



PUTONG GAODENG YUANXIAO
SHIERWU TUMUGONGCHENG LEI GUIHUA XILIE JIAOCAI
普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

钢结构设计原理 学习辅导与习题集

GANGJIEGOU SHEJI YUANLI XUEXI FUDAO YU XITIJI

主 编 李燕强



西南交通大学出版社

GANGJIEGOU SHEJI YUANLI XUEXI FUDAO YU XITIJI



PUTONG GAODENG YUANXIAO
SHIERWU TUMUGONGCHENG LEI GUIHUA XILIE JIAOCAI
普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

钢结构设计原理 学习辅导与习题集

GANGJIEGOU SHEJI YUANLI XUEXI FUDAO YU XITIJI

主 编 李燕强

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书为普通高等院校土木工程专业课程“钢结构设计原理”的学习辅导书,内容主要包括:钢结构的特点、设计方法,钢结构材料,钢结构连接的设计与计算(焊缝连接与螺栓连接),钢结构基本构件的设计与计算(轴心受力构件、受弯构件、拉弯和压弯构件)。每章均由重点内容提要、习题和习题答案组成。

本书可作为高等院校土木工程专业学生的学习辅导与自测练习书,也可作为相关专业技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

钢结构设计原理学习辅导与习题集 / 李燕强主编.
—成都:西南交通大学出版社,2014.9

普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材
ISBN 978-7-5643-3376-8

I. ①钢… II. ①李… III. ①钢结构—结构设计—高等学校—教学参考资料 IV. ①TU391.04

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第204606号

普通高等院校“十二五”土木工程类规划系列教材

钢结构设计原理学习辅导与习题集

李燕强 主编

责任编辑	曾荣兵
封面设计	何东琳设计工作室
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路146号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	9.75
字 数	267 千字
版 次	2014年9月第1版
印 次	2014年9月第1次
书 号	ISBN 978-7-5643-3376-8
定 价	20.00 元

课件咨询电话:028-87600533

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

“钢结构设计原理”是土木工程专业的主干课程，也是专业基础课。这门课程具有很强的实践性，对学生分析问题的能力、动手计算的能力要求高。它还有其他的明显特点：内容多，知识细，公式多，符号多，规范要求多，而且理论性强，有些内容生涩难懂。为帮助学习者理解课程主要知识，培养计算能力，特编写本书作为课程学习的“伴侣”。

本书每章由重点内容提要、习题和习题答案三部分组成。根据大土木专业的教学大纲，并结合应用为主的专业特点，各章内容紧抓对理论体系的整体理解，侧重知识的实际应用。重点内容提要尽量明确地总结出主要知识点，对一些常涉及的规范条文也进行了列举。习题包括填空题、选择题、简答题和计算题，其中填空题、选择题以细小、深入的知识为主，重在记忆、理解；简答题重在总结；计算题则较全面地涵盖了所有计算类型，希望重点培养学生分析、解决实际问题的能力。在习题答案部分，计算题先进行解题分析，再列出详细的解题过程，能帮助学习者建立正确的思考方式。

本书与《钢结构设计原理》教材对应，共分为六章，分别对钢结构特点、设计方法、材料、连接、构件进行了梳理、总结。

参加本书编写的有西南交大峨眉校区李燕强（第一、二、三、五章）、李兰平（第四章）、严传坤（第六章），由李燕强主编，康锐主审。

在本书的编写过程中得到了西南交通大学出版社的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，加之时间紧促，书中难免有疏漏之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 6 月

目 录

第1章 绪 论	1
1.1 本章重点内容提要	1
1.2 习 题	4
第2章 钢结构的材料	8
2.1 本章重点内容提要	8
2.2 习 题	12
第3章 钢结构的连接	21
3.1 本章重点内容提要	21
3.2 习 题	38
第4章 轴心受力构件	70
4.1 本章重点内容提要	70
4.2 习 题	82
第5章 受弯构件——梁	96
5.1 本章重点内容提要	96
5.2 习 题	109
第6章 拉弯和压弯构件	131
6.1 本章重点内容提要	131
6.2 习 题	137
参考文献	150

第1章 绪论

1.1 本章重点内容提要

1.1.1 钢结构的特点及应用

钢结构是钢材制成的工程结构,通常由型钢和钢板等制成的梁、桁架、板等构件组成,各部分之间用焊缝、螺栓或铆钉连接;有些钢结构还部分采用钢丝绳或钢丝束(斜拉桥和悬索桥)。

钢结构具有以下优缺点:

(1) 强度高,质量轻。

钢材强度高,弹性模量亦高,因而钢构件自重轻(只有相同情况下钢筋混凝土的 $1/4 \sim 1/3$)、截面小,进而可以做成跨度较大的结构;同时,因截面小,进而可以少占空间,便于运输、安装。

(2) 材质均匀,可靠性高。

钢材组织均匀,接近于各向同性匀质体,与材料力学的假设一致,因此其实际工作性能与理论计算结果相符,结构可靠性较高。

(3) 塑性和韧性好。

钢材的抗拉和抗压强度相同,塑性和韧性均好,适于承受冲击和动力荷载,有较好的抗震性能。

(4) 工业化程度高。

钢结构由轧制型材和钢板在工厂机械化制造,生产效率高,速度快,成品精度较高,质量易于保证,是工程结构中工业化程度最高的一种结构。

(5) 重复利用率高,绿色环保。

(6) 具有可焊性。

(7) 密封性好。

(8) 耐热性好。

结构表面温度在 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内时,钢材强度变化很小,因而钢结构适用于热车间。但结构表面长期受辐射热达 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,应采用隔热板加以防护。

(9) 耐火性差。

钢材表面温度达 $300 \sim 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以后,其强度和弹性模量显著下降, $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时几乎降到零。当耐火要求较高时,需要采取保护措施,如在钢结构表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防火涂料,以提高耐火等级。

(10) 耐锈蚀性差。

钢结构在潮湿和有腐蚀性介质的环境中,容易腐蚀,需要定期维护,增加了维护费用。

钢结构设计原理学习辅导与习题集 GANGJIEGOU SHEJI YUANLI XUEXI FUDAO YU XITITI

(11) 存在低温冷脆倾向。

基于钢结构的如上特点,它常用作以下结构:

承受重型荷载的结构(重型工业厂房),承受动力荷载的结构(桥梁),大跨度(机库、桥梁)或高耸结构(多层与高层建筑、电视塔),拼装式和可拆卸结构(活动板房、施工支架),容器与管线等密封性要求高的结构(油罐、天然气输送线、船舶),轻型钢结构(仓储房),复杂造型的结构。

1.1.2 钢结构的类型

钢结构的常见类型有:梁、桁架、框架、拱、壳、悬索等。

任何钢结构都是由轴心受力构件(轴心受拉或受压构件)、受弯构件、偏心受力构件(拉弯构件、压弯构件)、拉索、板、壳等基本构件组成,并通过焊接或螺栓连接等形成空间稳定体系。

1.1.3 钢结构的设计方法

钢结构的设计要求:技术先进、经济合理、安全适用、确保质量。

钢结构目前采用两种设计方法:容许应力设计法和以概率理论为基础的极限状态设计法。

1. 容许应力设计法

它把影响结构的各种因素都当做不变的定值,将可以使用的最大强度除以一个笼统的安全系数作为容许达到的最大应力即容许应力,即

$$\sigma \leq \frac{f_y}{K} = [\sigma]$$

优点:表达简洁、计算比较简单。

缺点:由于笼统地采用了一个安全系数,将使各构件的安全度各不相同,从而使整个结构的安全度取决于安全度最小的构件,有的过于安全,有时又不够安全。

目前,我国铁路钢结构与公路钢结构规范采用该法,疲劳计算也采用该法。

2. 极限状态设计法

钢结构按承载能力极限状态与正常使用极限状态进行设计。

前者对应于结构破坏等,后者对应于影响结构的使用但不立即破坏,故前者危害更大。

承载能力极限状态包括:构件和连接的强度破坏、疲劳破坏和因过度变形而不适于继续承载,结构和构件丧失稳定,结构转变为机动体系和结构倾覆。

正常使用极限状态包括:影响结构、构件和非结构构件正常使用或外观的变形,影响正常使用的振动,影响正常使用或耐久性能的局部损坏(包括混凝土裂缝)。

极限状态法用分项系数设计表达式进行计算。

(1) 承载能力极限状态表达式。

① 可变荷载效应控制的组合:

$$\gamma_0 \left(\sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G,j,k} + \gamma_{Q_1} \gamma_{L_1} S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \psi_{c_i} S_{Q_i,k} \right) \leq R_d$$

② 永久荷载效应控制的组合：

$$\gamma_0 \left(\sum_{j=1}^m \gamma_{G_j} S_{G,j,k} + \sum_{i=1}^n \gamma_{Q_i} \gamma_{L_i} \psi_{c_i} S_{Q_i,k} \right) \leq R_d$$

式中 γ_0 ——结构重要性系数，对应安全等级分别取 1.1、1.0、0.9；

γ_G ——永久（恒）荷载分项系数；

γ_{Q_1} , γ_{Q_i} ——第一个和其他任意第 i 个可变（活）荷载的分项系数，一般情况取 1.4；

$S_{G,k}$ ——按永久荷载标准值计算的永久荷载效应值；

$S_{Q_1,k}$, $S_{Q_i,k}$ ——按第一个和其他任意第 i 个可变荷载标准值计算的可变荷载效应（内力）值；

ψ_{c_i} ——第 i 个可变荷载的组合值系数（当风荷载与其他可变荷载组合时，采用 0.6；

对无风荷载的组合，采用 1.0；

γ_{L_i} ——第 i 个可变荷载考虑设计使用年限的调整系数。

R_d ——结构构件抗力设计值。

③ 荷载偶然组合的效应：

$$\gamma_0 \left(\sum_{j=1}^m S_{G,j,k} + S_{A_d} + \psi_{f_1} S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{q_i} S_{Q_i,k} \right) \leq R_d$$

式中 S_{A_d} ——按偶然荷载水准值 A_d 计算的荷载效应值；

ψ_{f_1} ——第 1 个可变荷载的频遇值系数；

ψ_{q_i} ——第 i 个可变荷载的准永久值系数。

（2）正常使用极限状态设计表达式。

对于正常使用极限状态，应根据不同的设计要求，采用荷载的标准组合、频遇组合或准永久组合，并按下列设计表达式进行设计：

$$S_d \leq C$$

式中 C ——结构或结构构件达到正常使用要求的规定限值。

荷载标准组合的效应设计值 S_d 应按下列式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G,j,k} + S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{c_i} S_{Q_i,k}$$

荷载频遇组合的效应设计值 S_d 应按下列式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G,j,k} + \psi_{f_1} S_{Q_1,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{q_i} S_{Q_i,k}$$

荷载准永久组合的效应设计值 S_d 应按下列式进行计算：

$$S_d = \sum_{j=1}^m S_{G,j,k} + \sum_{i=2}^n \psi_{q_i} S_{Q_i,k}$$

特别强调：对承载能力极限状态，计算结构或构件的强度、稳定性以及连接的强度时，

钢结构设计原理学习辅导与习题集

GANGJIEGOU SHEJI YUANLI XUEXI FUDAO YU XITIJI

应采用荷载设计值(荷载标准值乘以荷载分项系数);计算疲劳时,应采用荷载标准值。对于正常使用极限状态,应根据不同的设计要求,采用荷载的标准值、频遇值或准永久值。

1.2 习 题

1.2.1 填空题

1. 建筑结构的安全性、适用性、耐久性统称为结构的_____。
2. 概率极限设计方法是以_____来衡量结构或构件的可靠程度的。
3. 某构件当其失效概率增大时,相应可靠指标 β 将_____,结构可靠性_____。
4. 在钢结构承载能力极限状态设计表达式 $\gamma_0 S \leq R$ 中, γ_0 为系数。
5. 作用按其随时间的变异性可分为_____、_____和_____。
6. 对结构构件进行_____极限状态计算时应采用荷载的标准值或频遇值或准永久值。
7. 承载能力极限状态计算中,计算强度、稳定时,应采用_____荷载值;计算疲劳时应采用_____荷载值。
8. 我国现行国标钢结构设计规范中,除疲劳计算外,采用以_____为基础,表达的极限状态设计方法,并将极限状态分为_____极限状态和_____极限状态。
9. 钢材的设计强度等于钢材的屈服强度 f_y 除以_____。

1.2.2 选择题

1. 大跨度结构常采用钢结构的主要原因是钢结构()。
A. 拆装方便 B. 强度高、自重轻 C. 工业化程度高 D. 韧性好
2. 钢结构适合承受动力荷载,主要原因是()。
A. 材质均匀 B. 塑性好 C. 可焊接好 D. 韧性好
3. 对于安全等级为一、二、三级的结构构件,其重要性系数 γ_0 应分别取()。
A. 1.3、1.2、1.1 B. 1.2、1.1、1.0
C. 1.1、1.0、0.9 D. 1.0、0.9、0.8
4. 现行国标钢结构设计规范采用的结构设计方法是()。
A. 容许应力法 B. 一次二阶矩极限状态设计法(近似概率法)
C. 全概率法 D. 半概率半经验设计法(半概率法)
5. 下列()项极限状态为承载能力极限状态。
A. 影响正常使用或耐久性的局部损坏 B. 影响正常使用的振动
C. 整个结构作为刚体失去平衡 D. 影响正常使用或外观的变形
6. 下列()项极限状态为正常使用极限状态。
A. 结构变为机动体系 B. 影响正常使用的振动
C. 结构丧失稳定 D. 构件间连接出现断缝
7. 在进行正常使用极限状态计算时,计算用的荷载()。
A. 应将永久荷载标准值乘以永久荷载分项系数

- B. 应将可变荷载标准值乘以可变荷载分项系数
C. 永久荷载和可变荷载均乘以各自的分项系数
D. 永久荷载和可变荷载均不乘荷载分项系数，应根据需要采用标准值、频遇值或准永久值
8. 钢结构按承载能力极限状态设计时，荷载值应取（ ）。
- A. 荷载标准值
B. 荷载设计值
C. 荷载准永久值
D. 荷载平均值

1.2.3 简答题

- 简述钢结构的优缺点。
- 为什么说钢结构较为安全可靠？
- 容许应力法中结构的安全系数和概率极限状态设计法中结构的可靠度有何区别？

1.2.4 计算题

(1) 一外伸钢梁，跨度 $l = 6\text{ m}$ ，外伸臂长 2 m ，承受永久荷载（标准值） $g_k = 20\text{ kN/m}$ ，可变荷载（标准值） $g_k = 10\text{ kN/m}$ 。试计算：(1) AB 段的跨中最大弯矩设计值；(2) B 支点处的最大弯矩设计值。

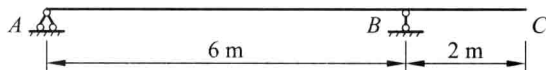


图 1.1 题 1

习题答案

1.2.1 填空题

- 可靠性
- 可靠指标 β
- 减小，降低
- 结构或构件重要性系数
- 永久荷载、可变荷载和偶然荷载
- 正常使用
- 设计，标准

钢结构设计原理学习辅导与习题集 GANGJIEGOU SHEJI YUANLI XUEXI FUDAO YU XITIJ

8. 概率, 分项系数, 承载能力, 正常使用

9. 材料的抗力分项系数 γ_R

1.2.2 选择题

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
B	D	C	B	C	B	D	B								

1.2.3 简答题

1. 钢结构的优点有: ① 强度高, 质量轻, 适合用于大跨、重型结构; ② 材质均匀, 可靠性高; ③ 塑性和韧性好, 适合承受动力荷载; ④ 工业化程度高, 制造质量高, 建造工期短; ⑤ 重复利用率高, 绿色环保; ⑥ 具有可焊性, 可适应复杂构造需要; ⑦ 密封性好; ⑧ 耐热性好。

缺点有: ① 耐火性差, 当结构耐火要求较高时, 需要采取保护措施, 以提高耐火等级。② 耐锈蚀性差, 需要定期维护, 增加了维护费用。③ 存在低温冷脆倾向, 破坏后果严重。

2. 由于钢材具有良好的塑性和韧性。塑性好能保证结构不会因偶尔的超载而发生破坏; 韧性好能保证在动力荷载作用下不发生突然破坏。此外, 钢材材质均匀, 且非常接近各向同性, 符合力学计算的基本假定条件, 因此计算结果与实际相符, 使设计的结构更加可靠。

3. 容许应力法中为保证结构安全而笼统地引入了一个安全系数, 系数值由工程经验确定。它忽视了作用效应和结构抗力的变异性, 也未考虑结构各构件或各部位之间承载能力的差异, 因此此系数会导致有的过于安全, 有的安全储备不足。概率极限状态设计法中从结构的安全性、适用性和耐久性三个方面反映结构完成其功能要求的能力, 并从概率的角度给结构的可靠性进行量化分析, 得到衡量结构可靠性的指标即可靠度。它比安全系数更全面、科学。

1.2.4 计算题

1. 解: (1) 计算 AB 段的跨中最大弯矩时, AB 段上的永久荷载分项系数取 1.2, BC 段则取 1.0, 因 BC 段永久荷载对 AB 段跨中弯矩有利, 且 BC 段上不加载可变荷载, 如图 1.2 (a) 所示。

设与 A 端距离为 x 的位置弯矩最大 (此处截面剪力为 0)。

先求 A 支承处的反力 R_A , 根据, 得 $R_A = 107.33 \text{ kN}$

根据 $V = 0$, 得 $x = 2.82 \text{ m}$

则 AB 段跨中的最大弯矩设计值为

$$\begin{aligned}
 M_{\max} &= R_A x - (1.4q_k + 1.2q_k)x^2 / 2 \\
 &= 107.33 \times 2.82 / (1.4 \times 10 + 1.2 \times 20) \times \frac{2.82^2}{2} \\
 &= 151.28 \text{ (kN/m)}
 \end{aligned}$$

(2) 计算 B 支点处的最大弯矩设计值时 BC 段上的永久荷载分项系数取 1.2, 可变荷载分项系数取 1.4, 如图 1.2 (b) 所示。由此 B 支点处的最大弯矩设计值为

第1章 绪论

$$M_{\max} = (1.4q_k + 1.2g_k) \times \frac{2^2}{2} = 76$$

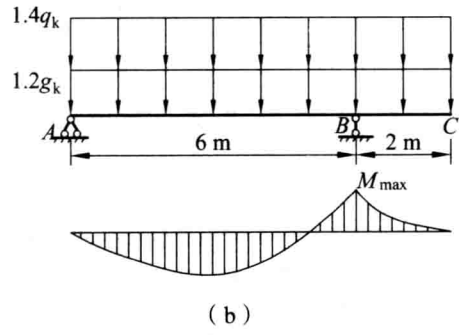
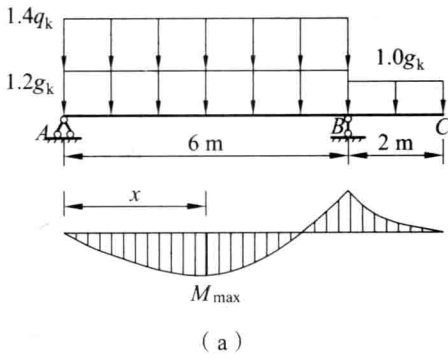


图 1.2

第2章 钢结构的材料

2.1 本章重点内容提要

2.1.1 钢结构对钢材的性能要求

《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)推荐的承重结构用钢有碳素钢 Q235 和低合金高强度钢 Q345、Q390、Q420。它们应满足:有较高的强度,有良好的塑性、韧性,有足够的变形能力和适于冷热加工(包括焊接)的特点,还应具有抗侵蚀以及循环荷载作用等性能。

2.1.2 钢材的主要性能

钢材的主要性能有:强度、塑性、韧性、冷弯性能、Z向性能以及可焊性。

1. 强 度

钢材的强度决定着材料的承载能力,结构用钢的主要强度指标有屈服点 f_y 和抗拉强度 f_u ,通过标准试件的静力单向拉伸试验获取。下屈服点 f_y 为设计时钢材可达到的最大应力,称设计强度标准值。抗拉强度 f_u 为钢材破坏前能够承受的最大应力。钢材应力达到 f_u 时,已产生很大塑性变形而失去使用性能, f_u 高可增加结构的安全保障,所以,强屈比 f_u/f_y 可看作钢材强度储备的系数。

2. 塑 性

钢材的塑性为应力超过屈服点后,材料产生明显的残余塑性变形而不断裂的性质。塑性好坏可用拉伸断裂时的最大相对塑性变形伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 表示。 δ 值和 ψ 值可以通过标准试件的静力拉伸试验得到。

钢材塑性好,则结构破坏前变形明显,可减少脆性破坏的危险;塑性好的材料还会发生应力重分布,削减局部高峰应力。结构或构件在受力时(尤其承受动力荷载时)材料的塑性好坏往往决定了结构是否安全可靠,因此钢材塑性指标比强度指标更为重要。

3. 韧 性

钢材的韧性是钢材在塑性变形和断裂的过程吸收能量的能力,也是表示钢材抵抗冲击荷载的能力,它是强度与塑性的综合表现。通常采用夏比试验法测得钢材的冲击韧性。钢结构设计规范对钢材的冲击韧性采用冲击功 α_k 衡量,且有常温 and 低温要求的规定。选用钢材时,根据结构的使用情况 and 要求提出相应温度的冲击韧性指标要求。

韧性好表示在动力荷载作用下发生破坏需要吸收较多的能量,同样可减少发生脆性破坏的危险。对于采用塑性设计的结构和位于地震区的结构,钢材变形能力的大小具有特别重要的意义。

第2章 钢结构的材料

4. 冷弯性能

冷弯性能是指钢材在冷加工（常温下加工）产生塑性变形时，对产生裂缝的抵抗能力。冷弯性能的好坏，通过使钢材承受规定弯曲程度的弯曲变形后，检查试件弯曲部分的外面、里面和侧面是否有裂纹、裂断和分层来判断。

冷弯性能能同时部分反映钢材的塑性变形能力和冶金质量。

5. Z 向性能

当钢材较厚时或承受沿厚度方向的拉力时，要求钢材具有板厚方向的收缩率要求，以防厚度方向发生分层、撕裂现象。Z 向性能可通过试样的拉伸试验得到，一般以断面收缩率 ψ_z 作为其指标。

6. 可焊性

钢材的可焊性指在一定的焊接工艺和结构条件下，钢材经过焊接后能够获得良好的焊接接头的性能。可分为施工上的可焊性和使用上的可焊性。

钢材的可焊性受碳含量和合金元素含量的影响，因此国际焊接学会（UV）用碳当量衡量可焊性。

2.1.3 影响钢材力学性能的因素

1. 化学成分

钢的基本元素为铁（Fe），普通碳素钢中约占 99%。此外，还常存有益元素碳（C）、硅（Si）和锰（Mn），有害元素硫（S）、磷（P）、氧（O）、氮（N）等，这些元素的总含量约为钢的 1%，但对钢材力学性能却有很大影响。

碳元素含量增大时，钢材强度提高，但塑性、韧性、冷弯性能、可焊性及抗锈蚀性能均下降。

锰、硅、钒、铌、钛、铝、铬、镍等合金元素，主要用于提高钢材的强度、塑性和韧性，但过量的合金元素会使钢材其他性能如可焊性产生明显不利影响。

硫、磷、氧、氮是钢材的有害元素，会使钢材的韧性下降：硫和氧易导致钢材热脆，磷和氮则易导致钢材冷脆。

2. 冶金和轧制过程

冶炼过程决定了钢材的化学成分和金相组织，也确定了钢材的各类和牌号。冶炼过程中产生的冶金缺陷（偏析、非金属夹杂、气孔、裂纹等）也将影响钢材的力学性能。

钢锭浇铸过程中，由于脱氧程度不同，钢材分为沸腾钢、镇静钢、半镇静钢和特殊镇静钢。沸腾钢脱氧程度低，氧、氮和一氧化碳气体从钢液中逸出，形成钢液的沸腾。沸腾钢的塑性、韧性、可焊性较差，容易发生时效和变脆，但产量较高、成本较低。半镇静钢脱氧程度较高些，上述性能都略好。而镇静钢的脱氧程度最高，性能最好，但产量较低，成本较高。

钢结构设计原理学习辅导与习题集 GANGJIEGOU SHEJI YUANLI XUEXI FUDAO YU XITIJI

3. 时效硬化

随着时间的增长, 纯铁体中残留的碳、氧固溶物质逐步析出, 形成自由的碳化物或氧化物微粒, 约束纯铁体的塑性变形, 此为时效硬化。

时效硬化可提高钢材的强度, 降低塑性、韧性。时效硬化的过程可从几天到几十年。

4. 冷作硬化

钢结构在冷加工过程中引起的强度提高称为冷作硬化。冷加工包括: 剪、冲、辊、压、折、钻、刨、铲、撑、敲等。

5. 温 度

一般情况下, 温度升高时, 钢材的力学性能变化不大。

温度达 250°C 左右时, 钢材抗拉强度提高, 塑性、韧性下降, 表面氧化膜呈蓝色, 即发生蓝脆现象。

温度超过 300°C 以后, 钢材的屈服点和极限强度高显著下降, 达到 600°C 时强度几乎等于零。

温度从常温下降到一定值, 钢材的冲击韧性突然急剧下降, 试件断口属脆性破坏, 这种现象称为冷脆现象。钢材由韧性状态向脆性状态转变的温度叫冷脆转变温度。

6. 应力集中和残余应力

由于钢结构构件中存在孔洞、槽口、凹角、裂缝、厚度变化、形状变化、内部缺陷等, 使这些区域产生局部高峰应力, 此谓应力集中现象。应力集中越严重, 钢材塑性越差。

残余应力为钢材在冶炼、轧制、焊接、冷加工等过程中, 由于不均匀的冷却、组织构造的变化而在钢材内部产生的不均匀的应力。残余应力在构件内部自相平衡而与外力无关。残余应力的存在易使钢材发生脆性破坏。

7. 复杂应力状态

钢材在单向应力作用下, 当应力达到屈服点 f_y 时, 钢材屈服面进入塑性状态。当钢材处于复杂应力作用下(平面应力或立体应力), 按能量强度理论(第四强度理论), 以折算应力 σ_{eq} 是否大于 f_y 来判断钢材是否由弹性状态转变为塑性状态。

根据 σ_{eq} 的计算公式可知, 钢材在多轴应力作用下, 当处于同号应力场时, 钢材易产生脆性破坏; 而当处于异号应力场时, 将发生塑性破坏。

2.1.4 钢材的破坏形式

1. 钢材的两种破坏形式

钢材的破坏分塑性破坏和脆性破坏两种。

塑性破坏: 加载后, 钢材有较大变形, 因此, 破坏前有预兆, 断裂时断口呈纤维状, 色泽发暗。

脆性破坏: 加载后, 钢材无明显变形, 因此, 破坏前无预兆, 断裂时断口平齐, 呈有光泽的晶粒状。脆性破坏危险性大。

第2章 钢结构材料

2. 影响脆性的因素

化学成分（P、N 导致冷脆，S、O 引起热脆）、冶金缺陷（偏析、非金属夹杂、裂纹、起层）、温度（热脆、低温冷脆）、冷作硬化、时效硬化、应力集中以及同号三向主应力状态等均会增加钢材的脆性。

2.1.5 钢结构的疲劳验算

在建筑结构中，有些构件承受随时间而变化的循环荷载，如吊车梁和支撑振动设备的平台梁等，对这样的构件需进行疲劳计算。

每次应力循环中的最大拉应力和最小拉应力或压应力（拉应力取正值，压应力取负值）之差为应力幅。所有应力循环中的应力幅保持常量时，称为常幅循环荷载；所有应力循环中的应力幅不为常量时，则称为变幅循环荷载。

钢材在连续常幅循环荷载作用下，当循环次数达某一定值时，尽管钢材应力未达到抗拉强度，甚至未达到屈服强度，但仍发生破坏的现象，称为钢材的疲劳破坏。疲劳破坏属于脆性破坏。

疲劳计算采用容许应力幅法。影响钢结构疲劳的因素很多，主要有构造状态（包括应力集中程度和残余应力）、应力各类（循环特征）及其应力幅值、循环荷载重复次数、工作环境、材料各类等。

试验表明，对于钢结构的非焊接部位，疲劳性能是由应力比与最大应力决定的；但对于焊接部位，则主要与应力幅有关。

2.1.6 建筑钢材的类别与选用

1. 结构钢材的各类

按冶炼方法分：转炉钢、平炉钢。

按脱氧方法：沸腾钢、半镇静钢、镇静钢、特殊镇静钢。

按成型方法：轧制钢、锻钢、铸钢。

按化学成分：碳素钢、低合金高强度钢、优质碳素钢。

2. 钢材的牌号表示

碳素钢和低合金钢的牌号均表示为： $Q \times \times \times [\{ \}]$ 。

Q 意为屈服强度，是“屈”字拼音的首字母。

$\times \times \times$ ：屈服强度数值，单位为 N/mm^2 。

[]：质量等级的符号，有 A、B、C、D、E 五级。A 级无冲击韧性要求，B 级指定了 $20^\circ C$ 时的冲击韧性要求，C 级指定了 $0^\circ C$ 时的冲击韧性要求，D 级指定了 $-20^\circ C$ 时的冲击韧性要求，E 级指定了 $-40^\circ C$ 时的冲击韧性要求。低合金高强度钢才有 E 级。A 级质量最差，E 级最好。

{ }：钢材脱氧方法的符号，有 F（沸腾钢）、b（半镇静钢）、Z（镇静钢）、TZ（特殊镇静钢），但 Z、TZ 通常省略不写。

钢结构设计原理学习辅导与习题集 GANGJIEGOU SHEJI YUANLI XUEXI FUDAO YU XITIJ

3. 钢材的规格

(1) 热轧钢板—厚 $\times$ 宽 $\times$ 长(单位: mm)。

(2) 热轧型钢。

角钢: 等边角钢—肢宽 $\times$ 厚度(单位: mm), 不等边角钢—长肢宽 $\times$ 短肢宽 $\times$ 厚度(单位: mm)。

槽钢: [截面高度 $+a(b, c)$], 截面高度以 cm 为单位, a, b, c 根据腹板厚度类别确定。

工字钢: I 截面高度 $+a(b, c)$, 截面高度以 cm 为单位, a, b, c 根据腹板厚度类别确定。

钢管: ϕ 外径 $\times$ 壁厚(单位: mm)。

4. 钢材的选用

为保证承重结构的承载能力和防止在一定条件下出现脆性破坏, 应根据结构的重要性、荷载特征、结构形式、应力状态、连接方法、钢材厚度和工作环境等因素综合考虑, 选用合适的钢材牌号和材性。

承重结构的钢材宜采用 Q235、Q345、Q390、Q420。

下列情况的承重结构和构件不应采用 Q235 沸腾钢:

焊接结构:

(1) 直接承受动力荷载或振动荷载且需要验算疲劳的结构;

(2) 工作温度低于 -20°C 时直接承受动力荷载或振动荷载但可不验算疲劳的结构以及承受静力荷载的受弯及受拉的重要承重结构;

(3) 工作温度等于或低于 -30°C 的所有承重结构。

非焊接结构: 工作温度等于或低于 -20°C 的直接承受动力荷载且需要验算疲劳的结构。

承重结构采用的钢材应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度和硫、磷含量的合格保证, 对焊接结构尚应具有碳含量的合格保证。焊接承重结构以及重要的非焊接承重结构采用的钢材还应具有冷弯试验的合格保证。

对于需要验算疲劳的焊接结构的钢材, 应具有常温冲击韧性的合格保证。当结构工作温度不高于 0°C 但高于 -20°C 时, 对 Q235 钢和 Q345 钢应具有 0°C 冲击韧性的合格保证; 对 Q390 钢和 Q420 钢应具有 -20°C 冲击韧性的合格保证。当结构工作温度不高于 -20°C 时, 对 Q235 钢和 Q345 钢应具有 -20°C 冲击韧性的合格保证; 对 Q390 钢和 Q420 钢应具有 -40°C 冲击韧性的合格保证。

对于需要验算疲劳的非焊接结构的钢材亦应具有常温冲击韧性的合格保证。当结构工作温度不高于 -20°C 时, 对 Q235 钢和 Q345 钢应具有 0°C 冲击韧性的合格保证; 对 Q390 钢和 Q420 钢应具有 -20°C 冲击韧性的合格保证。

2.2 习 题

2.2.1 填空题

1. 在普通碳素钢中, 随着含碳量的增加, 钢材的屈服点和极限强度_____, 塑性_____, 韧性_____, 可焊性_____, 疲劳性能_____。