



西安交通大学

“十一五”规划教材

土木工程专业系列教材

钢结构设计原理

王志骞



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



西安交通大学 “十一五”规划教材

土木工程专业系列教材

钢结构设计原理

王志骞



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书为西安交通大学土木工程专业系列教材之一,为适应宽口径土木工程专业本科教学需要而编写。书中内容包括材料、连接、结构构件设计原理和方法。本书以最新《钢结构设计规范》GB50017—2003 和《冷弯薄壁型钢技术规范》GB50018—2002 为依据,既保证了理论的系统性,又照顾到设计应用的方便和完整性,便于初学者掌握和使用。

本书内容丰富,理论联系实际。适用于土木工程专业及相近专业的本科教学,也可供工程设计和施工人员在工作中参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计原理/王志骞编. —西安:西安交通大学出版社,2009.3
ISBN 978-7-5605-3016-1

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 201843 号

书 名 钢结构设计原理
主 编 王志骞
责任编辑 吴 杰

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 西安新视点印务有限责任公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印 张 16.125 字 数 298 千字
版次印次 2009 年 3 月第 1 版 2009 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3016-1/TU·35
定 价 26.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdjgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

本书为西安交通大学土木工程专业系列教材之一,为适应宽口径土木类专业本科教学需要而编写,也可作为土木工程设计工作者和施工人员在工作中的参考资料。

随着国民经济的发展,钢结构在土木工程中的应用越来越广泛,设计理论也得到很大的发展和提高。本书在编写过程中贯彻理论联系实际的原则,以最新科研成果更新教材内容,改革课程编排体系,以满足人才培养和实际工程的需要。

传统的钢结构原理教材一般是按结构构件类型编写,优点是理论与实际联系比较紧密,构件设计方法完整,方便应用。但理论基础根据需要被分散在各章,缺乏系统性,造成理论学习的困难。为解决上述问题,近年来有些教材改为按基础理论体系编写,确保了理论基础的系统性,但教学实践中发现了另外的问题:把一个构件的设计内容分散到几个章节,不利于学习和设计应用。

本书试图综合上述编写方法的优点,并克服其不足:第1、2、3章分别叙述概论、材料和连接方法;将钢结构稳定理论部分集中编写在第4章,以保证理论的系统性;第5、6、7章按轴心受力、受弯、拉弯和压弯构件分别叙述其理论的应用和设计方法,以保持构件设计内容的完整性,方便设计应用。

全书由王志骞主编并统稿。杨应华教授仔细审阅了本书初稿并提出了建设性的意见,在此表示衷心感谢。参加本书编写的人员还有:万虹宇编写了各章的习题;吕小伟和李自超完成各章例题的计算和书中部分插图;宋竞梅、王丰协助整理了部分书稿。

本书的编写得到了西安交通大学“十一五”教材建设项目的支持和西安交通大学出版社的帮助,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,不足和错误在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2009年2月

第 1 章 概述	(1)
1.1 钢结构的特点和应用	(1)
1.2 钢结构的极限状态设计方法	(3)
1.3 钢结构设计的基本规定	(6)
1.4 钢结构的发展	(7)
第 2 章 钢结构的材料	(9)
2.1 钢结构对材料的要求	(9)
2.2 钢材的主要性能	(9)
2.3 影响钢材性能的因素	(13)
2.4 循环加载和快速加载的效应	(18)
2.5 建筑钢材的类别及钢材的选用	(25)
习题	(28)
第 3 章 钢结构连接	(29)
3.1 钢结构的连接方法	(29)
3.2 焊接连接的特性	(30)
3.3 对接焊缝连接	(35)
3.4 角焊缝的构造和计算	(38)
3.5 焊接残余应力和焊接残余变形	(54)
3.6 普通螺栓连接	(59)
3.7 高强度螺栓连接	(71)
3.8 轻钢结构的紧固件连接	(78)
习题	(82)
第 4 章 钢结构稳定性	(85)
4.1 稳定问题的类型	(85)
4.2 稳定分析的特点	(89)
4.3 构件的剪切中心和扭转	(89)
4.4 轴心受压构件的屈曲	(94)

4.5 受弯构件的弯扭失稳	(108)
4.6 压弯构件的面内和面外稳定性	(111)
4.7 压弯构件的计算长度	(116)
4.8 板件的稳定和屈曲后强度	(122)
习题	(130)
第 5 章 轴心受力构件的设计	(131)
5.1 轴心受力构件的应用和截面形式	(131)
5.2 轴心受力构件的强度	(132)
5.3 轴心受压构件整体稳定计算	(133)
5.4 轴心受压杆件的局部稳定	(136)
5.5 轴心受力构件的长细比和容许长细比	(138)
5.6 轴心受压柱的截面设计	(142)
5.7 轴心受压柱的柱脚	(152)
5.8 柱与梁的铰接连接	(158)
习题	(159)
第 6 章 受弯构件设计	(161)
6.1 受弯构件的应用及截面形式	(161)
6.2 受弯构件的强度和刚度	(162)
6.3 梁整体稳定性的计算	(167)
6.4 受弯构件的板件稳定	(171)
6.5 实腹梁的设计	(183)
习题	(197)
第 7 章 拉弯、压弯构件的设计	(199)
7.1 拉弯、压弯构件的应用和截面形式	(199)
7.2 拉弯和压弯构件的强度计算	(200)
7.3 实腹式压弯构件面内稳定的实用计算	(203)
7.4 实腹式压弯构件面外稳定的实用计算	(205)

7.5 格构式压弯构件的设计	(206)
7.6 压弯构件的板件稳定	(210)
7.7 压弯构件的柱脚	(213)
习题	(218)
附录	(220)
附录 1 型钢规格表	(220)
附录 2 螺栓和锚栓规格	(233)
附录 3 钢材的化学成分和机械性能	(234)
附录 4 钢材、焊缝和螺栓连接的强度设计值	(236)
附录 5 各种截面回转半径的近似值	(239)
附录 6 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	(240)
附录 7 轴心受压构件的稳定系数	(242)
附录 8 框架柱计算长度系数	(246)
参考文献	(250)

第 ① 章

概 述

1.1 钢结构的特点和应用

1.1.1 钢结构的特点

与其他材料的结构相比,钢结构有如下一些特点。

1. 钢材材质均匀,与力学计算的假定比较符合

钢材在冶炼和轧制过程中质量可以严格控制,材质波动小,钢材内部组织比较接近于匀质和各向同性体,而且在一定的应力幅度内几乎是完全弹性的。因此,钢结构的实际受力情况与工程力学计算结果比较符合。

2. 材料的强度高,塑性和韧性好

钢材与其他建筑材料诸如混凝土、砖石和木材相比,强度要高得多。因此,特别适用于跨度大或荷载很大的构件和结构。钢材还具有塑性和韧性好的特点。塑性好,结构在一般条件下不会因超载而突然断裂;韧性好,结构对动力荷载的适应性强。良好的吸能能力和延性还使钢结构具有优越的抗震性能。

3. 钢结构制造简便,施工周期短

钢结构是用钢板、热轧型钢或冷加工成型的薄壁型钢制造而成的,一般在专业化的金属结构厂加工,比较简便,机械化程度高。完成构件的质量和精确度都较高。构件在工地可以采用安装简便的普通螺栓和高强度螺栓拼装,也可以在地面拼装和焊接成较大的单元再行吊装,与其他结构比,施工周期短。

4. 钢结构的质量轻

钢材的密度是混凝土材料的 3~4 倍,但常用钢材与混凝土强度的比值却在 20 倍以上,钢材的强度与密度之比要比混凝土大得多。因此,钢结构比钢筋混凝土结构轻。在同样的跨度与荷载条件下,钢屋架的质量最多不过钢筋混凝土屋架的 1/3 至 1/4,冷弯薄壁型钢屋架甚至接近 1/10。钢结构质量轻,不仅为吊装和远距离运输提供了方便,而且地震时产生的作用力较小,对抗震也有利。

5. 钢结构的应用有利于环保和可持续性发展

废弃的钢材可回收加工,重新利用,既保护了环境,又为钢结构的可持续发展提供了保证。此外,已建成的钢结构也比较容易进行改建和加固,用螺栓连接的结构还可以根据需要进行拆迁。

6. 钢材耐腐蚀性差

钢材耐腐蚀性能比较差,必须对结构进行防护。尤其是处于湿度较大和有侵蚀性介质环境的结构更应特别注意。近年来出现的耐候钢具有较好的抗锈性能,已经逐步推广应用。

7. 钢材耐热但不耐火

钢材长期经受 100°C 辐射热时,强度没有多大变化;但温度达到 150°C 以上时,就须用隔热层加以保护。钢材不耐火,必须根据防火要求采取措施。目前已经开始生产具有一定耐火性能的钢材,是解决问题的一个方向。

1.1.2 钢结构的应用范围

钢结构的合理应用范围不仅取决于钢结构本身的特性,还受到国民经济发展情况及设计、建造技术水平的制约。随着我国国民经济的不断发展和科学技术的进步,钢结构在土建工程中的应用范围日益扩大。主要包括以下几个方面。

1. 大跨度结构

结构跨度越大,自重在全荷载中所占比重也就越大,减轻自重可以获得明显的经济效益;从另一方面,结构跨度越大,对结构材料的质量要求也越高。由于钢结构强度高而质量轻,很适合建造大跨度桥梁和大跨度建筑结构。世界各地的大跨度桥梁和建筑大都采用钢结构。1999 年日本建成世界最大跨度的多多罗大桥主跨 890 m ,2001 年我国建成的南京长江二桥——钢箱梁斜拉桥,主跨 628 m 。现在到处都可以看到大跨度的钢结构建筑。

2. 重型工业厂房结构

所谓“重”,就是指车间里吊车的起重质量大(常在 100 t 以上),作业时间长。钢铁企业和重型机械制造企业经常需要重型工业厂房。这些厂房的主要承重骨架往往全部或部分采用钢结构。

3. 高层建筑和高耸结构

高层建筑和高耸结构要求材料轻质高强,所以也适宜采用钢结构。目前我国已建成的最高的建筑钢结构是地上 88 层,地下 3 层的上海金茂大厦,高度为 420 m ;高耸结构包括塔架和桅杆结构,如高压输电线路的塔架、广播和电视发射用的塔架和桅杆等。上海东方明珠电视塔主体采用钢结构,高度达 468 m 。

4. 承受较大动力荷载的结构

由于钢材具有良好的韧性和延性,对抗震能力要求高的结构,及有些产生较大动力作用设备的厂房,如锻压车间,常采用钢结构。

5. 可拆卸的结构

钢结构可以用螺栓或其他便于拆装的手段来连接。需要搬迁的结构,如建筑工地生产和生活用房的骨架,临时性展览馆等,使用钢结构最为适宜。

6. 容器和其他构筑物

用钢板焊成的容器具有密封和耐高压的特点,广泛用于冶金、石油、化工企业中,包括油罐、煤气罐、高炉、热风炉等。此外,经常使用的还有栈桥、管道支架、钻井和采油塔架,以及海上采油平台等其他钢构筑物。

7. 轻型钢结构

使用荷载特别轻的结构跨度虽然不一定大,也适合采用钢结构。冷弯薄壁型钢结构和轻型门式刚架因其轻便和安装迅速,近 20 年来在轻型厂房、大型超市和建材市场大量出现。

随着新的结构形式的出现,钢结构的应用还会进一步扩展。对多层建筑采用钢结构也逐渐成为一种趋势。

1.2 钢结构的极限状态设计方法

1.2.1 钢结构的极限状态

当结构或其组成部分超越某一特定状态就不能满足设计规定的功能要求,此特定状态就称为极限状态。

钢结构的极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。

1. 承载能力极限状态

它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,包括倾覆、强度破坏、疲劳破坏、丧失稳定、结构变为机动体系或出现过度的塑性变形。

2. 正常使用极限状态

它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,出现影响正常使用(或外观)的变形、振动和局部破坏等。

承载能力极限状态绝大多数是不可逆的,一旦发生就导致结构失效,因而必须慎重对待。正常使用极限状态中的变形和振动限制,通常都在弹性范围内,并

且是可逆的。

结构必须满足的功能有以下几点。

- 1) 能承受在正常施工和使用条件下出现的各种作用,包括荷载、地震作用、基础沉降及温度变化等。
- 2) 在正常使用时具有良好的工作性能。
- 3) 在正常维护下具有足够的耐久性。
- 4) 在偶然事件发生时仍能保持必须的稳定性。

1.2.2 概率极限状态设计方法

概率极限状态设计方法是指以概率理论为基础、以结构的极限状态为依据的设计方法。具体地讲:应用概率理论对荷载、材料性能、计算模型和几何参数等各种影响因素进行分析和计算,以确定结构或构件完成其规定功能的可靠度。

结构的可靠度定义为: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。以 R 代表结构的抗力, S 代表荷载对结构的效应,那么

$$Z = R - S$$

就是结构的功能函数,当

$$Z = R - S \begin{cases} > 0 & \text{结构处于可靠状态} & (1-1a) \\ = 0 & \text{结构达到极限状态} & (1-1b) \\ < 0 & \text{结构处于失效状态} & (1-1c) \end{cases}$$

若以 P_r 表示结构的可靠度,则上述定义可表达为

$$P_r = P(Z \geq 0) \quad (1-2a)$$

结构的失效概率记为 P_f ,则有

$$P_f = P(Z < 0) \quad (1-2b)$$

并且

$$P_f = 1 - P_r$$

因此,结构可靠度的计算可以转换为结构失效概率的计算。可靠的结构设计是指使失效概率 P_f 小到可以接受的程度,但并不意味着结构绝对可靠。

结构抗力 R 和荷载效应 S 受荷载、材料性能、几何参数和计算公式精确性等因素的影响,是具有随机性的“基本变量”。设 R 和 S 都是正态随机分布。那么, $Z = R - S$ 也是正态随机变量。以 μ 代表平均值,以 σ 代表标准差,则根据平均值和标准差的性质可知

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_S \quad (1-3)$$

$$\sigma_Z^2 = \sigma_R^2 + \sigma_S^2 \quad (1-4)$$

已知结构的失效概率表达为

$$P_f = P(Z < 0)$$

由于标准差都取正值,上式可改写成

$$P_i = P\left(\frac{Z}{\sigma_Z} < 0\right)$$

$$P_i = P\left(\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z} < -\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right) \quad (1-5)$$

因为 $\frac{Z - \mu_Z}{\sigma_Z}$ 服从标准正态分布, 所以又可写成

$$P_i = \Phi\left(-\frac{\mu_Z}{\sigma_Z}\right)$$

$\Phi(\dots)$ 为标准正态分布函数。

$$\text{令: } \beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z}$$

并用式(1-3)和(1-4)的值代入, 则有

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_S}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_S^2}} \quad (1-6)$$

式(1-5)成为

$$P_i = \Phi(-\beta) \quad (1-7)$$

因为是正态分布

$$P_r = 1 - P_i = \Phi(\beta) \quad (1-8)$$

由以上两式可见, β 和 P_i 具有数值上的一一对应关系。已知 β 后即可由标准正态分布函数值的表中查得 P_i 。图 1-1 和表 1-1 都给出了 β 与 P_i 之间的对应关系。图中 $f_Z(Z)$ 是 Z 的概率密度函数, 阴影面积的大小就是 P_i 。由于 β 越大 P_i 就越小, 也就是结构越可靠。因此, 称 β 为可靠性指标。《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068—2001 规定各类构件的可靠指标见表 1-1。

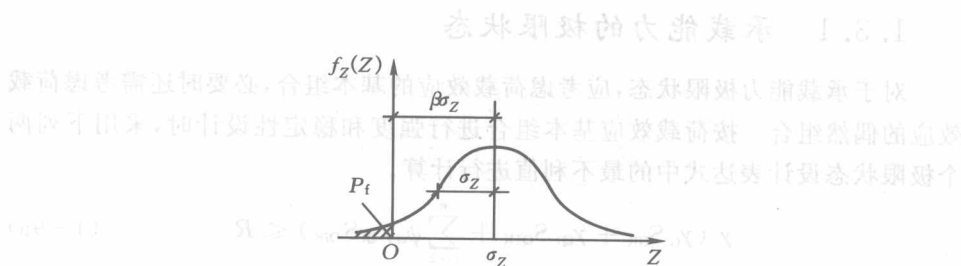


图 1-1 β 与 P_i 之间的对应关系

表 1-1 结构构件承载力极限状态设计时采用的可靠指标 β 值和失效概率 P_f 值

安全等级 破坏类型	一级		二级		三级	
	β	P_f	β	P_f	β	P_f
延性破坏	3.7	1.08×10^{-4}	3.2	6.87×10^{-4}	2.7	3.47×10^{-3}
脆性破坏	4.2	1.33×10^{-5}	3.7	1.08×10^{-4}	3.2	6.87×10^{-4}

以上曾假定 R 和 S 都服从正态分布。实际上结构的荷载效应多数不服从正态分布,结构的抗力一般也不服从正态分布。然而对于非正态的随机变量可以作当量正态变换,找出它的当量正态分布的平均值和标准差,就可以按照正态随机变量一样对待。

1.3 钢结构设计的基本规定

进行结构设计就是要保证实际结构的可靠指标值 β 等于或大于规定的限值(表 1-1)。

建筑结构设计时,应根据其破坏后可能产生的后果(危及人的生命、造成经济损失、产生社会影响等),采用不同的安全等级。

民用建筑钢结构的安全等级可按现行《民用建筑设计通则》JGJ37—87 划分。一般情况下,重要的工业与民用建筑物(如影剧院、体育馆、高层建筑等)划分为一级,一般的工业与民用建筑物划分为二级,次要的建筑物则划分为三级。

为使计算简便,统一标准规定的设计方法是对 β 值的控制等效地转化为以分项系数表达的设计表达式。建筑钢结构设计采用承载能力和正常使用两种极限状态下的分项系数表达式。

1.3.1 承载能力的极限状态

对于承载能力极限状态,应考虑荷载效应的基本组合,必要时还需考虑荷载效应的偶然组合。按荷载效应基本组合进行强度和稳定性设计时,采用下列两个极限状态设计表达式中的最不利值进行计算。

$$\gamma_0(\gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{QiK}) \leq R \quad (1-9a)$$

$$\gamma_0(\gamma_G S_{GK} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} S_{QiK}) \leq R \quad (1-9b)$$

式中: γ_0 为结构重要性系数。安全等级为一级时,取 1.1;二级时,取 1.0;三级时,取 0.9; γ_G 为永久荷载分项系数。一般情况下,对式(1-9a)取 1.2,对式(1-9b)取 1.35。但是当永久荷载效应对承载能力有利时,不应大于 1.0; γ_{Qi} 为第 i

个可变荷载的分项系数。一般情况下可采用 1.4, 但是当可变荷载效应对承载力有利时, 应取为 0。各项可变荷载中, 在结构构件或连接中产生应力最大者为第一个可变荷载; S_{GK} 为永久荷载标准值的效应; $S_{Q_{iK}}$ 为在基本组合中起控制作用的第 i 个可变荷载标准值的效应; ψ_{ci} 为第 i 个可变荷载的组合值系数, 其值不应大于 1.0, 按荷载规范的规定采用; R 为结构构件的抗力函数。

对于一般排架、框架结构, 式(1-9a)可采用下列简化的设计表达式

$$\gamma_0(\gamma_G S_{GK} + \gamma_{Q1} S_{Q1K} + \psi \sum_{i=2}^n \gamma_{Qi} S_{QiK}) \leq R \quad (1-10)$$

式中: ψ 为简化设计表达式中采用的荷载组合系数, 一般情况下取 $\psi=0.9$; 当只有一个可变荷载时取 $\psi=1.0$ 。

式(1-9a)、式(1-9b)和式(1-10)适用于荷载的基本组合情况。对于荷载的偶然组合, 应按照相关的专门规范进行计算。

1.3.2 正常使用的极限状态

对于正常使用的极限状态, 钢结构设计主要是控制变形。如梁的挠度、柱顶的水平位移、高层建筑层间相对水平位移等。按正常使用极限状态计算时, 应根据不同情况按荷载标准组合、频遇组合及准永久组合进行计算, 详细情况参见《钢结构设计规范》GB50017—2003。

1.4 钢结构的发展

随着人类社会在经济和科学技术方面的不断发展和进步, 在钢结构领域也取得了不少新的进展。

钢材的发展是钢结构发展的前提条件, 钢结构用钢材的主要发展方向是提高强度, 改善钢材的性能和降低材料成本, 以满足不同使用目标和使用条件结构的要求。

国内外在高性能钢材的应用方面取得不少新进展, 其中包括高强度高性能钢、低屈服点钢和耐火钢的开发和应用等。我国新修订的钢结构设计规范中增列了性能优良的 Q420 钢, 该钢材(15MnVN)已成功地应用在九江长江大桥的建设中。另外我国冶金部门制订了行业标准 YB 4104—2000《高层建筑结构用钢板》, 该钢板是专门供高层建筑和其他重要建(构)筑物用来生产厚板焊接截面构件的。我国正在试生产屈服点达到 100 N/mm^2 的低屈服点钢材, 可用于抗震结构的耗能部件。正在开发耐火钢, 该钢即使加热到 600°C 也能保持常温 $2/3$ 以上的强度。

日本已开发出 LY225 钢, LY100 钢等低屈服点钢和耐火钢(FR 钢)。美国

提高制造安装技术水平和降低成本也是促进钢结构发展的重要因素。随着材料的发展、新的结构形式的出现和设计水平的提高,对制造安装技术水平也会提出更高的要求。

圖 2-1 鋼的拉伸試驗曲線 (a) 鋼的拉伸試驗曲線 (b) 鋼的拉伸試驗曲線 (c) 鋼的拉伸試驗曲線 (d) 鋼的拉伸試驗曲線

第 2 章

鋼結構的材料

2.1 鋼結構對材料的要求

鋼材的用途非常廣泛,用途不同,所需鋼材性能也不相同。用作鋼結構的鋼材必須具有下列性能。

1. 較高的強度

抗拉強度 f_u 和屈服點 f_y 比較高。屈服點高可以減小截面,從而減輕自重,節約鋼材,降低造價。抗拉强度高,可以增加結構的安全保障。

2. 足夠的變形能力

塑性和韌性性能好。塑性好是指鋼材破壞前有足夠大的變形,從而可減少脆性破壞的危險性,還能調整結構內力和截面應力分布,使之趨於平緩。韌性好則指鋼材在動荷載作用下能吸收比較多的能量,同樣也降低脆性破壞的危險。對承受動載和地震地區的结构,鋼材的變形能力是非常重要的。

3. 良好的加工性能

可進行切割、沖壓、鑽孔和焊接等冷、熱加工,並不因這些加工而對材料性能產生較大影響。

4. 良好的耐久性和適應環境的能力

能適應溫度變化、有害介質侵蝕(包括大氣銹蝕),適應不同的荷載特點及可能出現的其他環境條件,並在足夠長的時間內材料性能不發生較大變化。

2.2 鋼材的主要性能

2.2.1 鋼材在單向均勻受拉時的工作性能

鋼材在單向均勻受拉時的工作性能是指標準試件在常溫、靜載條件下,按規定的操作程序進行的一次拉伸試驗所表現出的性能。

低碳钢和低合金钢的应力-应变曲线如图 2-1 所示,主要力学性能指示如下。

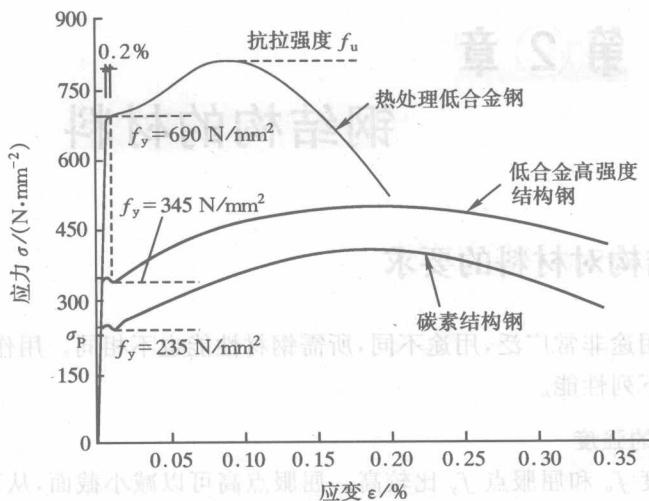


图 2-1 钢材的一次拉伸应力-应变曲线

比例极限 σ_p 应力不超过 σ_p 时,材料处于弹性阶段。应力与应变成正比关系,由于与弹性极限非常接近, σ_p 也可以看作弹性极限。

屈服点 f_y 比例极限以后,材料处于弹塑性阶段;到达屈服点 f_y 后,应力保持不变而应变持续发展,材料处于塑性流动阶段;在实际实验中,屈服开始时的曲线下波动,波动最高点称为上屈服点,最低点称为下屈服点。以下屈服点作为材料强度的标准。实际应用时由于 f_y 对应的应变(约为 0.15%)与 σ_p 对应的应变(约为 0.1%)比较接近,可认为 f_y 是弹性变形的极限;对于没有明显屈服点的钢材,规定永久应变 $\epsilon=0.2\%$ 时对应的应力为名义屈服点,统一用 f_y 表示。

抗拉强度 f_u 屈服变形后,钢材的强度又有所提高,此为材料的应变硬化阶段。 f_u 对应于曲线的最高点,是钢材能承担的最大应力。当应力到达 f_u 后试件出现局部横向收缩变形,然后断裂。 f_u 与 f_y 的差值可作为钢材的强度储备。在塑性设计中,允许钢材发展较大塑性以充分发挥效能,这种强度储备尤为重要。强度储备的大小常用 f_u/f_y 表示,称其为强屈比。

伸长率 δ_{10} 或 δ_5 伸长率是断裂前试件的永久变形与原标定长度的百分比。取圆形试件直径 d 的 10 倍或 5 倍为标定长度,其相应的伸长率用 δ_{10} 或 δ_5 表示,伸长率代表材料断裂前具有的塑性变形的能力。这种能力使材料能经受制造时剪切、冲压、弯曲及锤击所产生的变形而无明显损坏,也保证结构在使用