



高等学校教材

QIZHONG YUNSHUJI JINSHU JIEGOU

# 起重运输机金属结构

西南交通大学 王金诺 于兰峰 主编



中国铁道出版社

责任编辑：赵 静

封面制作：冯龙彬



ISBN 7-113-04478-6



9 787113 044787 >

ISBN 7-113-04478-6/TH·95

定 价： 36.50 元

# 起重运输机金属结构

西南交通大学 王金诺 于兰峰 主编  
同济大学 周奇才 主审

中国铁道出版社

2002年·北京

(京)新登字 063 号

### 内 容 简 介

本书阐述物流主要设备——起重运输机械和仓储设备金属结构的构造、基本理论和设计计算方法。

全书共分三篇十五章。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(龙门起重机、汽车起重机、塔式起重机、门座起重机、叉车和立体仓库堆垛机)主要金属结构的构造和设计计算方法。每章均附有算例和习题。

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. —北京:中国铁道出版社,2002.3

高等学校教材

ISBN 7-113-04478-6

I. 起… II. ①王…②于 III. ①起重机—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. TH2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 098931 号

书 名:起重运输机金属结构

作 者:王金诺 于兰峰

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

责任编辑:赵 静 编辑部电话:021-73133(路电) 010-51873133(市电)

封面设计:冯龙彬

印 刷:中国铁道出版社印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:27 字数:679 千

版 本:2002年5月第1版 2002年5月第1次印刷

印 数:1~3 000 册

书 号:ISBN 7-113-04478-6/TH·95

定 价:36.50 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。

联系电话:(路电)021-73169,(市电)010-63545969

# 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),张士铎、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、张仲鹏副教授、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

<b>第一章 概 论</b> .....	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.....	7
第四节 起重运输机金属结构的工作级别.....	8
第五节 对起重运输机金属结构的要求及其发展趋向 .....	10
习 题 .....	13
<b>第二章 起重运输机金属结构的材料</b> .....	14
第一节 起重运输机金属结构常用材料的分类和性能 .....	14
第二节 轧制钢材 .....	20
第三节 铝合金的应用 .....	21
第四节 起重运输机金属结构的选材原则 .....	23
习 题 .....	24
<b>第三章 起重运输机金属结构设计计算基础</b> .....	25
第一节 起重运输机金属结构计算载荷的分类 .....	25
第二节 机构不稳定运动时的冲击动力载荷 .....	25
第三节 起重运输机金属结构各种载荷的计算 .....	31
第四节 起重运输机金属结构的载荷组合及许用应力 .....	40
第五节 设计计算方法 .....	43
习 题 .....	60
<b>第四章 起重运输机金属结构的连接</b> .....	61
第一节 焊接连接 .....	61
第二节 螺栓连接 .....	70
第三节 销轴连接 .....	82
习 题 .....	85

## 第二篇 起重运输机金属结构基本构件的设计计算

<b>第五章 轴向受力构件——柱</b> .....	87
第一节 轴向受力构件在起重运输机金属结构中的应用 .....	87
第二节 轴向受拉杆件的设计和计算 .....	88
第三节 轴心受压实体构件的设计和计算 .....	90
第四节 轴心受压格形柱的设计计算 .....	97
第五节 偏心受压实体柱的计算 .....	107
第六节 偏心受压格形柱的计算 .....	110
习 题 .....	111
<b>第六章 横向弯曲的实体构件——梁</b> .....	113
第一节 型钢梁 .....	113
第二节 焊接组合梁的截面尺寸、强度和刚度计算 .....	117
第三节 焊接组合梁的整体稳定 .....	128
第四节 焊接组合梁的局部稳定 .....	131
第五节 梁的翼缘板与腹板的连接计算 .....	141
第六节 小车轮压的局部影响及其计算 .....	142
第七节 梁的拼接 .....	150
习 题 .....	150
<b>第七章 横向弯曲的格形构件——桁架</b> .....	152
第一节 桁架的构造和分类 .....	152
第二节 桁架的外形、腹杆体系和主要参数的确定 .....	154
第三节 桁架的计算模型建立和设计计算步骤 .....	158
第四节 桁架杆件的内力分析与计算 .....	159
第五节 桁架杆件的断面设计 .....	169
第六节 桁架的节点设计 .....	173
第七节 桁架算例 .....	175
习 题 .....	178

## 第三篇 铁路和港口常用起重运输机金属结构的设计计算

<b>第八章 偏轨箱形龙门起重机的金属结构</b> .....	179
第一节 偏轨箱形龙门起重机金属结构的形式 .....	179
第二节 偏轨箱形主梁的内力分析 .....	183
第三节 薄壁箱形梁的约束扭转和约束弯曲 .....	192
第四节 偏轨箱形主梁的设计计算 .....	203
第五节 偏轨箱形龙门起重机支腿的设计计算 .....	214

习 题	233
<b>第九章 桁架式龙门起重机(装卸桥)的金属结构</b>	<b>235</b>
第一节 桁架式龙门起重机金属结构的主要类型和总体布局	235
第二节 倒三角形桁架式单主梁结构的计算	236
第三节 $\Pi$ 形双梁桁架式龙门起重机金属结构的计算	241
第四节 四桁架式双梁龙门起重机上部桁架主梁的计算	245
第五节 三角形断面桁架式龙门起重机上部主梁的计算	256
第六节 双梁桁架式龙门起重机桁架支腿的计算	259
习 题	263
<b>第十章 塔式起重机的金属结构</b>	<b>264</b>
第一节 塔式起重机的金属结构及计算载荷	264
第二节 小车变幅式臂架的设计计算	268
第三节 塔式起重机塔身的设计计算	271
习 题	276
<b>第十一章 轮式起重机的吊臂</b>	<b>279</b>
第一节 桁架式吊臂的结构形式	279
第二节 桁架式吊臂的设计计算	281
第三节 空腹式吊臂的设计计算	293
第四节 伸缩式吊臂变幅机构三铰点位置的优化设计	297
第五节 箱形伸缩式吊臂的结构形式	300
第六节 箱形伸缩式吊臂的计算	302
第七节 箱形伸缩式吊臂的优化设计计算	318
第八节 箱形伸缩式吊臂算例	322
习 题	334
<b>第十二章 轮式起重机的转台和底架</b>	<b>335</b>
第一节 轮式起重机的转台	335
第二节 轮式起重机的底架	337
第三节 轮式起重机的底架计算	339
第四节 转台的有限元分析	352
习 题	354
<b>第十三章 门座起重机金属结构</b>	<b>356</b>
第一节 门座起重机门架的结构形式	356
第二节 门座起重机门架结构的计算载荷	358
第三节 交叉式门架结构的计算	362
第四节 八杆式门架结构的计算	365



第五节 门座起重机转柱结构的计算·····	369
习 题·····	375
<b>第十四章 平衡重式叉车门架·····</b>	<b>376</b>
第一节 概 述·····	376
第二节 叉车门架的计算简图和作用载荷·····	378
第三节 叉车门架按悬伸简支梁的强度计算·····	379
第四节 叉车门架按空间框架计算简介·····	387
第五节 叉车门架的有限元分析·····	391
习 题·····	394
<b>第十五章 自动化立体仓库巷道堆垛机结构·····</b>	<b>396</b>
第一节 自动化仓库系统简介·····	396
第二节 巷道堆垛机·····	396
第三节 单立柱巷道堆垛机结构计算·····	397
习 题·····	407
附 录·····	408
附录 1 部分相关国标·····	408
附录 2 我国机车车辆限界图·····	422
主要参考文献·····	423

# 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。例如常见龙门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 所示的双梁箱形龙门起重机,吊重  $Q$  通过起重小车 1 的运行轮传给上部主梁 2,上部主梁 2 又传给支腿 3,最终通过大车运行轨道传给基础。

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而命名的,如桥式起重机、龙门起重机、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。当时的起重机金属结构全部是铆接结构。

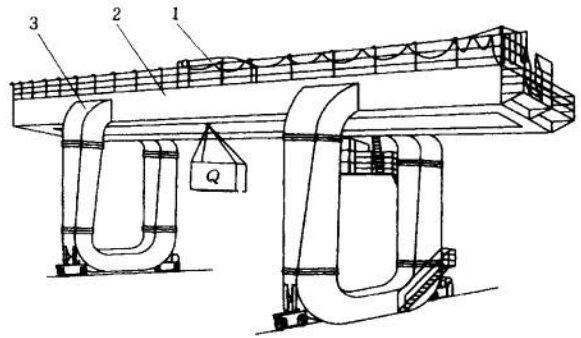


图 1-1 双梁箱形龙门起重机  
1—起重小车;2—上部主梁;3—支腿。

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

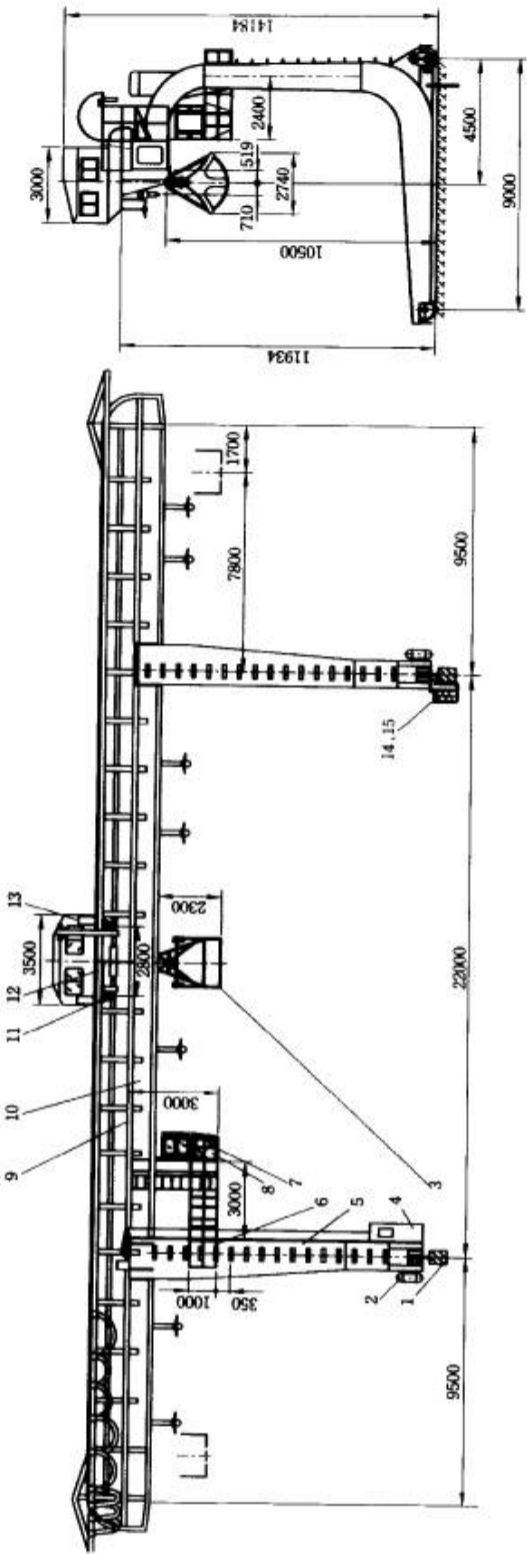


图 1-2 20/10 t 单主梁 C 形龙门起重机

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—上部主梁;11—起重小车;12—小车供电装置;13—小车罩;14—大车供电装置;15—地沟。

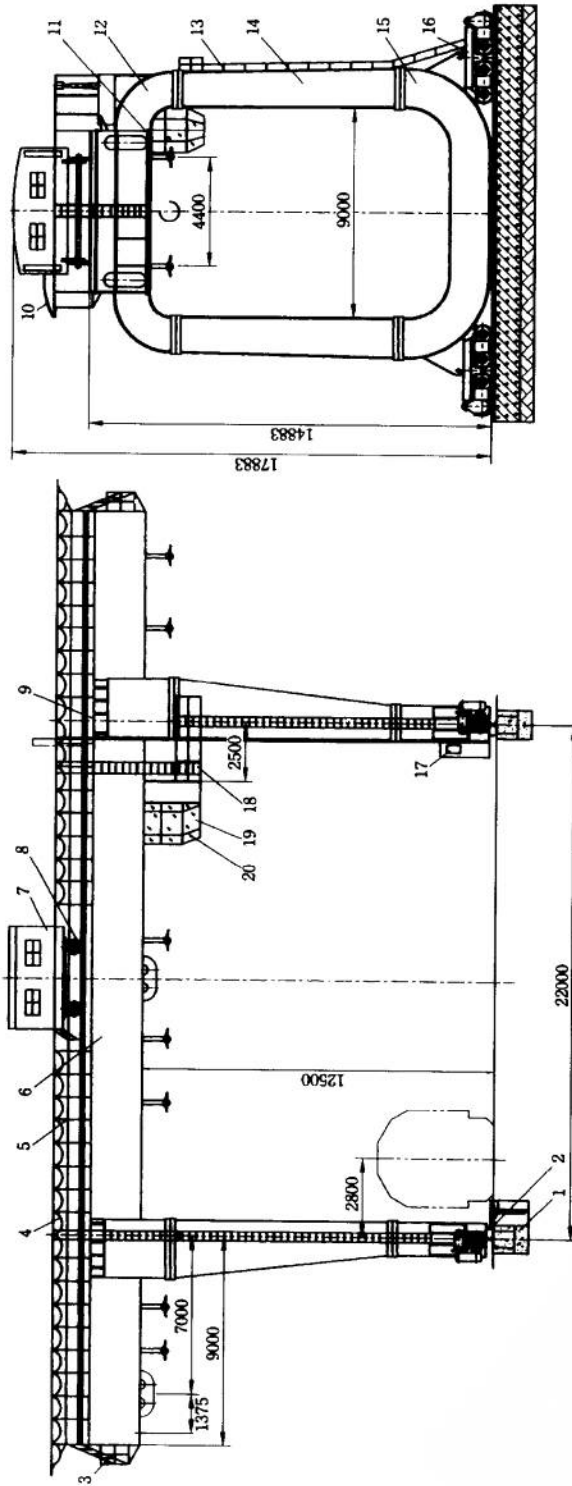


图 1-3 100/20t 双梁 O 形龙门起重机

1—大车行走基础;2—地沟供电滑车;3—端部走台;4—小车供电装置;5—栏杆;6—上部主梁;7—上部主梁;8—载重小车;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—下曲腿;15—下曲腿;16—大车运行机构;17—电梯吊笼;18—爬梯;19—司机室;20—司机座椅。

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。建国以前,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依靠进口。铁路货物的装、卸则以人力为主。建国初期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。

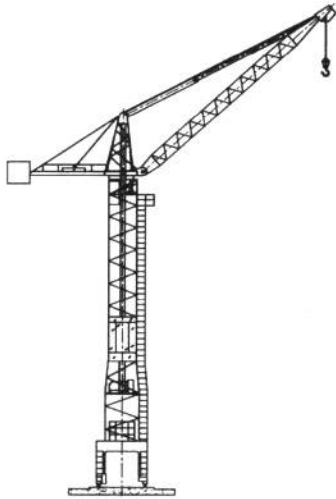


图 1-4 建筑塔式起重机

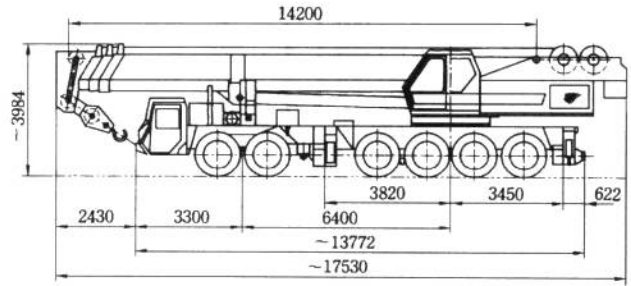


图 1-5 125 t 汽车起重机

建国以后,随着冶金业与钢铁工业的发展,起重运输机械获得了飞速的发展。刚解放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的需要,提高装卸效率,也在唐山铁道学院(现为西南交通大学)办起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。



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

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。1973年西南交通大学和天津铁路分局共同研制的单主梁

C形龙门起重机(图 1-2)和 1975 年共同研制的 O 形双梁龙门起重机(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,还有少量出口。

近几年以来,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;与武汉桥机厂共同研制了 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。

## 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. 按照组成金属结构基本元件的特点,起重运输机金属结构可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。常见的桁架式龙门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。

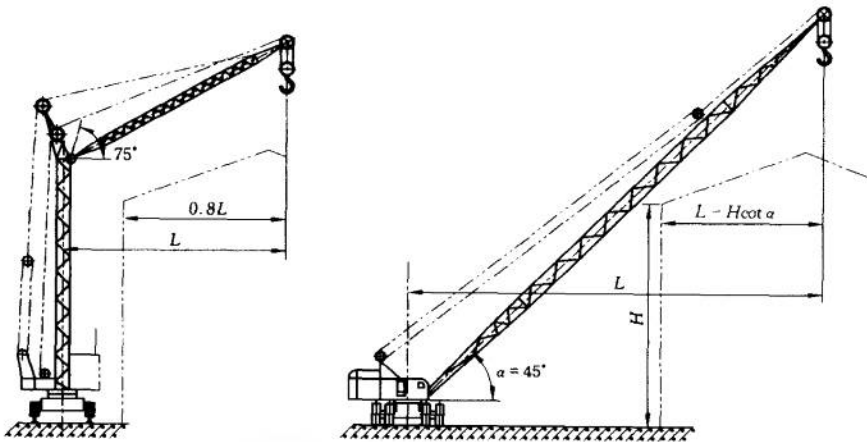


图 1-8 塔式、轮式起重机桁架动臂

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。箱形龙门起重机的上部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。

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。门架结构包括龙门起重机的龙门架、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,起重运输机金属结构分为铰接结构、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。起重运输机金属结构中常用的桁架结构,在设计计算时视为铰接结构。

刚接结构构件间的节点连接比较刚劲,在外载荷作用下,节点各构件之间的相对夹角不会变化。刚接结构节点承受较大的弯矩,而不像铰接结构的节点认为不承受弯矩。龙门起重机刚性支腿和上部主梁的连接就属于刚接节点,而龙门架结构就是刚接结构(图 1-1)。

混合结构各杆件之间的节点,既有铰接的,又有刚接的。常见单梁电葫芦桥式起重机的主体结构(图 1-10)多做成混合结构形式。混合结构又称桁构结构。

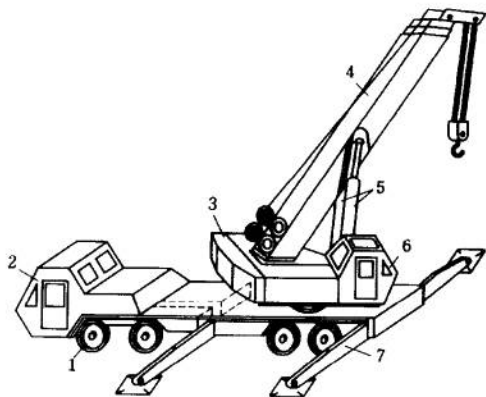


图 1-9 汽车起重机箱形支腿

1—行走装置;2—驾驶室;3—转台;4—动臂;

5—变幅油缸;6—司机室;7—支腿。

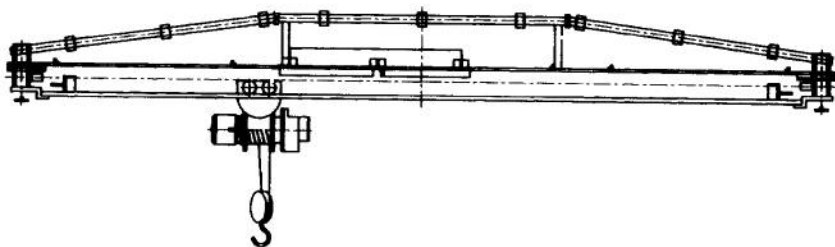


图 1-10 电葫芦桥式起重机桁架梁

4. 起重运输机金属结构,按照作用载荷与结构在空间的相互位置不同,分为平面结构和空间结构。

平面结构的作用载荷和结构杆件的轴线位于同一平面内,如图 1-11 所示的桁架结构,小车轮压、结构自重载荷与桁架平面共面,所以此桁架结构属于平面结构。

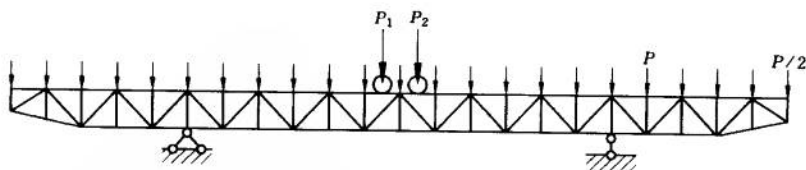


图 1-11 平面桁架结构

当结构杆件的轴线不在一个平面内,或结构杆件轴线虽位于同一平面,但外载荷不作用于结构平面(通常称为平面结构空间受力),处于这两种情况的结构都称为空间结构。图 1-12 的集装箱龙门起重机的龙门架和图 1-13 的轮式起重机车架,都是空间结构的例子。

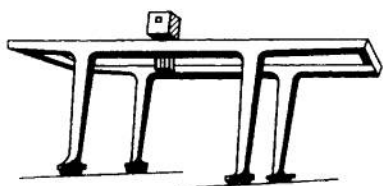


图 1-12 空间刚架结构

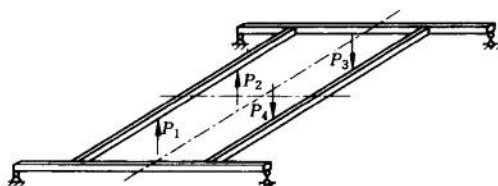


图 1-13 轮式起重机车架

### 第三节 起重运输机金属结构的计算简图

对起重运输机金属结构进行强度、刚度和稳定分析时,我们常用一理想的力学模型来代替实际的结构物。这种力学模型称为起重运输机金属结构的计算简图。对结构物进行简化时,应使计算简图尽可能接近实际情况,而注意使计算工作尽量简单。

将实际的金属结构简化成计算简图,包括结构本身的简化、支座的简化和作用载荷的简化。

结构本身简化时,构件用其轴线来代替,变截面构件近似地视为等截面构件,杆件之间的节点根据金属结构的类型简化为铰接点或刚接点。

支座是结构的支承。它是金属结构与基础相连接或接触的部分。结构所承受的外加载荷都是通过支座传给基础或其他结构的。因此,支座是金属结构很重要的传力部件。起重运输机金属结构中,经常遇到的支座有活动铰支座、固定铰支座和固定支座三种。

活动铰支座的特点是在支承部位有一个铰接结构,它可使支承的上部结构绕铰点自由转动,而包括支承在内的整个结构又可在一个方向内自由移动。有轨运行式起重机的大车走行轮沿轨道方向可简化成活动铰支座。图 1-14(a)是活动铰支座的典型结构形式,图 1-14(b)是活动铰支座的简图。活动铰支座只能承受垂直方向的支反力。

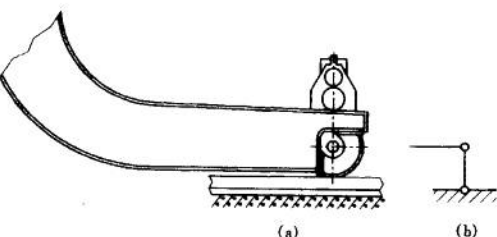


图 1-14 活动铰支座的典型结构和简图

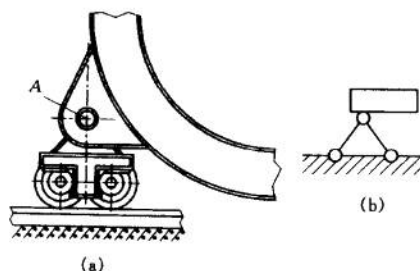


图 1-15 固定铰支座的典型结构和简图

固定铰支座与活动铰支座的的不同点,是其包括支座在内的整个结构不能沿一个方向移动,但仍可绕铰点自由转动。固定铰支座既可承受垂直支反力,又可承受水平支反力。图 1-15(a)中的 A 支座是固定铰支座的典型结构,图 1-15(b)是它的计算简图。如果将整个台车作为该支座的组成部分,对这样的支承结构也可以简化为活动铰支座。

固定支座与活动铰支座、固定铰支座相反,它既不能转动,又不能沿一个方向移动。这种支座不仅能承受垂直支反力和水平支反力,而且还能承受弯矩。固定支座可以用焊接连接,亦可用螺栓连接。



起重运输机金属结构的支座,通常是属于空间结构的支座。按平面支座进行分析时,在一个平面内属于一种支座情况,而在另一平面内又可简化成另一种支座情况。有时,在同一平面内,由于研究的对象不同或工况不同,也可以取两种支座情况。例如龙门起重机在龙门架平面,当研究上部主梁强度时,常取静定支座;当研究支腿的强度时,就可能取超静定支座。

载荷简化时,固定载荷(结构或机构的自重载荷)可简化成匀布载荷、集中载荷或节点载荷。移动载荷(起升载荷和小车自重载荷)以轮压的形式作用在小车轨道上时,接触长度很小,可以简化成集中载荷。

图 1-16(a)是一单主梁龙门起重机。根据上述原则进行简化时,在龙门架平面主梁和支腿用其几何轴线代替,结构自重视为匀布载荷,起升载荷视为集中移动载荷。计算主梁时,支座取图 1-16(b)的静定支座;计算支腿时,用图 1-16(c)的一次超静定支座。

必须指出,如何把实际的金属结构合理地简化成计算简图,是起重运输机金属结构分析中一个十分重要而且应该首先加以解决的问题。计算简图的选择合理与否,将直接影响到结构分析的正确性。在计算同一结构时,往往需要采用几种计算简图。初步设计时,用一个比较简单而精确度不高的计算简图(确定计算简图时,忽略较多的次要因素);在最后技术设计阶段,改用一个在计算上较繁而精确度较高的计算简图(确定计算简图时,忽略较少的次要因素)。

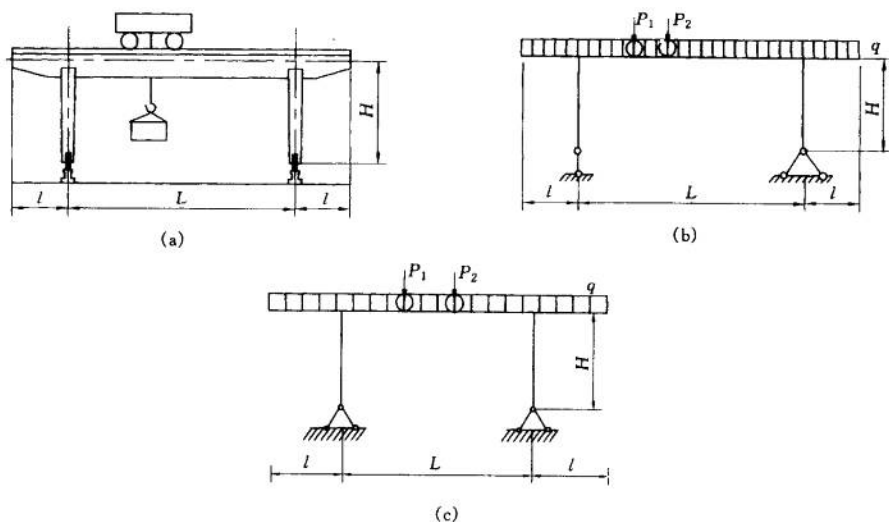


图 1-16 单主梁龙门起重机金属结构计算简图  
(a)结构图;(b)简化成静定结构计算简图;(c)简化成超静定结构计算简图。

#### 第四节 起重运输机金属结构的工作级别

设计起重机时,需要对起重机的金属结构、机构和零部件进行强度、稳定性、疲劳、磨损等计算。为使所设计的起重机具有先进的技术经济指标,安全可靠,具有一定的工作寿命,必须在设计计算时考虑起重机金属结构和机构的工作级别。起重机金属结构的工作级别是表明金属结构工作繁忙程度的参数。

起重机金属结构的工作级别按结构件中的应力状态(名义应力谱系数)和应力循环次数(应力循环等级)分为 A1~A8 级。