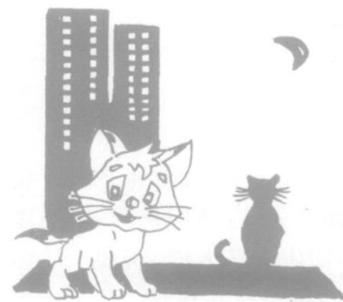


# “猫旋”之谜

刘景旺



猫翻筋斗的本领非常高强,它从高处落下时,即使是肚皮朝天,落地的一瞬间也总能四脚着地而毫无损伤,科学家称之为“猫旋”。

究竟是什么力量使猫能在空中旋转身子呢?这个看似十分简单的问题,却在将近 100 年的时间里难倒过许多力学家。有人甚至认为,猫在空中不可能发生任何整体转动。其理由是,一个物体之所以会转动,关键要有外力矩的作用:外力矩越大,物体的角动量改变也就越大。既然猫在空中四足朝天时角动量为零,而外力(即猫所受的重力)又通过重心,当然就不存在外力矩,因此猫在下落过程中就只能一直保持原来的姿势,不可能发生任何整体旋转。

然而,检验真理的唯一标准是实践! 1894 年,法国科学家马雷用高速摄影机拍下了“猫旋”的全过程。照片令人信服地表明,猫仅需  $1/8$  秒的时间,就能将肚皮朝天的姿势翻转过来。那么,如何解释这种现象呢?原苏联著名力学家洛强斯基提出的所谓“转尾巴”理论(如图 1 所示),曾在一个时期里被奉为经典,他在其名著《理论力学教程》中是这样解释猫在空中翻筋斗的:“只要将尾巴急速地转动,猫就能使自己的身体沿相反的方向翻转过来,此时猫体对其自身的角动量,如同在开始落下时一样,仍然保持为零。”

遗憾的是,这种“转尾巴”理论并不能自圆其说。根据计算,为了维持猫体总的角动量为零,必须将尾巴急速旋转达到每分钟几千转时,才能使猫体在  $1/8$  秒内翻过来。这么高的转尾巴速度恰好与飞机的螺旋桨转速相当,这显然是荒谬的。所以,当 1960 年英国生理学家麦克唐纳用一组天生没有尾巴的曼克斯猫(这种猫产于英国西北部的曼克斯岛,前腿短,跑起来很像兔子)做试验,发现它们照样能灵巧地在空中转身后,“转尾巴”理论也就不攻自破了。

正是这位麦克唐纳博士,在其著名论文《猫在下

跌过程中是如何用脚着地的?》中对“猫旋”作了比较正确的分析(如图 2 所示)。他指出,像猫、兔、豚鼠等动物之所以能在空中发起旋转,决不能从刚体的角度看问题。因为在空中开始角运动时,相互作用的身体各部分的转动惯量是不同的。猫在开始下跌时先从中间屈曲身体,然后前腿向内靠近头部,上体旋转  $180^\circ$ (如图 2b)。反作用则使离轴较远的躯干下部、后腿和尾部向相反方向旋转,但是,由于这些部分的转动惯量比上体要大得多,所以转动的角度也就小得多(大约转动  $5^\circ$ )。紧接着,为了完成  $180^\circ$  转体,猫就使其后腿和尾部与躯干下部转成一条直线,并使这些部分绕一根纵向通过后腿的轴旋转(如图 2c)。由于相对这根轴而言,下体旋转的反作用仍然很小,因此还需作一些必要的小调整,于是猫有沿相反于身体的旋转方向再转动尾部直至四爪朝地的姿势(如图 2d)。

这个理论告诉我们,在空中发起旋转的整个过程中,依靠对变形的控制,身体一部分的角动量就会受到另外一部分大小相等、方向相反的角动量的“对抗”,以保持总体角动量不变,并从中改变身体的旋转方向。

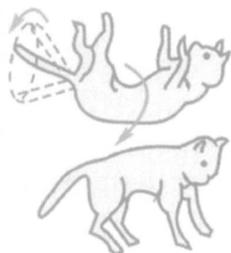


图 1 洛强斯基的“转尾巴”理论

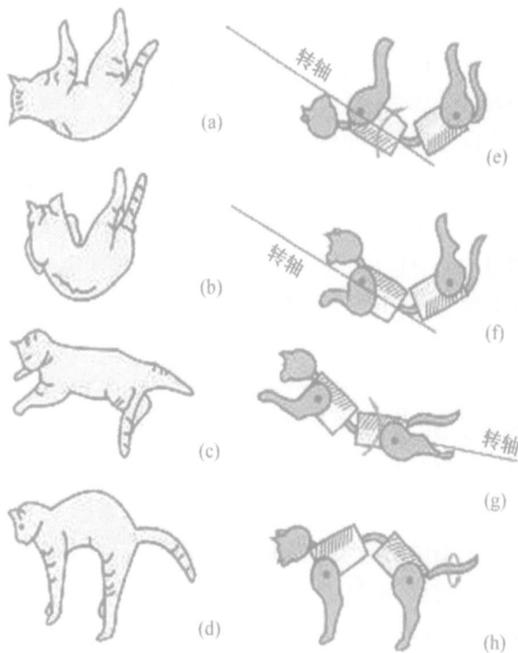


图 2 麦克唐纳和凯恩理论

1969年,美国斯坦福大学的力学教授凯恩又对上面这种解释作了一些改进。他以中间相连的两段刚体(如图2e、f、g、h)来模拟猫的前后半身(洛强斯基的错误在于,他将猫模拟成在尾巴根部相连的两段刚体,这两段的转动惯量相差过于悬殊,因而导致尾巴必须高速旋转才能使猫身翻过来的荒谬结论),并列出了它们的运动微分方程,然后将这组复杂的方程编成程序输入电子计算机计算。有趣的是,计算结果与高速摄影记录的猫旋过程完全吻合。可见,麦克唐纳和凯恩的理论是目前解释“猫旋”的最佳理论。

关于“猫旋”的研究结果,还有几则有趣的报道:使猫四脚朝天落下时,它能在自己的站立高度(并不需要从高处下跌)内翻过来;猫的眼睛和内耳机制在感受旋转的需要方面均起到一定作用,不过眼睛似乎更重要——蒙住眼睛的猫从1米的高度下跌时,落地动作就很笨拙,而内耳机能不健全的猫却仍能使身体恢复平稳,但是这两种感官都没有的猫在四爪朝天跌下时,就不再有翻转的能力;将蒙住眼睛的猫放在一个特别的装置中转动,以便干扰它的内耳器官。当它的四个爪子先被甩出来时,竟翻过身来背着地落下。

也许读者会问,区区一个“猫旋”问题,竟然使这么多科学家争论了近1个世纪,究竟又是为了什么呢?原来,它涉及到一门新的交叉学科——运动生物力学。在几年前发表的《“猫案”——运动生物力学简介》这篇文章中,列举了几则受“猫旋”启发的力学新课题,深入地研究它们将有助于运动生物力学的发展。

不过,“猫旋”问题的研究,并不能解释所有的腾空运动问题。例如1972年,日本著名体操运动员冢原光男在第20届奥运会上成功表演了单杠团身后空翻两周加转体 $360^\circ$ 的高难度新动作,荣获单杠金牌。这套动作,不仅有绕横轴的翻身动作,而且还要同时完成绕纵轴的旋转动作。

现在,世界上不少优秀体操运动员都能完成这种先团身(也可直体空翻)后转体侧旋的所谓“晚旋”。“晚旋”的转体角度可以是 $720^\circ$ ,

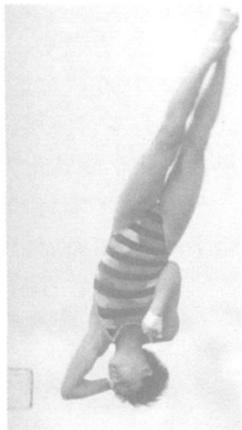


图3 伏明霞

甚至 $1080^\circ$ !而我国的优秀跳水运动员高敏、孙淑伟、伏明霞、熊倪和谭良德则更是表演“晚旋”的世界超级明星(如图3所示)。这些动作的机理,比只绕一根横轴转动的“猫旋”要复杂得多。而且,这种新颖的“晚旋”,开始时只有绕横轴旋转的空翻,只是在接连进行的第二个团身空翻中才同时出现绕纵轴的转体(如图4所示)。从高速摄影记录中可以看到,绕纵轴的转体似乎是从无到有地凭空出现的。人们至今还不能圆满地解释这种奇妙现象。

“猫旋”问题的研究结果,还可应用于宇航工业。当人处于宇宙航行的失重状态时,就会有漂浮于半空的感觉。此时必须学会仿效猿猴的攀援动作才能“立稳”(如图5所示)。每做一个普通的迈步动作,都会因惯性作用而导致身躯的不规则翻滚。据报道,美国宇航局就按照“猫旋”、体操和跳水运动中“晚旋”的基本要领,专门设计了一套标准动作,来培养宇航员的转体功能。区区“猫旋”竟然会与宇航业结下不解之缘!



图4 “晚旋”



图5 宇航员转动

(河北省廊坊市北华航天工业学院基础部 065000)

北华航天工业学院大学生科技创新基金资助项目 CX-2005 39。