



国家级精品课程教材

起重运输机 金属结构

(第二版)

王金诺 于兰峰 主编

QIZHONG YUNSHUJI
JINSHU JIEGOU

中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路科技图书出版基金资助出版
国家级精品课程教材

起重运输机金属结构

(第二版)

王金诺 于兰峰 主 编
吴 晓 周奇才 副主编



中国铁道出版社

2017年·北京

内 容 简 介

本书是国家级精品课程教材,由铁路科技图书出版基金资助出版。

本书阐述物流主要设备起重运输机金属结构的构造、基本理论和设计计算方法。全书共分三篇十六章,内容包括:起重运输机金属结构的作用、分类和力学模型;设计计算基础;金属结构的材料选择;组成起重运输机金属结构的基本构件(柱、梁和桁架)的设计计算方法;铁路、港口和仓库常用物流设备(门式起重机、汽车起重机、塔式起重机、门座起重机、叉车和岸边集装箱起重机)主要金属结构的构造和设计计算方法;起重机金属结构细部设计。每章设有算例和习题。

本书可作为高等学校机械制造与自动化专业和相关专业的教材,亦可供从事物流设备及其金属结构设计、制造和科研的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

起重运输机金属结构/王金诺,于兰峰主编. —2版. —北京:
中国铁道出版社,2017.8
国家级精品课程教材
ISBN 978-7-113-23433-1

I. ①起… II. ①王… ②于… III. ①起重机械-金属结构-高等学校-教材②运输机械-金属结构-高等学校-教材 IV. ①TH2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 174179 号

书 名:起重运输机金属结构(第二版)

作 者:王金诺 于兰峰 主编

责任编辑:金 锋 亢丽君

编辑部电话:010-51873205

电子邮箱:1728656740@qq.com

封面设计:郑春鹏

责任校对:苗 丹

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)

网 址:<http://www.tdpress.com>

印 刷:北京铭成印刷有限公司

版 次:2002年12月第1版 2017年8月第2版 2017年8月第1次印刷

开 本:787mm×1092mm 1/16 印张:32.5 字数:832千

书 号:ISBN 978-7-113-23433-1

定 价:72.00元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)

打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

《起重运输机金属结构(第二版)》编委会

主任委员:王金诺 于兰峰

秘 书:刘慧彬

顾 问:顾迪民 徐格宁 张质文 过玉卿 程文明 王少华
施继和 曾友奎

委 员:

安徽兴宇轨道装备有限公司

薛恒鹤

抚顺永茂建筑机械有限公司

孙 田 史 勇

江苏省特种设备安全监督检验研究院

李向东

浙江三一装备有限公司

吴立昆 彭继文

郑州新大方重工科技有限公司

陈德利

华电郑州机械设计研究院有限公司

李太周

广西建工集团建筑机械制造有限责任公司

林 永

四川建设机械(集团)股份有限公司

王保田 王晓平

山东德鲁克起重机有限公司

张树文

卫华集团有限公司

刘永刚 侯文晟

豫飞重工集团有限公司

邵 景

第二版前言

《起重运输机金属结构》由王金诺主编,1984年由中国铁道出版社出版,1989年被评为全国优秀教材。2000年对原版进行修订,由王金诺、于兰峰主编,2002年由中国铁道出版社作为新版(第一版)出版。该修订版被列为国家级重点教材,并于2006年获西南交通大学优秀教材一等奖。随着起重运输机金属结构技术研究的不断进步,以及高等学校教育改革的深入,为更好地适应当前教学要求和起重运输机制造企业新产品设计需求,全面贯彻国外最新标准和执行国内起重机设计规范(GB/T 3811—2008),编者于2015年3月再次对《起重运输机金属结构》教材进行全面修订。

本次修订的指导思想和大纲由西南交通大学王金诺、于兰峰、吴晓及同济大学周奇才提出,篇章结构保持了原来的体系,删除了部分陈旧的内容。在常用起重运输机金属结构设计计算篇中,根据近年来物料搬运机械的发展趋势,增加了“岸边集装箱起重机金属结构”替代原书中的“自动化立体仓库巷道堆垛机结构”。考虑到起重运输机金属结构细部设计的重要性,特邀具有起重机丰富设计经验的专家撰写了“起重运输机金属结构细部设计”。此外,对第一版教材的文字叙述、算例和习题设置进行了精选,各章节的算例多来自编者的设计实践。本书注重课程的教学基本要求,力求培养学生的创新和设计计算能力,尽可能扩大教材的适用面。

本书由王金诺、于兰峰任主编,吴晓、周奇才任副主编。具体修订工作由于兰峰全面负责,王金诺对全书进行了审核。修订分工如下:王金诺(第一、六、七、九章)、于兰峰(第二、三、四、五、八、十一章)、吴晓(第十章、十二章)、西南交通大学漆俐(第十四章)、武汉理工大学胡吉全(第十三章)、周奇才(第十五章)、大连重工起重集团有限公司周学镛(第十六章)。

本书的特点是理论联系实际,在阐述起重运输机金属结构设计理论分析过程中,与实际紧密结合。本书除作为机械设计与制造自动化专业起重与工程机械方向的本科生和机械设计及理论专业的研究生教材外,对从事起重运输与工程机械金属结构设计、制造、安装、维修的工程技术人员同样具有较高的参考价值,可作

为相关产品结构设计的工具书。

在本书的修订过程中,西南交通大学工程机械系的众多老师、同济大学的同行专家以及四川省机械工程学会物流工程分会的企业界人士,对修订工作提出了不少有益建议,为提高本版教材的质量做出了贡献,谨向上述单位和个人表示诚挚的感谢。

本书由铁路科技图书出版基金资助出版。

希望采用本书的广大师生和工程技术人员对内容的不当之处及时提出宝贵意见和建议,以便今后再次修订时加以改正和更臻完善。

编者

2017年3月 成都

第一版前言

本书作为试用教材于1984年问世后,国内十多所高等学校将其作为专业教材或教学参考书,40多家起重运输机械厂和20多个研究院所将其作为设计计算的主要工具书,数百位学者在编著中引用。这说明试用教材出版17年以来,为国家培养高等人才和国民经济的发展作出了贡献。

基于此,对试用教材修订时在风格上保持了原书的体系,在内容上去除了陈旧的部分。根据物流技术的发展需要,增补了塔式起重机和自动化立体仓库巷道堆垛机金属结构设计计算。在大部分章节补充了现代设计方法的有关内容和国际、国内最新标准,补齐了每章的算例和习题。

参加试用教材修订的作者都是近十多年以来在教学第一线,并亲自讲授过本门课程的年轻学者。西南交通大学王金诺教授和于兰峰副教授担任主编,同济大学周奇才教授担任主审。参加修订的同志有:王金诺、于兰峰(第一、三章),王金诺、徐菱(第二章),曲季浦、于兰峰(第四、六、八章),王金诺、许志沛(第五、七、九章),郑荣、于兰峰(第十章),曲季浦、徐菱(第十一、十二章),张士锷、周奇才(第十三章),王金诺、周奇才(第十四章),周奇才(第十五章)。

西南交通大学机械工程研究所刘放工程师对全书插图完成了计算机制图。修订过程中,西南交通大学张质文教授,曾佑文教授、程文明教授、赵永翔教授、张钟鹏副教授、邓斌副教授、王少华副教授,北京铁路局夏宏教授级高工,石家庄铁道学院汪春生教授,中南工业大学交通学院吕宁生教授提出不少有益建议,谨向他们表示感谢。

本次教材修订获得“国家教育部高等学校骨干教师资助项目”资助。

限于编者的学识水平,书中如有不妥之处,敬请读者批评指正。

编者

2001年4月18日

目 录

第一篇 起重运输机金属结构设计计算基础

第一章 概 论	1
第一节 起重运输机金属结构的作用和发展过程	1
第二节 起重运输机金属结构的分类	5
第三节 起重运输机金属结构的计算简图	8
第四节 起重运输机金属结构的工作级别	9
第五节 对起重运输机金属结构的要求及其发展趋向	12
习 题	16
第二章 起重运输机金属结构的材料	18
第一节 起重运输机金属结构常用材料的分类及特性	18
第二节 金属结构常用钢材的性能	25
第三节 轧制钢材	27
第四节 铝合金的应用	29
第五节 起重运输机金属结构的选材原则	31
习 题	35
第三章 起重运输机金属结构设计计算基础	36
第一节 起重运输机金属结构计算载荷的分类	36
第二节 动载系数及冲击振动载荷	37
第三节 起重运输机金属结构各种载荷的计算	41
第四节 起重运输机金属结构的载荷组合	60
第五节 起重运输机金属结构设计计算方法	72
第六节 结构件(连接)的疲劳强度计算	84
习 题	99
第四章 起重运输机金属结构的连接	100
第一节 焊接连接	100
第二节 螺栓连接	111
第三节 销轴连接	127
习 题	131

第二篇 起重运输机金属结构基本构件的设计计算

第五章 轴向受力构件——柱	133
第一节 轴向受力构件在起重运输机金属结构中的应用	133
第二节 轴心受拉构件的设计计算	134
第三节 实腹式轴心受压构件的设计计算	136
第四节 格构式轴心受压构件的设计计算	149
第五节 实腹式偏心受压构件的计算	161
第六节 格构式偏心受压构件的计算	164
习 题	165
第六章 横向弯曲的实体构件——梁	166
第一节 型钢梁	166
第二节 焊接组合梁的截面尺寸、强度和刚度计算	169
第三节 梁的整体稳定	180
第四节 焊接组合梁的局部稳定	184
第五节 梁的翼缘板与腹板的连接计算	196
第六节 小车轮压的局部影响及其计算	197
第七节 梁的拼接	206
习 题	207
第七章 横向弯曲的格形构件——桁架	209
第一节 桁架的构造和分类	209
第二节 桁架的外形、腹杆体系和主要参数的确定	211
第三节 桁架的计算模型和设计计算步骤	215
第四节 桁架杆件的内力分析与计算	216
第五节 桁架杆件的断面设计	227
第六节 桁架的节点设计	231
第七节 桁架算例	233
习 题	236

第三篇 铁路和港口常用起重运输机金属结构的设计计算

第八章 偏轨箱形门式起重机的金属结构	237
第一节 偏轨箱形门式起重机金属结构的形式	237
第二节 偏轨箱形主梁的内力分析	241
第三节 薄壁箱形梁的约束扭转和约束弯曲	250
第四节 偏轨箱形主梁的设计计算	262

第五节 偏轨箱形门式起重机支腿的设计计算	272
习 题	291
第九章 桁架门式起重机(装卸桥)的金属结构	293
第一节 桁架门式起重机金属结构的主要类型和总体布局	293
第二节 倒三角形桁架式单主梁结构的计算	295
第三节 Π 形双梁桁架门式起重机金属结构的计算	300
第四节 四桁架双梁门式起重机桁架主梁的计算	304
第五节 三角形断面桁架门式起重机主梁的计算	315
第六节 双梁桁架门式起重机桁架支腿的计算	318
习 题	322
第十章 塔式起重机金属结构设计	323
第一节 塔式起重机的类型和金属结构的组成	323
第二节 塔式起重机的计算载荷	330
第三节 小车变幅式臂架的设计计算	331
第四节 塔式起重机塔身的设计计算	335
习 题	341
第十一章 轮式起重机的吊臂	344
第一节 桁架式吊臂的结构形式	344
第二节 桁架式吊臂的设计计算	346
第三节 箱形伸缩式吊臂的结构形式	359
第四节 箱形伸缩式吊臂的计算	361
第五节 箱形伸缩式吊臂的优化设计	379
第六节 伸缩吊臂变幅机构三铰点位置的优化设计	381
第七节 箱形伸缩式吊臂算例	384
习 题	397
第十二章 轮式起重机的转台和底架	398
第一节 轮式起重机的转台	398
第二节 轮式起重机的底架	402
第三节 轮式起重机的底架计算	403
习 题	418
第十三章 门座起重机金属结构	420
第一节 门座起重机金属结构的组成	420
第二节 门座起重机金属结构上的载荷及载荷组合	427
第三节 臂架系统结构设计	427

第四节	人字架系统结构设计	434
第五节	转 台	436
第六节	门 架	437
习 题		443
第十四章	平衡重式叉车门架	444
第一节	概 述	444
第二节	叉车门架的计算简图和作用载荷	447
第三节	按悬伸简支梁计算叉车门架的强度	448
第四节	叉车门架按空间框架计算简介	456
习 题		461
第十五章	岸边集装箱起重机金属结构	462
第一节	岸边集装箱起重机金属结构的基本组成	462
第二节	岸边集装箱起重机金属结构主要参数的确定	462
第三节	岸边集装箱起重机金属结构的计算载荷及载荷组合	469
第四节	岸边集装箱起重机门架及主梁的设计	474
习 题		477
第十六章	起重机金属结构细部合理设计	478
第一节	法兰连接的合理设计	478
第二节	箱形梁肋板的合理布置和设计	482
第三节	弯梁局部结构的合理设计	483
第四节	弯折形结构肋板的合理设置	485
第五节	桁架节点板的合理设计	486
习 题		486
附 录		487
参考文献		506

第一篇 起重运输机金属结构 设计计算基础

第一章 概 论

第一节 起重运输机金属结构的作用和发展过程

由金属材料轧制成的型钢(角钢、槽钢、工字钢、钢管等)及钢板作为基本元件,彼此按一定的规律用焊接的方法连接起来,制成基本构件后,再用焊接或螺栓将基本构件连接成能够承受外加载荷的结构物称为金属结构。例如常见门式起重机的上部主梁和支腿、轮式起重机的动臂和底架等。

起重运输机金属结构的作用是作为机械的骨架,承受和传递起重运输机所负担的载重及其自身的重量。图 1-1 所示的双梁箱形门式起重机,吊重 Q 通过起重小车 1 的运行轮传给主梁 2,再由主梁 2 传给支腿 3,最终通过大车运行轨道传给基础。

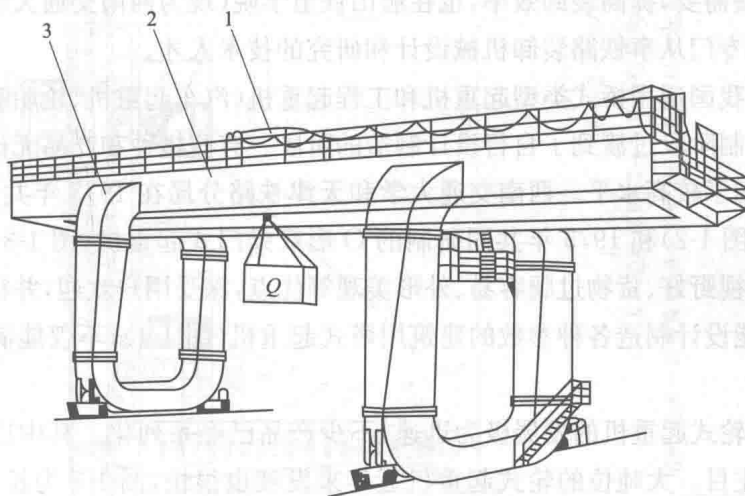


图 1-1 双梁箱形门式起重机

1—起重小车;2—主梁;3—支腿。

金属结构是起重运输机的主要组成部分。不少起重机就是以金属结构的外形命名的,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。

起重运输机金属结构是出现较晚的一种结构。直到 19 世纪后期,由于钢铁工业的发展和

机器制造业的进一步完善,金属结构才得以迅速发展。最早的起重机是木制的,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。尔后,欧美一些国家相继生产出由金属材料制成的桥式起重机和其他类型的起重机,其中包括低合金和铝合金结构的起重机。当时的起重运输机金属结构全部是铆接结构。

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。现代起重运输机械担当着繁重的物料搬运任务,是工厂、铁路、港口及其他部门实现物料搬运机械化的关键,因而起重运输机械的金属结构都用优质钢材制造,并用焊接代替铆接连接,不仅简化了结构,缩短了工期,而且大大地减轻了自重。焊接结构是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,古代我们的祖先采用杠杆及辘轳取水,就是用起重设备节省人力的例子。因是人力驱动,故起重能力小,且效率很低。几千年的封建统治年代,工业得不到发展,从而使起重运输设备及其金属结构的发展缓慢,阻碍了金属结构的广泛应用。中华人民共和国成立以前,我国自行设计制造的起重机械很少,绝大多数起重运输设备依靠进口。铁路货物的装、卸则以人力为主。中华人民共和国成立伊始,各主要铁路站场连一台像样的起重运输机都没有,当时的机械化水平就可想而知了。

中华人民共和国成立以后,随着冶金业与钢铁工业的发展,起重运输机械获得了飞速发展。中华人民共和国成立伊始,就建立了全国最大的大连起重机器厂,1949年10月,在该厂试制成功我国第一台起重量为50 t、跨度为22.5 m的桥式起重机。为培养起重运输机械专业的专门人材,在上海交通大学等多所高等工业学校中,创办了起重运输机械专业。铁路系统为适应国民经济发展需要,提高装卸效率,也在唐山铁道学院(现为西南交通大学)开办了铁路装卸机械专业,培养专门从事铁路装卸机械设计和研究的技术人才。

到目前为止,我国通用桥式类型起重机和工程起重机(汽车起重机、轮胎起重机、塔式起重机)已从过去的仿制阶段过渡到了自行设计制造的阶段。有些机种和产品无论从结构形式,还是性能指标都达到了较高水平。西南交通大学和天津铁路分局在1973年共同研制的单主梁C形门式起重机(图1-2)和1975年共同研制的O形双梁门式起重机(图1-3),由于它们具有腿下净空大、司机视野好、货物过腿容易、外形美观等优点,深受用户欢迎,并很快得到了推广。国内许多厂家已能设计制造各种参数的建筑用塔式起重机(图1-4),不仅能满足国内需要,还有大量出口。

近些年以来,轮式起重机的发展极为迅速,不少产品已经系列化。其中以中、小吨位的汽车起重机最引人注目。大吨位的轮式起重机近年来发展也很快,图1-5为长江起重机厂设计制造的125 t汽车起重机。

西南交通大学与山海关桥梁厂、兰州机车厂共同研制了100 t定长臂及伸缩臂式铁路起重机;与武桥重工集团股份有限公司共同研制了160 t定长臂及伸缩臂式铁路起重机,如图1-6、图1-7所示,其各项性能指标达到了国际先进水平。

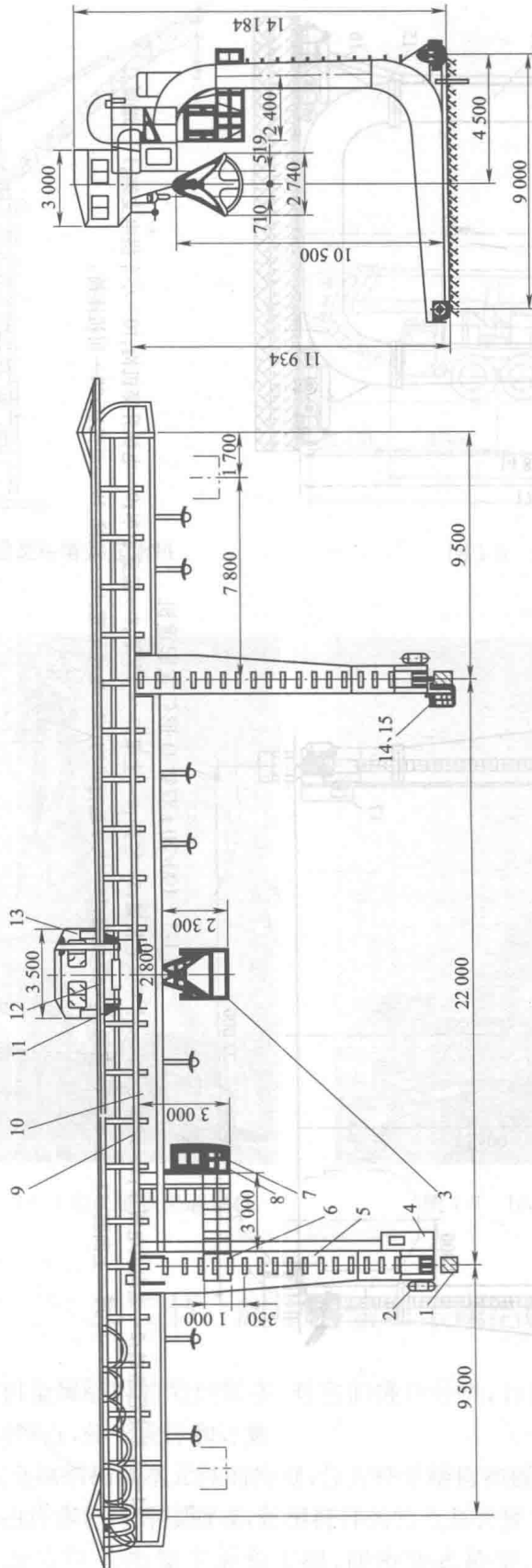


图 1-2 20/10t 单主梁 C 形门式起重机

- 1—大车行走基础;2—大车运行机构;3—抓斗;4—司机升降电梯;5—支腿;6—司机室走台;
- 7—司机室;8—司机座椅;9—走台;10—主梁;11—起重小车;12—大车供电装置;13—地沟。

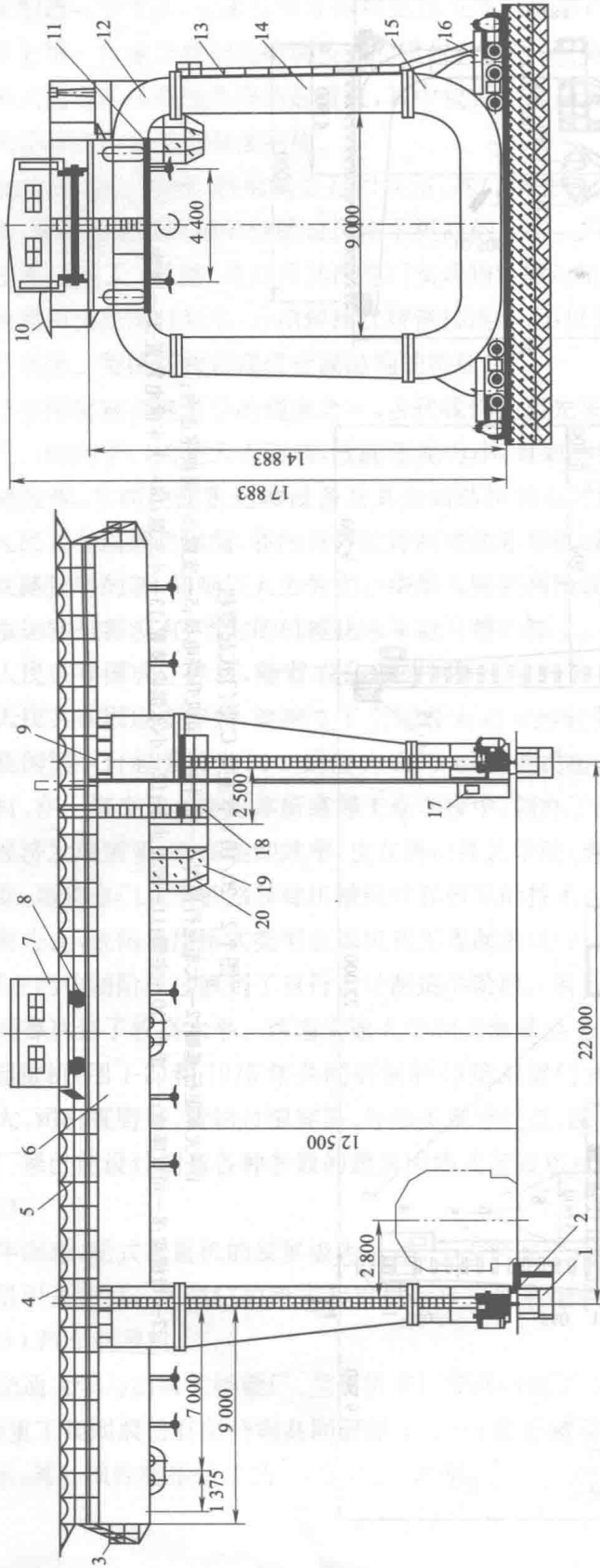


图 1-3 100/20 t 双梁 O 形门式起重机

1—大车行走基础;2—地沟供电装置;3—端部走台;4—小车供电装置;5—栏杆;6—主梁;7—小车罩;8—起重小车;9—电梯升降机构;10—小车供电支架;11—端梁;12—上曲腿;13—扶梯;14—直腿;15—下曲腿;16—大车运行机构;17—电梯运行机构;18—电梯吊笼;19—爬梯;20—司机室

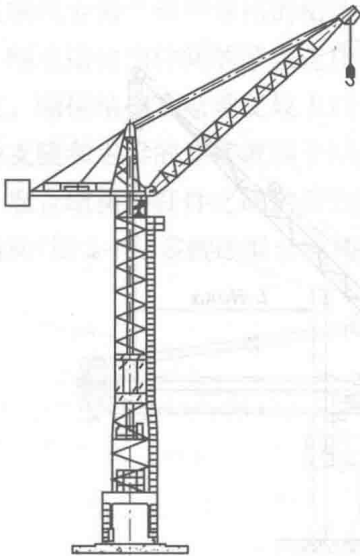


图 1-4 建筑用塔式起重机

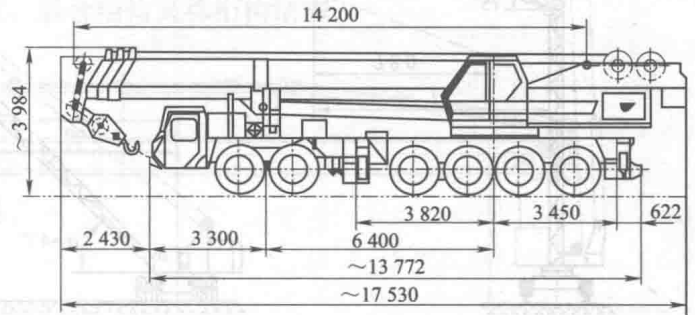


图 1-5 125 t 汽车起重机



图 1-6 160 t 定长臂铁路起重机



图 1-7 160 t 伸缩臂式铁路起重机

第二节 起重运输机金属结构的分类

起重运输机金属结构的类型繁多,对它们进行分类,目的是区别各种不同的金属结构类型,找出其共同特点,便于设计和计算。

1. 按组成金属结构基本元件的特点,分为杆系结构和板结构。

杆系结构由许多杆件焊接而成,每根杆件的特点是长度方向尺寸大,而断面尺寸较小。常见的桁架门式起重机的桁架主梁和支腿、四桁架式桥架、轮式和塔式起重机的桁架动臂

(图 1-8)都是杆系结构。

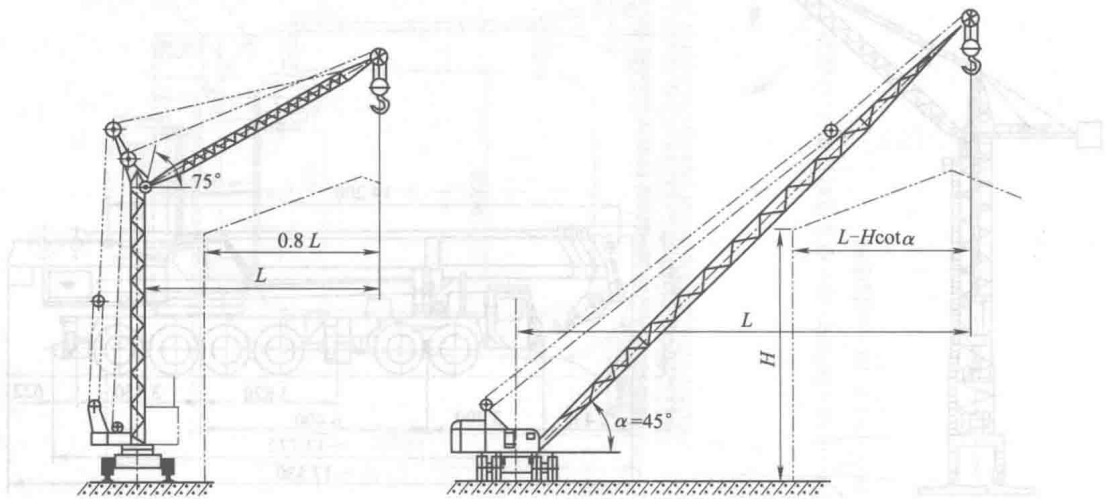


图 1-8 塔式、轮式起重机桁架动臂

板结构由薄板焊接而成。薄板的特点是长度和宽度方向尺寸较大,而厚度很小,所以板结构亦称薄壁结构。箱形门式起重机的主梁和变截面箱形支腿(图 1-1),汽车起重机的箱形伸缩臂和支腿(图 1-9)都是板结构。

杆系结构和板结构是起重运输机金属结构中最常用的结构形式。

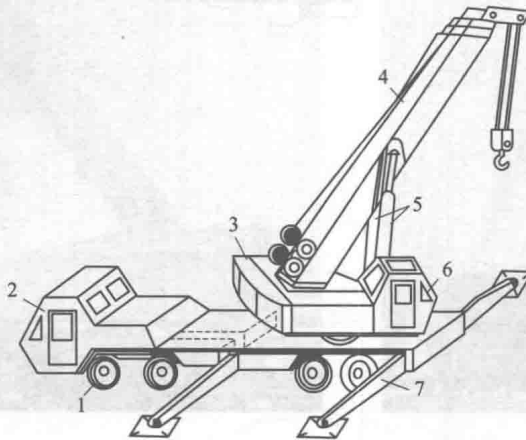


图 1-9 汽车起重机箱形支腿

1—走行装置;2—驾驶室;3—转台;4—动臂;5—变幅油缸;6—司机室;7—支腿。

2. 按起重运输机金属结构的外形不同,分为门架结构、臂架结构、车架结构、转柱结构、塔架结构等。这些结构可以是杆系结构,亦可以是板梁结构。门架结构包括门式起重机的门架、门座起重机的门腿及平衡重式叉车的门架等。

3. 按组成金属结构的连接方式不同,分为铰接结构、刚接结构和混合结构。

铰接结构中,所有节点都是理想铰。实际的起重运输机金属结构真正用铰接连接的是极少见的。通常在杆系结构中,若杆件主要承受轴向力,而受弯矩很小时,称之为铰接结构。起