

力学运动定律

[苏联] A. 3. 洛班諾夫著

科学技術出版社

力学运动定律

[苏联]A. 3. 洛班諾夫著

蔣其墀 黃紫峰譯

王玉辰 許鴻濱校

科學技術出版社

內 容 提 要

本書以实际生活中所接触到的許多現象來說明力学的运动定律，并以力学的运动定律来解釋日常生活中所接触到的各种現象，是一本知識性讀物。

力 学 运 动 定 律

ЗАКОНЫ МЕХАНИЧЕСКОГО
ДВИЖЕНИЯ

原 著 者 [苏联] А. З. ЛОБАНОВ

譯 者 蔣 其 培 黃 榮 峰

校 者 王 玉 辰 許 鴻 濱

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海延平路336弄1号)

上海市書刊出版業營業許可証出〇七九号

上海市印刷四厂印刷 新華書店上海發行所總經售

*

統一書号: 13119·61

开本 787×1092 耗 1/32 · 印張 1 3/4 · 字數 35,000

一九五六年十二月第一版

一九五六年十二月第一次印刷 · 印數 1—17,000

定價: (10) 二角四分

序

力学是一门极其古老的科学。在人类社会发展的初步阶段，人們就已获得了一些关于力学的肤浅知識。原始人手中所使用的虽只是些簡單的木棍或石块，已經使他比生物界中其他具有代表性的生物有了某些优越的地方。即使是象木棍或石块这样簡單工具的适当使用也需要一定的本領和技巧。

人类为了捍卫自己生存的权利，曾与大自然展开了面对面的决斗。这种斗争是极其不易的。自然界妒忌地保守着自己的秘密。每一个秘密的揭破都要花費很多的精力。由于長期积累的經驗和知識，才能出現弓和箭。在人类想出杠杆、滑車絞盤等类簡單机械之前就需要好几百年，現在环繞我們四周的，甚至有时为自己的偉大而感到惊奇的工程上那些多种多样的成就，我們不能不归功于千百年所积累的經驗。

需要首先解决的問題当是力学問題。怎样能扛起沉重的石块？怎样將箭射得更远？怎样能將水从深穴中汲起？諸如此类的問題在人类社会发展的最初期就已經應該得到解答了。

人类在利用这一种或另一种机械中逐漸地掌握技巧，提高自己的本領，同时也順便地解决了个别日益复杂的力学問題。不断地积累和总结历代的經驗，力学发展成为科学中的一个独立丰富的部門。

力学的对象是研究物質(物体)最簡單的运动方式，即研究仅只改变物体在空間的位置的現象。

基于下列的理由，研究力学对我们来说是非常重要的。

1. 我们在工厂和作场中看到的机床、机器、机构、起重机等等没有一样离开了力学的知识能够制成。

2. 我们日常生活中所接触到的任何一种物理现象，不论是简单的或复杂的，都伴随有各种力学上的位移。所以没有力学知识，物理学上的任何一个部门（热学、振动和波动力学、电学、光学）都无法研究。

3. 根据力学的定律，非但可以解释简单的和复杂的机构或机器的作用（火车和飞机的运行，起重机和联合机的工作），也可以说明在我们日常生活中、在畜类、禽类以及植物界的生活中所接触到的现象（例如禽鸟从一枝树枝上跳到另一枝树枝上、它们在水中游泳、在空中飞翔；紫罗兰、豌豆、豆类植物的散布种籽）。为了要明了任何一种复杂机构的作用，必须要知道这机构的各个简单部件是如何产生动作的。

解决有关力学问题的必要性，在人类的全部历史上曾经不断地产生并且正在产生着。所以不能认为：既然力学是一门古老的科学，所有力学上的问题都已经得到了解决。最近二、三百年内，特别是在我们的二十世纪内，科学中如化学、生物学、物理学的各个部门以及其他各种科学都已经得到了非常广泛和迅速的发展。但是所有这些知识领域中的成就一点也没有削弱力学的意义。各种机械的结构仍然是现代工程上的基础。随便拿出一部什么机器，在它里面哪一个没有杠杆、滑车、曲柄、轮子等类的东西呢！所有这类简单机械都是单独地或与其他机械配合着作为组成部分参加到任何一部机器中去的。这就是为什么稳固的力学基本知识在研究技术上任何一个部门时成为完全必要的。

現代大規模建設中的高速度工作已經是可能的，因為在這些建設中一方面擁有最完善的機械，另一方面人們明確地認識到他們的勞動是為了提高可愛的祖國的經濟力量，是為了更進一步地提高自己的物質文化生活水平，他們勞動的明確目標和使這勞動變得輕鬆的許多機械把生產效率提高許多倍。相反地，在資本主義社會中壟斷資本家卻利用機器從工人身上壓榨出所有的精力以求獲得最大利潤。

有關力學的各种各樣的問題中，我們在這裡只研究最簡單的問題——物體的直線運動。在物體直線運動的實例中，我們介紹鑑定運動的基本因素和支配這種運動的最簡單的定律。

目 录

序	1
1. 运动	1
2. 物体运动的速度	5
3. 加速度	11
4. 惯性定律	14
5. 力、重量和质量	19
6. 力学第二定律	25
7. 作用和反作用	35
8. 动量	40
結束語	49

1. 运 动

在一条热闹的城市街道上，蜿蜒不绝地移动着有轨电车、公共汽车、无轨电车和汽车；还有那熙来攘往的行人。在工厂和作坊内，机器和机床的个别构件在运动着，轮带飞驰、汽锤上落不停、输送带规律地滑动着。在田野里、森林中、河边上，人们到处可以看到一些东西在微微地摆动、流动、下落。总之，它们是从这一个地方移动到另外一个地方。就是你闭上眼睛静静地躺着，那末你也能感觉到运动：呼吸时胸膛的一起一伏，心脏的跳动。这一切都是力学运动的例子。

机械运动可以定义为任何物体所作各种位置的变动。可是运动并不局限于这样的定义。运动的一般概念还含有更广泛的意义。

辩证唯物主义的创始人之一，伟大的学者弗里德里希·恩格斯写道“物质的运动不仅是简单的机械运动，单纯的位置变动，而且还是热和光、电和磁的应力、化学的化合和分解、生命以至意识”。

这样一来，对于运动应该不仅理解为物体从一个地方到另外一个地方的简单移动，它的位移，而也应该理解为一切总的变化。自然，物质运动的各种形式中机械的形式是最简单的运动形式。机械运动通常伴随有更复杂的物质变化。

“一切运动本身都包含机械运动……，但这种机械运动一般地并不能将运动概括无遗”。（恩格斯）

在象化学过程、有生命的机体中的过程(如思維),这样高級的运动形式中,机械的位置变动与其他更复杂的物質变化相比,起着次要的作用。

当我们談到运动的时候,一定会把它与任何一样物体相联系(例如鳥在飞行、石块落下、水在流动)。如果是进行化学反应,那末相互反应着的物質一定处于运动状态之中;只有各种物質的分子在碰撞时才能構成新分子——反应的生成物。我們想象不出一个沒有物体或物質参加的运动。同样我們也想象不出一个沒有运动的物質。运动是物質存在的形式。物質与运动統一的原理,作为辯証唯物主义的基本論点之一,是馬克思和恩格斯所表述和論証了的,并为列宁所发揚光大。近代物理的发现証实了物質和运动統一的原理。

力学的任务局限于研究物体簡單的位置变动,而不是一切运动。但是不能因此就認為在認識自然界上力学起很少的作用。相反地,力学广泛地涉及到所有自然科学的各种現象。由經驗中得出并由經驗所証实的力学定律得以应用在极多的科学和工程部門中。

我們回过来看本节首段列举的普通力学运动的例子。什么是前面所提到的那些物体的一般运动呢?物体的一般运动就是那些物体对着另外一个我們認為是不动的物体变动位置。行人和汽車确实是对着我們認為不动的房屋、树木等等在移动。

輪帶、汽錘、輸送帶是对着牆壁、地板、天花板、厂房在移动。但是我們是不是能認為房屋、树木、厂房、或汽錘下面立着的沉重的鉄砧是不动的,是絕對静止的呢?

我們来看这样的例子,有一位妇女帶着小孩乘有軌电車,她

对小孩說：“靜靜地坐着，不要轉来轉去”。当小孩不从自己的座位上跳下来，不挤車中鄰座的人，所謂“不动地”坐着，母亲是滿意的。她規定儿子的“靜止”状态是要他对他坐着的長凳，对电車的地板和車廂壁不改变自己的相对位置。母亲考虑儿子的动作时並沒有注意到整个車廂的运动。

可是这时站在人行道路上的行人又怎样說呢？他說：“我站在这里沒有移动，小孩乘着有軌電車在我身旁經過了”。因而从母亲看来，小孩是“靜止的”。但站在人行道路上的行人看来，他是在移动着。他們兩人中究竟誰的看法正确呢？原来他們兩人都对。

在这种情形下，母亲局限于車廂內部自己所接触的环境，儿子的一切行动是由電車內相对的物体和乘客来估量的。如果小孩坐在离門三公尺，离窗十公分的地方，那末对母亲來說重要的只是这个距离不改变。那时在她所挑选的計算方法中——通常在物理上叫做計算系統，小孩是处于“靜止的”状态。这样說的时候，她当时是撇开了車廂的运动的。

站在人行道路上的行人有另外一种看法。他認為只有地球、地球上的房屋、树木、电綫杆和他自己是“靜止的”、“不动的”；当时在这些东西旁边駛过的、載着乘客的車子才是在运动着。他有另外一种計算系統（另一种計算方法）。当車廂停止的时候，兩者的見解才一致：小孩坐着“不动”。

如果在这一瞬間有人能从太阳上来观察的話，那末他就不会同意这样的結論。挑选了認為太阳是不动的計算系統以后，他將會說：“整个地球帶着你們同时相当快地运动着”。置身在太阳系范围以外的任何一个星球上的观察者，把那个星球当作不动的东西后，他就会認為不單是地球甚至太阳也是在运动

着。

自然界中根本沒有一种物体可以被認為是絕對不动的；也就是說一切靜止都是相对的。

因而任何物体的一切机械运动都是相对的，因为运动是研究它对另外一个物体的关系，对所挑选的假定的計算系統的关系。

解答实际的力学問題时，联系到地球的計算系統一般是足够的，把它当做不动的物体来确定其余物体对它的位移。更进一步縮小自己观察的范围常常是适当的。例如，可以把航行中的輪船上的机器基座看成是“不动的”，然后来观察各个零件对它的运动。当然这样做只是观察这部机器的零件时是合理的；至于在机器以外，如在岸上发生的事件則又当別論。研究运动的問題时，在每个場合下必須善于正确地選擇認為是“不动的”东西。这样的物体不可以任意選擇。我們用下面的例子來說明这一点。

在射击之前，炮彈、大炮和地球相互之間是处于靜止状态。这三者中的任何一个物体有同样理由可以認為是“不动的”。在射击过程中，所有这三样物体都产生运动。此刻能不能把三者中的任何一个物体作为“不动的”呢？我們能不能說炮彈保持“靜止”，大炮和地球对它产生了运动呢？显然不能这样說。实际上地球沒有因射击而改变它的状态(原来的运动状态)，而是炮彈和大炮发生了变动。为要正确地表达真相，我們應該說，炮彈以高速度在运动，大炮稍向后退，地球实际保持“不动”。

估量运动时，應該經常考慮到引起此一运动的原因，必須善于区别什么东西是在运动，什么东西保持“靜止”。更不能認真地断言說火車是“停着”而路基对着火車在运动。当然必須認為

火車对着路基而不是路基对着火車在运动，因为那个使火車运动的力量一点也沒有能力来明显地改变地球日常的运动。

这样一来，叙述任何一个相对运动，需要充分适当地挑选一定的計算系統，并且要估計到引起此一运动的原因。

2. 物体运动的速度

我們說：“如箭疾駛”、“如龟爬行”、甚至象“鵠立不动”这些成語，都是用来表达运动的各种特征。的确，在第一种情形中我們強調它迅速，在第二种情形中相反地強調它緩慢，在第三种情形中則說明它根本沒有运动。我們用类似的成語只能表达出运动的質的一面，但是怎样才能数量上表达出运动呢？

假定在我們身旁同时疾駛过兩輛汽車，一輛輕便汽車和一輛載重汽車。过了两分鐘以后，第一輛已离开我們1080米，而第二輛——720米。它們的运动在質量上是这样分別：輕便汽車的运动比較重汽車快。为要在数值上表达出这个性質(快慢)，就必須計算第一輛和第二輛汽車在同样的一分鐘或一秒鐘內行駛了多少米。

將前述的第一輛和第二輛汽車的运动時間——两分鐘，分別来除它們的路程以后，我們得到：

$$1080\text{米} \div 2\text{分鐘} = 540\text{米/分鐘(第一輛車)};$$

$$720\text{米} \div 2\text{分鐘} = 360\text{米/分鐘(第二輛車)}.$$

或者用120秒鐘分別去除1080米和720米，我們得到：

$$1080\text{米} \div 120\text{秒} = 9\text{米/秒(第一輛車)};$$

$$720\text{米} \div 120\text{秒} = 6\text{米/秒(第二輛車)}.$$

总之，关于运动快慢在数值上的表达，我們列成路程对它駛

行時間的比例式。这个比叫做运动的速度。

从上述的例子中看出速度在数值上等于物体（如例中的汽車）在單位時間內行駛的路程。

如果路程跟通过这段路程所需時間的比保持不变，那末这样的运动叫做匀速运动。

速度可能在某种場合中較大，而在另一种場合中較小；即是說它是个物理量，并且象一切物理量一样必須以一定的單位来計量。我們挑选任何一个固定的匀速运动的速度作为速度的單位，并且給它一个規定的名称。我們把物体或質点在一秒鐘內移动一厘米的匀速运动的速度当做速度的單位。因而这样的运动可以写成：速度 = 路程 / 時間 = $1 \text{ 厘米} / 1 \text{ 秒} = 1$ ，就叫厘米/秒（或讀做每秒厘米）。这种名称是复合的，它表示我們以時間除路程所得的速度的数值。用类似的方法我們可以得到其他速度單位：1 米/秒，1 公里/秒，1 公里/小时等等。平常都按照每种研究的对象，采用最方便的單位。任何人都不会用公里/秒来表示烏龜的爬行速度，而以毫米/小时来表示飞机的飞行速度。

虽然速度在数字上是与物体在單位時間內通过的路程相等，但是我們不能說：物体或質点在單位時間內通过的路程就是速度。运动的質点（或物体）移动的路程是它运动的結果，而速度是这个运动过程中每一瞬間的运动特征。这个概念就是說：速度不是路程。速度和路程是本質上不同的两个物理量。不能写成 $5 \text{ 米} = 5 \text{ 米/秒}$ 。这里我們看到的只有数量相同，而数量的本質是不相同的。这是象写成 $5 \text{ 秒} = 5 \text{ 克}$ 一样的荒謬，虽然这些数量的数值是相等的，但是秒是一种物理量而克是另一种物理量。

一切运动的过程中，每一瞬間都有速度。計量速度以后，在数量上就可以表达出运动的特征，我們在日常生活上用“快”、

“极快”、“缓慢”等詞表示。

用時間除路程我們就可以算出运动的速度。但是我們不單是用時間除路程来获得速度的大小，汽車上的仪器——速度表，虽然它不履行時間除路程的手續也能指明每一瞬間的运动速度。

当然，要比較两个物体之間的速度，必須以同样的速度單位来表示。很容易了解，一个物体的速度 40 厘米/秒要比另一个物体的速度 20 厘米/秒快一倍。但为了要說明一列速度为 70 公里/小时的火車和一辆速度为 10 米/秒的汽車那一个快些，首先必須以同样的單位来表示这两个速度。如果汽車每秒走 10 米，那末一小时后它前进的路程增加到 3,600 倍（1 小时 = 3,600 秒）即是 36,000 米或者 36 公里。現在就很明显了，上面所說的汽車的速度約是火車速度的二分之一。

各种物体的运动速度詳見下表：

运 动 物 体	速 度 (米/秒)
蝸牛	0.0015
行人在一般行程中的平均速度	1.5~2
小跑的馬	2.3~3.5
騎自行車的人	3~5
帆船	9以下
温和的风	約10
ΦД 貨运蒸汽機車	22
ИС 客运蒸汽機車	40
客运电气機車	45
驅逐机(螺旋槳的)	220
空气中的声音	340
步槍彈	800
月球環繞地球的运动	1,000
地球環繞太阳的运动	29,800

运动的速度在工程和整个国民经济中经常具有重大的意义。車床上被加工零件轉动越快，工人在每班內可以制造的产品就越多。当銑刀工厂的工人 T. 希罗科夫使用更为坚硬的合金刀具后将螺絲車床的速度从每分鐘 250 轉提高到 960 轉，因而他的劳动生产率增加到 2.6 倍^①。

我們的火車运行越快，轉動的貨物就越多。我国国内技术的进步是与掌握日益增高的速度而作的斗争有密切联系的。由于科学家和工程师的紧密合作，斯达哈諾夫式工人在工作中达到了高度指标，突破規定产量标准数倍之多。运用我們学者研究出来的特种硬質合金所制成的優質刀具，使得斯达哈諾夫式工人在生产上得以广泛采用金属零件的快速加工法。

在速度的特性上我們还要指出一个很重要的因素。請注意这些話語：“輪船以每小时 20 公里的速度沿河向下开行”、“刮着强烈的北风”、“汽車沿进城的公路飞驰着”等等。在这些話里非但显出速度的大小并且也指出运动的方向。指明物体移动速度的大小和它的方向后，我們得到更完整的运动概念。这种除了用数字規定外还需要标明方向的量我們叫做矢量。因而速度就是矢量。

我們早先提到的运动的相对性在对速度的关系上也将是正确的。速度象运动本身一样也是相对的。假使我們身旁駛过一輛汽車，它的速度为 40 公里/小时，这就意味着它对着靜立不动的我們以这样的速度在运动。但假使我們在公路上以每小时 4 公里的速度行走，而汽車从后面追过我們，它的速度表标示 40

^① 轉动时被加工零件或成品的运动速度以每分鐘或每秒鐘內旋轉数表示之。如果知道了被加工零件的直徑，此單位很容易換算成每秒米或每秒厘米的速度——
原注

公里/小时，那末現在汽車是以什么样的速度对着我們运动呢？
 不难想到它的速度將为 $40 - 4 = 36$ 公里/小时，因为汽車虽然在这一小时内行駛了40公里，但是我們在同一方向上走了4公里，所以我們与汽車的距离只有36公里。倘使这辆汽車与我們相背而駛，那么它的速度对我們來說將为 $40 + 4 = 44$ 公里/小时。

在牛头刨床上为了进行切削，刀具沿固定的工件表面移动；在龙门刨床上則相反，夾持工件的工作台在固定的刀具下面移动(图1)。两种情况下所得到的結果完全相同，因为所有这一

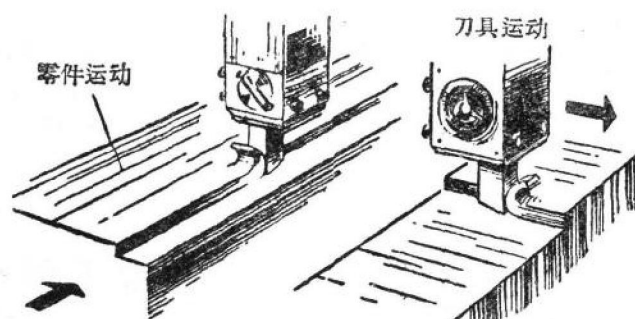


图1 牛头刨床上刀具对零件运动；龙门刨床上零件对刀具运动

切都由被加工工件和刀具之間的相对速度和相对位移来測定的。

今后我們談到速度时將是指一个物体对任何另外一个我們假定为不动的物体的速度而言。我們多半把地球当作不动的物体。

我們再回过头来看看本节首段所提到的輕便汽車和載重汽車的例子。我們用两分鐘来观察它們的运动，但是我們也可以把自己观察的时间延長到一小时或者相反地縮短到一秒鐘，物体在这一小时、一分鐘或一秒鐘內所通过的路程的長度确定出它

在這一段時間內運動的平均速度。把自己對運動物體的觀察時間愈益縮短，並且確定出每一個縮短了的時間片段內符合於它的平均速度時，我們將接近到足以表明瞬時速度或實際速度的數值，即物體在該瞬間所具的速度。如果你乘火車從莫斯科到斯摩陵斯克，當你經過標志着“100 公厘”的路標時，火車在那一瞬時是以怎樣的速度行進的，這個問題很少會引起你的注意。但一個問題却使你發生興趣——火車以怎樣的平均速度行駛，這個數值很容易算出來。知道了兩城之間的距離為 400 公里，按照鐵路時刻表火車需要開行八小時才到斯摩陵斯克，那末平均速度等於 $400 \div 8 = 50$ 公里/小時。可能在個別的路途中火車的速度的 80 公里/小時，其他的則為 20 公里/小時，但是它的平均速度包括停車時間在內為 50 公里/小時。

相反地，在其他情形下瞬時速度却值得極端注意。例如：子彈的穿透能力是根據它跟射擊目標互撞瞬間內的速度來決定的。已經大大地消耗了自己初速度的死彈（飛行臨終的子彈），它的穿透能力較同樣的子彈剛由槍膛內射出時要低。

這兩種速度——瞬時速度和平均速度——是不是有時會彼此相等呢？是的，有時是相等的。當物體勻速運動時，也就是說在任何相等的時間內通過相等的路程時，那時的瞬時速度和平均速度將相等。

我們可以拿站在地下電車道升降梯階上的人的移動作為勻速運動的例子。

優良的無須調整的挂鐘的懸錘每小時精確地下降同樣的距離。它的運動是均勻的。

實踐中，我們常常碰到變速的運動（速度改變的），它們的特征是速度不定（火車自車站開出或者起動時的運動，子彈和炮彈