

太原市建造的汾河桥（漪汾桥）是山西省的重点工程，杨先生负责该桥的大型模型实验研究与分析，检验设计的强度、刚度及稳定性，对无横向联系梁多跨的拱圈进行了试验研究，提供了大量数据，为确定最终设计方案提供了依据。为此节约大量资金，保证了安全行驶（正式通车已近3年）。该项目获山西省科技进步一等奖（1992年）。

近代非线性科学的两大进展，一是孤粒子的发现，二是混沌现象被揭示。杨桂通教授在固体力学领域开展了这两大类非线性问题的研究，借助逆散射反演理论研究了非线性弹性杆中应变孤波的传播，给出了这种波的生成条件、传播特征及两孤波间的相互作用。利用 Poincare 映射和 Melnikov 方法研究了弹塑性结构的混沌运动，率先对工程中各类常见结构单元（杆、梁、板、壳、拱等）的混沌运动进行了一系列深入系统的研究，并取得了突破性进展，为经典的固体力学问题注入了新的活力。

先生是治学的典范，又是做人的楷模。他治学严谨，求实奋进，勇于奉献，开拓创新。

先生对培养青年一代极为重视，他在教学工作中认真备课，强调着重培养学生独立思考和独立工作的能力，他深入浅出富于启发性的教学风格给学生们留

下了深刻的印象。先生对学生们要求极为严格，要求学生应该定期汇报和参加讨论，有许多次我们是在医院的病榻边得到了他的悉心指教。谁又能说清还有多少个日日夜夜我们和先生一起在实验室共同分享了实验的艰辛、失败的痛苦和成功的欢乐呢？然而当面对荣誉的时候，他总是把别人推到前面，显示出老一辈科学家高尚的道德情操。

先生和师母对学生的生活也极为关心，他们熟悉每一个学生的家庭，关心他们的生活，帮助他们解除学习和工作中的后顾之忧。当韩强博士的幼女住院的时候，先生和师母主动伸出了援助之手，这样的事例不胜枚举。学生们和先生、师母有着深厚的感情。不仅如此，先生领导下的固体力学和生物力学课题组的师兄们友好相处，形成了一个团结友爱的集体，在这个集体中我们又一次找到了家的感觉，这个家不断给予我们集体的温暖和团结友爱的力量。

先生在生活中作风朴实，平易近人，在科研工作中壮志不已，从容耕耘，永远是我们青年一代学习的榜样。

（太原工业大学应用力学研究所，树学锋

韩强 张年梅 马勇）

身边力学的趣话

从噗噗噠儿谈到非线性

武际可

（北京大学力学与工程科学系，北京 100871）

摘要 本文从噗噗噠儿这种民间玩具的变形，分析它的非线性现象。

关键词 噗噗噠儿，变形，非线性

噗噗噠儿，是一种用玻璃吹制而成的玩具。吹制的办法是，先将玻璃拉成一根管子，然后将它的端部吹成一个球，最后趁玻璃还软，在一个微凸的平面上，使底平面略向内凹，待冷却后即成。通常为暗红色或红褐色。图1是清朝同治光绪年间民间艺人画的彩色画“北京民间风俗百图”中的“卖琉璃喇叭图”，图中左筐上边即有几只噗噗噠儿，它的形状如图2。图3则是40年代的一张民俗剪纸，右筐上也插着几只噗噗噠儿。据日本学者林谦三的考证，噗噗噠儿大约

在江户时代（1603年~1867年）传入日本，称之为鼓（poppen）并附有一张插图（图4）。

由于它的底薄如蝉翅，且略凹，玩的时候对着管端轻轻吹气，当内部气压略大时，底儿便变形而突然外凸，随之噗地一响；然后再吸气，随着内部压力减小，底儿又噗地一响变为向内凹，这样一吹一吸，便响个不停，很好玩。

但是，由于这种玩具很易破碎，不小心能够划破皮肤，再加上新的电子玩具的出现，所以近十年来生产很少了。早年它却很流行。它的名称很多，北京一带也称不登、倒掖气、倒掖器、响葫芦。山西一带则称咯嘣儿、琉璃咯嘣儿；广东一带称料泡等。

噗噗噠儿在中国发明得相当早，在明末刘侗、于



图 1

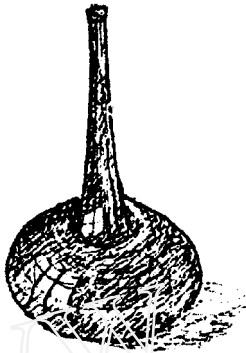


图 2



图 4



图 3

奕正合写的《帝京景物略》中有记载：“别有衔而嘘吸者，大声（h ng），小声啾啾（b ng），曰倒掖气。”可见它的发明当不晚于明末。书中还记有一首儿歌，现录在下面：

倒掖器，如瓶落阶瓶倒水。匀匀呼吸吹薄纸，吸少呼多瓶脱底。藏爹钱瞒爹眼里，迷糊琉璃厂甸子。儿迷糊，倒掖器，爹着汗，嬷着泪。

这首儿歌的大意是：倒掖器玩起来，它发出的声音有如瓦盆掉在台阶上或小口瓶往出倒水，由于它很不结实，所以必须均匀地吹吸，就像吹一张薄纸一样，一不小心就会将底吹脱落，很容易吹坏。歌的后半阙是说一个淘气的小孩背着爹妈拿了钱去逛琉璃厂、厂甸，买倒掖器玩，结果害得爹为了寻他而汗流夹背，老妈妈急得哭泣。这里“迷糊”有迷恋与糊涂双关的意思。

时间上大约是噗噗瞪儿发明稍后，英国人虎克（R. Hooke, 1635 年 ~ 1703 年）在 1660 年发现了一条定律，并且于 1676 年发表了。这就是现在中学教科书上说的虎克定律，即：在材料的弹性极限内，弹性物体所受的力与变形成正比。如果用 p 代表外力， d 代表变形量，则虎克定律可以表示成 $p = kd$ ，这里 k 是与 p 和 d 都没有关系的常数。比虎克略早的法国数学家笛卡儿（Descartes, 1596 年 ~ 1650 年），在他 41 岁时，即 1637 年，发表了的名著《几何学》，也

力学与实践

就是后来解析几何的最早起源。书中认为在平面上建立了坐标系，任何一个两个变数的方程可以对应于平面上的一个图形。有了这个方法，虎克就可以将他的外力与变形的关系画在图上，结果是一条直线，所以后来也将虎克所描述的这种外力与变形的关系称作线性关系。

虎克搜罗了他当时所能收集的许多例子加以研讨，结果都符合“线性关系”。其中有：螺旋弹簧，外力是拉力，变形是伸长；钟表发条，外力是中心轴的力矩，变形是中心轴旋转过的角度；一根悬吊的长长的线，外力是拉力（下端的重物），变形是伸长；木制的一端固定，另一端自由的梁（悬臂梁），外力是自由端所悬重量，变形是自由端铅直位移（挠度）。在所有这些例子中，“线性规律”都是成立的。

据国防科技大学老亮教授考证，我国东汉经学家郑玄（公元127年~200年）在《考工记》注中，通过对弓的试验的注中，就已经有外力与变形成正比的记载。比虎克早了1400多年。

噗噗瞪儿虽然发明得比虎克出生还要早，可惜由于当时中西交通的阻隔，虎克小时候肯定没玩过这玩艺儿，否则他在总结他的定律时，恐怕要困惑不解了。如果将噗噗瞪儿也看作一个在外力作用下的变形物体，这里外力是内部空气的压强减去大气压，变形可以用圆形底部中心的位移来量，不妨设底部为平的时，变形为零。这时，外力与变形的关系不再是一根直线，而要复杂得多。

对于噗噗瞪儿的外力变形曲线来说，也可以将它画在平面上，令水平坐标表示变形 d ，铅直坐标表示压力 p ，图5曲线 $ABODC$ 即是。设未吹气时，噗噗瞪儿的状态处于 A 点，这时 d 是负的，表示底向内凹。随着吹气使内部压力增高，底也逐渐向外移动，当内部压力 p 增加时，便使噗噗瞪儿的状态达到 B 点。我们看到从 B 点，变形曲线是伸向 BO 段，但这一段上，压力必须下降，实际上我们还在继续吹它，不可能下降，于是噗噗瞪儿的底部中心便直接跳向 C 点，然后若增加压力再沿 DC 段往上去。从 B 跳到

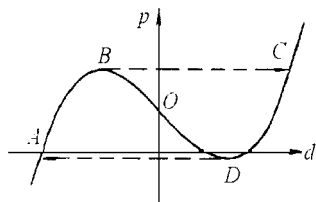


图5

C ，噗噗瞪儿的底儿瞬时便从凹形跳到凸形，发出一个清脆的响声。在 B 点，噗噗瞪儿的状态发生突然变化，所以我们称 B 点为临界点。

现在当噗噗瞪儿状态处于 C 点，即底向外凸，压力为正，如果减少压力，或轻轻吸气，则噗噗瞪儿的状态又会沿 CD 段到达 D 点。这时再减小压力，噗噗瞪儿的底儿便突然在压力不变的条件下，由凸变为凹，即从 D 返回到 A 点。

我们看到在曲线 $ABODC$ 上， BOC 这一段也是外力变形曲线上的一小段，但却永远达不到。因为在这一段上，噗噗瞪儿的平衡是不稳定的。

噗噗瞪儿发明得很早，可是关于它的变形的理论研究得却很晚。最早研究它的是1939年美国力学家冯卡门（von Karman）和他的中国学生钱学森。他们将这类问题简化为一个球壳在外压作用下的失稳问题。他们的兴趣当然不是为了吹噗噗瞪儿玩，而是对某些飞机结构元件变形规律认识的要求。

然而，噗噗瞪儿的底在它向内凹或向外凸时，都可以看为一个球壳的一部分。所以卡门-钱的研究工作也可以用来解释噗噗瞪儿的变形，它是一类弹性物体变形的代表。后来人们把这类有上下临界（如图5上 B 、 C 点）的变形曲线、变形的来回突然跳动称为弹性突跳。

弹性突跳现象在工程与生活中有不少应用，现在电子计算机或计算器的按键就是利用弹性突跳元件，使得指头按上去压力达到一定，键接触时不拖泥带水。高压配电的电闸也是如此。有些工作部门还用它作为控制器，使压力高时达到临界值，通过弹性突跳打开阀门泄气，低时达到某临界值，通过弹性突跳关闭阀门。

噗噗瞪儿也是弹性材料，但是它的外力变形曲线却为什么不是线性的，不服从虎克定律？原因很简单，虎克研究的对象都是相对小的变形。其实即使是噗噗瞪儿，如在图5 A 点附近，它的变形曲线也可以近似看为线性的，用曲线过 A 点的切线代替即可，变形大了，曲线便拐弯了。

所以虎克之后，为了保持虎克定律有较大的适用范围，人们修改了他的提法，加进两条限制：其一是严格限定在变形很小的情形；其二是将外力与变形改为应力与应变。应力与应变是指在变形体上割出一个无限小的单元上来讨论外力与变形关系的。在这两个条件下，大部分弹性体是满足“线性关系”的，即使我们的噗噗瞪儿上的一个无限小元素也是服从线性关系的。

人们将类似于噗噗瞪儿的变形外力曲线称为非线性关系。非线性关系类型很多，也很复杂。整个自然科学的历史表明，任何学科发展的早期，最先总是将所得到的关系看作线性的，例如在电学中，电场强度与电感强度的线性关系；渗流中渗透压力与渗透流速度的线性关系；在热学中热流量与温度差的关系；在电工中电压与电流强度的关系，等等。早期都是线性的，随着研究的深入，都发现了非线性的修正。

不仅如此，早期的社会生产，也近似用线性关系的经济学来讨论。手工生产，如打草鞋，生产量与人数是线性关系。后来进入大生产，一座现代化钢厂，钢产量与工人数便不是线性关系，人数少到一定数量便产不出钢来。

大约在本世纪 60 年代，整个自然科学与社会科学各领域，大量提出并讨论非线性现象与问题，而且这些问题都有一些共同点，在数学描述上其非线性关系相同，且发生的现象也有某些可类比性。它比线性情形更复杂、更媚人，描述的现象更丰富，也更具有挑战性。这就是所谓当前我们称之为非线性科学。而且人们预期，20 世纪人类仅仅是大量提出非线性问题。真正要解决，恐怕是下世纪的事。

然而，非线性现象不管怎样复杂，也总得从最简单的情形开始研究。噗噗瞪儿当是一种最简单的非线性现象。如果你想进入非线性的研究领域一显身手，不妨请你先对噗噗瞪儿思考一下，它会告诉你许许多多。

硬骨鱼、软骨鱼及海兽获得升力的不同方式

刘大为

(甘肃教育学院, 兰州 730000)

摘要 本文漫谈硬骨鱼、软骨鱼及海兽获得升力的方式所利用的力学原理及其中的启示。

关键词 硬骨鱼, 软骨鱼, 海兽, 升力

飞鸟、昆虫及蝙蝠都是成功的飞行家，它们利用翅膀获得升力，在一定的高度内自由自在地飞翔。但是无论飞鸟、昆虫或者蝙蝠都不可能无限制地长时间飞翔于空中，在飞行一段时间后，它们必须在陆地上休息，它们的睡眠、进食和繁育等基本生命活动也必须在陆地上进行。因此，丝毫也不能说飞鸟、昆虫和蝙蝠是生存于空间的动物。

但是水中的生物则不同，它们可以不依靠坚实的陆地，而始终生活于水中的空间——某一深度范围的水层之中。这里，它们就更迫切地面临采用什么方式获得升力从而可以自由自在地生活于某一水层的问题。对于这一课题，硬骨鱼、软骨鱼及海兽分别根据自身的行为特点和进化历程，利用不同的力学原理采用不同的方式来获得升力，并且它们都十分成功。

首先，我们看硬骨鱼类，这是最出色的水中生活动物，具有水域征服者的桂冠。它们已经侵入到地球

的所有水域之中，从溪流、河、池塘、湖直到海洋中各种深度的水域。我们所熟知的鲤鱼、鲫鱼和鲢鱼等就是属于进步类型的硬骨鱼类。在这些鱼的身体内部都有鱼鳔。鱼鳔内气体体积增大时，鱼身体被胀大；鱼鳔的体积收缩时，鱼身体随之收缩。由于鱼的重量没发生变化，根据阿基米德定律，在前面的情况鱼上浮，在后面的情况鱼下沉。鲤鱼、鲫鱼等硬骨鱼就是这样利用鳔内气体的体积控制它们在水中的深度。

鲨鱼是最典型的软骨鱼，从泥盆纪晚期到现在，鲨鱼一直处于最成功的情况之中。没有鳔是它的一个基本特征。鲨鱼是富于进攻性的积极的游泳者，强大的正歪尾（上叶大、下叶小），发达宽厚的胸鳍，高高隆起的背鳍和鱼雷一般的流线形身体是它突出的结构特征。在有关鲨鱼的“动物世界”的电视节目中，人们可以清楚地看到凶猛的鲨鱼在扑向食物的瞬间如同一架现代化的喷气式战斗机向目标冲去。在水族馆中，你更可以持久安闲地注意到几乎没有哪一种鱼象鲨鱼那样一刻不停地游动着，鲨鱼正是在不断地游动中，利用它们的外形结构产生升力，从而使它们能够在要求的水层中活动。鲨鱼的胸鳍在水中获得升力的方式与飞机利用机翼在空中获得升力的方式相

力学与实践