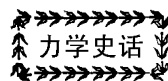


中国古代计量弓力的方法及相关经验认识



仪德刚

(内蒙古师范大学科学史与科技管理系, 呼和浩特 010022)

摘要 通过对现存传统弓箭制作工艺的调查, 在对弓匠认识和解决具体的实践力学知识方法的考察基础之上, 从对物理知识历史认识论的视角, 对中国传统弓箭制作及使用中的实践力学知识进行了系统研究. 总结了中国古代计量弓力的单位和测试弓力的方法, 分析了中国古代对弓体力学性能的认识. 并对前人争论的“郑玄发现弹性定律”的观点, 从解读郑玄注文的意义、测试和解析弓体的力学性能、调查弓匠们的经验认识等多方面进行讨论, 指出以前的研究者对这个问题的认识是错误的.

关键词 弓箭, 力学, 弹性定律

中国古人在制作及使用弓箭的过程中, 总结了大量的实践力学知识, 其中对弓力的计量及测试形成了他们独特的传统, 并对与弓力相关的力学知识形成了他们自己的经验认识. 对这些经验知识的解读还一度成为学术界普遍关注的重要内容, 特别是对郑玄是否发现弹性定律的问题仍然未能达成共识. 鉴于此, 对这些相关问题重新进行整理和分析.

1 中国古代计量弓力的几种单位

弓力, 按现代的术语指的是弓弩的弹力. 中国古代对于弓力的记述常常仅用一个“力”字, 而不用“弹力”. 如《考工记》中有“量其力, 有三均”. 虽然中国古代文献中曾有“弹力”一词的记载, 如唐代段成式在《酉阳杂俎·诡习》^[1]中描写张芬“曲艺过人, ……弹力五斗, ……”(另有版本将“弹力”写成“弹弓力”)^[2]. 但文中的“弹力”并非指现代意义上的弓体弹力, 而是指人推动或拉动物体的能力.

中国古人在计量弓力时, 曾使用过两类不同性质的单位: 第 1 种是直接使用重量单位如“钧”、“石”、“斗”、“斤”等; 第 2 种是独特的表示方法: “个力”、“力”、“个劲儿”等.

1.1 “钧”、“石”、“斗”、“斤”、“硕”等

从文献记载上看, 中国古人早在先秦时期就使用“石”做为弓力的单位. 如“魏氏之武卒, 以度取之, 衣三属之甲, 操十二石之弩”^[3]. 秦朝以后也如此使用, 在居延汉简里记有“一石弩、二石弩、三石弩”等指的就是弓力分别为 1 石、2 石、3 石的弩. 这种使用方法正如沈括(宋)所言: “挽蹶弓弩, 古人以钧石率之”^[4]. 由此可见, 宋代以前古人常以“钧”、“石”来计量弓力的大小. 在宋朝也基本上沿用此法, 如在《宋会要辑稿》里描写当时武举考试时所用弓的弓力大小也是这样标记的: “弓, 步射一石一斗力, 马射八斗力, ……”^[5].

明朝唐顺之在《武编》中对这种计量方法又做了解释: “钧石之石, 五权之名. 石重百二十斤, 后以一一斛为一石. 自汉已如此, 饮酒一石不乱是也. 挽蹶弓弩, 古人以钧、石率之, 今人乃以粳米一斛之重为一石. 凡石者, 以九十二斤半为法, 乃汉秤三百四十一斤也. 今之武卒蹶弩有及九石者, 计其力乃古之二十五石, 比魏之武卒人当二人有余. 弓有挽三石者, 乃古之三十四钧, 比颜高之弓人当五人有余.”^[6]文中提到, 石是一种计量单位, 1 石重 120 斤, 11 斛为 1 石, 这种使用方法自汉代就已如此. 在中国历史上不同时代的度量衡有着很大差异, 如古代通常以 120 斤为一石, 但斤的绝对重量是随时代而变化的(据汉语大字典的中国历代衡制演变测算简表: 新莽时期 1 石约为 28 560 克, 宋代 1 石约为 75 960 克). 在宋朝时, 定粳米 1 斛之重为 1 石, 1 石以 92.5 斤为标准, 相当于汉秤 341 斤. 说明在宋朝石的标准比汉代的大. 宋代的武士虽只能张开九石弩, 但其实际相当于张开的是汉代的二十五石弩, 比汉代的两名武卒所用弩的力量还大.

在明朝《武编》中还常用到一种特殊的弓力单位“硕”, 如: “况镞重则弓软而去地远, 箭重则弓硬而中甲不入. 旧法, 箭头重过三钱则箭去不过百步, 箭身重过十钱则弓力当用一硕. 是谓弓箭制”^[6]. 文中提到旧法弓箭制的标准是: 弓力 1 硕配箭的重量要超过 10 钱. 《武编》中还转引了《北征录》的相关内容: “弩, 今欲使弩勉力自二硕至三硕, 不许太硬, 令久疲之兵易于蹉跎.”表明在《北征录》里也是用“硕”作为计量弓力的单位. 《武编》还记载: “古者弓矢之制, 弓八斗, 以弦重三钱半, 箭重八钱为准”^[6], 即弓力八斗配箭的重量八钱. 由此推测, “硕”的量值应与“石”相同. 在古文中硕在表示重量单位时常与石通用.

综上所述, 明朝以前中国古人多以“钧”、“石”、“斗”等这些重量单位直接做为弓力的单位. 古人这种直接把重量的单位转用为弓力单位的方法是方便可行的. 时至今日, 在中国部分少数民族地区, 制作弓弩的师傅依然使用这种表示方法. 他们通常使用现代通用的重量单位“斤”来表示弓力的大小. 且常用“重量”来指代弩弓的弓力, 如“大弩重量约有一百多斤”, 其本意指弩之弓力有一百多斤, 而非弩的重量为一百多斤.

1.2 “个力”、“力”、“个劲儿”等

与直接使用重量的单位来计量弓力不同, 在明朝出现了一些有趣的变化, 人们开始使用一些特殊的单位如“个力”,

“力”等来描述弓力。对此，明代李呈芬在《射经》中写得比较清楚：

“古者，弓以石量力。今之弓以个量力，未详出处。然相传九斤四两为之一个力，十个力为之一石。或曰，九斤十四两为之一个力云。凡弓五个力而箭重四钱者，发去则飘不稳。而三个力之弓，重七钱之箭，几迟而不捷。何哉？力不相对也。”^[7]

从原文中看出李呈芬提到明朝以前用“石”做为弓力的单位，在明朝以“个”来计量弓力，1 个力相当于 9 斤 4 两（或 9 斤 14 两），10 个力相当于 1 石。李呈芬也提到他并不了解这种计量方法从何而来。

在清朝的诸多关于描述武举考试的内容中，还有直接使用“力”来做单位的，如《清史稿》中记载康熙十三年恢复武举考试时，重新规定了考试内容，以“八力、十力、十二力之弓，八十斤、百斤、百二十斤之刀，二百斤、二百五十斤、三百斤之石”^[8]作为考试的标准。这里用力来计量弓力的大小，用斤来计量刀和石的重量。

清末民初，在中国南方的一些做弓者还一直沿用这种计量弓力的方法。那里的做弓师傅还知道“旧称九斤四两为一个力”^[9]。而同时代北京的做弓者却又换成了另外一种单位：“个劲儿”。原北京弓箭大院的杨文通（1930~）师傅，至今仍使用“个劲儿”来计量弓力，并解释 1 个劲儿相当于 10 斤的力。

中国古人计量弓力的方法很多，总体上分为上述两类，由较早的借以“钩”、“石”等重量单位发展到“个力”、“力”、“个劲儿”等特殊的单位。在中国古代没有质量的概念，人们常以重来指代物体的质量。他们使用天平和杆秤称量物体时，大部分测得的也是物体的质量。中国古人也没有形成现代意义上的重量或重力、力的概念，他们也不可能从本质上认识到这些概念之间的差别与联系，从他们计量弓力所用单位的变化看，还是体现出了制造和使用弓箭者对于重和力的不完全等同性的认识。

2 中国古代测试弓力的方法

测量弓力对于做弓者和使用者都是必要的。对做弓者而言，他们对其成品的性能要有一个定量标准。对使用者而言，他们要衡量其弓是否适合其使用。古人一直强调“矢量其弓，弓量其力”，这就要求箭的长短、轻重要适合弓的型号；弓力也要适合使用者的力量。

早在汉代，人们就用“石”等单位来计量弓弩的弓力，并且能准确到“斤”、“两”，如“今力三石廿九斤射百八十步辟木郭”^[10]；“夷胡隧七石具弩……今力三石六斤六两”^[10]。可见，这种测量结果是相当精确的，是古人实测的结果。中国古代测试弓力的方法可归纳为以下两种：

2.1 杆秤测量

杆秤测量弓力的方法是巧妙地利用了弓体的弹性。这种方法在中国古代不知源于何时，就笔者所查找到的文献，最

早见于明代宋应星的《天工开物》里：

“凡造弓视人力强弱为轻重：上力挽一百二十斤，过此则为虎力，亦不数出；中力减十之二三；下力及其半。彀满之时，皆能中的。但战阵之上，洞胸彻札，功必归于挽强者。而下力倘能穿杨贯虱，则以巧胜也。凡试弓力，以足踏弦就地，秤钩搭挂弓腰，弦满之时，推移秤锤所压，则知多少。其初造料分两，则上力挽强者，角与竹片削就时，约重七两；筋与胶、漆与缠约丝绳，约重八钱，此其大略。中力减十分之一二，下力减十分之二三也。”^[11]

在文中宋应星详细地记述了要因人力强弱而造弓，并具体给出用杆秤测试弓力的方法及图示（图 1）。19 世纪 50 年代，四川成都长兴弓箭铺做弓时使用了这种以衡测力的方法，“在铺筋时，虽能根据筋的分量的多寡，来定弓力的大小，但这完全是制弓人的经验，力的大小，仍不能得到准确的重量，所以在成品以后，还得用权衡的方法来试量，名曰试力”，使用的方法为：“用秤来称：把弓弦向下，弓身向上，秤钩钩住弓身，秤吊于房梁上，脚踏弓弦地面上，弦满的时候，推移秤锤所吊的地方便是力的大小”^[9]。同样，这种方法在我们的实际调查中也被制弓匠所使用^[12]。

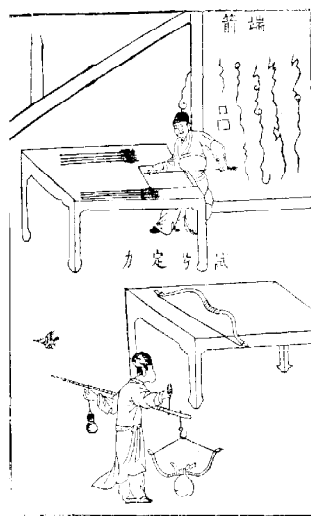


图 1 试弓定力图（根据《天工开物》（明崇祯十年刊本））

测量弓力要以张满弦时为标准，何为满弦？历代做弓师傅及使用者都是以拉开箭长为准¹⁾。箭长是在做弓时根据弓箭手的身高、臂长而定的。对于无需用箭的“重弓”（亦称之为“硬弓”），师傅们也有自己的方法。“重弓”是武举考试中测试选手力量的主要工具。清末，武举考试被废除，拉重弓考试亦成为历史。内蒙古杂技团曾以拉重弓作为一个特色的表演项目。杂技团里的做弓师傅可以按杂技演员的需求定做重弓。如做 10 或 12 个劲儿的弓，他会很好地掌握材料的配比份量，使做成弓的弓力与需求十分接近。实测弓力，可以让演员拉满弓弦，并用一根木杆比较出满弦时弓张开的长度。然后用秤钩住弦，用脚踏住弓把，把弓张开到木杆的长

1) 现代国际弓弓力的计量方法是以弓被拉开 28 英寸时弹力为准。

度测试弓力。当弓力太大时,要两三个人同时操作,用一根实木横压弓把在地面上,两人分别踏住。并再用另一根实木横穿杆秤的旋钮,两人分别用力高抬,直至满弦,量出弓力。

2.2 垂重测试

垂重测量弓力是一种间接的测量方法。即用重物挂于弓弦上,提拉弓体使其达到满弦,可根据弓是否能达到或超过满弦来增减重物的份量,然后取下重物,测试重物的份量,即得弓力值。

郑玄在《考工记》中“量其力,有三均”的注里写道:“每加物一石,则张一尺”^[13],这是应用垂重测试弓力方法的较早记载。

在《天工开物》里测力图及中对成都和北京的制弓者调查中,除介绍了使用杆秤测力的方法外,也指明了这种测试方法:用大致份量的重物包来垂重,看弓弦是否能被拉满,如满弦则弓力即可由重物包的份量表示出来,否则可以更换不同份量的重物包来试,从而省去了再推移秤锤读数的操作。如果垂重达到满弦的重物包的份量是不规则的,也可以用秤再量出重物的份量。由于制弓匠可凭经验初步估计弓力的大小,这样垂重测量显得更为便捷。

除以上两种测试弓力的方法外,做弓者或使用者在没有找到一种有效的测量弓力的工具前或他们不需要太精确的测量结果时,往往会凭其拉张弓弦时用力感觉来估测弓力大小。即“手感”估测,如一个人能拉开一张弓所感觉到费力的程度与他提拉1石的重物相近,那么他会估测此弓的弓力为1石。这种方法简便易行,应是人类发明弓箭时最先尝试的估测方法。这种估测通常不太准确,因为开弓与提起重物所需运用臂力的方式不同。如有的人虽能提起很重的重物,但没有学习拉弓射箭以前,他很难拉开同等份量的弓。经验丰富的人可以感觉到这种用力方式的差别,并以差别的大小估测出相对准确的弓力结果。

另外,做弓者还可根据做弓时使用材料的多寡来估计弓力的大小。角、筋、竹三种材料的粗细、薄厚都是直接影响弓力大小的原因。在制作同一型号的弓时,由于用角和竹的份量相当,用筋量的多少便成了决定弓力大小的关键因素。在《清朝文献通考》中也详细记载过依筋的份量来定弓力的方法:“弓力强弱视胎面厚薄筋胶轻重,一力至三力用筋八两、胶五两;四力至六力用筋十四两、胶七两;七力至九力用筋十八两、胶九两;十力至十二力用筋一斤十两、胶十两;十三力至十五力用筋二斤、胶十二两;十六力至十八力用筋二斤六两、胶十四两。”^[14]通过对做弓方法的调查,我们也得知现代制弓匠也是以铺筋的层数来调节弓力的大小,并且做弓者根据铺筋量估测出的弓力值与实测值相差只有一、二斤。

测量弓弩的弓力应被大多数的弓匠及射箭者所熟悉。现代弓的弓体测量是使用专门的弹簧秤。凭经验估测和垂重测量不仅被中国古人所应用,其他国家也有记载。而中国古代

的杆秤测量的方法似是中国特有的传统¹⁾。

3 中国古人对弓力弹性的经验认识

中国发明传统复合牛角弓的时间较早,在《考工记》里就曾系统地描述过复合牛角弓的制作规范,其“弓人为弓”节说:

“弓有六材焉,维干强之,张如流水。维体防之,引之中参。维角撑之,欲宛而无负弦,引之如环,释之无失体,如环。材美,工巧,为之时,谓之参均。角不胜干,干不胜筋,谓之参均。量其力,有三均。均者三,谓之九和。九和之弓,角与干权,筋三侔,胶三铎,丝三邸,漆三魁。上工以有余,下工以不足。”^[13]

我们知道做弓的3种材料角、干、筋对弓力均会有重要影响,但要达到像《考工记》所描述的那样“角不胜干,干不胜筋”,即希望这三者能发生均等的作用(称为“三均”),是不容易做到的,因此这种规范性的描述很难说具有实际意义。此外原文中也没有说明“量其力”的方法。对此东汉经学家郑玄在其注中解释为:

“参均者,谓若干胜一石,加角而胜两石,被筋而胜三石,引之中三尺。假令弓力胜三石,引之中三尺,弛其弦,以绳缓擗之,每加物一石,则张一尺,故书胜。”^[13]

唐代贾公彦对郑玄的这段话又做了进一步的疏解:

“此言弓未成时,干未有角,称之胜一石;后又按角,胜二石;后更被筋,称之即胜三石。引之中三尺者,此据干角筋三者具总,称物三石,得三尺。若据初空干时,称物一石,亦三尺;更加角,称物二石,亦三尺;又被筋,称物三石,亦三尺。郑又云假令弓力胜三石,引之中三尺者,此即三石力弓也。必知弓力三石者,当弛其弦,以绳缓擗之者,谓不张之,别以一条绳系两箫,乃加物一石张一尺,二石张二尺,三石张三尺。”^[13]

郑玄认为“参均”者意指,如干能承受一石重物之力,加角后能承受两石之力,加筋后能承受三石之力,拉弦能拉开三尺。拉开二尺,大致能体现出弓达到满弦时弦与弓腰的距离,与该弓所用箭的长度相近。东汉时的一尺长约23cm,三尺(69cm)与出土的汉代的箭长相近。当然,即使是同一时期的弓所用箭长也不是完全相同的,但大致在此范围内应是可行的。

贾公彦在疏中所言:“引之皆三尺,以其矢长三尺,须满故也。”至于“引之皆三尺”的方法,他解释说,“当弛其弦,以绳缓擗之者,谓不张之,别以一条绳系两箫,乃加物”。清代经学家孙诒让(1848~1908)在其《周礼正义》中又解为“说文弓部云弛,解也。广雅释诂云擗,著也。谓解弦而别以绳缓著弓箫,必以绳易弦者,恐试时伤弦之力。必缓擗者恐其急而断也。”^[15]由此看出,孙诒让认为以绳易弦是为了保护初试弓力时防止弦受损。有的学者把它理解成为了测量弓体的净弹力^[16],似乎不符合原文本意。因为古人

1) 对此问题的讨论笔者得到 Grayson, Bede, McEwent 等的帮助,并进一步协助查阅西方及中东的文献。

即使为了测其净弹力，易弦并不能影响最终弦满之时弓力的大小。

中国传统角弓的弓力与张弦距离究竟是一种什么样的关系？可以借助于对原北京弓箭大院“聚元号”后代所做的传统弓进行测试，测量三张弓后选出其中一组数据进行分析，其弓力与张弦距离关系（简称拉力曲线）是一条非线性曲线（图 2）。即中国传统复合弓的拉力曲线不是线性关系。现代比赛用的国际反曲弓也体现出这一特性（图 3），即在不同的张弦间距上，弓力的增幅是不同的。在现代的射箭运动中，运动员们了解弓的这些特性，对于拉弓、瞄准都是非常有用的。

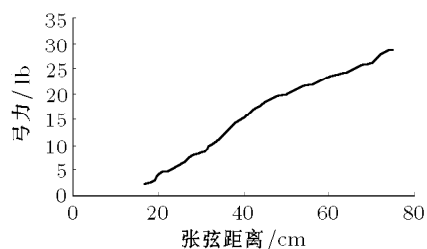


图 2 中国传统角弓（弓长 100 cm）拉力曲线图

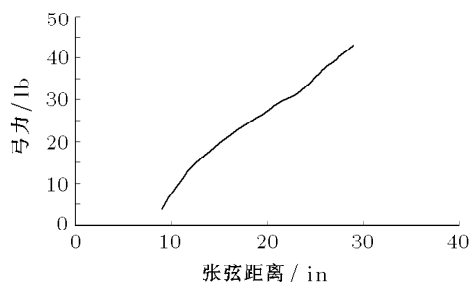


图 3 国际玻璃钢弓 [上海“燕子”牌弓，弓片长 (71 cm)] 拉力曲线图

4 关于“郑玄弹性定律”

通过上文对中国传统弓的弹性进行分析与实测，可以简单看出传统角弓的力学效果。中国古人为改善弓的性能积累了很多对于弓力弹性的认识。如何评价他们认识弓力与张弦关系的水平，前人已多有论述。问题讨论的焦点是中国古代是否发现了弹性定律？

老亮在他的《材料力学史漫话》里把东汉郑玄对《考工记》的注：“一石张一尺，二石张二尺，三石张三尺”等表述，看作是中国古人早于胡克 (R.Hooke) 1500 年前发现了弹性定律的有力证据，并引用多位院士的话加以强调。如书中引用钱临照的话：“关于 Hooke 定律之发现讨论，甚佩所见。此论应在中学教科书中提及，但列为物理学名词中是否应作‘郑玄 - 胡克定律’似尚可讨论也”；引用钱令希的话：“作者发现我国郑玄 (127~200) 发现材料弹性定律比英国胡克 (R.Hooke) 在 1687 年的发现要早约 1500 年。这个重大发现已获得国内外同行的重视与引用。我支持作者的建议：应将这个史实在中学物理等有关教材中以及各种力学词书中给予介绍。一是尊重科学发展的历史事实，二是长我国学者

的士气”；引用王仁的话：“关于弹性定律的问题，郑玄在周礼郑氏注中明确指出‘每加物一石，则张一尺’的线性规律，比目前认为是胡克提出的要早 1500 年，而且确实也是很明确的，只是后来没有人再加以发挥和应用，所以我觉得提‘郑玄 - 胡克定律’也是应该的，在中学物理教材，在材料力学教材中都可以这样提出”。^[17]

很明显，通过老亮的介绍，多位专家学者对郑玄发现弹性定律深信不疑，并积极倡导将其写入中学课本。在 1990 年中国大百科全书出版社出版的《力学词典》在解释“弹性定律”时，已加入了郑玄在这方面做出的贡献^[18]。在 2001 年出版的《中国物理学史大系》[力学卷]中，作者重申郑玄发现弹性定律的观点^[1]，并得到中国科学院院士杨国祯的认同^[19]。

但无论从弓体本身的力学性能，还是从制弓匠对弓体的感觉来说，郑玄认为张弦与弓力成线性关系都是不准确的，更何谈发现弹性定律？从实际测量的结果中可以看出它们不是线性关系。在笔者对北京的做弓者调查时，杨文通师傅认为弓力随张弦的不均匀性变化，正是每位射手都熟悉的复合弓比单体弓好用之处。所以，东汉时期的郑玄的描述并没有能正确反映出弓体的力学性能，他的注文仅表明他对弓体的弹性有一定的直观印象。同时，郑玄对“量其力有三均”的理解，更有可能是来论证牛角、筋、竹三者对产生弓体的弹性作用相当。在制作传统弓时，竹胎加工好先粘牛角，过一段时间后再粘牛筋，因此在每粘一层弹性材料后弓体的弹性都会得到相应的增加。也许古人会在每粘一层弹性材料后测量弹力增加的程度，就如同郑玄在理解《考工记》原文时所描述的那样。

在人类历史长河中，由于弓箭在世界各地发明与使用的普遍性，不仅中国古人对弓力的弹性问题有感性认识，其他国家的制弓师傅在制作及使用弓箭时也同样不会回避这些问题，只是这些经验形成于文字资料并保存下来的很少。

另一方面，郑玄的解释是从文字本身出发，加上个人的理解而形成的一种错误观点。而弹性定律的发现是胡克在实验的基础上得出的正确理论。有人把郑玄的“量其力有三均”等看成是弹性定律的近似结果，但这种近似与胡克从实验出发得出结论在本质上是不同的。显然不能把郑玄发现弹性定律这种不客观的观点加以宣传。

弓体的弹性变形不仅不能满足弹性定律，而且要实际分析弓体的力学性能，其实是一个非常复杂的问题^[20]。如简单地把弓体的弹性变化理解成符合弹性定律是过于简单化了。

总之，笔者认为“郑玄发现弹性定律”的结论是错误的。其一，从文字层面上看，郑玄的表述仅是为解读《考工记》中的“量其力，有三均。角不胜干，干不胜筋”而作，根本不是为了验证某一具体的数量关系，因此郑玄不具备发现某一科学意义上定律的条件。其二，从弓匠们的经验、实测结果及现代的材料力学知识来看，弓体的弹性本身也不是线性变化的，严格上说郑玄得出的结论——“一石张一尺、二石张二尺、三石张三尺”本身是错误的。其三，即使把郑玄的结

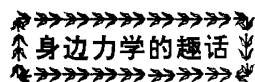
论看成是近似的弹性定律,也是不科学的.因为他的结论存在的误差很明显,甚至连普通的工匠们都能体会这种非线性变化的变化,这种误差与胡克在做弹性定律实验时存在的误差是不能相提并论的.其四,如果认为郑玄曾发现了弓体的拉力与拉距成正比的比例关系,那也是理由不充分的.因为郑玄仅指出了 1 石张 1 尺、2 石张 2 尺、3 石张 3 尺这三个定点的拉力与拉距的关系,而没有推论 1.5 石、2.5 石或 1.25 石、1.75 石等能张几尺,即郑玄并没有给出一个成比例的结论.即使郑玄说了“每加物一石则张一尺”,也仅对这三个定点而言,因为弓在满弦时的拉距通常超不过四尺.因此仅凭那三个间隔较大的定点数量关系不能断然下定拉力与拉距成线性变化的结论.另外,对待中国古代那些更多具有实践和直觉经验上的力学知识,我们更不能简单地以现代理论力学定律来机械套用.否则只能会产生越来越多的诸如“郑玄弹性定律”等那些根本不存在的命题.

参 考 文 献

- 1 戴念祖,老亮著.中国物理学史大系(力学史).长沙:湖南教育出版社,2001.1
- 2 [唐]段成式撰.《酉阳杂俎》(附续集)——(丛书集成初编).北京:中华书局,1983.41
- 3 [战国]《荀子·议兵》
- 4 [宋]沈括.梦溪笔谈.中国科学技术典籍通汇·综合卷.影印本
- 5 [清]徐松辑.宋会要辑稿.第114册.中华书局,1957,〈选

举〉,一七之一一

- 6 [明]唐顺之纂辑.武编.四库全书
- 7 [明]李呈芬.射经.取自《说郭三种》.上海古籍出版社,1988.1684
- 8 赵尔巽等撰.清史稿.卷一百八.中华书局,1977.3172
- 9 谭旦冈.成都弓箭制作调查报告.历史语言研究史集刊,1951(23)
- 10 居延汉简,编号为一四·二六A[甲七九四B]
- 11 [明]宋应星.天工开物.明崇祯十年刊本
- 12 仪德刚,张柏春.“聚元号”制作弓箭方法的调查.中国科技史料,2003(4)
- 13 考工记.十三经注疏本.卷42.第298页,中华书局
- 14 清朝方献通考.卷194.浙江古籍出版社,1988年(兵十六,考六五八四)
- 15 [清]孙诒让.周礼正义.卷86.国学基本丛书,中华民国27年第3版,北京:商务印书馆
- 16 关增建.略谈中国历史上的弓体弹力测试.自然辩证法通讯,1994(6):51
- 17 老亮.材料力学史漫话:从胡克定律的优先权讲起.北京:高等教育出版社,1993
- 18 《力学词典》编辑部编.力学词典.弹性定律.北京:中国大百科全书出版社出版,1990
- 19 杨国祯.中国对物理学的独特贡献.中华读书报,2003年4月30日
- 20 仪德刚.中国传统弓箭制作调查研究及相关力学知识分析.[博士论文].中国科技人学科学史与科技考古系,2004



漫话动物运动对仿生力学的启示

王振东

(天津大学力学系,天津 300072)

摘要 由动物的运动,提出对仿生力学的一些启示.

关键词 游泳,飞行,跳跃,动物运动,仿生力学

动物和其它生物间最重要的区别,在于它们拥有经过亿万年漫长的演化过程,形成了优化的器官和组织,能巧妙地通过运动,主动有目的地迅速改变其空间位置.为了生存,动物在运动中发展了不同的运动本领,以提高其生命效力和生活质量.动物的运动大体可分为游泳、行走、奔跑、跳跃、爬行、飞行等类型.无论哪种类型的运动,动物既要向前行进,又须适应地心引力的作用,以维持身体的平衡.在有些情况下,尚须发展附着的能力,例如壁虎在竖立的墙壁上行走.

本文将漫话动物的运动,及对仿生力学的一些启示.思考这一话题,至少可对以下几方面有益:

(1) 利用动物运动的力学机理,为民用或军用的目的,考虑如何改进现有的机械设备和工具,或设计制造新型的仿

生高效机械设备和工具.

(2) 模仿动物行走、奔跑、跳跃、游泳、飞行、爬行的特点,设计、制造相应有不同特色和应用范围的智能机器人(亦分别可称为智能行走器、智能机器鱼、智能潜行器、智能爬行器、智能飞行器等),既可在地球上某些特殊环境下使用,以达到特定的目的;又可以为到月球、火星等别的星体上探测、研究时使用.

(3) 在竞技体育运动上,根据动物行走、奔跑、跳跃、游泳的特点,吸取其奥秘,提高运动能力和水平,以做到“更高、更快、更强”.

1 游 泳

在水中生活的动物种类多、数量大.现在普遍认为,生命是起源于水中的.水生动物适应水中的环境,其运动形式以游泳为主.水是水生动物运动的媒质,其质量比空气重得多.水生动物要受到水的浮力,其在水中的运动阻力亦要比