



中学教师继续教育丛书

高中物理专题分析

战永杰 彭家骥 主编

上册

高等教育出版社

中学教师继续教育丛书

高中物理专题分析

上册

战永杰 彭家骥 主编

高等教育出版社

(京) 112号

内 容 简 介

为了适应当前中学教师继续教育的需要,在国家教委师范司的指导和支持下,我社将出版“中学教师继续教育丛书”。《高中物理专题分析》是这套丛书之一。

本书分为上、下两册。上册包括力学和热学部分,下册包括电学、光学和原子物理学部分。全书采用专题分析形式,每一专题包括:概述、疑难解析和思考题三个部分。

本书用较高的物理思想和观点,针对中学物理教学中和中学生学习物理时,在知识的理解和表述方面常见的疑难问题进行专题分析,力求深入浅出,切实提高中学物理教师的教学能力。

本书上册由战永杰、彭家骥主编,北京师范大学漆安慎教授主审。

本书可做为中学物理教师继续教育教材,也可做为高等师范院校的学生和高中学生的参考书。

责任编辑 王致亮

中学教师继续教育丛书

高中物理专题分析

上 册

战永杰 彭家骥 主编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

高等教育出版社新技术中心照排

北京印刷三厂印装

*

开本850×1168 1/32 印张 10.875 字数 280 000

1993年 3月第1版 1993年 3月第1次印刷

印数 0001—10 190

ISBN7-04-004278-9/O·1223

定价 5.95 元

前 言

为了适应当前中学教师继续教育的急需，在国家教委师范司的指导和帮助下，高等教育出版社于1991年11月在北京召开了“中学物理教师继续教育教材建设座谈会”。会议经过认真评审，提出首批选题，《高中物理专题分析》是这套中学教师继续教育丛书之一。

《高中物理专题分析》上册包括力学和热学部分，下册包括电学、光学和原子物理学部分。本丛书的编写原则是以“针对性、实用性、实践性、先进性”为指导。本书具有以下特点：

(1) 全书采用专题分析形式，每一专题包括：概述、疑难解析，思考题三个部分。

(2) 专题“概述”帮助中学物理教师解决好“一杯水”与“一桶水”之间的关系。用大学物理的观点、思想，对中学物理教学中常见的知识上的理解或表述方面存在的疑难问题进行专题分析。在表述上力求深入浅出，特别重视物理思想、方法、技能以及知识的应用；

(3) “疑难解析”部分主要针对中学物理教学中常见的疑难问题进行分析，着重指出出现该问题的根源，阐明对该问题的正确理解，提出解决该问题的途径和方法，强调这种表述的适用范围和成立条件；

(4) “思考题”包括两部分内容：一是本专题的复习；二是与本专题有关的扩展、深化和应用。对难度较大的思考题给予适当的提示，并留有思考余地。

本书上册由战永杰、彭家骥主编。第一篇力学20个专题，第二篇热学8个专题。力学专题的执笔人有：战永杰(专题一、二、

四、十)、贾玉江(专题七、十一、十九、二十)、刘若民(专题五、六、八),周东来(专题十三、十五),孟昭辉(专题九、十七)、叶九成(专题十四、十六)、叶大娟(专题十八)、张敏(专题十二)、郝静(专题三)。热学专题的执笔人有:彭家骥(专题一、四、七)、谢玉辉(专题二、五、八)、黄秋楠(专题三、六)。

本书上册由北京师范大学漆安慎教授和北京师大附中高级教师魏义钧先生主审。他们对本书提出许多宝贵的意见,对本书的完成起到了很大作用。一些院校对本书的编写和出版给予了大力支持。对于他们的热情帮助,编者在此表示衷心的感谢。

本书在撰写过程中,参考了国内目前通用的一些教材、参考书、期刊。在此谨致谢意。

本书可作为中学物理教师在职提高和继续教育教材。也可作为师范院校,教育学院物理专业有关教师和学生的参考书,对于学有余力的中学生,也可作为课外读物。

由于编者水平和教学经验有限,书中难免有不少缺点和错误。恳请广大教师和读者批评指正。

编者

1992年7月

第一篇 力 学

一、力

对于力在教学中常常出现这样一些说法：(1)力是一个物体对另一物体的作用；(2)力是产生加速度的原因；(3)力是产生形变的原因。应当如何正确、全面地理解力的概念，这是个很重要的问题。

1. 力是物体间的相互作用

自然界中的物体并不是各自孤立的，而是互相联系互相影响的。物体间的相互作用，可以用力的语言来描述。我们在力学中所谈到的重力(万有引力)、摩擦力和弹力，都是因为物体间的相互作用而产生的。一般来讲，力总是离不开物体，没有物体也就没有什么力。因此“力是物体间的相互作用”。这种意义下定义的力，有时也叫做“作用力”，用以区别“惯性力”。

对于作用力的概念，要强调：一定要有受力物体和施力物体，不存在只有受力物体而没有施力物体的力，也不存在只有施力物体而没有受力物体的力，物体间的相互作用力满足牛顿第三定律。

应指出，力的语言只是物体间相互作用的一种描述，但它不是相互作用的唯一描述。我们还可以用以能量和动量为基本物理量的另一种语言来描述物质的运动及其相互作用。物体间的相互作用以力来描述，我们把这种描述方式称为力的表象，而把以能量和动量为基本物理量对物质的运动和相互作用进行描述的方式称为能量表象。

在牛顿力学范围内，这两种表象在原则上是完全等价的，从

一种表象可以推导出另一种表象。但是从现代物理学高度来看，这两种表象并不等价，能量表象优于力的表象。例如电磁场的运动无法用力的语言做恰当的描述，而对于涉及粒子的产生和湮没的物理现象，力的语言就更用不上了。从现代物理学的高度来看，依赖加速度性质而建立的力和质量这两个概念的普遍性受到了限制。能量表象不仅可描述实物的运动，而且可以描述场的这种运动形式，此时能量(和动量)才是基本的物理量^①。

2. 力的效应

力对物体的作用有两种效应：一是力可以使物体产生加速度，通常称为力的外效应；二是力可以使物体发生形变，通常称为力的内效应。实践表明，任何力对物体的效应首先取决于三个要素：(1) 力的大小，(2) 力的方向，(3) 力的作用点。这就是所谓力的三要素。其次还要考虑诸力和物体的配置。

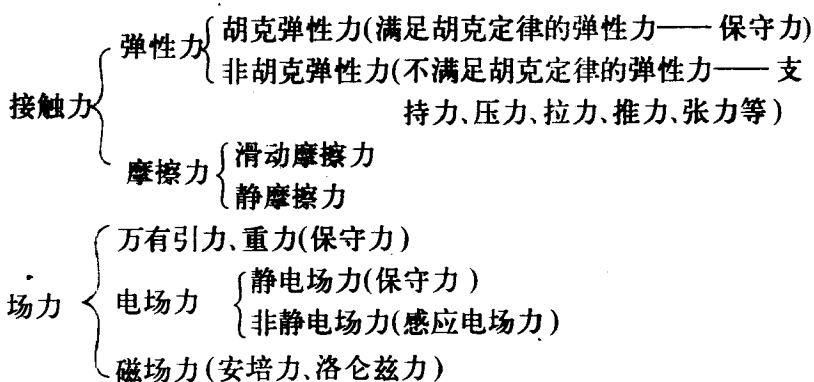
严格讲，力和加速度的关系与力和形变的关系不宜相提并论。物体受力和产生的加速度，两者之间有着必然的因果关系。然而对于力和形变之间，就不存在着必然的因果关系。我们说质点相对于惯性系产生加速度必然是合力引起的，质点所受合力不为零时必然作加速运动，但力不一定在任何情况下都产生变形。例如，物体在均匀重力场的作用下作自由落体运动时，重力只能使物体产生加速度，而不能使物体发生形变。这是由于均匀重力场使组成物体的所有物体单元得到相同的加速度，这些小单元之间便没有相对加速度和相对位移，因此，物体只在均匀重力场作用下是无形变的。值得注意的是，物体受几个力作用保持平衡(无加速度)却可能发生明显的形变，而且形变不一定是力作用的结果。例如可能是由于受热不均匀(弹性力学中就需要考虑温度在变形中的作用)而使物体发生形变。

① 关洪：“力的基本概念(Ⅲ)——力的概念”《大学物理》，1985年，第1期，8~9

3. 力的分类

在物理学中,对不同类型的力总是力图寻求本质上的统一.目前我们把宇宙中存在的力归纳为四种基本性质的相互作用:即万有引力作用,电磁相互作用,强相互作用和弱相互作用.以上是按力的性质来分类的.实际上这四种相互作用的强度也是不同的,一般来讲万有引力相对强度最弱,电磁力具有中等强度,强相互作用指核力,即核内质子、中子的结合力,是四种力中最强的力,弱相互作用指各种基本粒子间的相互作用、核的 β 衰变等.在经典力学中常见到的力有绳的张力,因接触作用而产生的压力、支持力和弹簧因形变而产生的弹性力,还有摩擦力等,它们从本质上讲都是电磁力,都来源于原子、分子间的电磁相互作用.电磁力能引起带电粒了运动状态的改变,在一定范围内可以遵从牛顿运动定律,但对其性质的深入研究已超出力学的范围.

在中学教学中,对力的命名归类的方法,主要是根据力的性质来分类命名的.力一般可以分为接触力和场力



在中学物理教学中,由于教学的需要,常常根据力的作用效果从形式上对力进行不严格的分类.例如有张力、正压力、向心力、回复力等等提法.这些力的作用效果有两种表现:一是使物体变形,

一是使物体产生加速度。张力的作用效果是当绳子被拉伸长(张开)时,力图使绳子收缩到原来的长度;正压力的作用效果是当两物体在表面直接相互接触时,由于相互挤压,引起接触处的微小形变(在刚体力学中这种微小形变可以略去不计);向心力的作用效果是使物体沿圆形轨道运动;回复力的作用效果是使物体发生振动等。总之,若力的作用效果主要是引起形变或者和物体的形变有关,力的大小、方向、作用点不同,则物体的形变情况也不同。在动力学中,常常把物体理想化为不发生形变的刚体,所以力作用的效果主要是指引起加速度。加速度的大小和方向不同,物体的运动情况也不同,因此用相应的力的名称来描述它所引起的一些特殊的运动情况。

4. 力的合成和分解

在力学中要区别两类量:标量和矢量。如果在确定某种量时,只需考虑它的大小,这类量称为标量。例如长度、时间、质量都是标量。如果在确定某类量时,不但要考虑它的大小、方向,而且这类量相加时还必须遵守平行四边形法则,这类量称为矢量。标量运算遵循代数运算法则,矢量运算却遵循平行四边形法则。有大小、有方向的量不一定是矢量,如果它是矢量,还必须遵守平行四边形加法所应该遵守的加法交换律。力是个矢量,力 F_1 与 F_2 的合成遵守 $F_1 + F_2 = F_2 + F_1$ 规律。在刚体绕某固定点转动时,有限角位移。虽然既有大小,又有方向,但它不满足上述的加法交换律,它不是矢量,而无限小角位移却遵循上述的加法交换律,它是个矢量。

力的合成和分解可以直接应用矢量运算法则。

力的合成

在进行力的合成时,难点常常出现在动力学问题上。力的合成的原则是:物体运动加速度的方向,即是物体所受合力的方向。

平行四边形法则:

若以 F_1, F_2 表示分力, 则合力 R 的大小为(图 1.1-1)

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\alpha}$$

R 的方向可表示为

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{F_1\sin\alpha}{F_2 + F_1\cos\alpha}$$

多边形法则:

这种方法是以三角形法则(图 1.1-2)为基础发展起来的, 三角形法则可以看作是多边形法则的特殊情况. 合力可以表示为(图 1.1-3)

$$R = \sum_i F_i = F_1 + F_2 + F_3 + F_4$$

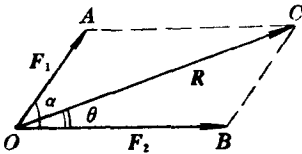


图 1.1-1

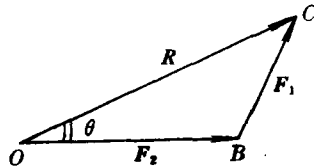
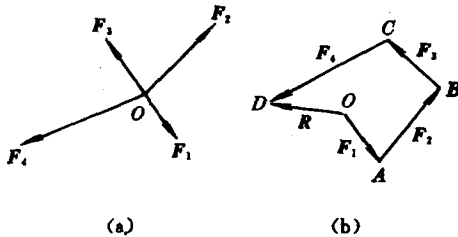


图 1.1-2



(a)

(b)

图 1.1-3

多边形法则有一条规律: 在这个闭合多边形中, 逆时针方向循环的力的矢量和等于顺时针方向循环的力的矢量和.

例如图 1.1-4, a 表示

$$F_1 + F_2 + F_3 = f_1 + f_2$$

(逆时针矢量和) (顺时针矢量和)

图 1.1-4, b 表示

$$F_1 + F_2 + F_3 = 0 \text{ (平衡状态)}$$

(逆时针矢量和) (顺时针矢量和为零)

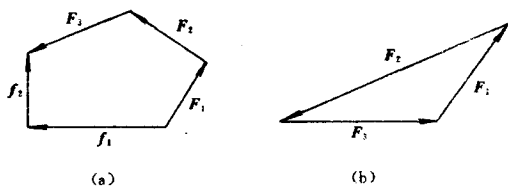


图 1.1-4

力的分解

力的分解是力的合成的逆运算, 同样遵守平行四边形法则。但是如果没有限制, 对于同一条对角线, 可以作出无数个不同的平行四边形, 也就是说, 同一个力可以分解为无数对大小、方向不同的力。

力的分解的原则: 将一个力沿着它所同时产生的两种实际效果的方向进行分解, 或者说, 这个力在客观上同时产生了沿两个分力所指方向上的两种效果。要想做出符合实际情况的受力分析, 必须把这两种客观存在的带有方向性的效果分析准确。例如一物体在重力 G 的作用下沿斜面下滑时, 此时重力 G 在客观上同时产生了两种效果: 一是使物体沿斜面方向下滑的效果, 此方向的分力以 G_1 表示; 一是迫使物体压向斜面, 引起物体产生对斜面的正压力的效果, 此方向的分力以 G_2

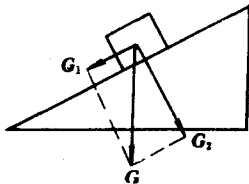


图 1.1-5

表示, 因此有 $G = G_1 + G_2$, 见图 1.1-5.

[疑难解析]

1. 力的可传性及其适用条件问题

所谓力的可传性来源于力矢量在刚体中沿作用线的滑移可表述为: 作用在刚体上的力可沿其作用线滑移到该刚体上任一点而不改变此力对该刚体的作用效果.

例如力 F 作用在小车的 A 点(图 1.1-6a). 在力 F 的作用线 AB 上任取一点 B , 加上等值、反向、共线的一对力 F_1 、 F_2 , 并使 $F_1 = -F_2 = F$ (图 1.1-6b). 根据二力平衡条件, F_1 、 F_2 是一对平衡力. 显然加上一对平衡力并不影响力 F 对小车的的作用效果. 因此力 F 与力系 F 、 F_1 、 F_2 等效. 但从另一角度看, F 、 F_2 也是一对平衡力, 把它们去掉并不影响原力系对小车的的外效应(图 1.1-6c), 即力系 $(F$ 、 F_1 、 $F_2)$ 与力 F_1 等效. 因

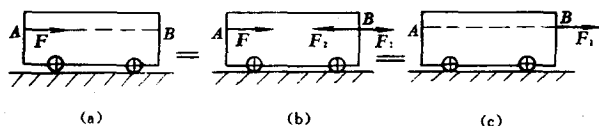


图 1.1-6

此力 F_1 与 F 等效. 对比图 1.1-6(a)和(c), 因 $F = F_1$, 显见力 F 可沿作用线等效地滑移到任意点 B . 经验也告诉我们, 用力 F 在 A 点推小车与用力 $F_1 (=F)$ 在 B 点拉小车, 两者的作用效果是相等的. 这一结论对于一般刚体也是成立的.

必须注意, 运用力的可传性不改变力对物体的外效应, 但有可能改变力对物体的内效应. 例如直杆 AB 的两端分别受到两个等值、反向、共线的力 F_1 、 F_2 而处于平衡(如图 1.1-7a). 将这两个力沿作用线分别移到杆的另一端(图 1.1-7b), 显然直杆 AB 仍处于平衡(外效应不变). 但是前一种情况下, 直杆产生拉伸变形, 而在后一种情况下, 直杆产生压缩变形. 可见力对直杆的

内效应由于力沿作用线的移动而发生了性质截然不同的改变。也就是说，力的可传性只适用于刚体而不适用于变形体。

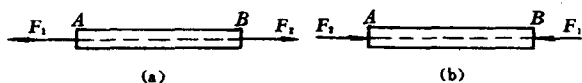


图 1.1-7

上述结论说明，作用在刚体上的力具有滑动矢量的性质，也就是说，除力的大小、方向及作用线外，力的作用点可在其作用线上任意选取。

有人说：力的可传性只适用于静止或匀速直线运动的平衡条件下的刚体，对待动力学问题，力的可传性也就失效了。其实这纯属是一种误解。

只要不涉及物体的内效应，不涉及物体的内力及其内力分布，力的可传性对于刚体动力学同样有效。例如一刚性直杆 AB 受水平外力 F 作用在光滑平面上以加速度 a 运动。根据力的可传性原理，可将推力 F 由作用点 A 处沿作用线移动到 C 点或 B 点，则物体的外效应不变。但若在 C 处取直杆截面，求 AC 对 CB 的作用力（物体或物体系统的内力）。设 AC 部分的质量为 M 、 CB 部分质量为 m 。依据牛顿运动方程，

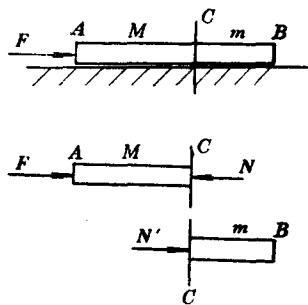


图 1.1-8

$$\text{对 } AB \text{ 杆有} \quad F = (M + m)a$$

$$\text{对 } M \text{ 有} \quad F - N' = Ma$$

$$\text{对 } m \text{ 有} \quad N = ma.$$

由上式可得到 M 与 m 之间的作用力 N (内力) 为

$$N = \frac{m}{M + m} F. \quad (N \neq F).$$

此式说明, 当涉及物体(或物体系)的内力时, 力的可传性原理不再适用, 也就是说, 直杆内部 AC 对 CB 的作用力 N 的数值不等于推力 F 的数值, 且直杆 AB 内部各截面间的相互作用力也不再相同. 值得注意的是使用力的可传性也不应把力移出它所作用的物体之外(此时也涉及物体系的内力).

我们要强调, “力的可传性”不具有普遍性, 它只不过是一种等效的代换方法, 并且这种等效代换是有条件的. 如果忽视它的适用条件, 将会得到错误的结论.

2. 力矩是相对于“轴”的, 还是相对于“点”的?

设一物体有一点 O 固定, 有一力 F 作用于物体的 P 点. 实验告诉我们, 物体将绕通过 O 点而与 F 及 \overline{OP} 垂直的轴线转动, 转动作用的大小决定于从 O 到 F 的作用线的垂直距离 d 和 F 的乘积. 如以 r 表示 P 点对于 O 点的位置矢量, 则转动轴的方向及转动作用的大小可以矢量积 $r \times F$ 来表示. 我们称矢量积 $r \times F$ 为 F 对于 O 点的转矩, 简称为力矩. 今用 M 来表示.

为了考虑力对于某一点力矩的一般性, F 和 r 都不限于 OXY 平面内, 今取 O 为坐标原点, 设 (x, y, z) 为作用点 P 的坐标, 而 F 在坐标轴上的投影为 (F_x, F_y, F_z) , 则

$$\begin{aligned} M &= r \times F \\ &= (yF_z - zF_y)i + (zF_x - xF_z)j \\ &\quad + (xF_y - yF_x)k \end{aligned}$$

而 M 在坐标轴上的投影为:

$$\left. \begin{aligned} M_x &= yF_z - zF_y \\ M_y &= zF_x - xF_z \\ M_z &= xF_y - yF_x \end{aligned} \right\} \quad (1.1.1)$$

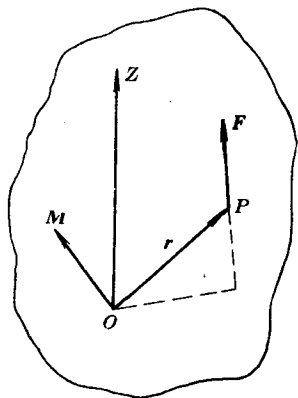


图 1.1-9

由上式可知, $M_z = (xF_y - yF_x)$ 中只出现 x 和 y , 与 z 无关. 因此,

如果我们只考虑 M_z , 选取 z 轴上任一点为参考点(矩心)去计算 M_z , 都有相同的结果. 这就是说, 对一定的参考点的力矩 M 投影到 z 轴(在图 1.1-9 中可设 z 轴垂直于图面指向读者), M_z 就具有对轴的性质. 所以, 对某一轴 Z 的力矩 M_z 只是力矩 M 在 Z 轴上的投影. 力对 Z 轴的转矩 M_z 实际上是一个标量. 由 (1.1.1) 式可以看出, M_z 与 F_z 无关, 这显然是因为 F_z 平行于 z 轴, 故对它不产生力矩. 有人认为力矩是对轴定义的, 这是一种误解. 在中学物理中遇到的最简单的平面情况, 即只有当 M_x 和 M_y 都为零时, 在这种情况下 M_z 才代表总力矩. 如果我们所研究的问题需要同时考虑 (1.1.1) 式中的三个分量, 这时, 力矩 M 就是对某一参考点的矢量.

关于力矩的概念应注意以下几点:

(1) 力对点的力矩与力对轴的力矩是有区别的. 力对点 O 的力矩 $M_O = r \times F$ 是个矢量, 其大小和方向与矩心位置的选取有关, 同一个力 F 对不同的矩心的力矩是不同的. 因此, 当我们说力 F 对点的力矩时, 必须明确是对哪一个空间点取的力矩, 否则是没有意义的. 力对轴 z 的力矩 $M_z = xF_y - yF_x$ 是个标量, 其量值只有正负之分它与矩心的选取无关, 也就是说, 不论选取 z 轴上哪一点为矩心, M_z 的量值都是相同的.

在中学物理教学中, 通过对杠杆、轮轴的学习, 学生已初步认识了力矩的概念, 那时的力矩实质上是力对转轴的力矩, 而对轴的力矩可以看作是对点的力矩在轴线上的投影.

(2) 力和力臂的乘积叫做力对转轴的力矩. 凡是使物体产生逆时针方向转动效果的, 定为正力矩, 反之为负力矩. 在国际单位制中, 力矩的单位是“牛顿·米”, 国际符号为“ $N \cdot m$ ”, 力矩的量纲式为 $[M] = L^2MT^{-2}$. 虽然力矩的量纲和功的量纲相同, 但力矩和功却是本质上不同的概念, 它们二者之间是不能进行加减运算的.

3. 力偶矩和力矩是有区别的

大小相等，作用线不重合的两个反向平行力组成的力系，称为力偶。例如汽车司机转动方向盘，钳工用丝锥攻螺纹以及人们用手指旋水龙头等等都是这样加力的。力偶中两力之间的垂直距离 d 称为力偶臂，力偶所在的平面称为力偶的作用面。

力偶的特性表现在它不存在合力。有人说：“力偶的合力为零”。这是不合适的。根据合力的定义：当物体同时受几个力作用时，如果可以用单个力代替它们，并且产生同样的效果，那么这个力叫做那几个力的合力。由此可知，物体在合力的作用下，可以产生平动效果，也可以产生转动效果，它代表了力系对物体作用的总效果。只要合力的作用线不通过质心，物体的转动状态就会发生变化。力偶不能合成为一个力，其本身又不能平衡。也就是说一个力偶在任何情况下都不能与一个力等效，也不能被一个力平衡。根据质心运动定理 $mG_C = \Sigma F_i$ ，力偶中二力的矢量和为零，即质心加速度 $a_C = 0$ 。物体在力偶的作用下决不会产生移动效果，力偶对物体的作用只能产生转动效果或改变物体的转动状态。

力偶对物体的转动效应可以用力偶矩来度量。“相对于任一参考点 O 的力偶矩为

$$M_O = r_1 \times F_1 + r_2 \times F_2$$

由力偶的性质有

$$F_2 = -F_1$$

力偶矩可表示为

位置矢量 r_1, r_2 都与参考点(矩心)的选取有关，但二者之差 $(r_1 - r_2)$ 表示由 F_2 的作用点指向 F_1 的作用点的位置矢量。这个相对位置矢量与参考点(矩心)的选择无关。因此，力偶矩与矩心的选取无关。

力偶矩的大小恒等于力偶中一力的大小和力偶臂的乘积

$$M = Fd$$

实践经验也证明，力偶中的力越大，力偶臂越长，它对物体的作用效应也越显著。为了区别力偶在作用面内的两种不同转向，正负号的规定仍然是：逆时针转向为正；反之为负。

由前面的讨论可知，力偶矩与力矩的关系如下：

(1) 力偶矩与力矩都可以对物体产生转动效应。但物体在力矩的作用下既可以产生转动效应，也可以产生移动效应。而力偶矩只能产生转动效应，不能产生移动效应。例如，在水平光滑平面上，放置一线盘。在线头上作用一水平拉力 F 如图 1.1-11(a)，我们在轴心 O 处加上一对平衡力 F' 、 F'' ，且使 $F' = -F'' = F$ ，力系

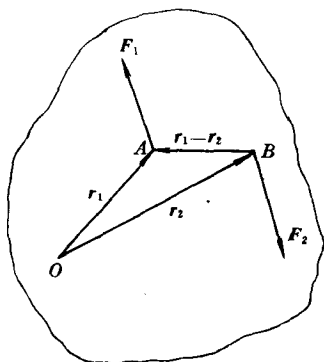


图 1.1-10

(F, F_1, F'') 与单力 F 等效。图 1.1-11(b)，其中力偶 F, F'' ，对线盘只能产生转动效应，而作用在轴心 O 处的力 F' 将会对线盘产生移动效应，这样线盘在力矩 $M_o = Fd$ 的作用下，同时产生转动效应和移动效应。

(2) 力偶不存在合力，而一个产生力矩的力，其“合力”不为零(存在“合力”)。因此，一个产生力矩的力，可以和一个力平衡，却不能和力偶互相平衡，只有力偶才能和力偶平衡。

(3) 力对某点的矩 M_o 是个固定矢量(该矢量的大小、方向、作用点固定不变)，它与矩心的选取有关；而力对轴的矩 M_z 虽然是标量，但可以看作“滑动矢量”，因为选取 z 轴上任一点为矩心时去计算 M_z 都有相同的结果。这种矢量有大小、有方向，其作用点(矩心)可以沿 z 轴线滑动，效果不变；力偶矩是个自由矢量，它与矩心的选取无关，这种矢量只要保持其大小、方向不变，该矢量可以在空间任意移动，也就是说，这种矢量不仅可以沿其作用线滑移，而且可以平行搬移。

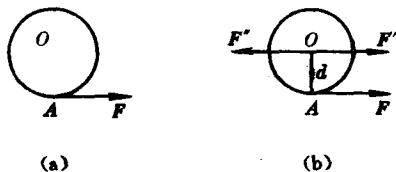


图 1.1-11