

起重机械金属结构

学习要点 · 习题 · 课程设计

董达善 编



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书是《起重机械金属结构》(董达善主编)的教学辅导书。

本书包括上、下两篇。上篇对应教材内容,各章分四大部分。第一部分为学习要点,对金属结构基础知识和教学要点进行了扼要的归纳和提炼,便于读者课后复习;第二部分为思考题,涵盖了课堂教学的主要内容,读者可以通过自问自答的方式检验学习的成效;第三部分为例题,供读者参考研习;第四部分为计算题,针对各章内容和起重机械金属结构的工程应用,编写出部分计算类习题,供读者参考练习,以利于举一反三,巩固所学基础知识。下篇为课程设计,是为多学时课程安排的、具有工程背景的综合练习,包括一个桥式起重机实腹式主梁的典型设计和一个臂架式起重机的格构式臂架段的典型设计,每一个设计课题适合于2周的课时安排。

图书在版编目(CIP)数据

起重机械金属结构:学习要点·习题·课程设计/
董达善编. —上海:上海交通大学出版社, 2012
ISBN 978-7-313-08939-7

I. ①起… II. ①董… III. ①起重机械-金属结构
IV. TH210.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 192679 号

起重机械金属结构

学习要点·习题·课程设计

董达善 编

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 951 号 邮政编码 200030)

电话: 64071208 出版人: 韩建民

上海交大印务有限公司印刷 全国新华书店经销

开本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 12 插页: 6 字数: 305 千字

2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1~3 030

ISBN 978-7-313-08939-7/TH 定价: 25.00 元

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系
联系电话: 021-54742979

前 言

一、课程的性质和任务

《起重机械金属结构》是机械设计制造及其自动化专业中起重机械和物流机械方向的主要专业课程之一,属于应用科学的范畴。本课程要求学生综合应用以前所学过的基础理论知识如物理学、理论力学、材料力学、结构力学、金属工艺学、起重机械及制图学等(有时还涉及未学过的理论和设计方法,如弹性理论、结构疲劳和结构优化方法等)来解决起重机械金属结构的设计计算和实际结构的分析处理等问题。

作为一门工程类专业课程,与其他专业课程一样,它与基础理论以及现代化的生产方式(新工艺、新设备、新材料等)是密切相关的,因此,这门课程的显著特点就是:计算理论的科学性和设计制造工艺的实践性密切结合;相辅相成。

二、课程的基本内容和要求(一定要熟悉和掌握)

- (1) 材料:掌握常用钢材代号、性能和选择原则。
- (2) 载荷:掌握金属结构的载荷定义、计算方法及其组合原则。
- (3) 计算准则:掌握金属结构的强度、刚性和稳定性设计计算准则。
- (4) 连接与基本构件:掌握连接与基本构件的设计计算原理、构造原则。
- (5) 根据起重机工作特点和基本结构类型,学会建立力学模型,运用力学方法对基本构件进行受力和合理截面选择。
- (6) 熟悉起重机设计规范(金属结构)和设计手册,并能正确运用。

三、教学计划

- (1) 课堂授课:计划 54 学时(多学时)或 45 学时(少学时)。
- (2) 实验:计划 4 学时(内容:焊接连接、高强度螺栓连接)。
- (3) 课程设计:计划 2 周(多学时),做一典型结构的设计计算,并适当介绍一些设计注意事项。
- (4) 现场教学:结合课程内容,安排在有关的起重机械制造厂参观(视情况而定)。
- (5) 作业、答疑及习题课:作业以设计计算题为主,思考题为辅;适当安排辅导时间,答疑或讲解习题。

习题课原则上不讲解例题,主要介绍解题步骤,并就作业问题比较集中的题目进行解答。

四、学习方法

本课程是一门工程专业课程,属于应用科学的范畴,它是以一定的基础理论为基础,而实践性又很强的课程,因此在学习方法上要注意理论与实践相结合。由于所涉及的知识面很广,

要着重于理解概念、熟悉规范、掌握简化公式的正确使用及其物理意义,学会从多方面来分析和思考问题。

课程安排了较多的教学环节(如设计类习题、实验等),目的是为了培养和提高学生的实际工作能力,望读者重视这方面的训练。同时,希望读者平时注意观察和收集各种金属结构的构成、选型、节点处理、工艺、分析计算等素材。

基于该课程的特点,课前要预习,课上要注意听讲,做好笔记,课后要复习、整理和及时消化课程内容。

五、教材及参考书

教材:《起重机械金属结构》,董达善主编,上海交通大学出版社,2011. 8.

参考书:

- (1) 《机械装备金属结构设计》,徐格宁主编,机械工业出版社,2009. 9.
- (2) 《起重机设计手册》,张质文等主编,中国铁道出版社,1998. 3.
- (3) 《港口起重运输机械设计手册》,交通部水运司编,人民交通出版社,2001. 1.
- (4) 《港口起重机设计规范》,上海港机重工有限公司编,人民交通出版社,2007. 8.
- (5) 《起重机设计规范》GB/T 3811—2008,国家质量监督检验检疫总局,2008.
- (6) 《机械设计手册》,成大先主编,化学工业出版社,2002. 1.
- (7) 《钢结构设计规范》GB/T 50017—2003,中华人民共和国建设部,2003.
- (8) 《起重机械金属结构》,陈玮璋主编,人民交通出版社,1986. 6.
- (9) 教材参考文献目录所列资料.

书中均采用国际单位制。

上海海事大学机械系梅潇、滕媛媛、乔榛三位老师参与了部分内容的编写,甘茂椿、王晨曜、卢春燕、孟博等多位研究生为本书的文字和插图输入做了大量工作,谨致谢意。

限于水平,文中或有不足和遗漏,万望读者不吝赐教。

董达善
于上海海事大学

目 录

上篇——学习要点、思考题、例题、计算题

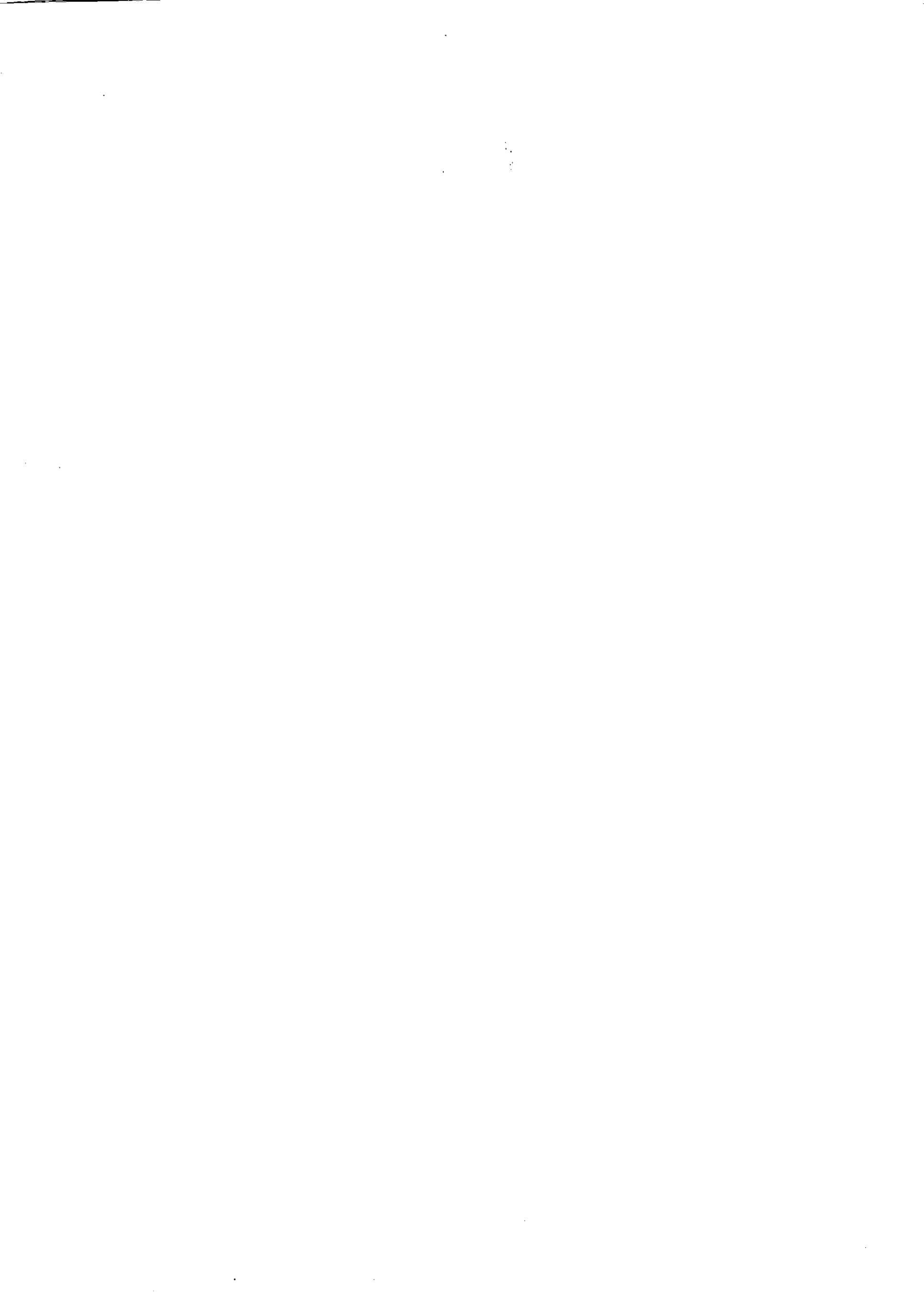
第 1 章	绪论	3
第 2 章	金属结构的材料	5
第 3 章	载荷及载荷组合	10
第 4 章	金属结构设计方法与设计计算准则	23
第 5 章	金属结构的连接	29
第 6 章	轴心受力构件	46
第 7 章	梁——实腹式受弯构件	60
第 8 章	拉弯和压弯构件	80
第 9 章	桁架——格构式受弯构件	98

下篇——课程设计指导

课程设计一	实腹式梁的设计	113
课程设计二	格构式臂架设计	132
附录 1	型钢的规格及截面特性	149
附录 2	焊材的型号	175
附录 3	起重机钢轨的规格及截面特性	179
附录 4	轻轨的规格及截面特性	181
附录 5	铁路用热轧钢轨的规格及截面特性	182

上篇

——学习要点、思考题、例题、计算题



第1章 绪论

一、学习要点

(一) 定义

结构：起重机械或工程机械中按一定规律组成，并支承载荷而起骨架作用的体系称为结构。结构一般分为：杆系结构(单元描述为一维)、板系结构(二维)和实体结构(三维)。

金属结构：是指由金属轧制材料(如板材、型材)、铸件和锻件等金属制件，通过一定的连接手段(如焊接连接、螺栓连接和销轴连接等方式)，按照结构组成的原则制成，并满足一定使用要求的工程承载结构。

(二) 金属结构的作用

金属结构的主要作用是传递载荷，使载荷从作用点传到支撑点，最后传到地面或基础结构。

(三) 金属结构的特点

优点(与木结构、钢筋混凝土结构、砖石结构相比)：

- (1) 安全可靠；
- (2) 重量轻；
- (3) 承受动载性能好；
- (4) 制造工业化程度高。

缺点：易锈蚀。

防治措施：加强维护，进行合理的构造设计。

(四) 起重机械金属结构的形式和组成

(1) 桥架式起重机。

桥架结构：桥架结构上铺设小车运行轨道；

门架结构：支腿(与桥架)结构的组合。

(2) 臂架回转式起重机。

臂架结构或组合臂架系统；

人字架结构或塔架结构；

转台及转柱结构；

门架或车架结构。

(五) 起重机械金属结构的基本组成构件——按受力特点分类

(1) 轴心受力构件：如轮胎吊人字架的拉、压杆，门座式起重机的大拉杆、小拉杆，岸边集装箱起重机的前后拉杆和斜撑杆。

(2) 受弯(为主)构件：如桥式起重机的主梁和端梁，轮胎吊的转台梁。

(3) 拉弯和压弯构件：如臂架、转柱、支腿、门框立柱。

(六) 起重机械金属结构的基本组成构件——按工艺构造特点分类

(1) 格构式构件：一般适用于受力相对较小、外形尺寸相对较大的场合。

(2) 实腹式构件：主要由钢板组合而成，并有开口和闭口截面之分。

(3) 混合式构件：桁构式构件。

发展趋势：大型化、轻型化，更广泛地采用桁构式构件。

(七) 设计起重机械金属结构的基本要求

(1) 满足总体设计要求(功能要求)；

(2) 坚固耐用、性能良好(安全可靠)；

(3) 重量轻、材料省(技术经济性)；

(4) 构造合理，工艺性好(工艺经济性)；

(5) 造型美观。

二、思考题

1.1 试述金属结构的定义、优缺点及其防治措施。

1.2 试述起重机械金属结构的作用，并从受力变形特征和构造特征对其结构形式进行归纳，并举例说明。

1.3 试对实腹式结构和格构式结构的特点进行比较，并述说起重机械金属结构构造形式的发展趋向。

1.4 起重机械金属结构设计有哪些基本要求？

第2章 金属结构的材料

一、学习要点

(一) 起重机械金属结构对材料的要求

- (1) 较高的强度：表征指标为屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b ；
- (2) 较好的塑性：表征指标为延伸率 δ 和断面收缩率 ψ ；
- (3) 较好的韧性：表征指标为冲击韧性 α_k 或冲击功 A_{kV} ；
- (4) 较好的工艺性能：主要指冷弯性能和焊接性能；
- (5) 价格便宜，货源充足。

根据目前我国金属结构的生产和供应情况，使用最为广泛的是普通结构钢，有时也采用些铸钢、锻钢，个别情况采用铝合金。

(二) 钢材的主要机械性能

1) 单向拉伸强度特性

依次历经比例极限 σ_p 、弹性极限 σ_e 、屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 等特征点。

2) 单向拉伸塑性特性

表征钢材变形性能的塑性指标有：延伸率 δ 和截面收缩率 ψ 。由于实测 ψ 较为困难，所以主要用 δ 表示钢材的塑性。

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

式中： l_1 ——试件拉断后标距长度；

l_0 ——试件原标距长度。

当 $l_0/d = 5$ 时 (d 为标准试件的直径)，用 δ_5 表示 (用得较多)；当 $l_0/d = 10$ 时，用 δ_{10} 表示。对于常用普通结构钢 $\delta_5 = 20\% \sim 30\%$ 。

钢材的 δ 越高，表明材料塑性越好，对应力重新分布的能力越高，对局部应力集中的敏感性越小，因而钢结构的安全度也越高。

3) 回弹性和韧性

回弹性：是指试件在弹性范围内 (σ_e 以前) 单位体积所吸收的弹性变形能。

韧性：是指试件在断裂前单位体积所吸收的总能量。

4) 钢材在复杂应力状态下的性能

强度特性：按第四强度理论折算应力。

塑性特性：在同号平面应力状态下钢材的弹性工作范围及强度极限 σ_b 均有提高，塑性变形降低——脆性特征 \uparrow ；在异号平面应力状态下情况则完全相反，强度极限下降，塑性变形大大增加——塑性特性 \uparrow 。

5) 钢材的疲劳性能

钢材在多次（一般 1.6×10^4 以上）反复载荷作用下，即使其最大工作应力低于强度极限 σ_b ，甚至低于屈服强度 σ_s ，也可能发生脆性破坏，这种现象称为疲劳破坏。

材料的疲劳性能数据是通过标准试件的疲劳试验获得的。通常将试验结果回归成疲劳试验曲线，并称为 S-N 曲线。

影响钢材疲劳强度的因素：

(1) 材质（静力强度、化学成分、工艺质量——冶炼方法、脱氧程度、晶粒度）；

(2) 应力性质（拉、压）；

(3) 应力循环特性： $\gamma = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ （绝对值最小应力 / 绝对值最大应力，各带正负号）；

(4) 试件尺寸和表面加工质量（即局部应力集中情况）。

6) 钢材的抗脆断能力

用冲击韧性 α_k 值来评定，即 $\alpha_k = A_{kV}/A$ 。

式中： A_{kV} ——V形缺口试件在冲击试验中所吸收的能量，N·m；

A ——缺口处截面面积， mm^2 。

通常，在低温（等于或低于 -20°C ）地区工作的起重机的主要承载结构件应使用镇静钢，其钢材在相应温度时 $\alpha_k \geq 0.3 \text{ N} \cdot \text{m}/\text{mm}^2$ 。

(三) 钢材的加工性能

1) 冷弯性能

是指钢材在常温下承受弯曲变形的能力，一般用弯曲角度和弯心直径对钢材厚度的比值来表示。

2) 焊接性能

是指钢材在一定的焊接工艺条件下，焊缝及其热影响区的抗裂性能和焊后性能（包括强度、塑性、硬度、冲击韧性和冷弯性能等）。国际焊接学会以碳当量来评估钢材的可焊性：

$$C_{\text{eq}} = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{\text{Cr}}{5} + \frac{\text{Mo}}{5} + \frac{\text{V}}{5} + \frac{\text{Ni}}{15} + \frac{\text{Cu}}{15} (\%)$$

$C_{\text{eq}} \leq 0.38\%$ ：可焊性很好；

$0.38\% < C_{\text{eq}} \leq 0.45\%$ ：需要采取适当的预热措施并注意控制施焊工艺；

$C_{\text{eq}} > 0.45\%$ ：可焊性较差。

(四) 影响钢材主要性能的因素

1) 化学成分的影响

在普通碳素结构钢中，除了铁元素以外，还有其他元素，尽管这些元素含量不多，但对钢的性能影响很大，其中以碳的影响最大。

性能 \ 元素	碳 C	锰 Mn	硅 Si	硫 S	磷 P	铝 Al	钛 Ti	氢 H	氧 O	氮 N
强度 σ_s	↑	↑	↑	↓	↑		↑↑			↑
塑性 δ	↓	↓	↓		↓↓				↓	↓
冲击韧性 α_k	↓↓	↓	↓	↓	↓↓	↑	↑↑		↓	↓
疲劳强度	↓			↓					↓	
可焊性	↓	↓	↓	↓	↓↓	↑		↓	↓	↓
抗锈蚀性能	↓	↑	↓	↓	↑					↑
冷脆	↑	↓	↑		↑	↓		↑		↑
热脆				↑				↑	↑	
其他						细化组织	细化组织			
一般含量要求 / (%)	≤0.22	0.25~ 0.66	0.1~ 0.3	0.045~ 0.055	0.04~ 0.05				≤0.05	≤0.008

注：↑——提高；↑↑——提高很多；↑——提高不明显。
↓——下降；↓↓——下降很多；↓——下降不明显。

2) 冷加工的影响

钢结构制造过程中,钢材在常温下经过冷拉、校直、弯曲、机械剪切等冷加工后,会产生不同程度的塑性变形,并使钢材的强度和硬度升高,塑性和韧性降低。这种现象称为应变硬化或冷作硬化。冷作硬化使钢材的塑性和韧性降低,增加了钢材的脆性,因而不利用冷加工来强化钢材。

3) 残余应力的影响

热轧型钢中的热轧残余应力是因其热轧后不均匀冷却而产生的。先冷却部位形成强劲的约束,阻止后冷却部位的自由收缩,使后冷却部位受拉。

残余应力是一种自相平衡的应力。构件承受载荷时,载荷引起的应力将与截面残余应力叠加,从而使构件某些部位提前达到屈服强度并发生塑性变形。残余应力将降低构件的刚性和稳定性,特别是焊接残余应力,将降低构件的抗冲击断裂和抗疲劳破坏的能力。

4) 温度的影响

在正常的气温条件下,温度变化对钢材性能的影响很小;

达 150 °C 时, σ_s 、 σ_b 、 E (弹性模量)略有下降;

200~300 °C 时, σ_b 、 HB (硬度)↑, δ ↓, 钢材变脆,称为蓝脆性;

300~400 °C 时, σ_s 、 σ_b ↓↓, δ ↑, 发生蠕滑;

>600 °C 时, σ_s 、 σ_b ↓↓↓ (40%~50%);

低温时, α_k ↓↓↓。

(五) 结构钢的分类与牌号

钢的种类繁多,适用于钢结构的钢只有碳素结构钢和低合金高强度结构钢中的几种牌号

以及性能较优的其他几种专用结构钢(桥梁用钢、耐候钢、高层建筑结构用钢等)。

钢结构用钢的牌号及表示方法见教材 2.3.2 节。

(六) 钢材选择的基本原则

(1) 要考虑结构的连接方法和形式。对焊接结构的要求应比非焊接结构高一些。从结构形式来讲,格构式结构对钢材的要求应比实腹式结构稍高些。

(2) 要考虑结构的载荷特点。对于经常承受反复载荷或动力载荷的结构,其材质要求应该高一点;而对于基本承受静载的结构,则可选用一般性的钢材。

(3) 要考虑结构的工作温度。对于经常处于低温状态下的结构,特别是在低温下工作的焊接结构,对钢材的要求应严格些,应有良好的焊接性能和冲击韧性。

(4) 考虑结构和构件的重要性。考虑到破坏后果的严重性,一般来说重要的、大型的结构应比一般结构用材要好些。

(5) 考虑构件壁厚的影响。钢材的壁厚越厚,其综合性能越低。一般来说,采用较薄的钢材是较为经济合理的,特别是对于在低温条件下工作的焊接结构。

(6) 要考虑结构构件的受力性质。对受拉构件和受弯构件的受拉翼缘应考虑选用质量较好的钢材。

(七) 导致构件材料发生脆性破坏的重要敏感因素

(1) 纵向残余拉伸应力与自重载荷引起的纵向拉伸应力的联合作用;

(2) 构件材料的厚度;

(3) 工作环境温度。

二、思考题

2.1 根据起重机的工作特点,对金属结构的材料有哪些基本要求,目前主要采用什么材料?

2.2 与普通结构钢相比,铝合金在起重机金属结构中的应用有何意义?目前在应用上主要有哪些问题?

2.3 钢材在单向拉伸时有哪些强度特性指标?在设计中各有什么意义?

2.4 衡量钢材塑性的指标是什么?钢材良好的塑性对起重机结构有什么重要意义?

2.5 钢材在复杂应力、应力集中和快速加载条件下,机械性能有什么变化?用什么指标度量材料在应力集中和冲击载荷条件下抗脆性破坏的能力?

2.6 钢材有哪些重要工艺性能指标?度量的方法是什么?

2.7 钢材含有哪些主要化学成分?分别对钢材性能有什么影响?

2.8 何谓冷作硬化和应变时效现象?它们对普通结构钢的性能有何影响?

2.9 残余应力是怎样产生的,有什么特点?残余应力对结构的强度、刚性、稳定性各有什么影响?

2.10 钢材在低温下机械性能有什么变化?钢材受热,温度升高后机械性能又有什么变化?

- 2.11 超细晶钢的强韧性是如何达到的？有什么特点？在起重机金属结构中的应用前景如何？
- 2.12 结构钢牌号中各符号的含义是什么？对碳素结构钢和低合金结构钢各举一例说明。
- 2.13 空气转炉沸腾钢的主要缺点是什么？为什么它不适宜用于承受动载荷的结构？
- 2.14 选择起重机金属结构钢材的原则是什么？根据起重机的工作环境温度 and 结构的工作级别，金属结构的主要受力构件应如何选材？在低温（ $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下）地区工作的起重机主要承载结构件，对于钢材的冲击韧性有什么要求？
- 2.15 试比较碳素结构钢和低合金结构钢在起重机结构中的应用，应如何合理使用低合金结构钢？
- 2.16 我国所生产的轧制钢材主要有哪些类型和规格？在施工图上的习惯表示方法是怎样的？

第3章 载荷及载荷组合

一、学习要点

(一) 载荷定义

凡是作用在起重机结构上,使其产生应力和变形的原因统称为结构的载荷。根据载荷作用的概率可分为:常规载荷、偶然载荷、特殊载荷及其他载荷。

(二) 根据载荷的作用概率划分

1) 常规载荷

常规载荷是指起重机正常工作时经常发生的载荷。

(1) 重力载荷:由质量在重力场作用下产生的静力载荷。包括自重载荷 P_G (结构、机械设备、机电设备及机上常置物料等)和起升载荷 P_Q (起升质量的重力,包括货重、经常拆卸的取物装置和悬挂挠性件等)。

(2) 惯性载荷和振动载荷:由于结构、机构质量在一定空间内的运动速度、方向或两者同时随时间变化所产生的动力载荷。

惯性载荷——狭义刚体运动惯性力,包括:

	运动机构	运动质量	方向	说明
1	运行机构	自重和起升质量	水平	不平稳运动水平惯性力
2	回转机构	回转运动质量	水平	法向和切向惯性力
3	变幅机构	变幅运动质量	水平	不稳定运动水平惯性力

振动载荷——弹性体受激动力增长,包括:

	运动机构	运动质量	方向	原因
1	起升机构	自重质量和起升质量	垂直	由起升质量离地或下降起制动所激发
2	运行机构	自重质量和起升质量	垂直	由行经不平路面或轨道接头所激发
3	运行、回转、变幅机构	自重质量	水平	由起制动的快速作用所激发
4	运行机构	自重质量	水平	小车或大车撞击缓冲器时所激发

2) 偶然载荷

偶然载荷是指起重机正常工作时偶然出现的载荷。

- (1) 工作状态下的最大风载荷；
- (2) 偏斜运行水平侧向载荷等；
- (3) 坡道载荷、冰雪载荷、温度载荷等(根据实际情况决定是否考虑)。

3) 特殊载荷

特殊载荷是指非工作状态下可能受到或工作状态下偶然受到的最不利载荷。

- (1) 非工作状态最大风载荷；
- (2) 碰撞载荷、运输吊装载荷、试验载荷等。

(三) 自重载荷 P_G 的动载效应

自重载荷的垂直激振将引起载荷增长。根据分析,主要发生在以下两种工况:

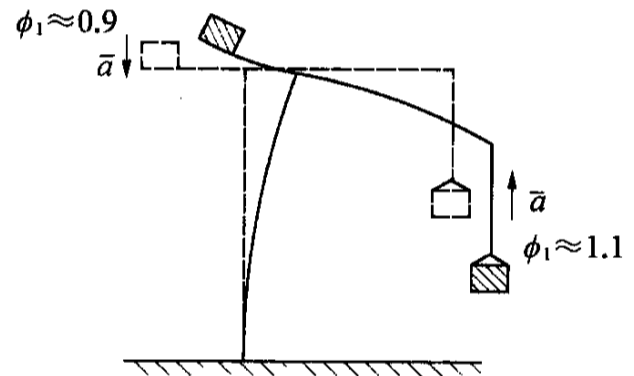
(1) 起升质量突然离地起升或下降制动时,考虑起升冲击系数 ϕ_1 ,即采用 $\phi_1 P_G$,规范推荐 $\phi_1 = 0.9 \sim 1.1$ 。对所计算的构件,起不利作用的自重载荷取 $\phi_1 = 1.0 \sim 1.1$;反之,取 $\phi_1 = 0.9 \sim 1.0$ 。

(2) 起重机或起重机的部分装置行经不平路面或轨道接头时,考虑运行冲击系数 ϕ_4 ,即采用 $\phi_4 P_G$ (运动部分),对有轨运行的非焊接轨道接头

$$\phi_4 = 1.10 + 0.058v_y \sqrt{h}$$

式中: v_y ——运行速度, m/s;

h ——轨道接头高低差, mm。



(四) 起升载荷 P_Q 的动载效应

(1) 起升质量离地起升或下降制动时(动载效应),考虑起升动载系数 ϕ_2 ,即采用 $\phi_2 P_Q$, ϕ_2 的值与起升状态级别及起升驱动系统的控制情况有关。

$$\phi_2 = \phi_{2\min} + \beta_2 v_q$$

式中: $\phi_{2\min}$ ——与起升状态级别相对应的起升动载系数的最小值,见教材表 3-1;

β_2 ——由起升状态级别设定的系数,见教材表 3-1;

v_q ——稳定起升速度, m/s,与起升机构驱动控制形式及操作方式有关,见教材表 3-2。

(2) 起重机带载行经不平路面或轨道接头时(冲击),考虑运行冲击系数 ϕ_4 (与自重载荷中一样处理),即采用 $\phi_4 P_Q$ 。

(3) 起升质量(部分或全部)突然卸载时(专为结构计算),考虑突然卸载冲击系数 ϕ_3 (对结构产生动态减载力),即采用 $\phi_3 P_Q$ 。

$$\phi_3 = 1 - \frac{\Delta m}{m} (1 + \beta_3)$$

式中: Δm ——在空中突然卸除或坠落的那部分起升质量;

m ——总起升质量;

β_3 ——系数,对于用抓斗或类似的慢速卸载装置的起重机, $\beta_3 = 0.5$; 对用电磁盘或类似的快速卸载装置的起重机, $\beta_3 = 1.0$ 。

(五) 惯性载荷 P_A 及其动载效应

惯性载荷是指各机构做刚体变速运动和刚体回转运动时所产生的水平惯性力,属于基本载荷。

根据达朗贝尔原理

$$P_A = -ma \quad \text{“-”表示 } P_A \text{ 和 } a \text{ 的方向相反}$$

(1) 运行惯性载荷(直线运动)。

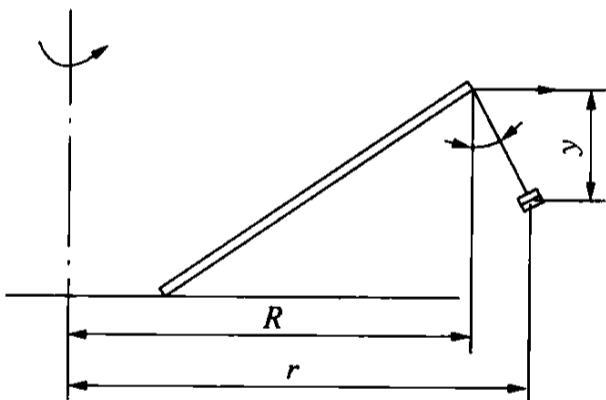
$$P_A = -\frac{P_G + P_Q}{g} a = -\frac{P_G + P_Q}{g} \frac{v}{t} \quad (\text{N})$$

(2) 回转运动惯性载荷(圆周运动)。

$$\text{法向: } P_{An} = -mr\omega^2 \approx -0.01mrn^2 \quad (\text{N})$$

$$\text{切向: } P_{At} = -mr\varepsilon \approx -mr \frac{\omega}{t} \approx -0.1mr \frac{n}{t} \quad (\text{N})$$

(3) 变幅运动惯性力。



(i) 臂架结构质量。

法向: 沿臂架轴线,一般忽略不计(减载,偏安全)。

切向: 垂直于臂架轴线,一般也都忽略不计(较小)。

(ii) 起升质量。一般仅在工作性变幅机构中予以考虑,其方向总保持法向水平。

$$P_{An}' = -\frac{P_Q}{g} a' = -\frac{P_Q}{g} \frac{V}{t}$$

通常在起升载荷偏摆水平力中一起考虑。

(4) 动载效应。

上面所计算的(由于运行、旋转、变幅运动引起的)水平惯性力都是根据刚体动力学原理得到的,当考虑到各机构的驱动力或制动力快速作用时,由于加速度的迅速增长,刚体运动惯性力对弹性结构的作用不是静态的。由此引起的结构振动和相应的动载效应,用动载系数 ϕ_5 乘以相应的刚体运动惯性力加以考虑,此动载系数值见教材表 3-5,即

$$P_{A0} = \phi_5 P_A$$

(六) 臂架式起重机的起升载荷偏摆水平力

按起升钢丝绳相对于铅垂线的偏摆角引起的水平分力来计算:

$$P_A = P_Q \tan \alpha$$

最大可能偏摆角为