈服强度 σ 时，就有可能发生破坏，此种破坏呈突然的脆性断裂，常称疲劳破坏。其过程是：首先在构件或连接中开始形成微观裂纹，由于裂纹根部的应力集中而使其逐渐扩展，削弱了构件的截面，在反复荷载连续作用下，最后发生突然断裂。

影响钢材疲劳强度的因素很多，主要有：

(1) 应力循环特征系数 ρ

ρ 等于计算纤维处绝对值最小的应力 σ_{\min} 与绝对值最大的应力 σ_{\max} 之比值。当 σ_{\min} 与 σ_{\max} 的符号相同时，则 ρ 为正值；当相反时，则为负值。 ρ 值愈小，疲劳强度愈低；

(2) 应力循环次数即荷载重复次数 n

钢材疲劳强度随 n 增加而降低。当 ρ 值保持不变，若试件经过 n 次循环的反复应力作用后才发生疲劳破坏，则其最大应力 σ_{\max}^n 称为循环次数为 n ，应力循环特征系数为 ρ 的疲劳强度。

在桥梁结构中，一般取 $n=200$ 万次。

经理论推导， σ_{\max}^n 按下面情况确定。

当绝对值最大的应力为拉应力时:

$$\sigma_{\max}^p = \frac{\sigma_0^p}{1 - c\rho}$$

当绝对值最大的应力为压应力时:

$$\rho_{\max}^p = \frac{\sigma_0^p}{c - \rho}$$

如再考虑安全系数, 则构件或连接在应力循环次数 $n=200$ 万次, 应力循环特征系数为 ρ 时的容许疲劳应力为:

当绝对值最大的应力为拉应力时:

$$[\sigma^p] = \frac{\sigma_{\max}^p}{K} = \frac{\sigma_0^p / K}{1 - c\rho} = \frac{[\sigma_0^p]}{1 - c\rho} \quad (1.1)$$

当绝对值最大的应力为压应力时:

$$[\sigma^p] = \frac{\sigma_{\max}^p}{K} = \frac{\sigma_0^p / K}{c - \rho} = \frac{[\sigma_0^p]}{c - \rho} \quad (1.2)$$

式中: $[\sigma_0^p]$ —— $\rho=0$ 时的疲劳容许应力, 可根据验算截面处截面变化情况或连接情况而定, 由附表12查取;

c ——系数, 取 $c=0.6$;

ρ ——反复应力循环特征系数, 由计算确定, 等于 $\rho = \sigma_{\min} / \sigma_{\max}$;

σ_{\min} ——在验算纤维处, 由连续反复荷载作用所产生的绝对值最小的应力;

σ_{\max} ——在验算纤维处, 由连续反复荷载作用所产生的绝对值最大的应力。

在计算 ρ 时, σ_{\min} 和 σ_{\max} 本身应带有正负号(压应力为负, 拉应力为正)。

由式(1.1)和(1.2)算得的 $[\sigma^p]$ 若等于或大于材料和连接相应的容许应力 $[\sigma]$ (附表10, 11), 可不进行结构的疲劳强度计算。

影响构件或连接的疲劳强度的因素, 还有反复应力的种类(拉、压、剪等)、钢材的种类、钢料本身内部构造的均匀性、温度和残余应力、构件及连接处截面的急剧变化程度和应力集中等。

关于钢材单向拉伸试验、冲击韧性试验、可焊性试验及疲劳试验等试验方法及操作过程可参阅有关文献。

§2 影响钢材脆性断裂的主要因素

一、钢材的破坏形式

在工程实践中, 钢材有两种性质完全不同的破坏形式:

塑性破坏 构件在外荷载作用下, 因变形过大, 应力达到钢材的抗拉强度 σ_s 之后发生的。破坏前构件产生较大塑性变形和明显“颈缩”现象, 断裂后的断口与作用力的方向常呈 45° 且呈纤维状, 色泽发暗。由于在塑性破坏前出现很大的变形, 外观明显已失去使用性能, 很容易及时发现和采取适当的补救措施, 不致引起严重后果。另外, 塑性变形后出现内力重分布, 可使结构中内力或应力趋于均匀, 提高结构的承载能力及减轻应力集中的不良影响。