

精密仪器结构 设计基础

上册

竺培国 主编

内 容 提 要

本书结合函授教学的特点,比较全面、系统地阐述了精密仪器结构设计的基本知识。全书分下、上两册。

上册包括:静力学基础、常用工程材料、材料力学基础、机构的组成及平面连杆机构、摩擦轮传动和带传动、齿轮传动、螺旋传动、凸轮与间歇运动机构。

下册包括:轴与联轴器、支承、导轨、弹性元件、微动装置与限动装置、联接、示数装置、阻尼器与减震器、精密仪器结构设计的一般原则。

本书为函授大学精密仪器专业技术基础课教材,也可作为仪器仪表工程技术人员的自学教材,并可供大专院校有关专业师生参考。

精密仪器结构设计基础

上册

竺培国 主编

*

哈尔滨工业大学出版社出版
新华书店首都发行所发行
哈尔滨建筑工程学院附属印刷厂印刷

*

开本787×1092 1/16 印张18.5 字数423 000

1988年4月第1版 1988年4月第1次印刷

印数 1—3 000

ISBN 7-5603-0067-7/TH·4 定价3.05元

前 言

本书是为函授大学精密仪器及有关专业编写的技术基础课教材，也可作为仪器仪表工程技术人员的自学教材，还可供大专院校需要一定精密机械、精密仪器仪表结构设计知识的师生参考。

根据课程设置的要求，本书阐述了静力学基础、常用工程材料、材料力学基础，以及仪器仪表中常用零件、机构、组件的工作原理和理论计算。为便于读者更好地理解上述内容，书中各章均附有适量的例题和习题。

本书由哈尔滨工业大学竺培国主编，参加编写的有王丕增、徐国东、陈文贤、付继盈、蒋秀珍、魏淑梅、毛崑、吕晓明。全书由初允绵审阅。在本书的编写过程中，哈尔滨工业大学函授部李兆金、赵宇明同志给予了大力支持，编者对此表示感谢。

由于编者水平所限，疏漏之处在所难免，恳请读者指正。

编 者

1988年2月

目 录

上 册

第一章 结构设计的静力学基础

§ 1-1 静力学的基本概念	1
一、力与力系	1
二、刚体	2
三、平衡	2
四、静力学公理	2
五、力矩	3
六、力偶及力偶矩	4
七、约束及约束反力	5
八、物体的受力分析及受力图	7
§ 1-2 平面汇交力系的合成与平衡	9
一、平面汇交力系合成的几何法	9
二、平面汇交力系平衡的几何条件	10
三、三力平衡汇交定理	11
四、平面汇交力系合成的解析法	12
五、平面汇交力系的平衡方程	14
§ 1-3 平面力偶系的合成与平衡	17
一、力偶的等效性	17
二、平面力偶系的合成	18
三、平面力偶系的平衡	18
§ 1-4 平面一般力系的简化与平衡	20
一、力线平移定理	20
二、平面一般力系向一点简化	21
三、合力矩定理	22
四、平面一般力系的平衡方程	23
§ 1-5 空间力系	26
一、力在空间坐标轴上的投影	26
二、力对轴的矩	28
三、空间力系的平衡方程	30
§ 1-6 物体的重心和平衡的稳定性	34

一、重心的概念及其坐标公式	34
二、几种求重心位置的方法	36
三、物体平衡的稳定性	39
§ 1-7 摩擦	39
一、滑动摩擦	40
二、考虑摩擦时的平衡问题	42
习题	44

第二章 精密仪器中常用的材料及其工程性能

§ 2-1 金属材料的工程性能	53
一、金属零件的损坏形式及对零件的技术要求	53
二、金属材料的机械性能	54
§ 2-2 常用的金属材料	58
一、铸铁	58
二、碳素钢	58
三、合金钢	60
四、铜及铜合金	62
五、铝及铝合金	62
§ 2-3 金属材料的热处理与表面精饰	63
一、钢的热处理	63
二、金属零件的表面精饰	65
§ 2-4 塑料及矿物	66
一、塑料	66
二、矿物	68
§ 2-5 选择材料的基本原则	69
一、仪器与零件的工作条件和使用要求	69
二、零件的加工工艺	70
三、生产的经济性	70
习题	71

第三章 构件受力变形及其应力分析

§ 3-1 概述	72
一、强度与刚度的基本概念	72
二、构件受力和变形的种类	72
§ 3-2 直杆轴向拉伸与压缩	73
一、直杆轴向拉伸与压缩时的内力与应力	73

二、拉伸时的强度条件及其应用	75
§ 3-3 剪切	77
一、剪切作用的特点	77
二、剪切时的内力和应力	78
§ 3-4 圆轴扭转	80
一、圆轴扭转变形特征	80
二、圆轴扭转时的内力和应力	80
三、扭转强度条件及刚度条件	82
§ 3-5 梁的平面弯曲	84
一、平面弯曲的特点和梁的基本类型	84
二、弯曲时的内力	85
三、弯曲时的应力	87
四、弯曲强度条件及提高截面抗弯能力	89
五、弯曲刚度条件及提高刚度的一些措施	90
§ 3-6 复杂变形的强度计算	95
一、弯曲与拉伸或弯曲与压缩的联合作用	95
二、复杂应力状态的概念	96
三、扭转与弯曲的联合作用	99
习题	105

第四章 机构的组成及平面连杆机构

§ 4-1 机构的基本概念	112
一、零件、构件和机构	112
二、运动副及其分类	113
三、运动链	115
四、机构运动简图	115
§ 4-2 平面机构的自由度	116
一、构件的自由度	116
二、平面机构自由度的计算	117
三、机构具有确定运动的条件	117
四、计算平面机构自由度应注意的几个问题	119
§ 4-3 连杆机构的分类及应用	121
一、四连杆机构的基本型式及其应用	122
二、四连杆机构的派生型式及其应用	126
三、连杆机构的简化	128
§ 4-4 四连杆机构的某些特性	130
一、压力角和传动角	130

二、死点	131
三、急回特性	132
§ 4-5 四连杆机构的传动特性	133
一、铰链四连杆机构的传动特性	133
二、曲柄滑块机构的传动特性	135
三、正弦机构和正切机构的传动特性	138
§ 4-6 线性连杆机构的设计	139
一、线性铰链四连杆机构	139
二、线性曲柄滑块机构的设计	140
三、线性正弦机构和正切机构的设计	141
四、减小正弦机构和正切机构原理误差的措施	142
五、杆长的调整结构	146
§ 4-7 四连杆机构的作图法设计	147
一、按给定连杆的位置设计铰链杆机构	147
二、按给定的急回特性系数 K 设计铰链四连杆机构	148
三、按给定两连架杆的对应位置设计铰链四连杆机构	149
§ 4-8 拨杆机构	152
习题	153

第五章 摩擦轮传动和带传动

§ 5-1 摩擦轮传动的特点、类型及应用	157
§ 5-2 定传动比的摩擦轮传动	159
一、摩擦轮传动的基本知识	159
二、圆柱摩擦轮传动的计算	160
三、圆锥摩擦轮传动	161
§ 5-3 摩擦无级变速器	162
一、无级变速	162
二、摩擦无级变速器的计算	163
§ 5-4 带传动的类型、特点及应用	165
一、皮带传动	165
二、绳传动	166
三、弹簧带传动	166
四、钢带传动	167
五、齿形带传动	168
§ 5-5 皮带传动	169
一、皮带传动的基本知识	169
二、三角皮带传动的设计	172

§ 5-6 齿形带传动的设计	179
一、齿形带的主要参数和规格	179
二、齿形带轮的结构和尺寸	180
三、齿形带传动的设计步骤	182
习题	186

第六章 齿轮传动

§ 6-1 概述	188
§ 6-2 齿廓啮合的基本定律	189
§ 6-3 渐开线齿形和渐开线齿轮传动特点	190
一、渐开线及其性质	190
二、渐开线齿轮能符合齿廓啮合基本定律	191
§ 6-4 齿轮各部分名称、符号及标准渐开线圆柱齿轮的几何尺寸计算	192
一、齿轮各部分名称及其符号	192
二、齿轮的基本啮合参数	193
三、渐开线标准圆柱齿轮几何尺寸关系	195
§ 6-5 渐开线齿轮连续正确啮合条件	196
§ 6-6 齿轮加工原理和根切现象	198
一、成型法	198
二、范成法	199
三、根切现象	200
§ 6-7 变位齿轮	202
一、什么是变位齿轮	202
二、变位齿轮的形成和特点	202
三、变位系数 x 的选择	204
四、变位齿轮传动的分类及其应用	205
§ 6-8 斜齿圆柱齿轮传动	211
一、斜齿圆柱齿轮的形成及传动特点	211
二、斜齿圆柱齿轮几何尺寸计算	212
§ 6-9 圆锥齿轮传动	213
一、圆锥齿轮传动原理	213
二、直齿圆锥齿轮几何尺寸的计算	214
§ 6-10 蜗杆传动	215
一、蜗杆传动原理和特点	215
二、蜗杆传动的主要参数和尺寸计算	216
§ 6-11 轮系	219
一、定轴轮系传动比计算	221

二、周转轮系传动比计算	224
三、混合轮系传动比计算	226
§ 6-12 精密齿轮传动设计	227
一、齿轮传动啮合型式的选择	228
二、齿轮传动各级传动比的分配	229
三、模数 m 、齿数 z 的确定	234
四、齿轮传动的结构分析	235
五、齿轮传动的误差分析	239
习题	241

第七章 螺旋传动

§ 7-1 螺旋传动的特点、类型及参数	245
一、特点	245
二、螺旋传动的类型和型式以及应用实例	245
三、螺旋传动的主要参数	248
§ 7-2 影响螺旋传动精度的因素及提高传动精度的措施	250
一、螺纹参数的误差	250
二、支承及导向件对螺旋传动精度的影响	250
三、提高螺旋传动精度的方法	251
四、螺旋传动的空回及其消除措施	252
§ 7-3 滚动螺旋传动简介	254
一、滚动螺旋的特点	254
二、滚动螺旋传动的结构型式	254
三、消除轴向间隙的调整方法	255
§ 7-4 螺旋传动机构的常用材料	256
习题	257

第八章 凸轮与间歇运动机构

§ 8-1 凸轮机构	259
一、概述	259
二、从动件常用运动规律	261
§ 8-2 凸轮轮廓设计	265
一、图解法设计凸轮轮廓	265
二、分析法设计凸轮轮廓	268
§ 8-3 凸轮设计中的几个问题	270
一、凸轮机构的压力角和基圆半径的确定	270

二、滚子半径的确定	272
三、凸轮与从动件的材料	272
§ 8-4 间歇运动机构	274
一、棘轮机构	277
二、槽轮机构	280
§ 8-5 凸轮间歇运动机构	280
一、凸轮间歇运动机构的工作原理、类型及应用	281
二、凸轮间歇运动机构的设计	281
习题	282

第一章 结构设计的静力学基础

§ 1-1 静力学的基本概念

一、力与力系

力是人们经过长期观察和实践总结出的一个抽象的概念。例如用手推车，手对车有推力作用，使车由静止开始运动，改变了原来的静止状态；月球受地球的引力作用，不断改变运动方向而绕地球运转；用手拉伸弹簧，弹簧会产生拉伸变形，等等。上述变化都是由物体间的力的相互作用产生的，这种力的作用通常称为机械作用。

力使物体运动状态发生变化的效应称为力的外效应，力使物体产生变形的效应称为力的内效应。静力学只研究力的外效应，而材料力学则研究力的内效应。

实践表明，力对物体的作用效果（效应）是由力的大小、方向和作用点决定的，简称力的三要素。其中任何一个因素的改变都会导致作用效果的改变。以推车为例（图 1-1），如果给车一个足够大的推力，车就会由静止开始运动，推车的力越大，车速增加越快，这说明力的大小不同，所产生的运动变化也不同。如果把作用力由推力变成拉力，车就会后退，这说明作用力的方向不同，物体运动的方向也会发生变化。以上是当力作用在 A 点时，车沿直线运动的情况。如果把力的作用点改在 B 点，车就会发生转弯。可见力的大小、方向和作用点都直接影响力的作用效果。

由于力有大小和方向，即力是矢量，所以可用有向线段把力的三要素表示出来。线段的长短按选定的比例（即每单位长度代表多少牛顿）表示力的大小，箭头的指向表示力的方向，箭尾或箭头端表示力的作用点。与表示力的线段重合的直线叫做力的作用线。图 1-1 所示的有向线段 $\vec{A'A}$ 表示推力的矢量，简称为力矢。本书用 F 表示力矢，用 F 表示力矢的大小（模）。如图 1-1 中， $F = 80\text{N}$ 。

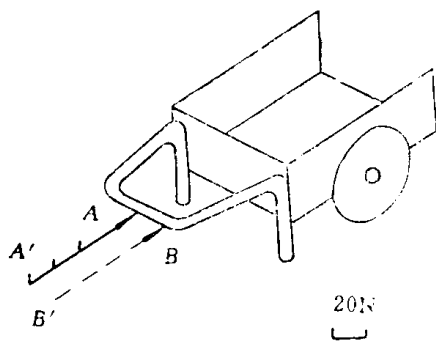


图 1-1 手推车

一个物体所受的力往往不止一个。同时作用在同一物体上的许多力称为力系。力系可以按各力作用线的分布情况来分类。各力的作用线均在同一平面内的力系称为平面力系，否则称为空间力系。

在平面力系中，各力的作用线均通过一点时，此力系称为平面汇交力系；各力的作用线互相平行时，此力系称为平面平行力系；不具备上述条件的平面力系称为平面一般力系；平面汇交力系和平面平行力系可以看成是平面一般力系的特殊情况。作用于物体上的力系如果可以用另一适当的力系来代替，而不改变作用效果，那么这两个力系互

称等效力系。

二、刚体

前面讲过，力对物体的作用效果除了使物体的运动状态发生变化外，还使物体产生变形。在正常的情况下，工程上用的机械零件和结构构件都有足够抵抗变形的能力，在允许力的作用下产生的变形是微小的。这种微小的变形对力的作用效果的影响是极小的，因此可以忽略不计。这样就可以把物体看成是不变形的刚体。刚体是在受力情况下保持形状和大小不变的物体。这一抽象概念不仅是解决实际工程问题所允许的，而且是认识和研究力学规律所必须的。然而当所研究的对象主要是变形的时候（例如在材料力学中），就不再把物体视为刚体了。

三、平衡

在工程上物体相对于地球处于静止或作匀速直运动的状态称为平衡状态。平衡是物体机械运动的一种特殊形式。应该注意，绝对平衡和绝对静止是不存在的，工程上所指的物体平衡一般是相对于地球而言的。

如果物体在力系的作用下处于平衡状态，那么这种力系称为平衡力系。满足力系平衡的条件称为平衡条件。

四、静力学公理

静力学以下述公理为基础：

公理 1（二力平衡公理）作用于刚体上的二力平衡的必要和充分条件是，此二力大小相等，方向相反，且沿同一直线（图1-2）。

二力平衡公理确定了最简单的平衡力系，它只适用于刚体，是论证刚体平衡条件的基础。

公理 2（加减平衡力系公理）在作用于刚体的任意力系上，加上或减去任一平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用效果。

显而易见，这个公理是简化力系的依据，因为平衡力系对刚体的平衡或运动状态没有影响。应用公理 2 可以推论出作用于刚体上的力的一个重要性质——力的可传性。

推论：作用于刚体上某点的力，可以沿其作用线移至刚体上任意一点，而不改变它对刚体的作用效果。

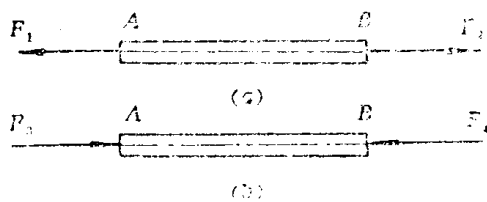


图 1-2 力的平衡

证明 设力 F 作用于刚体 A 点（图1-3），沿该力作用线任取一点 B ，在 B 点加上一对平衡力系 \vec{F}_1 和 \vec{F}_2 ，且使 $|F_1| = |F_2| = F$ ，方向如图1-3b所示，则 F_2 和 F 也形成一对平衡力系，根据加减平衡力系的原理，可将它们去掉，而不改变原来的

运动状态。于是只剩下 F_1 （图1-3c），它的大小和方向与 F 完全相同。这样就相当于力 F 自点 A 沿其作用线移至点 B 。

根据力的可传性，对于刚体来说，力的三要素可改变为大小、方向、作用线。这样，力矢可从它的作用线上任一点画出。

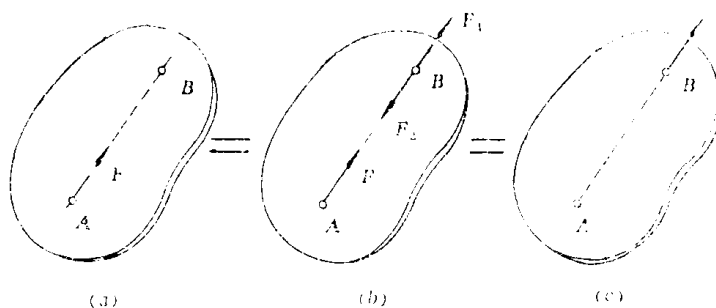


图 1-3 力的移动

公理 3（力的平行四边形公理）作用于物体上同一点的两个力，可以合成一个合力。合力的作用点仍在该点，合力的大小和方向以这两个力为边所做的平行四边形的对角线来表示（图1-4）。

由力的平行四边形公理可以看出，将两个力相加时，不能简单地求算术和，而是要用平行四边形公理求几何和，即矢量和，这种力的合成方法，称为矢量加法，可用下式表示

$$\vec{R} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (1-1)$$

公理 4（作用与反作用公理）两物体间相互作用的力总是大小相等，方向相反，沿同一条作用线，并分别作用在这两个物体上。

此公理表明，力总是成对出现的。有作用力，必定有反作用力。两者同时存在，同时消失。

值得注意的是，作用力与反作用力虽然大小相等，方向相反，沿同一条作用线，但并不作用在同一物体上。因此，不能错误地认为这两个力互相平衡。这与二力平衡条件有本质的区别。

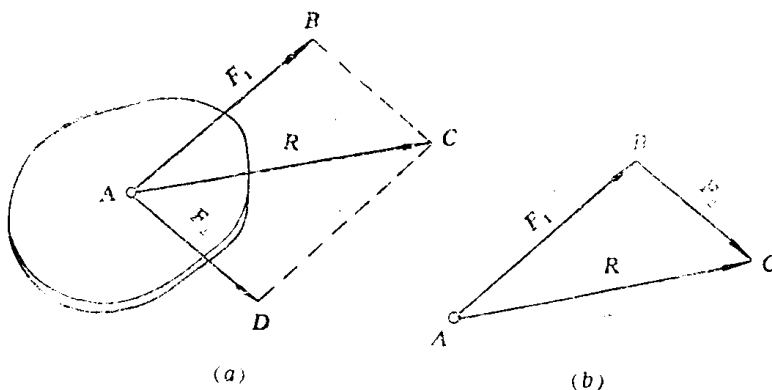


图 1-4 力的合成

五、力 矩

在一般情况下，力对物体的作用效应除了使物体产生移动外，还能使物体产生转动。度量力的转动效应要用到一个新的概念——力矩。

用扳手拧螺母时(图1-5),作用于扳手一端的力 F 使扳手绕 O 点转动的效应,不仅与力 F 的大小成正比,而且与 O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 成正比。因此在力学上以 $F \cdot d$ 乘积作为度量力 F 使物体绕 O 点的转动的效应, $F \cdot d$ 为力 F 对点 O 之矩,简称为矩。以 $m_o(F)$ 表示,即

$$m_o(F) = \pm Fd \quad (1-2)$$

O 点为力矩中心,简称矩心; O 点到力 F 作用线的垂直距离 d 称为力臂。通常规定:力使物体绕矩心作逆时针方向转动时,力矩为正;反之为负。

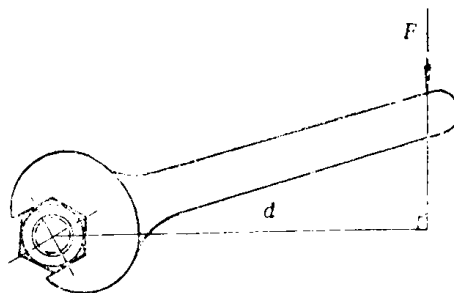


图 1-5

由上式可知,当力 F 的作用线通过矩心时 ($d = 0$), 力矩等于零,不能对物体产生转动效应。

利用静力学公理对力矩的概念进行分析,可以得到如下性质:

- 1) 相同的力矩使物体产生的转动效应相同;如果转动效应相同,则力臂越长越省力。
- 2) 力沿其作用线移动,对一固定点的力矩值不变。
- 3) 互相平衡的两个力,对同一点的力矩之和等于零。

六、力偶及力偶矩

在生产实践中,常会遇到物体上同时受到两个大小相等,方向相反,作用线不重合的平行力的作用。例如汽车司机旋转方向盘时,两手作用在方向盘上的两个力 F 和 F'

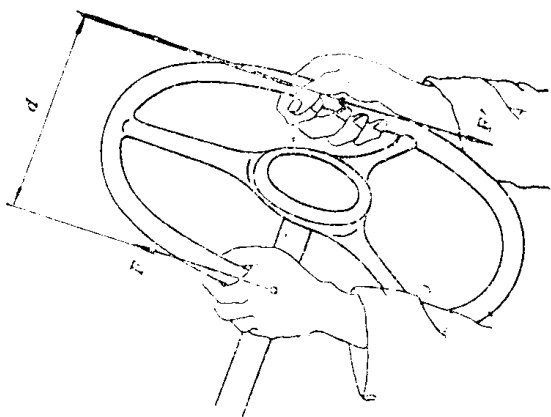


图 1-3 力偶

(图1-6),在这两个力的作用下,物体产生转动。我们将大小相等,方向相反,作用线不重合的两个力称为力偶,以 (F, F') 表示。力偶中二力所在的平面称为力偶作用面。二力之间的垂直距离 d 称为力偶臂。

物体在力偶作用下的转动效应用力偶矩来度量。实践表明,力偶中力 F 越大,力偶臂 d 越长,物体转动效果就越显著。为区别力偶在作用面内的两种不同转向,与力矩类似,平面力偶矩也用代数量来表示,常用符号 m 表示,则

$$m = \pm F \cdot d \quad (1-3)$$

即力偶的力偶矩等于力偶中一个力与力臂的乘积,式中正负号的规定与前相同。力偶矩的单位与力矩的单位相同。

由力偶的定义可知,力偶没有合力,因为它在其作用面内任一坐标轴上的投影的代数和等于零。因此,力偶不能用一个力来代替,也不能用一个力来平衡。力偶只能用力

偶来平衡。

七、约束及约束反力

能在空间任意运动的物体称为自由体。例如飞机、宇宙飞船等能在空中向任何方向运动。受到其他物体的限制而在某些方向上不能运动的物体称为非自由体。例如在轨道上行驶的火车，受到钢轨的限制，只能沿轨道方向运动。凡是限制物体某些运动的条件，统称为约束，而这些限制条件是由被约束物体周围的其他物体造成的。

由于约束阻碍着物体的运动，所以物体在其运动受阻碍的方向上对约束产生作用力，根据作用力与反作用力公理，约束对被约束的物体产生反作用力，称为约束反力。促使物体产生运动的力称为主动力。约束反力的大小和方向取决于主动力的作用情况和约束的形式。约束反力的方向总是和约束所阻碍的运动方向相反。

工程中的约束是复杂多样的。下面把各种各样的实际约束形式加以简化、分类，并逐类分析其反力特点。

1. 理想光滑面约束

如果物体接触面之间的摩擦力远小于物体所受的其他力，则摩擦力可以略去不计而认为接触面是光滑的。光滑接触面的约束反力的方向必然是沿接触面的公法线方向。例如，齿轮啮合时齿面之间的约束（图1-7），在不计摩擦情况下，属于光滑面约束，其约束反力沿法线方向指向物体。

2. 柔性约束

绳索、皮带和链条等柔软物体叫做柔体。柔体所提供的约束叫做柔性约束。由于柔性约束只能限制物体沿柔索伸长方向的运动，所以柔性约束的约束反力的方向一定是沿柔索方向，并且只能是拉力。例如一个被铝链吊着的日光灯（图1-8）， G 是日光灯管的重力，根据柔性约束反力的特点，可以确定铝链给日光灯管的拉力一定是 T_A 、 T_B 。

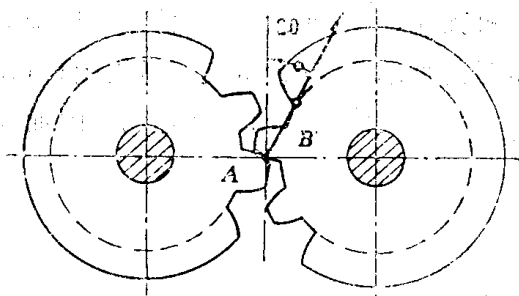


图 1-7 齿面的约束反力

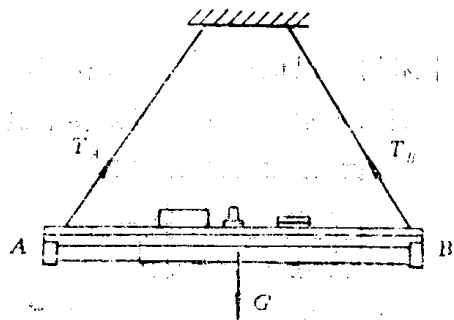


图 1-8

3. 光滑铰链约束

光滑铰链约束在工程实践中极为常见，它主要有以下几种型式：

1) 固定铰链支座

固定铰链支座由底座、被连接构件和销钉三个主要部分构成（图1-9a）。这种支座的连接情况是将销钉插入被联接构件和底座上相应的销孔中，用螺钉将底座固定在其它基

础或机架上。于是，在垂直于销钉轴线的平面内，被联接构件只能绕销钉的轴线转动而不能任意移动（图1-9b）。当以被联接构件作为研究对象并受有一定的载荷作用时，其上的销孔壁便紧压在销钉的某处，于是销钉便通过接触点给研究对象一个反作用力 R （图1-9c）。根据光滑接触面约束的特点可知，这个约束反力应沿圆柱面接触点的公法线并通过铰链中心。若研究对象所受载荷不同，则销孔与销钉接触点的位置不同，即反力的方向不同。因而，固定铰链支座的约束反力的作用线必定通过销钉中心，但方向需要根据研究对象的受载情况确定。

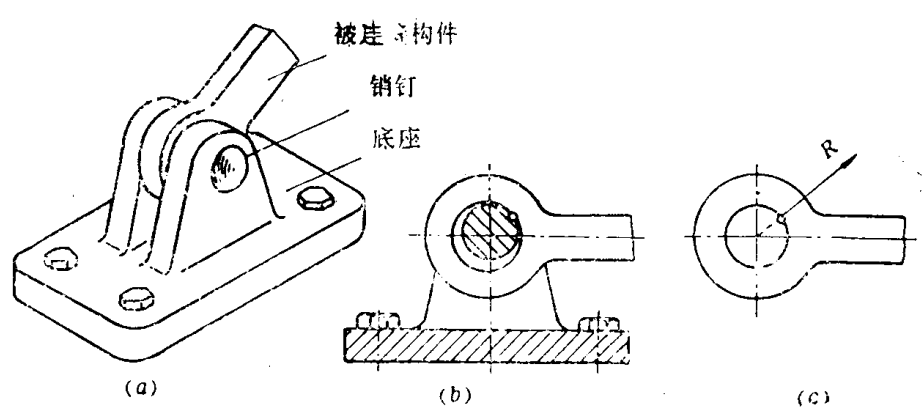


图 1-9 固定铰链

工程上，固定铰链支座常用图 1-10a 所示的简图表示。通过销钉中心而方向待定的约束反力，常用两个互相垂直的分力 R_x 、 R_y ，表示（图1-10b）。可以假定两分力的指向，通过计算判定其是否正确。

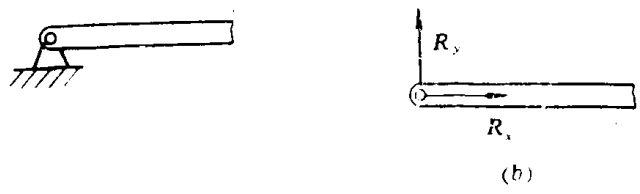


图 1-10 铰链简图

2) 活动铰链支座

如果固定铰链支座中的底座不用螺钉与固定基础相固联，而改用滚子与支承面相接触（图1-11a），便形成了活动铰链支座。这种支座常在桥梁、屋架等

结构中采用，以保证在温度变化时，允许结构作微小的伸缩。活动铰链支座常用图1-11b所示的简图表示。这种支座能够限制被联接构件沿支承面的法线方向上下运动，因而在

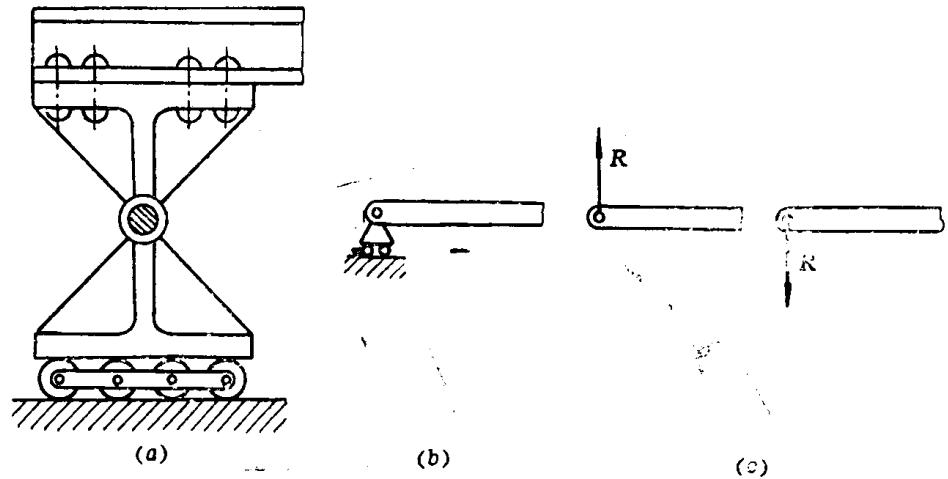


图 1-11 活动铰链约束反力

不计接触面间摩擦的情况下，活动铰链支座的约束反力的作用线必通过销钉的中心，并且垂直于支承面，其指向随受载情况有两种可能（图1-11c）。

4. 固定端约束

这种约束形式在工程上应用比较广泛。例如钉在墙上的钉子，固定在刀架上的车刀等。由于固定端的约束既能限制被约束物体沿任何方向移动，又能限制物体在某个平面内的转动，所以它不但对物体产生一个约束反力 R_A ，还能产生一个约束反力偶 m （图1-12），反力的方向和反力偶的方向要视主动力的情况而定，常用的方法是将反力分解为一对互相垂直的分力 R_{Ax} 、 R_{Ay} 。

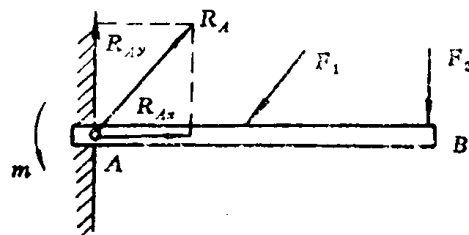


图 1-12 固定端约束

八、物体的受力分析及受力图

静力学的任务之一是研究刚体在力系作用下处于平衡的条件。在考虑物体平衡时，首先应弄清两个问题：1) 哪一个物体是研究的对象；2) 研究对象上受到哪些力的作用。我们把第一个问题称为取研究对象，第二个问题称为对研究对象的受力分析。在对非自由体进行受力分析时，必须先将所研究的对象从其周围的物体中分离出来，并将所受的约束除去并代之以相应的约束反力，使物体成为在主动力与约束反力共同作用下的自由体。这种表示分离出来的物体及其所受外力的图称为受力图。

正确地进行受力分析并作出受力图，是解决力学问题的前提和关键，如果受力图画得不正确，进一步的分析和计算就无法正确进行，结果也必然是错误的。画受力图时需要注意以下几点：

- 1) 除重力等主动力外，物体之间只有在彼此之间的接触点处，才有力的相互作用。
- 2) 约束反力应画在解除约束的地方，并且必须根据约束的类型画约束反力，而不要单凭主动力推测。
- 3) 若约束是二力构件，则其约束反力沿二力构件两个受力点的连线，不是压力就是拉力，通常是可以判断出来的。
- 4) 作物体系整体的受力图时，各物体之间相互作用的力则变成内力，不必画出。
- 5) 物体系中各物体之间的作用力与反作用力，其中一个力的方向一经确定（或假定），则另一个力的方向必与其相反，不必再另行假定。

例1-1 重量为 G 的均质圆球 O ，由杆 AB 、绳索 BC 与墙壁支持（图1-13），如果各处摩擦与杆重不计，试分别画出球 O 和杆 AB 的受力图。

解： 1) 选球 O 为研究对象

画受力图。先画主动力 G ；由于 DE 处为光滑面约束，画上杆对球的约束反力 N_D 及墙壁对球的约束反力 N_E ，其受力图如图1-13b所示。

2) 以 AB 杆为研究对象

画受力图。 A 处为固定铰链支座约束，其约束反力方向不定，用相互垂直的两个分