浅论骨骼的形成与力学规律的统一

刘雅君[1], 陈　迪[2]

(1延安大学 物理与电子信息系,陕西 延安 716000; 2厦门大学物理系,福建 厦门 361005)

摘　要: 本文从骨骼的构成以及外部形状方面论述了骨骼结构与力学规律相吻合的一些特性。

关键词: 骨骼; 杨氏模量; 应力; 稳定性; 临界压力

中图分类号: O 357. 1　　文献标识码: B　　文章编号: 1004-602X(2001)04-0025-02

人类经过长期进化形成的骨骼是非常坚硬的,它有很强的抵抗拉伸、压缩及其弯曲形变的能力。如成人的股骨、挠骨、肱骨、胫骨的拉伸杨氏模量分别为 17. 6GPa、18. 9GPa、17. 5GPa和 18. 46GPa (1G= 10^9), 一些动物如马和牛的杨氏模量还要大些。

在此, 杨氏模量的定义为[1] $E = \frac{e}{X}$, 其中 e称为应力, 定义是作用在单位面积上和内力, 有拉应力、压应力、剪应力等。对拉压来讲, $X = \frac{\Delta l}{l}$称为应变, l为物体的原长, Δl为形变量, 所以 X也是单位长度的形变量。显然, e一定时, E 越大, X就越小, 说明物体抵抗变形的能力就越强, 也即在力的作用下越不容易变形。由于一般材料如钢的杨氏模量为 200GPa[2], 木材的杨氏模量为 10GPa, 所以, 相比之下, 骨头的杨氏模量虽比不上钢, 但也是比较大的 (各种骨的压缩模量要比拉伸模量小些, 如马的股骨为 9. 4GPa, 肱骨为 9. 0GPa)。

骨骼之所以有如此大的杨氏模量, 这应归结为骨骼与力学规律相吻合的那种构成, 骨骼基本上是由有机纤维、无机结晶体、胶合物质和水组成, 胶原体是支架, 无机盐结晶物质附着在它的上面, 无机盐具有较大的抗压强度, 而胶原体则具有较大的抗拉强度, 这两种成份强度虽然都不大, 但结合成骨头后的强度却能赶上一般的金属, 这种在力学性质及强度方面的互补性和钢筋混凝土的原理是一样的, 混凝土的抗压强度高, 抗拉强度低, 但在混凝土中埋入钢筋就大大增强抗拉强度。因此, 也正因为骨骼的这种类似于混凝土的奇妙构成, 才使得人在生产活动中, 能够从事推、拉、提、杠等各种体力劳动。

再从外形上来说, 像人体的股骨、肱骨、胫骨、挠骨等大骨骼都是长管形的, 这又一次体现了骨骼的形成与力学规律的统一。研究表明, 若将骨头看作杆件的话, 当杆件受到外力偶作用产生纯弯曲形变时, 顺杆长度方向 (纵向)的线将产生弯曲变形, 如图 1 (a)所示, 结果在杆件横截面的上、下各层将出现如图 1(b)所示的拉、压应力。由图 1(b)可见, 最大拉应力和最大压应力出现在最下层和最上层。杆能否被拉、压破坏, 关键决定于这些部位的强度, 而中间层附近应力却是很小的, 它们对抗弯所起的作用不大, 这些部位的材料省去后, 既可以减轻重量, 又不影响强度, 所以动物的骨骼都是空心管状的, 如鸟类的骨骼都是壁比较薄的管子。

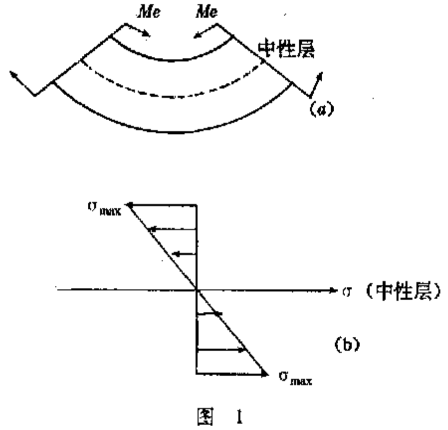

图 1

* 收稿日期: 2001-09-07

作者简介: 刘雅君 (1954-), 女, 陕西黄陵人, 延安大学副教授。

另一方面,研究还表明,某杆件两端受到垂直于轴线平面内大小相等,转向相反的外力偶作用时,杆件将受扭变形。如图 2(a)所示,杆的各横截面上各点就有剪应力 {,方向沿圆周切线,大小与离圆心距离有关,分布情况如图 2(b)所示。由图可以看出,在圆截面的边缘各点,剪应力最大,而在轴处剪应力变为零,故从抗扭性能考虑,靠近中心轴的各层作用力不大,材料可以省去,这不会影响杆的抗扭转能力。以上两方面讨论结果都表明,骨头形成空心管状,这是再合适不过的选择了。

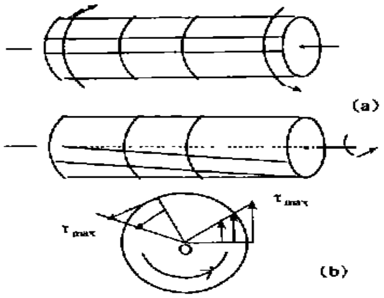

图 2

最后就是人们还未注意到的稳定性问题,所谓稳定性是指物体保持原有直线平衡形式的能力。因人们在研究细长杆(纵向尺寸远大于横向尺寸)在承受轴心压缩时,当杆内应力远小于材料的强度极限时,就已突然屈曲甚至折断破坏,这实质上是压杆丧失稳定性所引起的。而且对长度相同、截面不同的杆件、截面的抗弯强度越大,压杆越不易被压弯,如立起来的长而细的杆比短而粗的杆容易失稳,一张纸,竖放在桌面上,光自重就可能将它压弯,但若将纸卷成圆筒,它还能承受一些重物,说明后者的抗弯能力强。

实验知,对不同的杆件,轴向压力 P 都存在一个临界值 P_{cr},当 $P < P_{cr}$时,压杆可始终保持直线形状平衡,即使对该压杆加一横向干扰力使其弯曲,但干扰撤除后,杆件将回到原来状态,而当 $P > P_{cr}$时,稍加横向干扰,杆件将从直线变为曲线,即使撤除干扰力,杆轴线将再不能回到原来位置,且发生显著的弯曲变形直至破坏,此压杆已丧失稳定。当 $P= P_{cr}$时,压杆受横向干扰变弯,撤除干扰后,压杆不能回复到原来位置,丧失了稳定,但它却在曲线状态下保持平衡。如图 3所示,故 $P= P_{cr}$时的杆件处于所谓的临界平衡态 P_{cr}称为压杆稳定的临界压力,只有当 $P < P_{cr}$时,压杆才处于稳定平衡状态,在此,临界压力 P_{cr}是一个很重要的参数,临界压力越大的压杆,能承受的压力也就越大,抵抗失稳的能力也就越强。理论可以证明[2]。在长度为 l 杆两端具有各种约束的细长杆的临界压力为 $P_{cr}=\frac{c^2EI}{(\_\ l)^2}$

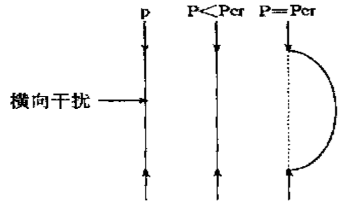

图 3

上式中的 E 为杨氏模量,I 是截面的惯性矩,_ 称为长度系数,_ l称为相当长度。对两端都有约束的压杆,_ 值在 0.5– 1.0之间,同一种材料,相当长度相同,横截面积相等,若截面形状不同,P_{cr}就有很大的差异,计算表明,对于截面积相近的矩形截面杆、L 形截面杆和空心圆筒形截面杆,数空心圆筒形截面杆的临界压力最大。所以,从受力方面考虑,空心圆筒形截面应是最合理的截面,恰好人的长骨都是空心圆筒形的,在相同条件下,稳定性应是最好的,如人的一条腿骨,长 l= 0.4m 内外径之比为 0.5,横截面积平均为 5 cm^2,压缩模量为 E= 9.4× 10^9P_T通过计算知,骨的外径平均为 D= 2.9 cm,内径 d= 1.45 cm,截面的惯性矩为 $I=\frac{c}{64}(D^4-d^4)=\frac{3.14}{64}(2.9^4-1.45^4)\times 10^8\approx 3.25\times 10^{-8}m^4$,若取 _= 0.7,则腿骨的临界压力为

$$P_{cr}=\frac{c^{2E}I}{(\_\ l)^2}=\frac{3.14^2\times 9.4\times 10^9\times 3.25\times 10^{-8}}{(0.7\times 0.4)^2}=$$

38.45kN

即使从最不利的情况考虑,_ 最大取 1,计算可知,P_{cr}= 18.83kN。可见,对于体重为 500N,肩扛 1000 N 重物的人(假设是轴心受压),两力加起来也不过是 1.5 kN,远小于临界压力。所以,一般情况下,腿骨是不会因失稳而被破坏的。

综上所述,骨骼的形成就是完全按照力学规律的安排进行塑造的,这是由于生存的需要,在漫长的生物进化过程中,经自然选择而形成的,确实是大自然的一个造化。

参考文献:

[1]胡纪湘.医用物理学[M].第 4版,人民卫生出版社,1998.6.
[2]吴代华.材料力学[M].第 2版,武汉工业大学出版社,1994.12

〔责任编辑 朱联营〕