



高等院校网络教育精品教材

—— 土木工程类

钢结构 设计原理

GANGJIEGOU
SHEJI YUANLI

荣国能 编



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

高等院校网络教育精品教材——土木工程类

钢结构设计原理

荣国能 编

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

钢结构设计原理 / 荣国能编. —成都: 西南交通大学出版社, 2011.1 (2012.2 重印)

高等院校网络教育精品教材. 土木工程类

ISBN 978-7-5643-1001-1

I. ①钢… II. ①荣… III. ①钢结构—结构设计—
远距离教育—教材 IV. ①TU391.04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 251512 号

高等院校网络教育精品教材——土木工程类

钢结构设计原理

荣国能 编

责任编辑 张 波

封面设计 墨创文化

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都勤德印务有限公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm × 260 mm 印张: 13.25

字数: 329 千字

2011 年 1 月第 1 版 2012 年 2 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-5643-1001-1

定价: 24.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本教材是根据教育部 1996 年高等学校新专业目录,面向土木工程大类并针对网络教育特点编写的。教材力求重点介绍钢结构设计的基本概念、原理和方法,教材面对的主要对象是网络教育土木工程大类的学员(有与教材配套的课件),也可供土木工程大类专业学员参考。

钢结构本是技术性很强的专业课,钢结构设计原理的重点在原理,也就是思路和方法。由于钢结构在实际工程中应用比较广,在土木工程范围内也有工民建、桥梁等多个专业方向,涉及不同的行业及国家规范。不同规范的具体规定不同,本教材的重点就是要学员清楚地知道为什么规范要这样规定,并以国家规范(GB50017—2003)为例进行介绍,以学会钢结构设计的基本概念、原理和方法,至于具体规定,应根据工程实际,按相应现行规范进行。

本教材编写前已根据彭伟主编的《钢结构设计原理》教材制作课件,为了尽可能使用原先制作的课件,本教材在整体布局方面与彭伟主编的教材一致(当然具体的讲解思路和细节有很大的不同),在此,谨对该教材作者表示感谢!

由于编者水平有限,本教材存在不足之处在所难免,欢迎读者及同仁批评指正。

编 者

2011 年 1 月

目 录

1 概 述	1
1.1 钢结构的特点及应用	2
1.2 钢结构的设计方法	5
1.3 钢结构的设计要求	8
1.4 钢结构的发展方向	9
本章小结	11
2 钢结构的材料	12
2.1 钢结构对钢材性能的要求	13
2.2 钢结构材料的主要力学性能	13
2.3 影响结构钢材力学性能的主要因素	18
2.4 复杂应力作用下结构钢材的屈服强度	22
2.5 钢材的破坏形式	23
2.6 结构钢材的种类、规格及其选用	27
本章小结	29
3 钢结构的连接	31
3.1 连接的分类及特点	32
3.2 对接焊缝连接设计	38
3.3 角焊缝连接设计	43
3.4 焊接残余应力和焊接残余变形	58
3.5 普通螺栓连接	63
3.6 高强度螺栓连接	77
本章小结	81
4 轴心受力构件	83
4.1 概 述	84
4.2 轴心受拉构件	85
4.3 实腹式轴心受压构件	87
4.4 格构式轴心受压构件	105
4.5 柱头和柱脚设计	119
本章小结	133

5 受弯构件——梁	135
5.1 概 述	136
5.2 梁的强度和刚度	140
5.3 梁的扭转	147
5.4 梁的整体稳定	151
5.5 梁的局部稳定和加劲肋设计	157
5.6 钢梁的设计	165
本章小结	170
6 拉弯和压弯构件	172
6.1 概 述	173
6.2 拉弯、压弯构件的强度和刚度	173
6.3 实腹式压弯构件的整体稳定	175
6.4 实腹式压弯构件的局部稳定	177
本章小结	179
附录	180
参考文献	205

概 述

【学习指导】

1. 学习目标

- (1) 理解钢结构的特点。
- (2) 理解钢结构的应用。
- (3) 了解钢结构的设计方法。
- (4) 了解钢结构的设计要求。
- (5) 了解钢结构的发展方向。

2. 学习建议

(1) 学习时间：

- 1.1 建议学习时间：20 min
- 1.2 建议学习时间：30 min
- 1.3 建议学习时间：5 min
- 1.4 建议学习时间：20 min

(2) 学习方法：

- ① 学习前预习第一章第一节、第二节、第四节的内容。
- ② 点播学习网络课程第一章第一节、第二节、第四节的内容。
- ③ 参加第1次在线导学直播。
- ④ 阅读参考资料中列出的至少两项资料。

3. 学习重难点

- (1) 钢结构的特点及应用。
- (2) 钢结构的发展方向。

钢结构由于具有强度高、自重轻、施工速度快、抗震性能好等优点，仅从技术层面讲，是结构工程中最优秀的结构。

钢结构的发展和应用与我国的国情同步，古代在使用金属结构方面曾领先于世界，近代停滞不前，新中国成立后特别是改革开放后，一方面因为钢产量的大幅增加，另一方面由于大跨度结构、高耸结构的广泛应用，我国钢结构得到了快速的发展。随着我国城市化的快速发展以及我国钢产量跃居世界前列，建筑钢结构在综合经济效益方面和抗震能力上的优点，正逐渐获得人们普遍的共识，发展钢结构已成为工程建设的一项基本政策，这些给钢结构事业的发展带来了莫大的机遇。为了抗风、抗震，减小结构占用面积，降低基础费用，缩短建筑工期，钢结构将成为工程结构中无可争议的优秀结构类型。

1.1 钢结构的特点及应用

1.1.1 钢结构的特点

钢结构是以钢材（钢板和型钢等）制作的结构。在工程中钢结构得到广泛应用和发展，是由于钢结构与其他结构相比具有下列特点。

1. 强度高、自重轻、跨度大

钢的重度虽然较大（约为钢筋混凝土重度的 3 倍），但强度却高得更多（是混凝土强度的 10 倍以上），与其他建筑材料相比（比如钢筋混凝土），钢材的重度与屈服点的比值最小。在相同的荷载和约束条件下，采用钢结构时，结构构件的截面尺寸小很多，所以自重较轻。在承受总荷载相同的情况下，由于自重轻，所以抵抗外荷载的能力增加；在外荷载相同情况下，结构的跨越能力（跨度）大。

2. 钢材材质均匀、可靠性高

钢材的内部组织均匀，非常接近匀质体，其各个方向的物理力学性能基本相同，接近各向同性体。且在一定的应力范围内，处于理想弹性工作状态，符合工程力学所采用的基本假定。因此，钢结构的计算方法可根据力学原理进行，计算结果较准确、可靠。

需要指出的是：这里所说的可靠性与安全可靠是两回事。只要承载能力高于实际承受的荷载就安全，但可以高很多，可以不准确。而这里所说的可靠性是指既要保证安全，计算的承载力与实际承载力又较为吻合。

3. 钢材的塑性和韧性好

钢材质地均匀，有良好的塑性和韧性。由于钢材的塑性好，钢结构在一般情况下不会因偶然超载或局部超载而突然断裂破坏；钢材的韧性好，则使钢结构对动荷载的适应性较强。良好的吸能能力和延性还使钢结构具有优越的抗震性能。钢材的这些性能对钢结构的安全可靠提供了充分的保证。

4. 工业化程度高

钢结构构件在工厂成批大量生产,便于机械化制造,生产效率高、速度快,成品精确度较高,质量易于保证,是工程结构中工业化程度最高的一种结构。采用工厂制造、工地安装的施工方法,可缩短周期、降低造价、提高经济效益。

5. 钢材具有可焊接性

钢材具有的可焊接性是其他建筑材料所不及的。当然,焊接时产生很高的温度,温度分布很不均匀,结构各部位的冷却速度也不同。因此,不但在高温区(焊缝附近)材料性质有变差的可能,而且还产生较高的焊接残余应力,使结构中的应力状态复杂化。

6. 密封性好

钢材的不渗漏性适用于密闭结构。钢材本身因组织非常致密,当采用焊接连接,甚至铆钉或螺栓连接时,都易做到紧密不渗漏。因此钢材是制造容器,特别是高压容器、大型油库、气罐、输油管道的良好材料。

7. 安装、拆除方便

钢结构构件现场拼装、拆除方便。拆除后的构件还可以用做它途,所以,钢结构也适合于临时性结构。

8. 耐热性较好、耐火性差

实验证明,钢材从常温到 250°C 时,性能变化不大;温度达到 300°C 以后,强度逐渐下降;达到 $450\sim 650^{\circ}\text{C}$ 时,强度降为零,完全失去承载力。因此,钢结构的防火性较钢筋混凝土结构差。当耐火要求较高时,需要采取保护措施,如在钢结构外面包混凝土或其他防火板材,或在构件表面喷涂一层含隔热材料和化学助剂等的防火涂料,以提高耐火等级。但这样处理既提高了造价,又增加了结构所占的空间。

9. 耐锈性差

钢材易于锈蚀,应采取防护措施。钢材在潮湿环境中,特别是处于有腐蚀性介质的环境中容易锈蚀,必须用油漆或镀锌加以保护,而且在使用期间还应定期维护。这就使钢结构的维护费用比钢筋混凝土结构高。

1.1.2 钢结构的应用

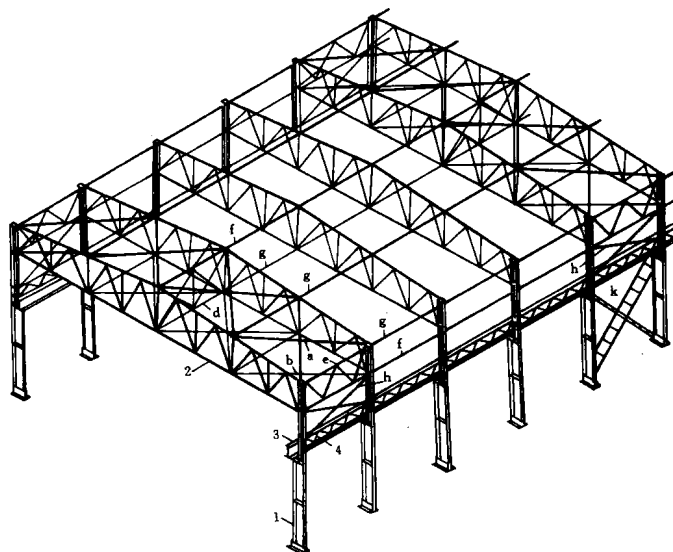
钢结构的应用应考虑两方面:一方面是技术上,应充分利用其优点,避开其缺点;另一方面是经济政策,我国虽然是钢产量大国,但人均占有率很低,应考虑节约的问题。所以,钢结构的合理应用范围如下。

1. 大跨度结构、高耸结构、重型工业厂房

大跨度结构、高耸结构、重型工业厂房主要利用钢结构强度高、自重轻、跨度大的特点。

(1) 重型工业厂房。

重型工业厂房跨度和柱距都比较大，应采用钢结构。如图 1.1 所示的单层单跨厂房骨架就是钢结构。



1—柱；2—屋架；3—吊车梁；4—吊车制动桁架；a~g—屋架支撑；h、k—柱间支撑

图 1.1 单层单跨厂房骨架

(2) 重级工作制吊车梁或大吨位吊车梁。

《起重机设计规范》规定吊车工作级别为 A1 ~ A8 级。其中 A1 ~ A3 级对应于轻级工作制，A4 ~ A5 级对应于中级工作制，A6 ~ A7 级对应重级工作制，A8 级为特重级工作制。对 A6 ~ A8 重级、特重级工作制吊车梁，宜采用钢吊车梁。

(3) 大跨度桥梁。

结构的跨度越大时，减轻结构自重就有明显的经济效益。与其他结构相比，钢结构轻质高强，具有很大的跨越能力（跨度）。

(4) 高耸结构和高层建筑。

高耸结构包括高压输电线路塔、广播电视发射塔架和桅杆等，这些结构主要承受风荷载，采用钢结构除了减轻自重外，还减小了构件的尺寸，从而减小受风面积，因而减小风荷载。图 1.2 为巴黎埃菲尔铁塔。

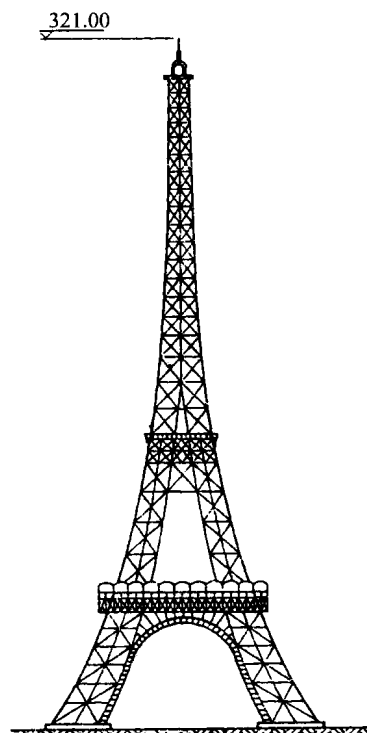


图 1.2 巴黎埃菲尔铁塔

2. 大型容器和大直径管道

用于要求密闭的容器，如大型储液库、煤气库等炉壳；要求能承受很大内力，另外温度急剧变化的高炉结构、大直径高压输油管和煤气管道等均采用钢结构。大型容器和大直

径管道主要用其密封性好、强度高和自重轻的特点。

3. 可拆卸和移动结构

流动式展馆和活动房屋等,最宜采用钢结构。钢结构重量轻,便于搬迁;采用螺栓连接时,便于安装和拆卸。建筑机械为了减轻自重,必须采用钢结构。

4. 其他建筑物

运输通廊、栈桥、各种管道支架,甚至人行天桥等,通常采用钢结构。

【常见问题】

(1) 钢结构的主要优缺点有哪些?

(2) 结合我国的技术、经济政策,试述钢结构的主要应用范围。

1.2 钢结构的设计方法

1.2.1 概 述

在进行钢结构设计时,除必须使结构在预定的使用期限内满足预定的各种功能外,应做到技术先进、经济合理及确保质量。

1. 容许应力法

容许应力法是一种传统设计方法,它是根据拟定的结构方案和构造,按所承受的荷载进行内力计算,确定出各杆件的内力,再根据所用材料的特性,计算最不利应力,并要求该应力不超过最大强度除以一个笼统的安全系数后的所谓容许应力。其表达式为

$$\sigma \leq \frac{f_y}{K} = [\sigma] \quad (1.1)$$

式中 f_y ——钢材的屈服强度;

K ——安全系数。

这种方法的优点是表达式简洁,计算比较简单。但它把影响结构的所有因素都当成确定量,最后用一个笼统的、经验性的安全系数来概括考虑计算方法本身没考虑到的一切因素和变异,从而使整个结构往往由安全度最小的构件控制,对其他构件,无疑将造成巨大浪费。

2. 极限状态法

实际上,无论是结构方案、构造,还是荷载、材料强度,甚至施工质量等都很难完全与设计情况一致,应该是随机变量。极限状态法正是将影响结构可靠性的各种参数作为随机变量,用概率论和数理统计方法进行分析,采用可靠度理论,求出结构在使用期间应满足预定

功能要求的概率。

结构的极限状态是指整个结构或结构的某一部分达到一特定状态，超过此特定状态就不能满足设计规定的某一功能的要求。

极限状态法将满足不同功能要求分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两大类：

(1) 承载能力极限状态。

承载能力极限状态对应于结构或构件到达最大承载力或出现不适合于继续承受荷载的变形，包括强度破坏、疲劳破坏、丧失稳定、连接破坏、倾覆、滑移、结构变为机动体系等。超过承载能力极限状态的后果十分严重，对人们的生命财产威胁很大，所以承载能力极限状态的计算应留较大的安全储备。

(2) 正常使用极限状态。

正常使用极限状态对应于结构或构件达到正常使用或耐久性能的某项规定的限值，包括出现影响正常使用或影响外观的变形，出现影响正常使用的振动以及影响正常使用或耐久性的局部破坏。超过正常使用极限状态的后果不是十分严重，峰值荷载过后变形还可部分恢复，也可以进行加固维修。所以正常使用极限状态的计算应留较小的安全储备。

需要指出的是：两种极限状态的不同安全储备在规范中已考虑，不要造成正常使用极限状态不重要的错觉。正常使用极限状态的验算仍然要满足规范要求。

1.2.2 极限状态法

1. 结构的作用与作用效应

作用是指施加在结构或构件上的荷载（直接作用），以及引起结构约束的原因，如地基不均匀变形等（间接作用）。它是广义的荷载，本教材以后作用和荷载不加区别。

作用效应（用 S 来表示）是指作用在结构或构件上引起的内力（如弯矩、剪力、轴向力、扭矩等），作用（荷载）效应 S 与荷载 Q 之间的关系为

$$S = CQ \quad (1.2)$$

式中 C ——荷载效应系数，如 S 为匀布荷载 Q 作用下简支梁的跨中弯矩，则 $C = \frac{l^2}{8}$ 。

2. 结构抗力

结构抗力是指在材料、截面尺寸已定的情况下，结构或结构构件所具有的抵抗相应作用效应的能力，用 R 来表示。它与材料强度、截面尺寸等有关。

3. 失效概率及可靠指标

由于荷载、材料强度是随机变量，根据概率论知，荷载效应 S 、结构抗力 R 也是随机变量。若令 $z = R - S$ 称为结构余力，则 z 也是随机变量，它应服从某种分布，如图 1.3 所示。

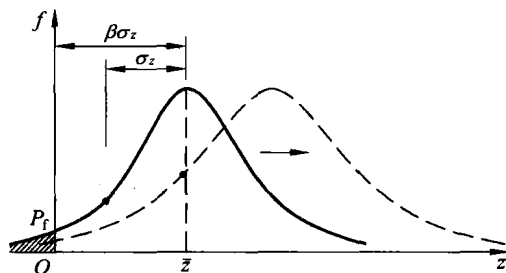


图 1.3 失效概率及可靠指标

不难发现:

当 $z < 0$, 即 $R < S$ 时, 结构处于失效状态, 失效概率用 P_f 表示;

当 $z = 0$, 即 $R = S$ 时, 结构处于极限状态;

当 $z > 0$, 即 $R > S$ 时, 结构处于可靠状态。

从图 1.3 可以看出, 如果能够将图 1.3 中的实线向虚线平移, 结构的失效概率将降低, 可靠概率将增加。即 β 将增加, β 称为结构可靠度指标, 它是平均值 $\bar{z}$ 与标准差 σ_z 的比值。

实际工程中能否实现上述平移呢? 显然, 增大构件截面尺寸和提高材料强度可以提高构件的结构抗力 R , 即实现上述平移。

表 1.1 可靠性指标 β 和相应的失效概率 P_f

破坏类型	安全等级		
	一级	二级	三级
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 (1.34×10^{-5})	3.7 (1.08×10^{-4})	3.2 (6.87×10^{-4})

要求失效概率不过高, 就等于要求结构可靠度指标不过低。规范关于各种安全等级、各种破坏类型的失效概率 P_f 及相应的结构可靠度指标 β 见表 1.1。

4. 极限状态法设计表达式

为应用方便并符合人们长期以来的习惯, 规范给出了概率极限状态为基础的实用的设计表达式。

(1) 承载能力极限状态表达式。

对承载能力极限状态, 应考虑荷载效应的基本组合和在偶然情况下荷载效应的必要组合。钢结构设计用应力表达, 采用钢材强度设计值, 按荷载效应的基本组合进行, 强度和稳定设计时, 有如下极限状态表达式:

① 可变荷载效应控制的组合

$$\gamma_0 \left(\gamma_G \sigma_{Gk} + \gamma_{Q1} \sigma_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} \sigma_{Qik} \right) \leq \frac{f_y}{\gamma_R} = f \quad (1.3a)$$

② 永久荷载效应控制的组合

$$\gamma_0 \left(\gamma_G \sigma_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{ci} \gamma_{Qi} \sigma_{Qik} \right) \leq \frac{f_y}{\gamma_R} = f \quad (1.3b)$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数, 当安全等级为一、二、三级时分别取为 1.1, 1.0, 0.9;
 γ_G ——永久荷载分项系数, 对式(1.3a)一般取 1.2, 对式(1.3b)一般取 1.35; 当荷载效应对结构有利时, 取 1.0, 对抗倾覆和滑移有利时取 0.9;
 γ_{Q1}, γ_{Qi} ——分别为第 1 个和第 i 个可变荷载的分项系数, 一般情况下取 1.4, 当楼面活载大于 4 kN/m^2 时取 1.3;
 $\sigma_{Q1k}, \sigma_{Qik}$ ——分别为第 1 个和第 i 个可变荷载标准值计算的可变荷载效应值;
 σ_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的永久荷载效应值;
 ψ_{ci} ——第 i 个可变荷载的组合系数, 一般情况下, 当无风荷载参与组合时取 1.0, 有风荷载参与组合时取 0.6;
 γ_R ——结构抗力分项系数。

(2) 正常使用极限状态设计表达式。

对正常使用极限状态, 钢结构或构件仅考虑荷载效应标准组合。其表达式为

$$\nu_{Gk} + \nu_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} \nu_{Qik} \leq [\nu] \quad (1.4)$$

式中 ν_{Gk} ——永久荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值;
 ν_{Q1k} ——起控制作用的第 1 个可变荷载的标准值在结构或结构构件中产生的变形值 (该值使计算结果为最大);
 ν_{Qik} ——第 i 个可变荷载标准值在结构或结构构件中产生的变形值;
 $[\nu]$ ——结构或结构构件的容许变形值。

对于轴心受力和偏心受力构件, 正常使用极限状态用构件的长细比 $\lambda = l_0 / i$ 来保证, 以免构件过细, 易于弯曲和动载作用下过度颤动, 对构件和连接的工作不利。验算公式为

$$\lambda = l_0 / i \leq [\lambda] \quad (1.5)$$

式中 $[\lambda]$ ——构件的容许长细比, 按规范规定采用;

l_0 ——构件的计算长度;

$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$ ——构件的截面回转半径, I 和 A 分别是截面惯性矩和截面面积。

【常见问题】

(1) 极限状态法按预定功能划分为哪几种极限状态?

(2) 极限状态法的主要优点有哪些?

1.3 钢结构的设计要求

钢结构设计时应满足下列基本要求:

- (1) 安全性;
- (2) 适用性和耐久性;
- (3) 经济性。

为了实现上述设计要求, 应掌握各种荷载的特性和量值以及它们应有的组合, 具备合理选择钢材和连接材料的能力, 能选用最优结构方案和最先进的设计方法, 使钢结构设计做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。此外, 还要总结、创造和推广先进的制造工艺和安装技术, 任何脱离施工的设计都不是成功的设计。

1.4 钢结构的发展方向

由于钢结构本身在技术方面的优点, 加上我国现代化建设的加速发展和钢产量的持续增加, 钢结构的应用将会有很大发展。这就要求不断提高钢结构领域的科学技术水平, 重视新型钢结构的推广与应用。

1. 高效能钢材的研制和应用

高效能钢材的含义包括两个方面: 一是研制出强度较高而性能又好的钢材; 二是采用各种有效措施, 提高钢材的有效承载力, 更好地发挥钢材的使用效果, 从而节约钢材, 如改进截面形式等。

我国目前已较普遍采用 16 锰钢 (屈服强度为 345 MPa), 15 锰钒钢和 15 锰钛钢 (屈服强度为 390 MPa) 已开始应用。日本、美国、俄罗斯等都已把屈服点为 700 MPa 以上的钢列入了规范, 如何开发研制高强度钢并合理应用是一个重要课题。

普通钢材的耐腐蚀性差, 需要油漆防腐, 这是钢结构尤其是薄壁钢结构的弱点。近年来, 国外研制出一种耐腐蚀钢, 价格虽比普通钢材高 20%~40%, 但抗腐蚀性强, 不需油漆保护。日本和美国都已大量用于沿海工程中。我国也已研制并生产出耐腐蚀钢, 用于铁路货车车厢, 使车厢由过去 5~7 年需更换的大修期提高到 12 年以上, 节约了大量钢材。今后在提高钢材强度、增加抗腐蚀性方面, 应继续开展研制工作, 并将它用于建筑钢结构。

另外, 宽翼缘工字钢 (或称 H 型钢)、方钢管、压型钢板、冷弯薄壁型钢等都能较好发挥钢材的效能, 得到较好的经济效益, 有着广阔的发展前景。

2. 设计理论的深入研究

与容许应力法相比, 采用以概率为基础的极限状态法是先进的设计方法, 但极限状态法本身也有一个发展过程。从半经验半概率, 到现在的近似概率, 到更先进合理的全概率, 还需要做很多工作。

稳定是钢结构设计中的突出问题, 自从欧拉提出轴心受压柱的弹性稳定临界力的计算公式以来, 已有 200 多年。在此期间, 很多学者对各类构件都作了不少理论分析和实验研究工作, 作出了很多贡献, 但仍然还存在不少问题尚未解决或未很好解决。如: 压弯构件的弯扭屈曲、薄板屈曲后强度、各种刚架体系的稳定以及空间结构的稳定等, 所有这些问题需要进

一步研究和完善。

3. 结构形式的创新和应用

(1) 大跨度结构、高层结构和轻型钢结构。

钢结构的优点之一是轻质高强，故宜用于大跨度结构和高层结构。适用于大跨度结构的体系除拱和框架外，有薄壁型钢结构、悬索结构、悬挂结构、网架结构等。

(2) 预应力钢结构。

预应力钢结构有两种：一种是在超静定结构体系中，通过调整支座，使其在结构中产生与使用荷载相反的内力，以减少结构的设计内力，从而达到减少构件截面面积、节省钢材的目的；另一种是在结构外增设高强度钢构件并进行张拉，使结构中产生与荷载应力方向相反的预应力，同样达到减少构件截面面积、节省钢材的目的。

(3) 组合结构。

钢和混凝土组合构件的应用是一个重要的发展方向。钢材抗拉和抗压的强度相同，但受压构件决定于稳定承载力，致使钢材强度得不到充分发挥。混凝土则擅长抗压。如果把钢和混凝土组合起来，形成钢-混凝土组合结构，则可充分发挥两种材料的长处，又互相弥补对方的缺点，获得一种新的结构，如组合梁、钢管混凝土柱、型钢混凝土梁和型钢混凝土柱等（图 1.4）。

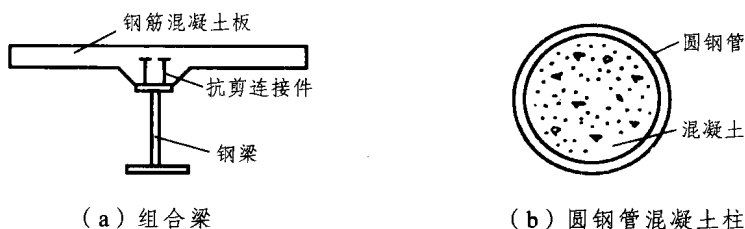


图 1.4 组合结构

图 1.4 (a) 所示的组合梁中，钢筋混凝土板在受压区，钢梁在受拉区，不仅充分发挥了两种材料强度特点，下面的钢梁还成为上面混凝土板施工的支承。

图 1.4 (b) 所示的钢管混凝土，在压力作用下，在荷载达到一定数量以后钢材的泊松比小于混凝土的泊松比，钢管对混凝土之间产生横向约束，使混凝土处于三向受压的应力状态，大大提高了混凝土的抗压强度，改善了其的塑性，提高抗震性能。钢管混凝土在拱桥中的应用，使拱桥重新焕发新生。因为传统的圬工拱桥施工速度慢，完全不适合现代施工要求，而钢管混凝土拱桥施工是先架空管，然后用泵送浇筑混凝土，大大加快了施工进度。

4. 最优化原理的应用

结构优化设计包括确定优化的结构形式和确定优化的截面尺寸。由于电子计算机的逐步普及，促使结构优化设计得到相应的发展。我国编制的钢吊车梁标准图集，就是根据耗钢量最小的条件写出目标函数，把强度、稳定、刚度等一系列设计要求作为约束条件，用计算机解得优化的截面尺寸，比过去的标准设计节省钢材 5%~10%。优化设计已逐步推广到塔桅结构、网架结构设计等各个方面。

此外，钢结构防锈对薄壁型钢和轻钢结构有重要意义，H 型钢和压型钢板的采用亦在钢

结构中取得显著成效,近年来,在这几方面的研究工作已取得一定的进展。

【常见问题】

钢管混凝土柱的优点是什么?

本章小结

【重点再现】

(1) 钢结构的优点中最大的优点是钢材的强度高,并由此衍生自重轻、跨度大。然后才是其他优点。

(2) 钢结构的缺点是耐火性能和耐锈蚀性能差。

(3) 钢结构应用的原则是充分利用其优点。

(4) 钢结构设计的主体方法是极限状态法。极限状态按预定功能要求不同分为承载能力极限状态和正常使用极限状态。

(5) 荷载的基准值是标准值,它主要用于正常使用极限状态的计算。

(6) 材料强度的基准值是材料强度标准值。

(7) 承载能力极限状态所用荷载为荷载的设计值,材料强度为材料强度设计值。荷载设计值为其标准值与荷载分项系数(分为永久荷载分项系数和可变荷载分项系数两种)的乘积;材料强度设计值为材料强度标准值除以材料分项系数。

(8) 钢结构的发展方向中,结构形式的创新和应用对结构工程师来说比较现实。其中的钢管混凝土具有施工方便和提高混凝土强度的优点。

【典型例题分析】

钢管混凝土中,为什么混凝土的强度能提高?

答:钢管混凝土中,混凝土强度提高的原因是钢管对混凝土横向膨胀有套箍作用。当钢管柱纵向受压时,钢管和混凝土都纵向压缩,同时,也都横向膨胀。在低应力状态,由于混凝土的泊松比小于钢管的泊松比,即混凝土的横向膨胀小于钢管的横向膨胀,这时,钢管对混凝土没有横向约束作用,不能提高混凝土强度。但在高应力状态下,混凝土的泊松比大于钢管的泊松比,即混凝土的横向膨胀大于钢管的横向膨胀,钢管对混凝土形成套箍作用,混凝土处于三向受压应力状态,所以,强度明显提高。

【本章术语】

极限状态 承载能力 正常使用 荷载标准值 荷载设计值 材料强度标准值
材料强度设计值 结构抗力 荷载(作用)效应