

黄钟 陈广异 严文贤 著

力学万花筒



力学万花筒

黄 钟 陈广异 严文贤 编

工人出版社

内 容 简 介

本书包括38篇力学科普文章，向读者展示了一个色彩缤纷的力学万花筒。书中通过力学与生产劳动、力学与体育运动、力学与杂技、力学与生物进化以及力学与工程技术等多方面的题材，不仅阐述了力学的基本原理，而且还生动简明地介绍了近代力学中的一些最新成果。读者通过本书不仅可以学到丰富的力学知识，同时还能开阔视野，活跃思想，开发智力。

本书叙述通俗活泼，插图生动，可供具有中等文化程度的工人、学生、干部、科技人员和教师阅读，也可作为大专院校力学第二课堂的教学参考书。

力学万花筒

黄 钟 陈广异 严文贤 著

工人出版社出版（北京安外六铺炕）

新华书店北京发行所发行

北京通县曙光印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/32 印张：5.625 字数：123000

1988年5月第1版 1988年5月北京第1次印刷

印数：1—8,005册

ISBN 7-5003-0101-7/N·1 定价：1.25元

前 言

这是一部力学科普读物。书中辑录了力学科普论文和小品文38篇，内容涉及力学基本原理、工程力学、材料力学、摩擦学和生物力学等方面的10多个专题。书中部分内容曾在北京化工学院举办的力学基础知识系列讲座中，为低年级大学生作过讲演，《中国青年报》对此曾作过专门报道。其后，我们又得到许多兄弟院校（其中也有中专和普通中学）教务处和力学老师的支持和鼓励，深感有必要将讲座的教材尽快编辑成书，以期获得更多的读者，特别是广大的中学生和具有中学文化程度的成年人。以上便是撰写此书的缘起。

科普讲座对于大学生有没有吸引力，对他们的大课教学有没有促进作用，在讲座开办之前我们确实有些担心。然而，事实表明，这种担心完全是多余的。“力学大观园”科普讲座每逢开办，200多人的大教室总是挤得满满的，就连平时觉得力学枯燥的同学也都踊跃参加而且反映强烈：原来力学里还有这么多有趣的东西！

这一事实还表明，科普作品不仅能为广大中学生所喜爱，同样也是大学生必不可少的课外读物。随着科学的发展，近年来力学本身也发展了许多分支，单凭大课讲授，已经不能满足学生开阔视野的需要。因此，在大课之外开辟以科普讲座为中心的第二课堂（详见《代序》），不仅可以补充和深化大课上的教学内容，而且也有助于学生的智能开发。

为了将本书写成一本通俗易懂，生动有趣的科普读物，我们对原讲稿作了较大的改动，删去了有关高等数学和高等力学计算方面的内容，同时补充了许多力学基础知识和原理方面的内容。但由于时间仓促，经验不足，缺点和谬误在所难免，恳请广大读者及同行们批评指正。

在成书过程中，上海材料研究所的陶正耀高级工程师、吴县东山中学的黄正老师、中国矿业学院材料力学教研室的黄平老师，以及本院的范德顺老师，热情地为我们提供了许多宝贵资料，并在百忙中赶写出《射石与穿甲》和《会跳“迪斯科”的离心机》等文章；本院制图教研室的王铁民副教授还为本书精心绘制了部分插图，在此一并表示深切的谢意。

作者

1987年8月于北京化工学院

大课之外的智能开发

——代序

著名教育家赞科夫曾经说过：“教师的任务不仅是传授知识，更重要的是促进学生各方面的成长。”在知识和信息激增的今天，这一点尤为重要。完全靠教师在大课上“授业”，只读几本“经典”，是很难促进学生在各方面的成长，特别是智能的开发。我们以为，不论是初等教育还是高等教育，都应注重培养学生获取知识的能力（阅读能力、分析与综合能力、实验能力等），只有这样才能培养出一大批善于独立思考的“创造型”和“开拓型”人材。

在大学，力学是一门专业基础课。多年来，我们比较习惯于三个“当堂”（即当堂理解、当堂消化、当堂巩固）的讲授方法。这种“教师堂上照本宣科，学生课下忙于算题”的传统程式大大束缚了学生的主动性和智能的开发。从1985年开始，我们在改革大课讲授方法的同时，又开辟了名为“力学大观园”的第二课堂。在大课之外如何开发学生的智能方面，作了一些有益的探索。虽然第一期讲座只进行了八次（它们是：《修竹何以成龙材？》、《头盔纵横谈》、《奇妙的蜘蛛大腿》、《陀螺家族》、《植物生态的力学美》、《奇妙的纹》、《金属也会疲劳》、《漫游“离心国”》），但学生的反映却十分强烈。他们说：“去‘力学大观园’听讲，不仅扩大和深化了我们大课上的力学概念和知识，而且激励了我们的求知欲望和探索精神”，“第二课堂不仅是力学科普园地，

也是培养治学方法和科研能力的摇篮。”

实践表明，在大课之外开辟第二课堂具备三个“有利”，一是有利于巩固基本概念与活用基本理论；二是有利于扩大知识面；三是有利于培养学生的思维能力和探索精神。在具体的内容安排上，我们有以下三点体会。

一、内容要紧扣力学基本理论，注意加强知识的深度

一次成功的科普讲座，应当将知识性、趣味性和科学性熔于一炉。如果片面猎奇，只追求趣味，就会大大降低讲座的水平。因此，在内容安排上，必须注意紧扣力学基本理论，使之达到应有的深度。例如，弯曲理论是材料力学的核心内容，我们在几次讲座中都从不同的角度紧紧围绕这个核心，通过多次反复来深化这一主题。在《修竹何以成龙材？》这一讲中，我们通过对竹子和黑麦的生态（腹空、有节而且按等强度方式生长）的力学分析，不仅形象地阐述了梁的变形特征和应力分布规律，而且较为深入地介绍了等强度梁的设计准则以及它在机械结构设计中的应用。在《植物生态的力学美》一讲中，通过对比杨和柳的不同生态，指出为什么杨枝总是“怒发冲冠”，而柳条却“小垂手后柳无力”那样柔韧，其主要原因决定于它们枝干部分的力学性能。我们分析计算出受风载作用时杨枝与柳条根部的弯矩大小，从而得到了柳条下垂迎风时抗弯性能得到提高，杨枝向上迎风时抗弯性能降低的有趣结论。

过去，总以为光测力学对于初学材料力学的学生来讲是很难接受的。但实践证明，新的知识并不见得难懂，关键还是要讲授得法。我们在《奇妙的蜘蛛大腿》一讲中，就较好地解决了这个问题。讲座一开始，我们先饶有興味地提出一个问题：蜘蛛的视力极差，又无嗅觉，然而却能“独坐军中帐，

摆下八卦阵，捉拿飞来将”，不论多小的小虫，一旦触上蛛网，蜘蛛就能立即感知，是什么原因使它具有这种“超级敏感性”呢？原来，奥秘就在它的大腿上——腿上分布着上千个弹性感觉器官。这样一个开场白，使同学的注意力高度集中，产生了极大的求知欲望。我们接着又讲解了如何用一组“梁单元”来模拟蜘蛛腿上的弹性器官，又如何用光测力学的方法来测定这些梁单元的弹性变形。整个过程深入浅出，形象生动，就连平常觉得力学枯燥的学生，也兴奋地说：“我好比进了大观园，真正开了眼界，原来力学里也有这么多有趣的东西！”

二、要注意开阔学生的知识视野

唯物辩证法认为，事物是相互联系的，又是发展的。随着科学的不断发展，各门科学互相联系、互相补充、互相渗透，哪一门也很难独自存在与发展。力学也是如此，近年来发展了许多分支：断裂力学、有限元与边界元、光测力学、损伤力学、理性力学、穿甲力学以及生物力学等。因此，在现代力学教学中，如果没有广度，也就不可能有深度；要想“精”，必须“博”。然而，要在有限的大课学时内使学生了解广博的力学知识是不大现实的。但这一缺陷可以通过开辟力学第二课堂加以弥补。我们在《头盔纵横谈》这一讲中，围绕着头盔何以能对头颅起保护作用这个主题，广泛涉猎，介绍了材料力学、薄壳原理、碰撞力学以及“死亡加速度”的测定方法等。在《陀螺家族》一讲中，不仅介绍了陀螺力矩的概念及计算方法，同时还介绍了转子动力学中如何消除动反力和减振等问题，让学生的思维鼓起双翼，翱翔在力学知识的广阔天空。我们认为，开阔了视野就容易做到触类旁通和举一反三，只有这样，才能使学生从教科书的束缚中解放出

来，从而打破学生只做作业、死抱住习题集的僵化局面，使教育在面向现代化、面向未来的道路上迈开大步。

三、介绍治学方法，充分调动学生的主动性

力学教师的任务，不但要向学生传授力学的基础知识和理论，更重要的是调动他们的主动性，培养他们运用力学知识去解决实际问题的能力。大科学家卢瑟福有一句名言：

“人们的知识在不断地充实着，而人们的智慧却徘徊不前”，“主动性是一个科学工作者最可宝贵的品质。”今天，在青年学生已经普遍重视学习知识的时候，教师就更应当强调智能的发挥，要鼓励学生独立思考。否则，一味填充知识而忽略智能的开发就会把学生培养成一群“书呆子”。因此，在讲座中我们除了介绍力学知识外，还特别注重介绍教师自己治学方法与科研方法的经验。例如，在《陀螺家族》一讲中，报告人结合自己的科研成果，向学生介绍了目前世界上先进的进动式离心分离理论和实践，以及如何解决其中的关键问题。在《奇妙的蜘蛛大腿》的讲座中，报告人结合自己在西德慕尼黑工业大学所进行的一项生物力学方面的科学研究，向学生介绍了如何从蜘蛛大腿提出相应的力学模型，以及如何将一个复杂问题分解为几个比较简单的问题，然后运用光测实验技术去攻关的思维方法。这种不仅介绍力学新知识，而且也同时介绍治学方法的系列讲座，博得了学生的一致好评。

通过力学科普讲座的实践，使我们深感现代的青年学生有着强烈的求知欲望和探索精神，他们正在向老师挑战。面对知识激增的现实，我们老师应如何战胜“知识老化”，更多更快地接触和吸收新发现、新发明、新工艺、新技术，确是一件迫在眉睫之事。据国外专家统计，工程师的业务知识

在10年内就会有一半过时。教师的业务知识的“老化”现象，统计出来恐怕也是相当惊人的。因此，力学第二课堂的开辟不仅有利于学生智能的开发，同时也将大大促进教师业务的提高，特别是有助于促进教师业务知识的不断更新。

黄 钟 陈广异 严文贤

1985年12月

目 录

前言

大课之外的智能开发（代序）

植物生态的力学美·····	(1)
植物界的钢铁·····	(6)
蜘蛛大腿的特异功能·····	(10)
生物的“力学细胞”·····	(14)
方兴未艾的仿生力学·····	(20)
“猫旋”的启示·····	(26)
纠偏能手——陀螺·····	(30)
长盛不衰的“举重世家”·····	(36)
斜面的妙用·····	(40)
沉船是怎样打捞起来的？·····	(44)
“撞船官司”的力学判决·····	(47)
“扛竿”与“顶蛋”哪个更难？·····	(49)
单排叠椅为何不倒？·····	(53)
蹬技赏析·····	(57)
揭开“人体炮弹”的神秘面纱·····	(60)
游乐场里学力学·····	(65)
趣谈相对运动·····	(70)
射石与穿甲·····	(75)
理想的“减肥”材料——碳纤维·····	(79)
金属也会疲劳·····	(82)

奇妙的纹·····	(85)
扯布的学问·····	(89)
摩擦的“功”与“过”·····	(92)
奇妙的人工关节·····	(96)
两大“轴承家族”的兴衰·····	(101)
怎样驾驭摩擦这匹“烈马”·····	(104)
安全骑车有学问·····	(109)
头盔纵横谈·····	(113)
克服“死亡加速度”·····	
——驾摩托车为何必须戴安全帽·····	(118)
神奇的飞镖——“婆曼郎”·····	(124)
跳绳何以能健身?·····	(128)
愿你跳得更远·····	(133)
绷床表演中的力学原理·····	(139)
怎样利用风能?·····	(143)
漫游“离心国”·····	(149)
会跳“迪斯科”的离心机·····	(152)
永动机为何造不出来?·····	(156)
什么是宇宙速度?·····	
——兼谈火箭·····	(162)

植物生态的力学美

每当漫步植物园，总会流连忘返。看这边，奇花异草，绚丽多姿；看那边，竹影婆娑，杨柳依依，使人心旷神怡。大自然赋予它们阳光、雨露，因而造就了这一派生机盎然、奥妙无穷的奇趣。然而，除去阳光和雨露之外，植物自身还有着一种适应外界条件的特殊本领，用达尔文的话来说，叫做“适者生存”。我们不禁要问，这种顽强的生命力来自何方？为什么适者生存呢？要揭开这个秘密，我们不妨求教于力学。的确，用力学的观点去解释植物生态学上的问题，不仅很科学而且也饶有兴味，你会透过植物的外形美去领略它内涵的力学美。

红花的对称美

有人说，在宇宙间力学的法则构成了审美法则的基础，此话颇有道理。自然界的大多数动物都具有左右对称的体型，这样方可在静立、运动时保持躯干的平衡。因此，平衡感就不仅是一种外形的几何美，而且蕴藏着一种保持机体均衡、稳定的力学美。植物界的情况也是如此，绝大多数花卉都具有结构的对称美。

花瓣对称开放具有多种形式（如图1）：单轴对称（阿拉伯婆婆纳花），双轴对称（灯台树花），轴对称（牵牛花）以及旋转对称（金丝桃花）等。

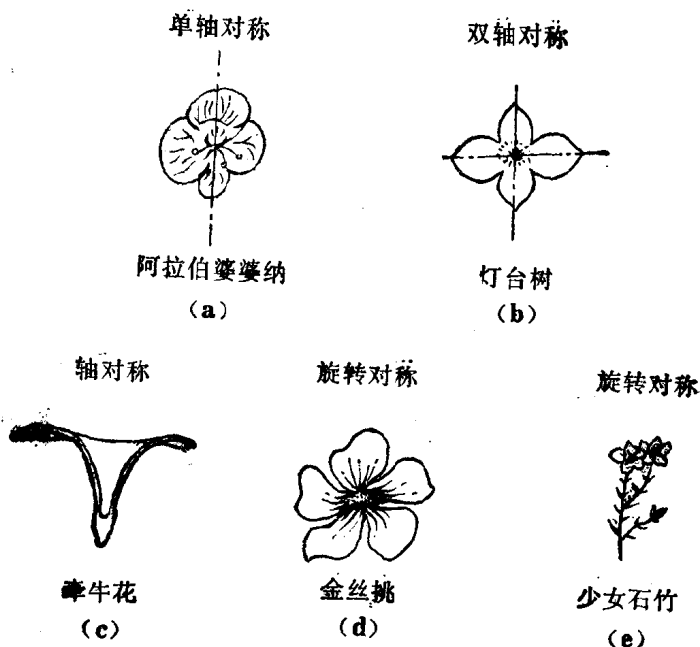


图1 花朵形状的对称性

相对于重力而言，向上开放的花朵常常具有轴对称或旋转对称的性质，因为这样可使受力状态相对于花蕊和花托处于最佳平衡状态——在自重作用下抗弯折的能力是各向同性的。其中佼佼者当数英雄木棉花，六瓣向上开放呈旋转对称，盛开时节，“望之如亿万华灯，烧空尽赤”。在落花时节也别有一番情趣，由于花瓣向上开放，花蕊和花托比花瓣重得多，因此花落时在空中仍能保持原状，这时旋转对称的六片花瓣宛如一个六叶螺旋桨，在空气动力作用下垂直旋转而坠，这也许就是为了花落归根而不致四处飘零的缘故吧！

与此相反，一些向下开放的花朵，也表现了受力平衡，

其形态则多呈悬挂状。例如吊钟花，“形如钟，皆下垂，无

仰口着，簇生叶下”。

这种倒挂状可以使重力对花托和花叶连接

处的弯曲作用减为最小。即使薄命的“昙

花仙子”，尽管其一生只有短短数小时，

也要抓紧时机来充分

显示她婀娜多姿的平

衡美；花朵似乎很有“力学头脑”，偏偏延伸至叶片下方才

开放，犹如一个吊钩（图2）。此时花的重心位于花柄和花

叶连接处的正下方，从而使重力的弯曲作用降为零，同时，

这种弯钩状对于花柄与花托相接处的薄弱环节也给予“强度

补偿”。

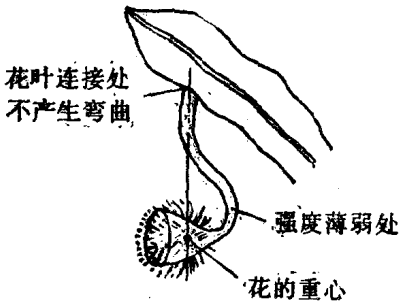


图2 昙花的平衡态

平衡美：花朵似乎很有“力学头脑”，偏偏延伸至叶片下方才开放，犹如一个吊钩（图2）。此时花的重心位于花柄和花叶连接处的正下方，从而使重力的弯曲作用降为零，同时，这种弯钩状对于花柄与花托相接处的薄弱环节也给予“强度补偿”。

绿叶的平衡美

常言道：“红花虽好，需绿叶扶持。”叶片堪称是位“贤内助”，茂密的叶片能使植物充分地进行光合作用，但是叶片的自重也将随之增加，致使植物的根部等处承受较大的弯矩作用，从而影响根部或枝杈等处的强度。为了适应这一受力状态，尽量减少根部或枝杈的弯矩，植物在叶片的排列方式上形成了一种独特的空间对称布局。叶片的排列方式可以用叶序来表示，可分为互生、对生及轮生等形式。当树节的一侧长出一片叶时，受力将失去平衡，因而在节的另一侧长出的叶片则错开一个角度（称为开度）排列，这样既可

达到受力平衡，又能充分获得阳光雨露。令人吃惊的是，绝大多数叶片的开度总不外乎下面这些角度： 120° ， 135° ， 137° ， 138° ， 144° 和 180° ，很少有例外，即开度处于 $\frac{2}{3}\pi \sim$



图3 叶片表面形状

π 弧度之间，或者说叶片是按 $120^\circ \sim 180^\circ$ 为间隔排列的，真是巧夺天工！

由于叶片的厚度远小于其宽度，因此抗弯能力很差。许多植物的叶片表面呈波纹状凹凸形态(图3, a),从而增大抗弯能力。有些叶片从横截面看呈凹状(图3, b),这样也不易产生失稳现象，即具有保持原有平衡状态的能力。

此外，在叶片背面布满了对称的叶脉，不仅增加了抗弯能力，也抵御了风雨的吹打。对称的叶脉很象一条条有序排列的“加强筋”，能对叶片起补强作用。然而为什么叶脉不长在叶片表面呢？道理很简单：如果叶脉位于叶片表面，不但有碍光合作用，而且不利于雨水和露水的排泄。另外，从受力状态分析，当叶片因自重而下垂时，其表面的纤维受表面张力的拉伸作用；背面的纤维则受压缩作用(图4, a)。叶片属于脆性材料，其抗压能力要比抗拉能力强得多，所以如果对称的叶脉长在表面，一旦出现裂纹，表面张力就会促使裂纹迅速扩展，最后导致叶脉破断(图4, b)。可见叶脉布位的合理性，即使是优秀的设计师，也只能甘拜下风而

“望叶兴叹”了！

柳树的结构美

“柳丝长，春雨细，花外漏声迢递。”

“兰露重，柳风斜，满庭堆落花。”唐诗中形容柳枝——植物界的“长发美女”的这种美态的名句实在

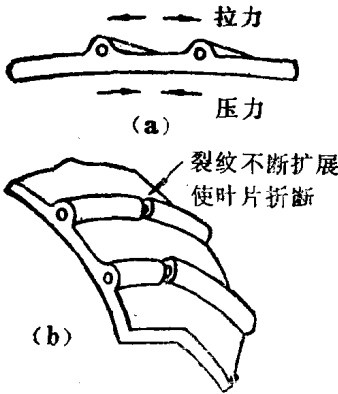


图4 叶脉的不合理布位示意

不胜枚举。柳枝的这种生长形态，与其枝部的力学性能有着密切的关联。

当受风力（用均布载荷 p 表示）作用时，垂柳枝（图5,a）相对其根部将有一张角 θ ，此时风载荷 p 所产生的作用在柳枝根部的弯矩（最大弯矩）等于 $\frac{1}{2}pl^2\cos\theta$ 。

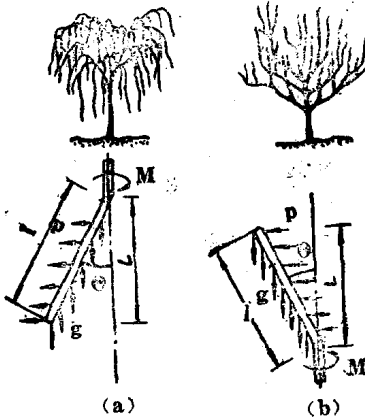


图5 垂柳和杨树枝干的力学分析

但由于柳枝自重（用均布载荷 q 表示）的作用，张角必然减小，即自重影响产生的弯矩 $\frac{1}{2}ql^2\sin\theta$ 将起着恢复力矩的作用，其结果大大减少了作用于树枝上的弯矩，因