

分析几个动力学问题

复旦大学附属中学物理教研组

上海教育出版社

3-49
DD
06095

內 容 提 要

牛頓运动定律是力学的基础，在生产和生活实际中常常要用到。本书通过一些常见事例的討論，闡明怎样用牛頓运动定律来分析实际問題的方法，帮助同学們更深入地理解牛頓运动定律，并启发同学們把理論知識运用到生产和生活实际中去。

本书內容丰富，文笔生动，可供全日制学校高中同学和同等程度的其他学校同学閱讀。

分 析 几 个 动 力 学 问 題

复旦大学附属中学物理教研组

上海教育出版社出版

(上海永福路 123 号)

新华书店上海发行所发行 上海日历印刷厂印刷

开本 787×1092 1/36 印张 1 2/3 字数 32,000

1965 年 10 月第 1 版 1978 年 10 月第 3 次印刷

印数 118,001—268,000 本

统一书号：7150·1682 定价：0.14 元

写在前面

牛頓运动三定律是物体做机械运动时所遵循的最基本的规律。从表述这三个定律的文字和表示第二、第三定律的公式来看，它們是簡單易懂的，但是，它們的含义却极其深刻，应用也非常广泛。在日常生活中，很多现象和問題都可以用这三个定律来解释，在工程技术上更經常要用到它們。这三个定律之間的关系非常密切，而且在解决实际問題的时候，三个定律往往同时要用到。

高一学生在学习牛頓运动三定律的时候，总觉得老师讲的很有道理，听了似乎都懂。但是，当自己分析問題的时候，就往往不能灵活运用这三个定律，有时甚至感到无从着手。为此，我們选取了同學們常常不大搞得清楚的問題作了比較詳細的分析，帮助同學們消除对这些問題本身存在的疑問，并且通过对这些問題的分析，使同學們更深入地理解牛頓三定律，从而能运用这三个定律来分析实际問題。

限于我們的水平，內容难免有錯誤和不妥之处，我們誠懇地請教師們和同學們提出寶貴的意见和批評。

編 者 1965年7月

目 录

写在前面

一	怎样才算动?	1
二	談談慣性.....	2
三	用隔离法分析問題.....	6
四	5 公斤的重量和 5 公斤的力是否一样?	11
五	绳子的张力怎样計算?	14
六	人往上跳,地球是否同时往下沉?.....	18
七	当你站在磅秤上的时候.....	21
八	卡车上的箱子.....	24
九	马拉车,还是车拉马?.....	31
十	“神仙葫芦”.....	39
十一	拔河比賽中为什么会有勝負?	42
十二	电梯里的學問.....	46

一 怎样才算动？

怎样才算动？怎样才算不动？

也许你认为这个问题简单到可笑的程度。小孩子都知道什么东西在动；什么东西不动。天上飞的飞机，路上行驶着的汽车，街上的行人都在动。我们住的房子、房子里的桌子、椅子、床都不动。

这样的回答，一般地讲，当然是可以的，但从物理学的观点来说，并不确切。

为什么不确切呢？原来运动和静止（不动）都是相对的，要确定一个物体在动或者静止，必须先假定某个物体不动，然后将要判断是否在动的物体与它比较，如果它们之间的位置在变化着，那么这个物体在动，如果它们之间的位置不在变化，则这个物体是静止的。由此可见，要判断一个物体是动还是不动，都是相对于一个事先假定为不动的物体来说的。这个被假定为不动的物体叫参照物或者叫参考系。离开了参照物来谈某个物体动与不动是毫无意义的。

为什么平时我们听见说：飞的飞机、行驶的汽车在动，桌子、椅子不动，并不觉得有什么不妥当呢？

因為我們生活在地球上總是習慣于把地球作為參照物。拿物體跟地面是否有位置的变化，來判斷它是否在動。因此，我們說飛的飛機、行駛的汽車在動，桌子、椅子不動，就覺得很對。

這樣說來，習慣上既然把地球作為參照物，那么在回答某個物體動與不動的問題時，可以不必說明以地球作為參照物的條件，這樣不是可以簡單些嗎？

不一定行，有時我們還用自己作為參照物來判斷物體動與不動的。這跟用地球作參照物來對某一物體的動與不動作出的判斷有可能是不同的。

如果我和你并排地走着，我說：你的耳朵在動，你一定以為我在和你開玩笑。其實我說的是真話。我是以地球為參照物而這樣說的。你在走，耳朵和你一起，當然在動。而你是以自己的眼睛、鼻子等作為參照物，你的耳朵相對於你的眼睛、鼻子等來說，當然是靜止的。

所以在判斷物體是否在作相對運動，或者相對靜止的時候，應該說明以什麼為參照物。不然，只說動或者靜止是毫無意義的。

二 談 談 慣 性

物體為什麼會動呢？

从日常生活經驗中知道，一个靜止的物体，要它运动，必須要用力推它。一张椅子，沒有人去搬它，它自己是不会动的。这样看来，物体为什么会动的原因是由于受到力的作用的緣故。十七世紀以前，人們就是凭这种直觉推理方法得出有关运动原因的虛假观念的。

直到十七世紀初，意大利科学家伽利略否定了力学上这个錯誤的結論。

那么，物体究竟怎样会动的呢？

物体的动是由于物体具有慣性。物体的靜止也是由于物体具有慣性。

英国科学家牛頓在前人研究的基础上，總結出运动三定律。其中第一定律就是慣性定律，他說：“如果物体沒有受到別的物体的作用，那么，这个物体就保持自己的靜止状态或匀速直綫运动状态不变。”物体保持靜止状态或匀速直綫运动状态的性质叫做物体的慣性。

可见，物体如果不受外力的作用，由于慣性，它原来是靜止的还是靜止；它原来是运动的还是作匀速直綫运动。

可是地球上的任何物体，不可能不受到外力的作用。它們都要受到地球引力的作用，也会受到空气阻力、摩擦力等等的的作用，所以慣性定律是无法用实验来証明的，只能用推理方法来得出。如果让石子在泥地上滑动，它很快就停下来，这是由于摩擦力阻碍石子运动的結果；如果让石子

在水泥地上滑动，就可以滑得远些；如果让石子在冰上滑动，一定会滑得更远些；如果石子不受到阻力，可以推想得到，石子将会永远滑下去。

在这里你可能会这样想：运动着的物体，它继续运动固然是由于它的惯性。但原来静止的物体，要它运动就得用力推它。这不说明了物体的运动是要用力的嗎？

这个问题应该这样来理解：静止只是运动的一种特殊情况，也就是说，静止是速度为零的运动。用力推物体，使物体由静止到具有一定的速度，这只能是物体运动状态的改变，而不是运动不运动的问题。

所以力是改变物体运动状态的原因，而不是使物体运动的原因，物体运动的原因是物体具有的惯性。它是任何物体都具有的固有属性。

量度物体惯性大小的物理量，叫做惯性量。两个物体受到相同的力的作用时，其中产生的加速度比较小的那个物体，我们说它的惯性量比较大。

例如，有两辆汽车在水平公路上用相同的速度运动，其中一辆汽车是空的，另一辆载有货物。载货汽车的质量比空汽车的质量大。假设同时对这两辆汽车用相同的力来阻碍它们的运动，那么，载货汽车比较不容易停下来。这就是说，它得到的加速度比较小，因此我们可以说，它具有较大的惯性量。

从牛頓第二定律知道， $a = \frac{F}{m}$ ，即加速度跟质量成反比，由于載貨汽车的质量較大，它得到的加速度就小，所以它比較不容易停下来。

由此可见，物体的质量越大，它的慣量就越大。这就是說，物体的质量是物体的慣量的量度。

慣性在日常生活和技术上有着重要的意义。例如：公共汽车在沒有到站之前，司机就关闭了发动机，使车依靠慣性繼續前进，这样就可以节约汽油；在內燃机和蒸汽机上，往往装有一个笨重的飞輪，利用它的慣性通过連杆、曲柄使活塞的平动变为机軸的轉动，以及使机軸轉动速度均匀；再如跳远时，从远处跑到沙坑边再起跳，由于人到达沙坑边时已具有一定的速度，依靠身体的慣性就可以比立定起跳成績要好得多。在另一方面，我們又要注意防止由于物体的慣性而造成不必要的損失。例如：汽车司机必須遵守行车規則里所规定的车速和车距，否則，前面车辆突然刹车，后面车辆的司机发现后即使立刻刹车，由于汽车的慣性也会造成碰撞事故。又如：在公共车辆上站立的乘客要拉好扶手，以免在车子开动、刹车或轉弯时跌倒。

可能有人会想：如果物体沒有慣性将会出现什么现象。根据慣性定律可知，如果物体沒有慣性，則不需要外力，它自己就会改变运动状态，靜止的可能会突然运动起来，运动的又可能会突然改变速度或停止运动。这样物体的一切运

动就不再有它的规律性，当然，人們也就无法控制他自己和其他物体的运动。其实，慣性是一种客观存在的自然现象，正因为物体有慣性，以及物体間的相互作用，才造成物质世界的千变万化而有规律的运动，那么我們脱离了客观实际而去主观想像，那是毫无意义的。

也有人会想：现在宇宙中的一切物体都是在运动着的，那么开始时是什么力使这些物体动的呢？

这个問題的提法本身就有錯誤，錯誤在于提出問題的人首先假定万物是靜止的，所以要問：使它們动是什么力的作用。

現在我們清楚地知道，宇宙間的任何物体都是互相联系、互相制約的，它們原来就是永恒地、不停地在运动着。这种存在于人类意識之外的物体永恒地、不停地运动叫做运动本身的絕對性。由于物体原来是运动着的，而不是靜止的，所以根本不需要再用什么力去推动它了。

三 用隔离法分析問題

为了充分利用发动机的动力与装运較多的貨物，我們看到有的卡车后面挂有拖车。如果已知发动机的牵引力 F ，卡车的质量 m_1 ，拖车的质量 m_2 ，和它們所遇到的阻力 f_1 和 f_2 (图 1)，就可以求出它們的加速度。因为在运动过程

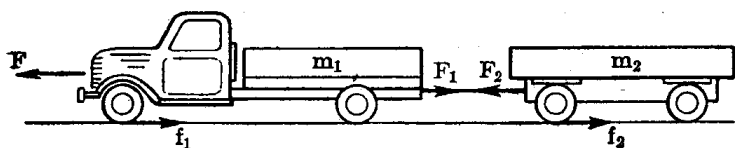


图 1

中卡车和拖车的加速度一般是相同的,所以,完全可以把它们当做一个整体来看待,其质量为 $M = m_1 + m_2$, 而根据牛顿第二定律, $a = \frac{F - (f_1 + f_2)}{m_1 + m_2}$, 即可求出它们的加速度。但是,当我们要求拖车受到卡车的拉力是多大时,就不能再把它們当做一个整体来看待了,必須把卡车和拖车隔离开来,才能求出拖车所受到的拉力 F_2 。这种在研究問題时根据需要把研究的对象从整体中隔离出来,分析它的受力情况的方法,叫做隔离法。

用隔离法解題一般可以分成三个步骤。

第一,在仔細分析題意的基础上画出草图,根据需要选定隔离体。

第二,画出隔离体的受力图(与我們研究无关的平衡力可以不画在力图上)。

第三,根据隔离体的受力图和物体間作用与反作用的关系,利用牛顿第二、第三定律列出方程,有几个要求的量就应该列出几个方程,然后联立求解。

下面举几个用隔离法解动力学問題的例子。

〔例一〕 在水平桌面上放着三个用細繩連接着的物体 A、B、C (图 2)，它們的质量分別为 $m_A=4$ 公斤、 $m_B=4$ 公斤、 $m_C=2$ 公斤，如果在 A 上加一水平拉力 $F=1$ 公斤，摩擦不計，求它們的加速度和 A 对 B 的拉力。

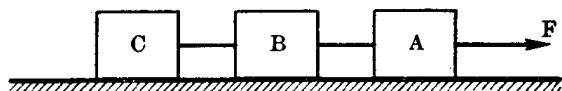


图 2

用隔离法解：

(1) 此題中已有草图，不必再画。根据題目的要求，只要求 A 对 B 的拉力，所以，只要选出两个隔离体，一个是物体 A，另一个是物体 B 和 C (根据題意，物体 B 和 C 可以看作一个整体，沒有必要再把它們隔离开)。

(2) 画出隔离体的受力图 (图 3)。

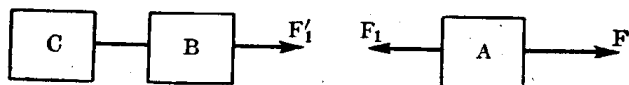


图 3

(3) 根据牛頓第二、第三定律列出以下方程：

对 A: $F - F_1 = m_A a \dots\dots\dots ①$

对 B 和 C: $F'_1 = (m_B + m_C) a \dots\dots\dots ②$

因为在細繩的质量可以忽略的情况下， F_1 与 F'_1 可以认为是通过細繩的一对作用力和反作用力，量值是相同的，

所以, $F_1 = F'_1 \dots\dots\dots ③$

解方程: 以③代入①得 $F - F'_1 = m_A a \dots\dots\dots ④$

②与④相加, 得 $F = (m_A + m_B + m_C) a,$

$$\therefore a = \frac{F}{m_A + m_B + m_C} = \frac{1 \times 9.8}{10} (\text{米/秒}^2) \\ = 0.98 (\text{米/秒}^2).$$

将 a 值代入②得 $F'_1 = (m_B + m_C) a = 6 \times 0.98 (\text{牛頓}) \\ = 5.88 (\text{牛頓}).$

答: 物体运动的加速度是 0.98 米/秒^2 , A 对 B 的拉力是 5.88 牛頓 , 方向与拉力 F 相同。

在上面的例题中, 如果还要求物体 B 对物体 C 的拉力, 那么, 就得把物体 B 和物体 C 隔离开来。如果它們在运动中还受到阻力, 那么, 在求每个隔离体所受外力的合力时, 把每个隔离体各自受到的阻力計算进去就行了。在实际問題中, 一列火车在平直的軌道上运动, 求它的加速度和各节车厢間挂鈎所受的力, 跟上述例题情况一样。

〔例二〕 如图 4 所示: 一根細绳跨过定滑輪, 一端拴一质量为 1 公斤的物体 m , 另一端拴一质量为 2 公斤的物体 M , 用手托着 M 。如果不計摩擦, 問:

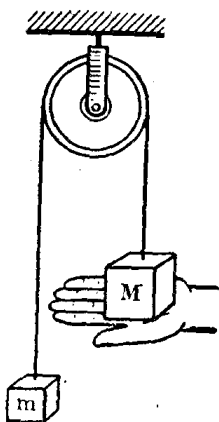


图 4

(1) 当手静止时, M 对手的压力是多大? 绳子对物体 M 的拉力是多大?

(2) 当手托 M 以 1 米/秒² 的加速度向上运动时, M 对手的压力是多大? 绳子对 M 的拉力是多大?

(3) 当手承受 M 的压力为 1.5 公斤时, M 向什么方向做加速运动, 这时绳子对物体的拉力是多大?

解: (1) 我們知道, 在平衡时物体的重量等于它对支持物的压力或拉力。当手静止时, m 也静止, 故 m 对绳子的拉力与绳子对 M 的拉力都是 1 公斤。这时 M 受到三个力: 豎直向上的绳子的拉力 1 公斤, 豎直向下的重力 2 公斤, 和豎直向上的手对 M 的托力, 这三个力的合力为零, 故手对 M 的托力为 1 公斤, 那么, M 对手的压力也是 1 公斤, 方向向下。

(2) 作隔离体力图 (图 5, F 为手对 M 的托力)。

列出下列运动方程:

$$F + T_2 - P_2 = Ma \dots\dots ①$$

$$P_1 - T_1 = ma \dots\dots ②$$

$$\text{而 } T_2 = T_1 \dots\dots ③$$

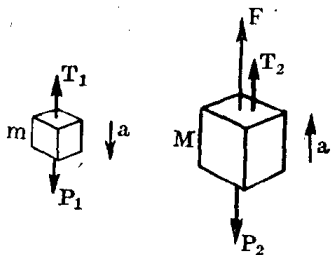


图 5

解之, 得 $F = (M + m)a - P_1 + P_2$,

$$\begin{aligned} \therefore F &= (2+1) \times 1 - 1 \times 9.8 + 2 \times 9.8 \text{ (牛顿)} \\ &= 12.8 \text{ (牛顿)} = 1.3 \text{ (公斤)}. \end{aligned}$$

代入①式得 $T_2 = 8.8 \text{ (牛顿)} = 0.9 \text{ (公斤)}.$

(3) 根据第一个问题中的答案，在静止时手对M的托力为1公斤，那么，手承受M的压力为1.5公斤时，即 $F + T_2 > P_2$ 时，物体M一定是向上做匀加速运动。

隔离体力图和根据牛顿运动定律列出的三个方程跟第二个问题完全相同，只是已知的不是 a 而是 F ，因此，需要先求出 a 。

解上述方程得：

$$a = \frac{F + P_1 - P_2}{M + m} = \frac{1.5 \times 9.8 + 9.8 - 19.6}{2 + 1} \text{ (米/秒}^2\text{)}$$

$$\doteq 1.6 \text{ (米/秒}^2\text{)},$$

$$\therefore T_2 = 8.1 \text{ (牛顿)} = 0.83 \text{ (公斤)}.$$

- 答：(1) M对手的压力是1公斤，方向向下，绳子对M的拉力也是1公斤，方向向上；
- (2) M对手的压力是1.3公斤，方向向下，绳子对M的拉力是0.9公斤，方向向上；
- (3) M向上做匀加速运动，加速度是1.6米/秒²，绳子对M的拉力是0.83公斤，方向向上。

四 5公斤的重量和5公斤的力是否一样？

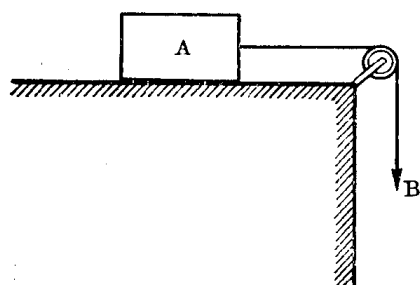
5公斤的重量和5公斤的力不是一样吗？这还有什么

問題呢？

的确，物体的重量是地球对物体的引力产生的，在研究靜力学的問題中 5 公斤的重量就是 5 公斤的力。

可是在研究动力学的問題中 5 公斤重量所起的作用就不一定是 5 公斤力所起的作用了。下面通过一个例題的分析來說明這個問題。

〔例題〕 图 6 中物体 A 的质量 $m_A = 15$ 公斤，放在光滑的水平桌面上。如果滑輪的摩擦不計，那么，在绳子 B 端



挂一个重量是 5 公斤的物体，和用 5 公斤的力向下拉 B 端，其效果是否相同？这两种情况下 A 的加速度各是多少？绳子的张力又是多少？

图 6

解：在 B 端挂一个重量是 5 公斤的物体和用 5 公斤的力向下拉，使 A 产生的加速度是不一样的。因为挂 5 公斤的物体，它的重力除了使 A 加速运动外，还使它自己向下加速运动。而用 5 公斤力拉时，这 5 公斤的力全部用来使 A 加速运动。因此，前者所得到的加速度一定小于后者所得到的加速度。在前面一种情况里绳子受到的张力也小于后面一种情况里绳子受到的张力。不过，如果整个物体系统在靜止或者做匀速运动的

时候,那是完全一样的。

第一种情况: 在B端挂5公斤的物体(图7)。

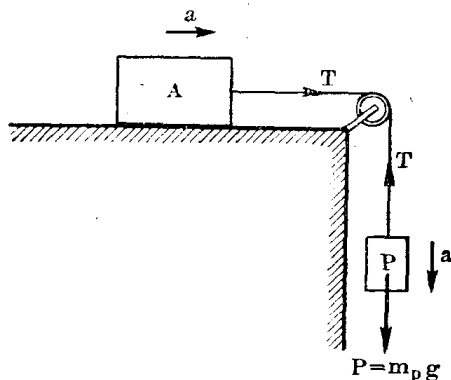


图 7

取A为隔离体,则

$$T = m_A a \dots\dots\dots ①$$

取P为隔离体,则

$$P - T = m_P a \dots\dots\dots ②$$

解联立方程得:

$$a = \frac{P}{m_A + m_P}, \quad T = \frac{m_A P}{m_A + m_P}。$$

已知: $P = 5$ 公斤 $= 5 \times 9.8$ 牛顿 $= 49$ 牛顿,

$m_P = 5$ 公斤, $m_A = 15$ 公斤。

代入上面两式得:

$$a = \frac{49}{5 + 15} (\text{米/秒}^2) = 2.45 (\text{米/秒}^2),$$