

非标机械 designs 丛书

起重机设计与实例

胡宗武 汪西应 汪春生 编著



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

非标机械设备设计丛书

起重机设计与实例

胡宗武 汪西应 汪春生 编著



机械工业出版社

本书依据 ISO 和我国有关起重机的最新设计规范的指导原则编写。全书共 5 章。第 1 章 起重机设计总则, 讲述起重机工作等级的划分, 计算载荷及其组合; 第 2 章 起重机机构设计与计算, 包括: 机构动载荷的计算及载荷组合, 机构电动机的选择和验算, 机构性能的计算; 第 3 章 起重机金属结构设计与计算, 包括: 连接的强度计算, 结构的刚度和稳定性计算, 结构疲劳强度计算; 第 4 章 起重机零部件的设计与计算, 包括: 起重机零件的疲劳计算方法, 各种起重机专用零件的强度计算, 规范规定的若干零件的选择; 第 5 章 450t 门式起重机设计计算实例, 讲述起重机设计计算的全过程。本书供工程技术人员使用, 亦可供高等学校相关专业选作教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

起重机设计与实例/胡宗武等编著. —北京: 机械工业出版社, 2009. 6

(非标机械设备设计丛书)

ISBN 978 - 7 - 111 - 27347 - 9

I. 起… II. 胡… III. 起重机械 - 机械设计 IV. TH210. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 089919 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 李万宇 责任编辑: 李建秀

版式设计: 霍永明 责任校对: 魏俊云

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 乔宇

北京京丰印刷厂印刷

2009 年 8 月第 1 版 · 第 1 次印刷

169mm × 239mm · 24.25 印张 · 1 插页 · 473 千字

0 001—4 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 27347 - 9

定价: 48.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379732

封面无防伪标均为盗版

前 言

起重机是一种非标准机械设备，通常是按订单生产的。一般情况是，首先根据用户对设备提出的性能参数、外形尺寸、质量、价格等方面的要求进行设计，然后开始生产。在当今全球化制造的激烈竞争态势下，制造厂想要拿到订单，就必须快速响应市场；要能快速响应市场，产品设计是关键的第一步。CAD 技术的普及提供了加速设计进度的有力工具，但设计和计算方法却是最基本的。另外，起重机使用安全性问题也格外值得关注，有些国家把它的设计、制造、安装和使用，由国家的专门机构予以监督、检验和管理。

基于上面所述的两个相互关联的原因，工业先进国家都制定了《起重机设计规范》标准，以对起重机设计所牵涉到的重要问题予以规定。设计规范做得比较早且具有权威性的有德国、日本、英国和俄罗斯等国的标准。在各国经验的基础上，国际标准化组织机构（ISO）从 1980 年开始陆续公布了一些有关起重机的设计标准^[1]。我国第一个起重机设计规范于 1983 年发布^[10]，在本书交稿之时，又得知这个规范修订版^[15]已经批准并出版。

纵观各国及 ISO 已公布的起重机设计规范，可以看出如下三点：①在起重机及其机构和零部件工作等级的划分、起重机外载荷的计算、起重机稳定性验算、金属结构设计等四方面，取得了比较一致的意见，并给出了设计原则和设计计算方法的说明；②对于机构，除了工作等级划分和载荷组合的原则说明外，没有给出更详细的设计计算方法；③对于起重机专用零件，给出了钢丝绳和车轮的选择方法。值得注意的是，德国于 1976 年公布了《起重机传动机构计算原则》（DIN 15017，草案），但一直没看到正式版本；日本曾组织过起重机机械设计规范起草小组，但后来又解散了。

本书是根据上述情况编写的。也就是说，凡是 ISO 和我国设计规范规定的，本书都按规定讲述，对于这些规范说得比较原则或笼统之处，作者将根据自己的经验和体会予以补充。机构设计的最重要问题是机构的计算载荷，但已公布的 ISO 标准中没有这部分内容，《欧洲起重机设计规范》（FEM）以及我国规范的修订版给出了机构的三种载荷情况的划分，但没有给出具体载

荷的计算方法。根据作者参与我国设计规范第1版编写和承担的相应课题研究的经验,本书对机构计算载荷及其组合作了比较详尽的叙述,以便给起重机设计师提供一个有依据的机构载荷的计算方法。零件方面,除了详细论述了ISO已公布的几个零件的选择方法外,对其他起重机专用零部件选择方法和强度计算也作了比较详细的介绍。本书理论计算大部分来源于作者先前的著作^[2,6,12]。

参加本书编写的汪西应(第3章)、汪春生(第5章)先生,他们不仅有多年从事起重机专业教学的经历,而且有很丰富的起重机设计经验,汪春生还参加了我国设计规范第1版编写的全过程。有他们两位参与编写,使本书内容更为全面,能够更好地与实际结合。

本书只讲述起重机设计的共同问题,包括:起重机的特征和分类,工作等级的划分,载荷组合及其计算方法,四大机构的设计计算方法,金属结构的设计计算方法,起重机专用零部件的选择计算等。各类起重机的专门问题没有涉及。

本书编写时,我国起重机设计规范修订工作正在进行。本人没有参加修订版的编写,但有幸参加了修订版稿的几次讨论,所以本书也就有可能从修订版(讨论稿)中受益,并在本书中引用一些参考数据,在此向有关编写同仁表示衷心的感谢。上海振华港机(集团)股份有限公司为本书提供了起重机零部件产品技术资料,上海三一科技有限公司帮助演算了流动起重机稳定性校验全过程,在此一并表示感谢。

本书稿虽经多次修改、校核,但遗漏和差错一定会有,欢迎读者批评指正;书中对问题的表述以及所讲述的计算方法,如有不妥之处,敬请不吝指教。

胡宗武

2008.11.7

目 录

前言

第 1 章 起重机设计总则 1

- 1.1 起重机的特点和类型 1
 - 1.1.1 起重机作业的特点 1
 - 1.1.2 起重机的组成 1
 - 1.1.3 起重机的类型 1
 - 1.1.4 起重机按设计特点的分类和特征 3
 - 1.1.5 起重机的基本参数 7
- 1.2 起重机工作等级 8
 - 1.2.1 起重机的使用等级 9
 - 1.2.2 起重机的载荷状态等级 9
 - 1.2.3 起重机使用工作等级 10
 - 1.2.4 起重机工作等级举例 12
- 1.3 起重机计算载荷及其组合 14
 - 1.3.1 计算载荷类型 14
 - 1.3.2 各类载荷的计算方法 15
 - 1.3.3 计算载荷组合 24
- 1.4 风载荷计算 26
 - 1.4.1 风载荷计算的说明 26
 - 1.4.2 高度变化修正系数 27
 - 1.4.3 风力系数 28
 - 1.4.4 有效挡风面积 29
- 1.5 货物离地瞬间的动载荷 31
 - 1.5.1 关于起升等级 31
 - 1.5.2 货物离地过程的模型及分析 32
 - 1.5.3 货物离地起升动载荷的简化分析 33
- 1.6 机构加减速时的水平动载荷 35
 - 1.6.1 概述 35

- 1.6.2 起重机机构起动时的水平惯性力 35
- 1.6.3 机构起动时货物的摆动 37
- 1.6.4 柔性悬挂质量的折算 38
- 1.7 起重机运行通过轨道接缝时的动载荷 39
- 1.8 起重机自重载荷 41
- 1.9 起重机车轮轮压的确定 43
 - 1.9.1 轮压计算概述 43
 - 1.9.2 三点支承的支承压力的计算 44
 - 1.9.3 桥式类起重机支承压力的计算 45
 - 1.9.4 刚性车架支承压力的计算 46
 - 1.9.5 车轮轮压的确定 48
- 1.10 起重机抗倾覆稳定性 49
 - 1.10.1 定义与说明 49
 - 1.10.2 一般起重机稳定性的校验方法 50
 - 1.10.3 流动起重机稳定性计算 52
- 1.11 浮式起重机稳定性计算 55
 - 1.11.1 浮船倾角的计算 55
 - 1.11.2 浮式起重机稳性的实际验算方法 57
- 1.12 起重机抗风防滑安全性 59
 - 1.12.1 在最大工作风压下的验算 59
 - 1.12.2 非工作状态验算 60

第 2 章 起重机机构设计与

计算 65

2.1 起重机机构构造概论	65	与计算	153
2.1.1 起升机构	65	3.1 金属结构构件的分类和 工作级别	153
2.1.2 变幅机构	68	3.2 金属结构构件的计算 原则	158
2.1.3 回转机构	69	3.3 材料及许用应力	159
2.1.4 运行机构	71	3.3.1 金属结构构件的材料 及许用应力	159
2.1.5 集中驱动机构	72	3.3.2 连接件的材料及许用 应力	161
2.2 起重机机构的工作级别	74	3.4 金属结构构件和连接的强度 计算	164
2.2.1 机构利用等级	74	3.4.1 金属结构构件的强度 计算	164
2.2.2 机构载荷状态	75	3.4.2 连接强度的设计计算	184
2.2.3 机构工作等级	76	3.5 金属结构及构件的刚性 校验	204
2.3 机构电动机的选择及验算	81	3.5.1 轴心受力构件刚度条 件及其长细比	204
2.3.1 电动机的工作制	81	3.5.2 起重机金属结构的静 态刚度	205
2.3.2 电动机发热校验	84	3.5.3 起重机动态刚性	206
2.3.3 按等值损耗法验算 发热	85	3.6 金属结构构件的抗失稳 核算	207
2.4 起重机机构的计算载荷	88	3.6.1 轴心受压构件的整体 稳定	207
2.4.1 起重机机构载荷的 特点	88	3.6.2 受弯构件的抗侧向弯 扭屈曲的整体稳定性	219
2.4.2 传动系刚性动载荷 的确定	89	3.6.3 压弯构件的整体稳定	225
2.5 考虑系统振动的载荷计算	94	3.7 板件和壳体的抗屈曲 核算	228
2.5.1 传动系统振动分析 模型	94	3.7.1 板的局部稳定性计算	228
2.5.2 起动转矩为常数时 的动载荷	95	3.7.2 圆柱壳的局部稳定性 计算	237
2.5.3 驱动转矩逐渐增加 时机机构的动载荷	99	3.8 金属结构构件疲劳强度 计算	238
2.5.4 驱动转矩随转速变 化时的机构载荷	100	3.8.1 应力循环特性	239
2.5.5 间隙对动载荷的影响	102	3.8.2 金属结构构件(或连接)	
2.6 起重机机构的载荷组合	104		
2.7 起重机机构计算	105		
2.7.1 起升机构计算	105		
2.7.2 运行机构计算	111		
2.7.3 回转机构的计算	117		
2.7.4 变幅机构的计算	126		
2.7.5 机构计算实例	134		
第3章 起重机金属结构设计			

的最大应力	240	4.5.4 支承轴销、支承球碗	
3.8.3 构件的连接类别	241	的强度计算	273
3.8.4 疲劳强度许用应力	243	4.5.5 销轴的比压验算	274
3.8.5 疲劳强度校核	244	4.6 钢丝绳	275
第4章 起重机零部件的		4.6.1 钢丝绳结构形式	275
设计与计算	246	4.6.2 钢丝绳直径的确定	276
4.1 概述	246	4.6.3 钢丝绳卷绕直径的	
4.2 疲劳强度计算方法	247	确定	279
4.2.1 概述	247	4.6.4 钢丝绳进出卷筒或滑	
4.2.2 光滑试件的疲劳极限	247	轮的允许偏角	280
4.2.3 考虑零件形状及表面		4.7 吊钩滑轮组	280
状态后的疲劳极限	248	4.8 起重机用联轴器的主要	
4.2.4 考虑循环特性的疲劳		形式	280
极限	250	4.9 制动器	285
4.2.5 实际零件的疲劳极限	251	4.10 减速器	287
4.2.6 零件工作级别及应力		4.11 运行台车和车轮	289
循环数确定	252	4.12 电缆卷筒	289
4.2.7 疲劳强度计算许用		4.13 缓冲器	290
应力	254	4.14 滚动轴承的选择	291
4.3 吊钩与吊环	254	4.15 附表	292
4.3.1 吊钩的标准与材料	254	第5章 450t 门式起重机设计	
4.3.2 吊钩危险断面的计算		计算实例	344
应力	255	5.1 梁场专用450t 门式起	
4.3.3 吊钩的许用载荷	257	重机工作特点	344
4.3.4 吊环的强度计算	260	5.2 总体设计参数	345
4.4 卷筒和滑轮	262	5.3 金属结构设计计算	345
4.4.1 卷筒的结构形式	262	5.3.1 基本设计参数	345
4.4.2 利巴式卷筒	263	5.3.2 载荷	345
4.4.3 卷筒壁厚的确定	264	5.3.3 抗倾覆稳定性	347
4.4.4 多层卷绕卷筒壁厚的		5.3.4 金属结构的截面几	
确定	265	何特性	348
4.4.5 卷筒轮辐的强度计算	266	5.3.5 主梁强度计算	350
4.4.6 滑轮	267	5.3.6 主梁静刚度验算	351
4.5 车轮与滚子的强度计算	267	5.3.7 主梁整体稳定性验算	351
4.5.1 接触应力计算	267	5.3.8 主梁局部稳定性验算	351
4.5.2 车轮踏面接触强度		5.3.9 主梁拼接设计	353
计算	268	5.3.10 支腿强度计算	354
4.5.3 支承滚子的强度计算	271	5.3.11 支腿整体稳定性	

计算	356	计算	367
5.3.12 支腿局部稳定性		5.5.1 概述	367
计算	356	5.5.2 运行静阻力	367
5.3.13 支腿拼接设计	356	5.5.3 电动机的选择与计算	369
5.4 起升机构设计计算	358	5.5.4 选择减速器	370
5.4.1 概述	358	5.5.5 选择缓冲器	370
5.4.2 钢丝绳选择	358	5.5.6 车轮与轨道	371
5.4.3 卷筒	360	5.6 起重小车牵引机构设计	
5.4.4 电动机选择	361	计算	371
5.4.5 开式齿轮传动	362	5.6.1 概述	371
5.4.6 减速器选择	362	5.6.2 运行静阻力	373
5.4.7 制动器的选择	362	5.6.3 牵引绳的选择	373
5.4.8 高速轴联轴器	362	5.6.4 卷筒的选择	373
5.4.9 低速轴联轴器	363	5.6.5 选择电动机	374
5.4.10 液压失效保护制		5.6.6 选择减速机	374
动器	363	5.6.7 选择联轴器	375
5.4.11 机构起动时间计算	363	5.6.8 选择制动器	375
5.4.12 零件疲劳计算实例	364	5.6.9 小车车轮的强度计算	376
5.4.13 吊杆的强度校核	366	附录 主要符号一览表	377
5.5 大车走行机构设计		参考文献	380

第 1 章 起重机设计总则

1.1 起重机的特点和类型

1.1.1 起重机作业的特点

起重机是以反复短暂的工作循环方式完成货物装卸或设备安装作业的。一个工作循环包括：取物、货物上升、水平运动、下降、卸载，然后空吊具返回原地。一个工作循环时间一般从几分钟到二三十分钟，其间各机构在不同时刻有短暂的停歇时间。这一特点决定了电动机的选择和发热计算方法；由于反复启动和制动，各机构和结构将承受强烈的振动和冲击，载荷是正反向交替作用的，许多重要构件承受不稳定变幅应力的作用，这些都将对构件的强度计算产生较大的影响。

起重机属于有危险性作业的设备，它发生事故造成的损失将是巨大的。所以，起重机设计和制造一定要严格按照国家标准和有关规定进行。

1.1.2 起重机的组成

起重机由产生运动的机构、承受载荷的金属结构、提供动力和起控制作用的电气设备及各种安全指示装置等四大部分组成。

起重机机构有四类，即：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。每一机构均由电动机、减速传动系统及执行装置等组成。设计时应尽可能采用标准的零部件加以组合，以利于制造和维修。金属结构则要根据使用要求进行设计制造。电动机和控制设备大多是标准产品，安全指示装置通常从市场购买，特殊的由制造厂设计制造。

1.1.3 起重机的类型

可根据使用要求，设计任何合适的起重机形式。但从构造特征看，种类繁多的起重设备可归纳为三大类。

1. 单动作起重设备

这类起重设备是使货物作升降运动的起升机构。常见的有下列几种：

(1) 千斤顶 一种升降行程很小，举升能力较大的小型起重设备。螺旋千

斤顶或齿条千斤顶可用于汽车维修；液压千斤顶可将大型起重机顶起以更换车轮。

(2) 滑车（俗称葫芦）一种用链条或钢丝绳与滑轮构成的省力滑轮组，结构紧凑，质量轻，是一种可携带的起重工具，有手动和电动两种。电动葫芦则是一种电动起升机构，配有运行小车后可在空间布置的工字钢轨上运行，构成单轨架空道，是一种生产流水线上空的自动运货车。电动葫芦亦可作为梁式起重机的起升机构。

(3) 绞车 由电动机经减速器、卷筒、驱动钢丝绳滑轮组成的起重设备，用以起吊重物或产生牵引力。在矿山、建筑工地及舰船等处应用。各类起重机的起升机构都是一种绞车。绞车也有液压或内燃机驱动的。

(4) 升降机 一种由绞车拖动吊厢，吊厢沿刚性轨道升降的起重设备。在建筑工地上应用的建筑升降机是一种最典型的形式。在高层建筑物中应用的电梯是供人员上下楼使用的，是一种安全信号设备齐全、自动控制的、且制造很精良的载人升降机。矿山使用的矿井提升机与电梯类似，但更加大型化。

2. 桥式类型起重机

依靠起重机运行机构和小车运行机构组合，使起吊的货物作平面运动，再加上置于小车上的起升机构，作业的范围是长方形空间。根据结构形式不同有下列几种：

- 1) 桥式起重机（图 1-1a）。
- 2) 门式起重机，包括装卸桥（图 1-1b），岸边集装箱起重机（图 1-1d）等。
- 3) 缆索起重机（图 1-1c）。

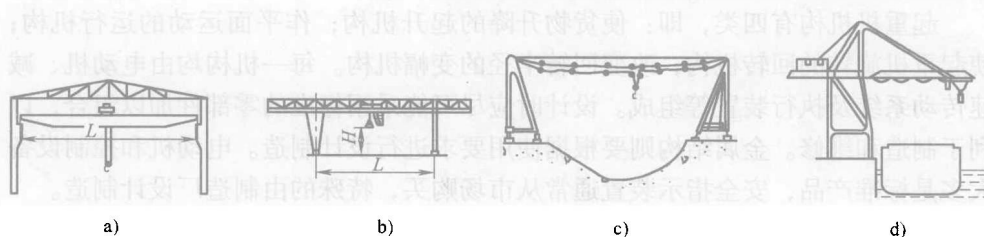


图 1-1 桥式类型起重机

a) 桥式起重机 b) 门式起重机 c) 缆索起重机 d) 集装箱起重机

缆索起重机是一种特殊类型的桥式类型起重机，它的小车在特制的承载钢索上运行，承载钢索支承于两个塔架的顶端，跨度在 100m 以上，通常在大型建设工程中使用，如大型水电工程的大坝施工等。岸边集装箱起重机也是门式类型起

重机，它的特点是有很长的伸臂，可以跨越大型船舶进行集装箱装卸，门架的跨度不大，但可通过集装箱汽车。其他起重机的特点将在下面详述。

3. 回转类型起重机

依靠起重机的回转和变幅机构运动的组合，使起吊的货物作水平运动，作业范围是圆柱形空间，由于起重机整体还可以沿一定的轨道运行，所以，这类起重机的作业范围是比较大的，它又可分为如下几种：

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

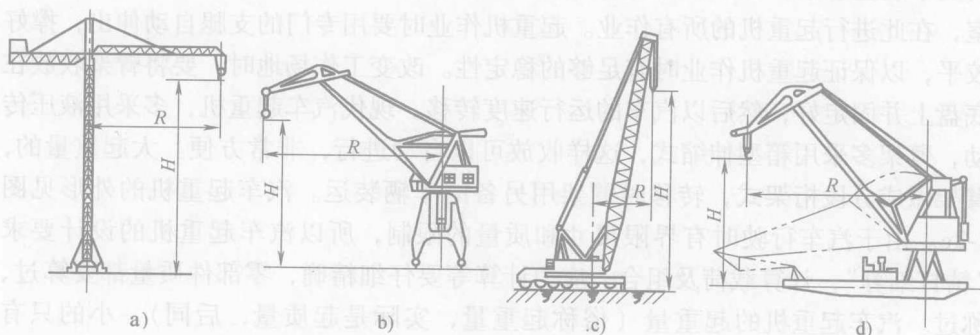


图 1-2 回转类型起重机

a) 塔式起重机 b) 门座起重机 c) 流动起重机 d) 浮式起重机

浮式起重机是以自行船舶为行驶装置的起重机，设计时要考虑起重机在水上会摇摆的特点。

其他几种起重机的构造特征将在下一节叙述。

1.1.4 起重机按设计特点的分类和特征

从起重机的设计特点出发，国际标准化组织（ISO）将起重机分为如下几种类型：

- 1) 流动起重机（Mobile cranes）。
- 2) 塔式起重机（Tower cranes）。
- 3) 桥式和门式起重机（Overhead travelling and gantry cranes）。
- 4) 臂架起重机（Jib cranes）。

现将它们的构造特点分述如下。

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，转移时，可在一般道路甚至无路的坚实地面运行，流动性非常好，适合于各种流动性的装卸作业。流动起重机最大的特点是用内燃机为动力源，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机构。也可以通过发电方式，再由电动机分别驱动起重机各机构。流动起重机根据运行装置的不同，又分为如下三种。

(1) 汽车起重机 是一种装在汽车底盘上的起重机。汽车起重机由上车和下车两部分组成，上车装有起升机构、回转结构、变幅结构，回转机构可使起重机上车绕下车回转；下车就是汽车底盘（包括汽车的全部设备）。上、下车用回转支承装置联系。除了汽车的原有的驾驶室外，在上车还设有起重机专用操纵室，在此进行起重机的所有作业。起重机作业时要用专门的支腿自动伸出，撑好校平，以保证起重机作业时有足够的稳定性。改变工作场地时，要将臂架收放在底盘上并固定好，然后以汽车的运行速度转移。现代汽车起重机，多采用液压传动，臂架多采用箱型伸缩式，这样收放可以自动进行，非常方便。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。汽车起重机的外形见图 1-2c。由于汽车行驶时有界限尺寸和质量的限制，所以汽车起重机的设计要求“精打细算”，计算载荷及组合、应力计算等要仔细精确，零部件质量都要算过、称过。汽车起重机的起重量（俗称起重量，实际是起质量，后同），小的只有 1t、2t，大的可达 400t 或更大。大起重量汽车的起重机要用专门设计的加固的汽车底盘。

(2) 轮胎起重机 是装在专门设计的轮胎底盘上的起重机，外表上与汽车起重机类似，但它的底盘为刚性悬架，其轴距更短，转弯半径更小，能吊着货物行驶。上车与汽车起重机相似，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正水平。轮胎起重机的外形见图 1-3a。

20 世纪 80 年代出现了一种兼有汽车起重机和轮胎起重机优点的高速越野轮胎起重机，由于能高速行驶且具有轮胎起重机的转弯灵活性，能在更广泛的场合使用。

(3) 履带起重机 是装在履带运行装置上的臂架式回转起重机。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性，可不需要专用的支腿。这种起重机可以越野行驶，就像坦克车那样，但它的行驶速度较低，越野性能也比坦克差，行驶时还得小心。老式的履带起重机，多用机械传动把柴油机的动力传递并分配给各个机构，所以机械系统非常复杂。现代履带起重机都用液压传动，机械很简化，作业平稳，使用也方便（图 1-3b）。

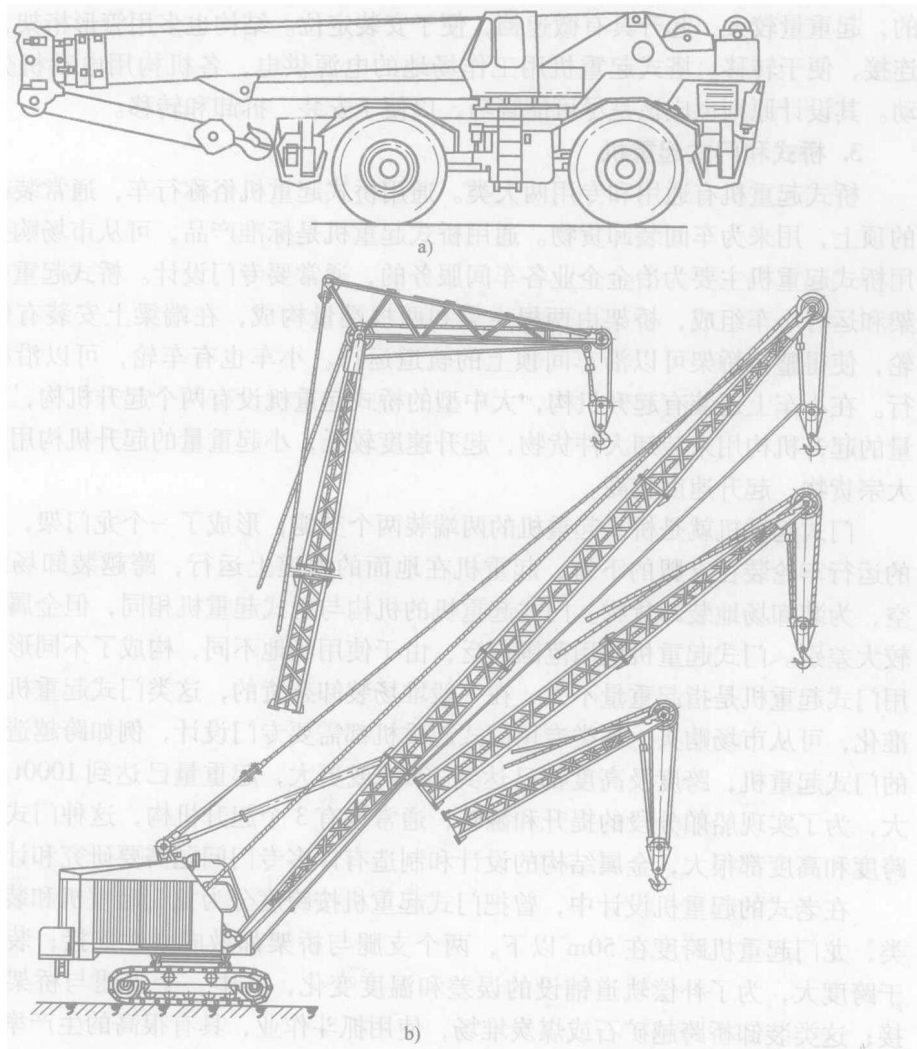


图 1-3 流动起重机

a) 轮胎起重机 b) 履带起重机

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起重机，作业时在临时铺设的钢轨上运行，转移时须拆卸后用专业车辆运输，多应用于建筑施工和设备安装作业。用于建筑施工的，起重量较小，立柱和臂架多用钢管桁架结构，设计得比较轻巧，分段连接，拆卸方便；也有的将塔柱依附在建筑物上，随着建筑施工升高而升高，柱的结构可以设计得更轻巧，起重机的稳定性也好。用于设备安装

的，起重量较大，起升具有微速档，便于安装定位。结构也多用管形桁架，分段连接，便于转移。塔式起重机用工作场地的电源供电，各机构用电动机分别驱动。其设计原则也应该是尽可能轻巧，以便于安装、拆卸和转移。

3. 桥式和门式起重机

桥式起重机有通用和专用两大类。通用桥式起重机俗称行车，通常装在车间的顶上，用来为车间装卸货物。通用桥式起重机是标准产品，可从市场购买。专用桥式起重机主要为冶金企业各车间服务的，通常要专门设计。桥式起重机由桥架和运行小车组成，桥架由两根主梁和两根端梁构成，在端梁上安装有钢制车轮，使得整个桥架可以沿车间顶上的轨道运行。小车也有车轮，可以沿桥架运行。在小车上还装有起升机构，大中型的桥式起重机设有两个起升机构，大起重量的起升机构用来装卸大件货物，起升速度较低，小起重量的起升机构用来装卸大宗货物，起升速度较高。

门式起重机就是桥式起重机的两端装两个支腿，形成了一个龙门架，起重机的运行车轮装在支腿的下端，起重机在地面的轨道上运行，跨越装卸场地的上空，为装卸场地装卸货物。门式起重机的机构与桥式起重机相同，但金属结构有较大差别。门式起重机使用范围广泛，由于使用场地不同，构成了不同形式。通用门式起重机是指起重量不大、在一般堆场装卸杂货的，这类门式起重机也已标准化，可从市场购买。各类专用门式起重机都需要专门设计，例如跨越造船台上的门式起重机，跨度及高度都已达到 100m 或更大，起重量已达到 1000t 甚至更大，为了实现船舶分段的提升和翻转，通常设有 3 个起升机构，这种门式起重机跨度和高度都很大，金属结构的设计和制造有许多专门问题需要研究和计算。

在老式的起重机设计中，曾把门式起重机按跨度分为龙门起重机和装卸桥两类，龙门起重机跨度在 50m 以下，两个支腿与桥架都做成刚性连接；装卸桥由于跨度大，为了补偿轨道铺设的误差和温度变化，其中一个支腿与桥架做成铰接；这类装卸桥跨越矿石或煤炭堆场，使用抓斗作业，具有很高的生产率，小车运行和起升机构的速度都很高。在现代的门式起重机设计中，不管跨度多大，两个支腿都做成刚接的，但其中一个支腿与桥架连接处的结构做得柔软些。

门式起重机在露天工作，防风装置的设置非常重要，要专门计算起重机的稳定性和防风抗滑安全性。

桥式和门式起重机由电缆供电，用电动机分别驱动各机构。

4. 臂架起重机

回转类型起重机一般都是臂架起重机，是用臂架的摆动实现幅度的变化的。在 ISO 的分类中，臂架起重机中不包括流动起重机和塔式起重机；最常见的有：装在车间和仓库壁上运行的和固定的悬臂起重机；造船用臂架起重机；港口及货场装卸用的吊钩、抓斗、电磁盘式门座起重机；浮游起重机多数也是臂架式的，

以专门设计的平底船为运行装置，可以在水上航行，在稳定性和载荷计算方面要考虑海上波浪的影响；这其中的门座起重机则是一种大型复杂的臂架起重机。

门座起重机的回转部分支承在专门设计的门座上，回转部分与门座间用回转装置支承。门座具有净空，可以通过铁路车辆或载货汽车。门座起重机有装卸型和安装型两类。装卸用的门座起重机在港口、码头等有大宗货物的场地进行装卸作业，设计成具有很高的生产率。为此，这种起重机的回转速度较高（ $3\text{r}/\text{min}$ 左右）；变幅时货物能沿近似的水平线移动，这样，不仅变幅时消耗的功率很小，而且变幅时不易与周围建筑物产生干扰；起升速度也较高（ $1 \sim 1.5\text{m}/\text{s}$ ）。由于这种起重机只在一个场地工作，所以，与流动起重机相比，它在机械布置上可以比较宽敞，机械和结构的质量控制也不是非常严格。这种起重机是个高耸的结构物，又在露天工作，所以，必须注意风载荷的计算，注意稳定性和防风滑移的校验，特别注意防风装置的设计和安装。安装用的与装卸用的门座起重机，在外形上类似，但各个结构的速度比较低。

1.1.5 起重机的基本参数

起重机的基本参数应根据使用要求，在设计前选定。标准化和系列化是任何设计都应遵循的原则，机械设计尤其是如此。起重机最重要的基本参数是“额定起重量”，其他基本参数包括：起升高度、跨度或幅度、各机构的运动速度；这些参数决定了起重机的工作范围和生产率。这些基本参数有的已颁布了国家标准，有的是企业标准，设计时必须遵照选用。

(1) 额定起重量 起重机一次允许吊运的最大货物质量和取物装置质量之和；但吊钩起重机的吊钩和下滑轮组的质量不包括在额定起重量之中。起重量的单位为吨（t）或千克（kg）；在本书中，起重量用 C_p 标记，而起升载荷是额定起重量的重力，以 Q 标记， $Q = gC_p$ 。额定起重量由国家标准 GB/T 783—1987 规定（表 1-1），设计时，根据使用要求的数值，选择靠近但不小于表列的标准值。

表 1-1 额定起重量标准（摘自 GB/T 783—1987）（单位：t）

0.05	0.1	0.25	0.5	0.8	1.0	1.25	1.5	2.0	2.5	3.0
4	5	6	8	10	12.5	16	20	25	32	40
50	63	80	100	125	140	160	180	200	225	250
280	320	360	400	450	500					

(2) 跨度或轨距 桥式类型起重机两侧运行车轮踏面中线间的距离，单位为米（m），以 L 标记，按国家标准 GB/T 790—1995 选取（表 1-2）；桥式起重机的跨度要比厂房的跨度小 $1.5 \sim 2.0\text{m}$ 。回转起重机运行车轮踏面中线间的距离，习惯上称为轨距。

表 1-2 桥式起重机跨度系列 (摘自 GB/T 790—1995) (单位: m)

厂房跨度		9	12	15	18	21	24	27	30	33	36
起重机 跨度	3~50t	7.5	10.5	13.5	16.5	19.5	22.5	25.5	28.5	31.5	—
		7	10	13	16	19	22	25	28	31	—
	80~250t	—	—	—	16	19	22	25	28	31	34

(3) 幅度 臂架回转起重机回转中心线与取物装置垂线间的距离, 不回转的臂架起重机, 一般是指臂架下铰接点到取物装置垂线的距离, 单位为米 (m), 通常以 R 标记, 没有国家标准予以规定。

(4) 起升高度 由地面到取物装置能够达到的最高位置的垂直距离, 单位为米 (m), 以 H 标记; 若取物装置能够放到地面以下, 则地面以下的高度称为下降深度 (h)。起升高度也没有国家标准予以规定。

表 1-3 ~ 表 1-5 列出 H 、 L 、 R 的企业标准, 供设计参考。

表 1-3 港口门座起重机的 R 、 H 、 L 的推荐值 (单位: m)

C_p/t		3	5		10		16	25
幅度 R	最大	25	25	30	25	30	30	
	最小	7	8	9	8	9	9	
起升 高度	H	22	22	25	22	23	28	
	h	7						
轨距 L	跨单轨	22		—				
	快双轨	18	20	23	22	23	24	25

表 1-4 其他起重机的 R 、 L 的推荐值 (单位: m)

门式起重机跨度 L	18	22	26	30	35			
装卸桥跨度 L	40	50	60	70	80			
其他门座起重机幅度 R	22	25	30	40	45	50	70	80

表 1-5 3~50t 桥式起重机起升高度系列 (GB/T 790—1995) (单位: m)

C_p/t (主钩)		30~50		80		100		125		160		200		250	
H	主钩	12	16	20	30	20	30	20	30	24	30	19	30	16	30
	副钩	14	18	22	32	22	32	22	32	26	32	21	32	18	32

1.2 起重机工作等级

相同起重量的同一种起重机, 如果它们使用的频繁程度不同, 所起吊货物的质量接近额定起重量的程度不同, 那么它们构件的尺寸和电动机的功率就应有较大的差别。为了在设计上给予区分, 应将起重机分为不同的使用等级。所以, 起重机工作级别是起重机设计的最基本出发点, 主要由两个特征决定: ①起重机使