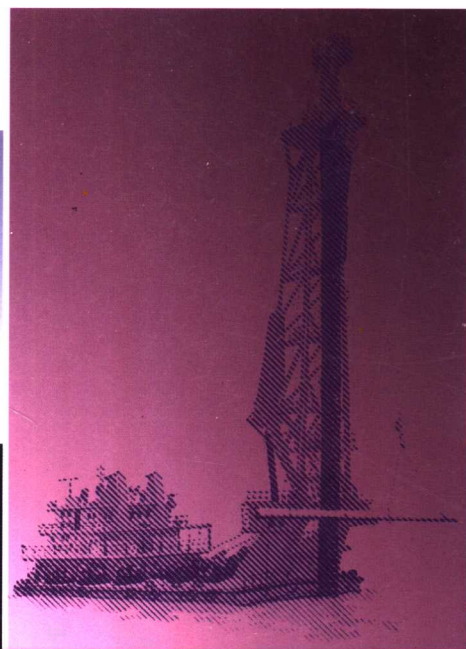
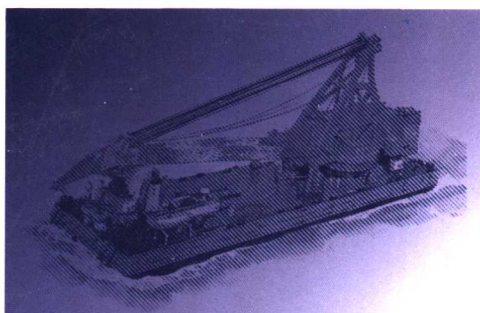


21世纪高等学校机电类重点系列教材

机械结构设计

卢耀祖 郑惠强 主编



同济大学出版社

21 世纪高等学校机电类重点系列教材

机械结构设计

卢耀祖 郑惠强 主编

同济大学出版社

内 容 提 要

本书综合了机械专业《结构力学》和《金属结构》的主要内容,并且把两者有机融合在一起,阐述了在机械结构计算与设计中所必需的基本力学知识与基本承载构件设计原理和基础。力学部分简要概述了结构构造分析、结构位移计算、力法计算的基本理论,详细叙述了位移法和矩阵位移法(杆系有限单元法)的基础理论和方法;结构设计部分包括载荷计算及其组合、结构连接方法及其计算、受弯构件和轴向受力构件的构造原则和设计计算原理。

全书结合计算机技术的发展,重点突出,内容精练,基本理论阐述透彻,内容编排上注意理论的连贯性。各章的思考题和习题,有助于自学和加深理解。所附“机械结构设计上机教材”光盘详细叙述了应用 ANSYS 程序进行结构有限元分析的入门知识。

本书作为高等院校机械专业的教材,对从事机械结构设计工作的工程技术人员也很有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

机械结构设计/卢耀祖等编著. —上海:同济大学出版社,

2004.10

ISBN 7-5608-2901-5

I. 机… II. 卢… III. 结构学—高等学校—教材
IV. TH112

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 073418 号

机械结构设计(面向 21 世纪高等教育机械类重点教材)

卢耀祖 郑惠强 主编

责任编辑 江岱 责任校对 郁峰 封面设计 李志云

出 版
发 行

同济大学出版社

(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)

经 销

全国各地新华书店

印 刷

苏州望电印刷有限公司印刷

开 本

787mm×1092mm 1/16

印 张

19

字 数

486 000

印 数

1—3 500

版 次

2004 年 10 月第 1 版 2004 年 10 月第 1 次印刷

书 号

ISBN 7-5608-2901-5/TH·57

定 价

36.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

前 言

进入 21 世纪,面对经济全球化进程明显加快、科技进步日新月异、综合国力竞争日益激烈的新形势,传统的机械专业必须加强改革和改造,拓宽基础,拓宽专业口径,不断更新教学内容、改革课程体系,加强学生实践能力的培养,形成与国家经济、科技和社会发展相适应的课程体系。

结构计算和设计是各种机械开发设计的主要内容之一,它直接关系到机械的性能指标,也是机械设计的成败关键之一。因此机械结构计算和设计的基本知识是机械专业学生必修的专业科目。许多院校一些机械类专业普遍设置了《结构力学》和《金属结构》课程,对提高学生的机械结构设计能力起到了很好的作用。

本书正是为了适应上述要求,综合了机械专业的《结构力学》和《金属结构》的主要内容,并且把机械的结构计算和结构设计两者有机融合在一起而编写的。同时也可作为从事机械结构设计工作的工程技术人员的参考读物。

全书的重点是:在机械结构计算与设计中所必需的基本力学知识与基本承载构件设计原理和基础。基本力学部分包括简要概述的结构构造分析、结构位移计算、力法计算的基本理论,详细叙述的位移法和矩阵位移法(杆系有限单元法)的基础理论和方法;结构设计部分包括载荷计算及其组合、结构连接方法及计算、受弯构件和轴向受力构件的构造原则及设计计算原理。

本书在编写中参考了历年有关的讲义和教材,总结了十多年来《结构力学》和《金属结构》课程的教学实践经验,结合计算机技术的发展,特别注重突出重点,内容精炼,基本理论阐述透彻、严密、连贯。全书内容编排上注意理论与实际结合,学以致用,实例突出实用性,注重提高工程实践能力。各章都有思考题和习题,还有课程设计指导书,有助于自学和加深理解。本书附有“上机实习指导”光盘。详细叙述了如何应用 ANSYS 程序进行结构有限元分析的入门初步知识,通过六个例题从程序进入、数据输入、计算到结果读取的全过程,逐步叙述,适合初学者阅读。

本书由同济大学卢耀祖、上海应用技术学院郑惠强主编。编写人员有:卢耀祖(第一、三、五章)、郑惠强(第二、十一章)、张氢(第四、六章、上机实习指导)、周奇才(第七章)、郑惠强、陈卫明(第八、九、十章)。主编在统稿过程中对全稿进行了必要的补充和修改。

本书由同济大学伍长振主审。主审对全稿进行了认真的审阅和修改,并且提出了许多建设性的意见。同济大学机械工程学院的研究生吴凤宇、喻艳、聂宝珍、常晓清绘制了本书的大部分插图。在此一并表示衷心感谢。

本教材的出版得到“同济大学教材出版基金”的资助。

由于编者水平有限,经验不足,书中难免有错误和不妥之处,敬请读者给予批评指正,不胜感谢。

编者

2004 年 6 月

目 录

前言

第一章 绪论	(1)
§ 1.1 概论	(1)
§ 1.2 机械结构的分类	(2)
§ 1.3 机械结构设计的基本要求	(4)
§ 1.4 机械结构的计算简图	(4)
§ 1.5 机械结构设计的研究方向	(9)
思考题	(10)
第二章 结构的设计计算方法	(11)
§ 2.1 载荷及其组合	(11)
2.1.1 载荷种类	(11)
2.1.2 载荷组合	(12)
§ 2.2 结构承载能力的设计计算方法	(12)
2.2.1 许用应力法	(13)
2.2.2 极限状态法	(13)
§ 2.3 许用应力	(14)
§ 2.4 小结	(15)
思考题	(15)
第三章 结构构造分析	(16)
§ 3.1 机械结构构造分析的目的	(16)
§ 3.2 结构的几何组成分析	(17)
思考题	(21)
习题	(21)
第四章 结构位移计算	(23)
§ 4.1 概述	(23)
§ 4.2 线性变形体系的功能原理	(23)
4.2.1 功的概念	(23)
4.2.2 线性变形体系的变形能	(25)
4.2.3 附加功互等定理	(27)
4.2.4 虚功原理	(29)

§ 4.3	单位载荷法的基本原理	(30)
§ 4.4	在载荷作用下的结构位移计算	(31)
§ 4.5	用图形相乘法计算积分	(33)
§ 4.6	由非力因素引起的结构位移计算	(38)
4.6.1	由非力因素引起构件形状或尺寸变化	(38)
4.6.2	由支座位移引起的结构位移	(40)
	思考题	(41)
	习题	(41)
第五章	超静定结构与力法	(43)
§ 5.1	概论	(43)
5.1.1	超静定结构的概念	(43)
5.1.2	超静定结构力法计算的基本结构	(45)
§ 5.2	力法基本原理及计算	(46)
5.2.1	力法基本原理	(46)
5.2.2	力法典型方程	(49)
5.2.3	内力图的校核	(54)
§ 5.3	力法的计算步骤和超静定结构的特性	(55)
5.3.1	力法的计算步骤及示例	(55)
5.3.2	超静定结构的特性	(62)
	思考题	(63)
	习题	(63)
第六章	位移法和矩阵位移法	(65)
§ 6.1	位移法的基本概念	(65)
§ 6.2	等截面直杆的转角位移方程	(67)
6.2.1	杆端位移引起的杆端力	(67)
6.2.2	载荷与杆端力的关系	(70)
§ 6.3	位移法的基本未知量与基本体系	(74)
6.3.1	结点角位移及其确定	(75)
6.3.2	结点线位移及其确定	(75)
§ 6.4	位移法的典型方程	(77)
§ 6.5	位移法的计算步骤与示例	(80)
§ 6.6	位移法小结	(85)
§ 6.7	矩阵位移法	(86)
6.7.1	单元坐标系中的单元刚度矩阵	(86)
6.7.2	结构坐标系中的单元刚度矩阵	(91)
6.7.3	结构刚度矩阵的形成及其性质	(97)

6.7.4 直接刚度法及示例	(103)
6.7.5 综合结点载荷列矩阵	(108)
6.7.6 矩阵位移法的计算步骤与示例	(115)
§ 6.8 矩阵位移法小结	(119)
思考题	(120)
习题	(121)
第七章 机械结构的连接	(125)
§ 7.1 焊接连接	(125)
7.1.1 焊接接头的形式	(125)
7.1.2 焊缝的种类及构造	(125)
7.1.3 焊缝计算	(128)
§ 7.2 螺栓连接	(135)
7.2.1 概述	(135)
7.2.2 螺栓连接的布置	(136)
7.2.3 受剪螺栓连接的计算	(137)
7.2.4 受拉螺栓连接的计算	(144)
7.2.5 同时受拉受剪螺栓连接的计算	(146)
7.2.6 梁的拼接计算	(148)
§ 7.3 销轴连接	(150)
7.3.1 销轴计算	(150)
7.3.2 销孔拉板的计算	(150)
思考题	(152)
习题	(153)
第八章 受弯构件	(155)
§ 8.1 梁的类型	(155)
§ 8.2 型钢梁的设计	(155)
§ 8.3 组合梁的截面设计	(159)
§ 8.4 组合梁的强度和刚度	(166)
§ 8.5 组合梁的整体稳定	(167)
§ 8.6 组合梁的局部稳定	(172)
§ 8.5 组合梁的构造设计	(183)
思考题	(195)
习题	(195)
第九章 轴心受力构件	(197)
§ 9.1 轴心受力构件的种类和截面形式	(197)
§ 9.2 轴心受拉构件的设计	(198)

9.2.1	强度验算	(198)
9.2.2	刚度验算	(198)
§ 9.3	实腹式轴心受压构件的设计	(200)
9.3.1	整体稳定性	(200)
9.3.2	局部稳定性	(204)
9.3.3	截面设计	(206)
§ 9.4	格构式轴心受压构件的设计	(209)
9.4.1	剪切变形对轴心压杆临界应力的影响	(209)
9.4.2	截面设计	(215)
9.4.3	缀材和横膈的设计	(217)
§ 9.5	构件的计算长度	(224)
9.5.1	等截面构件的计算长度	(224)
9.5.2	起重机臂架的计算长度	(227)
9.5.3	变截面构件的计算长度	(229)
	思考题	(233)
	习题	(233)
第十章	偏心受力构件	(235)
§ 10.1	偏心受力构件的种类和截面形式	(235)
§ 10.2	偏心受拉构件的设计	(236)
10.2.1	强度计算	(236)
10.2.2	刚度计算	(236)
§ 10.3	实腹式偏心受压构件的设计	(237)
10.3.1	强度计算	(238)
10.3.2	刚度计算	(240)
10.3.3	整体稳定性计算	(240)
10.3.4	局部稳定性计算	(249)
§ 10.4	实腹式压弯构件的截面设计	(251)
10.4.1	实腹式压弯构件截面设计和验算	(251)
10.4.2	实腹式压弯构件的构造设计和工艺设计	(258)
§ 10.5	格构式压弯构件的设计计算	(258)
10.5.1	格构式压弯构件的稳定性计算	(258)
10.5.2	格构式压弯构件的强度和刚度验算	(261)
	思考题	(266)
	习题	(266)
第十一章	机械结构课程设计	(268)
§ 11.1	课程设计目的和要求	(268)

§ 11.2	起重臂结构方案确定	(268)
§ 11.3	计算简图及计算载荷确定	(269)
11.3.1	计算简图	(269)
11.3.2	载荷组合	(269)
11.3.3	载荷确定	(270)
§ 11.4	内力计算及内力组合	(271)
11.4.1	臂架内力计算	(271)
11.4.2	内力组合	(273)
§ 11.5	截面选择和截面验算	(274)
§ 11.6	绘制施工图	(276)
附录		(277)
参考文献		(292)

第一章 绪 论

§ 1.1 概论

在各种机械中,结构主要起支承或者传递载荷的作用。由于金属材料具有强度高、重量轻、质量稳定的特性,因此,现在绝大部分的机械结构都是用金属材料制成的。在这个意义上,机械结构又可称为金属结构。它是金属材料轧制的型钢(角钢、工字钢、槽钢、钢管等)和钢板等作为基本元件,通过焊接、铆钉或螺栓等方式,按一定的规律连接制成基本构件后,再用焊接、铆钉或螺栓将基本构件连接成能够承受外载荷的结构物。

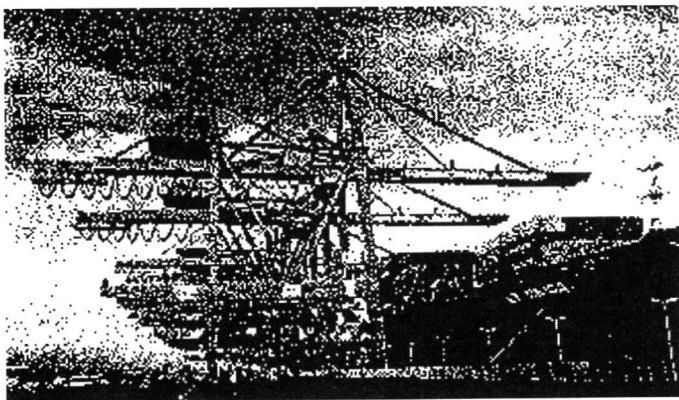


图 1-1

本书主要结合工程机械论述机械结构设计的原理和方法。

金属结构与其他材料制成的结构相比,具有下列一些特点:

1) **强度高、重量轻** 金属结构大都采用钢材。钢材比木材、砖石、混凝土等材料的强度要高出很多倍,因此,当承受的载荷和条件相同时,用钢材制成的结构自重较轻,所需截面较小,运输和架设亦较方便。

2) **塑性和韧性好** 钢材具有良好的塑性。在一般情况下,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,以利人们采取补救措施。钢材还具有良好的韧性,使得结构对经常作用在机械上的动载荷的适应性强,为金属结构的安全使用提供了可靠保证。

3) **材质均匀** 钢材的内部组织均匀,各个方向的物理力学性能基本相同,很接近各向同性体,在一定的应力范围内,钢材处于理想弹性状态,与工程力学所采用的基本假定较符合,故计算结果准确可靠。

4) **制造方便,具有良好的装配性** 金属结构是由各种通过机械加工制成的型钢和钢板等组成,采用焊接、螺栓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。

5) **密封性好** 金属结构如采用焊接连接方式易做到紧密不渗漏,密封性好,适用于制

作容器、油罐、油箱等。

6) **耐腐蚀性差** 有些机械特别是工程机械,经常处在潮湿环境中作业,用钢材制作的金属结构在湿度大或有侵蚀性介质情况下容易锈蚀,因而需经常维修和保养,如除锈、油漆等,维护费用较高。

7) **耐高温性差** 钢材具有一定的耐热性,但不耐高温,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。

金属结构的重量通常占整机机械重量的 60%~70%,有些机械,如塔式起重机的金属结构占整机重量的 90%,因此要求结构自重尽量轻,既节约材料,又可提高机械的工作性能。

§ 1.2 机械结构的分类

工程机械金属结构的类型很多,可以根据金属结构基本元件的几何特征、连接方式以及外载荷与结构件在空间的相互位置等三种情况来分类。

(1) 根据基本元件的几何特征,可分为杆系结构和板结构。

若干杆件按照一定的规律组成几何不变结构,称为杆系结构。其特征是每根杆件的长度远大于宽度和厚度,即截面尺寸较小。常见的塔式起重机的臂架和塔身(图 1-2)、轮胎式起重机的臂架(图 1-3)等都是杆系结构。

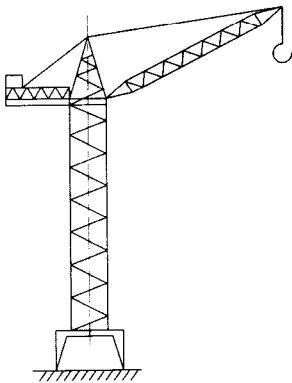


图 1-2

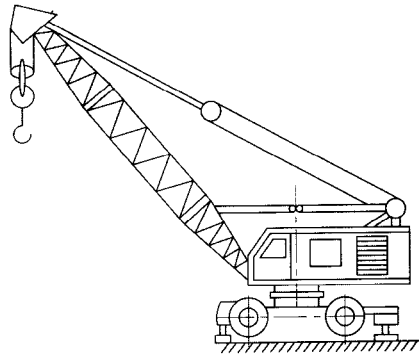


图 1-3

板结构主要由薄板焊接而成。薄板的厚度远小于其他两个方向上的尺寸,故又称薄壁结构。汽车起重机的箱形伸缩臂架、转台、车架、支腿(图 1-4),挖掘机的动臂、斗杆、铲斗(图 1-5)等都属于板结构。

(2) 根据基本元件和构件间的连接方式的不同,可分为铰接结构、刚接结构和混合结构。

铰接结构中所有结点都假设是理想铰,即不承受弯矩。工程机械金属结构中极少有铰接结构。但是,如果杆系结构中的杆件主要承受轴向力,承受的弯矩相对甚小,或者当结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。

刚接结构也称刚架结构。这种结构的特点是杆件连接处比较刚强。在外载荷作用下,结

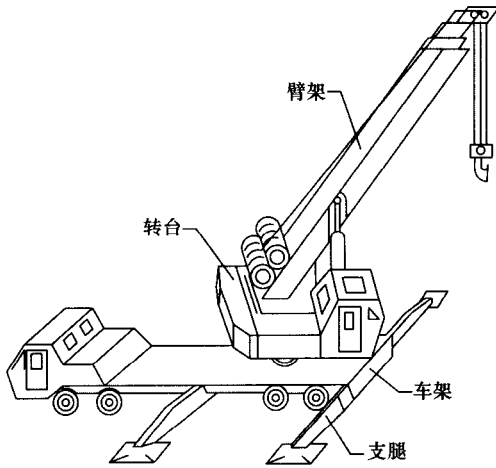


图 1-4

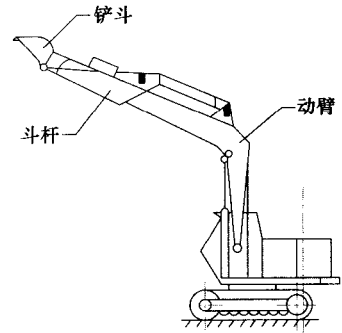


图 1-5

点处各构件之间原有的相互夹角不会变化,或变化甚小可忽略不计,结点能承受较大弯矩。龙门起重机(图 1-6)的门架就是刚接结构。

混合结构的特点是在结构的结点中既有铰接连接的结点,又有刚接连接的结点。

(3) 根据外载荷与结构构件在空间的相互位置的不同,分为平面结构和空间结构。

当结构中所承受的外载荷的作用线和全部杆件的中心轴线都处在同一平面内,则称为平面结构。在实际结构中,直接应用平面结构的情况较少,但许多实际结构通常由平面结构组合而成,故可简化为平面结构来计算。如图 1-7 所示的塔式起重机水平臂架上,小车轮压、结构自重与桁架式臂架平面共面,因此该臂架也可简化为平面结构计算。

当结构杆件的中心轴线不在同一平面,或者结构杆件的中心轴线虽位于同一平面,但外载荷作用线却不在其平面内,这种结构称为空间结构。图 1-8 所示的轮胎式起重机车架即为空间结构。

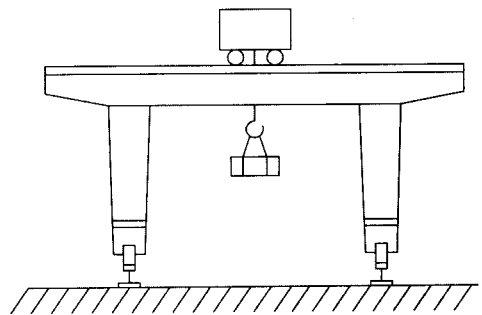


图 1-6

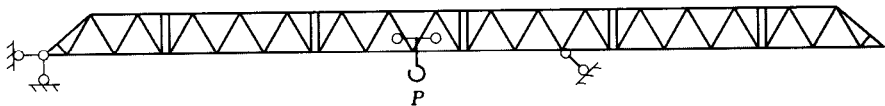


图 1-7

上述三种不同的分类方式,表明了工程机械金属结构的各种形式。虽然金属结构形式不同,但它们都是由一些基本受力构件组成。这些基本构件有:

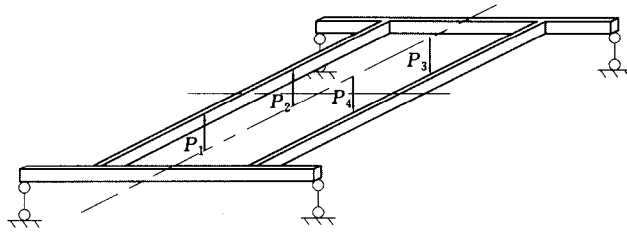


图 1-8

1) **受弯构件** 如龙门起重机的水平横梁,轮式起重机车架的纵梁和横架等。这些构件的受力特点是仅受弯矩作用。

2) **轴心受力构件** 如汽车起重机人字架的拉、压杆,车架的支腿,压杆式塔式起重机的臂架等。其受力特点是构件仅承受通过截面形心的拉力或压力(简称轴心受拉或受压)。

3) **压弯构件** 如小车变幅式塔式起重机的水平臂架、汽车起重机臂架等。这种构件的受力特性是除了受轴心压力外,同时还承受横向弯曲,或者轴力不通过构件截面形心且有一定偏心距,以致产生偏心弯矩。

以上三种基本构件的设计和计算理论,将分别在后面的相关章节中加以讨论。

§ 1.3 机械结构设计的基本要求

工程机械是一种工作十分繁忙的重型机械设备,经常承受变化的动力载荷,工作环境差。作为工程机械骨架的金属结构,其设计制造质量的好坏将直接影响整机的技术经济指标和寿命。因此,为了保证机械正常作业,设计金属结构时应满足一些基本要求。

作为工程机械的一个组成部分,金属结构首先必须符合整机设计要求,包括作业空间要求和机构动力学要求,保证机械能够有良好的运动性能。其次,金属结构必须具备足够的承载能力,应有足够的静强度及规定寿命下的疲劳强度和构件的整体稳定、局部稳定。金属结构还应具有足够的静态刚性和动态刚性,以保证机械能够有良好的工作性能。

金属结构的构造形式与受力情况、制造工艺有关,应尽量使构造合理,适应结构的受力特点,并具有良好的结构工艺性,以方便安装、维修和运输。

工程机械的造型取决于结构的造型。因此,设计金属结构时,应尽量使造型美观、大方。

§ 1.4 机械结构的计算简图

实际的机械结构一般都很复杂,想要完全按照结构的真实情况去进行分析,往往很难办到,对于少数问题也许有可能,但从实用观点来看是没有必要的。因此,对实际结构进行力学分析时,总是需要作出一些简化和假设,略去某些次要因素,保留其主要受力特性,从而使计算切实可行。这种把实际结构作适当简化,用作力学分析的结构图形,就称为结构计算简图,或者叫做结构计算模型。

对实际结构作力学分析,是通过结构计算简图来进行的,结构计算简图的力学分析结果,又是实际结构杆件截面的设计依据。因此,合理选取结构计算简图,是结构设计中非常

重要的一项工作,同时也是力学分析时必须首先解决的一个问题。一般说来,选取结构计算简图时,应当符合以下两点原则:

- 1) 结构计算简图必须能够反映实际结构的主要受力特性,确保计算结果可靠;
- 2) 在满足计算精度要求的条件下,结构计算简图应当尽量简单,使得计算方便可行。

由于选取结构计算简图,不仅需要具有比较丰富的专业知识,而且还要具有一定的结构设计实践经验,因此这里就一般性的问题,做一些初步介绍。

对于机械结构来说,选取结构计算简图所要涉及的内容主要有结构各部分联系的简化、支座的简化、结点的简化、杆件的简化、载荷的简化等。

(1) 结构体系、构件以及构件间联系的简化

严格说来,实际的结构都是空间结构。然而,对于绝大多数的空间结构来说,它的主要承重结构和力的传递路线,大多是由若干平面组合形成的。由于平面力系的计算要比空间力系简单得多,所以通常总是尽可能地把它简化为平面结构来计算。

对桁架结构,在计算简图中杆件通常以其轴线来代表,曲率不大的微曲杆件可以用直的轴线或折线段来代替。

结构中各杆件相互之间是通过“结点”连接的。在实际的金属结构中,结点本身往往是很复杂的。但是在计算时通常都简化为“铰结点”和“刚结点”两种。铰结点是指连接杆件的结点是光滑无摩擦的理想铰,各杆可绕此铰结点作相对转动,因此铰结点上的弯矩为零。当然无摩擦的理想铰在实际结构中是不存在的。但是当杆件的长细比较大时,可以将桁架结构中的结点简化为理想铰结点,这样可使计算大大简化,而所求得的主要内力(杆件的轴力)基本上是符合实际受力情况的。由于真实结点与铰结点的差异,发生在结点附近的附加内力(弯应力)与轴力相比是很小的,在一般情况下可忽略不计。

(2) 支座的简化

任何机械结构都必须设置和支承在某一基础或其他结构之上,才能承受外载荷并正常和可靠地进行工作。相应的计算模型也必须根据工程实际加上约束,才能保证计算顺利进行,才能使计算结果与实际情况相吻合。

支座是用来支承结构并与基础相连的构件或结构。结构所承受的载荷是通过支座传到基础或其他结构上。在传递力的过程中,支座部分将承受支反力,同时也阻止结构在支座方向上的位移。

在工程实际中,支座分为刚性支座和弹性支座。刚性支座又分为三类:

1) **活动铰支座** 其特点是在支承部分有一个铰结构或类似于铰结构的装置,其上部结构可以绕铰点自由转动,而铰结构又可沿一个方向自由移动。如桥式起重机横梁与车轮用轴相接,可以绕轮轴转动,车轮则可以在轨道上自由滚动,见图 1-9(a)。这种支座可以简化为活动铰支座,见图 1-9(b)。它产生垂直方向的支反力,其作用线沿着支座链杆方向。

2) **固定铰支座** 它与活动铰支座的区别在于整个支座不能移动,但是被支承的结构可以绕一固定轴线或铰自由转动,如图 1-10(a)所示,支座简图见图 1-10(b)。支座反作用力通过支座铰点,其大小和方向由作用在结构上的载荷所决定。

3) **固接支座** 这种支座的特点是,当结构用这种支座与基础或其他结构相连接后,结

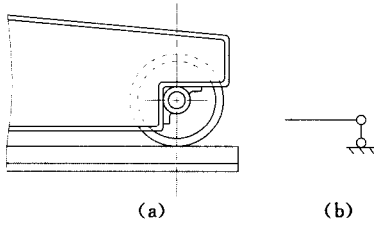


图 1-9

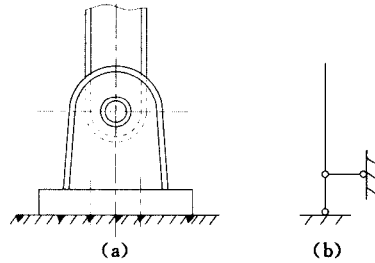


图 1-10

构不能转动或移动。固接支座的实例见图 1-11(a)所示。图中上部结构用焊接方法固接于基础上。支座简图见图 1-11(b)。支座反力除具有支反力外,还有支反力矩。

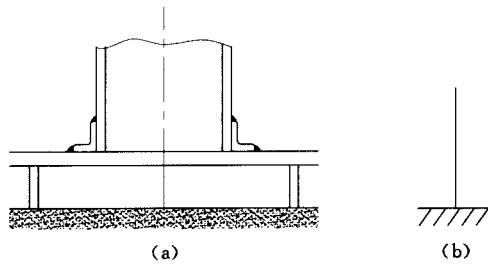


图 1-11

以上刚性支座的三种基本形式,当支座的位移和支反力不处于同一平面时,称为空间支座。

在实际结构中,经常会遇到支承结构的基础,或支座本身在外载荷作用下产生较大的弹性变形,这种情况下的支座称为弹性支座。例如载重汽车的车架通过悬挂支承在轮胎上,对汽车车架而言,悬挂和轮胎都是弹性支座(图 1-12)。又如汽车起重机的主臂是安装在转台上,转台又通过回转装置与底架相连,臂架系统受载时,支腿和底架都将产生弹性变形。这些变形,对臂架系统而言,犹如支承在弹性支座上(图 1-13)。

根据支座反力的不同,弹性支承亦分为弹性线支座和弹性铰支座(图 1-14),它们分别产生弹性线位移和支反力、角位移和反力矩。

在机械与汽车结构分析中,对结构变形很小或基本不变形处,或者可能产生反力处都要加约束。选择何种支承或约束,则要根据具体结构形式、计算工况、支承条件作具体分析。

实际结构中,明显的铰支座形式是不多见的。如附着式塔式起重机塔身底部的支承,是用固定铰支座还是固接支座模拟,可以根据底部的构造及与地基的连接情况来分析决定。如果塔架底部结构刚度很大,又与地基用地脚螺栓相连,则认为在底部能承受弯矩,可以假定它是固定端。反之,当底部刚度不大,不能承受弯矩,可以认为是固定铰支座。

同一空间支座,在分解成平面结构分析时,支座的形式有可能是不一样的。如塔式起重机臂架的根部通过转轴与塔架相连,见图 1-15(a)。在臂架起升平面,由于臂架根部可以绕轴 O 点转动,不能承受弯矩,这时就可以认为是固定铰支座。而在回转平面,由于两铰点作

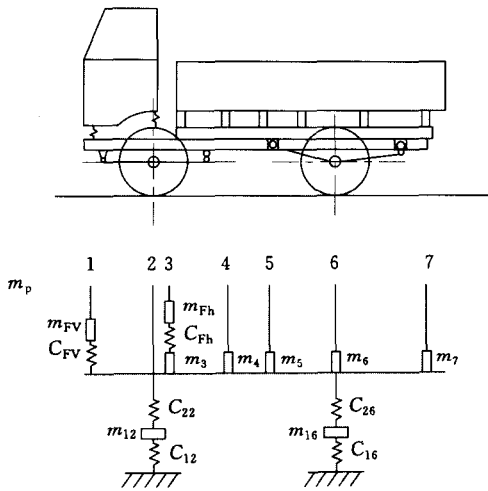


图 1-12

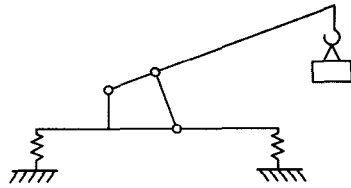


图 1-13

用,可以承受绕垂直轴的弯矩,一般可以作为固定端处理,整个臂架就是悬臂梁,见图1-15(b)。

即使对同一平面的支座,有时针对分析对象的不同,也有可能取两种支承形式。对于图 1-16(a)所示龙门起重机,在实际中都可能出现,结构的内力分布是不一样的。在图 1-16(b)的情况下,横梁的弯矩较大,在图 1-16(c)的情况下,支腿中的弯矩较大。所以对以上两种情况都应进行计算。

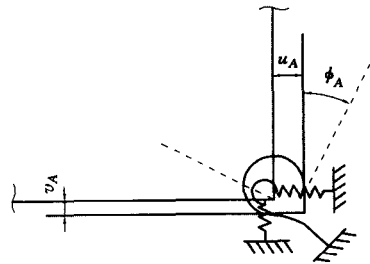


图 1-14

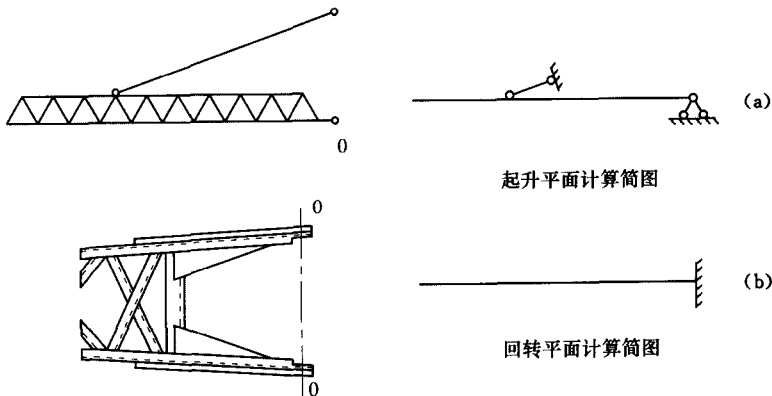


图 1-15

在对结构加约束时,还应该注意分析约束对结构所产生的反力特征。如载重汽车的车架中,与前车轮相连的前悬挂采用纵向滑轮式结构的钢板弹簧,见图 1-17(a),前车轮和钢板

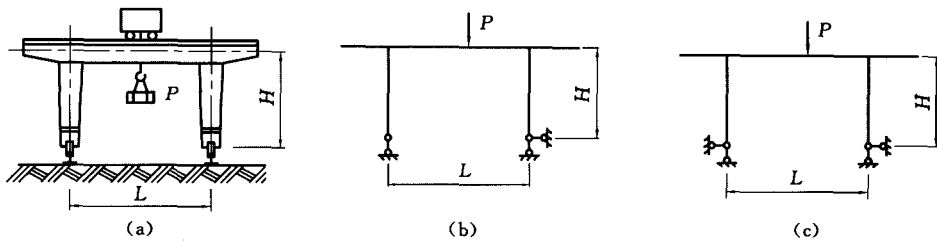


图 1-16

弹簧都表现为弹性元件。由于前悬挂的对称性, A 与 B 处所受垂直反力基本相等。在计算车架时, 若简单地如图 1-17(b) 所示在 A, B 两点加弹性支座, 这样, A 和 B 处的垂直反力不可能相等。这时, 可以如图 1-17(c) 所示加约束, 即前悬挂(钢板弹簧)用变截面梁来模拟, 轮胎则在垂直方向用弹性支座模拟, 纵向与横向可以用活动铰支座模拟。

另外, 在实际结构中, 由于钢板弹簧的前端为固定铰链, 后端可在支架内纵向移动, 所以图 1-17(c) 中, 模拟钢板弹簧的变截面梁在 A 和 B 两端的转动自由度均应释放, 同时在 B 端的轴向位移自由度也应释放。这样处理基本可以反映车架前端的支承情况。

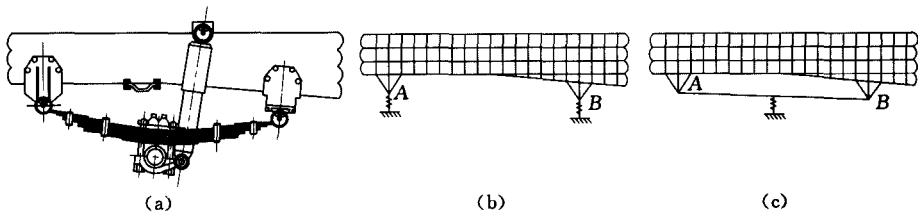


图 1-17

确定支承形式后, 一般可以直接沿相应的坐标轴方向加约束(包括弹性约束)。但是对与坐标轴不平行的斜支座和弹性斜支座, 则不能简单地用坐标轴方向的约束替代, 而应以等效杆单元来模拟。

(3) 载荷的简化

对机械与汽车结构进行分析时, 载荷通常是给定的。根据不同的计算工况确定载荷, 是保证分析计算结果反映工程结构实际情况的前提。

由于计算上的需要, 载荷可以按不同的方法分类。

根据载荷在结构上的分布情况, 可以分为以下两种:

1) 集中载荷 当外载荷作用在结构上的区域很小时, 可以认为这种载荷是集中载荷, 如龙门起重机的轮压、塔式起重机臂架上变幅小车的轮压、吊重, 挖掘机的挖掘阻力等。在载重汽车中, 发动机的重量也是以集中载荷的形式作用在车架上的。

2) 分布载荷 如果作用在结构上的载荷, 其位置是连续变化的, 即载荷作用在一定面积或一定长度上, 称其为分布载荷。当分布载荷的集度是均匀的, 则为均布载荷。结构的自重、风载荷、由质量引起的惯性力等, 通常都作为分布载荷。

根据载荷作用随时间变化的情况, 可以分为以下两类: