

起重运输机金属结构

西南交通大学 王金诺 主编

高等学校试用教材

中国铁道出版社

高等学校试用教材

起重运输机金属结构

西南交通大学 王金诺 主编

中国铁道出版社

1984年·北京

内 容 提 要

本书阐述铁路和港口常用起重运输机金属结构的构造、基本理论和设计计算方法。

本书共分十三章。内容包括：起重运输机金属结构的作用、分类和计算简图；设计计算基础（载荷的计算及载荷组合原则、起升机构和运行机构工作时金属结构的动力响应、金属结构的计算方法）；金属结构的材料选择；组成起重运输机金属结构基本构件（梁、桁架和柱）的设计计算方法；铁路和港口常用起重运输机（龙门起重机、汽车起重机、平衡重式叉车和门座起重机）主要金属结构的构造和设计计算方法。书中附有算例和习题。

本书可作为铁路和交通部门高等学校起重运输机械专业和工程机械专业的试用教材，亦可供从事起重运输机械及其金属结构设计、制造和科研的工程技术人员参考。

高等学校试用教材

起重运输机金属结构

西南交通大学 王金诺主编

中国铁道出版社出版

责任编辑 褚书铭

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：25.5 字数：618千

1984年6月第1版第1次印刷

印数：0001—4,000册，定价：3.20元

前 言

本书根据铁道部专业教材编审委员会1981年北戴河会议通过的铁路高等学校起重运输机械专业《起重运输机金属结构》课程教材编写大纲，并参考交通部高等学校港口起重运输机械专业《港口起重机金属结构》教学大纲编写而成。

全书共分三篇十三章，内容包括起重运输机金属结构的设计基础、组成起重运输机金属结构主要构件的计算和铁路、港口常用起重运输机金属结构的设计等。书中的计算准则和计算方法与我国最近编制的《起重机设计规范》（试行稿）基本一致。

本书的初稿作为过渡性教材先后在上海铁道学院、北方交通大学、西南交通大学和上海港职工大学等院校起重运输机械专业1977~1980届学生使用多遍。各校除对本书在注重基础理论的同时，重点介绍铁路、港口常用起重运输机金属结构的构造和设计计算实用方法表示赞同外，还提出不少改进意见。这次编写时编者吸取了各方面有益的建议，在更新教材内容、贯彻少而精，结合我国铁路、港口起重运输机实际，将国外的先进设计理论和计算方法融会贯通地编入教材以及理论如何应用于实际工程设计等方面都作了一些努力。为便于读者使用和满足教学需要，书中附有必要的数据、图表，大部分章节还辅以计算实例和习题。

本书由西南交通大学王金诺主编，北方交通大学范志伟主审。编者有：西南交通大学王金诺（第一、二、三、五、七、九、十章）、曲季浦（第四、六、八、十一、十二章），武汉水运工程学院张士镗（第十三章），上海港职工大学钟永祺（第九章第八节）。

在本书编写过程中得到了铁道部装卸处、起重机研究所、宝鸡叉车研究所、六机部九院等单位的大力支持；编写大纲讨论时倪志镛、张质文、周志鳌、翁成林、张玉贞等同志提出不少建议；在审稿会上承蒙范志伟、姜鸿官、吕宁生、高清港等同志认真审阅，改正了书稿中的某些缺点和不足之处；西南交通大学印刷厂描图组为本书描绘了全部插图。我们谨向上述各单位和同志们表示衷心的感谢。

限于编者的学识水平，书中谬误和不当之处在所难免，务请读者批评、指正。

编 者

一九八三年七月 北京

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	6
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类型	10
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	15
第二章 起重运输机金属结构的材料	17
第一节 起重运输机金属结构常用材料的分类和性能	17
第二节 轧制钢材	22
第三节 铝合金的应用	23
第四节 起重运输机金属结构的选材原则	25
习 题	26
第三章 起重运输机金属结构设计计算基础	27
第一节 起重运输机金属结构计算载荷的分类	27
第二节 起升机构工作时金属结构的动力响应	27
第三节 运行机构工作时金属结构动载荷的简化计算	32
第四节 起重运输机金属结构各种载荷的计算	32
第五节 起重运输机金属结构的载荷组合	44
第六节 起重运输机金属结构的计算方法	47
第四章 起重运输机金属结构的连接	58
第一节 焊接连接	58
第二节 螺栓连接	67
第三节 销轴连接	77

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	82
第一节 轴向受力构件在起重运输机金属结构中的应用	82
第二节 轴向受拉杆件的设计和计算	83
第三节 轴心受压实体构件的设计和计算	85
第四节 变截面实体柱的计算长度	91

第五节	轴向受压格形柱的设计计算	1
第六节	偏心受压实体柱的计算	1
第七节	偏心受压格形柱的计算	
	习 题	
第六章	横向弯曲的实体构件——梁	10
第一节	型钢梁	10
第二节	焊接组合梁的截面尺寸、强度和刚度计算	11
第三节	焊接组合梁的整体稳定	12
第四节	焊接组合梁的局部稳定	12
第五节	梁的翼缘板与腹板的连接计算	13
第六节	小车轮压的局部影响及其计算	14
第七节	梁的拼接	14
第七章	横向弯曲的格形构件——桁架	14
第一节	桁架的构造和分类	14
第二节	桁架的计算假定和设计计算步骤	15
第三节	桁架的外形及腹杆体系	15
第四节	桁架主要参数的确定	15
第五节	桁架杆件的内力分析	15
第六节	桁架杆件的计算长度与极限长细比	16
第七节	桁架杆件的断面设计	17
第八节	桁架的节点设计	17
第九节	空间桁架的受扭计算	17
第十节	桁架算例	17
	习 题	18

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	偏轨箱形龙门起重机的金属结构	18
第一节	偏轨箱形龙门起重机金属结构的型式	18
第二节	偏轨箱形主梁的内力分析	18
第三节	薄壁箱形梁的约束扭转和约束弯曲	19
第四节	偏轨箱形主梁的设计计算	20
第五节	偏轨箱形龙门起重机支腿的设计计算	21
第九章	桁架式龙门起重机(装卸桥)的金属结构	23
第一节	桁架式龙门起重机金属结构的主要类型	23
第二节	桁架式龙门起重机金属结构的总体布局	23
第三节	桁架式倒三角形断面单梁结构的计算	23
第四节	Π形双梁桁架式龙门起重机金属结构的计算	24
第五节	四桁架式双梁龙门起重机上部桁架主梁的计算	24
第六节	三角形断面桁架式龙门起重机上部主梁的计算	24

第七节	双梁桁架式龙门起重机桁架支腿的计算	262
第八节	桥式抓斗卸船机金属结构	267
	习 题	272
第十章	平衡重式叉车门架	274
第一节	概述	274
第二节	叉车门架的计算简图和作用载荷	276
第三节	叉车门架按悬伸简支梁的强度计算	277
第四节	叉车门架按空间框架计算简介	292
	习 题	296
第十一章	轮式起重机的吊臂	297
88 第一节	桁架式吊臂的结构型式	297
第二节	桁架式吊臂的设计计算	299
第三节	空腹式吊臂的设计计算	316
第四节	箱形伸缩式吊臂的结构型式	320
第五节	箱形伸缩式吊臂的计算	322
第六节	箱形伸缩式吊臂的例题	336
第十二章	轮式起重机的转台和底架	348
第一节	轮式起重机的转台	348
第二节	轮式起重机的底架	351
第三节	轮式起重机的底架计算	352
第十三章	门座起重机的门架和转柱	367
第一节	门座起重机门架结构的型式	367
第二节	门座起重机门架结构的计算载荷	370
第三节	交叉式门架结构的计算	373
第四节	八杆式门架结构的计算	377
第五节	门座起重机转柱结构的计算	381
	附录一 型钢表	387
	附录二 我国机车车辆限界图	397

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。

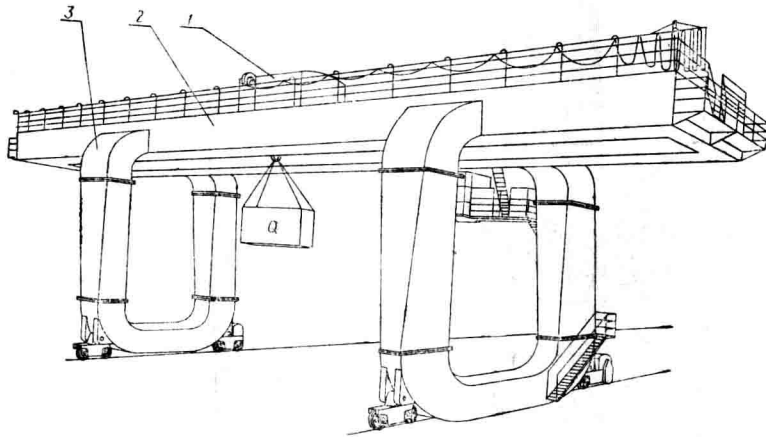


图 1—1 双梁箱形龙门起重机
1——起重小车；2——上部主梁；3——支腿。

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。直到十九世纪后期，由于钢铁工业的发展，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，欧美其它资本主义国家相继生产出由金属材料制成的桥式起重机和其它类型的起重机，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。

二十世纪以来，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

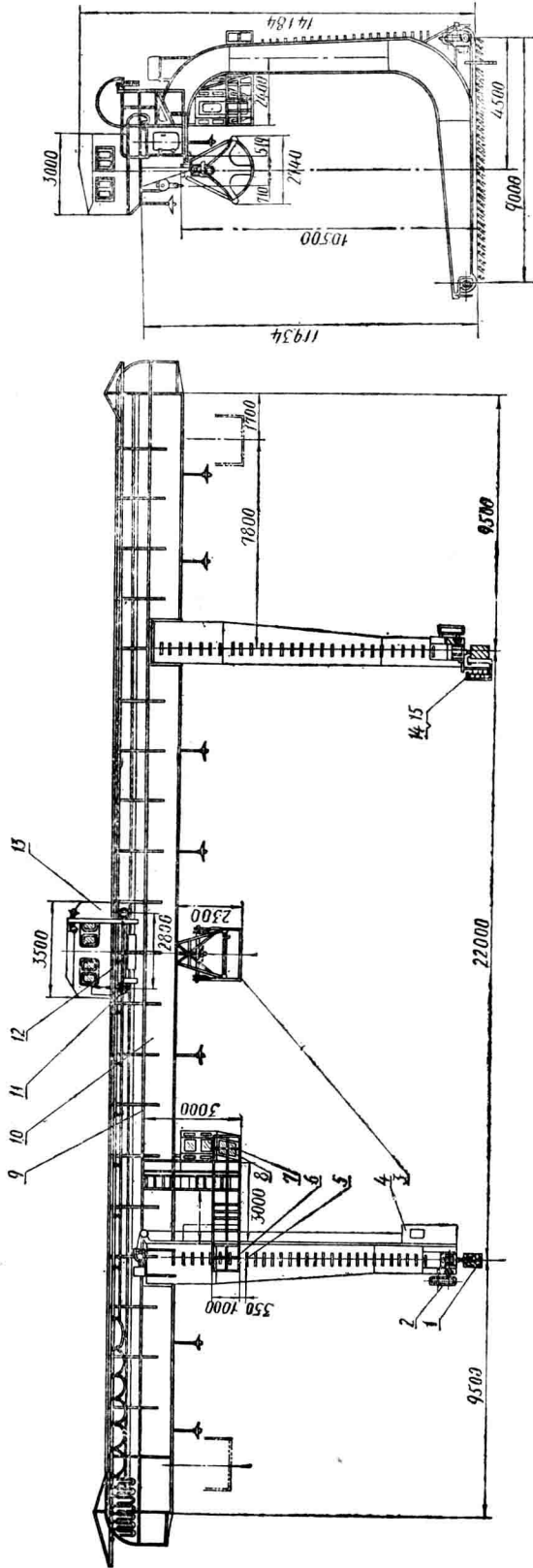


图 1—2 20/10吨单主梁C形龙门起重机
 1——大车走行基础；2——大车运行机构；3——抓斗；4——司机升降电梯；5——支腿；6——司机室走台；7——司机室；8——司机座椅；9——走台；10——上部主梁；11——起重小车；12——小车供电装置；13——小车供电装置；14——大车供电装置；15——地沟。

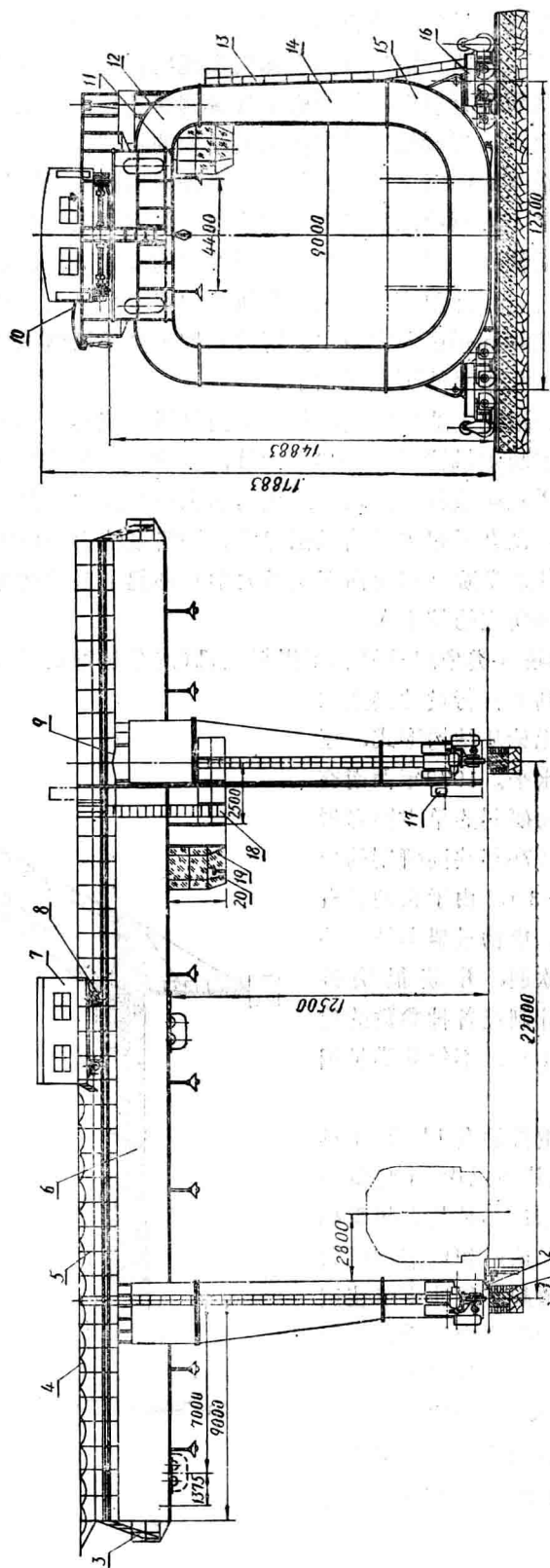


图 1—3 100/20吨双梁O形龙门起重机

- 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—小车罩；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—直腿；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。

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、港口及其它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。解放以前，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主要是依靠进口。铁路货物的装和卸则以人力为主。解放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。

解放以后，随着冶金、钢铁工业的发展，起重运输机械，获得了飞速的发展，全国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重量为50吨、跨度为22.5m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）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材。

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，并获很快推广。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。图1—5是长春起重机械厂生产的5吨汽车起重机。该厂和西南交通大学共同研制的汽车塔式两用起重机即将组装试车。大吨位的轮式起重机，近年来发展也很快。图1—6和图1—7分别是长江起重机械厂、北京起重机械厂研制成功的65吨和100吨汽车起重机。目前长江起重机械厂正在设计我国起重重量最大的125吨汽车起重机。设计方案如图1—8所示。

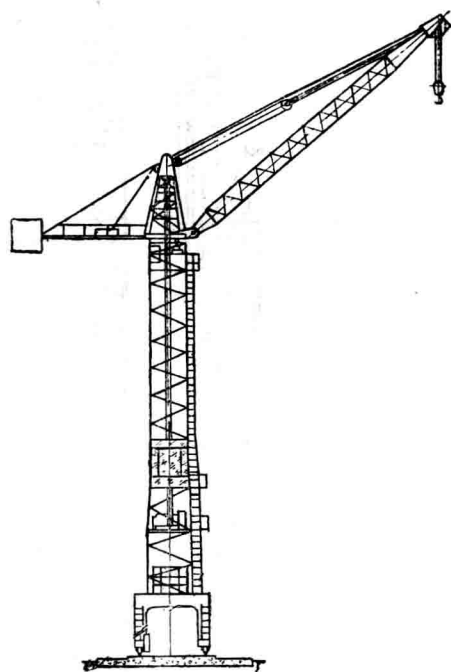


图1—4 建筑塔式起重机

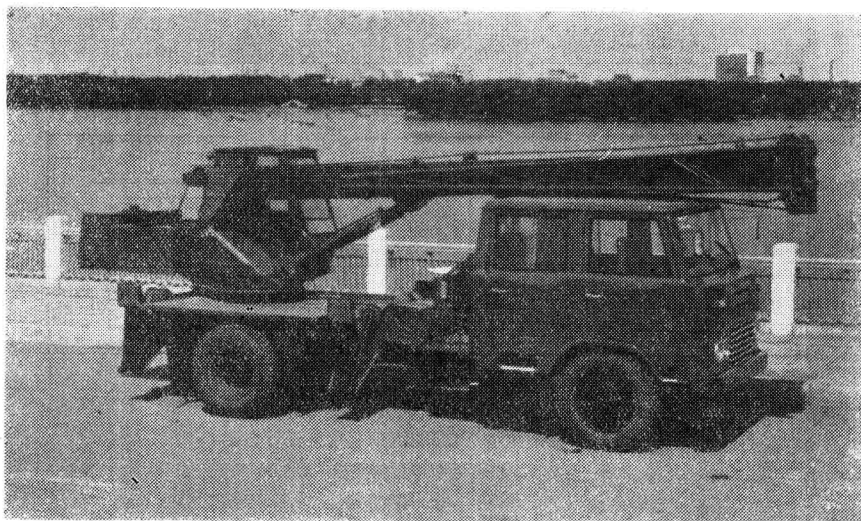


图 1—5 5吨汽车起重机

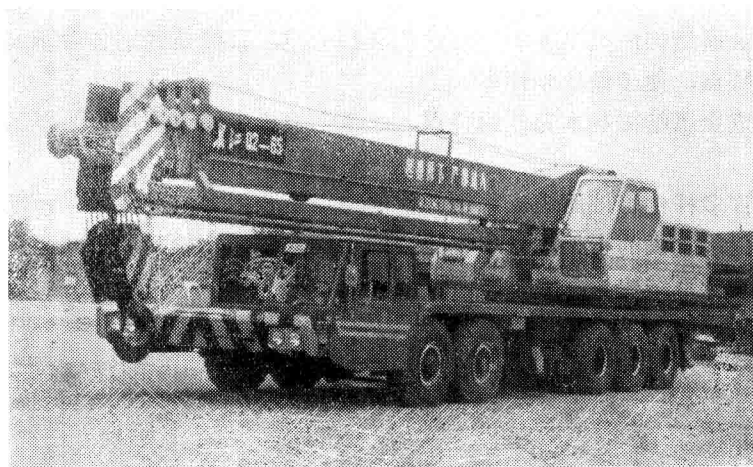


图 1—6 65吨汽车起重机

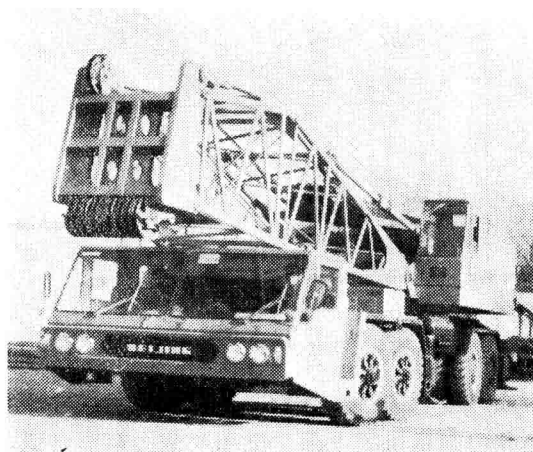


图 1—7 100吨汽车起重机

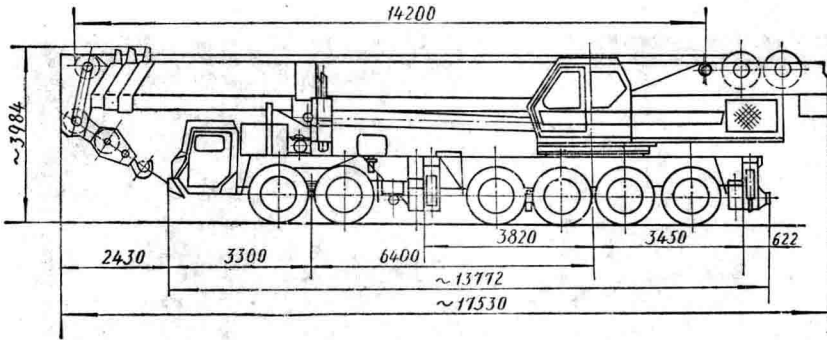


图 1—8 长江起重机厂125吨汽车起重机设计方案

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。

一、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—9）都是杆系结构。

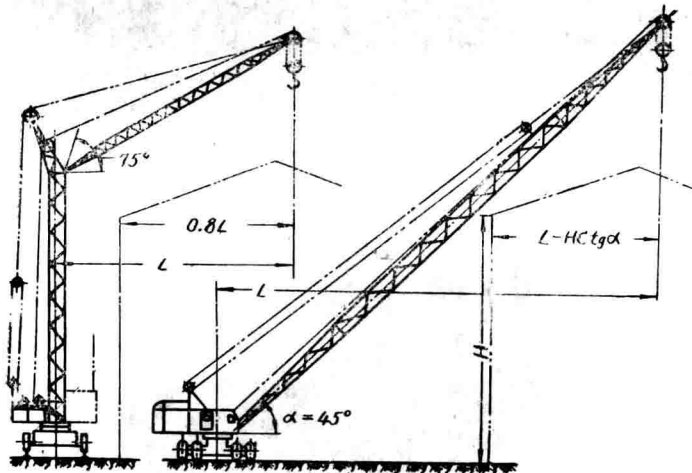


图 1—9 塔式、轮式起重机桁架动臂

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—10）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。

二、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（图 1—11）等。

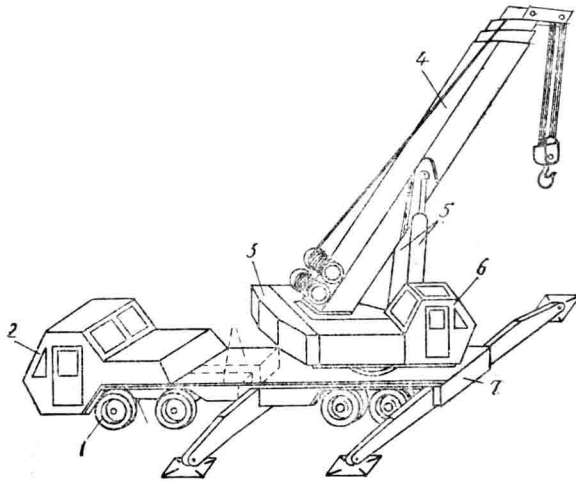


图 1—10 汽车起重机箱形支腿

- 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。

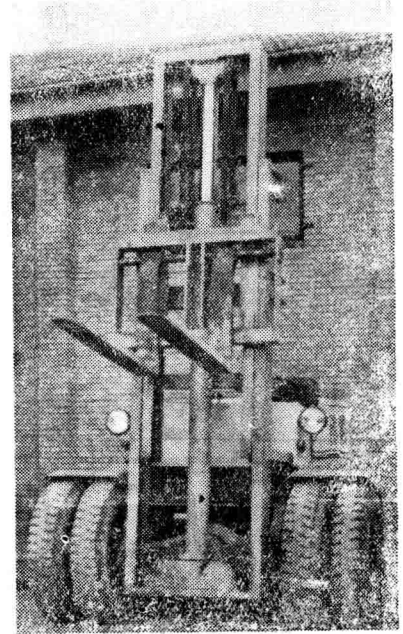


图 1—11 5 吨内燃叉车门架（宝鸡叉车厂制造）

三、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—12）多做成混合结构形式。混合结构又称桁构结构。

四、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—13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。

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空间结构。图 1—14的集装箱龙门起重机的龙门架和图 1—15的轮式起重机车架，都是空间结构的例子。

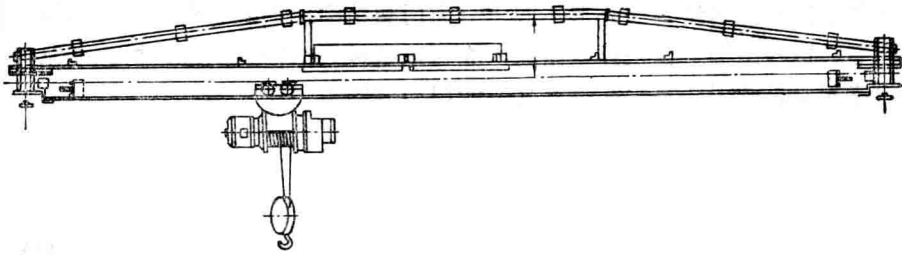


图 1—12 电葫芦桥式起重机桁构梁

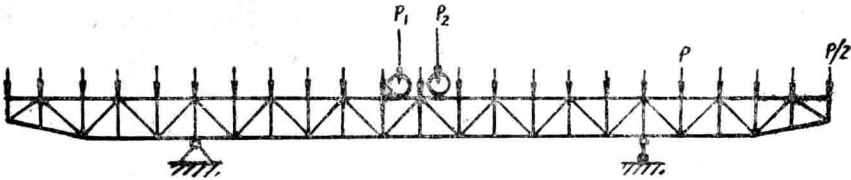


图 1—13 平面桁架结构

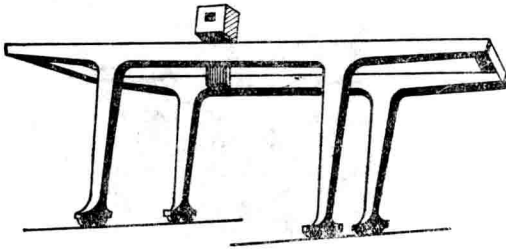


图 1—14 空间刚架结构

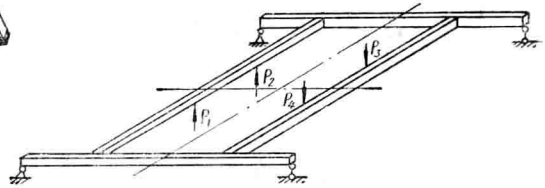


图 1—15 轮式起重机车架

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它结构的。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—16 a 是活动铰支座的结构形式，图 1—16 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。

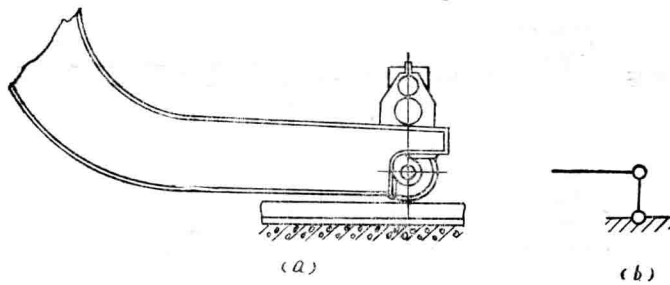


图 1—16 活动铰支座的典型结构和简图

固定铰支座和活动铰支座的不同点，是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—17 a 中的 A 支座是固定铰支座的典型结构，图 1—17 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。

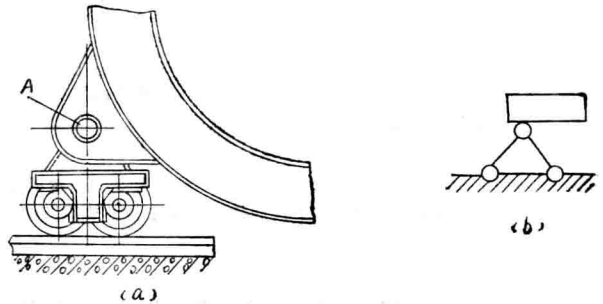


图 1—17 固定铰支座的典型结构和简图

固定支座和活动铰支座、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）由于轮压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—18 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—18 b 的静定支座；计算支腿时，用图 1—17 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）。

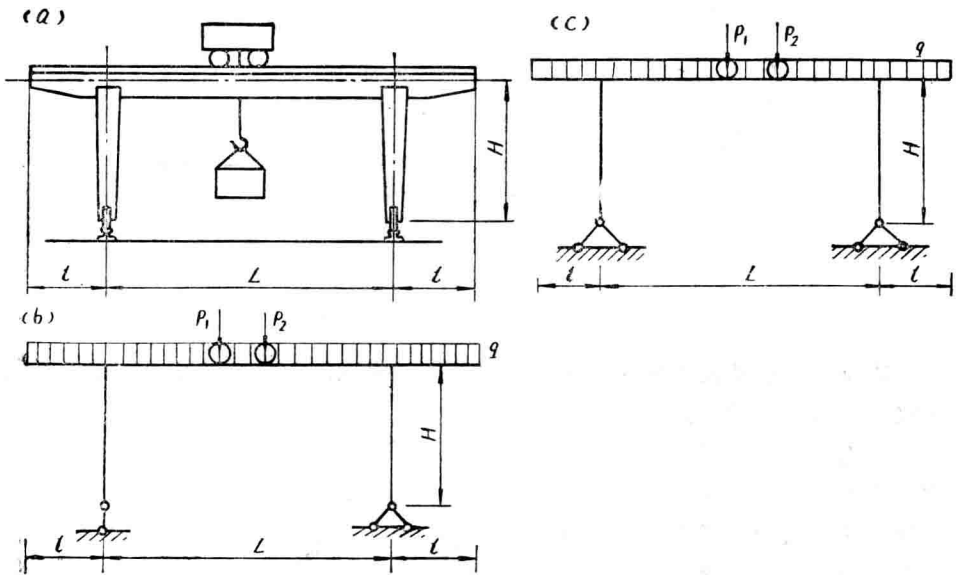


图 1—18 单主梁龙门起重机金属结构计算简图
 (a) 结构图; (b) 简化成静定结构计算简图; (c) 简化成超静定结构计算简图。

第四节 起重运输机金属结构的工作类型

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类型。起重机金属结构的工作类型是表明金属结构工作繁忙程度的参数。

过去，起重机金属结构的工作类型取决于主起升机构工作类型。往往不能正确反映起重机金属结构工作的实际情况。我国最新制定的起重机设计规范中，规定起重机金属结构的工作类型由起重机的利用级别和载荷情况确定，克服了以往确定金属结构工作类型中的缺点。

所谓起重机的利用级别是考虑整个起重设备在其工作期间的繁忙程度，它可以用起重设备在其使用寿命期间完成的工作循环数来表征。这里所说的工作循环是指起升机构从吊重被起升时开始，到准备起升下一个吊重为止。我国将起重机整个寿命期间总的工作循环次数 N 按使用情况分为十级，列于表 1—1。

起重机的利用级别 表 1—1

利用级别	最大工作循环数 N	设备使用情况
U_0	1.6×10^4	不经常使用
U_1	3.2×10^4	
U_2	6.3×10^4	
U_3	1.25×10^5	
U_4	2.5×10^5	经常轻度使用
U_5	5.0×10^5	经常间隙使用
U_6	1.0×10^6	较繁忙地使用
U_7	2.0×10^6	繁忙地使用
U_8	4.0×10^6	
U_9	$>4.0 \times 10^6$	

起重机的载荷情况表明设备起升额定载荷或较小载荷的频繁程度。它用起升的吊重 Q ，