

高等学校教材

金属结构

(第2版)

太原重型机械学院 徐克晋 主编

机械工业出版社

高等学校教材

金属结构

(第 2 版)

太原重型机械学院 徐克晋 主编



机械工业出版社

(京) 新登字054号

新版教材从阐明金属结构设计原理着手, 从理论上和实践上较系统地介绍了起重机金属结构的载荷、强度、刚度和稳定性的计算方法和研究成果。

全书分上、下两篇, 共十二章。上篇为设计基础, 介绍机械金属结构的应用, 材料的选择, 载荷计算和基本构件的设计原理及计算方法; 下篇为典型结构设计, 介绍起重机的典型结构(桥架、门架、臂架和塔桅)和设计方法。

本书为高等院校起重运输与工程机械专业的教材, 也可供相近专业和从事机械金属结构研究与设计工作的教师、研究生及工程技术人员参考。

金 属 结 构

(第 2 版)

太原重型机械学院 徐克晋 主编

*

责任编辑: 赵爱宁 版式设计: 霍永明
封面设计: 郭景云 责任校对: 熊天荣
责任印制: 卢子祥

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

邮政编码: 100037

(北京市书刊出版业营业许可证出字第 117 号)

济南新华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张22¹/₄·字数 546 千字

1982年12月北京第1版

1993年5月北京第2版·1993年5月济南第5次印刷

印数: 18,901—21,000 定价: 6.10元

*

ISBN 7-111-03500-3/TG·766 (课)

原 版 前 言

本书是根据 1978 年 4 月在天津召开的高等学校一机部对口专业座谈会的精神和同年在上海和太原召开的矿山机械、工程机械、起重运输机械以及石油矿场机械等四个专业教材会议所制定的《金属结构》教材编写大纲编写的。

全书分上、下两篇，共十三章。上篇为设计基础，介绍金属结构的应用、材料以及构件的设计原理和构造原则，为必学内容。下篇为典型结构设计，介绍机械类金属结构的典型构造、适用场合和设计方法，为各专业选授的内容。

本书在编写过程中坚持了理论联系实际和贯彻“少而精”的原则，总结和反映了编者多年来在教学实践和教材建设方面的经验，重视用典型结构阐明设计原理，加强理论分析和运用，力求深入浅出，说理清楚，注意反映最新的科技成果，如结构的断裂计算、结构的振动分析、疲劳计算、优化设计和国内外的最新结构等。

鉴于普遍应用的结构有限元分析方法在结构力学和许多专著中都有详细的阐述，为节省篇幅，本书仅指出其适用场合，不再介绍。

本书各章附有一些习题，供学生练习之用，有利于他们学习和掌握教材的基本内容，培养分析和解决问题的能力。

本书为高等工业院校矿山机械、工程机械、起重运输机械和石油矿场机械等专业的教材，也可供从事机械和结构工程方面工作的工程技术人员参考。

参加本书编写工作的是太原重型机械学院徐克晋（第二、三、五、六、八章）、郑荣（第四、七章）、翟甲昌（绪论、第一章），上海交通大学机械系张荣康（第九章和第十章一部分）、马登哲（第十章）和大连工学院机械系宋甲宗（第十一、十二章）。本书由徐克晋担任主编，对各章内容作了必要的修订和补充。

本书经审稿会议审阅，参加审稿会议的有太原重型机械学院、大连工学院、大连起重机厂、上海交通大学、上海海运学院、上海铁道学院和上海冶金专科学校等单位的有关教师、工程师及参加编写的教师。上海交通大学机械系周国梁同志担任主审。他们对本书提出了一些宝贵的意见，在此对他们表示衷心感谢。

限于我们的水平，书中难免有不妥和错误之处，希望读者批评指正。

第 2 版 前 言

本书是根据起重运输与工程机械专业“七五”教材出版规划和《金属结构》教材修订大纲，在1982年出版的《金属结构》试用教材基础上进行修订改编的。

《金属结构》教材出版后，经过近8年的教学实践证明，确实起到培养学生分析结构问题和设计能力的作用，提高了教学质量；同时也为本行业提供了一种工程技术书籍。该书于1988年1月获得全国高等学校优秀教材奖。

由于原教材编写时首先要求解决教学无书的问题，又要求供四个专业使用，因而涉及范围较广，编写内容过多，有些章节则交代过细，致使原教材篇幅过大、字数过多，讲授学时数过紧；又因原教材出版在前，起重机设计规范出版在后，无法反映规范内容，这也是其不足之一；所以在制订“七五”教材出版规划时，要求精选教材内容，压缩教学时数（对多学时专业限制在75学时内，少学时专业为40学时），对原教材进行修订再版。

教材修订工作坚持理论联系实际和贯彻“少而精”的原则，适当调整了内容，以起重机结构为典型代表，集中介绍各种结构的设计方法，总结和反映本行业近年来在教学和科研方面所取得的成果，较全面地贯彻《起重机设计规范》(GB3811—83)及其中的物理量符号和其它有关新标准的内容，同时对原教材的一些内容作了大幅度删减。

删减的内容有：铝合金、各国材料对比、结构断裂计算、开口板的应力、梁的约束弯曲和约束扭转的理论分析、桁构梁桥架、空腹桁架式桥架、钻井井架结构以及金属结构优化设计概述等。

更新的内容有：新材料牌号及型钢规格、起重机设计规范有关内容、起重机动载系数及动刚度分析、压弯构件的精确计算、结构动态分析的质量换算、高强度螺栓连接瞬心计算概念、工字钢和箱型梁翼缘板的局部弯曲应力、桁架弦杆的整体弯曲、桥架水平刚架的精确计算、门架支腿整体稳定性计算长度系数、箱型伸缩式臂架、小车变幅臂架拉索的合理吊点位置以及塔架扭转分析等。

修订后的新教材比原教材篇幅减少一半左右，因而它更加简明实用。

第2版仍分上、下两篇，共十二章。上篇为设计基础，介绍机械金属结构的应用、材料选择、载荷计算和基本构件的设计原理及计算方法，是本专业学生必学内容。下篇为典型结构设计，介绍起重机的典型结构（桥架、门架、臂架和塔桅）和设计方法，为选授内容。上篇可讲授40学时，下篇约需35学时。

本书为高等院校起重运输与工程机械专业的教材，也可供相近专业和从事机械金属结构研究与设计工作的教师、研究生及工程技术人员参考使用。

此修订本由太原重型机械学院工程机械系徐克晋担任主编，上海交通大学机械系周国梁担任主审。

本书修订时对分工做了调整，参加修订工作的是：徐克晋（第一、三、四、七、八章和第六章前三节、十一章第五节以及第二章的改编稿），郑荣（第五章和第六章后三节），翟甲昌（第二章初稿和第九章），张荣康（第十章和第十一章前三节），宋甲宗（十一章第四节和

第十二章)。徐克晋对全书进行了统稿、修改和补充。

根据教材出版规划,为配合《金属结构》教学工作还编写了《金属结构习题集》辅助教材。

本书修订工作曾征求过有关单位的意见,主审周国梁同志对书稿进行了认真地审阅,提出许多宝贵的意见和建议;在本书的统稿过程中,太原重型机械学院徐格宁同志协助抄写书稿、整理和绘制部分插图并进行制表工作,使本书得以按期脱稿;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,书中难免有不妥和错误之处,希望读者批评指正。

编 者

1990.5.10

目 录

上篇 设计基础

第一章 概论	1	§ 6-1 轴向受力构件的构造和应用	97
§ 1-1 金属结构概述	1	§ 6-2 轴心受力构件的计算	98
§ 1-2 机械金属结构的类别和应用	1	§ 6-3 偏心受力构件的计算	102
§ 1-3 对金属结构的基本要求和其发展 方向	5	§ 6-4 柱的承载能力	105
第二章 金属结构的材料	10	§ 6-5 实腹式柱的设计计算	117
§ 2-1 钢材的性能和影响因素	10	§ 6-6 格构式柱的设计计算	121
§ 2-2 材料的类别和特性	14	第七章 横向受弯构件和梁	127
§ 2-3 轧制钢材	18	§ 7-1 受弯构件和梁的结构	127
§ 2-4 材料的选择	20	§ 7-2 型钢梁的设计	128
第三章 载荷	22	§ 7-3 组合梁的合理高度和重量 (质量)	130
§ 3-1 载荷的分类	22	§ 7-4 组合梁的截面选择和验算	134
§ 3-2 载荷的作用和计算	22	§ 7-5 梁的翼缘和腹板的连接	138
§ 3-3 载荷的计算组合	40	§ 7-6 梁翼缘板的局部弯曲应力	140
第四章 设计计算原理	42	§ 7-7 组合梁的整体稳定性	147
§ 4-1 结构的工作级别	42	§ 7-8 组合梁的局部稳定性	150
§ 4-2 计算原理和基本规定	45	§ 7-9 梁约束弯曲和约束扭转的简化计算	160
§ 4-3 轴心受压构件的极限载荷与应力	56	§ 7-10 梁的拼接	166
§ 4-4 压弯构件的精确计算	58	§ 7-11 梁的挠度和拱度	169
§ 4-5 结构动态分析中的质量换算	70	第八章 桁架	171
第五章 金属结构的连接	76	§ 8-1 桁架的结构和应用	171
§ 5-1 连接的目的与方法	76	§ 8-2 桁架的外形与腹杆系统	171
§ 5-2 焊缝连接	76	§ 8-3 桁架的主要参数	173
§ 5-3 普通螺栓连接和铆接	86	§ 8-4 桁架杆件内力分析	174
§ 5-4 高强度螺栓连接	91	§ 8-5 桁架杆件的计算长度	178
第六章 轴向受力构件和柱	97	§ 8-6 杆件截面设计和弦杆拼接	180
		§ 8-7 桁架节点构造与设计	186
		§ 8-8 桁架的挠度和拱度	190

下篇 典型结构设计

第九章 桥架	193	§ 9-6 四桁架桥架	225
§ 9-1 桥架型式和应用范围	193	§ 9-7 起重机的轨道	229
§ 9-2 桥架的载荷与计算组合	200	第十章 门架	230
§ 9-3 单梁桥架	203	§ 10-1 门式起重机的门架	230
§ 9-4 中轨箱型梁桥架	210	§ 10-2 装卸桥的结构	251
§ 9-5 偏轨箱型梁桥架	222	§ 10-3 门座起重机的门架	254

VI

第十一章 臂架	267	§ 12-1 塔式起重机塔身的结构及载荷	306
§ 11-1 概述	267	§ 12-2 桅杆式起重机的结构	313
§ 11-2 单臂架	270	§ 12-3 塔桅结构的计算	316
§ 11-3 组合臂架	275	附录	331
§ 11-4 伸缩臂架	290	型钢表	331
§ 11-5 小车变幅臂架和挖掘机臂架	302	参考文献	348
第十二章 塔桅结构	306		

上篇 设计基础

第一章 概 论

§ 1-1 金属结构概述

由金属材料轧制的型钢和钢板作为基本元件,按照一定的结构组成规则用焊接、铆接或栓接的方法连接起来,能够承受载荷的结构物称为金属结构。例如,工厂车间钢结构、桥梁结构、桥式起重机的桥架、门座起重机的臂架和门架等。

金属结构是出现较晚的一种结构,直到19世纪后期,随着钢铁工业的发展和机器制造业的进一步完善,金属结构才得以迅速发展,当时金属结构全为铆接结构。

20世纪以来,钢铁工业、机器制造业和交通运输业的空前发展,促进了起重运输机械和工程机械的发展。现代起重运输机械和工程机械担负着工业、矿业、建筑业、农业、商业以及交通运输业各部门的施工任务以及繁重的运送物资和器材等任务。它们是实现机械化生产的关键。因此,为了满足工作要求,机器本身应具有良好的性能,作为机器的金属结构都采用性能可靠的钢材制造并逐渐用焊接代替铆接,现代金属结构几乎都是焊接结构。

建国以前,金属结构制造厂很少,山海关桥梁厂是建厂较早、规模较大的金属结构专业工厂,承担着繁重的造桥任务。当时我国没有起重运输机械和工程机械制造厂,为数不多的装卸设备全靠进口,而且工作效率不高。

建国以后,随着工业的发展和大规模基本建设的需要,起重运输机械和工程机械得到了迅速发展,先后建立了上百家专业制造厂。为了培养专门人才,在高等学校创办了起重运输机械与工程机械专业。现已形成一个比较完整的起重运输机械与工程机械设计制造行业,它是我国现代工业中的一个重要分支,其中金属结构的生产占有很大比重。目前我国已能独立设计、制造较高水平的各种类型的起重运输机械和工程机械,并有适量出口。

金属结构在社会主义建设中得到很大发展和应用,例如各种起重运输机械和工程机械的承载结构、桥梁、高层建筑、大型车间、矿山运输栈桥、井架、各种塔架、储油库和水工建筑物等,都是金属结构,它们在基本建设和机器制造中占有重要地位。随着社会主义建设事业的发展,金属结构将会得到进一步发展和广泛的应用。

§ 1-2 机械金属结构的类别和应用

机械金属结构主要是指起重运输机械、工程机械等机器的承载骨架。

为便于应用和计算,将金属结构划分成如下类别:

- 1) 按金属结构构成的外形不同,分为桥架结构、门架结构、臂架结构、塔桅结构和车

架，它们作为起重机的骨架分别示于图1-1~1-5。

2) 按金属结构的构造不同,分为实腹板式结构和格构式结构。实腹式结构由钢板制成,有单腹板梁(柱)和箱型梁(柱)等。图1-6是采用箱型臂架结构的挖掘机。格构式结构由型钢制成,也称桁架结构,如图1-4所示的塔式起重机的臂架和塔架、图1-7所示的桁架式装卸桥等。

3) 按金属结构组成构件的位置不同,分为平面结构和空间结构。组成金属结构的各构件的轴线位于同一平面内时,称为平面结构;当各构件的轴线不在同一平面内时,称为空间结构。大多数金属结构都是由平面结构构成的空间结构(如图1-7所示的装卸桥),箱型结构也是空间结构。

4) 按金属结构的连接方法不同,分为铆接结构和焊接结构。目前绝大多数都是焊接结构,为便于安装,焊接结构的安装接头常采用螺栓连接。

5) 按金属结构构件之间的连接方式不同,分为铰接结构、刚接结构和混合结构。金属结构件之间用铰链连接,例如支承在下铰座上的摆动臂架(见图1-3),或者受弯矩很小的细长杆件之间的连接,如桁架等称为铰接结构。大刚度构件之间的刚性连接,在外载作用下能传递弯矩且构件之间相对夹角不变,称为刚接结构,例如门式(龙门)起重机的刚性支腿与主梁的连接(见图1-2及图1-8)。

构件的连接兼有铰接和刚接节点的结构,称为混合结构,如电动葫芦梁式起重机的桥架

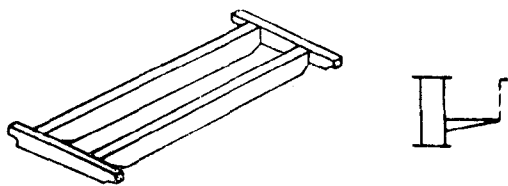


图1-1 桥式起重机的桥架

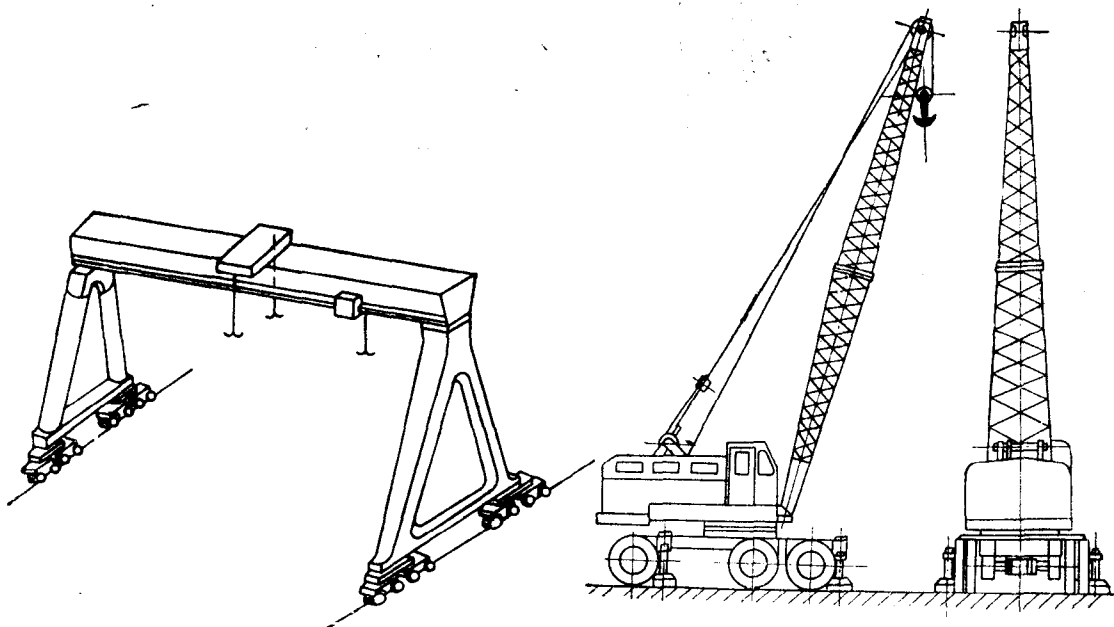


图1-2 200t单主梁门式起重机

图1-3 轮胎起重机
(承受轴向力的臂架)

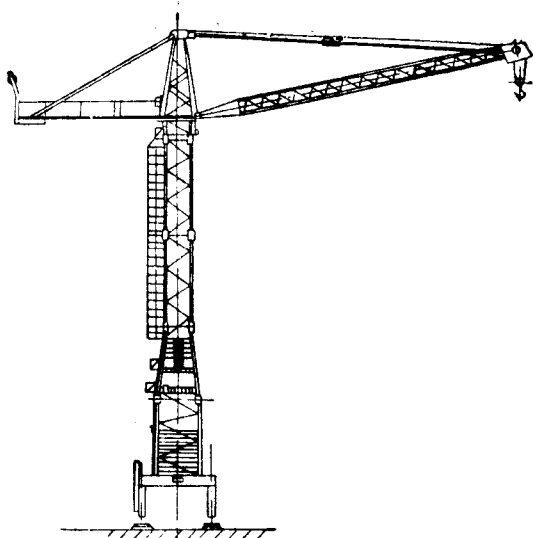


图1-4 塔式起重机

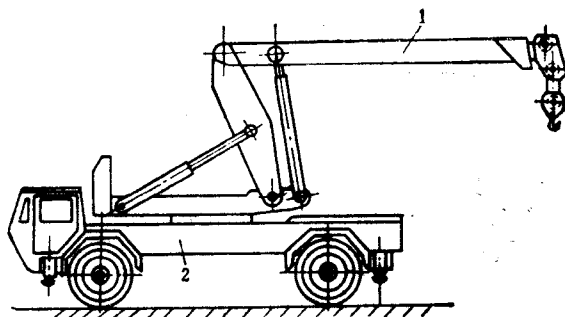


图1-5 汽车起重机
1—折叠式动臂 2—车架

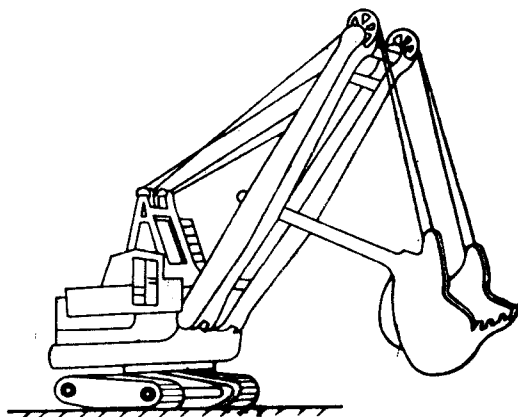


图1-6 挖掘机 (箱型臂架)

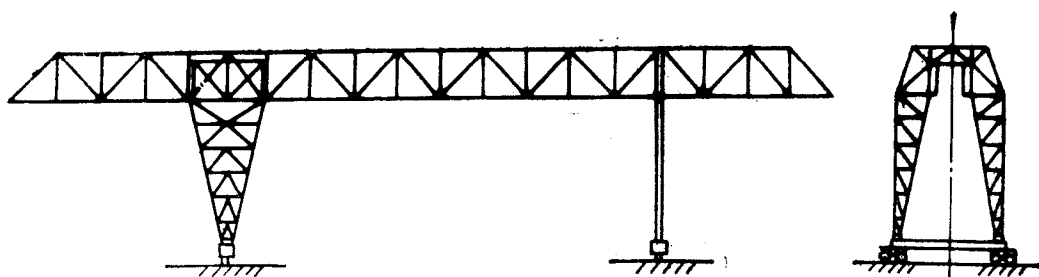


图1-7 装卸桥 (桁架结构)

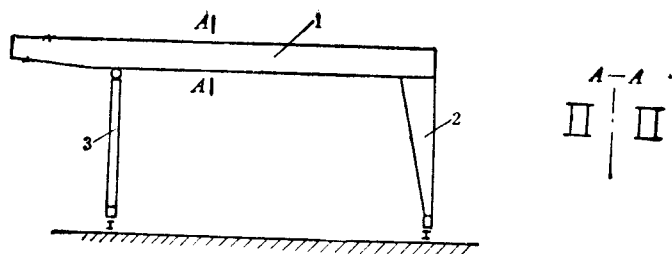


图1-8 门式起重机门架（箱型结构）

1—主梁 2—刚性支腿 3—挠性支腿

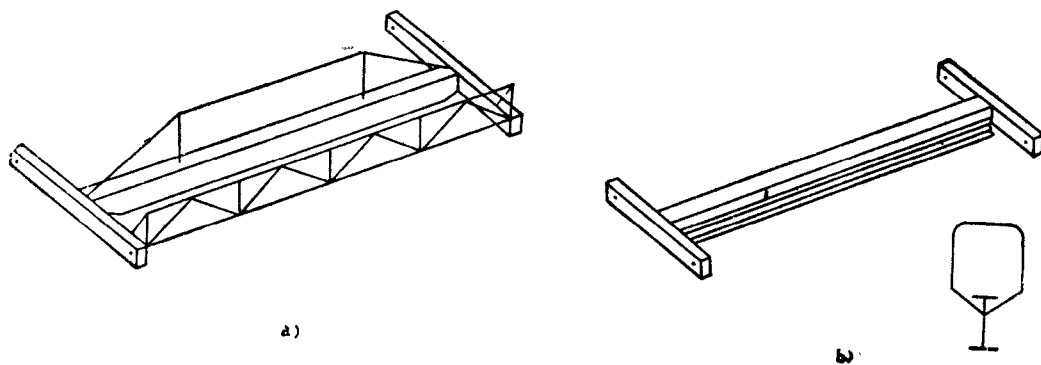


图1-9 梁式起重机桥架

a) 桁构式桥架 b) 模压组合截面单梁桥架

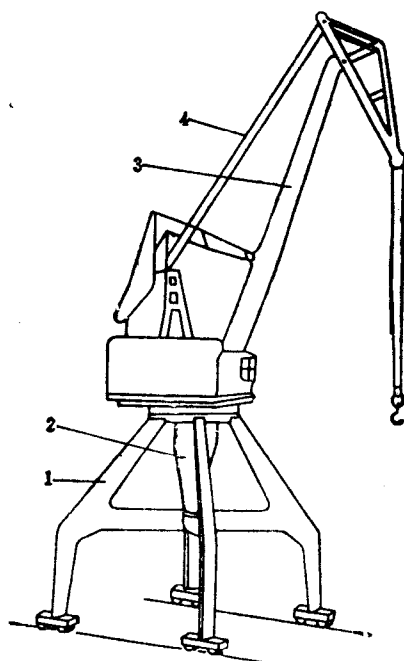


图1-10 门座起重机

1—门架 2—转柱 3—臂架 4—拉杆

(见图1-9), 混合结构也称桁构式结构。

6) 按金属结构构件的受力特点不同, 分为受拉构件、受压构件、受弯构件和受扭构件。受拉构件如桁架中的拉杆。受压构件如门式起重机的挠(柔)性支腿(见图1-8)和各种支柱。受弯构件如桥式和门式起重机的主梁或主桁架等。受扭构件如桥式起重机受偏心作用载荷的主梁, 受扭矩作用的臂架等。此外, 还有偏心受拉构件, 以拉为主的有门座起重机的拉杆(见图1-10); 偏心受压构件也称压弯构件, 它同时受有轴向压缩力和弯矩的作用, 如门式起重机的刚性支腿(见图1-8)、塔式起重机的臂架和塔架(见图1-4)等。

根据以上不同的结构划分和应用情况, 就可以在实际设计中合理地确定结构和构件的类型并进行有效的设计和计算。

§ 1-3 对金属结构的基本要求和其发展方向

一、基本要求

起重机械和工程机械是工作繁忙的重型机械, 又是移动机械, 为保证其正常工作, 对其金属结构(骨架)提出如下要求:

1) 坚固耐用。要使机器有良好的工作性能, 金属结构本身应具有足够的强度、刚度和稳定性。

2) 节省材料, 减轻自重。起重机金属结构的重量约占整机重量的40%~70%, 大型起重机可达90%, 因此合理地使用并节省金属结构材料是减轻机器自重的主要途径; 由于起重机和工程机械是运行机械, 减轻自重不但减小了运行机构的负荷, 而且也降低了机器和支承结构的造价。

3) 制造工艺性好、组装简单、工时少。

4) 安装、运输、维修方便。

5) 外形美观、大方。

制造金属结构需消耗大量材料, 而结构的成本约占产品总成本的1/3以上, 因此提高金属结构的性能, 合理利用材料, 尽量减轻自重, 减少制造工时, 从而降低产品成本, 是机器金属结构设计制造的指导方针, 也是今后的努力方向。

二、发展方向

根据对机械金属结构的基本要求, 提出以下发展方向和研究的重点。

1. 研究和改进设计理论和计算方法

在机械金属结构中一直使用许用应力设计法, 这种方法使用简便, 能满足设计要求, 但缺点是对不同用途、不同工作性质的结构均采用相同的安全系数, 使结构要么多消耗材料要么安全度差。随着生产发展的要求和科学研究工作的开展, 促使设计理论和计算方法不断改进和完善。目前正在研究的按结构工作的极限状态计算的方法, 能正确地考虑载荷的作用性质、钢材的性能和结构的工作特点, 分别采用不同的安全系数, 使设计更符合实际情况以及更精确。在机械金属结构中应用极限状态法还需作大量的研究工作。

目前正在研究金属结构可靠性设计方法, 而优化设计和有限元分析方法在金属结构设计中的应用已相当普遍, 现正在研制成套的优化设计通用和专用程序。金属结构断裂计算方法也正在研究中。

2. 改进和创造新的结构型式

在保证机器工作性能的前提下,改进和创造新型结构,是最有效地减轻金属结构自重的方法之一。例如采用模压组合截面单梁桥架(见图1-9 b)代替桁构式桥架(见图1-9 a),大大简化了结构,节省了材料,并给运输和安装带来极大方便。采用L型单主梁门式起重机(见图1-11),其自重比箱型双梁门式起重机减轻40%以上。采用三角形截面管结构臂架和封闭截面三支腿门架的门座起重机(见图1-12),比采用矩形截面臂架的四支腿门座起重机减轻自重50%左右,因此金属结构的合理选型是设计中十分重要的问题。

3. 改进制造工艺

广泛采用焊接方法和冲压异型钢材来制造金属结构,既能简化构造、节省钢材,又能减少制造劳动量,从而缩短了工期,降低了产品成本,因而值得推广。焊接结构比铆接结构可节省钢材30%以上,焊接是目前最通用的结构连接方法,它是现代金属结构的特征。

高强度螺栓已逐步推广应用到结构件的安装装配连接中。这种连接方式安装方便,靠摩擦传力因而工作可靠,是一种新型的连接方法。国外研究出胶合连接,是值得重视的一种更好的方法。

4. 合理地应用优质材料

合理地选用低合金结构钢或铝合金,是节省材料、减轻结构自重的有效方法。国外应用铝合金制造桥式起重机的桥架比同参数的钢制桥架自重减轻50%左右,制造门座起重机的臂架使整机减轻60%,从而也减小了起重机支承结构的负荷,降低了投资。我国铝矿资源丰富,应重视研究开发和应用。

我国生产的低合金结构钢如16锰钢(16Mn)早已应用于起重机等大型结构中,这种钢材强度高,但对于由刚度和稳定性条件决定截面的结构效果不大。

为适应机械金属结构制造的需要,应进一步研究、生产和使用强度高而塑性好的新材料。

5. 金属结构生产的标准化和系列化

机械金属结构实现零部件标准化是整个结构系列化的基础。采用一定规格尺寸的标准元件、构件和标准工艺进行制造并组装成定型产品,能简化产品设计和制造过程,易于组织批

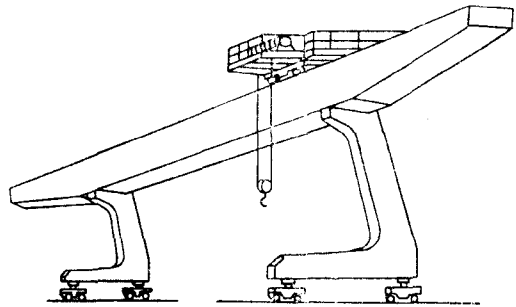


图1-11 L型单主梁门式起重机

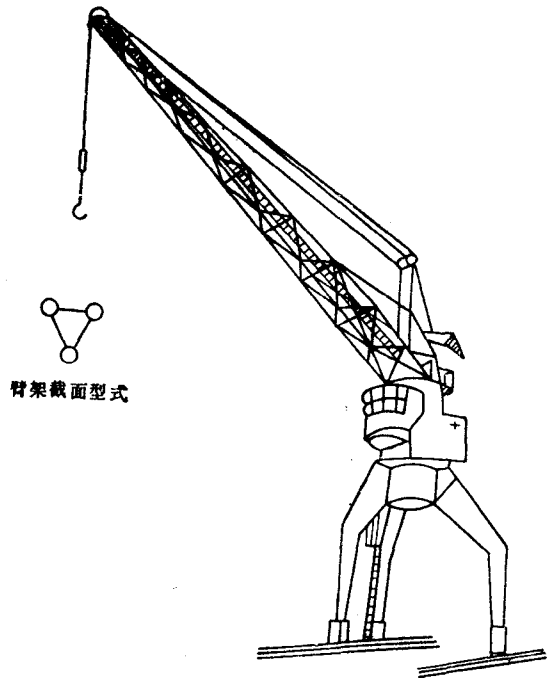


图1-12 门座起重机
(三角形截面管结构臂架)

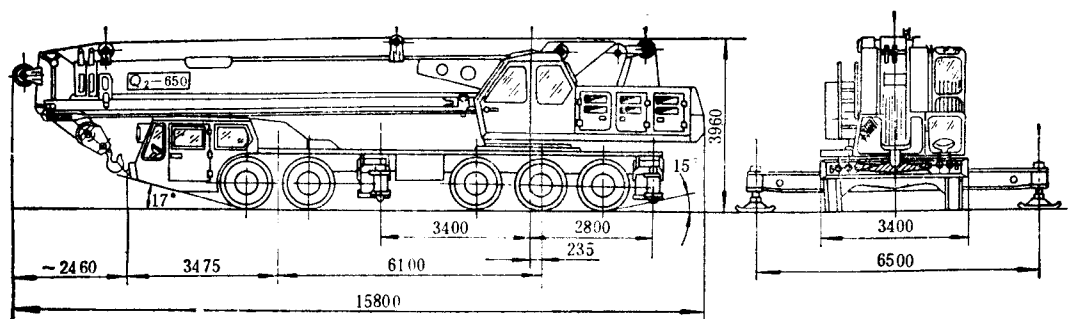


图1-13 65t伸缩臂架汽车起重机

量生产,是提高产品质量、缩短工期和降低成本的有效方法。

我国梁式、桥式、塔式和轮胎起重机等均有系列产品,其它类型起重机也在进行标准化和系列化的工作。

6. 金属结构的大型化

为适应工业生产发展的需要,近年来国内外起重机的生产逐渐向大吨位、大跨度、大高度和高速度方向发展,同时要求有灵活的操作控制系统。例如,为解决长大笨重器材(如发电设备、冶炼设备、化工设备以及大型船舶的建造等)的安装任务,就需要大型的起重机械。国外已生产用于冶金厂和水电站的起重量为100~1000 t的桥式起重机,国内的起重机械也达到400~500 t的起重能力。德国制成了起重重量840 t、跨度140 m、全高96 m的箱型主梁门式起重机,其主梁高达8 m。英国设计制造了起重重量1000 t、跨度150 m的造船用巨型门式起重机。我国设计制造了起重量为200 t、

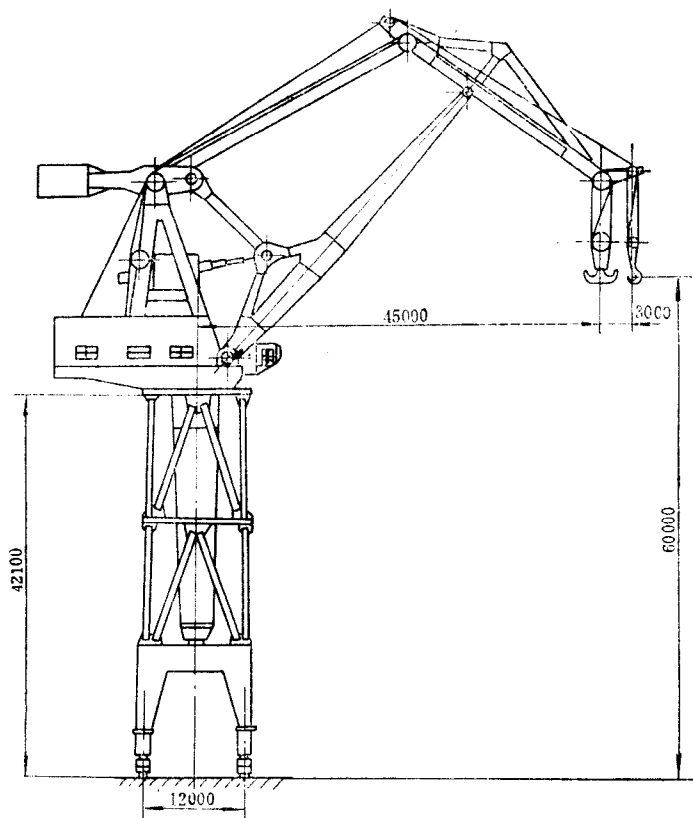


图1-14 150t门座起重机

跨度66.5 m、全高50 m的造船用箱型单主梁门式起重机(见图1-2);研制成装卸重大设备的65 t伸缩臂架汽车起重机(见图1-13)和100 t桁架臂汽车起重机;引进试制成具有主、

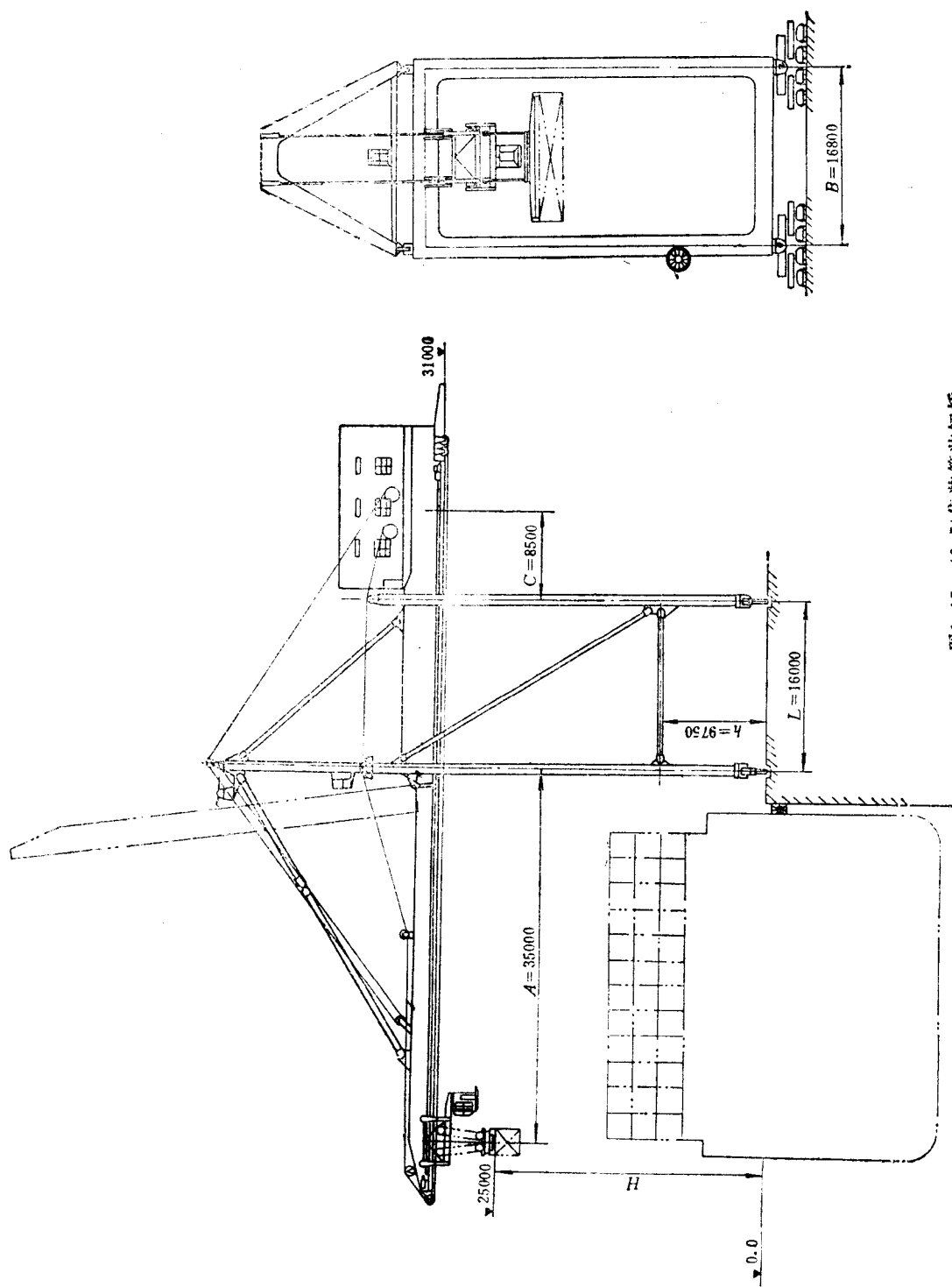


图1-15 40.5t集装箱装卸桥

副臂架的 $1000\text{ t}\cdot\text{m}$ 和 $2000\text{ t}\cdot\text{m}$ 履带式起重机, 这些起重机的高度均达 100 m 以上, 还设计制成了 $100\sim 150\text{ t}$ 造船用门座起重机(见图1-14)和 40.5 t 集装箱装卸桥(见图1-15), 其高度达 $50\sim 60\text{ m}$, 自重约 $600\sim 800\text{ t}$ 。

起重机的大型化主要是金属结构的大型化。由于结构庞大, 给设计和制造工作带来许多新的技术问题, 例如大型结构的空问刚度问题、动力性能和风振问题、板件稳定问题以及空问结构的装配精度问题, 都需要进行深入探讨和研究。

上述问题既是生产制造中的技术问题, 也是科学研究的课题和方向, 随着这些问题的研究和解决, 就一定能够进一步提高金属结构的设计和制造水平, 提高产品的质量和性能, 扩大金属结构的应用范围, 为我国的社会主义建设做出更大贡献。