

中国力学史

戴念祖 著



中国力学史

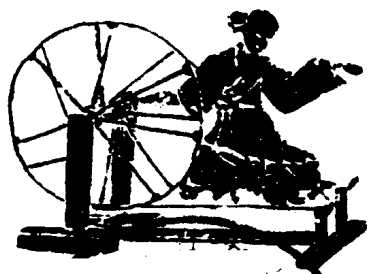
周培源



一九八七年二月

ZHONGGUO LIXUESHI

戴念祖 著



河北教育出版社

内 容 提 要

本书是我国第一部有关力学史的学术性、史料性的研究专著，它叙述了从远古到鸦片战争前力学在中国古代的发展，其中包括概念的起源、力学各分支学科的成就和评价；有历史的综合性的叙述，有分科性的具体阐释；内容丰富，史料翔实；书中插有大量的参考图、古代绘画和文物照片。本书是研究科学史和科学哲学的有价值的参考书，也可作为高等院校师生、研究生以及科学史课程的教学参考书或课外读物，还可供历史、哲学方面的研究与教学工作、中学教师、科技管理干部和其他读者参阅。

责任编辑：李连保 装帧设计：邓汝燧

中 国 力 学 史

戴念祖 著

河北教育出版社出版（石家庄市北马路45号）
河北新华印刷一厂印刷 河北省新华书店发行

850×1168毫米 1/32 20印张 463,000字 1988年9月第1版
1988年9月第1次印刷 印数：1—1,100 定价：7.10元

ISBN 7-5434-0214-9/O·4

序

近年来人们常在科学史中提出一个问题：“为什么中国没有发生科学革命？”

从历史看，自公元前二、三世纪起到公元十五世纪，在应用自然知识为人类作出的贡献，中国领先于西方。而十五、十六世纪西方的文艺复兴时代的成就不发生在中国，却在西欧。从力学知识来看，这个看法显得更为突出。中国在农耕、建筑、水利、交通工具，以及冶金、武器和乐器的制作方法、规范等等技术已明白地记载在成书于春秋战国之际的《考工记》等典籍中；到明代宋应星的《天工开物》，其间历代虽有科学知识的记载，但绝大部分也属于应用技术范畴。中国在公元前已发明勾股定律，记载在《周髀算经》中，据说是商高的发明。商高得此定律即以此应用到测天之高度！在力学范围内，我们祖先制造出或许有实用价值的机械器具，却没有一个先哲问一问轻重两物体下落是否同时到达地面的问题。我们往往笑亚里士多德在这个问题上得出谬误的推测，因为他没有去做实验，但他提出这一问题的本身就是有见识的。据说古希腊的毕达哥拉斯和我国的商高几乎同时代发现勾股定律。他认为得到一件宝贝，大喜之下，宰百牛以志庆祝。同一勾股定律的发现，古代东西方两个先哲的喜悦之情却有如此不同。

天文知识在古代中国获得很大发展，与其说天文为了农耕而受到重视，不如问一声：若无天人相感的信仰，皇帝怎能钦天监列入朝廷百官之中？

若说我国的先哲都是功利主义者，那也不尽然。我又可举在力学史上的一个问题来说明。战国时期成书的《墨经》上就有力的定义、抽象的概括性很好的定义；又有悬物与绳的张力相平衡的阐述。可惜，这在我国古代科学史——不只在力学史——上极为罕见。这些是由生活经验提高到富有概括性的理论。更可惜的是，自《墨经》之后，墨学断绝。这是值得我们深思的。

宋、明时代，理学家提倡格物致知。大约相当于西欧科学革命的前后，为什么格物致知的命题没有引起中国的科学革命，而这革命却发生在西方？可惜，如提倡格物致知的王阳明辈，在格竹子的方法上犯了错误。他只是坐在一丛竹子的前面苦思冥想以致于生病，却没有得出竹子生长的道理来；而在这时的前后，意大利的伽利略在比萨塔上使轻重两球从塔上落下，遂悟出物体不论轻重、下落的重力加速度是一样的道理。

从上面简单的不全面的论述，是不是我们可以窥测出本文第一句话中所提问题的一些答案？

戴念祖同志专治自然科学史数十年，著述称富。最近搜集我国力学的史料写成一册《中国力学史》，想作者在写此书过程中定能感受到回答这问题的迫切性和可能性，即以一些不成熟的意见就正于戴念祖同志。是为序。

钱临照
1987.3.29

前 言

“力学”一词，在中国传统文化中并不含有近代科学的任何意义。因此，本书题为《中国力学史》、而且是专门叙述中国古代的史实，这似乎会造成一种印象：以近代科学概念套在中国古代传统观念之中；或者说，在中国古代传统文化中剥离出部分与科学技术有关的内容并加以近代科学名词之冠。有一些科学史家特别持此观念，笔者自己也有如是之感。但是，没有一个真正的科学史家会怀疑，在中国古代传统文化中确有许多力学知识。这些知识可以在近代“力学”的意义下将其归类整理。在严格的史学家看来，本书的写作在古代传统与近代观念之间确实存在着非常的矛盾。

从力学的整个发展史看，力学与生产技术密切相关，尤其古代是如此。古代人的手工生产技术及其经验反映了当时力学知识的水平。农业器械和交通工具的制造、建筑、手工技术、兴修水利等等经验的长期积累，乐器制造和音感要求，制定历法以应农时的需要，必然产生力学的经验理论或法则。一部古代力学史，正是古代的生产水平和生产技术的集中体现。

近代意义下的力学，是从古代人的手工技术和生产劳动的经验中发展而来的。生产工具的制造必然比力学理论的诞生早得多，乐器的发明要比振动的理论原理先问世。从这个意义上讲，无论传统文化中是否有“力学”、“物理学”这些学术概念，作为科学的力学或物理学的胚胎是自人类在自然界获得生存时起就开始播下了它的种子。问题是，这个种子在某个民族、某个文化背景

下如何发展，它为近代科学的诞生提供了那些血浆原汁，如同母体对孕儿的诞生所作的贡献那样。如果没有一个学者去分析、研究中国的力学史，也必定会有更多的学者在他的律历天算、堪輿地理、阴阳五行、本草药物、营造耕织、考工器物，甚至艺文别纂等等学术史中述及与力学有关的大量内容。笔者赞同有些学者按照传统模式撰写中国的科学技术史，例如占星史、炼丹史、堪輿史、阴阳史等等。从历史的观点看，它能反映古代人的思想风貌。可是，在科学发展日益专业化的今天，对于现代人、现代的专门学科的探源而言，一部好的古代力学史、或物理学史等专门学科的历史是不无方便的。何况直到今天，还没有一部这样的中文著作。从文化角度看，它能更集中地反映古代传统中的那些迄今不灭的光华。

从这样的立场出发，本书向读者提供较为翔实的史料，或许它有助于人们了解近代力学的史前阶段在古代中国的面貌，有助于了解古代力学知识与近代力学之间的母孕关系。愿读者对这本学术史料性的著作发生兴趣。

德国杰出的物理学家劳厄 (Max von Laue, 1879—1960) 在他的《物理学史》第二章“力学”中一开始就写道：“力学是最早开始的一门学科。象前面说过的，平衡理论和静力学一直要追溯到遥远的古代。杠杆、螺旋、滑轮组、斜面对从事重体力劳动所具有的实际意义，促进了它的产生。象比重或者重心这类概念是希腊人发展起来的；一定形状的物体的重心的计算在没有限小运算的情况下是一个有趣的、需要敏锐智慧的问题。”可惜，在劳厄著史的年代，没有一本中国力学史可供他参考。今天，笔者以这本很不成熟的著作奉献给学术界，以供读者对中国古代的力学成就有一个粗略的了解。

目 录

序	钱临照
前言	(1)
一、历史的概述	(1)
“力学”词源 (1) 远古时代 (约公元前 2100 年以前)	
(2) 夏、商、西周、春秋战国 (从公元前约 2100 至公元前 221)	(3) 秦、汉、三国 (公元前 221—公元 265)
(6) 晋、南北朝 (公元 265—589)	(8) 隋、唐、五代 (公元 589—960)
(9) 宋、辽、金、元 (公元 960—1368)	(11) 明、清 (公元 1368—1911)
(14) 历史发展中的几点小结 (18) 附笔: 关于《墨经》(22)	
二、力	(26)
“力”字源 (26) 《墨经》定义力 (27) 王充论力 (28)	
一个系统的内力无作用效果 (31) 力的作用点 (32)	
合力的概念 (32) 戽斗 (34) 滚动摩擦力 (36) 惯性现象和惯性力的应用 (38)	
候风地动仪 (39) 候风地动仪的近代复原及其预报地震方向的机制 (40)	
张衡 (44) 张衡之后地动仪的研究 (44) 地动仪的传播和滚球铜盘 (45)	
动力学的思想萌芽 (47) 功与能的古代观念 (49)	
三、重心与平衡	(55)
“下轻上重, 其覆必易” (55) 《墨经》论力的平衡 (56)	
王充论平衡 (58) 应用了重心与平衡原理的文物	

- (58) 有关重心与平衡的传统器物: 周庙欹器(62)
 魏晋南北朝的欹器(64) 隋代的欹器(67) 唐代
 的欹器(69) 宋代的欹器(71) 杂技百戏中重心
 的经验运用(72) 重心与平衡在建筑中的运用(75)
 不倒翁: 利用重心原理的玩具(78) 磬的重心(80)

四、运动 (86)

- 时间和空间(86) 《墨经》论时空(89) 时空和运动
 (91) 运动和静止(94) 平动、转动和滚动(99)
 自由落体运动(101) 数学题中的运动学与加速度
 思想(102) 运动的相对性(106) 力学的相对性原
 理(112) 角速度概念(115) 动量矩守恒原理的应
 用(117) 回转运动: 陀螺(122) 被中香炉(125)

五、材料和结构 (132)

- 对材料的一般认识(133) 复合材料(135) 合理利用
 材料(139) 检验材料强度的经验方法(141) 皮革的
 变形与强度(142) 发绳结构与应力的关系(143)
 梁木与绳的受力分析(147) 弹力及其测量(149)
 横梁截面的高宽比(150) 约束和构架概念的起源(154)
 车架结构(157) 建筑结构(163) 桥梁结构(172)
 船体结构(184)

六、简单机械 (195)

- 杠杆与桔槔(195) 滑轮与辘轳(205) 尖劈与斜面
 (216) 滚动轴承(224) 弹簧与齿轮(226) 简单
 机械的联合应用(230)

七、控制等速运动的成就——机械计时器的发展 (246)

- 张衡的计时器(247) 一行、梁令瓚的计时器(251)
 水运仪象台和擒纵器(254) 独立的机械计时器(262)

机械沙漏(264) 其他计时器(267)

八、磨的演变与发展——古代力学史的缩影 (271)

舂与碓(273) 磨(279) 水排、面罗与水转大纺车
(294)

九、火药武器和喷射推进技术 (302)

火药(304) 管形枪炮的发展(307) 火箭的起源(319)
火箭种种(330) 地雷、水雷的发明及其发火装置(340)
中西交流(347)

十、天体 (351)

古代人的天体观(351) 天体的运动(354) 地动与岁
差(360) 对天体演化力学因的猜测(364) 对潮汐
规律及成因的探讨(367) 对潮汐产生时刻的观察记录
(370) 日月的近距作用：——潮汐成因的古代推想(371)

十一、液体 (373)

水的性质(376) 浮力的应用(379) 探讨浮体的规律
(386) 测定液体的比重(392) 液体浓度的测定法和
比重计(397) 表面现象(403) 分离实验(407)
管流之一：漏壶的发展(409) 管流之二：控制漏壶流
量恒定性的理论(422) 对江河流速运动规律的认识
(432) 泥沙运动(450) 堤坝的设计理论(454)
槽、舵和轮桨的发明(458)

十二、气体 (466)

“气”的含义(467) 空气动力的应用：帆(473) 箭(483)
风筝(488) 风扇与扇车(493) 相风鸟(498)
热气球与走马灯(500) 降落伞(504) 飞行器(505)
古代的飞行幻想与实践(508) 大气压的应用之一：虹
吸管(514) 大气压的应用之二：水泵和油泵(522)

大气压的应用之三：风箱(528)

十三、振动 (538)

振动与波的力学思想(538) 弦振动(540) 管振动
(545) 板振动：磬(549) 板振动：编钟(551) 板
振动：鱼洗(567) 共振现象(572)

十四、基本计量 (576)

干支纪法与数字记法(576) 十二时辰计时法(579)
百刻制与古代可能测得的最小时间单位(582) 古代计
量与度量衡之关系(585) 早期度量单位的形成(586)
十进制度量单位的确定(587) 力学度量的导出单位
(591) 基本单位量值的增大倾向(592) 标准量器的
制造与校验(596) 《墨经》论度量(600) 以声波作
为度量标准的理论设想(603) 寻求天地常数的努力及
其成果(607)

附图目录 (611)

后记 (631)

一、历史的概述

本书基本上按照近代力学的名目叙述古代人的力学知识。因此，首先要从纵的方面谈谈中国古代的力学史，以便对这门学科的历史有个先后顺序的发展轮廓。这里所述及的力学知识的详细内容，都可以在本书以下各章中查得。

“力学” 词源

中文“力学”一词起源如何？

在中国古代典籍中有“力学”一词。《齐东野语》说：北宋人王俊民（字康侯，十一世纪人）“性刚峭不可犯，有志力学”^①；《金史·张行简传》写道：张行简（字敬甫，？—1215）“颖悟力学、淹贯经史”^②。这些典籍中的“力学”一词，即现在所谓“努力学习”之意，“力”是动名词，它并不含有现代科学的意义。直到明天启七年（1627），王征（1571—1644）与传教士邓玉函（1576—1630）合译的第一部介绍西方力学知识的著作《远西奇器图说》一书刊行时，才有了近代科学意义下的“力学”一词。该书写道：

“此书本名原是‘力艺’。”“力艺，重学也。力是气力、力量，如人力、马力、水力、风力之类；又用力、加力之谓，如用人力、用马力、用水、风之力之类。艺，则用力之巧法、巧器，所以善用其力、轻省其力之总名也。重学者，学乃公称，重则私号，盖文学、理学、算学之类，俱以学称，故曰公。而此力艺之

① 周密《齐东野语》卷六《王魁传》。

② 《金史》卷一百零六《张行简传》。中华书局校点本，第7册，第2329页。

学，其取义本专属重，故独私号之曰重学云。”^①

由此可见明清之际翻译科学名词的有趣情形，直到现在我们仍然以“公称”加“私号”来命名各种新诞生的学科。那时将力学称为“力艺”或“重学”。《四库全书总目提要》就《远西奇器图说》概述道：“征译是书，其术能以小力运大力，故名曰重，又谓之力艺。大旨为天地生物有数、有度、有重。数为算法，度为测量，重则此力艺之学，皆相资而成。”鸦片战争之后，不仅有《重学》专书出版，且将重学分为静重学、动重学、水重学、气重学等，也就是现在所谓的静力学、动力学、水力学、气体力学。上世纪最后三十年间，才开始有现代称谓的“力学”一词和书本问世。^②

可是，没有现代科学意义下的“力学”一词，并不等于古代人没有力学知识、经验及法则，只是它们没有形成一个理论体系或比较零散罢了。下面我们按照历史顺序概述其发展的情形。

远古时代（约公元前 2100 年以前）

这是原始社会时期，是以石器为特征的时代。根据考古发掘和典籍记载，在这个时期的新石器时代（约一万年前开始），人们已领悟到锋刃和尖劈的作用，制造了各种尖状器和刮削器，如斧、凿、铲、针、钻等。某些这类器物还装有柄，表明杠杆已被使用。人们创制了弓箭、箭镞，利用天然纤维加工成绳索。在距今约六、七千年的浙江河姆渡文化中已有大批的木构建筑和榫卯接合的经验，它表明静力学的初步知识已在开始指导当时的建筑师。距今约五、六千年的仰韶文化中，有以草泥为主的混合材料建筑，有一种符合重心原理的提水陶罐。

① 王征、邓玉函译《远西奇器图说》卷一。

② 王冰，“明清时期物理学译著书目考”。《中国科技史料》1986 年第 5 期第 3～20 页。

在这个时期，有了原始的木质尖状耕作器、即耒耜。人们知道“剡木为舟、剡木为楫”^①，掌握了行船、划桨的技术，从而也学到了有关浮体的知识。人们还“断木为杵，掘地为臼”^②，制造简单的石磨、石棍，从而杠杆、冲撞及磨压的力学应用在生活和生产中开始扩大。从陶器的制作中，人们初步知道了某些有关旋转运动的知识。从山西大同许家窑旧石器遗址中的许多石球看来，那时可能利用了“抛石索”将石球抛射。上古人先后还创制了滚木、木轮、轮轴一类简单机械，以搬运沉重的木、石。最后制造了车。

在原始社会晚期的遗址中，发现了土鼓、石磬、陶钟一类打击乐器；苇箫、陶埙一类吹奏乐器；由于纺织的弓弦振动的启示而有弦线乐器，史载“庖牺氏作瑟”、“伏牺作琴”^③。这些乐器的应用及其发展，为振动知识的积累创造了条件。

这个时期开始的各种工具的制造，表明生产工具的发展先于力学理论而诞生，而乐器也先于振动理论来到人世。生产工具不断地、反复地应用和改进，促使在以后的各个历史时期里用文字总结其经验、并逐步上升为理论，从而形成了古代人的力学。

夏、商、西周、春秋战国
(从公元前约2100—公元前221)

夏(约公元前2100—1600年)、
商(约公元前1600—1028年)、西
周(公元前1027—771年)，是我国

奴隶制社会时期，也是从石器时代走向以铜器为特征的时代。春秋(公元前770—481年)战国(公元前480—221年)时期是从铜器过渡到铁器的时代，按照历史学家的一般看法，是奴隶制向封建制过渡的历史阶段。这整个时期的初始阶段，大禹治水的故事表明，人们掌握了某些初步的水力学知识。青铜工具的冶炼

①② 《易·系辞传》。

③ 宋衷注《世本·作篇》。

铸造,使殷商时代开始出现了一个较前发达得多的文化时期。在整个历史时期里,耕作技术、纺织、建筑、陶瓷、青铜冶炼,以及春秋战国时期更大规模的车、船制造,兴修水利,冶铁锤锻等等技术的长足进步,使这个时期萌发了大量的力学知识,人们在生产、生活中总结了许多力学经验和法则。因而,诞生了《考工记》、《墨经》这样的具有代表性的著作,它们对这个时期的力学知识和经验作了比较集中的记述。

《考工记》是春秋末年齐国人的著作(一说为战国初年的著作),是我国最早的一部手工技术的百科全书。汉河间献王以周官鬲冬官一篇,逐以《考工记》补入,于是《考工记》成为《周礼》中的一篇。历代有不少关于《考工记》的注释本,以唐代杜牧、清代戴震的注释为最。该书记述了丰富的力学知识。它最早述及惯性现象、述及车轮的滚动摩擦与轮子直径的关系;叙述了制造弓的六种材料、并从力学观念对这些材料的性能作了分析,提出了合理用材问题,提出了检验材料强度的经验方法、以及检验材料的质量分布均匀与否的方法,讨论了皮革的形变与强度的关系;从耕作实践中讨论了尖劈及其应用,从运输实践中讨论了斜面引重问题和车架结构;从工程角度,记述了人们对弯道水流的认识,记述了水流与泥沙运动的关系,提出了堤坝设计的定量理论;对箭的结构比例及飞行力学问题作了经验性记述;总结了磬、钟一类板振动的力学知识。可见,《考工记》堪称集我国春秋战国时期应用力学知识之大成。

《墨经》一书分为《经》和《经说》两部分(有关该书的情况详见本章最后一节)。该书中力学知识包括,对力作出最早的定义;以建筑叠石为例,讨论了力的平衡;在悬绳吊起的重物中指出了三种力的存在:重力、拉力和引力;对时间、空间作了定

义,讨论了特定的时间概念——“始”,指出时空的无限性,讨论了空间位置的相对性、讨论了时空与运动、运动与静止的关系;对圆球的随意平衡作了力学解释;讨论了自由落体运动及其必要条件;阐述了毛发结构及其应力关系,对梁木及柔绳的受力变形的性质作了描述;初步讨论了如杠杆、滑轮、斜面等简单机械的原理,讨论了浮体的规律;论述了度量衡的一般法则。《墨经》一书是我国古代最集中地记述力学知识的文献。

除了这两本书外,这个时期还有许多典籍零散地记述了各种力学知识。

《荀子》记述了周庙欹器所表现的重心与平衡的关系,该记述影响了后世千余年,而且不断地有人制造形形色色的欹器。《庄子》突破了大地本身给人带来的空间视觉界限,探讨了流体(水和空气)的力学性质,试图对水中浮体和空中飞行物的力学因作出初步解释。它还记述了桔槔的构造和原理,记述了共振现象。它和《尸子》都曾对宇宙作出定义。《韩非子》和《荀子》都记述了有关材料的力学性质,《韩非子》中还有关于弦线振动与线密度关系的定性记述。《管子》将江河水流分类,叙述了河流中的水跃与泥沙运动,并最早记述了弦线振动的三分损益法。

《孙子兵法》中描述了具有现代动能或势能意义的“势”的概念。在其他许多典籍中试图以“势”的有无解释浮体的原因。

公输般与墨翟都曾制造飞行木雕。在这个时期,简单机械如杠杆、滑轮、桔槔、辘轳、轴承与润滑油被广泛应用,人们在战争、冶铸中应用了最古老的鼓风机——囊。《周礼·典同》中记述西周时期的十二种钟形及其发声振动的感觉认识,战国初年的曾侯乙钟是一组世界上最大型、最古老的编钟系列,它表明中国古代的编钟是音乐演奏的最佳形状的振动板。

秦、汉、三国（公元前 221—公元 265）

秦灭六国，结束了战国时期诸侯割据的局面，于公元前 221 年建立了我国历史上第一个中央集权的封建专制的国家，为其后各朝代奠定了一个国家政体的楷模。汉代（公元前 206—公元 220）从武帝（公元前 140—87 年在位）时起，社会经济有了很大的恢复和发展：普遍使用牛耕、推广铁制农具、改进耕作技术、兴修水利，使农业有了较大发展。在手工业方面，首先是冶铸铁的技术有了极大提高，燃料煤的使用、鼓风设备的改进、使当时能大量生产铁制农具、兵器和生活用具；纺织业比前期大有提高，官营作坊达数千人之多，丝织品由“丝绸之路”传播世界各地；商业也极为繁荣。东汉（公元 25—220）末，出现三国（魏、蜀、吴，公元 220—265）分裂局面，而科学技术仍在汉代基础上继续发展。

这时期的力学知识，见之于淮南王刘安的《淮南子》和《淮南万毕术》、王充的《论衡》以及散见于各种典籍史书的大量记述。

《淮南子》指出了力的作用点的重要性和合力的概念，讨论了作用力与重物运动的关系，初具动力学的思想萌芽；讨论了圆球的随意平衡；总结了重心与平衡的理论：“下轻上重，其覆必易”；记述了弦线振动及其张力的关系。在《淮南万毕术》中，记述了水浮银针的液体表面张力现象，第一次记述了以鸡蛋壳作成的热气球。

《论衡》讨论了各种力、分析力与重物的关系，讨论了斜面与力的关系，特别是提出了一个系统的内力无作用效果的思想，提出了相对速度的初步思想和某些动力学的思想；它还讨论了平衡问题，指出了稳定平衡与随意平衡的实例，对潮汐和涌波作了初