

神奇的冰壶运动探秘

张怀华

冰壶运动发源于16世纪的苏格兰，是在冬天结冰的池塘或江河上开展的一种游戏，后流传至欧美等国，目前是相当普遍的冬季冰上运动。冰壶运动

集健身、娱乐和竞技于一体，属于高雅的集体项目。没有激烈对抗、没有声嘶力竭，只有优雅的选手和不紧不慢的节奏，看似波澜不惊、实则角力不止。冰壶运动员要有体操运动员的平衡感、芭蕾舞演员的优雅、赛跑选手的力量和国际象棋大师的智慧。



考虑到实际运动中 $v_0 \gg r\omega$ ，(2)式可以简化为

$$\cos \varphi \approx \frac{r\omega \sin \theta}{v_0}, \quad (3)$$

$$\sin \varphi \approx -1.$$

如果动摩擦系数沿前进方向均匀变化，则质元与冰面之间的动摩擦系数满足

$$\mu = kr \sin \theta + \mu_0, \quad (4)$$

其中 μ_0 为冰壶中心处冰面的动摩擦因数， k 为动摩擦因数在 y 方向的变化率。由(1)、(3)、(4)式可得质元所受动摩擦力的法向分量 df_n 和切向分量 df_τ 分别为

$$df_n = \frac{(kr \sin \theta + \mu_0)mgr^2 \omega \sin \theta}{\pi R^2 v_0} d\theta dr, \quad (5)$$

$$df_\tau = -\frac{(kr \sin \theta + \mu_0)mgr}{\pi R^2} d\theta dr.$$

对式(5)积分可得，冰壶整体所受摩擦力的法向分量 f_n 和切向分量 f_τ 分别为

$$f_n = \int_0^R \int_0^{2\pi} \frac{(kr \sin \theta + \mu_0)mgr^2 \omega \sin \theta}{\pi R^2 v_0} d\theta dr = \frac{k\omega Rmg}{3v_0}, \quad (6)$$

$$f_\tau = \int_0^R \int_0^{2\pi} -\frac{(kr \sin \theta + \mu_0)mgr}{\pi R^2} d\theta dr = -\mu_0 mg.$$

由牛顿第二定律可得冰壶的法向加速度 a_n 和切向加速度 a_τ 分别为

$$a_n = \frac{f_n}{m} = \frac{k\omega Rg}{3v_0}, \quad (7)$$

$$a_\tau = \frac{f_\tau}{m} = -\mu_0 g.$$

可见，通过改变冰壶前进道路上的冰面光滑程度，不但可以控制冰壶滑动的距离，而且更重要的是，可以控制冰壶运动的方向！

当冰壶逆时针旋转时 ($\omega > 0$)，如果冰面变得逐渐粗糙，即 $k > 0$ 时，冰壶向右转弯；如果冰面变得逐渐光滑，即 $k < 0$ 时，冰壶向左转弯；如果冰面光滑程度不变，即 $k = 0$ 时，由于法向加速度为零，冰壶将做匀减速直线运动，直至停止！当冰壶顺时针旋转时 ($\omega < 0$)，转弯方向与上述分析皆然相反。

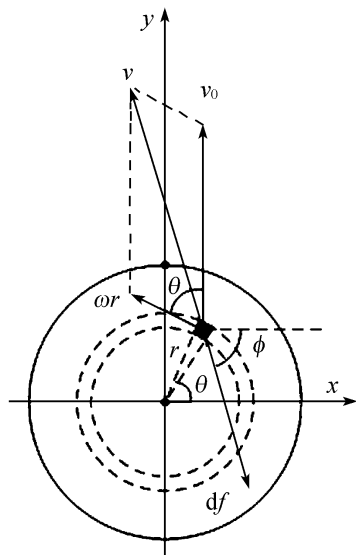


图 1

冰壶比赛让人印象深刻的就是运动员手里拿着的那把刷子，运动员为什么要在冰壶滑出之后用刷子清扫前方冰面呢？如图1所示，以冰壶前进的方向为 y 轴正方向、以冰壶中心为原点建立坐标系，设冰壶的质量为 m 、半径为 R 、平动速度为 v_0 、转动角速度为 ω 、冰面与冰壶的动摩擦

因数为 μ ，则冰壶与冰面之间的平均压强为 $P = mg/\pi R^2$ 。在冰壶上取与原点相距为 r 、与 x 轴正方向夹 θ 角的质元为研究对象，质元与冰面的接触面积为 $dS = rd\theta dr$ 、质元与冰面之间的压力为 $F_N = PdS = mg/\pi R^2 rd\theta dr$ 、质元受到的动摩擦力为

$$df = \mu F_N = \mu mg/\pi R^2 rd\theta dr. \quad (1)$$

由于质元同时具有平动速度 v_0 和转动速度 ωr ，所以质元相对于冰面的速度 v ，即为这两个速度的合成。因此，质元所受动摩擦力 df 的方向就与 v 方向相反，易得 df 与 x 轴夹角 φ 的余弦值和正弦值分别为

$$\cos \varphi = \frac{r\omega \sin \theta}{\sqrt{(r\omega \sin \theta)^2 + (r\omega \cos \theta + v_0)^2}}, \quad (2)$$

$$\sin \varphi = \frac{-(r\omega \cos \theta + v_0)}{\sqrt{(r\omega \sin \theta)^2 + (r\omega \cos \theta + v_0)^2}}.$$

透镜在生活中的应用

许波

透镜在生产、生活中很常见，从天文观测用的大型望远镜到我们身边的放大镜、眼镜、照相机、显微镜等。透镜大致可以分为凸透镜和凹透镜两种。凸透镜对光线有会聚作用；凹透镜对光线有发散作用。应用这一原理，人们发明了放大镜、眼镜、照相机、望远镜、显微镜、幻灯机、投影仪、放映机等光学仪器。透镜给我们的生活带来了方便。同时还促进了人类对宇宙天体及微观世界的认识，更促进了人类的文明进步和社会发展。



透镜的发展简史

早在我国西汉时期（公元前 206~公元 25 年），《淮南万毕术》中就有关于冰透镜的记载：“削冰令圆，举以向日，以艾承其影，则生火。”即我们今天所说的削冰取火。据说在尼罗河—美索不达米亚文明时代，祭司在举行宗教仪式时能够“引天火下凡”，祭司所用的道具就是一个简单的凸透镜，利用凸透镜对光线有会聚作用这一特点把易燃物点燃。在大英博物馆的埃及馆里存放两块放大镜，是在塔尼斯（Tanis）发现的，确定日期是公元 150 年。由此可见，早在古时候人们就已经知道了透镜具有聚焦和放大作用。阿尔哈金（Alhazen, 965~1038）研究过球面镜和抛物面镜，首先发明了凸透镜并描绘了人眼的构造。1266 年，培根（R. Bacon, 1214~1294）首次提出用透镜矫正视力和采用透镜组构成望远镜的可能性，并描绘过透镜焦点的位置。1299 年，佛罗伦萨人阿玛蒂（Armati）发明了眼镜，从而解决了视力矫正问题。波特（G. B. D. Porta, 1535~1615）

研究了附有凸透镜的暗箱成像，讨论了透镜组合，发明了简易照相机。1609 年 8 月 21 日，意大利科学家伽利略（Galileo Galilei, 1564~1642）展出了人类历史上第一架按照科学理论制造出来的望远镜。其实，最早发现望远镜奥秘的不是伽利略，而是一位叫李普塞（H. Lippershey, 1587~1619）的荷兰商人。他在制造镜片时，

把一块凸透镜和一块凹透镜组合在一起往外看时，远处的景物就变近了。伽利略对此发现很感兴趣，他用数学计算研究了用什么样的镜片组合在一起效果比较好，经过反复的实验，终于在 1609 年发明了世界上第一架能放大 32 倍的望远镜。他用自己发明的望远镜进行天文观测，做出了许多有重大意义的发现。第一架显微镜是荷兰人詹森（Janssen, 1588~1632）发明的。后来，意大利人冯特纳（P. Fontana, 1580~1656）对此做了重大改进，把显微镜的目镜从凹透镜改为凸透镜，使之具有近代显微镜的基本形式。目前，透镜已经用到电子显微镜、投影仪和照相机等等的物镜上。透镜的发展经历了一个漫长过程，其作用在各个领域都发挥得淋漓尽致。

透镜的物理学原理

如果一个透明物体的两个界面都是球面，或者一个界面是球面，另一个界面是平面，则称此物体为透镜。中央部分比边缘厚的透镜叫凸透镜，从它们的截面形状来分，有双凸、平凸、凹凸三种。中央部分比边缘薄的透镜叫凹透镜，从它的截面形状不同，可以分为双凹、平凹和凸凹三种（图 1）。

为了增大冰壶与冰面的摩擦，在比赛前要在冰面上均匀喷洒水珠，形成点状麻面，在比赛中，运动员在冰壶的前面刷冰，正是通过改变冰面的光滑程度，来控制冰壶的运动速度和运动方向的！

尽管本文解释了控制冰壶走向和运动快慢的方法，但是无法解释冰面上发生的所有现象，法则之

外是更多的例外。即使是专业运动员，也不可能掌握冰壶的全部技术，这让冰壶运动含有太多的不确定性。经验丰富的高手与初出茅庐的新手过招，也可能被打败。也许正是这种不确定性，才使冰壶运动魅力无限、充满挑战。

（河南省焦作市第十一中学 454150）