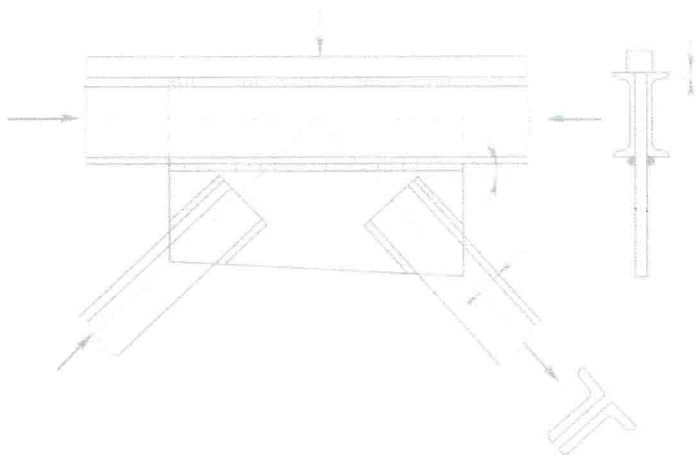


普通高等教育“十三五”规划教材



# 起重机金属结构 设计基础

◎ 安林超 朱绘丽 主编 ◎ 曹秋霞 主审



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

# 起重机金属结构设计基础

安林超 朱绘丽 主 编  
程雪利 副主编  
曹秋霞 主 审



化学工业出版社

· 北京 ·

全书共十一章。第一~九章主要阐述起重机金属结构设计基本原理,包括金属结构的材料特性与选择原则,起重机整机、结构件工作级别的划分方法,载荷计算及载荷组合,金属结构连接计算方法,柱、梁、桁架、小车架等基本构件的设计计算方法。第十、十一章主要阐述桥式起重机和门式起重机金属结构的构造和设计方法及步骤。

本书不仅注重金属结构基本计算原理的阐述,而且坚持理论方法与实际工程相结合,书中实例丰富,涵盖了起重机金属结构设计的所有部件,加强解决实际问题的能力。书中所有设计和计算均依照最新的国家标准和规范。

本书可作为高等院校工程机械专业的教材或教学参考书,也可供起重机械设计人员、工程设计人员查阅和参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

起重机金属结构设计基础/安林超,朱绘丽主编. —北京:化学工业出版社,2016.8

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-27325-3

I. ①起… II. ①安… ②朱… III. ①起重机械-金属结构-结构设计-高等学校-教材 IV. ①TH210.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第129154号

---

责任编辑:高钰

文字编辑:陈喆

责任校对:宋玮

装帧设计:刘丽华

---

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张18 $\frac{3}{4}$  字数470千字 2016年9月北京第1版第1次印刷

---

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

---

定 价:39.00元

版权所有 违者必究

# 前言

金属结构作为起重机械的骨架，用作承受起重机械的各种载荷，是起重机械的重要组成部分。金属结构的重量通常占整台起重机重量的60%~70%，有的机械如塔式起重机的金属结构占整机重量的90%，金属结构设计不仅肩负着安全的重任，而且其结构的优化，与产品的造型、性能及产品成本密切相关。随着计算理论、计算手段和设计方法的发展，设计规范版本不断更新，机械类专业学生的教材需要更新，广大起重机械和工程机械专业技术人员也需要一本应用新的设计规范、新的设计理论和方法的专业化书。

本书根据高等工科院校教学基本要求，结合笔者多年起重机械设计、生产的实践经验和教学经验进行编写。特点如下：

① 理论最新，依据最新的GB/T 3811—2008《起重机设计规范》和GB/T 50017—2003《钢结构设计规范》编写。

② 坚持理论联系实际，实践性强。本教材注重工程实践，实例丰富，涵盖了起重机的金属结构所有构架的设计。

③ 本书的内容已制作成用于多媒体教学的PPT课件，并将免费提供给采用本书作为教材的院校使用。如有需要，请发电子邮件至 [cipedu@163.com](mailto:cipedu@163.com) 获取，或登录 [www.cipedu.com.cn](http://www.cipedu.com.cn) 免费下载。

本书第一~九章为金属结构设计基本原理，包括金属结构的材料特性与选择原则，起重机整机、结构件工作级别的划分方法，载荷计算及载荷组合，金属结构连接计算方法，柱、梁、桁架、小车架等基本构件的设计计算方法。第十、十一章为桥式起重机和门式起重机金属结构的构造和设计方法及步骤。

本书由安林超、朱绘丽任主编，程雪利任副主编，第二、三章由安林超编写，第四章和附录由梁萍编写，第五、六章由朱绘丽编写，第七章由李媛编写，第八、九章由程雪利编写，第十章由河南省锅炉压力容器安全检测研究院焦作分院董本万编写，第十一章由陈波编写，全书由安林超统稿，曹秋霞教授主审，并提出宝贵的意见，在此表示衷心的感谢！

限于编者的水平，书中难免存在不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2016年4月

# 目 录

<b>第一章</b>	<b>起重机金属结构概述</b>	<b>1</b>
第一节	起重机金属结构的定义、应用、特点及分类 .....	1
第二节	起重机金属结构基本要求及发展研究方向 .....	6
习题	.....	9
<b>第二章</b>	<b>起重机金属结构材料</b>	<b>10</b>
第一节	起重机金属结构材料的性能 .....	11
第二节	影响材料性能的主要因素 .....	14
第三节	金属结构材料的标号、规格及选择原则 .....	16
习题	.....	24
<b>第三章</b>	<b>金属结构载荷及组合</b>	<b>25</b>
第一节	载荷分类 .....	25
第二节	载荷计算 .....	26
第三节	金属结构载荷情况和载荷组合 .....	38
第四节	金属结构设计方法 .....	46
习题	.....	50
<b>第四章</b>	<b>金属结构计算原理</b>	<b>52</b>
第一节	起重机工作级别 .....	52
第二节	金属结构的强度、刚度和稳定性计算 .....	57
习题	.....	70
<b>第五章</b>	<b>金属结构的连接</b>	<b>71</b>
第一节	连接类型 .....	71
第二节	焊接连接 .....	72
第三节	普通螺栓连接 .....	90
第四节	高强度螺栓连接 .....	100
习题	.....	108
<b>第六章</b>	<b>轴向受力构件——柱</b>	<b>110</b>
第一节	柱的类型和截面 .....	110
第二节	轴心受力构件的计算 .....	112
第三节	偏心受力构件的计算 .....	121

第四节	实腹式柱的设计计算 .....	127
第五节	格构式柱的设计计算 .....	130
第六节	柱的计算长度 .....	137
	习题 .....	144
<b>第七章</b>	<b>实腹式受弯构件——梁</b>	<b>146</b>
第一节	梁的构造和截面 .....	146
第二节	梁的设计计算 .....	147
第三节	型钢梁的设计计算 .....	155
第四节	组合梁的截面设计 .....	158
第五节	梁的构造设计 .....	164
第六节	梁的挠度和拱度 .....	170
	习题 .....	172
<b>第八章</b>	<b>格构式受弯构件——桁架</b>	<b>173</b>
第一节	桁架的构造和应用 .....	173
第二节	桁架的外形和腹杆系统 .....	174
第三节	桁架的主要参数及内力分析 .....	176
第四节	桁架杆件的计算长度 .....	180
第五节	桁架杆件的截面设计 .....	182
第六节	桁架节点设计和弦杆拼接 .....	187
第七节	桁架的挠度和拱度 .....	192
	习题 .....	193
<b>第九章</b>	<b>起升小车金属结构设计</b>	<b>195</b>
第一节	起升小车金属结构的构造和应用 .....	195
第二节	起升机构金属结构的设计 .....	199
	习题 .....	201
<b>第十章</b>	<b>桥架</b>	<b>202</b>
第一节	桥架形式和应用范围 .....	202
第二节	桥架的载荷 .....	207
第三节	单梁桥架 .....	210
第四节	中轨箱形梁桥架 .....	217
第五节	偏轨箱形梁桥架 .....	229
第六节	起重机的轨道 .....	232
	习题 .....	232
<b>第十一章</b>	<b>门架</b>	<b>234</b>
第一节	门式起重机的门架结构 .....	234
第二节	装卸桥的门架结构 .....	261

第三节 门座起重机的门架结构 .....	264
习题 .....	268

## 附录

270

附录一 常用钢板及型钢截面特性 .....	270
附录二 轴心受压构件的稳定系数（摘自 GB/T3811—2008 附录 K） .....	285
附录三 小车架施工图 .....	288
附录四 起重机用钢轨规格及截面特性 .....	288
附录五 桥式起重机金属结构参考图 .....	290

## 参考文献

294



# 第一章

## 起重机金属结构概述

### 学习要求：

1. 了解起重机金属结构发展、特点、地位以及本课程的特点和学习方法。
2. 熟悉起重机金属结构的应用场合和发展研究方向。
3. 掌握起重机金属结构的定义和基本要求。

### 第一节 起重机金属结构的定义、应用、特点及分类

#### 一、起重机金属结构的定义

以钢材为原料轧制成的型钢（角钢、工字钢、槽钢、钢管）和钢板作为基本构件，通过焊接、螺栓或铆钉等连接方法，按照一定的规律连接起来制成能够承受起重机外载荷的结构称为起重机金属结构。

金属结构作为起重装备的骨架，承受和传递起重机负担的各种工作载荷、自然载荷及以自重载荷。如桥式起重机的起升载荷是通过起重小车的车轮传递给主梁，主梁再传递给端梁，端梁再通过大车车轮传递给轨道，最终由轨道传递到轨道梁的基础来完成载荷的传递。

金属结构是起重机的主要组成部分，起到“骨架”的作用，占整机总重的60%~80%。

#### 二、起重机金属结构的应用

由于金属结构具有强度高、重量轻、质量稳定等独特优点，已在机械装备、冶金工业、机械制造业、建筑业、交通运输业等领域广泛应用。

① 工业厂房和重型车间的承重骨架 如冶金工厂的炼钢车间、轧钢车间，重型机械制造厂的铸钢车间、锻压车间等。

② 大跨度建筑物骨架 如飞机库、火车站、剧场、体育馆等。

③ 多层框架结构 如高层楼房、炼油化工设备构架等。

④ 机械装备的骨架 如桥式类型起重机的桥架和门架，塔式起重机的塔架和臂架，石油钻机的井架等结构。

⑤ 板壳结构 如高炉、大型储油库、船体和煤气库等。

⑥ 塔桅结构 如矿井钻架、无线电发射塔、航天器发射塔、输电塔等。



- ⑦ 桥梁结构 如各种公路、铁路桥梁和车间的承轨梁。
- ⑧ 水工建筑物 如水坝闸门、钢管道等。
- ⑨ 仓储结构 如自动化立体仓库、车库的骨架、货架等。

### 三、起重机金属结构的特点

#### 1. 强度高、自重轻

由于钢材强度高，机械性能稳定，使得结构构件截面最小，自重轻，故运输和架设亦较方便。

#### 2. 具有良好的塑性和韧性

一般情况下，不会因偶然超载或局部超载造成突然断裂破坏，而是事先出现较大的变形预兆，以便人们采取补救措施。钢材还具有良好的韧性，使得结构对作用在起重机械上的动载荷适应性强，为钢结构的安全使用提供了可靠保证。

#### 3. 制造方便、具有良好的装配性

金属结构由各种型钢和钢板组成，采用焊接、螺栓连接或铆接等手段制造成基本构件，运至现场装配拼接。故制造简便、施工周期短、效率高，且修配、更换也方便。

#### 4. 耐腐蚀性差

用钢材制作的金属结构在潮湿或有侵蚀性介质环境下容易腐蚀，因为需要维修和保护，如除锈、涂油漆等，维护保养费用高。

#### 5. 温度敏感

一方面，钢材不耐高温，随着温度的升高，钢材强度会降低，因此对重要的结构必须注意采取防火措施；另一方面，低碳钢冷脆性一般以 $-20^{\circ}\text{C}$ 为界，对于我国的环境一般不用考虑其低温性能，对于出口俄罗斯、乌克兰等国家的钢结构就必须考虑钢材的低温性能。

#### 6. 经济性差

金属结构的原材料成本高，制作工艺复杂，造价高，经济性差。

### 四、起重机金属结构的分类

起重机金属结构的类型很多，根据金属结构的构造、外形、连接方式、载荷作用位置、受力特点、基本构件的连接等几种方法来分类。

#### 1. 根据金属结构的构造分类

分为格构式（桁架）结构和实腹式（板梁）结构。

格构式（桁架）结构由二力杆件连接而成，其特点是杆件长度尺寸较大，而截面尺寸较小。格构式结构用型钢制成，多做成桁架和格构柱。如塔式起重机的桁架臂和塔身都是桁架结构（见图 1-1），牙轮钻机的钻架采用开式桁架结构（见图 1-2）。

实腹式（板梁）结构由薄板焊接而成，其特点是长度和宽度尺寸较大，而厚度较小。因此实腹式结构亦称薄壁结构，如工字形梁、箱形梁和箱形柱等。门式起重机的箱形主梁和变截面箱形支腿（见图 1-3），矿用挖掘机的箱形臂架和斗杆（见图 1-4），门座起重机的箱形臂架和支腿门架都是实腹式结构。

实腹式结构自重较大，制造方便，格构式结构自重小，但工艺复杂。一般是承载较大、尺寸较小的结构采用实腹式结构，而承载较小、尺寸较大的结构采用格构式结构。实腹式结构和格构式结构是起重机金属结构中最常用的结构形式。

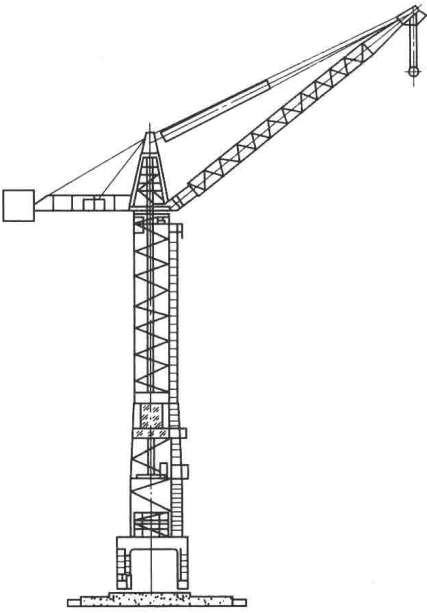


图 1-1 塔式起重机 (一)

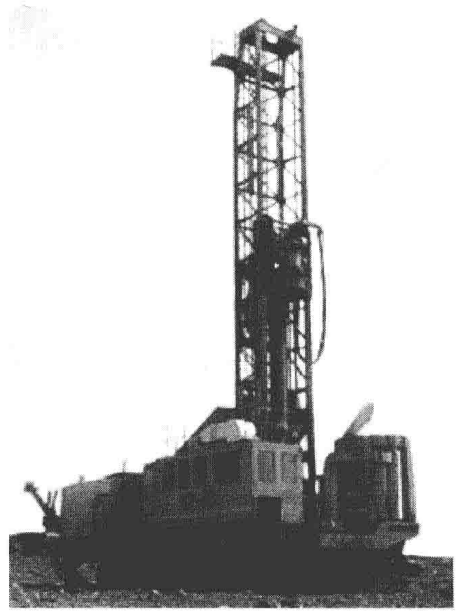


图 1-2 牙轮钻机 (桁架式钻架)

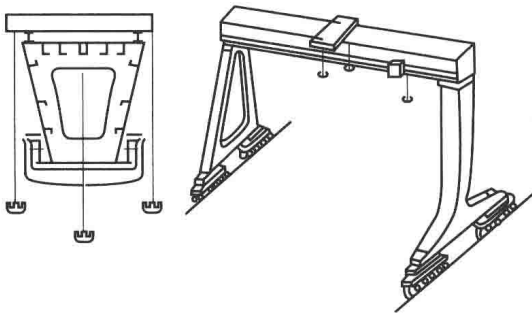


图 1-3 门式起重机 (受压弯的支腿和受弯的梁)



图 1-4 矿用挖掘机 (箱形臂架)

## 2. 根据金属结构外形分类

分为桥架结构、门架结构、臂架结构、塔架结构。

桥架结构是以桥形主梁作为起重机的主要承载构件。如桥式起重机 (见图 1-5) 和核电站环行桥式起重机的桥架 (见图 1-6)。

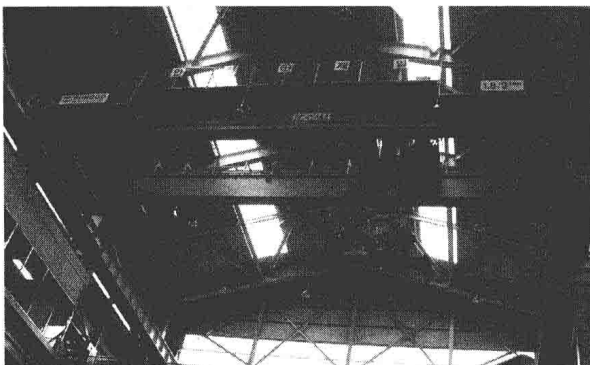


图 1-5 桥式起重机桥架

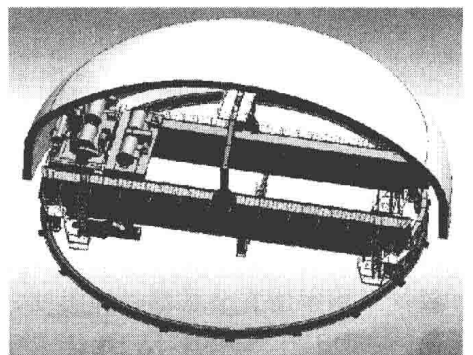


图 1-6 核电站环行桥式起重机桥架

门架结构是将水平桥架安装架设在两条支腿上构成门架形状的一种起重机承载构件。叉车的门架（见图 1-7），门座起重机的门架（见图 1-8），门式起重机的门架（见图 1-9）属于实腹式门架结构。陆地采油机械（见图 1-10）的 A 形井架和海上采油机械（见图 1-11）的金属结构属于桁架式门架结构。

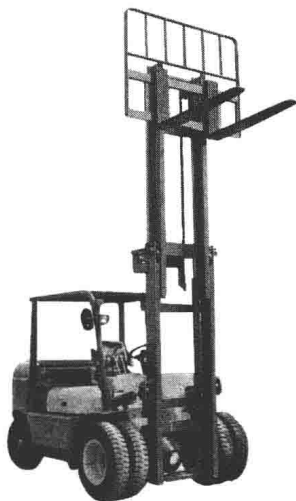


图 1-7 叉车（门架）

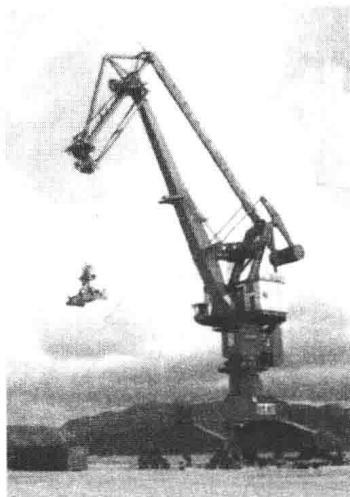


图 1-8 门座起重机

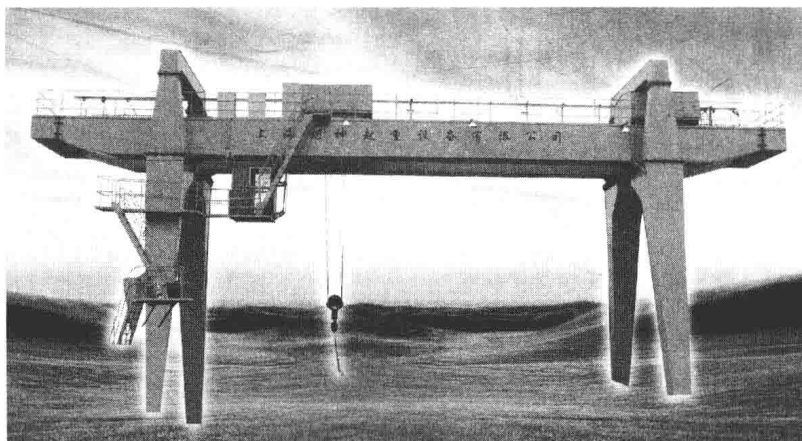


图 1-9 门式起重机的门架

臂架结构是型钢或钢板铰接成臂架作为起重机的主要承载构件。如门座起重机的箱形臂架（见图 1-8）和格构式臂架（见图 1-12）。塔架结构是以各种型钢连接构成高耸塔形结构作为起重机的主要承载构件。如塔式起重机的塔身（见图 1-13）和海洋钻井平台的塔架（见图 1-11）。

### 3. 根据构件节点之间连接方式分类

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，不承受和传递弯矩。钢结构中极少有铰接结构，如果杆系结构中杆件受弯矩甚小，主要承受轴向力，或者当节点处的连接状态与铰接连接很相近时，如塔式起重机的臂架、塔身，在设计计算时，可近似简化为铰接结构处理。

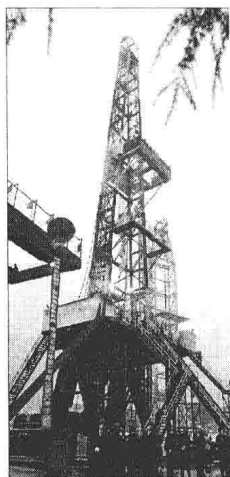


图 1-10 陆地钻井机械

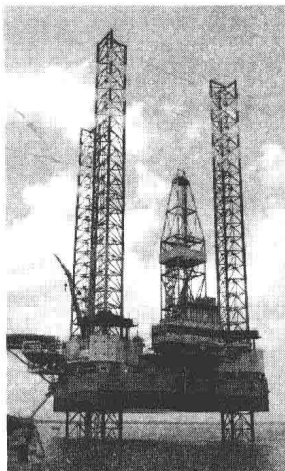


图 1-11 海洋钻井平台

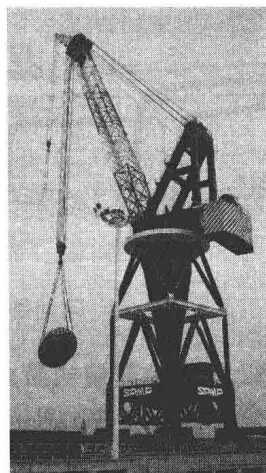


图 1-12 格构式臂架

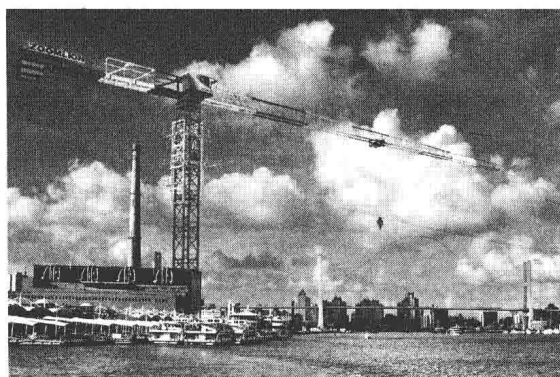


图 1-13 塔式起重机(二)

刚接结构也称刚架结构。这种结构的特点是杆件连接处刚性强。在外载荷作用下，节点处各构件之间的原有相互夹角不会变化，或变化甚小可忽略不计，节点能承受较大弯矩。如龙门起重机的门架就是刚接结构。

混合结构的特点是既有铰接连接的节点，又有刚接连接的节点。

#### 4. 根据载荷与结构空间相互位置分类

分为平面结构和空间结构。

平面结构的作用载荷和结构各杆件的轴线位于同一平面内，如在图 1-14 所示的塔式起重机水平臂架上，小车轮压、结构自重与架式臂架平面共面，因此该臂架也可简化为平面结构计算。

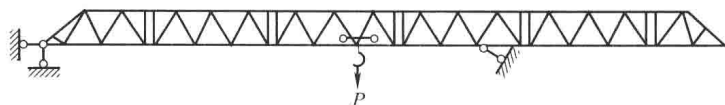


图 1-14 塔式起重机水平臂架简图

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，但外载荷作用于结构平面外（即平面结构空间受力）时均为空间结构。如图 1-15 所示的集装箱门式起重机

的门架和图 1-16 的轮式起重机的车架，都是空间结构的范例。

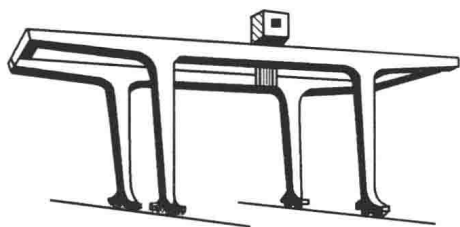


图 1-15 空间刚架结构

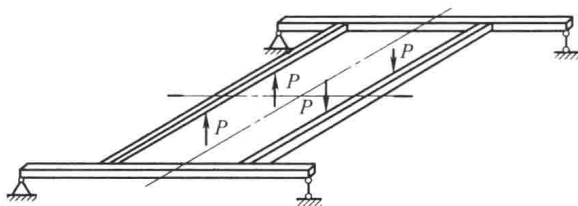


图 1-16 轮式起重机车架结构

### 5. 根据金属结构受力特点分类

分为受弯构件、轴心受力构件、压弯构件、受扭构件、弯扭构件等。

受弯构件主要承受弯矩，如桥式起重机的主梁。

轴心受力构件主要承受轴向力，如门式起重机的柔性支腿。

压弯构件同时承受轴向压缩力和弯矩，偏心受压构件也属于压弯构件的一种，构造与柱相同，但截面要扩大，如臂架和塔架。

受扭构件主要承受扭转力矩，如塔式起重机的塔架。

弯扭构件同时承受弯矩和扭矩的构件，如承受偏心载荷作用的桥式起重机的主梁。

这些部件按其力学特性和用途不同可以作为不同结构的承载骨架，如塔式起重机的塔架（见图 1-13）和门式起重机的刚性支腿（见图 1-3）均是偏心受压柱，而门式起重机的柔性支腿（见图 1-3）则是轴心受压柱，其主梁是一个受弯曲的梁。

### 6. 根据基本构件之间连接方式分类

分为螺栓连接、铆钉连接和焊缝连接。

金属结构的基本构件是厚度不同的钢板和各种型钢。构件与构件之间，部件与部件之间通常用螺栓、铆钉、焊缝连接。由这些基本构件组成金属结构的构件——梁、柱、桁架等，再由构件组成金属结构整体。

螺栓连接工艺性好，拆装方便，在需要拆卸搬运的起重机结构件连接中应用广泛。

铆钉连接由于自重较大，制造工时多等缺点，应用渐少。但由于铆接安全可靠。对受冲击大的重型结构的某些部位仍然使用铆钉连接的构造。

焊缝连接不仅简化了结构，缩短工时，而且大大减轻自重，因此在起重机金属结构中得到广泛使用。

## 第二节 起重机金属结构基本要求及发展研究方向

### 一、起重机金属结构基本要求

起重机是一种工作十分繁重的重型机械设备。其载荷复杂多变，动态特性显著，作为起重机骨架的金属结构，其设计制造质量的优劣将直接影响整个起重机的工作性能。为保证起重机良好的技术经济性，对起重机金属结构提出如下基本要求。

#### 1. 满足总体设计要求

金属结构是起重机的一个组成部分，必须符合起重机整体设计的要求。首先应满足总体

对工作幅度、跨度、前伸距、后伸距、起升高度等作业空间的要求。其次应满足总体对各机构运动轨迹的要求，如门座起重机为保证变幅过程物体作水平移动，对各结构件提出的尺寸要求；最后应满足总体布置的要求，使结构件与结构件之间、结构件与机构之间装配关系协调，在各机构工作范围内，各运动件之间互不发生干涉。

## 2. 安全可靠、坚固耐用、性能良好

起重机属于特种设备，其安全性直接影响人民的生命、财产安全。因此，要求从设计层面开始就要保证金属结构的本质安全，提供安全运行的硬件保证，如安全装置的设计与配置，金属结构的可靠性以及剩余寿命的评估。

为保证起重机坚固耐用和具有良好的使用性能，其金属结构必须有足够的强度、刚度和稳定性。

## 3. 重量轻、材料省

结构轻量化，节省材料和资源。金属结构的重量在整机重量中占有很大比重。例如起重机金属结构自重占总重的 50%~70%，岸边装卸桥则达 90%。因此，减轻自重不但节省钢材与能耗，而且减轻了机构的负荷和支承基础及厂房的造价，并为运输安装提供了方便。

## 4. 构造合理、工艺性好、便于运输安装

金属结构的构造形式既应适应结构的受力特点，使传力路径短、力流平顺，又应保证结构具有良好的工艺性，使制造、运输、安装和维修方便。根据工厂和工地的设备和技术条件，尽量采用先进的施工工艺。

金属结构运送单元的尺寸应符合运输界限尺寸的限制，运送单元的重量应和吊装设备的能力相适应，尤其是起重机的桥架、门架常常需要分段或整体运输，水平组装，整体起放。因此，必须要有合理的结构，以满足其运输和安装方便的要求。

## 5. 造型美观、节能环保

注重人机系统工程，造型美观大方，色彩调配合理，追求宜人化和人-机-环境协调性设计。

制造、使用过程中的节能降耗与环境保护，将设备的设计、制造、运输、安装、检验、监察、维修、报废各过程纳入全生命周期，从而实现节能、节材、减振、降噪、环保。

上述基本要求既互相联系又互相制约，首先要保证金属结构坚固耐用和使用性能，其次应注意减轻自重，节约钢材，降低成本及运输维修等问题，在可能条件下，还要考虑外形美观。

在设计时应该辩证地处理上述要求。若结构设计制造较为坚固，性能优良，但会导致耗材较多，则整机装备过于笨重，经济成本较高。若单纯追求节省钢材，而忽视使用要求，使机械装备的性能较差或过早损坏，则会导致更大的浪费。同时，还要考虑不同用途的起重机械金属结构的特殊性。如施工用的门式起重机，除考虑性能好、坚固耐用外，安装运输是否方便也很重要。

# 二、起重机金属结构发展研究方向

## 1. 研究并推广应用新的设计理论和计算方法

关于起重机金属结构的设计和计算，我国至今没有专门的设计规范，大多参考各种专业设计规范中的规定进行设计，如 GB/T 3811—2008《起重机设计规范》、GB/T 13752—92《塔式起重机设计规范》和 GBJ 17—88《钢结构设计规范》。在这些设计规范中，多采用以



结构的极限状态为依据,进行多系数分析,一般采用单一安全系数的许用应力算法。这种方法使用简便,但由于采用单一的安全系数,无法区别反映出各构件不同的超载情况,设计出的结构,或材料富余,或安全程度过低。随着试验技术的不断发展,近年来出现了一些新的计算方法,如建筑结构设计领域采用的以概率理论为基础的极限状态算法。

当前,钢结构设计领域正在研究并不断得到应用的新理论和计算方法有:随机疲劳理论、动态设计理论、可靠性理论、断裂力学理论、稳定理论、有限元分析法、最优化设计法等。这些新理论和新方法极大地促进和提高了钢结构的设计水平。

## 2. 创新和推广新的结构形式

在保证起重机工作性能的条件下,改进现有的结构形式和开发新颖的结构形式,能有效地减轻钢结构的自重,节省材料,从而降低造价。如采用合理的结构截面形式,改善截面几何特性,将厚壁结构改为薄壁结构,使用管形结构代替矩形结构等。结合具体的起重机,创造新颖的结构形式,可取得明显的经济效益。

## 3. 部件标准化、模块化、系列化

金属结构构件、部件的标准化、模块化是结构定型系列化的基础。采用一定规格尺寸的标准构件、部件组装成定型系列产品,能减少结构方案数和设计计算量,大大减轻设计工作量。而金属结构构件、部件的标准化、模块化可以实现构件、部件的互换,减少维护时间和成本。结构定型系列化能促进标准零部件的大批生产,构件生产工艺过程也易于程序化,便于使用定型设备组织流水生产作业线,提高生产率,降低成本,又能实现快速安装,保证安装质量。可见,结构定型系列化是简化设计、实现成批生产、缩短工时、降低成本的有效方法,应予以足够重视。

我国梁式、桥式、门式、塔式和轮胎起重机均有系列产品,其他类型起重机也在进行标准化和系列化的工作。

为更好地适应我国加入 WTO 后的要求,主动与国际“接轨”,应当优先采用国际标准和国外先进工业标准,打破国际间的技术壁垒。最新颁布的 GB 3811—2008《起重机设计规范》在技术上更加先进,在内容上更加丰富,已与当前国际标准和国外先进工业标准取得最大限度的一致。

## 4. 研究采用新材料

金属结构的材料对起重机的可靠性、寿命和自重等性能影响较大。例如,每减轻 100kg 起重机自重,可提高 30kg 的起重量。研究采用轻金属或高强度结构钢制作钢结构,是减轻结构自重、节省材料的有效途径。国外已制造过铝合金结构的桥式起重机和门式起重机的桥架、门座起重机的臂架,使其自重减轻 30%~60%。德国制造的铝合金箱形单主梁桥式起重机,桥架自重比双梁桥架减轻 70%左右,从而减轻了厂房结构与基础的载荷,降低了投资。我国生产的低合金结构钢 Q345 早已应用于起重机等大型结构中。由于材质好,强度高,产品坚固耐用,可减轻 20%左右重量。我国新研制的 Q690 高强度钢,其屈服强度约为 Q345 的 2 倍,可作为起重机结构选用的高强度钢材,已用于国家体育场“鸟巢”主体工程。

热轧薄壁型材、冷弯模压型材在金属结构制造中是很有发展前途的材料,它可以设计成任意截面形状,以满足受力要求。在简化结构、节省钢材、减少制造和安装劳动量、缩短工期等方面大有成效。目前,已用于建筑结构中,在电葫芦单梁桥架中也开始采用。今后,应进一步研究、设计适用于机械结构所需的合理型材,添置必要的冷压设备。



### 5. 整机向大型化、专业化、高效化方向发展

起重机的作用是物料搬运与装卸。为了提高搬运与装卸的效率和能力,各国生产的起重机有向大吨位、大幅度(大跨度)、大高度、高速度方向发展的趋势,同时要求有高效的控制系统,以适应对起重机的调速要求。

为了发展国际贸易,需在港口装卸作业中提高车船的货运量和装卸效率,各国都采用了集装箱的运输方式。我国建有集装箱专用码头,并成功研制了40ft的岸边集装箱起重机(岸桥)(见图1-17),自重达600t以上,高达54m,小车运行速度达240m/min,一次可同时起吊三个40ft标准集装箱。

由于造船工业的蓬勃发展,船舶吨位由几千吨发展到几十万吨,为解决船体分段制造和机械安装问题,国内外已生产大型门式起重机来替代原有的门座起重机和塔式起重机。我国已经设计制造出世界起重量最大的固定门式起重机,该起重机用于起重量达20000t、跨度102m、高度88m的巨型门式起重机,主梁高达14.8m,如图1-18所示。



图 1-17 岸边集装箱起重机

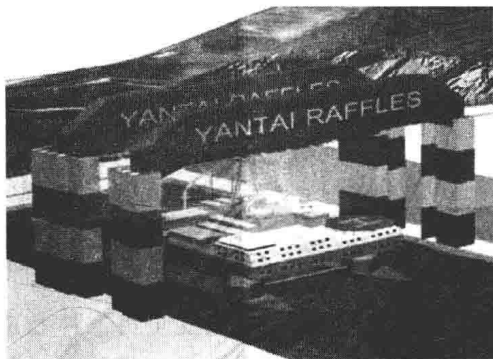


图 1-18 20000t 固定门式起重机

## 习 题

1. 简述起重机金属结构的定义。
2. 起重机金属结构设计有哪些基本要求?
3. 试对实腹式结构和格构式结构的特点进行比较,并阐述各自应用场合。
4. 简述国内外起重机金属结构的发展研究方向。

## 第二章

# 起重机金属结构材料

### 学习要求:

1. 了解起重机金属结构对材料的要求。
2. 熟悉起重机金属结构常用材料的性能、影响因素、类别、特征以及相关国家和行业标准。
3. 掌握起重机金属结构材料的选用原则、依据、常用型钢和板材的标准表示方法。

金属结构是起重机的重要组成部分，因此，结构材料的性能不仅影响结构的承载能力和自重，而且关系到产品的安全性和成本。

起重机经常处于繁重的工作状态，其金属结构直接承受振动和冲击载荷，因此，结构材料应满足以下性能要求。

(1) 较高的屈服强度 $\sigma_s$ 和抗拉强度 $\sigma_b$  材料的屈服强度 $\sigma_s$ 高可以减轻结构自重，节省材料，降低成本。抗拉强度 $\sigma_b$ 高可以增加结构的安全储备。

(2) 较高的伸长率 $\delta$  伸长率是表示材料塑性的重要指标之一，伸长率越高，材料的塑性就越好，材料的安全度也越高。这是因为结构的局部应力集中可以通过塑性变形得到缓解，避免引起结构的局部破坏。此外，即使由于某种偶然因素，使结构出现了较大的残余塑性变形，人们也会立即觉察到，并及时采取措施，避免机毁人亡事故的发生。

(3) 保证一定的冲击韧度 材料的冲击韧度是指V形缺口试件，在冲击试验机上用摆锤击断时其吸收的冲击功，用 $A_{kV}$ （单位J）表示。对经常承受动载荷的结构，是重要的质量指标。对于在低温条件下工作的结构，应保证有足够的负温冲击韧度 $A_{kV}$ 值，以提高结构抵抗冷脆性破坏的能力。

(4) 较好的工艺性能 结构材料的工艺性能主要包括冷弯性能和可焊性能。良好的工艺性能不仅能简化结构的制造工艺，而且不会因为工艺因素而使结构的强度、塑性、冲击韧度等性能受到明显的不利影响。因此材料的工艺性能不但直接影响结构生产的效率和成本，而且影响结构使用的可靠性。

在满足上述性能的前提下，还应根据具体情况考虑材料的供应与价格等问题。

根据目前我国金属结构材料的生产和供应情况，普通结构钢是比较安全可靠而又经济合理的材料。普通结构钢的力学和工艺性能比较好，一般都能满足使用上的要求，钢材的品种和规格比较齐全，容易保证供应，价格又比较便宜，因此应用得最为普遍。