



第一单元 运动和力

力是物体间的相互作用,力学是整个物理学的基础,其中心是研究力和运动学的关系,物体的运动状态不同,是由于物体的受力情况不同。

本单元首先讲解对物体进行正确的受力分析的方法;接着研究力偶、力矩及共点力作用下物体的平衡;然后学习常见的曲线运动;最后讲解机械振动和机械波的相关知识,力求为学生将来学习专业知识,解决生产、生活中的实际问题创造条件。

第一章 物体受力分析

正确地对物体进行受力分析,是解决力学问题的前提和关键之一。物体究竟处于何种运动状态,就是由作用在物体上的力决定的。所谓受力分析,就是把研究对象在给定物理环境中所受到的力全部找出来,并画出相应的受力示意图。

一、受力分析的依据

1. 条件判据

不同性质的力的产生条件是不同的,在判断物体是否受到某种性质的力时,最基本的判断是依据这种力的产生进行的,也就是说,这种力的产生条件如得到满足,则物体必受这种力的作用,否则,物体就不会受这种力的作用。

2. 效果判据

有时候,某些力的产生条件是否被满足是很难判断的。例如,静摩擦力产生条件中的所谓“相对运动趋势”就很微妙,在具体的问题中有时很难说清物体间到底有没有相对运动趋势,到底有什么样的相对运动趋势。这种情况下往往需要根据力的作用效果(力能使受力物体形状发生变化;力能使受力物体的运动状态发生变化)来判断物体是否受到某个力的作用。

3. 特征判据

在有些受力情况较为复杂的情况下,当根据力的产生条件和力的作用效果很难判断物体的受力情况时,我们还可以根据力的基本特征(力的作用总是相互的),从研究对象是否施出某种力来间接地判断物体是否受到某种力的作用。

二、受力分析的方法

物体受力分析的常用方法有隔离法和整体法等。

隔离法是将物理问题的某些研究对象或过程、状态从系统或全过程中隔离出来进行研究的方法。隔离法有两种类型,即对象的隔离和过程的隔离。

(1) 对象的隔离:为寻求与物体有关的所求量与未知量之间的关系,将某物体从系统中隔离出来。

(2) 过程的隔离:物体往往参与几个过程,为求解涉及某个过程中的物理量,就必须将

这个过程从全过程中隔离出来。

整体法是指对物理问题的整个系统或过程进行研究的方法。整体法有以下两种类型：

- (1) 整体研究物体系：当不涉及系统中某个物体的力和运动时常用。
- (2) 整体研究运动全过程：当所求物理量只涉及运动的全过程时常用。

生活中的物理

比萨斜塔的故事

在伽利略漫长的一生中发生过许多被后世纪念和记载的有名事件。其中最流行的故事是据说他于1591年在比萨斜塔顶上进行的一项实验。

这座斜塔坐落在比萨城里。这座不同寻常的建筑物建造于1174年，从它建成的初期开始倾斜直到现在已倾斜了17英尺左右了。到16世纪，这座比萨斜塔成了有历史意义的建筑物，引起了来自意大利各地观光者的注意。

欧洲中世纪占绝对统治地位的自然观，是经过神学改装了的亚里士多德的自然观，它成为封建神权统治者统治民众思想的工具。亚里士多德认为，地球和地上万物都由气、火、水、土四种元素所组成，都是丑陋、不洁、不完美的，有变化和有生灭的。火和气组成向上流动的轻物，水和土组成向下掉落的重物。而天体则是由“以太”所组成的纯洁、完美、永恒的物体。又因为“上帝厌恶真空”，所以真空不可能存在。然而伽利略从望远镜发现月亮表面有山峰和洼地，高低不平，并不是完美无缺，金星也有盈亏变化；太阳表面还有活动不已的黑子；肉眼就能直接看到超新星的爆发及其渐渐暗淡和消失。这些都打破了亚里士多德天尊地卑，天体和地上物质的性质悬殊的思想。伽利略通过流体静力学对浮体的研究，得知所有物体都是重物，没有绝对的轻物。天体和地球以及地上万物在物质结构上是统一的。真空也可能存在和产生，而且只有在真空中才能研究物体的真正性质。这就彻底推翻了亚里士多德凭借主观臆测的物质观，从而也从根本动摇了封建神权的思想统治。

伽利略对那些坚决拒绝考虑他反对亚里士多德观点的同事们的看法十分气愤，他决定用一种特别的证据来证明这位希腊哲学家的错误。

亚里士多德在物理方面的一个主要观点是，如果让两个重量不同的物体在地心引力的影响下落下，那么它们当中较重的一个就会先落到地面。但是，像他所有的论点一样，亚里士多德没有用实验去验证过这个论点，它只是被当作一个无可争辩的事实被人承认。

为了证明他的观点，伽利略带着两个助手和两个不同重量的铅球登上了斜塔的顶部。他带着两个铅球站在钟楼的边缘，离地面有179英尺高。伽利略俯瞰着整个比萨，看见了塔底下被他说服而来的那些大学里的同事们，他伸出一只

手测试了一下是否有风,那天正好没有风。两个助手靠着钟楼的边缘站着,每人手里拿着一只铅球。在一个适当的时刻,伽利略向助手发出了信号。两个助手在同一时刻放开了手中的铅球,让它们在地心引力的作用下往下面的草地上落去。

果然,人们清楚地看见了这两个铅球几乎是同时落地,的的确确验证了亚里士多德关于落体的论点是完全错误的。

三、受力分析的一般步骤

1. 明确研究对象

亦即是确定我们要分析哪个物体的受力。选取研究对象的原则是要对问题研究尽量简便,研究对象可以是单个物体或物体的某一部分,也可以是几个物体组成的系统。

2. 隔离物体分析

亦即将所确定的研究对象从周围问题中隔离出来,进而分析周围有哪些物体对它施加力的作用,方向如何,并将这些力一一画在受力图上。

3. 受力分析的顺序

先重力,再接触力(弹力和摩擦力),最后场力(电场力和磁场力)。对于接触力应逐个接触面(或点)去找,有必要时要用力学的概念和产生条件或假设法判断这个力是否存在。

4. 进行定性检验

画出受力示意图后要进行定性检验,看一看根据你画的示意图,物体能否处于题目中所给的运动状态。

【例题 1-1】 有一篮球静止在斜面和竖直挡板间(假设斜面和挡板光滑),分析篮球的受力。

分析 选取篮球为受力研究对象,作出力的作用点 O ,先分析重力 G ,斜面受到球的挤压发生形变,它施与球垂直斜面向上的弹力 F_{N1} ,同理可分析,光滑的竖直挡板施与篮球水平向右的弹力 F_{N2} 。

解 物体在三个力作用下处于静止状态,如图 1-1 所示。

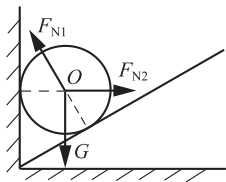


图 1-1

【例题 1-2】 如图 1-2 所示,两个质量均为 m 的小球 A、B 用轻杆连接后,斜放在墙上处于平衡状态,已知墙面光滑,水平地面粗糙。现将 A 向上移动一小段距离,两球两次达到平衡。试分析移动后的平衡状态与原来的平衡状态比较,地面对 B 球的支持力 F_N 和轻杆上的压力 F 的变化情况。

分析 方法一:隔离法

本题有两个研究对象,可先分别对 A 球、B 球隔离分析,如图 1-3 所示,由 A 球受力平衡可得

$$F \cos \theta = mg$$

将 A 向上移动一小段距离,即 θ 角减小,所以 F 减小。

由 B 球受力平衡可得

$$F_N = mg + F' \cos \theta$$

又

$$F' = F$$

由以上三式得: $F_N = 2mg$,与 θ 角无关,故 F_N 不变。

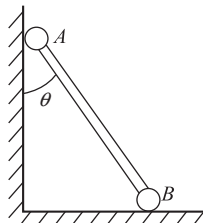


图 1-2

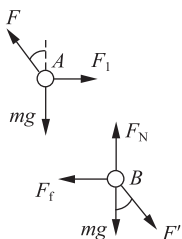


图 1-3

方法二:整体法

将 A、B 两球看成一整体,受力情况如图 1-4 所示,因整体静止,故在竖直方向有

$$F_N = 2mg$$

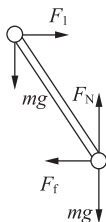


图 1-4

即 F_N 不变;而 F 为整体的内力,故在整体法中得不出 F 的变化情况,只有对某一单体隔离受力分析后,才能得出 F 的变化情况。

【例题 1-3】 如图 1-5 所示,物体 A 的质量 $m_1=2\text{kg}$,B 的质量 $m_2=3\text{kg}$,A、B 之间的动摩擦因数为 $\mu=0.25$,它们之间的最大静摩擦力为 6N ,A、B 叠放在光滑的水平面上,现用一水平力 F 拉物体 B,试求:

- (1) 若拉力 $F=10\text{N}$,则 A、B 之间的摩擦力为多大?
- (2) 若拉力 $F=18\text{N}$,则 A、B 之间的摩擦力为多大?

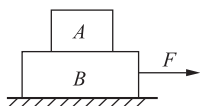


图 1-5

分析

假设 A、B 相对静止,对物体 A 进行受力分析可知其受到 3 个力的作用,即重力、弹力、摩擦力(见图 1-6),则物体 A 能产生的最大加速度为

$$a_m = \frac{F_m}{m_1} = \frac{6\text{N}}{2\text{kg}} = 3\text{m/s}^2$$

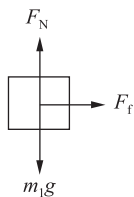


图 1-6

对 AB 整体,如图 1-7 所示,要使 A、B 相对静止,施加的拉力的最大值为

$$F_m = (m_1 + m_2)a_m = (2 + 3) \times 3\text{N} = 15\text{N}$$

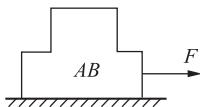


图 1-7

(1) 当 $F=10\text{N}$ 时, $F < F_m$,所以 A、B 相对静止,A 受到静摩擦力,对 AB 整体有:

$$a = \frac{F}{m_1 + m_2} = 2\text{m/s}^2$$

对 A: $F_f = m_1 a = 4\text{N}$,方向向右。

(2) 当 $F=18\text{N}$ 时, $F>F_m$, 所以 A、B 相对滑动, A 受到滑动摩擦力, 对 A: $F_f=\mu F_N=5\text{N}$, 方向向右。

四、受力分析时的注意事项

(1) 防止“漏力”和“添力”, 按正确顺序进行受力分析时防止“漏力”的有效措施, 注意寻找施力物体是防止“添力”的有效措施之一, 找不出施力物体, 则这个力一定不存在。

(2) 深刻理解“确定研究对象”的含义, 题目要求分析物体 A 受力, 那么物体 A 对其他物体的力就不是 A 所受的力。

(3) 画力的示意图时, 力的作用点可沿力的作用线移动。

(4) 为使问题简化, 常要忽略某些次要的力, 如物体运动速度不大时的空气阻力及水的阻力, 轻杆、轻绳、轻滑轮等轻质物体的重力可以不考虑等等。

(5) 不要把物体的受力分析和力的合成与分解相混淆, “合力”是物体实际所受各力的“等效力”, “分力”是从一个力的作用效果“等效”出来。“合力”、“分力”都不是物体受到的真实力, 因此在分析受力时, 不要画出“合力”、“分力”的图示, 即要保持其原状。

(6) 物体受到的多个力的作用点可以平移到同一点上, 一般为重心处。

生活中的物理

拔河比赛只是比力气大小吗?

拔河比赛比的是什么? 很多人会说: 当然是比哪一队的力气大喽! 实际上, 这个问题根据牛顿第三定律(即当物体甲给物体乙一个作用力时, 物体乙必然同时给物体甲一个反作用力, 作用力与反作用力大小相等, 方向相反, 且在同一直线上)可知, 对于拔河的两个队, 甲对乙施加了多大拉力, 乙对甲也同时产生一样大小的拉力。可见, 双方之间的拉力大小并不是决定胜负的因素。对拔河的两队进行受力分析就可以知道, 只要所受的拉力小于与地面的最大静摩擦力, 就不会被拉动。因此, 增大与地面的摩擦力就成了胜负的关键。首先, 穿上鞋底有凹凸花纹的鞋子, 能够增大摩擦因数, 使摩擦力增大; 还有就是队员的体重越重, 对地面的压力越大, 摩擦力也会增大。大人和小孩拔河时, 大人很容易获胜, 关键就是由于大人的体重比小孩大。另外, 在拔河比赛中, 胜负在很大程度上还取决于人们的技巧。比如, 脚使劲蹬地, 在短时间内可以对地面产生超过自己体重的压力。再如, 人向后仰, 借助对方的拉力来增大对地面的压力等等。其目的都是尽量增大地面对脚底的摩擦力, 以夺取比赛的胜利。



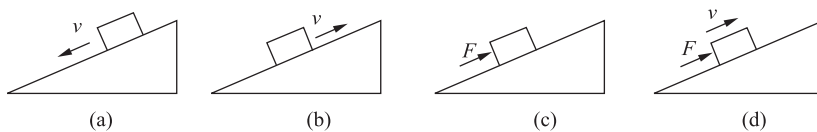
习 题

1. 如习题图 1-1 所示,各图中的接触面均光滑,试分析小球的受力。



习题图 1-1

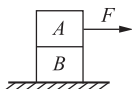
2. 如习题图 1-2 所示,各图中的接触面均粗糙,对物体进行受力分析(习题图 1-2(c)中,斜面上的物体处于静止状态)。



习题图 1-2

3. 分别对物体 A、B 进行受力分析。已知条件如下:

- (1) 习题图 1-3 中,A、B 两物体静止;
- (2) 习题图 1-3 中,A、B 两物体一起做匀速直线运动;
- (3) 习题图 1-3 中,A、B 两物体一起做加速运动(请画出可能存在的所有情况)。



习题图 1-3



阅读园地

牛顿的故事

1643年1月4日,在英格兰林肯郡小镇沃尔索浦的一个自耕农家庭里,牛顿诞生了。牛顿是一个早产儿,出生时只有三磅重,接生婆和他的亲人都担心他能否活下来。谁也没有料到这个看起来微不足道的小东西会成为一位震古烁今的科学巨人,并且竟活到了85岁的高龄。

大约从五岁开始,牛顿被送到公立学校读书。少年时的牛顿并不是神童,他资质平常,成绩一般,但他喜欢读书,喜欢看一些介绍各种简单机械模型制作方法的读物,并从中受到启发,自己动手制作些奇奇怪怪的小玩意,如风车、木钟、折叠式提灯等等。

传说小牛顿把风车的机械原理摸透后,自己制造了一架磨坊的模型,他将老鼠绑在一架有轮子的踏车上,然后在轮子的前面放上一粒玉米,刚好那地方是老鼠可望不可及的位置。老鼠想吃玉米,就不断的跑动,于是轮子不停地转动;有一次他放风筝时,在绳子上悬挂着小灯,夜间村人看去,惊疑是彗星出现;他还制造了一个小水钟,每天早晨,小水钟会自动滴水到他的脸上,催他起床。

1661年,19岁的牛顿以减费生的身份进入剑桥大学三一学院,靠为学院做杂务的收入支付学费,1664年成为奖学金获得者,1665年获学士学位。

1665—1666年严重的鼠疫席卷了伦敦,剑桥离伦敦不远,为恐波及,学校因此而停课,牛顿于1665年6月离校返乡。

由于牛顿在剑桥受到数学和自然科学的熏陶和培养,对探索自然现象产生浓厚的兴趣,家乡安静的环境又使得他的思想展翅飞翔。1665—1666年这段短暂的时光成为牛顿科学生涯中的黄金岁月,他在自然科学领域内思潮奔腾,才华迸发,思考前人从未思考过的问题,踏进了前人没有涉及的领域,创建了前所未有的惊人业绩。这一年,牛顿开始想到研究重力问题,并想把重力理论推广到月球的运动轨道上去。他还从开普勒定律中推导出使行星保持在它们的轨道上的力必定与它们到旋转中心的距离平方成反比。牛顿见苹果落地而悟出地球引力的传说。

1667年复活节后不久,牛顿返回到剑桥大学,10月1日被选为三一学院的仲院侣(初级院委),1668年3月16日获得硕士学位,同时成为正院侣(高级院委)。1669年10月27日,巴罗为了提携牛顿而辞去了教授之职,26岁的牛顿晋升为数学教授,并担任卢卡斯讲座的教授。巴罗为牛顿的科学生涯打通了道路,如果没有牛顿的舅父和巴罗的帮助,牛顿这匹千里马可能就不会驰骋在科学的大道上。巴罗让贤,这在科学史上一直被传为佳话。

牛顿是经典力学理论的集大成者。他系统地总结了伽利略、开普勒和惠更斯等人的工作,得出了著名的万有引力定律和牛顿运动三定律。牛顿高明的地方就在于他解决了胡克等人没有能够解决的数学论证问题。

牛顿的研究领域非常广泛,除了在数学、光学、力学等方面做出卓越贡献外,他还花费大量精力进行化学实验。在力学和天文学方面,有伽利略、开普勒、胡克、惠更斯等人的努力,牛顿有可能用已经准备好的材料,建立起一座宏伟壮丽的力学大厦。正像他自己所说的那样:“如果说我看得远,那是因为我站在巨人的肩上”。

牛顿在临终前对自己的生活道路是这样总结的:“我不知道在别人看来,我是什么样的人,但在我自己看来,我不过就像是一个在海滨玩耍的小孩,为不时发现比寻常更为光滑的一块卵石或比寻常更为美丽的一片贝壳而沾沾自喜,而对于展现在我面前的浩瀚的真理的海洋,却全然没有发现”,这当然是牛顿的谦逊。