

2月4日，举世瞩目的北京第二十四届冬季奥林匹克运动会正式拉开帷幕，各国奥运健儿激战正酣。冰雪运动由于摩擦力小、速度快，以其独有的挑战性与观赏性，深受大众的喜爱。冰刀是如何发展的？冰壶是个什么壶？冬奥期间，本报推出特别策划，从科学视角解读冰雪运动的原理和规律，解析装备技巧背后的科学知识，让你在欣赏冰雪运动的同时，也感受到无处不在的科学之美和科技创新力量。

编辑美编
陈于纪云丰
磊翔
刘恕



冰面为啥这么滑 水膜充当“润滑剂”

□ 陈征

2月5日举行的短道速滑混合团体接力决赛中，短道队为中国获得了本届冬奥的首金。2月7日，中国队包揽短道速滑男子1000米项目金银牌，让我们感受到了“中国速度”的热力与激情。

观赏冬奥会比赛时，大家更多关注的是运动员的体育精神和运动技巧。其实，冬奥会中也蕴含了许多奇妙的物理知识。冬奥会的大多数运动项目，无论是滑冰、滑雪，还是冰壶、雪车，其最核心的内容都是在冰面或雪面上——滑。这个“滑”字背后大有学问。

“滑”是摩擦阻力较小的状态

与“滑”字相对的是“摩”（古同“磨”）字，“滑”其实就是摩擦阻力比较小的状态。在中学的物理课上，老师会教给我们：“摩擦力是两个相互接触并挤压的物体发生相对运动或具有相对运动趋势时，在接触面上产生阻碍相对运动或相对运动趋势的力。”我们所学的摩擦力正比于接触面的摩擦系数 μ 和垂直于接触面上的正压力 N ($F = \mu N$)，与接触面积无关。这是古典摩擦定律，它只是一个描述性的定律，并没有深入解释摩擦力的物理机理。其实，摩擦本身是一个非常复杂的问题。

在现代科学技术的版图中，摩擦学是专门的一个学科，研究有相互作用的、具有相对运动或相对运动趋势的表面间产生切向阻力（摩擦）；由于相对运动

而发生的损耗或变形（磨损）的现象和物理机理，以及如何降低摩擦和减小磨损的措施（润滑）。

直到今天，“摩擦的本质”问题仍是科学家探索和争论的话题，不过一定程度上的共识是摩擦力的产生可能有两种机制：一种被称为“凹凸啮合”，也就是因为接触表面凹凸不平，压在一起是相互啮合而产生摩擦力；另一种被称为“分子粘附”，即因为接触面的分子之间相互吸引而产生相对运动时的切向阻力。“分子粘附”机制在光滑的金属界面上表现比较明显，而“凹凸啮合”机制在其他材质之间，或是金属和其他材质之间的界面上体现较多。冬奥会上的各种“滑”，无论是冰刀或滑雪板，其摩擦力大多可以看作源于冰刀、雪板表面与冰雪表面的“凹凸啮合”。

降低摩擦阻力的水膜从哪儿来

冬奥健儿之所以能在冰雪上流畅地滑行，不是因为冰雪表面特别光滑平整，而是因为在过程中，冰刀、雪板并非完全与冰雪“凹凸啮合”后硬碰硬地“干摩擦”。事实上在冰雪表面有一层水膜，正是这层水膜填充进固体冰雪与冰刀、滑雪板的表面之间，用流体的剪切形变代替了固体凹凸的剪切形变，从而产生润滑作用，大大降低了摩擦阻力。

这层水膜又是从哪儿来的呢？对于这个问题，



2月7日，中国选手任子威在北京2022年冬奥会短道速滑项目男子1000米决赛中夺得冠军。

同样有几种不同的观点：一是因为冰雪受压而熔点降低产生水膜；二是摩擦生热融化冰雪形成水膜；第三则是处于冰内的水分子大都通过四个氢键与其他水分子连接形成稳定结构，而表面的水分子通常只有两到三个氢键与其他水分子连接，形成了一种“准液体”的状态。有研究者做过计算，虽然压力导致冰雪表现融化的现象的确存在，但对于冬奥项目而言，人体和装备对冰面产生的压强引起的熔点降低十分有限，摩擦生热导致的融化和冰雪表面本来就有“准液体”才是水膜产生的主要原因。

冰雪表面的“准液体”很难人为操控，但摩擦生热导致融化的机制却是可以利用的。比如在相同机械强度和形状等条件下，采用热导率比较低的材质来做冰刀，摩擦产生的热散失得较慢，就会形成更多的水膜，获得更好的润滑效果，从而降低摩擦阻力，让选手滑得更快。

（作者系北京交通大学国家级物理实验教学示范中心教师，光学博士）



2月7日，比利时选手桑德里娜·塔斯在速度滑冰女子1500米决赛中，右脚冰刀的后半段和冰鞋脱离。

踝关节肌群的力量“扼杀”，只靠膝关节和髋关节肌群来“干活”了。

克莱普冰刀的巧妙构思是，将冰刀的前刀托用铰链和冰鞋连接，后刀托可以和冰鞋随时分离。其核心价值在于“解放”脚踝，使运动员在重心前移时，后刀托与鞋跟自动脱开，于是踝关节、跖关节都可以在蹬冰最后阶段自由伸展，并依然保持冰刀“全刃着冰”。膝关节力量也因此得以更充分发挥。克莱普冰刀实际上将传统冰鞋足部绕刀尖转动变为绕脚掌转动，身体“重臂”为之缩短，同时克服了蹬冰时重心主要横向移动的弊端，使身体重心能够纵向前移。统计表明，克莱普冰刀能将中长距离比赛的滑行速度提高5%，平均每圈400米要快1秒到1.5秒。

（作者系中国作家协会会员，武汉电视台原台长）



冰刀如何助力提速 “拖板鞋”引发“冰上革命”

□ 赵致真

2月8日，尘封20年之久的速度滑冰男子1500米纪录，3分钟内被两次刷新。最终，世界纪录保持者、荷兰运动员凯·努伊斯以1分43秒21的成绩夺冠，成为双料纪录保持者。

速度滑冰是滑冰运动中历史最为悠久、开展最为广泛的项目。运动员脚蹬冰刀在光滑如镜的冰面上风驰电掣，惊险刺激。那么，冰刀是如何发展演变的？

冰刀最初是由骨头做的

关于滑冰的记载可以追溯到4000多年前的斯堪的纳维亚半岛。将鹿和牛的胫骨、肋骨绑在脚上，这就是冰鞋最早的雏形。1250年，镶嵌在木板上的铁制冰刀在荷兰出现。而1572年苏格兰人发明的第一双全铁冰刀则是现代冰刀诞生的标志。

滑冰无疑是最早流畅、轻盈灵巧的运动，身体蹲屈，两腿交替，蹬冰、收腿、下刀、滑进，运动员流星般掠过冰面，身后留下美丽的弧线。滑行时我们追求最小的阻力，但蹬冰获得动力时，又需要有最大的阻力。因此身体重心所在脚的冰刀长轴必须与前进方向一致，蹬冰脚的用力方向却要与冰刀长轴垂直，靠锋利的刀刃“切入”冰层去“啃冰”。

和菜刀的刀刃大相径庭，冰刀的刀刃是一个拱

形的凹槽。中长距离速滑冰刀要保持较好的直线性，因此刀身较长；短道速滑冰刀的刀身相对较短并较高，以便于在弯道上弧线前进和倾斜度很大时冰鞋不会接触冰面；花样滑冰运动员翻腾跳跃，花刀的刀身短、刀刃利、刀槽深，前端一排“锯齿”能够更好控制急转骤停；冰球鞋的球刀身高且短、弧度大、刀刃厚，中部的弧度向两端圆滑过渡，能最大程度防止滑倒，以适应项目节奏快、对抗强度高的特点，而守门员的冰刀与其他运动员也有区别，采用全金属制作，刀身矮平，这样的设计是为了避免将球漏入网内。

克莱普冰刀提速5%

1998年日本长野举行的冬奥会上，速度滑冰的世界纪录几乎全部被打破，接着在2002年美国盐湖城冬奥会上，所有世界纪录又再次被刷新，导致这场“冰上革命”的直接原由，便是被运动员戏称为“拖板鞋”的克莱普冰刀。

我们在奔跑和跳跃时，髋关节、膝关节、踝关节的肌群能按照自然顺序协同工作。但在传统的滑冰动作中，由于冰鞋和冰刀前后两端固定，完成蹬冰动作时如果伸展踝关节就会招致刀尖“刨冰”，轻则增加阻力，重则失去平衡，因此必须控制踝关节跖屈，并将“锁踝”作为技术要领，这样滑冰就将



2月2日，北京冬奥冰壶混双循环赛首轮在国家游泳中心进行，中国组合范苏圆/凌智击败瑞士组合，为中国代表团赢得冬奥首胜。

在冰面上摩擦力较小，可进行滑行，叫做“滑行鞋”。右脚冰壶鞋的鞋底垫着由橡胶做成的防滑垫，在冰面上摩擦力较大，叫做“蹬冰鞋”。在运动员“刹车”时，冰壶鞋可在冰面上发挥紧急制动的作用。这样的设计，既保证了运动员充分发力，又能让运动员在滑行中不降速，不影响擦冰。



中国选手蔡雪桐在比赛中。

足够的高度来完成各种技巧动作。以蔡雪桐完成的外转1080为例，“这个动作的完成必须有足够的滞留在空间的时间，而这滞留空间取决于腾空的高度。”物理科普教育者、同济大学退休教授吴於人在其社交平台介绍，实现较高腾空高度的前提是上滑的速度必须很大，且运动员还要准确落在U型槽最边上区域。

为什么要选择最边上的位置落脚呢？吴於人进一步解释：“U型槽最边上的位置势能最大，随后转变为动能，再转变成势能，也就是大高度才能获得大速度这个道理。”

（本版图片均来自新华社，左上图为在2月5日的短道速滑项目混合团体接力决赛中，中国队夺得2022年冬奥会首金。）



冰壶到底是个什么壶 苏格兰优质天然花岗岩独一份

□ 科普时报记者 于翔

冰壶作为北京冬奥会最早开赛的项目，2月2日在国家游泳中心“冰立方”拉开帷幕，范苏圆和凌智成为中国体育代表团最先在冬奥会上出场的中国健儿。冰壶比赛素有“冰上象棋”之称，双方在赛场上斗智斗勇，观赏性很强。

苏格兰人制壶有“绝活”

冰壶由壶体、手柄和螺栓组成，直径不到30厘米，重量近20公斤，冰壶之所以这么重，和它的材质有很大关系。在赛场上运动员会不停地撞击队员或者对方的冰壶，这就要求冰壶质地坚硬，物质成分均匀；而且由于冰壶在冰面上活动，底面长期与冰直接接触，冰壶石不仅要耐磨，还要致密，不透水。我们看到的冰壶其实并非简单由一块石墩磨制而成，是由两种不同的岩石材料组装而成。目前，世界上制造优质冰壶用的天然花岗岩均产自苏格兰近海的一个小岛，也只有苏格兰人掌握着制作世界顶尖水平冰壶的技术。

运动员为啥要用力扫冰

所有观看冰壶比赛的观众，印象最深的莫过于运动员手持“扫把”快速在冰壶前移动的场景。这个动作是通过快速地清扫，在冰壶短暂的滑行过程中改变其运行轨迹和速度，达到“布场”和“入局”的目的。从某程度上来说，冰刷起到了“导航”的作用。通过刷冰可以瞬时提高冰的表面温度，使冰壶走得更远。刷得越用力，冰珠顶部就融化得越多、变得越滑，反之，如果壶离圆心或圆心足够近，不需要滑行太远，刷冰员也不需要过于用力刷冰。如今赛场上使用的冰壶扫帚多为碳纤维材料制成的冰壶刷。

冰壶“战靴”左右不同

运动员穿的冰壶运动鞋表面上看去与普通皮鞋无异，但它的鞋底却大有门道，借助启蹬器发力滑行，两脚鞋底的结构不同，便于在滑行与制动间切换。

左脚冰壶鞋的鞋底藏着由塑料制成的滑板，



U型池里如何实现“御雪飞行” 速度和高度产生力量美学

□ 科普时报记者 史诗

踏着一支单板，穿越层层障碍，于白雪中横空飞跃，在风里翻腾旋转，这就是单板滑雪，冬奥会上观赏性很强的竞技项目。

2月10日，在北京冬奥会单板滑雪女子U型场地技巧决赛上，虽然中国选手蔡雪桐排名第四无缘奖牌，但她亮出了个人最高难度动作，外转1080站立成功，创造了个人冬奥会最高排名。赛后，蔡雪桐泪洒混采区，坦言“运气差了点”。虽然中国队在本次比赛中无缘领奖台，但姑娘们的表演向世界展示了中国单板滑雪运动员的实力。

需要在U型池滑行跳跃回转，循环往复

单板滑雪U型场地技巧是冬奥会单板滑雪的小项之一，是指在倾斜的半圆形赛道（碗状坡道）中滑行及进行跳跃、回转等空中技巧的运动。运动员从池壁入池，利用重力加速。经过池底后，运动员需要克服重力，从另一侧池壁向上腾空，在空中完成高难度的技巧动作。完成动作后，运动员再次从池壁入池，如此循环往复，直到完成比赛。

单板滑雪U型场地技巧一般是反刃起跳，外转是前刃起跳，内转是后刃起跳。“这是因为U型场既

有横向幅度，也有侧向斜坡。斜坡滑的时候反刃起跳能够保证运动员在安全稳定基础上，还能保持滑行最佳速度。”单板滑雪国家级赛事裁判、北京冬奥会滑雪项目解说司子奇介绍。

30秒内就要完成五六六个动作

一般情况下，在30秒左右的时间里，运动员需要完成5—6个动作。“对板的速度、高度的控制以及运动员空中姿态的展示是单板U型场地技巧对选手的核心技巧要求。”武汉体育学院教师姜欣博士告诉科普时报记者。

姜欣还提到，越是高难度的空中姿态，越需要较高的速度带出足够的高度；反之，高度越高，空中姿态越复杂，落回到U型场地内就越容易失误。一旦失误摔倒，或身体触地，失去了速度，就会影响下一个动作的衔接。

曲面滑道采用“最速降线”设计

U形场地的曲面滑道采用了“最速降线”的设计，即两点之间产生最快速度的曲线，让运动员在下落过程中获得最大速度，从而在另一端跃起时有