

790510

高等学校试用教材

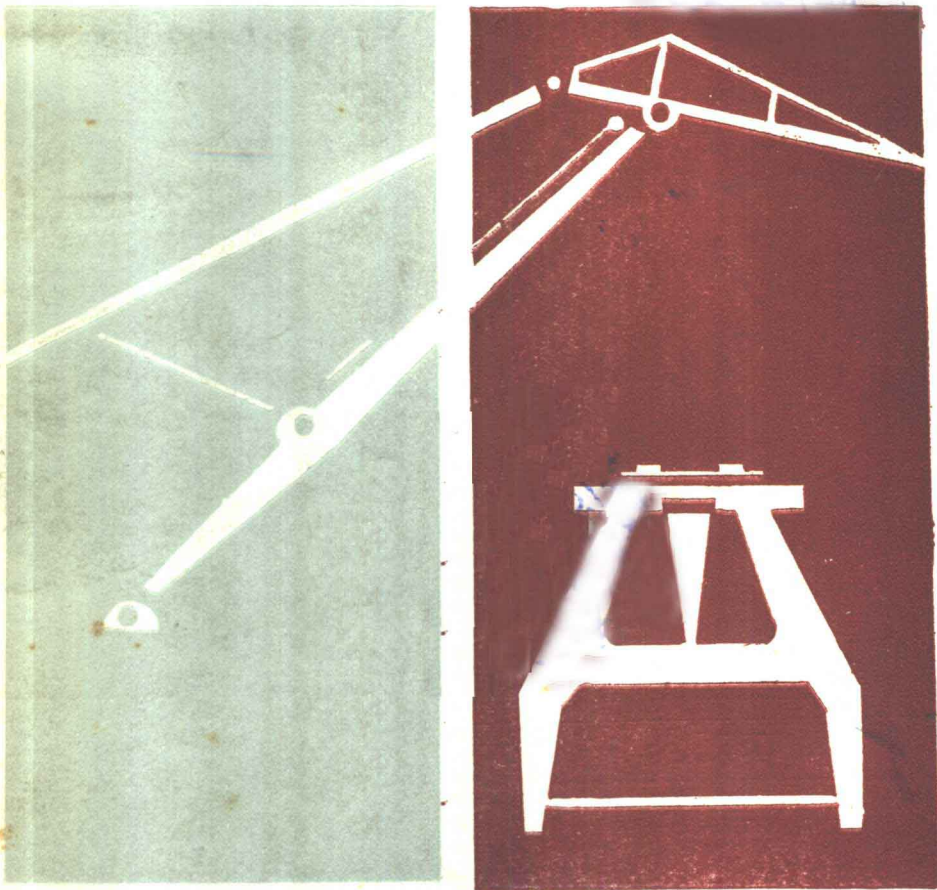
5791

7511

起重机械金属结构

上海海运学院 陈玮璋 主编
哈尔滨建筑工程学院 顾迪民 主审

人民交通出版社



高等学校试用教材

起重机械金属结构

Qizhongjixie Jinshujiegou

上海海运学院 陈玮璋 主编
哈尔滨建筑工程学院 顾迪民 主审

人民交通出版社

高等学校试用教材

起重机械金属结构

上海海运学院 陈玮璋 主编
哈尔滨建筑工程学院 顾迪民 主审

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售
人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：25.25 字数：617千

1986年6月 第1版

1986年6月 第1版 第1次印刷

印数：0001—2,700册 定价：4.10元

内 容 简 介

本书阐述了起重机械金属结构的构造特点、设计理论和设计方法，分上、下两篇编写。上篇“设计基础”共七章，内容包括金属结构材料的性能和选择，载荷计算和载荷组合，结构设计的基本准则，金属结构的连接方法及其计算，金属结构基本构件的构造原则和设计计算原理；下篇“典型起重机结构设计”共四章，分别介绍桥式和臂架回转式起重机金属结构的构造和设计计算方法。

本书全面贯彻了新制订的《起重机设计规范》GB3811—83，并引进了近几年来国内外在金属结构设计理论方面的一些最新科研成果。

全书重点突出，内容精炼，基本理论阐述透彻，典型结构设计阐述具体，理论联系实际。内容编排上注意了理论的连贯性，深入浅出，便于自学。

本书作为高等院校起重运输及工程机械专业的试用教材。对从事本专业工作的工程技术人员也很有参考价值。

前 言

本书根据交通部教育局的教材建设计划和部属院校起重运输及工程机械专业于1983年秋季在武汉召开的教材会议上所制订的《起重机械金属结构》课程的教材编写大纲编写。全书上下两篇共十一章，分别阐述起重机械金属结构的连接、基本构件和典型结构的设计理论和设计方法。本书由上海海运学院和武汉水运工程学院联合编写。编写中参考了两校历年来编写的讲义和教材，总结了两校多年来的教学经验。本书贯彻了新制订的《起重机设计规范》GB3811-83，同时在引进国内外最新科研成果更新教材内容方面作了一定的努力。各章编写时特别注意了概念的确切性，理论的严密性、连贯性和理论与实际的结合。

本书由上海海运学院陈玮璋主编，哈尔滨建筑工程学院顾迪民主审。参加编写人员有：上海海运学院陈玮璋（绪论，第二、五、九章），徐祖雄（第一、三、六章），刘中珩（第四、十章），武汉水运工程学院于夕畔（第七章），朱湘（第八章），张士锷（第十一章）。主编在统稿过程中对全稿进行了必要的修改和补充。主审对全稿进行了认真的审阅并提出了不少宝贵意见。同时校内外不少同志对本书的编写工作给予了热情的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1985年9月

目 录

绪论.....	1
第一节 金属结构的发展史.....	1
第二节 起重机金属结构的型式和基本组成构件.....	2
第三节 设计起重机金属结构的基本要求.....	6

上 篇 设 计 基 础

第一章 金属结构的材料.....	7
第一节 金属结构对材料的要求和常用材料.....	7
第二节 钢材的性能及影响因素.....	8
第三节 钢材的分类、标志代号和特性.....	17
第四节 钢材的选择和钢材规格.....	22
第二章 载荷及金属结构设计计算准则.....	24
第一节 载荷的种类.....	24
第二节 载荷的确定和计算.....	25
第三节 载荷的计算组合.....	43
第四节 结构承载能力的设计计算方法.....	44
第五节 强度设计准则及许用应力.....	46
第六节 稳定性设计准则.....	53
第七节 刚性设计准则.....	55
第三章 金属结构的连接.....	57
第一节 连接的作用和方法.....	57
第二节 焊接方法和焊接材料.....	58
第三节 焊接接头的型式和焊缝型式.....	60
第四节 焊接接头的静强度计算.....	66
第五节 设计焊接结构的注意事项.....	75
第六节 普通螺栓连接.....	76
第七节 剪力螺栓连接的计算.....	80
第八节 拉力螺栓连接的计算.....	84
第九节 拉一剪螺栓连接的承载力.....	88
第十节 高强度螺栓连接.....	88
第十一节 销轴连接.....	91
第四章 轴心受力构件.....	93
第一节 轴心受力构件的种类和应用.....	93

第二节	轴心受拉构件的设计计算	95
第三节	轴心受压构件的稳定性	97
第四节	轴心受压构件的局部稳定性	101
第五节	实腹轴心受压构件的截面设计	103
第六节	格构式轴心受压构件的稳定性	105
第七节	格构式轴心受压构件的截面设计	109
第八节	缀材和横隔的设计	111
第九节	变截面轴心受压构件	115
第五章	梁——实腹式受弯构件	117
第一节	梁的种类和截面型式	117
第二节	型钢梁的设计	118
第三节	组合梁合理梁高确定	121
第四节	梁的自重	125
第五节	组合梁截面设计和强度、刚性验算	126
第六节	变截面组合梁	129
第七节	梁的整体稳定性	131
第八节	组合梁的局部稳定性	138
第九节	组合梁的构造设计和工艺设计	150
第六章	拉弯和压弯构件	163
第一节	拉弯和压弯构件的种类和应用	163
第二节	拉弯构件的设计计算	164
第三节	实腹式压弯构件的整体稳定性	166
第四节	实腹式压弯构件的局部稳定性	182
第五节	实腹式压弯构件的截面设计	185
第六节	格构式压弯构件的设计计算	187
第七章	桁架——格构式受弯构件	191
第一节	桁架的构造特点和应用	191
第二节	桁架的外形和腹杆体系	192
第三节	桁架主要参数的选择	193
第四节	桁架杆件的内力计算	194
第五节	桁架杆件的计算长度	199
第六节	桁架杆件的截面设计	202
第七节	桁架节点的设计	205
第八节	弦杆的拼接	211
第九节	桁架静态刚性验算	213
第十节	桁架的上拱	214

下 篇 典型起重机结构设计

第八章	桥式起重机	216
------------	--------------	-----

第一节	桥式起重机金属结构的分类	216
第二节	计算载荷及载荷组合	218
第三节	单梁起重机桥架	222
第四节	中轨箱形双梁桥架	230
第五节	偏轨箱形双梁桥架	243
第六节	四桁架式和板梁—桁架混合式桥架	247
第九章	龙门起重机和装卸桥	248
第一节	结构型式和主要参数	252
第二节	计算载荷及载荷组合	262
第三节	龙门起重机结构	268
第四节	装卸桥结构	282
第五节	岸壁装卸桥的结构	291
第十章	流动起重机	295
第一节	流动起重机金属结构的组成和型式	296
第二节	计算载荷及载荷组合	298
第三节	四弦杆格构式臂架	299
第四节	箱形伸缩臂架	307
第五节	车架	318
第十一章	门座起重机	325
第一节	门座起重机的结构组成	326
第二节	计算载荷及其组合	326
第三节	臂架	328
第四节	人字架、转台和转柱	341
第五节	门架	349
	结束语	359
	附录 计算公式和系数	362
	主要参考文献	392

绪 论

金属结构是由型材、铸件和锻件等金属制件通过一定的连接手段所制成并满足一定使用要求的工程结构。由于金属结构具有质量稳定、安全可靠、强度高、重量轻和制造工业化程度高等优点，已在工业各部门获得广泛应用。例如，建筑工业上的工业民用建筑，交通运输业的车辆、船舶、飞机和桥梁，化工部门的容器，电力部门和邮电部门的高架塔桅，机械工业上的重型机械、工程机械和搬运机械的机架等无不采用金属结构。

起重机的金属结构是起重机的重要组成部分。它是整台起重机的骨架，用以装置起重机的机械、电器设备，支持被起吊的重物，承受和传递作用在起重机上的各种载荷。起重机依靠金属结构的支架作用而形成一定的作业空间；依靠金属结构外形的变化形成不同的机型以满足使用要求；依靠金属结构构件所组成的机构实现预定的运动规律。

绪论主要叙述金属结构的发展史，起重机金属结构的主要型式和基本组成构件以及设计金属结构的基本要求等。通过绪论的学习了解金属结构在起重机中的重要地位和合理设计金属结构的重要意义从而明确学习的目的。

第一节 金属结构的发展史

金属结构作为一种完善的结构型式是在冶金工业和机械制造工业发展的基础上，为适应建筑业和交通运输业发展的需要而迅速发展起来的。十八世纪以英国为中心的工业革命引起了冶金工业的迅速发展，金属结构开始用于桥梁和建筑结构方面。起初采用的材料是生铁，后来逐步为锻铁所代替，而连接手段则主要是铆钉连接和螺栓连接。十九世纪后半期到二十世纪初，由于炼钢、轧钢和焊接技术相继发展，使金属结构的构造型式发生了根本性的变化，以构造简单、自重轻、施工方便为特征的现代化焊接结构获得了迅速发展。目前金属结构不仅广泛用于传统的工业部门，新兴的宇航工业、海洋工程等也都大规模应用金属结构。

在起重机领域，1869年美国制成第一台蒸气轨道式起重机，1880年德国制成了第一台钢制电动桥式起重机。此后，欧美各国先后生产了用金属材料制造的各类起重机，如1914年俄国建造了起重量为75t和100t的龙门起重机。一个多世纪以来，特别是第二次世界大战以后，起重机行业得到了突飞猛进的发展，新机型、新结构、新技术和新工艺不断涌现，性能参数不断完善和发展，出现了不少大型化、高效化和轻量化的机种。现在，桁架臂半拖挂式汽车起重机的最大起重量已达到1000t，主臂架长121m；轮胎起重机的最大起重量达500t；履带起重机最大起重量达1500t；造船龙门起重机起重量达1600t，跨度达174m，起升高度105m，自重7200t；岸壁散货装卸桥起重量达85t，生产率5100t/h（矿石），跨度70m，前伸距50m；回转浮式起重机起重量达4000t。

我国是历史悠久的文明古国，早在春秋时期，我国劳动人民就已掌握了冶铸技术和机械制造工艺。但由于长时期的封建专制统治，使我国工业得不到大规模的发展，直至1907年才建造了我国第一个钢铁厂——汉阳钢铁厂，1915年才建造了我国第一家金属结构厂——山海

关桥梁厂。解放前我国工人和科技人员虽也曾奋发图强、自力更生地建造了一些闻名的钢结构工程，例如1927年建成的皇姑屯电机厂钢结构厂房，1931年建成的广州中山纪念堂圆屋顶，1934年建成的柳江钢轨桥，1937年建成的钱塘江大铁桥等，但数量非常有限。解放前我国起重机行业几乎是个空白点，全国范围内没有一家起重机专业生产厂，一些规模稍大的工业工厂（如上海锅炉厂等）虽也建造过少量桥式起重机，但大部分起重机产品还得依赖进口。解放后，我国工业获得了飞速的发展。冶金工业、钢铁工业和重型机械制造工业的发展为起重机制造业的发展提供了可能和需要。全国一解放就建立了我国最大规模的大连起重机厂，尔后相继建成了太原重型机器厂，上海起重运输机械厂等起重机专业生产厂。各种规模的起重机制造厂如雨后春笋般地发展起来，遍布全国。交通部系统于1958年起始建港口机械制造厂，并陆续建设了上海、广州、武汉、红光等港机厂和各港的港机修造厂。到1980年为止，这些工厂已为我国各港提供了3000多台各类港口机械。现在我国不仅有通用桥式类型起重机、轮式起重机和港口门座起重机等系列产品，而且开发了不少大型、高效的新机种。例如原北京起重机厂研制成功的100t汽车起重机；太原重型机器厂生产的2×250t电站龙门起重机、500t液压脱锭起重机；上海港机厂生产的200t回转浮式起重机、25t轮胎起重机、150t造船门座起重机、40t轮胎式集装箱龙门起重机和岸壁集装箱装卸桥等。目前一些重要生产厂正根据我国对外开放的政策和技贸结合、技术引进的方针与国外一些著名厂商进行技术合作和联合生产，为实现产品的升级换代作出贡献。

第二节 起重机金属结构的型式和基本组成构件

起重机的应用范围十分宽广，为了适应不同的使用要求和工作条件，设计制造了多种多样的各类起重机，而起重机的金属结构则更是式样繁多神态各异。起重机的种类虽然繁多，但归结起来不外乎两大类：一类为桥式类型的起重机，包括桥式起重机（图0-1）、龙门起重机（图0-2）和装卸桥（图0-3）等；一类为臂架回转起重机，包括各类流动起重机（图0-4）、门座起重机（图0-5）、塔式起重机和浮式起重机等。组成这些起重机的金属结构有

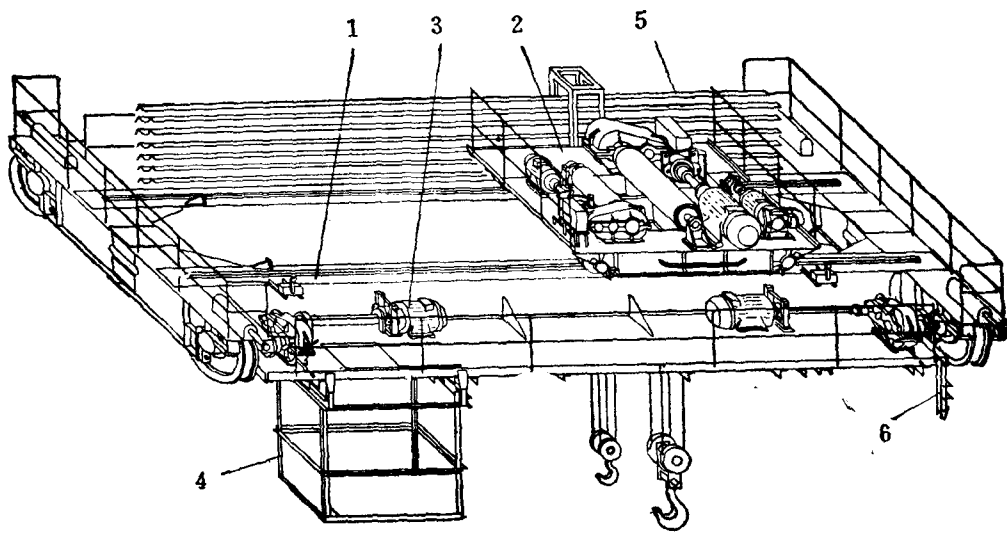


图0-1 箱形双梁桥式起重机

1-桥架结构；2-小车；3-大车运行机构；4-操纵室；5-小车导电装置；6-起重机总电源导电装置

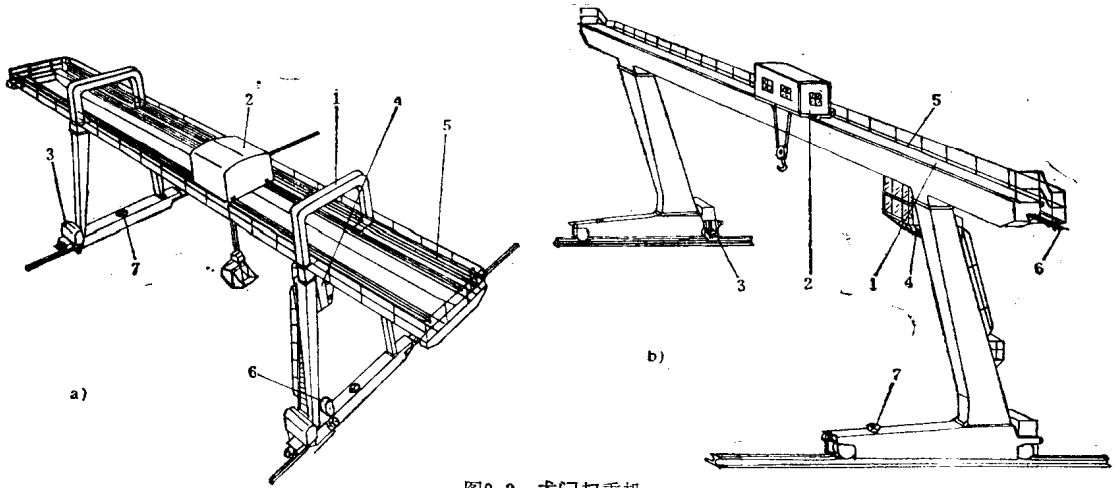


图0-2 龙门起重机

a)箱形双梁龙门抓斗起重机；b)箱形单梁龙门吊钩起重机

1-门架结构；2-小车；3-大车运行机构；4-操纵室；5-小车导电装置；6-起重机总电源导电装置；7-夹轨器

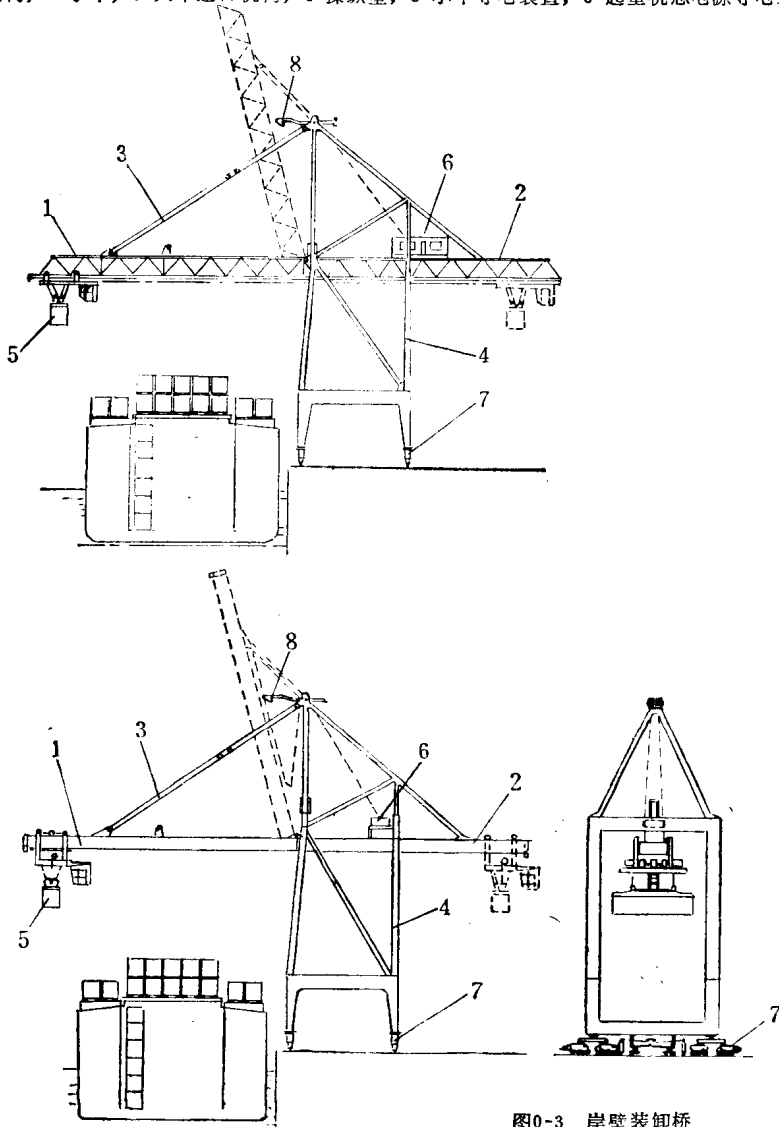


图0-3 岸壁装卸桥

1-前桥架；2-后桥架；3-拉杆；4-门架；5-小车；6-机房；7-大车运行机构；8-安全钩

桥架结构(图0-1、图0-3)，门架结构(图0-2、图0-3和图0-5)，臂架结构(图0-4、图0-5)，人字架转台(图0-4，图0-5)，转柱结构(图0-5)，车架结构(图0-4)和塔架结构等。有关这些结构的构造型式，工作特点，计算简图和受力分析将在本教材下篇各章内加以讨论。

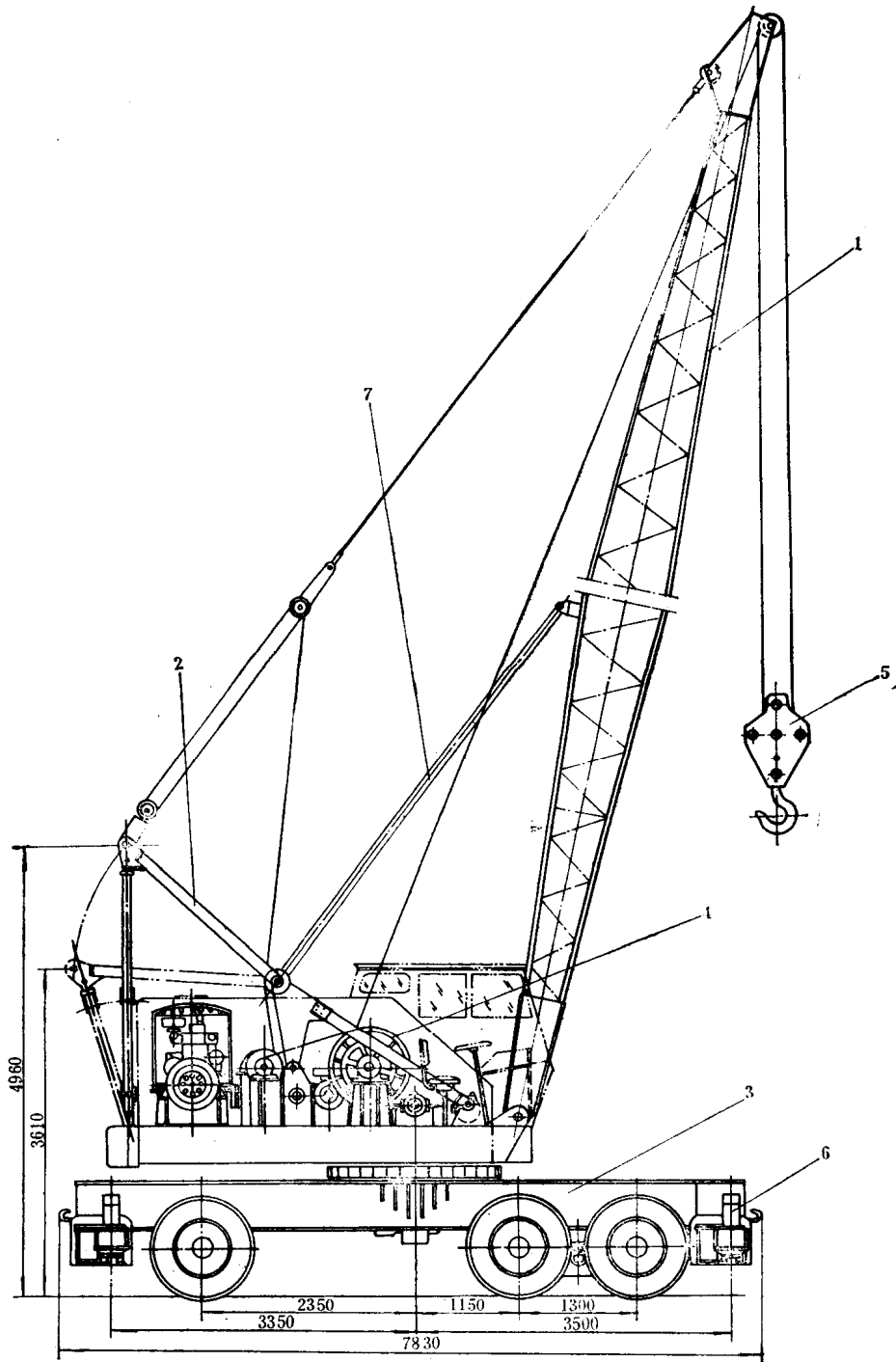


图0-4 轮胎起重机

1-臂架；2-人字架转台；3-车架；4-机构；5-吊钩夹套；6-支腿；7-保险撑杆

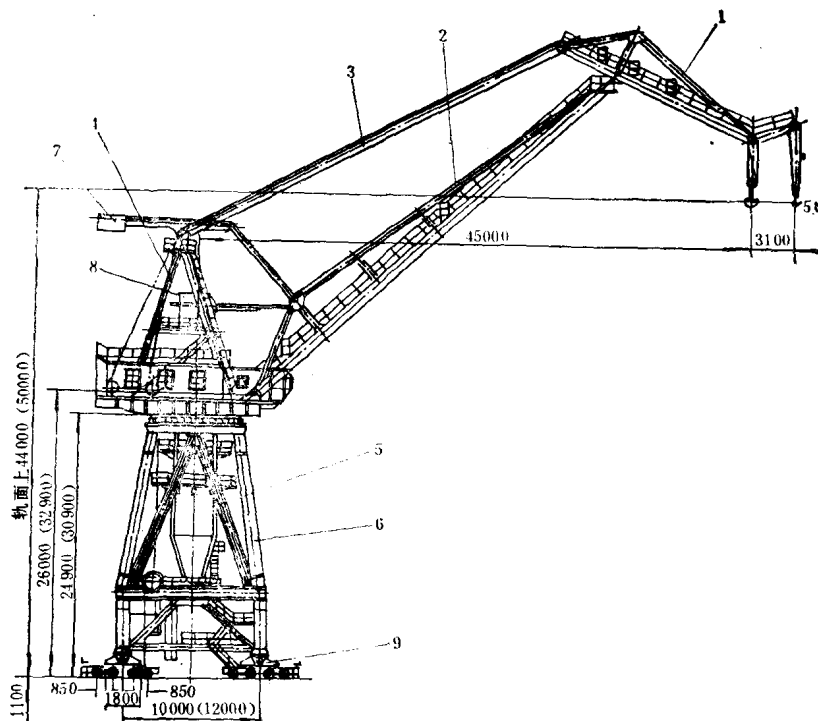


图0-5 门座起重机

1-象鼻架；2-臂架；3-大拉杆；4-人字架转台；5-转柱；6-门架；7-平衡重杠杆；8-变幅机构；9-运行台车

起重机金属结构的型式虽然各异，但它们都是由一些基本受力构件组成的。这些基本受力构件有：1)轴心受力构件，如轮胎起重机人字架的拉压杆，门座起重机四连杆臂架的大拉杆和八撑杆式门架的撑杆，岸壁装卸桥前后桥架的拉杆和门架的斜撑杆、柔性支腿等；2)受弯构件，如桥式类型起重机桥架的主梁和端梁，臂架回转起重机转台和车架的纵梁和横梁等；3)压弯构件，如流动起重机的臂架，门座起重机的主臂架，门座起重机的转柱，龙门起重机和装卸桥的刚性支腿等。

这些基本构件根据其受力大小和外形尺寸大小可分别设计成格构式、实腹式或混合式的结构型式。格构式构件是由许多型钢、钢管或组合截面杆件连接而成的杆系结构，如图0-4所示轮胎起重机的臂架，图0-3a)所示岸壁装卸桥的桥架主梁。格构式构件适用于受力相对较小、外形尺寸相对较大的场合，可用以减轻构件的自重，其缺点是制造工艺复杂，不便于采用自动焊，节点处应力集中较大等。实腹式构件主要由钢板组成，有开口截面构件和闭口截面构件之分，前者也称板式构件常做成双轴对称工字形截面或有加强翼缘的单轴对称工字形截面，如图0-3b)所示岸壁装卸桥的桥架主梁；后者也称箱形构件，常做成矩形箱形截面和梯形、三角形箱形截面，如图0-1所示桥式起重机桥架的主梁和端梁，图0-2所示龙门起重机桥架的主梁和端梁。实腹式构件适用于载荷大外形尺寸小的场合，这样可较充分地发挥构件材料的机械性能。实腹式构件一般自重较大、刚性较差，但制造方便、可采用自动焊、应力集中较小、疲劳强度较高。混合式构件部分为实腹结构，部分为杆系结构。由实腹式主构件和加强杆系组成的桁构式构件，如图0-5所示门座起重机的象鼻架和主臂架，是混合式构件的主要形式。此外由板梁和桁架混合组成的闭口截面构件也属于混合式构件。混合式构件的特点和使用条件均介于格构式构件和实腹式构件之间。

有关基本受力构件的设计计算问题将在本教材上篇各章内讨论。其中实腹式和格构式轴心受力构件将在第四章内讨论，实腹式受弯构件（也称梁）将在第五章内讨论，格构式受弯构件（也称桁架）将在第七章内讨论，而受力情况更一般的实腹式和格构式压弯构件将在第六章内讨论。

第三节 设计起重机金属结构的基本要求

起重机（特别是港口起重机）是一种工作条件十分繁重的重型机械设备。其载荷复杂多变，动态性质显著，所以作为整台起重机骨架的金属结构，其设计制造质量的好坏将直接影响整个起重机的技术经济指标，即起重机的可靠性，适用性和制造、运转成本。为保证起重机良好的技术经济性，对起重机金属结构提出如下基本要求。

1. 满足总体设计要求

金属结构既然是起重机的一个组成部分，就必须符合起重机整体设计的要求。首先应满足总体对工作幅度、跨度、前伸距、后伸距、起升高度等作业空间的要求；其次应满足总体提出的机构学上的要求，如门座起重机为保证变幅时起升物体作水平移动对各结构件提出的尺寸要求；其三应满足总体布置的要求，使结构与结构之间，结构与机构之间关系协调，互不相碰。

2. 坚固耐用、性能良好

为保证起重机坚固耐用、安全可靠，其金属结构必须有足够的静强度、规定寿命下的疲劳强度和各构件的整体和局部稳定性。为了使起重机具有良好的使用性能和动态性能，其金属结构应具有足够的静态刚性和动态刚性。

3. 重量轻、材料省

重量是起重机的一个很重要的技术经济指标。起重机金属结构的重量通常要占整机重量的60~70%。对具有大型结构件的起重机，如各类装卸桥，这一比例可上升到85~90%。降低金属结构的重量不仅能节约结构本身的钢材，而且能减轻机构和码头的负荷，降低机器和码头的造价。

4. 构造合理、工艺性好

金属结构的构造型式既应适应结构的受力特点，使传力路径短、力流平顺，又应保证结构具有良好的工艺性，使制造、运输、安装和维修方便。根据工厂和工地的设备和技术条件，尽量采用先进的施工工艺。运送单元的尺寸应遵守运输界限尺寸的限制，吊装单元的大小和重量应与吊装设备的能力相适应。

5. 造型美观

起重机既是机械又是建筑物，应该从建筑艺术的观点出发体现其造型美。起重机的造型主要取决于金属结构的造型。

上 篇 设 计 基 础

第一章 金属结构的材料

本章主要介绍金属结构常用结构钢的主要力学性能及影响因素、结构钢的分类和代号、钢材的选择原则。对其它材料仅作一般叙述。学习本章的重点应是钢材的主要力学性能和影响脆性破坏的因素，从而能全面地和合理地考虑结构的类型、载荷特点和工作温度等具体工作条件，正确处理结构和构件的选材和设计问题。

第一节 金属结构对材料的要求和常用材料

金属结构是起重机的重要组成部分。因此，结构材料的性能，不仅影响结构的承载能力和自重，而且关系到产品的安全可靠性和成本。

起重机金属结构所用的材料，目前主要是结构钢，有时也采用些铸钢和铝合金等。

根据现代科学技术发展的趋向，对于大型工程机械结构来说，为了减轻结构自重，除在结构型式和设计原理方面进行了许多研究以外，目前在提高结构材料的性能、生产和使用高强度结构材料方面也进行了大量的实践和研究。

众所周知，工程机械尤其是港口起重机经常处于繁重的工作状态，其结构直接承受振动和冲击载荷的作用，因此，结构材料应满足下列性能要求：

1)较高的屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。材料屈服点 σ_s 高可以减轻结构自重，节省材料，降低成本。抗拉强度 σ_b 高可以增加结构的安全储备。

2)较高的伸长率 δ 。伸长率是表示材料塑性的重要指标之一，伸长率越高，材料的塑性就越好，材料的安全度也越高。这是因为结构的局部应力集中可以通过塑性变形得到缓解，避免引起结构的局部破坏。此外，即使由于某种偶然因素，使结构出现了较大的残余塑性变形，人们也会立即觉察到，并及时采取措施，避免机毁人亡事故的发生。

3.保证一定的冲击韧性 α_k 值。材料的冲击韧性 α_k 值对于经常承受动载荷的结构是很重要的质量指标。对于在低温条件下工作的结构，应保证有足够的负温冲击韧性 α_k 值，以提高结构抵抗冷脆破坏的能力。

4)较好的工艺性能。结构材料的工艺性能主要包括冷弯性能和可焊性能。良好的工艺性能不仅能简化结构的制造工艺，而且不会因工艺因素而使结构的强度、塑性、冲击韧性等性能受到明显的不利影响。因此材料的工艺性能不但直接影响结构生产的效率和成本，而且影响结构使用的可靠性。

在满足上述主要性能的前提下，还应根据具体情况考虑材料的供应与价格等问题。

根据目前我国金属结构材料的生产和供应情况，普通结构钢是比较安全可靠而又经济合理的材料。普通结构钢的力学和工艺性能比较好，一般都能满足使用上的要求，钢材的品种和规格比较齐全，容易保证供应，价格又比较便宜，因此应用得最为普遍。

铸钢通常仅用于形状比较复杂的支座部件，以简化结构的工艺，但其力学性能不如结构钢，故重量要增加些。

与普通结构钢相比，铝合金的重要特征之一就是轻（比重约为钢材的三分之一），而强度又相近。因此，在国内外有些工程机械结构和起重机结构已采用铝合金来制造，以达到减轻结构自重的目的。但是，由于铝合金存在以下几个主要缺点，故目前还不能得到广泛的采用。

1) 铝合金的弹性模量较低，仅为钢材的三分之一，使结构和构件的静力和动力变位增大。此外，受压构件的临界载荷也较低。

2) 铝合金的线膨胀系数较大，约为钢材的两倍，使结构由于温度变化所引起的变形增大。

3) 铝合金的可焊性较差，铝合金不但焊接工艺要求高，且焊接接头的强度和其它性能均明显地低于原材料。

4) 铝合金的价格昂贵（比钢材贵10~15倍），且目前生产和供应均有限，主要面向国防和宇航工业，故一般工业部门还很少采用。

由我国《起重机设计规范》（GB3811—83）和《钢结构设计规范》（TJ17—74）推荐采用的结构材料，主要有普通碳素结构钢（GB700—79）和普通低合金结构钢（GB1591—79）两大类，统称为普通结构钢；其次还有铸钢（GB979—67）。

第二节 钢材的性能及影响因素

本节所述钢材的性能，主要是指钢材的机械性能和钢材的加工性能。

一、钢材的机械性能

1. 钢材在单向拉伸试验条件下的性能

1) 强度特性：

对钢材标准试件作单向拉伸试验时，其应力 σ 与应变 ϵ 之间的关系如图1-1所示。图1-1(a)为低碳钢和低合金高强度钢的拉伸应力—应变图的示意图，图1-1(b)为低碳钢的拉伸应力—应变图的分析放大图，由该图可以得到钢材许多重要的力学特性。

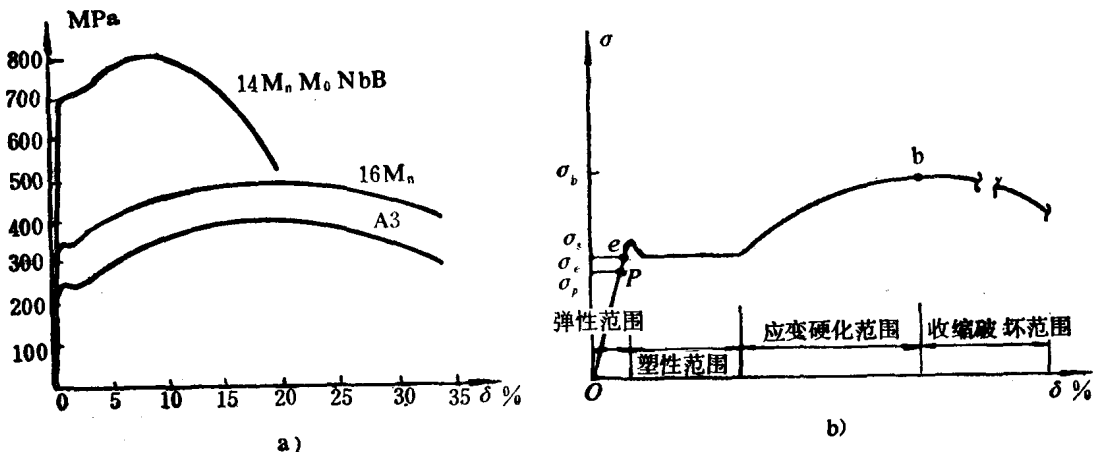


图1-1 钢材典型的拉伸应力—应变曲线

图中的 OP 段上, $\sigma-\varepsilon$ 之间呈线性关系, 其倾斜度 E 称为杨氏模量, 又称弹性模量, 在该段范围内钢材服从虎克定律。 $\sigma-\varepsilon$ 之间保持线性关系的最大应力值 (P 点) 称为比例极限, 用符号 σ_P 来表示, 应力超过比例极限 σ_P 时, 图中的曲线开始发生弯曲, 表示 $\sigma-\varepsilon$ 之间已呈非线性关系, 且曲线切线的斜率减小, 直到图中的 e 点 (与该点相对应的应力称为弹性极限, 用符号 σ_e 来表示) 之前, 材料始终处在弹性范围内, 试件在卸载后能完全恢复原状, 不产生任何残余变形, 但钢材的弹性极限和比例极限很难区分, 从工程实用角度来讲往往可以认为两者是重合的。

当试件应力超过弹性极限后, 材料内部发生滑移, 并在一定的应力下变形增大, 形成所谓的屈服台阶, 出现了一个塑性流动区段, 此时的应力称为屈服点 σ_s , 或称屈服极限。

实际上, 当材料进入屈服时, $\sigma-\varepsilon$ 曲线是不稳定的, 起先在一定范围内波动, 以后逐渐趋于平稳, 其应力最高点和最低点分别称为上屈服点和下屈服点。上屈服点是不稳定的, 它与试验时的应变速度、试件形状、尺寸、加工质量以及试验载荷的偏心情况等有关。下屈服点对一定的材料, 则大体上为定值。因此, 在工程中均以材料的下屈服点作为设计的依据。

当试件的屈服阶段一消失, 试验机的载荷又开始上升, 材料进入应变硬化 (强化) 阶段, 应力—应变图又呈曲线关系。当应力强度达到最大值 b 点后, 试件出现极为明显的颈缩, 直至最后破断。与 b 点相应的应力称为极限强度, 或称抗拉强度并用符号 σ_b 来表示。

以上所述的应力, 都是按试件原截面计算的名义应力, 事实上随着拉伸载荷的增大, 试件的实际截面在减少, 因此, 如果用颈缩处的实际截面来计算应力 σ , 真正的应力—应变曲线将是一根单调上升的曲线。然而, 在极限应力之后, 试件所承受的总载荷却是在减小; 这种减小是由于截面的缩小, 而不是因为材料强度的降低。但是, 对于大多数工程设计来说, 还是以按试件原截面计算应力的常规应力—应变曲线作为材料的性能曲线。

由于钢材的比例极限 σ_P 与弹性极限 σ_e 很难区分, 与屈服点 σ_s 也很接近, 且屈服点以前的应变很小 (约为 0.15%), 因而为了简化计算, 通常把钢材简化为理想的弹塑性材料 (如图1-2所示), 也即假定钢材在屈服点 σ_s 之前是完全弹性的, 而在达到屈服点以后为完全塑性的。因此, 按弹性准则设计钢结构时, 往往用屈服点 σ_s 代替弹性极限作为结构强度计算时的控制应力。

对于没有明显屈服点的钢材 (如图1-3所示), 如热处理低合金钢 (如高强度螺栓材料 $20MnTiB$), 把对应于试件卸载后残余应变为 0.2% 的应力定义为屈服点, 并称之为名义屈服应力, 或称条件屈服点, 用 $\sigma_{0.2}$ 表示。也有的国家取对应于应变为 0.5% 的应力为屈服点, 实际上这与名义屈服应力 $\sigma_{0.2}$ 基本上没有差别。

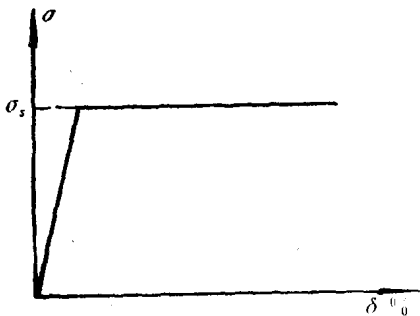


图1-2 理想化的钢材应力—应变曲线

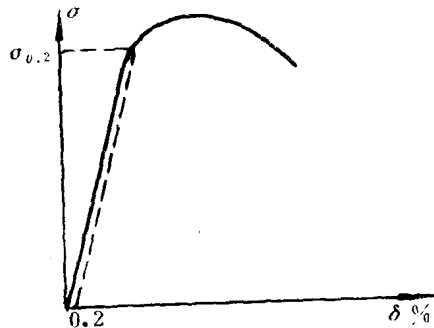


图1-3 高强度钢的名义屈服应力