



高等学校机械设计制造及其
自动化国家特色专业规划教材

起重机械设计

主 编 朱大林
副主编 杜义贤

QIZHONG JIXIE SHEJI



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

高等学校机械设计制造及其自动化国家特色专业规

国家特色专业规划教材

起重机械设计

QIZHONG JIXIE SHEJI

主 编 朱大林
副主编 杜义贤



华中科技大学出版社
<http://www.hustp.com>

中国·武汉

内 容 简 介

本书依据《起重机设计规范》(GB/T 3811—2008)规定的内容和指导原则编写,主要介绍起重机及其机械部分设计的原理和计算方法。全书内容按设计计算总论、专用零部件和四大工作机构设计等三个部分安排,共分8章:第1章为起重机械概论;第2章介绍起重机械设计计算的一般理论和方法,以及起重机设计规范对起重机械设计方法的主要规定;第3章介绍起重机械专用的钢丝绳、滑轮组、取物装置和制动器等零部件的构造和选用;第4到第7章分别介绍起升、运行、回转、变幅等机构的设计;第8章介绍轮压和起重机整机稳定性计算。

本书可作为普通高等学校本科机械类及相近专业“起重机械”课程的教材,亦可作为高等职业技术学院同类课程的教材,参考学时为40~48。本书也可供起重机械行业及物流行业的工程技术人员或管理人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

起重机械设计/朱大林主编. —武汉:华中科技大学出版社,2014.9
ISBN 978-7-5680-0368-1

I. ①起… II. ①朱… III. ①起重机械-机械设计-高等学校-教材 IV. ①TH210.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第196161号

起重机械设计

朱大林 主编

责任编辑:徐正达

封面设计:潘群

责任校对:祝菲

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社(中国·武汉)

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)81321915

录 排:武汉市洪山区佳年华文印部

印 刷:华中理工大学印刷厂

开 本:710mm×1000mm 1/16

印 张:14.25 插页:2

字 数:297千字

版 次:2014年11月第1版第1次印刷

定 价:25.80元



本书若有印装质量问题,请向出版社营销中心调换
全国免费服务热线:400-6679-118 竭诚为您服务
版权所有 侵权必究

序 言

当前,我国机械专业人才培养面临社会需求旺盛的良好机遇和办学质量亟待提高的重大挑战。抓住机遇,迎接挑战,不断提高办学水平,形成鲜明的办学特色,获得社会认同,这是我们义不容辞的责任。

三峡大学机械设计制造及其自动化专业作为国家特色专业建设点,以培养高素质、强能力、应用型的高级工程技术人员为目标,经过长期建设和探索,已形成了具有水电特色、服务行业和地方经济的办学模式。在前期课程体系和教学内容改革的基础上,推进教材建设,编写出一套适合于该专业的系列特色教材,是非常及时的,也是完全必要的。


系列教材注重教学内容的科学性与工程性结合,在选材上融入了大量工程应用实例,充分体现与专业相关产业和领域的新发展和新技术,促进高等学校人才培养工作与社会需求的紧密联系。系列教材形成的主要特点,可用“三性”来表达。一是“特殊性”,这个“特殊性”与其他系列教材的不同在于其突出了水电行业特色,其不仅涉及测试技术、控制工程、制造技术基础、机械创新设计等通用基础课程教材,还结合水电行业需求设置了起重机械、金属结构设计、专业英语等专业特色课程教材,为面向行业经济和地方经济培养人才奠定了基础。二是“科学性”,体现在两个方面:其一体现在课程体系层次,适应削减课内学时的教学改革要求,简化推导精练内容;其二体现在学科内容层次,重视学术研究向教育教学的转化,教材的应用部分多选自近十年来的科研成果。三是“工程性”,凸显工程人才培养的功能,一些课程结合专业增加了实验、实践内容,以强化学生实践动手能力的培养;还根据现代工程技术发展现状,突出了计算机和信息技术与本专业的结合。

我相信,通过该系列教材的教学实践,可使本专业的学生较为充分地掌握专业基础理论和专业知识,掌握机械工程领域的新技术并了解其发展趋势,在工程应用和计算机应用能力培养方面形成优势,有利于培养学生的综合素质和创新能力。

当然,任何事情不能一蹴而就。该系列教材也有待于在教学实践中不断锤炼和修改。良好的开端等于成功的一半。我祝愿在作者与读者的共同努力下,该系列教材在特色专业建设工程中能体现专业教学改革的进展,从而得到不断完善和提高,对机械专业人才培养质量的提高起到积极的促进作用。

谨此为序。

教育部高等学校机械学科教学指导委员会委员、
机械基础教学指导分委员会副主任
全国工程认证专家委员会机械类专业认证分委员会副秘书长
第二届国家级教学名师奖获得者
华中科技大学机械学院教授,博士生导师


2011-7-21

前 言

本书是为满足水电特色的机械设计制造及其自动化本科专业的教学需要,按照《起重机设计规范》(GB/T 3811—2008)中关于起重机械设计的内容编写的。

起重机械是集工作机构、金属结构和驱动及其控制系统于一体的复杂机电设备,其组成部分繁多,设计工作内容庞杂。本书将起重机械设计的内容分起重机械设计计算总论、起重机械专用零部件和起重机械的工作机构(包括起升机构、运行机构、回转机构、变幅机构)这三个部分加以叙述,而不针对具体的起重机械种类或机型介绍设计方法。全书共分8章:第1章为起重机械概论;第2章介绍起重机械设计计算的一般理论和方法,体现了起重机设计规范对起重机械设计方法的主要规定;第3章介绍起重机械专用的钢丝绳、滑轮组、取物装置和制动器等零部件的构造和选用;第4到第7章分别介绍起升、运行、回转、变幅等机构的构造和设计计算;第8章介绍轮压和起重机整机稳定性计算。

本书参考了一些有关起重机械优秀教材的经典内容,在此向其作者表示感谢。

本书由朱大林担任主编,杜义贤担任副主编;第1、2章由朱大林编写,第3章由杨蔚华编写,第4、5章由刘芙蓉编写,第6、7章由陈永清编写,第8章由杜义贤编写;由朱大林负责统稿和审定。部分文字的录入、修改、图表的制作等工作由硕士研究生詹腾、张灯皇、王成、徐其彬、刘潘等同学协助完成。本书的编写和出版得到了三峡大学机械设计制造及其自动化国家特色专业建设项目的资助,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,本书难以反映起重机械设计工作所需的全部知识,也难免存在一些不妥之处,敬请读者批评指正。联系信箱:dlzhu@ctgu.edu.cn。

编 者

2014年5月于三峡大学

目 录

第 1 章 起重机械概论	(1)
1.1 起重机械的作用及工作特点	(1)
1.2 起重机械的组成及其分类	(2)
1.2.1 起重机械的组成	(2)
1.2.2 起重机械的分类	(3)
1.3 起重机械的发展动向	(9)
第 2 章 起重机械设计计算总论	(11)
2.1 起重机械的主要参数.....	(11)
2.1.1 额定起重量	(11)
2.1.2 起升高度	(12)
2.1.3 跨度和幅度	(13)
2.1.4 工作速度	(14)
2.1.5 轨距和轮距	(14)
2.1.6 生产率	(14)
2.2 起重机的工作级别.....	(15)
2.2.1 划分工作级别的内容、目的和意义	(15)
2.2.2 划分起重机工作级别的依据	(16)
2.2.3 起重机整机的工作级别	(16)
2.2.4 起重机机构的工作级别	(18)
2.2.5 起重机结构件或机械零件的工作级别	(21)
2.3 起重机设计的计算载荷和载荷组合.....	(23)
2.3.1 计算载荷和载荷组合的概念	(23)
2.3.2 计算载荷的类型	(23)
2.3.3 常规载荷的计算	(24)
2.3.4 偶然载荷的计算	(30)
2.3.5 特殊载荷的计算	(33)
2.3.6 金属结构设计的载荷情况与载荷组合	(35)
2.3.7 起重机机构设计计算的载荷情况与载荷组合	(36)
2.4 起重机械的驱动装置.....	(39)
2.4.1 电力驱动概况	(39)

2.4.2	电动机的工作制	(40)
2.4.3	电动机发热校验	(42)
2.5	零件强度的计算	(44)
2.5.1	计算原则	(44)
2.5.2	传动零件的计算载荷	(45)
2.5.3	传动零件应力循环次数的计算	(46)
2.5.4	零件疲劳计算的等效载荷	(47)
2.5.5	许用应力	(47)
第3章	起重机专用零部件	(51)
3.1	钢丝绳	(51)
3.1.1	钢丝绳的构造及分类	(52)
3.1.2	钢丝绳的标记	(56)
3.1.3	钢丝绳的选择计算	(57)
3.1.4	钢丝绳的使用	(59)
3.2	滑轮及滑轮组	(61)
3.2.1	滑轮	(61)
3.2.2	滑轮组	(64)
3.2.3	卷筒	(69)
3.3	取物装置	(76)
3.3.1	取物装置概述	(76)
3.3.2	吊钩组	(78)
3.3.3	抓斗	(86)
3.4	制动装置	(88)
3.4.1	制动装置的作用和种类	(88)
3.4.2	块式制动器	(93)
3.4.3	盘式制动器	(95)
第4章	起升机构	(97)
4.1	起升机构的构造	(97)
4.1.1	起升机构概述	(97)
4.1.2	起升机构的布置方案	(98)
4.1.3	减速器的安装	(102)
4.2	起升机构设计计算	(104)
4.2.1	起升阻力矩的计算	(104)
4.2.2	电动机的选择和计算	(107)
4.2.3	减速器的选择和计算	(108)

4.2.4	制动器的选择和计算	(110)
4.2.5	联轴器的选择和计算	(110)
4.2.6	电动机的校验	(111)
第5章	运行机构	(113)
5.1	运行支承装置	(113)
5.1.1	车轮	(113)
5.1.2	车轮组	(114)
5.1.3	台车与轮压	(114)
5.1.4	轨道	(116)
5.1.5	车轮的强度计算	(116)
5.2	运行驱动机构	(119)
5.2.1	运行驱动机构的类型	(119)
5.2.2	运行驱动机构的构造	(120)
5.2.3	运行驱动机构的主动轮布置	(123)
5.3	运行驱动机构设计计算	(124)
5.3.1	运行阻力的计算	(124)
5.3.2	电动机的选择	(126)
5.3.3	减速器的选择和计算	(128)
5.3.4	制动器选择计算	(129)
5.3.5	联轴器的选择和计算	(130)
5.3.6	运行机构的起动和制动打滑验算	(130)
第6章	回转机构	(134)
6.1	回转支承装置	(134)
6.1.1	回转支承装置的构造	(134)
6.1.2	回转支承装置的计算	(142)
6.2	回转驱动机构	(154)
6.2.1	回转驱动机构的传动形式	(154)
6.2.2	极限力矩联轴器	(158)
6.2.3	制动装置	(158)
6.2.4	回转驱动元件	(159)
6.3	回转驱动机构设计计算	(160)
6.3.1	回转阻力矩的计算	(160)
6.3.2	回转驱动机构的设计计算	(165)
第7章	变幅机构	(169)
7.1	变幅机构的构造形式	(169)

7.1.1	工作性变幅机构和非工作性变幅机构	(169)
7.1.2	运行小车式变幅机构和臂架式变幅机构	(170)
7.1.3	平衡变幅机构和非平衡变幅机构	(171)
7.2	载重水平位移系统	(172)
7.2.1	滑轮组补偿法	(172)
7.2.2	平衡滑轮补偿法	(176)
7.2.3	卷筒补偿法	(178)
7.2.4	组合臂架补偿法	(180)
7.3	臂架自重平衡系统	(185)
7.3.1	不变重心平衡原理	(185)
7.3.2	移动重心平衡原理	(186)
7.3.3	无配重平衡原理	(187)
7.3.4	杠杆-活动对重系统的设计	(188)
7.4	变幅驱动机构	(189)
7.4.1	变幅驱动机构的构造形式	(189)
7.4.2	变幅机构的载荷	(193)
7.4.3	平衡变幅驱动机构计算	(199)
7.4.4	非工作性变幅机构的计算	(202)
第 8 章	轮压及整机稳定性	(205)
8.1	支承反力及轮压计算	(205)
8.1.1	关于轮压的若干概念	(205)
8.1.2	起重机支承反力及轮压的分配	(205)
8.1.3	超静定系统的假设	(206)
8.1.4	理想情况下的支承反力计算	(206)
8.1.5	实际情况下的支承反力计算	(211)
8.1.6	车轮轮压的计算	(211)
8.1.7	桥式起重机支承反力的计算	(211)
8.1.8	门式起重机与装卸桥的支承反力计算	(213)
8.2	起重机稳定性	(215)
8.2.1	起重机稳定性计算的准则	(215)
8.2.2	一般起重机的稳定性校验	(216)
8.2.3	塔式起重机的稳定性校验	(216)
8.2.4	实例——门式起重机的稳定性验算	(217)
	参考文献	(220)

第 1 章 起重机械概论

1.1 起重机械的作用及工作特点

1. 起重机械的任务

起重机械是对物料进行起重、输送、装卸、安装等作业的机械设备,是国民经济各行业必需的机械设备,也是组成生产流水作业线的重要设备。

起重机械的基本任务是垂直升降重物并使重物作短距离的水平移动,以满足对重物进行装卸、转载、安装等作业的要求。

起重机械是替代或减轻体力劳动、提高作业效率、保证安全生产、实现生产过程机械化和自动化必不可少的起重、运输设备。在国民经济各部门的物质生产和物资流通中,起重机械作为关键的工艺设备或重要的辅助机械,应用十分广泛。

2. 起重机械在水利电力行业中的应用

在水利电力建设事业中,起重机械的使用范围极为广泛。无论是装卸设备器材,吊装厂房构件,安装电站设备,还是吊运、浇筑大坝混凝土,吊运模板、开挖的废渣及其他建筑材料等,均需要大量使用起重机。

在火力发电厂的建设施工中,需要吊装和搬运的物料总重量达数万吨,其中不少组合件的吊装和搬运重量常达几百吨。因此,必须选用一些大型起重机进行锅炉和厂房构件等的吊装工作。随着火电机组容量的增大,所需起重机的吨位也越来越大。通常采用的大型起重机有门式起重机、桅杆式起重机、门座起重机、塔式起重机、履带式起重机、轮胎式起重机以及汽轮机厂房内设置的桥式起重机等。

水电工程施工不但规模浩大,而且地理条件特殊,施工季节性强,工程过程复杂,需要调运设备和建筑材料的量大且品种多,所需要的起重机数量和种类也很多。除了上述几种起重机外,在水电工程中还采用其他一些大型起重机,如缆索起重机、架空索道、浮式起重机等。在水电工程运行中,电站厂房及水工建筑物也使用各种类型的起重机来检修设备、启闭闸门或起吊拦污栅等,这些起重机包括电站桥式起重机、坝顶门式起重机、固定式卷扬启闭机、液压启闭机等。

3. 起重机械的工作特点

起重机械对物料进行垂直提升和短程水平移运作业,它靠重复性的循环作业来大量运送物品。因此起重机械是一种间歇动作、循环作业的机械设备,具有重复而短暂的工作特征。起重机械在搬运物料时,通常要经历上料、运送、卸料、回到原处的过程,各工作机构在工作时作往复的周期性的运动。例如,起升机构的工作由物品的

升、降和空载取物装置的升、降所组成,运行机构的工作由负载和空载时的往复运动所组成。

起重机的一个工作循环即完成一次物料搬运的过程,一般包括取物、物品上升、物品水平运动、物品下降、卸料、空钩返回原地。在两个工作循环之间起重机一般有短暂的停歇。在一个工作循环中,各机构交替动作,单个机构经常处于起动、制动以及正向、反向等相互交替的运动状态之中。

起重机械的上述工作特点决定了其工作机构和承载结构在载荷方面的特点:起重机的工作载荷是正反向交替作用的;由于反复起动和制动,各机构和结构将承受较大的动载荷,许多重要的零件和结构件都将承受不稳定的变幅应力作用。这些将对结构件的强度计算产生较大的影响。

起重机械属于危险作业的特种设备,它若发生事故,往往造成极大的财产损失和人员伤亡,所以起重机的设计和制造一定要严格执行国家标准和技术法规。

1.2 起重机械的组成及其分类

1.2.1 起重机械的组成

起重机械主要由三个主要部分组成:工作机构、金属结构、动力和控制装置。

1. 工作机构

工作机构是指起重机械的执行机构,其作用是使被吊运的物品获得必要的升降和水平移动,从而实现物品装卸、转载、输送、安装等作业要求。起重机械主要的工作机构有使货物升降的起升机构、作平面运动的运行机构、使起重机旋转的回转机构、改变回转半径的变幅机构,此即所谓的起重机械四大机构。此外,针对某些特殊的使用要求,有些起重机还设有伸缩机构、放倒机构、夹钳机构等。在所有这些工作机构中,实现物品垂直升降的起升机构是起重机械的基本工作机构,而其他机构则是辅助工作机构,配合起升机构工作。根据具体使用要求,辅助工作机构可以多设,也可以少设,甚至完全不设,但是作为基本工作机构的起升机构却是任何一种起重机械所必不可少的。

2. 金属结构

金属结构是指起重机械的骨架,决定了起重机械的结构造型,它用来支承工作机构,承受物品重力、自身重力以及各种外部载荷,并将这些重力和载荷传递给起重机械的支承基础。

3. 动力和控制装置

动力和控制装置为起重机械提供动力、控制、通信等,常用的驱动装置是电动机及电气控制装置。

1.2.2 起重机械的分类

1. 按构造特征分类

按照构造特征分类,起重机械分为单动作的起重机械、桥架型起重机、臂架型起重机等。

1) 单动作的起重机械

单动作的起重机械只配备使货物作升降运动的起升机构,常见的有千斤顶、滑车及滑车组、绞车、升降机等,其服务范围是长条直线。

(1) 千斤顶 千斤顶是一种升降行程很小但具有较大举升能力的小型起重设备,常见的有螺旋千斤顶和液压千斤顶,如图 1-1 所示。

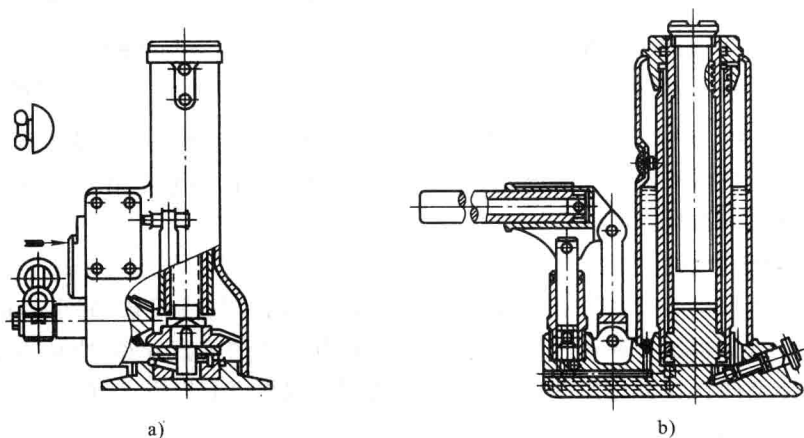


图 1-1 千斤顶

a) 螺旋千斤顶 b) 液压千斤顶

(2) 滑车及滑车组 滑车是一种由滑轮、吊钩(或吊环)、吊梁等组成的简单起重工具,有单轮、双轮及多轮等多种形式,一般与绞车配合使用,以提高起重能力,改变钢丝绳的牵引方向,进行吊装和搬运工作,如图 1-2 所示。

滑车组是由一定数量的动滑轮和定滑轮及钢丝绳索组成的省力滑轮组,其结构紧凑,质量小,携带方便,是一种用途极广的简单起重工具,如图 1-3 所示。

(3) 绞车 绞车又称卷扬机,可分为手动和电动两种。手动绞车如图 1-4 所示,是一种简单的钢丝绳牵引工具。电动绞车是由电动机经减速器、卷筒、驱动钢丝绳滑轮组组成的起重设备,用以起吊重物或产生牵引力。在矿山、建筑工地及舰船上应用。各类起重机的起升机构实际上都是一种绞车。

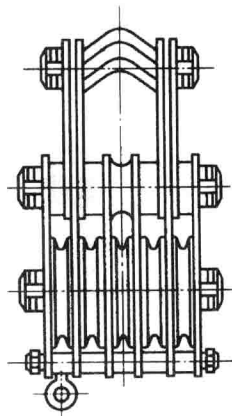


图 1-2 多轮吊梁型滑车

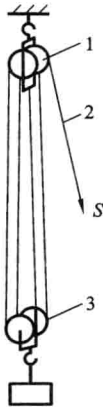


图 1-3 滑车组简图

1—定滑车 2—钢丝绳 3—动滑车

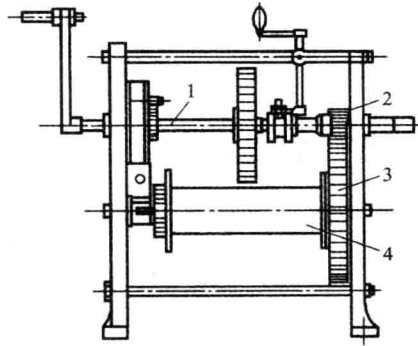


图 1-4 手动绞车

1—轴 2—小齿轮 3—大齿轮 4—滚筒

(4) 升降机 升降机是一种由绞车拖动吊厢,吊厢沿刚性轨道升降的起重设备。在建筑工地广泛应用的建筑升降机、在高层建筑物中应用的电梯、在矿山使用的矿井提升机等都是升降机。

2) 桥架型起重机

桥架型起重机的构造特点是有一个起承载作用的桥架或门架,靠小车运行机构和起重机运行机构水平移运悬吊的物品,加上起升机构的垂直升降,使其作业范围形成一长方体空间。根据具体结构形式不同,桥架型起重机有以下几种:

① 桥式起重机(见图 1-5a)。

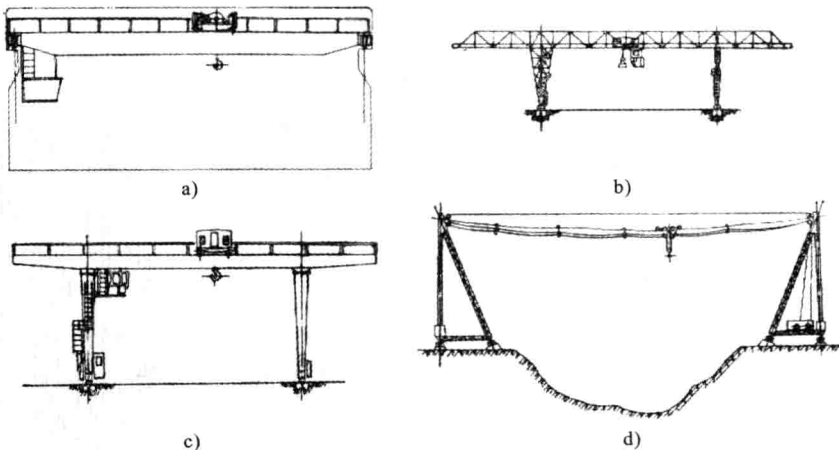


图 1-5 桥架型起重机

a) 桥式起重机 b) 装卸桥 c) 龙门式起重机 d) 缆索起重机

② 门式起重机,包括装卸桥(见图 1-5b)、龙门式起重机(见图 1-5c)、岸边集装箱装卸桥、坝顶门式起重机等。

③ 缆索起重机(见图 1-5d),是一种特殊的桥架型起重机,它的小车在特制的承载钢索上运行,承载钢索支承在两个塔架顶端,其跨度较大,多在大型水电工程施工中采用。

3) 臂架型起重机

臂架型起重机依靠回转机构和变幅机构运动的组合,使起吊的货物作水平运动,作业的范围是圆柱形空间,起重机整体沿轨道运行,其作业范围较大。臂架型起重机分为以下几种:

- ① 塔式起重机(见图 1-6a);
- ② 门座起重机(见图 1-6b);
- ③ 流动起重机(见图 1-6c);
- ④ 浮式起重机(见图 1-6d)。

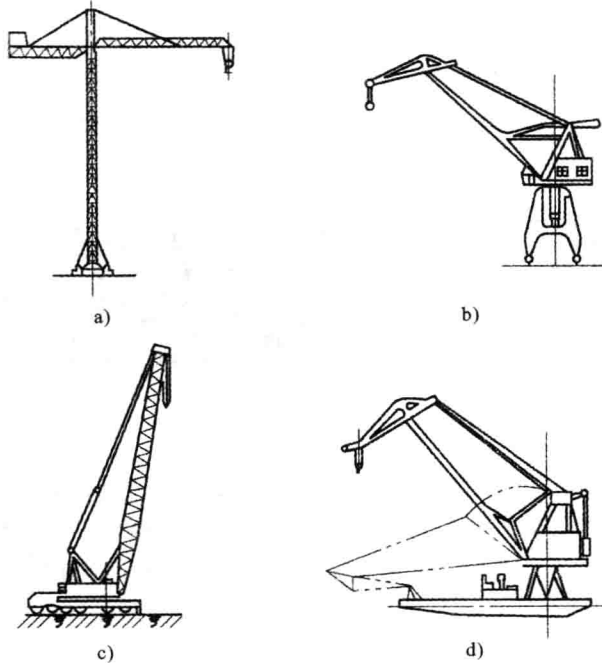


图 1-6 臂架型起重机

a) 塔式起重机 b) 门座起重机 c) 流动起重机 d) 浮式起重机

2. 按设计特点分类

从起重机的设计特点出发,国际标准化组织(ISO)将起重机分为以下四种类型:流动起重机、塔式起重机、桥式和门式起重机、臂架起重机。

1) 流动起重机

流动起重机是一种带有无轨运行装置的臂架回转式起重机,依靠汽车或履带式底盘可以在一般道路甚至无路的坚实地面行走,具有很好的流动性,适合于各种流动性的装卸作业。流动起重机最显著的特点是以内燃机为动力,可以由发电机带动液压泵产生高压油,再通过液压缸或液压马达驱动起重机的各个工作机构;也可以通过发电方式,由电动机分别驱动起重机各个机构。根据运行装置的不同,流动起重机又分为汽车式、轮胎式、履带式三种。

(1) 汽车式起重机 汽车式起重机是一种装在汽车底盘上的起重机。汽车式起重机由上车和下车两部分组成,上车装有起升机构、回转机构、变幅机构,下车是汽车底盘。上车、下车用回转支承装置联系,回转机构可使起重机上车相对于下车回转。在上车设有起重机专用操纵室并以此进行起重机的所有作业。起重机作业时,专门的支腿自动伸出,撑牢校平,以保证起重机作业时有足够的稳定性。改变工作场地时,将臂架收放在底盘上并固定好,然后以汽车的行驶速度转移。现代汽车式起重机多采用液压传动,臂架多采用箱型伸缩式,臂架收放可以自动进行。大起重量的臂架做成分段桁架式,转移时臂架用另备的车辆装运。汽车式起重机如图 1-7 所示。由于汽车行驶时有界限尺寸和重量的限制,所以汽车起重机的设计要求“精打细算”,计算载荷及组合、应力计算等要细致、精确,零部件重量都要计算和称量。汽车式起重机的起重重量小的只有 1 t,大的可达 400 t 或更大。

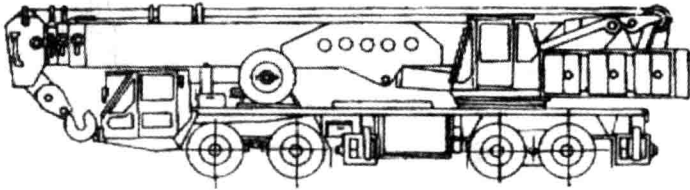


图 1-7 汽车式起重机

(2) 轮胎式起重机 轮胎式起重机是指装在专门设计的轮胎底盘上的起重机,外表与汽车式起重机类似,但其底盘为刚性悬架,其轴距更短,转弯半径更小,能悬吊着货物行驶。其上车与汽车式起重机的上车相似,臂架多为桁架结构,可以带着臂架转移,运行的速度比汽车慢。作业时也必须要有支腿撑牢校平。轮胎式起重机如图 1-8 所示。

(3) 履带式起重机 履带式起重机是指装在履带运行装置上的回转式臂架起重机,如图 1-9 所示。整个起重机安装在左右两个履带架上,作业时靠履带装置保持稳定,可不需要专用的支腿。这种起重机可以越野行驶。老式的履带式起重机用机械传动的方式把柴油机的动力传递给各个机构,所以机械系统非常复杂。现代的履带式起重机采用全液压传动,机械部分很简单,作业平稳,使用方便。

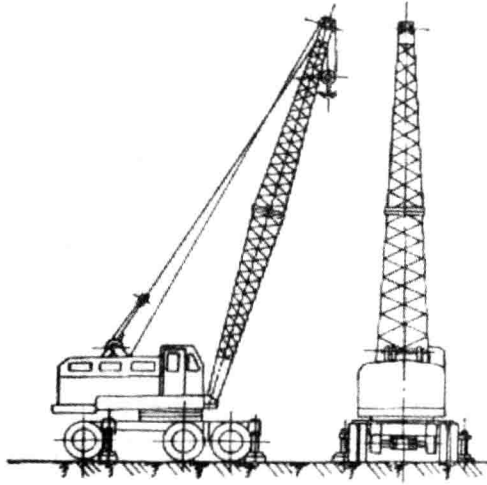


图 1-8 轮胎式起重机

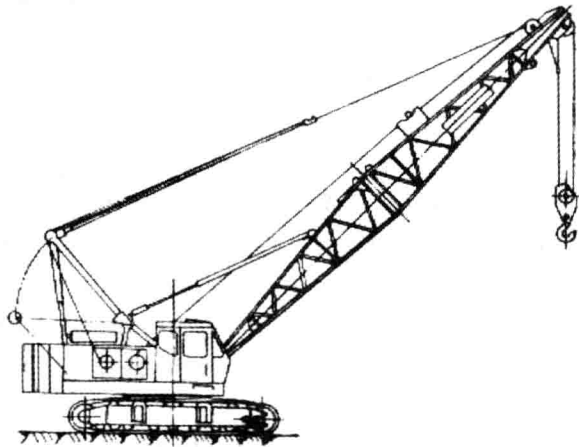


图 1-9 履带式起重机

2) 塔式起重机

塔式起重机是一种臂架装在高耸塔柱顶端的回转式起重机,作业时在专门铺设的轨道上运行,转移时需拆卸运输,多应用于建筑施工和设备安装作业。用于建筑施工的塔式起重机起重量较小,塔身和臂架用型钢或钢管桁架结构;塔身可以附着在建筑物上,随着建筑物的升高而升高。用于设备安装的塔式起重机起重量较大,其起升机构具有低速挡,便于安装定位,结构也多用钢管桁架,分段连接,便于转移。塔式起重机使用工作场地的电源,各机构用电动机分别驱动。其设计原则是尽可能轻巧,装拆方便,以便于安装、拆卸和转移。