

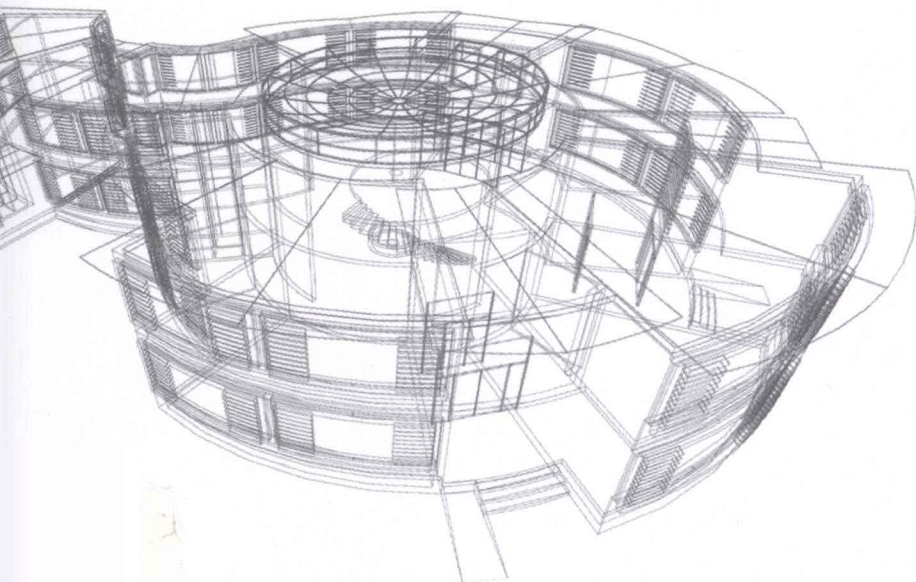
普通高等院校

“十二五”

规划教材

结构力学 与钢结构

主编 黄会荣
参编 钟炜辉 李峰 罗丹
主审 郝际平



国防工业出版社

National Defense Industry Press

普通高等院校“十二五”规划教材

结构力学与钢结构

主编 黄会荣

参编 钟炜辉 李 峰 罗 丹

主审 郝际平

国防工业出版社

·北京·

前 言

建筑类机械设计制造及自动化专业开设结构力学、钢结构课程已经有 30 多年的历史,为适应专业发展,满足机制类专业对工程机械知识更新的需要,作者融合现代工程机械设计新的理论、新设计方法,紧密结合工程实际应用编写了本书。

本书根据高等院校建筑类机械设计制造及自动化专业《结构力学与钢结构》的教学大纲要求编写而成,编写过程中力求内容精练,深入浅出,便于自学。本书可作为高等院校建筑类机械设计制造及自动化专业教材,也可作为科研单位技术人员进行理论研究和新产品开发的参考资料。

本教材共有 11 章,分为结构力学、钢结构两部分。结构力学部分包括平面体系的几何组成分析及结构分类、静定平面结构的内力计算、静定结构的位移计算、力法、位移法与力矩分配法。钢结构部分包括钢结构的材料与设计计算方法、钢结构的连接、受弯构件、轴心受力构件、拉弯构件和压弯构件、起重机吊臂和塔身的设计计算。

本教材钢结构部分的第 6~10 章是按《钢结构设计规范》(GB 50017—2003)进行编写的,而第 11 章则是按《塔式起重机设计规范》(GB/T 13752—92)进行编写的。本教材采取兼容并蓄的原则,吸收其合理与适用的部分,以满足国内建筑类高等院校的机械设计制造及自动化专业的需要。

为了便于学习和掌握基本计算原理和计算方法,本书还编入一定数量的例题和习题。

参与编写工作的有:黄会荣(绪论、第 1~3 章、第 6~7 章、第 8 章 8.1 节~8.7 节、附录),钟炜辉(第 4~5 章、第 8 章 8.8 节、第 10 章),李峰(第 9 章),罗丹(第 11 章)。全书由黄会荣统稿。

西安建筑科技大学郝际平教授对全书进行了仔细审阅,提出了极为宝贵的修改意见,在教材编写中,原思聪教授提出了建设性的意见,郭家元协助完成教材中的部分插图,对此表示衷心感谢。

作者
2011 年 6 月

目 录

绪论	1
0.1 结构力学与钢结构的研究对象	1
0.2 钢结构的特点及应用	2
0.3 钢结构的发展及建筑机械钢结构设计的基本要求	3
0.4 作用在建筑机械钢结构上的荷载及其组合	4
0.5 建筑机械结构力学与钢结构的发展方向	5

第一部分 结构力学

第1章 平面体系的几何组成分析及结构分类	7
1.1 结构的结点、支座及计算简图	7
1.1.1 杆件的简化	7
1.1.2 结点的种类	7
1.1.3 支座的种类	8
1.1.4 结构的计算简图	10
1.2 平面体系的类别及自由度	11
1.2.1 平面体系的类别	11
1.2.2 平面体系的自由度	12
1.3 几何不变体系的组成规则	13
1.3.1 两刚片的组成规则	13
1.3.2 三刚片的组成规则	14
1.3.3 二元体规则	14
1.4 静定结构与超静定结构	17
1.4.1 静定结构的概念	17
1.4.2 超静定结构的概念	18
1.5 结构的分类	18
习题	21
第2章 静定平面结构的内力计算	23
2.1 静定平面桁架	23
2.1.1 概述	23
2.1.2 桁架内力计算	25
2.2 静定平面刚架	28
2.2.1 概述	28

2.2.2 静定刚架的内力计算及内力图	29
习题	34
第3章 静定结构的位移计算	37
3.1 概述	37
3.2 变形杆系的虚功原理	38
3.2.1 实功与虚功	38
3.2.2 虚功原理	40
3.3 静定结构位移计算的一般公式	42
3.4 图乘法	49
3.5 弹性结构的互等定理	54
3.5.1 虚功互等定理	54
3.5.2 位移互等定理	55
3.5.3 反力互等定理	56
习题	57
第4章 超静定结构的力法	59
4.1 超静定结构概述	59
4.1.1 超静定结构的特征	59
4.1.2 超静定结构的分析方法	59
4.1.3 超静定次数的确定	60
4.2 力法的基本原理	60
4.2.1 力法概述	60
4.2.2 力法的基本结构和基本未知力	61
4.2.3 力法的典型方程	61
4.2.4 力法计算超静定结构的步骤	65
4.3 荷载作用下的超静定结构计算	65
4.3.1 超静定梁的计算	65
4.3.2 超静定刚架的计算	69
4.3.3 超静定梁式组合结构的计算	73
4.4 对称性的利用	76
4.4.1 对称结构及其特性	76
4.4.2 利用结构对称性简化计算	77
4.5 超静定结构在温度改变、支座位移时的影响	80
4.5.1 超静定结构在温度改变时的内力计算	80
4.5.2 超静定结构在支座位移时的内力计算	82
4.6 超静定结构的位移计算	84
4.6.1 荷载作用下超静定结构的位移计算	84
4.6.2 温度改变、支座位移作用下超静定结构的位移计算	84
4.7 力法计算结果的校核	85
4.7.1 平衡条件的校核	85

4.7.2 变形条件的校核	85
习题	86
第5章 位移法与力矩分配法	89
5.1 位移法概述	89
5.1.1 位移法的基本概念	89
5.1.2 位移法的基本思路	91
5.2 等截面直杆的相关常数	91
5.2.1 杆端位移和内力的正、负号规定	91
5.2.2 等截面直杆的形常数和载常数	91
5.3 位移法的典型方程	94
5.3.1 变形假设	94
5.3.2 位移法的基本未知量	94
5.3.3 位移法的基本结构	95
5.3.4 位移法的典型方程	95
5.3.5 典型方程法的解题步骤	98
5.3.6 用典型方程法计算超静定结构实例	99
5.4 用平衡方程法计算超静定结构	102
5.4.1 等截面直杆的转角位移方程	102
5.4.2 平衡方程法的解题步骤	105
5.4.3 用平衡方程法计算超静定结构实例	105
5.5 对称性的利用	108
5.5.1 对称荷载作用下的对称刚架	108
5.5.2 反对称荷载作用下的对称刚架	109
5.5.3 非对称荷载作用下的对称刚架	109
5.6 力矩分配法	110
5.6.1 力矩分配法的基本概念	110
5.6.2 用力矩分配法计算超静定结构实例	113
习题	114

第二部分 钢结构

第6章 钢结构的材料与设计计算方法	117
6.1 钢结构对所用材料要求	117
6.1.1 钢材的破坏形式	117
6.1.2 钢结构对所用材料的要求	117
6.2 钢材的主要受力性能	118
6.2.1 钢材在单向受力状态下的性能	118
6.2.2 钢材在复杂受力状态下的性能	119
6.2.3 钢材冷弯试验表现的性能	120
6.2.4 钢材冲击试验表现的性能	121

6.2.5	钢材在连续反复荷载作用下的性能——疲劳	121
6.3	钢材的脆性破坏	122
6.3.1	化学成分及组织结构的影响	123
6.3.2	应力集中的影响	123
6.3.3	加工硬化的影响	124
6.3.4	低温的影响	124
6.3.5	焊接的影响	125
6.3.6	减少脆性破坏的方法	125
6.4	钢材的钢种、钢号及其选择	126
6.4.1	钢材的钢种、钢号	126
6.4.2	钢材的选择	129
6.4.3	钢材及型钢规格	130
6.5	钢结构的设计计算方法	130
6.5.1	概述	130
6.5.2	钢结构的设计原则	131
6.5.3	钢结构的设计计算表达式	132
6.5.4	钢结构的疲劳计算	134
第7章	钢结构的连接	137
7.1	钢结构的连接类型	137
7.2	焊缝连接的特性	139
7.2.1	焊接方法	139
7.2.2	焊接结构的优、缺点	140
7.2.3	焊缝和焊缝连接形式	140
7.2.4	焊缝的强度设计值	143
7.3	对接焊缝的构造和计算	143
7.3.1	对接焊缝的构造	143
7.3.2	对接焊缝的强度	144
7.3.3	对接焊缝的计算	144
7.4	角焊缝的构造和计算	147
7.4.1	角焊缝的强度和构造要求	147
7.4.2	角焊缝的基本计算公式	151
7.4.3	角焊缝的计算	152
7.5	焊缝连接的疲劳强度、焊接应力和焊接变形	162
7.5.1	焊缝连接的疲劳强度	162
7.5.2	焊接应力和焊接变形	162
7.6	普通螺栓连接的构造和计算	163
7.6.1	螺栓的排列和构造要求	163
7.6.2	普通螺栓的工作性能	165
7.6.3	剪力螺栓群的计算	169

7.6.4	拉力螺栓群的计算	171
7.6.5	剪—拉螺栓群的计算	173
7.7	高强度螺栓连接的构造和计算	175
7.7.1	高强度螺栓的工作性能	175
7.7.2	摩擦型高强度螺栓群的计算	177
7.7.3	承压型高强度螺栓群的计算	178
	习题	179
第8章	受弯构件	182
8.1	受弯构件的形式和应用	182
8.2	梁的强度和刚度	182
8.2.1	梁的强度	182
8.2.2	梁的刚度	186
8.3	梁的整体稳定	187
8.3.1	梁整体稳定的概念	187
8.3.2	梁整体稳定的计算方法	187
8.4	焊接梁的局部稳定和腹板加劲肋的设计	191
8.4.1	翼缘板的局部稳定	191
8.4.2	腹板的局部稳定	192
8.4.3	加劲肋的构造和截面设计	198
8.4.4	支承加劲肋的计算	199
8.5	组合梁腹板考虑屈曲后强度的计算	200
8.5.1	腹板屈曲后的抗剪承载力	200
8.5.2	腹板屈曲后的抗弯承载力	200
8.5.3	考虑腹板屈曲后强度的梁的计算	201
8.5.4	考虑腹板屈曲后强度的梁的加劲肋设计特点	202
8.6	型钢梁的设计	203
8.7	组合梁的设计	204
8.7.1	截面选择	204
8.7.2	截面验算	206
8.8	梁的构造设计	206
8.8.1	翼缘与腹板的连接	206
8.8.2	梁的拼接	207
8.8.3	次梁与主梁的连接	208
	习题	216
第9章	轴心受力构件	217
9.1	轴心受力构件的应用及截面形式	217
9.2	轴心受力构件的强度计算	218
9.3	轴心受力构件的刚度计算	219
9.4	实腹式轴心受压构件的稳定	222

9.4.1	轴心受压构件的失稳形式	222
9.4.2	理想轴心受压构件的弯曲屈曲	223
9.4.3	理想轴心受压构件的扭转屈曲和弯扭屈曲	225
9.4.4	实际轴心压构件的屈曲性能	226
9.4.5	轴心受压构件的整体稳定计算	232
9.4.6	轴心受压构件的局部稳定	237
9.5	实腹式轴心受压构件的截面选择和验算	243
9.5.1	截面选择和验算	243
9.5.2	构造要求	245
9.6	格构式轴心受压构件的设计	248
9.6.1	格构式轴心受压构件的构造	248
9.6.2	轴心受压构件的剪力	249
9.6.3	格构式轴心受压构件整体稳定承载力	250
9.6.4	截面选择和验算	251
9.7	轴心受压构件的计算长度	257
9.7.1	桁架弦杆及单系腹杆计算长度	257
9.7.2	交叉腹杆的计算长度	258
9.7.3	塔架杆件的计算长度	259
9.8	支脚的构造和计算	260
9.8.1	支脚的构造	260
9.8.2	支脚的设计	261
	习题	264
第 10 章	拉弯构件和压弯构件	265
10.1	概述	265
10.1.1	拉弯构件和压弯构件的截面形式	265
10.1.2	压弯构件的破坏形式	266
10.2	拉弯构件和压弯构件的强度计算	266
10.3	实腹式压弯构件的整体稳定计算	269
10.3.1	实腹式单向压弯构件平面内的整体稳定计算	269
10.3.2	实腹式单向压弯构件平面外的稳定计算	271
10.3.3	实腹式双向压弯构件的整体稳定计算	273
10.4	压弯构件的局部稳定	274
10.4.1	腹板的稳定	274
10.4.2	翼缘的稳定	276
10.5	格构式压弯构件的稳定计算	280
10.5.1	格构式单向压弯构件的稳定计算	281
10.5.2	格构式双向压弯构件的稳定计算	282
10.5.3	缀材的计算	284
10.5.4	格构式压弯构件分肢的局部稳定和构造要求	284

习题	286
第 11 章 起重机吊臂和塔身的设计计算	287
11.1 格构式吊臂的设计计算	287
11.1.1 吊臂结构形式和主要尺寸	287
11.1.2 吊臂的计算简图及荷载组合的原则	287
11.1.3 吊臂的荷载、内力计算及其内力组合	289
11.1.4 吊臂截面选择和验算	289
11.2 塔式起重机塔身的设计计算	292
11.2.1 塔身结构形式和主要尺寸	292
11.2.2 塔身的计算简图及荷载组合的原则	293
11.2.3 塔身的荷载、内力计算及其内力组合	293
11.2.4 塔身整体稳定性和强度验算	295
11.3 桁架水平式臂架的设计计算	297
11.3.1 技术性能参数	297
11.3.2 吊臂结构形式及主要尺寸	298
11.3.3 吊臂的计算简图及荷载组合的原则	298
11.3.4 吊臂的荷载、内力计算及其内力组合	299
附录	308
附录一 疲劳计算的构件和连接分类	308
附录二 梁的整体稳定系数	311
附录三 轴心受压构件的稳定系数	315
附录四 型钢表	320
附录五 主要计算公式	331
参考文献	338

绪 论

0.1 结构力学与钢结构的研究对象

由若干构件按一定规则组成,并用来支承荷载、传递荷载起着骨架作用的部分或整体,称为结构。

工程机械中用来支承机械设备和电气设备的骨架,主要由钢材制作。图0-1所示的塔式起重机的塔身,用角钢焊接而成。塔身支承着上部的回转机构、起升机构和臂架等部件。被广泛使用的推土机机械装置如图0-2所示,如推土刀和起落架全部由钢材制作(推土刀与起落架构成几何不变的骨架体系),执行推土的任务。又如挖掘机(图0-3)的动臂、斗柄等机构,在挖掘土石方的过程中,受到土壤的阻力很大,因此必须用钢材来制作。

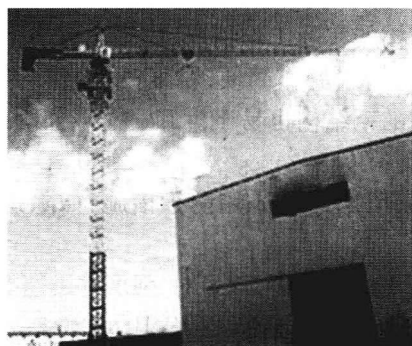


图0-1 塔式起重机



图0-2 履带推土机



图0-3 液压挖掘机

塔式起重机的塔身与臂架,推土机及挖掘机的机械装置,龙门起重机的门架等,都属于钢结构。

钢结构是用钢板和型钢作基本构件,采用焊接、铆接或螺栓连接等,按照一定的构造要求连接起来,承受规定荷载的结构。“钢结构”还是建立在材料力学、结构力学及弹性

力学理论等有关基础知识上的一门学科。在谈到结构力学与钢结构的研究对象这一问题时,把“钢结构”这一词汇作为学科的名称对待。

结构力学研究的内容侧重于结构整体的力学分析计算,它主要包括以下两方面的内容:

- (1) 结构的组成规则及其力学性能;
- (2) 研究结构在荷载、温度变化等因素作用下的强度、刚度和稳定性原理与计算方法。

钢结构研究的内容侧重于组成结构构件的力学分析与计算,研究钢材的受力性能和现实中的构件应该如何设计与制造,以及怎样合理地连接成为结构物。钢结构计算中的一些公式除了理论推导外,还要通过大量的实验才能得到。因此,这门学科十分重视科学实验和生产实践的经验。

0.2 钢结构的特点及应用

和其他材料的结构相比,钢结构有如下一些特点:

- (1) 钢结构的强度较高,所以构件的截面较小、自重较轻,便于运输和装拆。
- (2) 塑性好,结构在一般条件下不会因超载而突然断裂;韧性好,结构对动力荷载和冲击荷载的适应性强。
- (3) 钢结构的材质均匀,力学性能接近匀质、各向同性,是理想的弹塑性材料,有较大的弹性模量;用一般工程力学方法计算,可以接近结构的实际工作情况,较安全可靠。
- (4) 钢结构的制造可在专业化的金属结构厂中进行,制作简便,精度高;制作的构件运到现场拼装,装配化作业,效率高,周期短;已建成的钢结构也易于拆卸、更换、加固或改建。因此钢结构制造简便,施工方便,工业化程度高。
- (5) 钢结构在潮湿和有腐蚀介质的环境中容易锈蚀,必须采用防护措施,如除锈、刷油漆、镀锌等。
- (6) 温度在 150°C 以内钢的性质变化很小,但当温度达到 300°C 以上时,强度将迅速下降,当温度达到 500°C 以上时,钢结构会瞬时全部崩溃。所以钢结构的耐热性好,但防火性差。

钢结构的应用广泛,除用于起重机(图0-4~图0-6)、推土机、挖掘机等各种建筑机械外,同时还广泛用于厂房、大跨度房屋建筑、高层建筑、桥梁、储液或气库、电视塔、输电塔、水工建筑中的闸门、大型管道及船舶结构等。



图0-4 汽车起重机

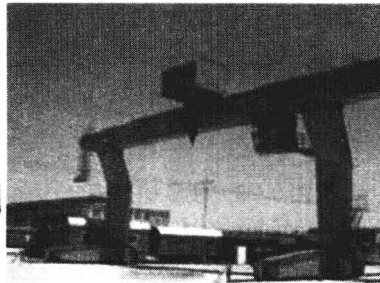


图0-5 桥式起重机



图0-6 履带起重机

0.3 钢结构的发展及建筑机械钢结构设计的基本要求

钢结构的发展与国民经济各部门,特别是冶金工业、机械制造业和交通运输业等的发展密切相关。

我国是应用起重机械最早的国家之一。我国古代劳动人民就已采用了杠杆起重设备及手摇辘轳来取水,这些简单起重设备的骨架是用木材制作的,只有接头处用铸铁制作。到了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,钢结构才广泛应用于工业各部门。1880年,德国制造了第一台电动的钢制桥式起重机。以后欧美国家先后都生产了用金属材料制成的桥式起重机和其他类型的起重机,其中包括铝合金结构的起重机。1907年,我国建造了第一个钢铁厂(汉阳钢铁厂);1915年,建成了第一个金属结构制造厂(山海关桥梁厂)。我国自行设计和建造的钢结构工程有:1927年建成的黄姑屯电机厂钢结构厂房;1931年建成的广州中山纪念堂圆屋顶;1934年建成的柳江钢轨桥。但1937年建成的钱塘江桥则由外商承包;而上海的外白渡桥、天津旧万国开启桥、广州海珠钢桥、兰州黄河钢桁架桥等,均由外国人设计、制造、施工。1949年以前,钢结构工程的数量毕竟很少,建筑机械方面则主要依靠外国进口。

新中国成立以后,随着冶金工业的发展,钢的产量和质量大大提高,使钢结构的高速发展成为可能。我国在20世纪80年代以前完成的钢结构工程,其中有不少在规模上是很大的,在技术上是很先进的。例如,1961年建成的北京工人体育馆,其圆形屋盖采用车辐式双层悬索体系,直径达94m;1967年建成的浙江人民体育馆,其屋盖为椭圆平面,长径80m、短径60m,采用双曲抛物面正交索网结构;1957年建成的武汉(公铁两用)长江大桥和12年后建成的南京(公铁两用)长江大桥。

改革开放以来,我国的建筑钢结构和桥梁钢结构经历了历史上最快速发展的辉煌时期,其中有些工程在当时已达到世界先进水平。

在建筑方面:有代表性的工程有上海浦东国际机场航站楼张弦梁结构屋盖,覆盖进厅、办票厅、商场和登机廊四个大空间;第二个有代表性的工程是亚洲第一、世界第二的广州会展中心屋盖,采用了张弦立体桁架结构,跨度为126.5m、间距15m。

在桥梁方面:1999年建成的江阴长江大桥,主跨为1385m,当时为中国第一、世界第四的大跨径悬索桥;2001年建成的南京长江二桥南汊桥,主跨为628m,当时为中国第一、世界第三位的大跨径斜拉桥;2003年建成通车的上海卢浦大桥,主跨550m,是现在世界上跨度最大的钢拱桥;2005年通车的润扬长江大桥北汊桥(主跨为1490m的悬索桥,)以及2008年通车的苏通长江大桥主桥(主跨为1088m的斜拉桥)等是世界一流的大跨径桥梁,可见,我国桥梁建设处于世界领先水平。

在建筑机械方面:160t·m和120t·m及100t·m的自升式塔式起重机(图0-1)、液压挖掘机(图0-3)、各种箱形臂式汽车起重机(图0-4)以及桁架臂式履带起重机(图0-6)等。另外,钢结构在桥梁建设中的架桥机(图0-7)、高速铁路建设中的运梁车中也被使用(图0-7)。

钢结构是建筑机械中的重要组成部分,在重量上,目前钢结构的自重占建筑机械钢结构总重的50%~70%。所以,合理地设计钢结构是降低用钢量、减轻自重、改善机械工作

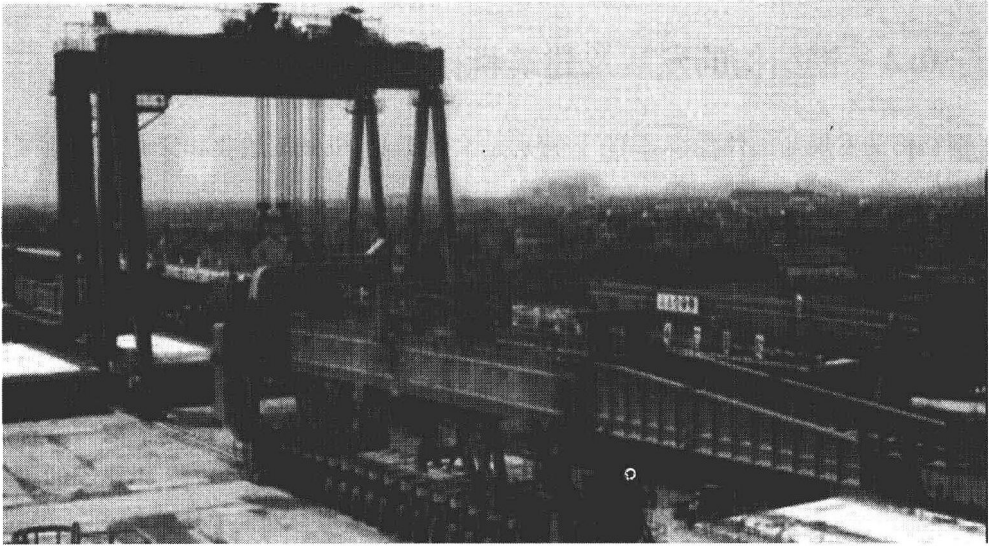


图 0-7 运梁车拖运架桥机

性能的重要途径。

在一般情况下,建筑机械工作繁重,环境差,荷载复杂,为了保证机械的正常工作,建筑机械钢结构设计应满足以下几点基本要求:

- (1) 既安全可靠又经济合理。钢结构必须有足够的强度、刚度和稳定性。选材时还必须使用合理;不能大马拉小车。
- (2) 自重小。
- (3) 符合使用上的要求并具有良好的耐久性。
- (4) 制造方便,成本低,装拆迅速,运输维修简便。
- (5) 造型美观。

0.4 作用在建筑机械钢结构上的荷载及其组合

作用在建筑机械上的荷载很多,主要可分为永久荷载和可变荷载两大类。

1. 永久荷载

永久荷载始终作用在结构上,其位置一般是固定的,其值也不随时间变化,或其变化与平均值相比可以忽略不计,如结构的自重、结构和电气设备的重量等。这种荷载又称为自重荷载。

2. 可变荷载

可变荷载是在一定时间内作用在结构上的荷载,其位置和数值是随时间变化的。可变荷载有以下几种:

(1) 工作荷载,如起重机的起升荷载,挖掘机在挖掘工作时工作所承受的荷载等。结构主要是用来承受这些荷载的。

(2) 惯性荷载及冲击荷载,属于动力荷载。惯性荷载是建筑机械或其部件在变速运动时由结构自重或货物重引起的水平荷载。冲击荷载是起重机在运行中通过钢轨接缝处

或通过不平的道路时由车轮冲击引起的荷载。起重机与缓冲器的碰撞力也是冲击荷载。

(3) 由风、冰雪、温度变化和地震等大自然的影响而产生的荷载。

(4) 结构在运输和安装过程中产生的荷载,如运输时的振动和冲击力、捆扎力,安装时的吊装力及自重作用,运输及安装时的风压力等。

(5) 其他荷载,如结构需要进行静载或动载试验时的试验荷载及其他特殊的荷载等。

以上各种荷载中,有些是经常作用在结构上的荷载,如自重荷载、工作荷载及惯性荷载等,称为基本荷载。有些是不经常作用在结构上的荷载,如风荷载、冰雪荷载等,称为附加荷载。有些是偶然作用在结构上的荷载,如运输及安装荷载、地震荷载、试验荷载等,称为特殊荷载。

所有这些荷载不可能同时作用在结构上,应根据各种机械的工作特点,考虑到最不利的情况,把这些荷载按出现的可能性分别组合起来,作为设计的依据。通常需要考虑以下三种荷载组合形式:

(1) 荷载组合 I,只考虑基本荷载作用的情况。

(2) 荷载组合 II,考虑基本荷载和附加荷载作用的情况。

(3) 荷载组合 III,考虑基本荷载和附加荷载以及特殊荷载作用的情况。

对使用频繁的建筑机械钢结构需要进行疲劳计算(起重机钢结构中,对工作级别 A6、A7、A8 级的结构件,应验算疲劳强度),疲劳计算按荷载组合 I 进行。对所有结构都需要进行强度、稳定和刚度的计算,这些计算按荷载的最不利组合进行。

0.5 建筑机械结构力学与钢结构的发展方向

生产、科技的需要使杆系结构力学得到发展。一百多年以前(1850 年—1875 年),初次出现了结构分析理论,那时研究对象主要是桁架结构,用的是力法,计算工作相当繁重。1920 年左右,产生了变位法,到了 1930 年左右,出现弯矩分配法和各种派生的近似计算方法,使手算工作量有了减少。到了 20 世纪 50 年代,由于电子计算机的出现,大大推动了结构力学的发展,结构分析广泛地采用了矩阵数学和有限元方法,从计算杆系力学演化到连续体的有限元方法,使原来用古典力学理论难以求解或无法计算的问题得到比较满意的解决。在电子计算机上使用矩阵位移法求解杆系结构、壳体结构及实体结构内力的计算机程序已经广泛地用于生产实践。这种程序能够计算线性结构的静力和动力问题,能够计算几何形状十分复杂的结构,可用于机械、动力、土建、水利、矿山、宇航等工程结构的设计,使得在过去用手算需要数百人算上几十年甚至上百年的计算工作,在几小时乃至几分钟内就完成了。

目前,结构力学已经在结构优化设计的领域内得到发展。近 30 年在全国科学规划中把结构优化设计列为计算力学研究中的重要项目,学术界对优化的研究十分活跃,已经取得了一批重要的成果,如钢结构方面,有空间网架、框架、预应力桁架以及大跨钢结构的优化设计等。在我国以及国外如德国、美国、英国、日本等国家陆续编制了桥式起重机主梁的优化设计程序,起重机吊臂的优化设计程序在国外某厂的生产实践中取得了很好的效果,不仅增加了额定起重量,而且节约了 10% 以上的钢材。

随着农业、工业、国防和科学技术现代化的进展,我国钢的产量不断提高,钢材品种日

益增加,钢结构的应用日益广泛,通过生产实践与科学实验,人们积累了丰富的经验,加之力学的发展,都为钢结构理论的发展提供了坚实的基础。近几年来,我国科学工作者对钢结构进行了大量的研究和实验,在此基础上,全国钢结构标准技术委员会在《钢结构设计规范》(50017—2003)基础上着手编制新的钢结构设计规范。新规范的颁布,将使我国钢结构研究的新成果,为起重机钢结构设计提供了新的理论和计算方法。

(1) 设计方法和计算理论的改进。目前,建筑机械钢结构各专门规范采用的仍然是容许应力设计法,将其改变为概率理论为基础的的极限状态设计法是必然趋势。但由于建筑机械主要在室外工作,工作条件比较恶劣,主要承受动力荷载及连续反复荷载;同时,在建筑机械钢结构设计中,还缺少一些必要的数据、参数和系数等。因此,研究和改进目前的建筑机械钢结构的设计和计算理论,是一项迫切的任务。应当使计算结果更符合建筑机械钢结构的实际工作情况,建筑机械钢结构做到最优化的设计,使设计水平进一步提高。

(2) 优质钢材的应用。实践证明,用高强度低合金钢制造的结构比普通碳素钢制造的结构自重轻而且坚固耐用。列入《钢结构设计规范》(50017—2003)的低合金结构钢有Q345(16Mn钢)、Q390(15MnV钢)Q420(15MnVN钢),最后一种材料Q420q由于在九江长江大桥中使用良好被作为新材料推广。鸟巢、国家游泳中心、中央电视台主楼已经成功使用了新型材料Q460E,研究强度更高的钢材及其合理使用将是重要的课题。

(3) 结构形式的改进和创新。改进和创造新的结构形式,不仅能节省大量钢材,降低造价,而且还能进一步改善建筑机械的工作性能,延长使用寿命。例如,把厚壁结构改成薄壁结构;把热轧型钢(普通工字钢、角钢等)结构改成冷弯型钢或钢管结构;把平面结构改空间结构等,在实践中能收到良好的效果。所以,在建筑机械钢结构设计中,如何结合具体机械创造新的结构形式,是一个十分关键的问题。

(4) 采用疲劳设计,提高建筑机械的寿命。由于建筑机械承受不断变化的动力荷载,所以,应当调查研究各种建筑机械的荷载谱和应力谱,并运用先进的疲劳理论,如累积损伤理论、疲劳可靠度理论等进行设计,以期提高建筑机械的使用寿命。

本书仅介绍平面杆系结构的基本理论与计算方法,研究钢材的基本性能、基本构件的设计方法及其连接方式。掌握这些基本内容为从事钢结构的设计工作打下初步的基础,对于今后进一步学习和研究新的理论与计算方法也是十分必要的。

第一部分 结构力学

第 1 章 平面体系的几何组成分析及结构分类

1.1 结构的结点、支座及计算简图

杆系结构由杆件、连接杆件的结点及支座组成。支座的作用是将机器与机架连接在一起,或将机架连接在基础上。

1.1.1 杆件的简化

根据杆件受力后的变形特点,由材料力学可知,各种杆件在计算简图中均用其轴线来代替。等截面直杆的轴线是一直线,曲杆是一曲线。一根变截面杆件也都近似地用一条直线或曲线来代替。

1.1.2 结点的种类

刚结构各杆件之间的结点,实际上是以焊接、铰接、铆接或螺栓连接等方式形成的。除了铰接结点能够易于转动外,其他几种都不能使连接在结点处的各杆件自由转动。

在结构力学中,为了便于分析各杆件的应力,将现实中的结点理想化,即将结点分为铰结点与刚结点两类。铰结点不传递弯矩,用铰结点相连接的杆件,杆端只有轴向变形及剪切变形。也就是说,杆端只有轴向力和剪力。刚结点既传递轴向力、剪力,还传递弯矩。以刚结点连接的杆件,杆端可能受到轴向力、剪力和弯矩的作用。连接于刚结点的各杆端切线的夹角在构件变形时保持不变。将实际上的结点抽象为铰结点或刚结点,视具体情况定,主要考虑以下几种因素:

(1) 必须保持结构的几何不变性。图 1-1(a)所示的结构为带有挠性支腿的门式起重机的门架计算简图,AB 为挠性支腿,C 为刚结点,B 为铰结点,该结构为几何不变体系。若将 C 结点简化为铰结点,该结构变为几何可变体系[图 1-1(b)],因而也不能承受任何荷载了。

(2) 比较真实地反映结点的工作状态。现实结构中的结点,因为形成结点的材料具有弹性变形的能力,绝对刚性的结点是不存在的;又因为现实中的铰结点,在轴承内的柱销与轴承的表面之间存在着摩擦力,绝对自由转动的铰也是不存在的。真实的结点介于绝对刚性连接与理想铰接之间,依据连接比较接近刚性或比较接近铰接而有条件地将结点简化为刚性结点或铰结点。

如图 1-2(a)所示的梁,以其两端的下部翼缘与刚度较大的柱焊接。在荷载作用下,