



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械装备金属结构设计

第2版

太原科技大学 徐格宁 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

机械装备金属结构设计

第2版

主 编	徐格宁				
参 编	徐克晋	陆风仪	郑 荣	翟甲昌	
	张荣康	周奇才	宋甲宗	王 欣	
主 审	王金诺	郑惠强			



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

本书分十二章,分别阐述机械装备金属结构设计的目的、要求、特点、方法和应用场合,金属结构计算原理和基本规定;以起重机金属结构设计为主线,详细介绍了金属结构的材料特性与选择原则,起重机整机、结构件工作级别的划分方法,载荷计算及载荷组合,焊缝、铆钉、螺栓连接计算方法,轴向受力、横向受弯、受扭等基本构件的计算方法,柱、梁、桁架、桥架、门架、臂架、塔架等典型机械装备结构的构造和设计及步骤。为便于总结复习,每章末附有本章小结。为方便设计使用,本书提供了有关结构计算的公式和计算图表及数据,附录中给出了金属结构设计所需的型钢表。

本书全面贯彻国家、行业有关最新标准和法定计量单位,符合工程设计要求。

本书不仅注重金属结构基本计算原理的阐述,而且坚持理论方法与实际工程相结合,针对产品对象提出分析方法,有的放矢地解决实际工程问题。基本设计内容体现了计算原理的理论性,典型装备设计体现了设计步骤的实践性,引进最新国标体现了设计依据的先进性,结构设计的3S(Strength、Stiffness、Stability)基本要求体现了设计方法的系统性。坚持工程教育回归工程实际,强化能力导向原则是本书的特色,追求理论和方法的实用性是本书的优势。

本书的组织结构符合认知规律,逻辑性强,利于掌握,便于应用。学生通过学习和设计实践,能较好地掌握金属结构设计原理和方法,培养机械结构工程师的设计、分析能力和综合创新能力。

本书主要作为高等院校机械工程专业机械装备(起重运输机械、工程机械、物流仓储机械等)结构设计教学用书,同时也可供有关专业结构方向的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

机械装备金属结构设计/徐格宁主编.—2版.—北京:机械工业出版社,2009.9

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-111-27526-8

I. 机… II. 徐… III. 机械设备—金属结构—结构设计—高等学校—教材 IV. TB4

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第114409号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:刘小慧 责任编辑:邓海平 刘小慧

版式设计:霍永明 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:乔宇

北京机工印刷厂印刷(三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2009年9月第2版第1次印刷

184mm×260mm·29.5印张·714千字

标准书号:ISBN 978-7-111-27526-8

定价:49.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379711

封面无防伪标均为盗版

编写委员会

顾问:

任露泉 中国科学院院士 吉林大学 教授/博士生导师
钟 掘 中国工程院院士 中南大学 教授/博士生导师
石来德 中国工程机械学会理事长 同济大学 教授/博士生导师
陆大明 中国物流工程学会理事长 北京起重运输机械设计研究院院长

主任:

徐格宁 太原科技大学 副校长 教授/博士生导师

委员:

周奇才, 朱西产, 罗永峰, 邓洪洲, 同济大学 教授
宋甲宗, 苗明, 王欣, 杨睿, 冯刚, 大连理工大学 教授
王国强, 吉林大学 教授
毛海军, 林晓通, 东南大学 教授
冯忠绪, 长安大学 教授
胡吉全, 武汉理工大学 教授
李自光, 长沙理工大学 教授
王国华, 北京科技大学 教授
宋伟刚, 东北大学 教授
米彩盈, 张仲鹏, 西南交通大学 教授
陶元芳, 孟文俊, 文豪, 张亮有, 秦义校, 韩刚, 太原科技大学 教授
于 岩, 山东科技大学 教授
王 彪, 中北大学 教授
刘永峰, 北京建工学院
何 燕, 青岛科技大学
赵春晖, 刘武胜, 北京起重运输机械设计研究院
章二平, 柳州工程机械集团公司
顾翠云, 太原重型机械集团公司
聂春华, 江西华伍制动器股份有限公司
田东风, 大连博瑞重工股份有限公司
邓海平, 机械工业出版社

序

一、编写背景和依据

随着国民经济的高速发展，面向 21 世纪社会发展的需求，面对激烈的市场竞争，高等教育应适时转变观念和理念，不断进行教学改革和创新，以期更好地适应我国高等教育跨越式的发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转型中社会对高校应用型人才培养的差异化要求，探索和建立适应我国高等教育应用型人才培养体系和工程教育体系。“高等工科教育回归工程”，“应用型本科教育”，“强化能力导向原则”等基于社会需求及人才培养和教学改革的教育理念，是《高等教育法》提出的“高等教育教学改革务必根据不同类型、不同层次高等学校自身实际”要求、《高等学校本科教学质量与教学改革工程项目管理暂行办法》（简称“质量工程”）所坚持的“分类指导、注重特色”原则的创新成果和实践载体。

高等教育分为教学型、教学研究型、研究型，要求高校按照“质量工程”对人才培养目标进行合理定位，对教学过程进行科学创新，发挥自身优势，形成各自特色，从而满足社会多样化的人才需求。人才培养目标的差异化，直接要求教学内容、教材建设具有针对性。《高等教育法》第 34 条明确规定：“高等学校根据教学需要，自主制定教学计划、选编教材、组织实施教学活动。”教育部在 2007 年提出本科教育、教学“质量工程”，鼓励和支持高等学校在教学理念等方面进行创新，形成有利于多样化人才成长的培养体系，满足国家对社会紧缺的创新型和应用型人才的需要。

“百年大计，教育为本；教育大计，教师为本；教师大计，教学为本；教学大计，教材为本；教材大计，适用为本。”针对人才培养目标的差异化和教学内容、教材建设的同质化的矛盾，国内具有机械行业特色专业的相关高校与机械工业出版社共同协商，专题研讨，成立特色专业系列教材编写委员会，以“打造特色精品教材，促进专业教育发展”的理念规划出版的“机械工业本科特色专业本科规划教材”，是对“质量工程”中所要求的“重点规划、建设多种基础课程和专业课程教材，促进高等学校教学内容更新、教材建设工作”的落实。

在教材选题设计思路上贯彻教育部关于培养适应地方、区域经济和社会发展需要的“本科应用型高级专门人才”的指示精神，突出了教材建设与办学定位、教学目标的一致性与适应性。教材立足的培养目标是加强工程意识的培养，加强理论与实践的结合，加强实践教学和工程训练，面向培养生产第一线从事设计、制造、运行、研究和管理实际工作、解决具体问题、保障工作有效运行的高等应用型人才。

在教材编写中既严格遵照学科体系的知识构成和教材编写的一般规律，又针对应用型本科人才培养目标及与之相适应的教学特点，精心设计写作体例，科学安排知识内容，注重解决现行教材存在的问题：如教材缺乏连续性修订，库存早已用完殆尽；现行国家标准已经与

国际接轨，现行教材中相关内容陈旧过时；企业和科研院所本专业工程技术人员对特色专业教材的日益需求。充分体现“基本理论够用、专业理论雄厚，注重实践环节，培养工程能力”的内涵和尺度的把握。

二、特色优势专业（方向）

面向机械工业和重型机械行业的本科特色优势专业（方向）包括但不限于起重运输机械、工程机械、矿山机械、物流装备与技术，特种设备安全工程。

研究生特色优势学科包括但不限于机械设计理论、车辆工程、机械制造及其自动化、机械电子工程。

工程硕士学科领域包括但不限于机械工程、车辆工程。

三、特色专业教材规划

由于起重运输机械和工程机械方面的教材专业性强，用量少，出版难，距前一版出版时间大多数已超过十年，涉及相关标准和技术已经更新，旧版教材已经全部用完，许多企业与科研院所作为继续教育和新进大学生的技术培训或设计参考，现急需出版新教材和修订版。根据市场调研和急需程度，特色专业系列教材编写委员会提出第一批特色专业系列教材出版规划如下：

序号	教材名称	适用专业（方向）	字数/万	计划出版时间
1	机械装备金属结构设计	起重运输机械 工程机械 矿山机械 计算机辅助设计 物流工程 安全工程	50	2009.9
2	叉车构造与设计	起重运输机械 计算机辅助设计 物流工程	30	2009.11
3	连续输送机械	起重运输机械 计算机辅助设计 矿山机械	45	2010.8
4	起重机械	起重运输机械 计算机辅助设计	40	2010.8
5	土方运输机械	工程机械 矿山机械	40	2010.8
6	矿井提升机械	起重运输机械 矿山机械	30	2010.8
7	液压挖掘机	工程机械	40	2010.8
8	特种设备安全技术	起重机械 工程机械 安全工程	30	2010.8

(续)

序号	教材名称	适用专业(方向)	字数/万	计划出版时间
9	起重机金属结构课程设计	起重运输机械 工程机械 矿山机械 计算机辅助设计 物流工程 安全工程	30	2010.8
10	起重机械课程设计	起重运输机械	30	2010.8
11	输送搬运设备课程设计	起重运输机械 计算机辅助设计 物流工程 安全工程	30	2010.8
12	计算机辅助设计课程设计	起重运输机械 计算机辅助设计 物流工程 安全工程	30	2010.11
13	起重机金属结构习题集	起重运输机械 工程机械 矿山机械 计算机辅助设计 物流工程 安全工程	10	2010.11
14	机械工程软件技术基础	机械设计制造及其自动化专业各方向	30	2010.2
15	机械工程 CAD 技术基础	机械设计制造及其自动化专业各方向	30	2010.8
16	机械类特色专业 试验教学指导书	起重运输机械 工程机械 矿山机械 计算机辅助设计 物流工程 安全工程	20	2010.11

前 言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是机械工程专业中起重机械、工程机械、矿山机械、物流机械等方向的必修课教材。

本书分十二章，分别阐述机械装备金属结构设计的目的、要求、特点、方法和应用场合，金属结构计算原理和基本规定；以起重机金属结构设计为主线，详细介绍了金属结构的材料特性与选择原则，起重机整机、结构件工作级别的划分方法，载荷计算及载荷组合，焊缝、铆钉、螺栓连接计算方法，轴向受力、横向受弯、受扭等基本构件的计算方法，柱、梁、桁架、桥架、门架、臂架、塔架等典型机械装备结构的构造和设计方法及步骤。为便于总结复习，每章末附有本章小结。为方便设计使用，本书提供有关结构计算的公式和计算图表及数据，附录中给出金属结构设计所需的型钢表，供选用。

本书在《金属结构》（徐克晋主编，机械工业出版社，1993）的第四章至第十二章的部分内容基础上，参考引用 GB/T 3811—2008《起重机设计规范》（中国标准出版社，2008.10）的有关内容，进行编写和补充。

本书全面贯彻国家、行业有关最新标准和法定计量单位，符合工程设计要求。

本书的组织结构符合认知规律，逻辑性强，利于掌握，便于应用。学生通过学习和设计实践，能较好地掌握金属结构设计的原理和方法，培养机械结构工程师的设计、分析能力和综合创新能力。

本书主要作为高等院校机械工程专业机械装备（起重运输机械、工程机械、物流仓储机械等）结构设计教学用书，同时也可供有关专业结构方向的工程技术人员参考使用。

本书的特色：

1. 坚持理论联系实际，坚持面向工程应用，具有较强的实践性

本书不仅注重金属结构基本计算原理的阐述，而且坚持理论方法与实际工程相结合，针对产品对象提出分析方法，有的放矢地解决实际工程问题。基本设计内容体现计算原理的理论性，典型装备设计体现设计步骤的实践性，引进最新国标体现设计依据的先进性，结构设计的3S（Strength、Stiffness、Stability）基本要求体现设计方法的系统性。坚持工程教育回归工程实际，强化能力导向原则是本书的特色，追求理论和方法的实用性是本书的优势。为此，在本书的配套教材（金属结构课程设计、金属结构习题集）中安排了课程设计（目的、方法、步骤和实例），习题，大作业和实例等实践环节，以培养学生综合分析问题和解决实际问题的能力，达到学以致用目的。

2. 机械装备金属结构与建筑钢结构教材有本质的区别

机械装备的金属结构具有机械设备的特点，载荷工况复杂，载荷变化动载性强，钢材的工作限制在弹性范围，本教材讲授的是“运动的金属结构”的计算原理和方法。而建筑钢结构载荷工况相对规律，载荷固定且动力性弱，钢材的工作可延伸到弹塑性范围，其教材讲

授的是“静止的钢结构”的计算原理和方法。

3. 研究对象有鲜明的侧重和覆盖面

本教材以起重机为典型代表作为分析对象，侧重于广泛应用的“桥式、门式、臂架式、流动式、塔式起重机和物流仓储设备”的结构分析、设计方法的讲授，覆盖了大多数机械装备的结构型式（如工程、矿山机械的工作装置、臂架、塔架等），可满足各方面要求。

4. 全面贯彻国家标准《起重机设计规范》，合理引进国外先进工业国家标准和技术成果

本教材的编写启动之时正值《起重机设计规范》国家标准修订版送审稿的全国审定大会结束之日，本教材的完稿之时恰逢 GB/T 3811—2008《起重机设计规范》出版发行之际，其目的就是为了全面贯彻最新颁布的《起重机设计规范》，在科学分析基础上合理引进国外有关标准和先进技术成果，最大限度与国际接轨，统一设计原理和方法；力求适用实用，形式新颖，不随盲从，计算合理，注重效果，以提高教材的内涵质量。

本教材新增内容有：

(1) 载荷组合 采用国际标准的载荷组合：引入分项载荷系数（极限状态法）和强度系数（许用应力法），划分 A（无风工作）、B（有风工作）、C（受特殊载荷作用工作或非工作）3 种载荷情况，给出 18 种（A1~A4、B1~B5、C1~C9）载荷组合。

(2) 设计方法 在原有许用应力设计法的基础上，引入国际现行的极限状态设计法。

(3) 工作级别 在原有整机及机构工作级别分级的基础上，增加了结构件的分级。

(4) 设计内容 增加了对钢材脆性破坏评价的内容；修改了起升动载系数 ϕ_2 的计算方法；增加、明确了加速动载系数 ϕ_5 的用法、取值；增列了起重机或小车在水平运动时的加速时间和加速度值表；修改了计算风压值 $p = 0.625v_0^2$ ；明确了工作风压和非工作风压计算用的阵风风速为 3s 时距的瞬时风速的平均值；增列了载荷组合表中特殊载荷栏的安装、拆卸和运输引起的载荷；引入了高危险度系数的概念并研究推荐了取值范围；充实了结构构件强度计算的内容，特别是局部压应力和复合应力计算的情况；简化了压弯构件整体稳定性计算；修改了结构疲劳强度校验计算的相关内容和数表；引入国际标准 ISO 22986: 2007“定位精度、控制系统”与动、静态刚性要求的新概念；丰富了连接强度计算的内容，特别是细化了对接焊缝与角焊缝连接和高强度螺栓连接的计算。

本书由太原科技大学徐格宁教授主编，承担第一、三、四章，并对全书进行修改、整理、统稿和定稿；太原科技大学徐克晋教授承担第七、八章，并对全书进行校核和把关；太原科技大学陆风仪教授承担第二章及附录，太原科技大学徐格宁、郑荣教授承担第五章，徐克晋、郑荣教授承担第六章，太原科技大学徐克晋、翟甲昌教授承担第九章，徐格宁、上海交通大学张荣康教授、同济大学周奇才教授承担第十章，徐格宁、张荣康、大连理工大学宋甲宗教授、王欣副教授承担第十一章，徐格宁、宋甲宗教授承担第十二章。

本书由西南交通大学王金诺教授、同济大学郑惠强教授担任主审。两位教授对书稿进行了认真细致的审阅，提出了宝贵的意见和建议；太原科技大学杨明亮、杨恒、江凡、冯晓雷等协助输入书稿、整理插图，在此对他们认真负责的精神和付出的辛劳表示衷心的感谢。

限于编者的水平，书中难免存在不妥之处，恳请读者批评指正。

编者
于太原科技大学

目 录

序

前言

第一章 绪论 1

第一节 机械装备金属结构的定义、作用、
发展和特点 2

一、金属结构的定义 2

二、金属结构的作用 2

三、金属结构的发展 2

四、金属结构的特点 3

第二节 机械装备金属结构的分类和应用 3

一、金属结构的分类 3

二、金属结构的应用 7

第三节 机械装备金属结构的基本要求和发
展趋势 8

一、基本要求 8

二、发展趋势 9

第四节 机械装备金属结构的课程特点、课
程任务和学习方法 14

一、课程特点 14

二、课程任务 14

三、学习方法 15

本章小结 15

第二章 材料 17

第一节 钢材的力学特性及影响因素 18

一、钢材的力学性能 18

二、钢材的加工性能 20

三、钢材的耐久性能 20

四、影响钢材性能的主要因素 21

第二节 材料的类别、特征和选择 23

一、材料的类别和特征 23

二、材料的选择 31

三、影响脆性破坏因素的评价和钢材质量
组别的选择 33

本章小结 35

第三章 载荷与载荷组合 37

第一节 载荷的分类 38

一、按其作用性质、工作特点和发生频度
划分 38

二、按其作用效果与时间变化相关性划
分 38

第二节 载荷的计算 38

一、载荷计算原则 38

二、载荷计算方法 39

第三节 金属结构的设计方法、载荷情况
和载荷组合 67

一、设计方法 67

二、载荷情况 68

三、载荷组合 69

四、载荷组合表及其应用 70

本章小结 79

第四章 计算原理 81

第一节 工作级别的划分 82

一、工作级别 82

二、起重机的分级 82

三、结构件的分级 84

四、典型起重机整机分级举例 86

第二节 计算原理和基本规定 88

一、计算原理 88

二、基本规定 88

三、钢材的承载能力 89

四、结构静强度计算 89

五、结构疲劳强度计算 90

六、结构刚度计算 102

七、结构稳定性计算 104

第三节 轴心受压构件的极限载荷与应
力 105

一、轴心受压构件的极限载荷 105

二、轴心受压构件的极限应力 107

三、弹塑性临界应力 108

第四节 压弯构件的精确计算 110

一、基本概念	110	第三节 偏心受力构件的计算	162
二、压弯构件的总挠度和总弯矩	110	一、偏心受力(拉或压)构件的强度	162
三、压弯构件的强度	113	二、偏心受压构件的刚度	162
四、压弯构件的整体稳定性	113	三、偏心受压构件的整体稳定性	163
五、实腹式受压构件的局部稳定性	116	第四节 柱的承载能力	164
第五节 结构动态分析中的质量换算	118	一、剪力对柱临界力的影响	164
一、结构振动连续系统转化成离散系统的质量换算	118	二、等效剪力	168
二、多自由度系统转化成等效单自由度系统的质量换算	120	三、变截面柱的计算	170
第六节 结构的断裂计算	124	第五节 实腹式柱的设计计算	174
一、结构的断裂	124	一、截面选择和验算	174
二、应力强度因子及临界值	125	二、板的局部稳定性	176
三、结构的断裂计算	126	第六节 格构式柱的设计计算	178
本章小结	127	一、截面选择	178
第五章 连接	129	二、强度和刚度验算	179
第一节 焊接连接	130	三、稳定性验算	180
一、焊接的方法与构造	130	四、连缀和横膈	181
二、焊缝的标注	132	本章小结	183
三、焊缝的强度与许用应力	133	第七章 横向受弯实腹式构件——梁	185
四、焊缝的计算	133	第一节 横向受弯实腹式构件——梁的构造和截面	186
五、焊缝连接疲劳强度计算及合理构造	138	一、梁的构造	186
第二节 普通螺栓连接和铆钉连接	140	二、梁的截面	186
一、普通螺栓及铆钉连接的分类和基本要求	140	第二节 型钢梁的设计	187
二、螺栓、销轴和铆钉的许用应力	142	一、截面选择	187
三、栓接和铆接的强度计算	143	二、强度和刚度验算	187
四、销轴的强度计算	146	三、稳定性验算	188
第三节 高强度螺栓连接	146	第三节 组合梁的合理高度和质量	191
一、工作性能和构造要求	146	一、梁高的确定	191
二、高强度螺栓的承载能力计算	148	二、梁的质量(自重)	194
三、高强度螺栓连接的计算	149	第四节 组合梁的截面选择和验算	194
本章小结	151	一、腹板	194
第六章 轴向受力构件——柱	153	二、翼缘板	194
第一节 轴向受力构件——柱的构造和应 用	154	三、强度和刚度验算	195
一、轴向受力构件——柱的构造	154	四、变截面组合梁	197
二、轴向受力构件——柱的应用	155	第五节 梁的翼缘和腹板的连接	198
第二节 轴心受力构件的计算	155	一、工字梁的翼缘焊缝	198
一、轴心受力构件的强度	155	二、箱形梁的翼缘焊缝	199
二、轴心受力构件的刚度	155	第六节 梁翼缘板的局部弯曲应力	199
三、轴心受压构件的整体稳定性	157	一、工字梁翼缘板的局部弯曲	199
		二、箱形梁翼缘板的局部弯曲	202
		第七节 组合梁的整体稳定性	207
		一、工字形截面组合梁	207
		二、箱形梁	207

第八节 组合梁的局部稳定性	209	一、节点设计的构造要求和原则	248
一、梁中薄板局部失稳的概念	209	二、节点的设计计算	249
二、板的极限宽厚比和加劲肋的设置	210	第八节 桁架的挠度和拱度	252
三、板的临界应力	212	一、桁架的挠度	252
四、梁腹板局部稳定性验算	215	二、桁架的拱度	253
五、加劲肋的构造尺寸和焊接要求	216	本章小结	254
第九节 梁约束弯曲和约束扭转的简化计算	219	第九章 桥梁	255
一、梁的约束弯曲	219	第一节 桥架型式和应用范围	256
二、梁的约束扭转	220	一、梁式起重机桥架	256
第十节 梁的拼接	225	二、通用桥式起重机桥架	258
一、工厂拼接	225	三、冶金桥式起重机桥架	260
二、安装拼接	226	四、国内外桥式起重机新型桥架	261
第十一节 梁的挠度和拱度	227	第二节 桥架的载荷计算与载荷组合	261
一、梁的挠度	227	一、垂直载荷	261
二、梁的拱度	228	二、水平载荷	263
本章小结	228	三、扭转载荷	264
第八章 横向受弯格构式构件——桁架		第三节 单梁桥架	264
架	231	一、工字钢截面单梁桥架	264
第一节 横向受弯格构式构件——桁架的构造和应用	232	二、模压封闭截面单梁桥架	268
一、桁架的构造	232	第四节 中轨箱形梁桥架	271
二、桁架的应用	232	一、确定桥架型式和规划结构尺寸	272
第二节 桁架的外形与腹杆体系	233	二、箱形主梁的设计计算	273
一、桁架的外形	233	三、端梁结构和计算	280
二、桁架的腹杆体系	233	四、主、端梁的连接和计算	281
第三节 桁架的主要参数	234	第五节 偏轨箱形梁桥架	283
一、桁架的跨度	234	一、桥架的强度计算	283
二、桁架的高度	235	二、桥架的刚度计算	285
三、节间尺寸	235	第六节 四桁架桥架	286
第四节 桁架杆件内力分析	236	一、桥架的结构和参数	286
一、桁架内力分析与假定	236	二、桥架的载荷与分配	287
二、杆件内力分析方法的选择	236	三、桥架的强度计算	288
三、桁架弦杆的整体弯曲和局部弯曲	237	四、桥架的刚度计算	289
第五节 桁架杆件的计算长度	239	第七节 起重机的轨道	290
一、杆件在桁架平面内的计算长度	239	一、轨道的选择	290
二、杆件在桁架平面外的计算长度	240	二、轨道的固定	290
第六节 杆件截面设计和弦杆拼接	242	三、轨道的接头	290
一、杆件的截面型式	242	本章小结	290
二、杆件截面设计的一般原则	243	第十章 门架	291
三、杆件截面选择与验算	243	第一节 门式起重机的门架结构	292
四、弦杆的拼接	245	一、通用门式起重机的门架	292
第七节 桁架节点构造设计与计算	248	二、造船用门式起重机的门架	315
		第二节 装卸桥的门架结构	318
		一、装卸桥	318

二、岸边集装箱装卸桥	319	析	383
第三节 门座起重机的门架结构	321	第六节 履带起重机臂架	390
一、门架的结构	321	一、履带起重机简介	390
二、门架外形尺寸选择的原则	323	二、履带起重机臂架组合方式	390
三、门架上的载荷	323	三、臂架结构特点与组成	394
四、交叉门架结构的计算	325	四、臂架结构设计要点	397
五、八杆门架结构的计算	328	本章小结	402
六、圆筒形门架结构的计算	329	第十二章 塔架	405
第四节 自动化立体仓库巷道堆垛机的门架结构	332	第一节 塔式起重机塔身的结构及载荷	406
一、自动化仓库系统简介	332	一、塔身的结构	406
二、巷道堆垛机简介	332	二、塔身标准节之间接头的型式	409
三、单立柱巷道堆垛机结构计算	333	三、载荷及载荷组合	410
四、双立柱巷道堆垛机结构计算	341	第二节 桅杆式起重机的结构及载荷	411
第五节 自动化立体仓库货架群金属结构计算机辅助设计	343	一、独杆式桅杆起重机	411
一、理论建模	344	二、臂架回转式桅杆起重机	412
二、货架群金属结构计算机辅助设计	346	第三节 塔桅结构的分析计算方法	414
三、工程实例	347	一、空间桁架的内力分析方法	414
本章小结	348	二、位移的计算方法	420
第十一章 臂架	349	三、高耸塔架的非线性分析方法	422
第一节 臂架的应用与分类	350	四、塔架整体稳定性计算方法	425
一、臂架的应用	350	五、附着式塔身的强度、位移及稳定性计算方法	428
二、臂架的分类	350	本章小结	429
第二节 单臂架	352	附录	431
一、单臂架的结构型式	352	附录 1 热轧钢板的尺寸、重量	432
二、单臂架设计计算	353	附录 2 热轧型钢的截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性	433
第三节 组合臂架	356	附录 3 热轧圆钢和方钢的尺寸、理论重量	444
一、组合臂架的类型	356	附录 4 热轧 H 型钢和剖分 T 型钢的截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性	445
二、象鼻架	357	附录 5 低压流体输送用焊接钢管	450
三、臂架	361	附录 6 起重机钢轨的截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性	451
四、拉杆	366	附录 7 轻轨的截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性	452
五、臂架的铰接关节	368	附录 8 铁路用热轧钢轨的截面尺寸、截面面积、理论重量及截面特性	453
第四节 伸缩臂架	369	参考文献	454
一、伸缩臂架的结构及工作原理	369		
二、箱形伸缩臂受力分析	370		
三、箱形伸缩臂架的设计计算	372		
第五节 小车变幅臂架和挖掘机臂架	380		
一、小车变幅臂架结构型式	380		
二、小车变幅臂架的合理吊点位置	381		
三、挖掘机臂架系统的型式	382		
四、挖掘机臂架的计算机辅助设计与分			



第一章

绪 论





第一节 机械装备金属结构的定义、作用、发展和特点

一、金属结构的定义

金属结构是以金属材料轧制成的型钢及钢板作为基本元件,采用铆、焊、栓接等连接方法,按照一定的结构(而非机构)组成规则连接构成能够承受载荷的结构物。

二、金属结构的作用

金属结构作为机械装备的骨架,承受和传递机械装备负担的各种工作载荷、自然载荷及以自重载荷。如桥式起重机的起升载荷是通过起重小车的车轮传递给主梁,主梁再传递给端梁,端梁再通过大车车轮传递给轨道,最终由轨道传递到轨道梁的基础来完成载荷的传承。

金属结构是机械装备的主要组成部分,起到“骨架”的作用,约占整机总重的60%~80%。许多起重机是以金属结构的外形而命名,如桥式起重机、门式起重机、门座起重机、塔式起重机、桅杆起重机等。

三、金属结构的发展

金属结构是出现较晚的一种结构型式,仅在19世纪后期,由于钢铁工业、铁路、水运的发展,机器制造业的进一步完善,金属结构才得以较快地发展。

金属结构的发展史,是科技进步史的缩影。以起重机为例,最早的起重机是木制的。1827年,出现了第一台用蒸汽机驱动的固定式旋转起重机。1846年,出现了液力机械驱动的起重机。1869年,美国首先制成了第一台40t的蒸汽轨道起重机。1879年英国科尔斯公司制成一台3.5t轨道式抓斗起重机。1880年德国制成了世界上第一台电力拖动的钢制桥式起重机。1889年在码头上出现了门座和半门座起重机。当时的起重机金属结构全是铆接结构。

20世纪以来,由于钢铁、机械制造业和铁路、港口及交通运输业的发展,促进了起重运输机械的发展,对起重运输机械的性能也提出了更高的要求。1902年和1917年,英国分别制成电传动的和内燃机—机械传动的轨道式起重机。1916年,美国开始制造硬橡胶实心轮胎的自行式起重机,1918年,德国生产出第一台履带式起重机。1922年,英国开始制造以汽油机为动力的电传动汽车起重机。1937年,英国制成充气轮胎的轮式起重机,行驶速度达15.3km/h,大大提高了工作效率。

特别是20世纪开始采用焊接技术后,在金属结构领域引发了重要变革。由于焊接结构对减少钢材用量、改革结构型式、减少制造劳动量、缩短工时等方面,都起到了很大的促进作用,因此焊接结构成了现代金属结构的特征。

我国是应用起重机械最早的国家之一,古代的祖先采用杠杆及辘轳取水,就是采用起重设备节省人力的范例。由于是人力驱动,故起重能力小,效率很低。

建国前,我国自行设计制造的起重机金属结构很少,绝大多数起重运输设备主要依靠进

口。货物的装卸以人力为主。

建国后,随着冶金、钢铁工业的发展,起重运输机械获得了飞速的发展,“一五”期间,相继建立了全国最大的大连起重机器厂、太原重型机器厂。1949年10月,试制成功我国第一台起重量[⊖]50t、跨度22.5m的桥式起重机。为培养起重机械行业的专门人才,国家在上海交通大学、大连理工大学、太原科技大学、北京科技大学、武汉理工大学、西南交通大学等多所高等工科院校中,创办了起重运输机械专业,为起重机械行业输送了大批高级工程师技术人才。

四、金属结构的特点

(1) 金属结构计算方法准确,安全可靠 钢材比其它材料(木材、混凝土)强度高,弹性模量大,质地优良,计算结果与实际情况比较符合,能够保证结构的安全。

(2) 金属结构自重轻 由于钢材强度高,力学性能稳定,使得结构构件截面最小,自重轻,故运输和架设亦较方便。

(3) 金属结构制造工业化程度高 由于制造是在设备完善、生产成熟的专用场地进行,故具备成批生产和精度高的特点。

(4) 金属结构易于安装 由于金属结构是由一些独立构件、梁、柱等组成,在安装现场便于直接用焊缝、铆钉或螺栓连接,故可机械化施工,安装较迅速。同时,部件的更换、修配均很方便。

(5) 金属结构便于做成密封的容器 金属结构具有良好的弹塑性、成形性和焊接性,便于制造成耐中压、常压的压力容器。

(6) 金属结构容易锈蚀 金属结构需经常维修,保养维修费用也较高。

(7) 金属结构的材料较贵 金属结构造价较高,耐高温性能较差。

选用金属结构时应根据上述特点,综合考虑结构物的使用要求、结构安全、材料节省以及寿命等因素来确定。

第二节 机械装备金属结构的分类和应用

一、金属结构的分类

1. 按照金属结构的构造分类

按构造分类,金属结构可分为格构(桁架)结构和实腹(板梁)结构。

格构(桁架)结构由二力杆件连接而成,其特点是杆件长度尺寸较大,而截面尺寸较小。格构式结构用型钢制成,多做成桁架和格构柱。如塔式起重机的桁架臂和塔身都是桁架结构(图1-1),牙轮钻机的钻架采用开式桁架结构(图1-2)。

实腹(板梁)结构由薄板焊接而成,其特点是长度和宽度尺寸较大,而厚度较小。因此实腹式结构亦称薄壁结构,如工字形梁、箱形梁和箱形柱等。门式起重机的箱形主梁和变

⊖ 本书的起重量,均指起重机的起升质量。

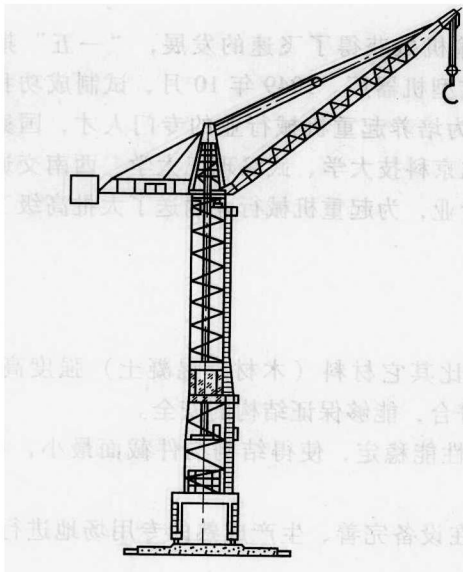


图 1-1 塔式起重机 (桁架式臂架)



图 1-2 牙轮钻机 (桁架式钻架)

截面箱形支腿 (图 1-3)、矿用挖掘机的箱形臂架和斗杆 (图 1-4)、门座起重机的箱形臂架和支腿门架 (图 1-5) 都是实腹式结构。

实腹式结构自重较大, 制造方便; 格构式结构自重小, 但工艺复杂。一般是承载较大、尺寸较小的结构采用实腹式结构, 而承载较小、尺寸较大的结构采用格构式结构。实腹式结构和格构式结构是起重运输机金属结构中最常用的结构型式。

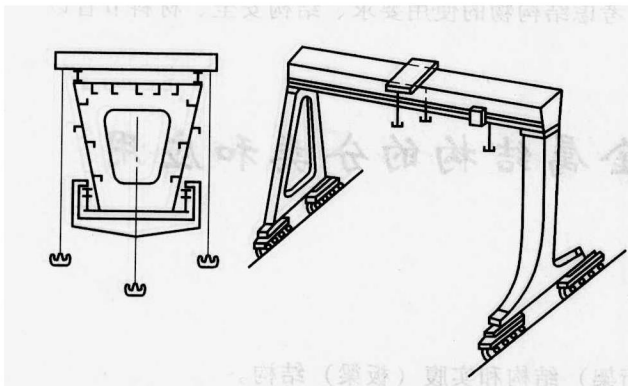
图 1-3 造船箱型门式起重机
(受压弯的支腿和受弯的梁)

图 1-4 矿用挖掘机 (箱形臂架)

2. 按照金属结构外形分类

按外形分类, 金属结构可分为桥架结构、门架结构、臂架结构、塔架结构。

门架结构包括叉车的门架 (图 1-6)、L 形门式起重机的门架 (图 1-7)、桥架结构如桥式起重机 (图 1-8)、核电站环形桥式起重机的桥架 (图 1-9) 和轮式起重机的车架 (图 1-