

技工学校教改教材

机械基础

四川省机械工业厅宣传教育处
四川省劳动人事厅技校教研室

编



四川科学技术出版社

责任编辑: 解励诚
封面设计: 李 勤
技术设计: 解励诚

技工学校教改教材

机械基础

四川省机械工业厅宣传教育处 编
四川省劳动人事厅技校教研室

四川科学技术出版社出版发行

(成都盐道街三号)

四川省安岳县印刷厂印刷

ISBN 7-5364-0749-1/TH·22(课)

1988年12月第1版 开本 787×1092毫米 1/16

1989年5月第2次印刷 字数 365千

印数 10001—13000册 印张 15

定 价: 4.40元

前 言

根据《中共中央关于教育体制改革的决定》和《技工学校工作条例》精神，为了适应技工学校教学改革的需要，提高教学质量，实现培养目标。我们组织编写了技工学校教改教材：《语文》、《思想品德修养》、《数学》、《化学》、《体育》、《工厂管理》、《机械制图》、《机械制图习题集》、《机械基础》、《电工基础》、《公差配合与测量》、《金属工艺学》、《车工工艺学》、《钳工工艺学》、《焊工工艺学》、《铸工工艺学》、《钳工》（生产实习）、《车工》（生产实习）。

这套教改教材是在总结几年来我省技校教学改革经验和充分调查研究的基础上组织编写的。它紧扣技工学校培养目标，以加强生产实习教学为“龙头”，以中级技术工人应知应会为主要依据，对课程设置和教学内容进行了改革。编写中贯彻了由浅入深，循序渐进原则。力求切合我省技工学校教改和学生实际，切合企业生产实际。在使学生掌握中级技工所需的基础知识和操作技能的同时，更好地发展智力，提高分析问题和解决问题的能力上也作了一定的探索。因此，这套教改教材在教学思想，教材体系，教学内容，举例、练习等方面都有一定的突破，具有较强的适应性、实用性和针对性。

这套教改教材适用于各级各类技工学校机械类工种（专业）。也可作为机械类工种工人中级技术培训教材。其中《语文》、《思想品德修养》、《数学》、《化学》、《体育》、《工厂管理》适用于所有技工学校。

由于技工学校教学改革正逐步深化，加之编写时间短促，这套教材的缺点或错误在所难免，请批评指正。

四川省机械工业厅宣传教育处
四川省劳动人事厅技校教研室

1988年4月

编者说明

本书由四川省机械工业厅宣传教育处和四川省劳动人事厅技校教研室联合组织编写。

全书共十三章：第一章力学常识；第二章常用机构；第三章摩擦传动；第四章螺纹联接和螺旋传动；第五章啮合传动；第六章轴系零件；第七章轮系；第八章润滑；第九章液压传动基本概念；第十章液压泵和液压马达；第十一章液压缸和液压辅件；第十二章液压控制阀和液压基本回路；第十三章机床液压系统实例。其中第一章由亓桂林编写、第三章由亓桂林、钱海贤编写；第二章、第七章、第八章由杨成林编写；第四章由钱海贤编写；第五章由闵德云编写；第六章由张大可编写；第九、十、十一、十二、十三章由隋学成编写。

全书由隋学成担任主编。亓桂林担任主审，参加审稿的有张大可、闵德云。

全书预计授课时数180学时。

机械基础是研究机构和机器的入门学科，它是机械类各通用工种技术基础课。内容包括：力学常识、常用机构、常用机械传动、典型零件的计算及液压传动等。通过本课程的学习，可以了解和掌握常用机构和典型构件的结构、性能、标准、工作原理、受力分析方法、简单的强度计算以及液压传动知识，为学生掌握实习操作技术、产品加工技术及今后技术理论的自我提高打下基础。

本书特点：

1) 将工程力学纳入本书，除力学常识部分相对独立外，理论力学、材料力学的大部分内容都穿插到机构、机械传动各章中，并与之紧密揉合。如：运动学穿插到机构，摩擦穿插到摩擦传动，拉压强度计算穿插到螺纹联接，剪切挤压穿插到键销联接、扭转与弯曲穿插到轴系零件等各章中。使学生学了就能解决实际问题。

2) 强调实用性，用什么就写什么。如实习操作需掌握带传动知识，就将摩擦概念写入该章。

3) 试图在写法上有所创新，如写平面力系时，采用从一般到特殊的逆过程成书手法，将液压控制阀与液压基本回路揉合，使知识融汇贯通。

4) 本书内容涉及面虽宽，但章节较少。删去了偏深偏难部分，显得简明扼要。

目 录

第一章 力学常识	1
§ 1—1 力 力矩 力偶.....	1
§ 1—2 受力图 约束和约束反力.....	8
§ 1—3 平面力系.....	13
§ 1—4 强度 刚度.....	22
§ 1—5 有关其它几个力学概念.....	34
习 题.....	36
第二章 常用机构	44
§ 2—1 机构概述.....	44
§ 2—2 构件运动基础知识.....	46
§ 2—3 平面连杆机构.....	51
§ 2—4 凸轮机构.....	57
§ 2—5 间歇运动机构.....	61
习 题.....	64
第三章 摩擦传动	67
§ 3—1 摩擦概念.....	67
§ 3—2 摩擦轮传动.....	71
§ 3—3 带传动.....	73
习 题.....	82
第四章 螺纹联接和螺旋传动	84
§ 4—1 螺纹的种类及应用.....	84
§ 4—2 螺纹联接及强度计算.....	87
§ 4—3 常用螺旋传动.....	94
习 题.....	96
第五章 啮合传动	97
§ 5—1 齿轮传动概述.....	97
§ 5—2 渐开线齿形.....	99
§ 5—3 直齿圆柱齿轮.....	101
§ 5—4 齿轮加工及变位齿轮简介.....	107
§ 5—5 斜齿圆柱齿轮.....	110
§ 5—6 直齿圆锥齿轮.....	113
§ 5—7 蜗杆传动.....	115
§ 5—8 齿轮传动的受力分析.....	119
§ 5—9 轮齿的失效形式.....	122
§ 5—10 链传动.....	124
习 题.....	127
第六章 轴系零件	129

§ 6—1	键销及其联接	129
§ 6—2	扭转与弯曲	138
§ 6—3	轴	141
§ 6—4	轴承	146
§ 6—5	联轴器、离合器及制动器	155
§ 6—6	回转零件的平衡	160
习 题		162
第七章	轮系	164
§ 7—1	轮系的分类与功用	164
§ 7—2	定轴轮系的计算	167
习 题		170
第八章	润滑	172
§ 8—1	润滑剂	172
§ 8—2	润滑方法与装置	173
§ 8—3	设备的润滑工作	175
习 题		175
第九章	液压传动基本概念	176
§ 9—1	液压传动原理及液压系统的组成	176
§ 9—2	压力和流量	178
§ 9—3	液压传动损失及功率计算	181
习 题		183
第十章	液压泵和液压马达	184
§ 10—1	液压泵的工作原理	184
§ 10—2	齿轮泵的结构和工作原理	185
§ 10—3	叶片泵和叶片液压马达	186
§ 10—4	柱塞泵	188
§ 10—5	液压泵的选择	189
习 题		189
第十一章	液压缸和液压辅件	190
§ 11—1	液压缸	190
§ 11—2	液压油及液压辅件	193
习 题		197
第十二章	液压控制阀及液压基本回路	198
§ 12—1	方向阀及其在回路中的应用	198
§ 12—2	压力阀及其在回路中的应用	203
§ 12—3	流量阀及其在回路中的应用	209
习 题		214
第十三章	机床液压系统实例	217
§ 13—1	多缸顺序专用铣床的液压系统	217
§ 13—2	C7620型卡盘多刀半自动车床液压系统	218
§ 13—3	液压系统常见故障与排除方法	220
附 录		222

第一章 力学常识

§ 1—1 力 力矩 力偶

一、力

1. 力的概念

力的概念是人们在长期的生活和生产实践中逐步形成的。例如用手推小车，由于手臂肌肉紧张而感觉到用了“力”，小车受到“力”也由静止开始运动；用汽锤锻打工件，工件受锻锤打击力作用而发生变形，等等。人们就是从大量的实践中，由感性认识上升到理性认识，形成了力的科学概念，即：力是物体间的相互机械作用，这种作用的效果是使物体的运动状态发生变化，或者使物体发生变形。因此，力不能脱离实际物体而存在。

由经验可知，力对物体的作用效果，决定于力的大小、方向和作用点三个要素。这三个要素中有任何一个改变时，力的作用效果也随之改变。例如，用扳手拧螺母时（图 1—1），作用在扳手上的力因大小、方向、作用点各不相同，产生效果就不一样。

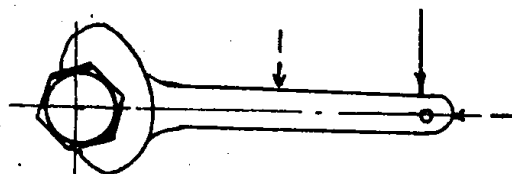


图 1—1 力的三要素

在国际单位制中，力的单位用牛顿，或千牛顿，简称为牛（N），或千牛（KN）。两者关系为： $1\text{ KN}=1000\text{ N}$ 。工程中，目前有的仍沿用工程单位制，以公斤力（kgf）或吨力（tf）。其换算关系为： $1\text{ 公斤力（kgf）}=9.8\text{ 牛顿（N）}$ 。

力是一个既有大小又有方向的量，所以力是矢量。它可用有向线段来表示，见图 1—2。线段的长度（按一定的比例尺）表示力的大小（图中F力的大小有 4 个单位长度，每个单位长度表示 10(N)，即F为 40(N)）；线段的方位和箭头的指向表示力的方向；线段的起点（或终点）表示力的作用点。过力的作用点沿力的矢量方位的直线，称为力的作用线。

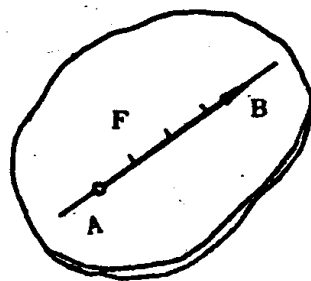


图 1—2 力的图示法

矢量通常用黑字体（例F）表示，手写时也可以在字母上加上一横线（例 $\vec{F}$ ）表示。但为了方便，一般情况下当矢量已在图上表示出它的方向时，只用字母来表示这个矢量。

2. 平衡 刚体 力系的概念

物体的平衡状态，是指物体相对于周围物体保持静止或作匀速直线运动。例如相对于地面静止的建筑物，匀速直线前进的矿车等等。平衡是相对的，某物体的平衡，必须指明它是相对周围哪一物体而言。至于静止，一般是指相对地球而言。

刚体，是指在力的作用下不会发生变形的物体。显然这是一种抽象化的模型，事实上任何物体在力的作用下都将发生不同程度的变形，只是有些工程构件变形极其微小，这种微小的变形对研究问题影响很小，因而可以忽略不计，使研究分析问题大为简化。

如果研究问题中，物体的变形成为主要因素时，就不能再将物体看成刚体。

力系，是指作用于同一物体上的一群力。

平衡力系，是指物体在力系作用下，处于平衡状态的力系。

3. 静力学公理

人们通过长期的生活和生产实践，不仅建立了力的概念，而且还认识了力的各种性质。这些性质反映了力所遵循的客观规律，其中最基本规律可总结为以下四条：

(1) 两力平衡公理 刚体受两力的作用处于平衡的必要和充分条件是：两力大小相等，方向相反，作用在同一直线上。

见图 1—3 吊钩吊住一重物 A。若重物 A 在重力 G 及绳子拉力 T 的作用下保持静止，即处于平衡状态，那末， T 及 G 必须是大小相等、方向相反，且作用在同一直线上。

只受两力作用而处于平衡的构件称二力构件。当构件的形状为杆状时，则称二力杆件。由两力平衡公理可知，二力杆件的受力特点是，所受的两力必定沿着作用点的连线，其大小相等，方向相反。如图 1—4 中的 BD 杆就是二力杆件。



图 1—3 二力平衡

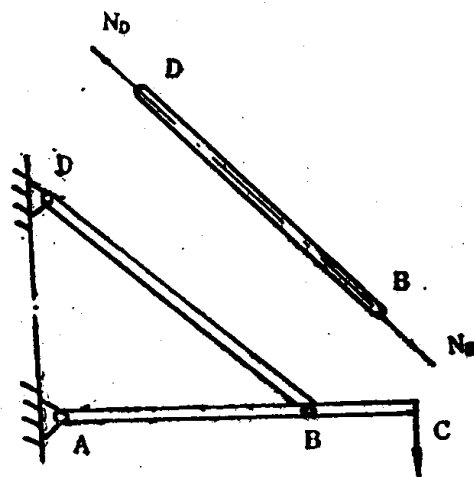


图 1—4 二力杆件

对于象绳索一类的柔性体，只有在受拉的情况下，才有可能应用两力平衡公理。

(2) 加减平衡力系公理 在已知力系上加上或减去任意一个平衡力系，并不改变原力系对刚体的作用。

应用两力平衡条件和加减平衡力系公理，可以得到下列推论。

力的可传性原理：作用在刚体上的力可沿其作用线移动到刚体上任意一点，而不改变此力对刚体的作用。

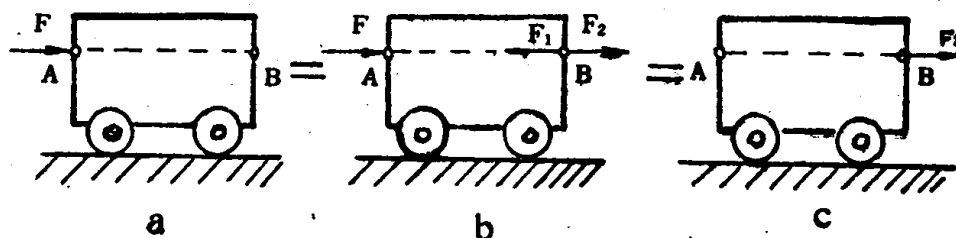


图 1—5 力的可传性

证明：已知小车在A点受推力F的作用，见图1—5a；在F力作用线上的任一点B，沿F作用线加上一对平衡力 F_1 、 F_2 ，并使它们的大小与F力的大小相等，见图1—5b；再从图1—5b中除去一对平衡力 F_1 和F，见图1—5c；显然，这三种情况都是等效的。这就将原来作用在A点上的力，沿着作用线移到了B点。经验也告诉我们，在A点推车与在B点拉车两者作用效果是一致的。

(3) 力的平行四边形公理 作用于物体上同一点的两个力，可以合成为一个合力。合力作用点仍在该点，大小和方向是以这两个力为边所作平行四边形的对角线来表示的。

见图1—6a，合力R就是 F_1 和 F_2 两力的合力，用矢量等式表示即

$$R = F_1 + F_2$$

(1—1)

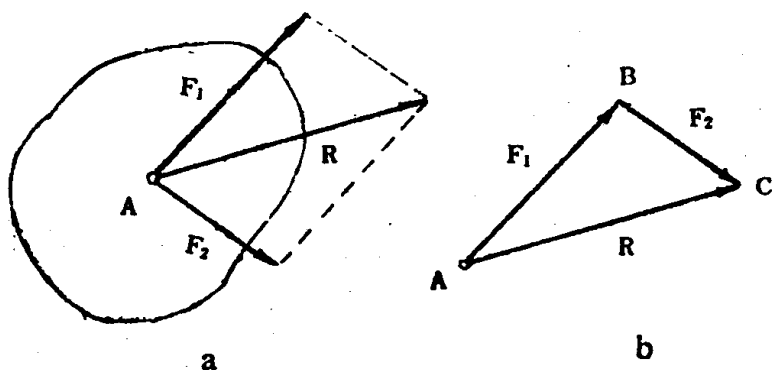


图1—6 二力合成

求合力R时，也可以只作出力的平行四边形的一半，见图1—6b，即从 F_1 的终点B作力 F_2 ，再连接AC两点即得合力R，由此而构成的三角形ABC称为力三角形。

力的分解是力合成的相反问题，也可根据平行四边形公理来解决，要使一个力分解成仅有一对确定的结果，一般是已知两分力方向，或者知道其中一个分力的大小和方向。

求力的合成和分解的常用方法有：图解法和计算法。

例1—1 轴承A受到水平力 $P_1=500$ (N)，铅垂力 $P_2=300$ (N)，为了选择恰当的轴承，需要求出轴承A受到的合力R (图1—7a)。

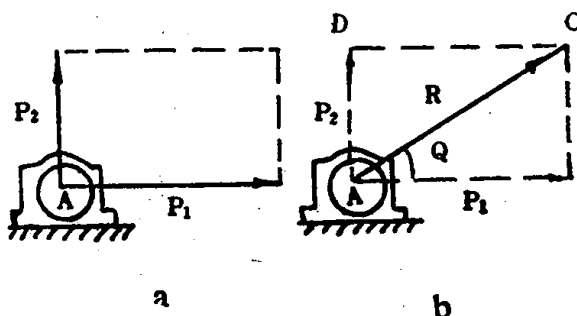


图1—7 力的合成

解 1) 图解法：按1cm代表200(N)的比例尺来画力。以力 P_1 、 P_2 为邻边作出平行四边形ABCD (图1—7b)，对角线AC就是合力R，用直尺在图上量得代表合力R的线段AC的长度为2.9cm，再用比例尺换算可得合力R的大小为 $R=580$ (N)

用量角器量得方位角 $\theta=31^\circ$

2) 计算法：因四边形ABCD为矩形，按力三角形计算，就可算出合力R大小和方位角。由直角三角形ABC得

$$R = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} = \sqrt{500^2 + 300^2} = 585 \text{ (N)}$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{300}{500} = 0.6$$

$$\theta = 30^{\circ}58'$$

从这个例子可知,用图解法求出的答案比用计算法求出的答案误差大些,但在工程中一般是允许的。

例 1—2 吊环螺钉上受到拉力为 P (图 1—8) 它与水平方向的夹角为 α , 试将 P 力分解为沿水平及铅垂方向的两分力。

解 据力的平行四边形公理, 将力 P 分解成 P_Y 表示垂直分力, P_X 表示水平分力, 应用三角形公式即可求得两分力大小为

$$P_X = P \cos \alpha \quad P_Y = P \sin \alpha$$

应用力的可传性原理和力的平行四边形公理, 及二力平衡公理, 可得到下面推论:

三力平衡原理: 如刚体上受到同一平面内互不平行三力作用而平衡时, 则此三力的作用线必汇交于一点。

证明: 设刚体上 A 、 B 、 C 三点有共面力 F_1 、 F_2 和 F_3 的作用 (图 1—9) 而互相平衡。

根据力的可传性原理将 F_1 和 F_2 移至交点 O , 又根据力的平行四边形公理将 F_1 和 F_2 合成力 R , 则力 F_3 应与力 R 平衡。根据二力平衡的原理, R 与 F_3 必在一直线上通过 O 点, 于是 F_1 、 F_2 和 F_3 均通过 O 点。

必须注意, 三力汇交于一点并不一定是平衡的。

(4) **作用与反作用公理** 两物体间互相作用的力总是大小相等, 方向相反, 沿同一作用线, 并分别作用在这两个物体上。

这个公理表明, 力总是成对出现的, 有作用力必有反作用力。两者同时存在, 同时消失。

要强调的是, 作用力与反作用力虽然大小相等, 方向相反, 沿同一作用线, 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成平衡。这与两力平衡条件有本质的区别。

举例分析。

例 1—3 绳索 AB 一端固定在墙上, 另一端吊一重物 Q , 其重力为 G (图 1—10), 试分析绳索 AB 和重物 Q 所受的力, 以及这些力的反作用力。

解 绳索 AB 受到墙的拉力 T_B 及重物 Q 的拉力 T_A' 作用 (图 1—10c), 这是一对平衡力。其中 T_B 的反作用力 T_B' 作用于墙上 (图 1—10d)。 T_A' 的反作用力 T_A 作用在重物 Q 上 (图 1—10b)。

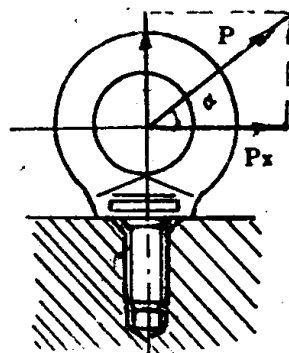


图 1—8 力的分解

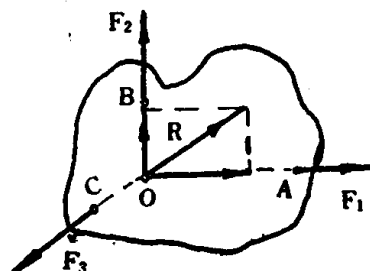


图 1—9 三力平衡

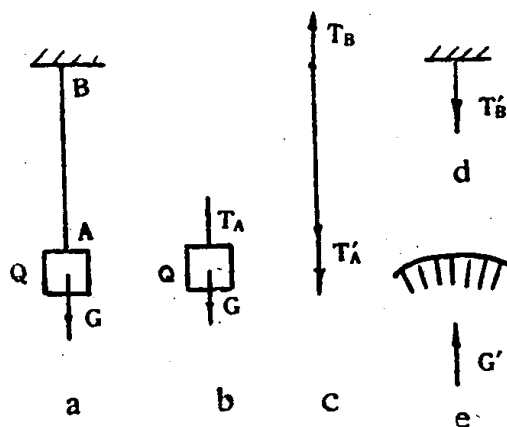


图 1—10 物体受力分析

重物Q受到绳的拉力 T_A 及重力G作用(图1—10b),这是一对平衡力。其中 T_A 的反作用力 T_A' 作用在绳上(图1—10c),G为地球引力,地球也受到引力 G' 的作用,它就是G的反作用力,作用在地心上(图1—10e)。

二、力 矩

1. 力对点之矩

在生产实践中,我们察觉到用扳手拧紧螺母时(图1—11),其拧紧程度不仅与力F的大小有关,而且与螺母中心O到力作用线的垂直距离L有关。显然,力F的值越大,螺母拧得越紧;距离L增大时,螺母也拧得越紧。如果力F的作用与图示相反,则扳手使螺母松开。

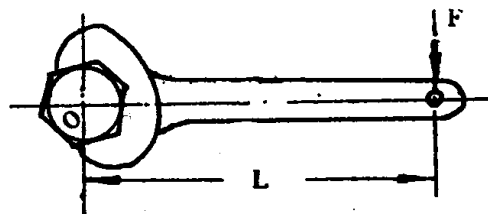


图1—11 拧紧螺母

由实践知,力对物体的转动效果,应以乘积 $F \cdot L$ 并加适当的正负号来度量,此乘积叫做力F对O点之矩,简称力矩,以符号 $M_O(F)$ 表示,即

$$M_O(F) = \pm FL \quad (1-2)$$

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

力矩单位在国际单位制中为牛·米($N \cdot m$)或千牛·米($KN \cdot m$)。在工程单位制中习惯用公斤·米($kgf \cdot m$)或吨力·米($tf \cdot m$)。

例1—4 用扳手拧紧螺母时(图1—11),加在扳手上的力 $F=12(N)$,力臂 $L=180(mm)$,试求F力对螺母中心的力矩。

解 F力使螺母顺时针方向转动,所以力矩为负值。由公式(1—2)求得F力对O点之矩为:

$$\begin{aligned} M_O(F) &= -F \cdot L = -12 \times 180 = -2160 (N \cdot mm) \\ &= -2.16 (N \cdot m) \end{aligned}$$

2. 合力矩定理

合力矩定理:合力对某点之矩就等于各分力对同一点之矩的代数和。其数学式为

$$M_O(R) = \sum M_O(F) \quad (1-3)$$

下面举例分析,以验证合力矩定理的正确性。

例1—5 用扳手拧紧螺母(图1—12b),作用在手柄A点的力F与铅垂方向的夹角为 α ,螺母的中心O到A点距离为L,试求F力对O点之矩。

解 1) 按力矩定义计算(图1—12b)

$$M_O(F) = FL_1 = FL \cos \alpha$$

2) 按合力矩定理计算(图1—12a)

$$M_O(F) = M_O(F_x) + M_O(F_y) = F \sin \alpha \times 0 + F \cos \alpha L = FL \cos \alpha$$

上述例1—5用两种解法求解的结果是一致的,说明了合力矩定理的正确性。在力矩计算中若力臂计算较困难时,则应用合力矩定理求解就方便多了。

3. 力矩平衡

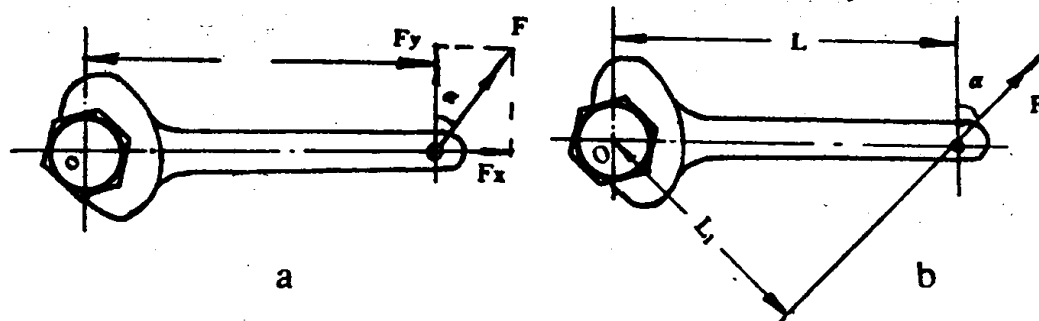


图 1—12 力矩计算

要使汽车上使用的制动踏脚（图 1—13）平衡，必须是P力对O点之矩逆时针方向转，Q力对O点之矩顺时针方向转。并且只有当这两个力矩的大小相等时，作用在制动踏脚上力的转动效果才能互相抵消而达到平衡。即 $P \cdot a = Q \cdot b$ 或 $P \cdot a - Q \cdot b = 0$ 。

当物体受多个力时，要维持转动的平衡，必须逆时针方向的力矩之和与顺时针方向的力矩之和相等，即合力矩等于零。其数学式为

$$\sum M_o(F) = 0 \quad (1-4)$$

(1—4) 式称力矩平衡方程式，工程上使用的杠杆，辘轳等就是力矩平衡原理的具体应用。

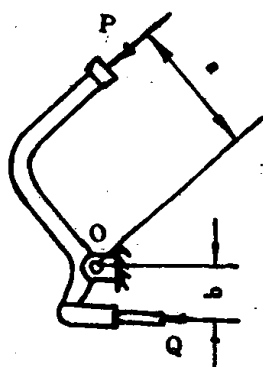


图 1—13 力矩平衡

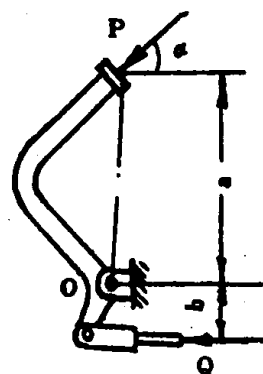


图 1—14 制动踏脚

例 1—6 已知汽车制动踏脚上的作用力 $P=15(N)$ （图 1—14）， $\alpha=30^\circ$ ， $a=5b$ 。设P的作用点与制动踏脚转动中心的连线垂直于Q，试求推杆受到的压力Q。

解 应用力矩的平衡方程式可求得

$$\sum M_o(F) = 0 \quad P \cos \alpha \cdot a - Q \cdot b = 0$$

$$Q = \frac{P \cos \alpha \cdot 5b}{b} = 15 \times 0.86 \times 5 = 65(N)$$

三、力 偶

1. 力偶的概念

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、作用线不在同一直线上的两个平行力作用，使物体产生转动。例如搬动汽车方向盘（图 1—15a）和用丝锥攻丝（图 1—15b）就是这种情况，这一对力在力学上称为力偶。以符号 (FF') 表示。力偶中两力所在的平面称力偶作用面，两力作用线间的距离 h 称为力偶臂。

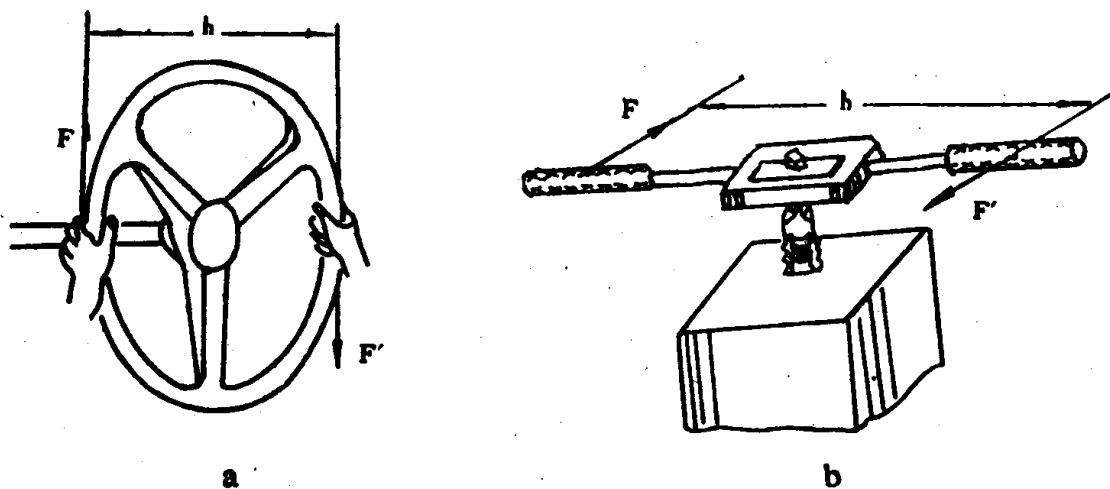


图 1—15 受力偶作用实例

2. 力偶矩

实践证明，在力偶的作用面内，力偶使物体产生转动的效果，不仅与力偶中F力大小成正比，而且与力偶臂h大小也成正比。因此，与力矩类似，以乘积 $F \cdot h$ 并加上适当的正负号，作为力偶对物体转动效果的度量，称为力偶矩，以符号m表示，即

$$m = \pm Fh \quad (1-5)$$

式(1-5)中的正负号表示了力偶的旋转方向，通常规定：力偶使物体逆时针方向转动时，力偶矩为正；反之为负，见图1-16。

综上所述，力偶对转动物体的转动效果，取决于下列三方面要素：力偶矩大小、力偶的转向与力偶作用面的方位。

力偶矩的单位与力矩的单位相同。

例 1—7 求图 1—17 中，F与F'组成的力偶对转动中心O点之矩的大小。

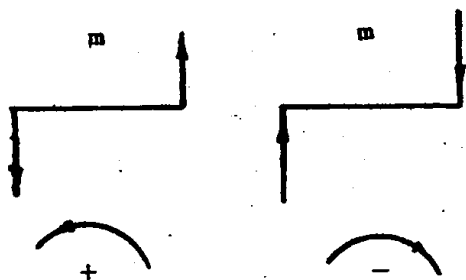


图 1—16 力偶矩符号

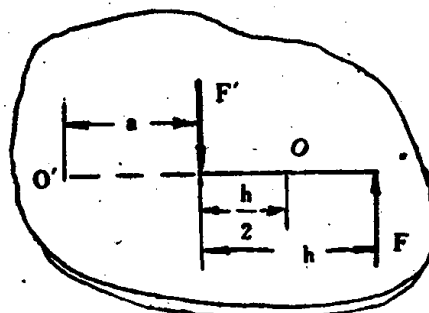


图 1—17 受力偶作用刚体

解 $\Sigma M_O(F) = F \frac{h}{2} + F' \frac{h}{2} = Fh$

若将转动中心移到O'点时，力偶(FF')对O'点的力矩大小。

解： $\Sigma M_{O'}(F) = F(h+a) - F'a = Fh$

上例说明了力偶对物体转动作用，取决于力偶中力的大小与两力作用线间距离的乘积，而与矩心位置无关。

必须注意，力矩和力偶都能使物体转动，这是它们的共性，但是力矩使物体转动效果与矩心位置有关，而力偶对作用面内任意一点之矩为常数，恒等于力偶矩、与矩心位置无关，这是力偶特性之一。

§ 1—2 受力图 约束和约束反力

一、受力图

研究物体平衡或运动问题时，首先必须分析物体受到哪些力作用。为了清楚地表示物体受力情况，就有必要按照要求，将要研究的物体从与它相联系的周围物体中分离出来，单独画出该物体的简单图形，并表示出物体受到的全部作用力。这种图形，称受力图。被研究的这一物体称为研究对象。

例如，有一重为 G 的B球，作用在支承面A物体上（图1—18）。为了计算A物体作用于B物体的力，则必须以B物体为研究对象，分析B物体受力情况，画出它的受力图，然后才能进一步计算出A物体对B物体作用力的大小。正确地选择研究对象，画出受力图，是进行计算的关键。

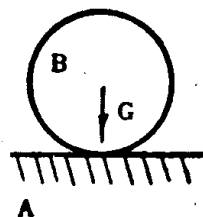


图 1—18 球

二、约束和约束反力

1. 约束和约束反力的概念

研究对象与周围物体是有一定联系的，因而它的运动受到相应的限制。如上例图1—18，B物体受到A物体的限制而不能沿铅垂方向向下运动。一个物体的运动受到周围物体的限制时，这些周围物体称为约束。如图1—18中B物体受到A物体的约束。

当研究物体沿着约束所限制的方向运动或有运动趋势时，约束对研究物体必然有力的作用。这种约束对研究物体运动起限制作用的力，称约束力，简称反力。约束反力的方向总是与约束限制的运动方向相反。这是确定约束反力方向的原则。

作用在研究物体上的力除约束反力外，还有使物体产生运动或使物体有运动趋势的力，称主动力。主动力大小及方向在问题中往往是已知的。而约束反力大小则需根据条件来计算。

2. 工程上常见的几类约束及其约束反力的确定

下面讨论工程中常见的几种约束类型及其反力方向的确定方法，并举例说明物体受力图的画法。

（1）柔性约束 由柔软的绳索、胶带、链条等构成的约束，称柔性约束。

例如图1—19a所示的绳索约束。这类约束只能限制研究物体沿着柔性约束中心线拉直方向的运动。因此柔性约束反力方向应沿着它的中心线，且背离研究物体。柔性约束反力常以符号 T 表示。见图1—19b。

图1—20a所示为柔性约束的另一个实例，其中图1—20b及图1—20c分别表示了吊钩和钢管受力图。

（2）光滑接触面约束 由完全光滑的接触面构成的约束，称为光滑面接触约束。如物体放在光滑的接触面上（图1—21a），在不计摩擦的情况下支承面A并不能限制

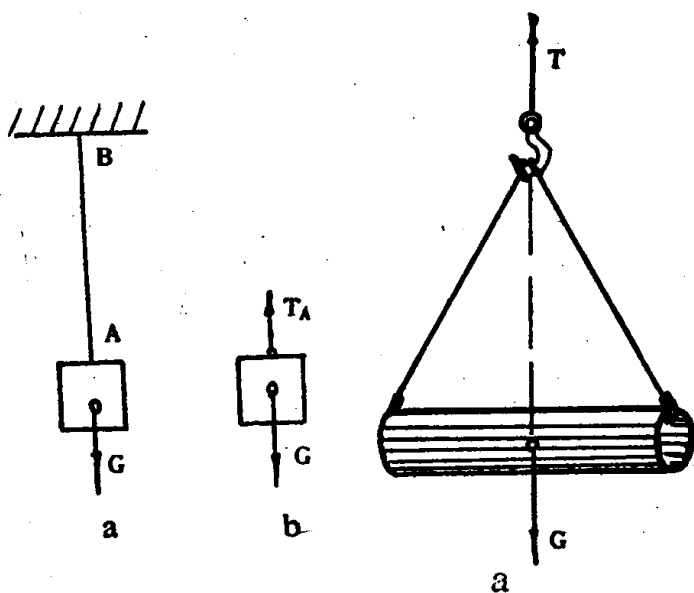


图 1—19 绳索约束

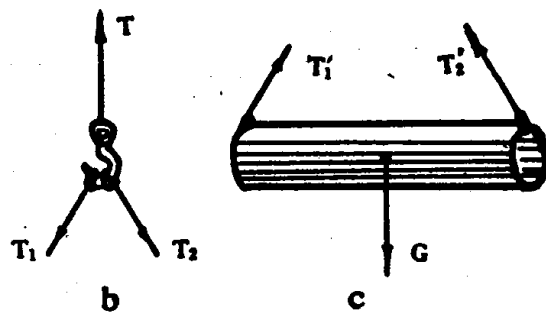


图 1—20 吊钩和钢管受力图

物体B沿切线方向移动，而仅能阻止物体沿接触面的法线向下运动。因此，光滑接触面约束反力的方向是沿着接触面的法线，并指向研究物体。光滑面接触约束常以符号N来表示。见图 1—21b。

圆柱型工件搁置在V型铁上受到的约束（图 1—22a），杆件搁置在凹槽中受到的约束（图 1—23a），齿轮传动中轮齿齿面受到的约束（图 1—24），都属于这类约束。

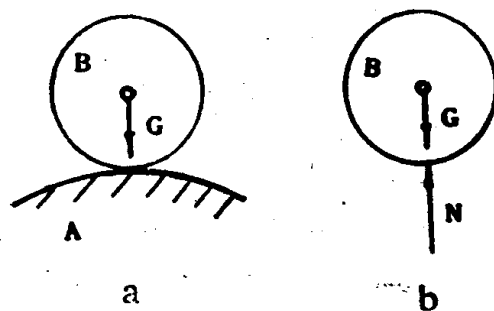


图 1—21 光滑接触面约束

图 1—22b，图 1—23b，图 1—24分别表示了圆柱形工件，搁置在凹槽中杆件和齿轮轮齿的受力图。

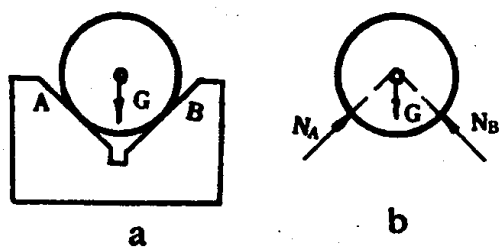


图 1—22
圆柱受力图

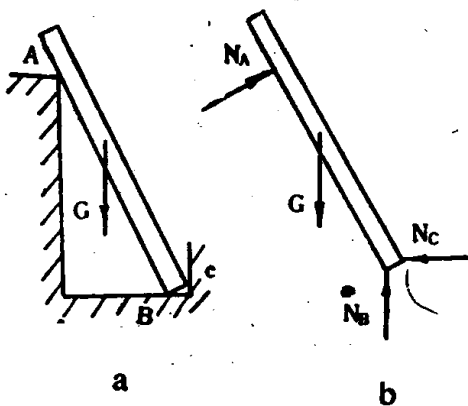


图 1—23
杆件受力图

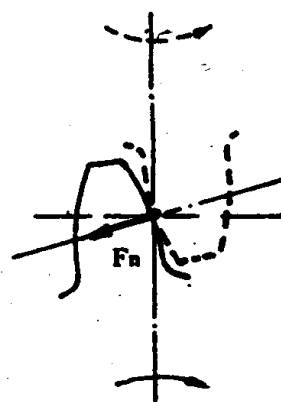


图 1—24
轮齿受力图

（3）光滑圆柱铰链约束 由圆柱形铰链构成的约束，称圆柱形铰链约束。

下面介绍几种常见形式

1）固定铰链支座：圆柱形铰链支座是由底座3、被连接构件1和销钉2三个主要部分构成的（图 1—25a）。

在垂直于销钉轴线的平面内，被连接件只能绕销钉的轴线转动而不能任意移动。若

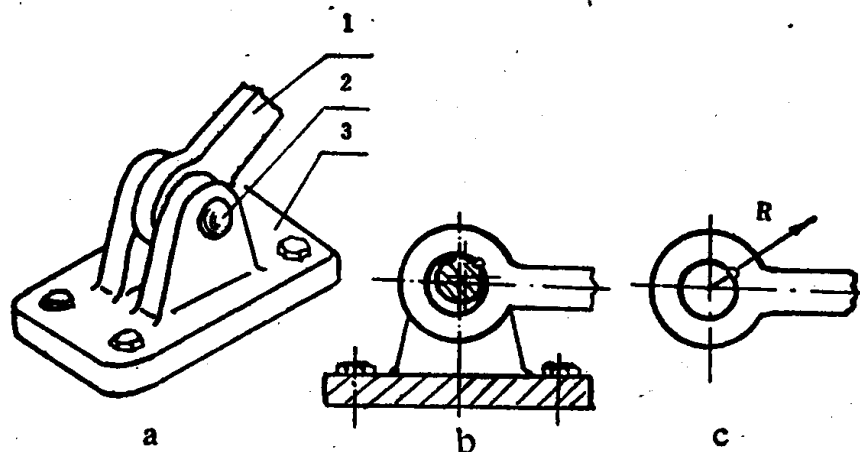


图 1—25 固定铰链支座

1—被连接构件 2—销钉 3—底座

把被连接件作为研究对象，在受到一定力的作用时，其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—25c）。根据光滑接触面约束的特点可知，这种约束应沿着圆柱面接触点的公法线，通过铰链中心。随着研究对象所受载荷的不同，销孔与销钉接触点的位置也有所改变，以致反力方向也随着变化。因此，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力情况确定。

工程上，固定铰链支座用图 1—26a 所示的简图表示，通过销钉中心的待 定 约束反力，常用两个互相垂直的分力 R_x ， R_y 来表示（图 1—26b），两分力的指向可以先假定，通过计算将能判定其是否正确。

用圆柱销将两构件连接在一起的销钉连接（图 1—27a），在工程上称为中间铰。两构件通过中间铰而互为约束，其约束反力的分析与固定铰链支座相同。见图 1—27b。

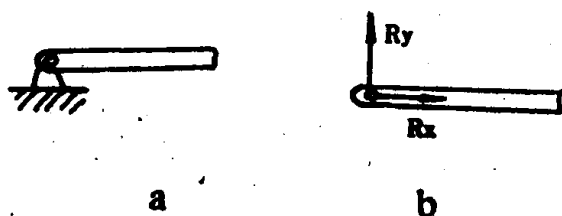


图 1—26 铰链约束

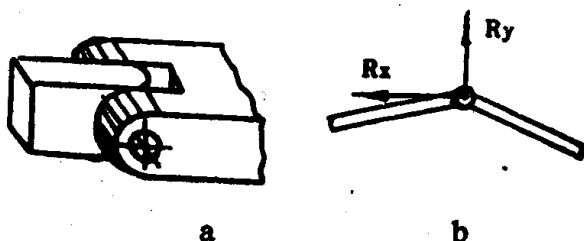


图 1—27 中间铰

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固连，而改用滚子与支承面相接触（图 1—28a），这种支座称活动铰链支座，常在桥梁，屋架等结构中采用，以便当温度变化时，允许支座间距有稍许变化。这种支座的简图见图 1—28b。显然，在不计摩擦的情况下，活动铰链支座的约束反力的作用线通过销钉中心，并垂直于支承面，其指向随受力情况可能有两种，见图 1—28c。活动铰链支座约束反力常用符号 R 表示。

工程上某些构件的支座，常可简化成一端固定铰链支座另一端活动铰链支座（图 1—29a）。根据构件所受的载荷，受力图见图 1—29b。

(4) 固定端约束 在工程实际中除上述几种约束类型外，还会遇到如图 1—30a 所示的在立柱上的悬臂托架的焊接端，这种约束称固定端约束。图 1—30b 所示的夹紧

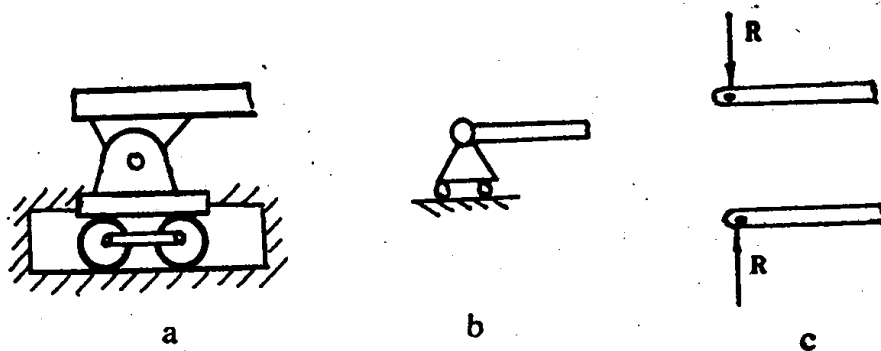


图 1—28 活动铰链支座约束

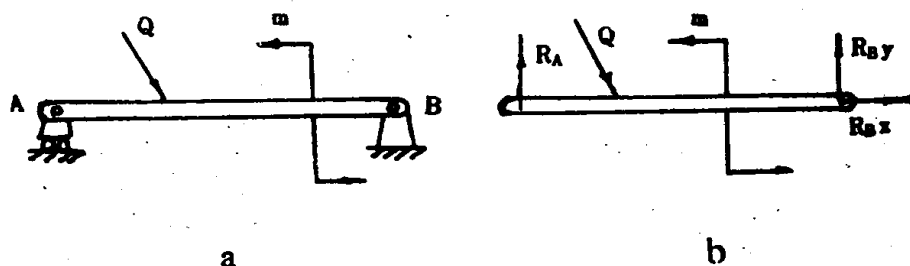


图 1—29 构件受力图

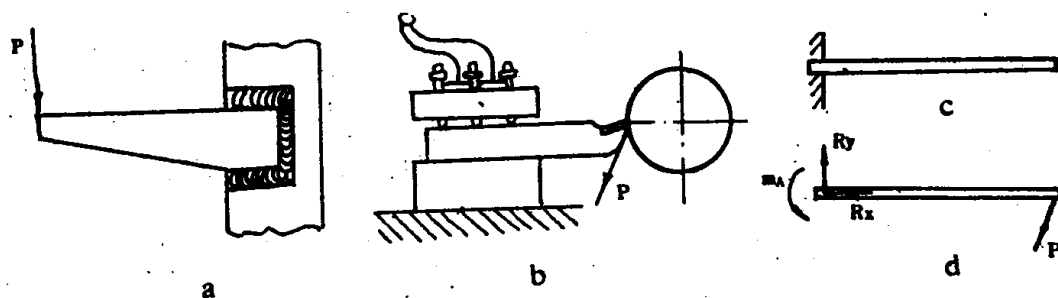


图 1—30 固定端约束

在刀架上的车刀，刀架对于车刀属这种固定端约束，图 1—30c 为固定端约束的简图。

由于固定端约束既能限制研究物体沿任何方向的移动，也能限制物体在图示平面内的转动，所以这种约束反力可产生一个反力和一个反力偶。而反力和反力偶的方向则由物体所受的主动动力来确定，反力通常用互相垂直的两分力 R_x 和 R_y 表示，图 1—30d 表示了车刀受力图。

下面再举一些例子，来说明物体受力图的画法。

例 1—8 构架如图 1—31a 所示，AC，BC 二杆重量不计，A、B、C 处均为铰链，在 AC 杆中点加一垂直力 P 作用，试分别画出 BC 杆及 AC 杆受力图。

解 取 BC 杆为研究对象，由题意知 BC 杆为二力杆件，铰链 C、B 的约束反力 R_B 、

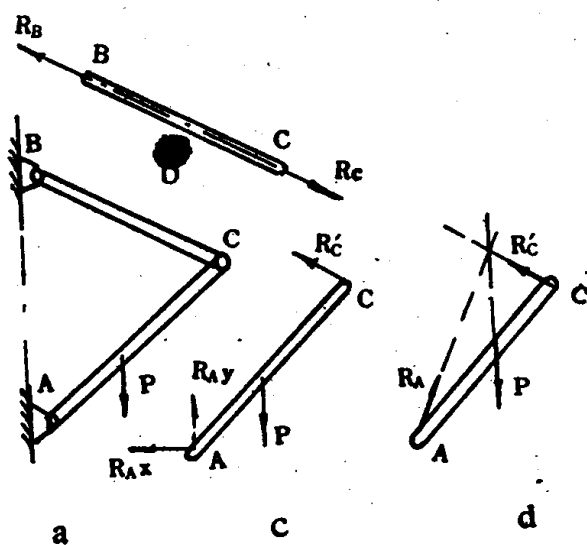


图 1—31 构架受力图