

自然科学史话

# 从伽利略到牛顿

张三慧

北京出版社

## 编辑说明

《自然科学史话》是按数学、物理、化学、生物、地学、天文等学科编写的。这套《史话》较系统地介绍上述学科的发展历史和某些科学原理或定律的渊源，以及人们对自然界由浅入深、由表及里的认识过程。编写上力求深入浅出，通俗易懂，做到科学性、知识性和思想性的统一，以便于有兴趣探索自然科学发展史的大、中学生和广大读者阅读，特别是帮助广大中学理科教师扩大知识面，更好地做好教学工作。

# 目 录

## 前 言

一、力学的早期发展	1
(一) 我国古代对静力学的贡献	1
(二) 阿基米德的杠杆和浮力原理	6
(三) 亚里士多德的动力学	13
(四) 欧洲中世纪的黑暗及阿拉伯人的功劳	17
(五) 文艺复兴对力学的影响	19
二、伽利略的奠基性贡献	30
(一) 伽利略的一生	30
(二) 落体是同时到达地面的	34
(三) 自由落体和匀加速运动的研究	37
(四) 维持运动不需外力	45
(五) 对单摆运动的研究	52
(六) 运动合成原理	55
(七) 伽利略相对性原理	59
三、牛顿力学的创立	63
(一) 牛顿的一生	63
(二) 牛顿三定律	67
(三) 动量守恒定律	77

(四) 机械能守恒定律 .....	87
(五) 关于运动的两种量度 .....	96
四、牛顿天体力学的形成 .....	104
(一) 托勒玫体系的出现 .....	104
(二) 哥白尼体系的提出 .....	109
(三) 第谷、开普勒和伽利略的贡献 .....	115
(四) 牛顿的关于行星的平方反比定律 .....	125
(五) 牛顿得出了万有引力定律 .....	134
(六) 牛顿天体力学的几个推论 .....	142
五、牛顿后的力学发展概述 .....	153
(一) 牛顿力学理论的进一步发展完善 .....	153
(二) 牛顿力学的广泛影响 .....	161
(三) 相对论力学和量子力学的提出 .....	165

## 前 言

力学，广义地讲，是指关于物体运动的学问，它几乎包括了物理学的所有内容。“四大力学”真可以说是既广且深。本书提到的力学，是从狭义的角度讲的。它是指宏观物体在力的作用下，作低速运动(相对于光速而言)或静止的规律。即使这样限制，力学包含的内容仍然是非常广泛的。在今天科学技术飞速发展的时代，力学原理的应用几乎遍及各个部门。从造屋架桥、开车驶船直到潜水航天，无不利用力学知识作为基础。风吹水流、日月运行也都按力学规律进行。今天，单是力学这门学科也已经是既广且深了。

今天的丰富的系统的力学理论，是人类在历史上长期积累的结果。由于人类在生活和生产过程中，经常地起码要用体力或借助于某种机械进行活动，所以，最简单的力学知识就和人们最简单的活动联系起来。也正因如此，力学知识的发展可以一直追溯到人类社会的早期。在我国以及在西方的古籍中都有力学知识的记载。我国历史上利用力学知识的实践活动及其成果在世界上可以说是发展得最早而且最完美的。但是由于现在还需要探讨的原因，力学理论并没有在我国的土地上生长发展。在西方，从文艺复兴开始，由于客观上生产发展的需要以及科学家们个人的努力，力学理论得

到了长足的发展。伽利略首先否定了亚里士多德的粗糙的错误说法，牛顿又在这个基础上创立了系统的力学理论，完成了人类对自然界认识的第一次大综合、大飞跃；他身后又有人继续把他的理论推向前进，直到为近代物理的过渡打下基础。力学发展的历史是一个引人入胜的、发人深省的故事。了解这一历程不但使我们能更深刻地理解今天的力学，而且在思想上也会给我们很大的启发。本书就是为这个目的而写的。它主要叙述了从亚里士多德到伽利略、到牛顿的力学发展的过程，也对牛顿以后力学的发展作了一些概述。

# 一、力学的早期发展

## (一) 我国古代对静力学的贡献

人类最早使用的工具，大概就是杠杆了，用它可以帮助移动或搬运重物，或用它成倍地增大人能施加的力量。人们在各式建筑(从简单的树上搭巢直到豪华的宫殿)和各种机械制造(从简单的杠杆滑轮直到复杂的舟车机器)的过程中，不断积累了丰富的经验，并开始总结出某些静力学的规律。世界上最早记有静力学规律的书是我国的《墨经》。它是墨翟(公元前463—公元前376)和他的弟子编写的。

墨翟和他的弟子们和广大生产者联系较多，比较注意整理和记录他们的实际经验。他们也很重视对自然现象和实用技术的研究，而且对这种研究以其“利民”与否加以评价。墨翟本人曾说过，对于技术，“利于民谓之巧，不利于民谓之拙。”这样的评价标准，在当时是难能可贵的。

《墨经》中有一条谈及力的定义：“力，刑之所以奋也。”这是从人的体力出发引出一般的力的概念的。这里“刑”就是形，指人的身体。“奋”字的原意，据《说文》，是鸟张开翅膀从野地起飞。因此，《墨经》上那句话的意思就是，力是使人的运动发生变化的原因。这个关于力的定义还明显地局限于

人的感受，即体力。但它把这种力和运动的变化联系起来确实已具备了现代力的概念的基本思想，说明墨家关于运动现象的理解是相当深刻的。

《墨经》中关于杠杆的原理，有较为详细的说明。它写道：“衡，加重于其一旁，必垂。权、重相若也。相衡，则本短标长。两加焉，重相若，则标必下。……长重者下，短轻者上。”在这一段话里，把一个支点在中间的杠杆(图1)的两个臂长分别叫做“本”和“标”。本的一端悬重物，标的一端挂砝码(权)。这段话的意思是说，一个支点在中间的杠杆平衡时，如果在重物一边增加重量，则这一边必然下垂。这是因为原来的砝码和重物相当才使杠杆保持平衡的。这时如果要使杠杆恢复平衡，就应该使“本”变短而“标”加长。在这种情况下，如果再在两边加上相同的重量，则标这一端必然下垂。这些论述和我们今天所知道的杠杆原理完全符合。特别后面那两句“长重者下，短轻者上”，则明确地总结出了杠杆的平衡是由重量和臂长所共同决定的。这实际上已经接触到了力矩概念，这种认识在当时也是相当深刻的。

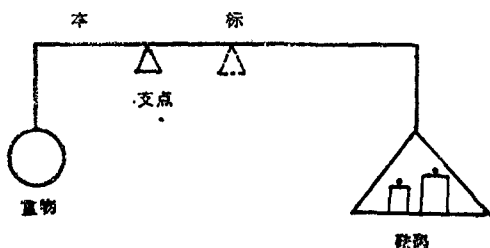


图 1

《墨经》中还提到了浮力的原理。它写道：“荆之大，其

沈浅也，说在具。”“沈，荆之具也，则沈浅，非荆浅也，若易五之一。”这里“荆”同形，指浮着的物体，“沈”即沉，指浮体浸入液体的部分，“具”是平衡的意思。这段文字是说，漂浮在水上的物体，体形很大，但浸入水中的部分却比较小，是因为达到了平衡的缘故；是浸入的部分和整个浮体起平衡作用的；是浸入水的那部分浅，而并不是整个物体矮浅。这也就是说，浸入部虽浅，但也能和整个浮体平衡。这就好比市场交易中用一件商品交换五件其他商品一样。这一段话表明，当时已经认识到浮力决定于“沈”，即浸入水中的部分，也就是排开液体的那一部分浮体的体积。缺陷是没有明确指出浮力和液体的关系。尽管如此，作为古人的认识，也还应该说是一个重要的发现。

古人在实践中利用浮力的例子是很多的。最普遍的当然是利用舟船航行。在我国的古籍中还记载有其他巧妙地利用浮力的例子。例如春秋末年(公元前140年)成书的《考工记》中就记有当时的“轮人”(制做轮子的工匠)知道利用浮力来检验轮子的均匀性。它是这样写的：“平沈必均。……水之，以眡其平沈之均也。”意思是说：轮子平放入水中，如果各处沉入水中一样多(“平沈”)，就说明轮子是均匀的，因此在测定轮子是否均匀时，就应该把它放入水中，看看是否“平沈”。

三国时曹冲用重量替代法借助于浮力称象的故事是很著名的。他先把象牵入船中，在船边记下船的吃水深度，然后将象牵出，在船中装入石块。待船的吃水深度与前相同时，自然表明石块的总重量与象的体重相同。再一块块称出石块的重量就可以知道象的重量了。

据《唐语林》中记载，一僧人曾利用浮力从水底提起重物，其原理几乎和近代打捞沉船的道理一样。相传在蒲州与潼关之间的黄河上曾架有浮桥，它的缆绳系在两岸的八只铁牛上，每只铁牛的重量达数万斤。公元1064年大水，浮桥被冲坏，铁牛也沉没入河中。僧人怀丙得知后，便用两只装满泥土的大船开到铁牛沉入处，派人潜入水中，用铁索把水下铁牛系牢在船上。然后把大船中的泥土抛出，铁牛就随船浮出水面了。

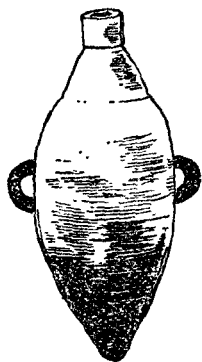


图 2

令今人十分惊奇的是古人对浮力和重心的研究和应用。考古工作者在属于仰韶文化时期（六千多年前）的西安半坡村遗址中发现有一种陶制提水壶，形似纺锤。底是尖的，两旁有耳环(图 2)。用绳拴在耳环上吊起，使壶落在水面上时，它会倾倒，以使水流入壶内。当壶内装水到一定程度时，它就恢复直立状态。这时就可以

把壶提起。这个容器虽然简单，但它所包含的力学原理是深刻的。它说明我们的先人很早就知道了物体重心的高低和物体所受浮力与浮体稳定性的关系。

以上用一些古籍的记载或考古的成果说明了我国古代对静力学知识的了解。这只是很少的几个例子，充分地说明我们祖先对静力学的深刻理解的是他们的无数的实践成果。几千年来，我们的先人设计制造了许多工具，从提水的桔槔(杠杆)、鼓风的水排(水力风箱)到复杂的舟车，无不利用了力

学原理。历代留下的宏伟建筑和工程，如万里长城、大运河、都江堰、灵渠、各式宫殿(包括地下宫殿)、寺庙、墓塔等等无不生动地说明我国人民逐步深刻地掌握了静力学的知识。下面举两个例子。

在山西应城县有一座木塔(图3)，外观五层六檐，从地面到塔尖共67.3米，是世界上现存的最高大的木结构建筑。它建于辽兴宗清宁二年，即1056年，它经受住了雁北狂风雨雪以及地震的考验。在九百多年后的今天，仍旧巍然屹立。这说明当时的工匠掌握了一定的结构力学及材料力学知识。



图 3

在河北赵县有一座单孔大石拱桥，叫安济桥，也通称赵州桥(图4)，拱的跨度37.37米；这样长的跨度，在当时石拱桥中是首屈一指的。在这样大的跨度下，拱矢只有7.23米，这也是很困难的。它还首创了世界上“敞肩拱”的桥型(即在大拱上的两肩各伏设小孔两个)，这比欧洲兴建同类桥梁早了一千二百年。赵州桥是隋朝大业年间(公元605—618年)由李春(关于他，没有留下任何其他记载)设计建造的，距今

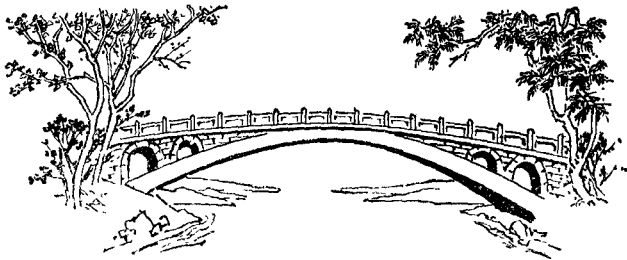


图 4

已一千三百多年，经受了洪水、战乱、地震以及长期使用的考验。这说明当时的建造者对静力学规律（以及造型艺术）掌握得多么深刻娴熟。

技术实践是丰富多采的，也有不少关于实用技术的专著（如《考工记》，宋朝李诫的《营造法式》、明朝王微的《诸器参说》、明朝宋应星的《天工开物》等）或散见的力学知识的记载（如《墨经》、东汉王充的《论衡》、北宋沈括的《梦溪笔谈》等）。总起来说，我国古代对力学知识的理解基本上属于经验的初步总结或现象的记录，尽管在某些问题上有精辟的见解和卓越的贡献，但从科学理论所要求的系统性和精确性来看，还没有达到所要求的高度。力学作为一门科学，是在西方逐渐形成的。

## （二）阿基米德的杠杆和浮力原理

西方流传至今的有关静力学的最早古籍是《论平板的平衡》和《论浮体》等书。它们是希腊人阿基米德(Archimedes, 公元前 287—公元前 212)撰写的。阿基米德出生于西西里

岛上的一个希腊殖民城市——叙拉古。他青年时代曾到亚里山大城受教育，后来又回到叙拉古。他才智过人，兴趣广泛，对数学（当时主要是几何学）很有研究。例如他曾证明了关于球体、圆锥体、圆柱体的面积和体积的许多定理，有一种螺线今天就叫阿基米德螺线。他研究起数学来全神贯注。相传公元前 212 年，罗马人侵入叙拉古城后，一队罗马士兵闯进了一个希腊学者家里，有一位老者正在沙地上画几何图形。他为此专心致志以至没有听到罗马士兵的吆喝声。罗马士兵要踩他的图，他却大喊“别踩我的图。”罗马士兵一怒之下就把老者杀了。这老者就是阿基米德。由于阿基米德当时的声望，罗马主将是曾下过令不准杀害他的。他被杀后，罗马人埋葬了他，墓地就是用一个小球内接于圆柱体做为标志的。

阿基米德心灵手巧，善于设计各种器具。他制造了滑轮组，并曾用它来牵动一艘沉重的货船。他发明了螺旋提水器，能用来灌溉和从矿井中提水。他设计制造的投石机及其他机械，在保卫叙拉古城的战斗中起了重要作用，曾使当时入侵的罗马人闻风丧胆，更可贵的是他的“理论”兴趣。在制造各种机械的过程中，阿基米德还总结出了一些基本的力学原理，并且写下来一直流传到今天。正是由于这个原因，今天他被人称为“力学之父”。

在《论平板的平衡》一书中，阿基米德提出了杠杆定律，并说明了一些物体的重心的求法。他的叙述方法，如欧几里德几何学一样，先提出一些“公设”，认为是不言自明的结论（当然，它们实际上都是建立在无数次的观察的基础上的），

然后再推导出一些“定理”。关于杠杆和重心，阿基米德提出的一些公设有：

公设 1 等距离处的相等重量处于平衡，不等距离处的相等重量不平衡，而朝着距离较远处的那个重量倾斜（这里的距离是指重量到杠杆的支点之间的距离）。

公设 2 若在某两个距离处的两个重量处于平衡，而在其中一重量上加一点份量，它们就不再平衡，而朝着加了份量的那个重量倾斜。

公设 3 同理，如果从一个重量取出一点份量，它们也不再平衡而朝着没有取出份量的那个重量倾斜。

公设 4 全等的平面图形如果互相重叠地放在一起，则它们的重心也同样重合。

公设 5 如果图形是不相等的，但是相似，则其重心也在相似的位置。……

公设 6 如果处在一定距离上的两个重物处于平衡，则另外两个与它们相等的重物处于同样距离时，也会处于平衡。

从这些公设出发，靠逻辑推理，阿基米德论证了 15 条“命题”。这些命题有：

命题 1 在相同距离上处于平衡的重量是相等的。

命题 2 在相等距离上不等的重量不平衡而朝着较重的那个重量倾斜。……

命题 3 不等的重量也会在不同的距离上达到平衡，较重的重量应在较近的距离上。……

命题 4 若两个相等的重物的重心不在一处，则整体

的重心是在它们重心的联线的中点上。

.....

命题 6 两重量平衡时，它们的距离与它们的重量成反比。

命题 7 两重量不可分度时，当平衡时，它们的距离也与它们的重量成反比。

.....

命题 10 任一平行四边形的重心，在其对角线的交点。

.....

命题 14 任一三角形的重心，在其任两顶点与其对边中点所作的两根连线的交点。

在这里阿基米德清楚地表明了杠杆定理。他已明确地理解到杠杆的平衡由重量和臂长两个因素决定。阿基米德对他的杠杆定理是如此地自信，以致他曾对叙拉古的海罗王夸下海口，说他能用任何给定的力移动任何给定的重物，“只要给我一个支点，我甚至可以掀动地球”(图 5)。



图 5

应该指出的是，在阿基米德的思想里，杠杆平衡条件是

清晰的，但力矩的概念还只能说是初步的。这是因为他只涉及了杠杆在重力作用下的平衡，也就是说加在杠杆上的力都是平行力而且和杠杆垂直。对力矩概念进一步的认识是一千六百多年以后欧洲文艺复兴时期的达·芬奇(Leonardo Da Vinci, 1452—1519)作出的。他在手稿中讨论到下述问题。

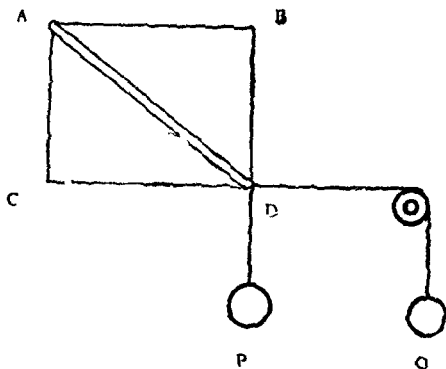


图 6

如图 6 所示，有一杆  $AD$ ，可以绕  $A$  端自由旋转，而在另一端受到重量  $P$  的作用，并且通过定滑轮还受另一重量  $Q$  的作用。这两个力的比例如何才能使杠杆平衡呢？

他认为  $P$  的力臂不是  $AD$ ，而是“潜在臂” $AB$ 。 $Q$  的力臂也不是  $AD$  而是“潜在臂” $AC$ 。因此平衡条件可写成

$$\frac{Q}{P} = \frac{AB}{AC}$$

$$\text{或 } Q \cdot AC = P \cdot AB$$

这就是现在人们所熟知的力矩平衡条件。他是怎么得出此结论的已无从查考了，但是这确实说明他已经清楚地了解到力对转动的效应是由什么决定的了。用现代的语言来说，一个力对物体转动的作用由它对转动轴的力矩决定。力矩是力和力臂的乘积，而力臂是从转动轴到力的作用线的垂直距离。

大家知道，关于浮力的定律，今天就叫阿基米德定律。

阿基米德发现这一定律的过程，是通过古希腊学者维特鲁维乌所写的书流传下来的。书中叙述了这样一个有趣的故事：

海罗在叙拉古取得王位后，为了庆祝自己的胜利，决定制造一顶纯金王冠放入圣庙，奉献给不朽的神灵，以表示还愿的心意。为此他给工匠称了适当重量的黄金，并限期做出。到了限期，工匠送来了制成的王冠，它精美无比，而且重量和当初称给他的黄金的重量相符。海罗王大喜。但是后来流传出来的消息说，工匠偷窃了黄金，而所缺的分量是用白银顶替了。海罗王为自己受骗而十分气愤，但是他无法判定工匠的盗窃行为。于是他就请智慧的阿基米德想办法。阿基米德受命后，一天，他去洗澡，一跳进澡盆，他发现他身体浸入澡盆多少，就有多少部分的水从盆中溢出。由于他心里老是想着如何解决那个王冠问题，这一发现使他顿悟。他欣喜若狂地跳出澡盆，而且光着身子就往家里跑。一边跑一边还不停地喊：“找到了，找到了！”告诉别人他已找到了他朝思暮想的方法。

根据这个发现，他做了两件重量与王冠相等的物体，一件是纯金的，另一件是纯银的。然后他在一个大盆里放满了水，先是把银件放了进去，有些水溢出来了，这溢出的水的体积和银件的体积是相等的。随后，他把银件拿出来再用量杯向盆中倒水，直到水又满盆为止。这样他就测出了与一定量的水相对应的银件的体积。

做完这个实验后，他又把金件放入盆中，水又溢出一些，然后取出来，再用量杯把水倒入盆内。他发现这次溢出的水没有上次那么多，稍微少了一些。这就是说，金件的体