

短道速滑使用槽刃冰刀的理论初探

刘锋¹, 关汝华²

(1. 吉林大学 体育学院, 吉林 长春 130012; 2. 长春大学 旅游学院, 吉林 长春 130061)

摘 要: 探究短道速滑使用槽刃冰刀的理论基础。运用力学知识对运动员通过使用槽刃冰刀增大刀刃切入冰面的深度, 增大弯道滑行时蹬冰力作用的冰质斜面可承受的最大水平分力的方法进行分析。结果发现, 短道速滑运动员使用槽刃冰刀能增大冰质斜面可承受的最大水平分力, 可以让运动员的身体向圆心方向倾斜的程度更大, 产生更大的向心力, 以更快的速度滑过弯道。

关 键 词: 运动力学; 短道速滑; 槽刃冰刀; 蹬冰力; 冰质斜面

中图分类号: G804.6 文献标志码: A 文章编号: 1006-7116(2013)03-0108-04

A preliminary theoretical exploration of the usage of reeded double-wedge ice skates in short track speed skating

LIU Feng¹, GUAN Ru-hua²

(1. School of Physical Education, Jilin University, Changchun 130012, China;

2. School of Tourism, Changchun University, Changchun 130061, China)

Abstract: The authors probed into the theoretical foundation for using reeded double-wedge ice skates in short track speed skating. By applying mechanical knowledge, the authors analyzed the method used by speed skaters to increase the depth of the blade cutting into the ice surface and the maximum horizontal component force bearable for the ice slope which the ice striking force acts on during bend gliding by using reeded double-wedge ice skates, and revealed the following findings: reeded double-wedge ice skates used by short track speed skaters can increase the maximum horizontal component force bearable for the ice slope, let the bodies of the skaters tilt to the circle center to a greater extent, produce a greater centripetal force, so that the skaters can glide through bends at a faster speed.

Key words: sports biomechanics; short track speed skating; reeded double-wedge ice skate; ice striking force; ice slope

短道速滑的比赛场地周长 111.12 m, 弯道滑行半径 8.5 m^[1]。男子 500 m 比赛世界级水平用时 42 s 左右, 高速度地滑过弯道, 对运动员的滑行技术、身体素质 and 冰刀有很高的要求。观看 500 m 比赛录像, 我们注意到运动员滑过弯道时运用技术有如下特点: 除第 1 圈的第 1 个弯道全部用连续快速交叉压步滑行外, 其余的弯道都是由直道进入弯道做一次交叉压步后, 使用右脚内刃(内侧劈)支撑惯性滑行转弯技术降低线速度以缩小转弯半径、然后在弯道末端再接连交叉压步加速进入直道。我们还看到运动员右脚内刃支撑惯性滑行转弯时会将左臂下垂似有用手撑地状, 这是因为运动员担心刀刃“蹬不住冰面”向法线方向滑动、继而向切线方向摔倒做出的一种保护措施。上述现象说

明短道速滑运动员使用现在的平刃冰刀在冰面上滑出的冰质斜面承受的水平分力不能满足运动员用最快的速度滑过弯道的要求。可否象花样滑冰运动员、冰球运动员使用槽刃冰刀(又称沟刃, 就是冰刀的正刃呈弧形凹面, 内刃和外刃是两个锐角劈)那样^[2], 让短道速滑运动员也使用槽刃冰刀来增大弯道滑行时冰质斜面可承受的最大水平分力, 从而增大蹬冰力的水平分力? 据我们所知目前还没有人开展这方面的研究。如果中国能够从现在开始进行短道速滑运动员使用槽刃冰刀的理论研究, 研制给短道速滑冰刀加工槽刃的自动磨刀机, 就可以占得先机, 在短道速度滑冰运动使用的设备、器材设计制造方面取得专利, 在滑行技术上领先对手, 在短道速滑冰刀自动磨刀机进入实用阶

段开始的几年里，中国运动员就有可能因此多夺得几个世界冠军。这个课题将由一系列研究项目组成，第 1 步在理论上论证短道速滑运动员使用槽刃冰刀在弯道滑行时可以用更快的速度滑过弯道；第 2 步研制给短道速滑冰刀加工槽刃的自动磨刀机；第 3 步请短道速滑运动员使用槽刃冰刀做滑行试验，用实验数据证明短道速滑运动员使用槽刃冰刀在弯道滑行时可以用更快的速度滑过弯道。本研究仅在理论上讨论短道速滑运动员通过使用槽刃冰刀增大弯道滑行时冰质斜面可承受的最大水平分力的可能性。其余部分等有条件时继续研究，结果将随之报道。

1 影响向心力大小的因素

滑冰运动的蹬冰方向与支撑腿惯性滑进方向相垂直^[9]。运动员在弯道滑行时需要的向心力 F_n 来自运动员身体向圆心方向倾斜时重力 G 和支撑反作用力 F 的合力^[4](见图 1)，所需向心力 F_n 的大小与运动员身体质量 m 、弯道滑行速度 v 成正比，与滑行曲线半径成反比。根据力的合成与分解的平行四边形法则，向心力 F_n 的大小就等于支撑反作用力 F 的水平分力， $F_n = F \cos \theta$ ，即决定于支撑反作用力 F 的大小和身体与冰面之间的夹角 θ 。但这些都是以假设支撑点足够牢固为条件的。

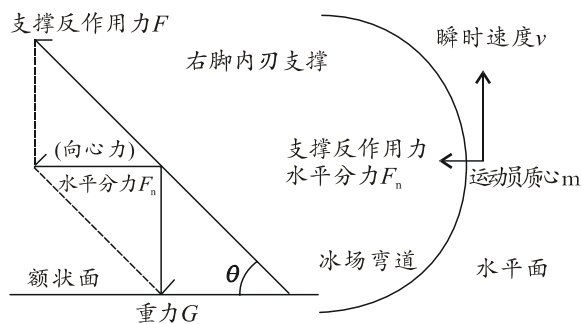


图 1 弯道滑行身体受力分析

2 蹬冰力的水平分力最大值受限于冰质斜面可承受的最大水平分力

运动员的蹬冰力 p 垂直作用在冰质斜面上(见图 2)，冰质斜面是由于支撑腿冰刀的刀刃在其上滑过产生的磨损、融化和弹性等形变原因形成的。运动员受到斜面的支撑反作用力 F (见图 1)。根据力学知识，运动员弯道滑行时身体所受到的向心力 F_n 的大小等于支撑反作用力的水平分力 $F \cos \theta$ ，也等于运动员蹬冰力的水平分力 $p \cos \theta$ (方向相反)，等于冰面给予冰刀的弹性力的水平分力。要增大向心力，运动员可以增大蹬冰力，也可以增大身体向圆心方向倾斜的程度。但运

动员的最大蹬冰力是有限的，如果运动员增大身体向圆心方向倾斜的程度，不增大蹬冰力也可以增大蹬冰力的水平分力。可是，刀刃接触冰质斜面的面积很小，冰的脆性较大，随着运动员加大身体向圆心方向倾斜的程度，当蹬冰力的水平分力超过冰质斜面可承受的最大水平分力时，斜面就会发生脆性破坏，破坏后的斜面倾角减小，蹬冰力方向与斜面的夹角由等于 90° 变为大于 90° ，作用在冰刀上的蹬冰力被破坏后的斜面分解出一个与斜面平行的分力 p_1 ，运动员的冰刀在这个与斜面平行的分力 p_1 的作用下克服了冰刀与斜面之间在法线方向上的摩擦力，向斜面的上部滑动(见图 2)，冰刀与冰面之间在法线方向上的运动状态由相对静止转变成相对滑动，运动员就失去了牢固的支撑点，向心力突然减小甚至消失，运动员的身体向切线方向滑出并摔倒。因此，运动员蹬冰力的水平分力最大值受限于冰质斜面可承受的最大水平分力。可以设冰质斜面可承受的最大水平分力公式为 $p \cos \theta = \sigma_m S$ 。公式中 $p \cos \theta$ 代表运动员蹬冰力的水平分力， σ_m 代表冰刀滑过冰质斜面时冰在水平方向的极限应力， S 代表冰质斜面的水平方向受力面积。在运动员滑行技术完美，完成某一动作时使用冰刀特定部分稳定的情况下 S 与冰刀切入冰面的深度 h 成正相关，冰质斜面可承受的最大水平分力公式可以改写为 $p \cos \theta = \sigma_m h$ 。

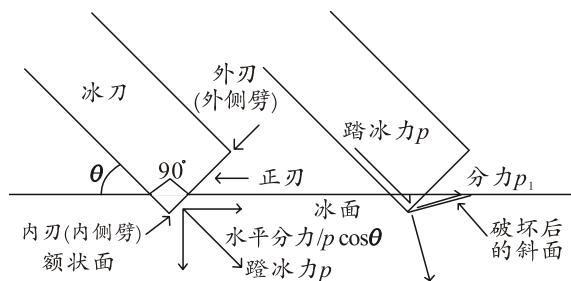


图 2 冰面、冰刀受力示意图

3 槽刃可以增大冰刀切入冰面的深度

目前短道速滑运动员使用的都是平刃冰刀，内侧、外侧两个刀刃都是直角劈，两个直角劈共用的一条边构成一个平面，称为正刃(见图 2)。根据平面几何知识，1 mm 长的直线虽然很短，但它仍然可以看作是任一圆上的一段弦，可以画出这段弦所对的弧，并可以证明这一段弦所夹的弦切角小于 90° 、这个弦切角的余角小于 90° 。所以，从理论上讲，虽然短道速滑冰刀的正刃宽度只有 1.4 mm，仍然可以加工出槽刃，形成两个锐角劈。根据力学关于劈的知识，加在劈面上的阻力与劈背正压力大小之比等于劈面的长度和劈背的厚度之比。设平刃冰刀直角劈的劈背厚度与槽刃冰刀锐

角劈的劈背厚度同为 $2b$ ，劈背所受正压力 p_2 大小相同、方向相同，平刃冰刀直角劈的劈面长度为 c_1 ，平刃冰刀直角劈的角度为 90° ，槽刃冰刀锐角劈的劈面长度为 c_2 ，槽刃冰刀锐角劈的角度为 γ ， $\frac{b}{c_1} = \sin(90^\circ/2)$ ，

$$\frac{b}{c_2} = \sin(\gamma/2), \quad \frac{c_2}{c_1} = \frac{b/\sin(\gamma/2)}{b/\sin(90^\circ/2)} = \frac{1/\sin(\gamma/2)}{1/\sin(90^\circ/2)} = \frac{\sin(90^\circ/2)}{\sin(\gamma/2)}$$

假设槽刃的曲率半径 ρ 为 5 mm。根据平面几何知识弦切角等于它所夹的弧所对的圆心角的一半，根据三角函数知识计算出 1/2 圆心角约 8° ，即弦切角约 8° ，余角为 82° ，也就是加工成槽刃后的劈为 82° 。计算结果 82° 劈的劈面长度较 90° 劈增大了 7.8%，冰刀切入冰面的深度 h 增大了 7.8%，冰质斜面可承受的最大水平分力增大了 7.8%。冰质斜面可承受的最大水平分力增大了以后，运动员就可以增大身体向圆心方向倾斜的程度，从而增大在弯道滑行时的向心力，运动员因此就可以用更快的速度滑过弯道(见图 3)。

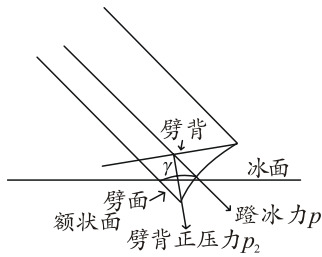


图 3 劈背受力示意图

还有，槽刃冰刀劈的角度的减小不是以直角劈的角平分线为基准对称减小的，而是以冰刀的内、外侧劈面为基准减小的。冰刀的劈变得尖锐后，劈背所受正压力方向与蹬冰力方向的夹角将减小，在运动员蹬冰力大小、方向不变的情况下，劈背所受正压力 p_2 将增大(见图 3)。

如果用 θ 代表运动员使用平刃冰刀在弯道滑行中身体向圆心方向倾斜到极限程度时与水平冰面的夹角、用 h 代表运动员使用平刃冰刀在弯道滑行中冰质斜面承受水平分力达极限值时冰刀切入水平冰面的深度、 θ 代表运动员使用槽刃冰刀后身体向圆心方向倾斜的程度在 θ 的基础上的变化量、 k 代表运动员使用槽刃冰刀时冰刀切入水平冰面的深度的比例系数，公式 $p \cos \theta = \sigma_m h$ 可以改写为 $p \cos(\theta - \theta) = \sigma_m \times kh$ 。

$$\text{式中的 } k = \frac{1/\sin(\gamma/2)}{1/\sin(90^\circ/2)} \times \frac{p \cos(\gamma/2)}{p \cos(90^\circ/2)} \times \frac{\sin(\theta - \theta)}{\sin \theta} =$$

$$\frac{\cos(\gamma/2) \times \sin(\theta - \theta)}{\sin(\gamma/2) \times \sin \theta}, \text{ 其中 } 1/\sin(90^\circ/2) \text{ 代表平刃冰刀的劈}$$

面的长度与劈背的厚度之比， $p \cos(90^\circ/2)$ 代表平刃冰刀的劈背所受正压力， $\sin \theta$ 代表 θ 小于 45° 时平刃冰刀切入水平冰面的深度与内侧劈面切入冰面的长度之比(见图 4)； $1/\sin(\gamma/2)$ 代表槽刃冰刀的劈面的长度与劈背的厚度之比， $p \cos(\gamma/2)$ 代表槽刃冰刀的劈背所受正压力， $\sin(\theta - \theta)$ 代表运动员使用槽刃冰刀时加大身体向圆心倾斜的程度后冰刀切入水平冰面的深度与内侧劈面切入冰面的长度之比(见图 4)。

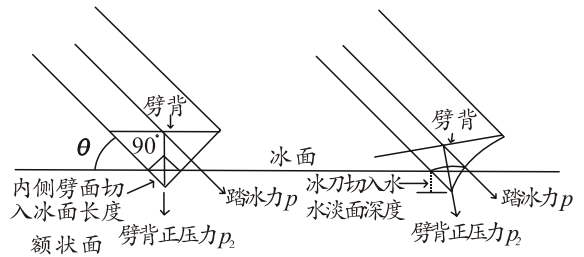


图 4 冰刀切入冰面深度示意图

使用公式 $p \cos(\theta - \theta) = \sigma_m \times kh$ 时，先将已测出的运动员使用平刃冰刀在弯道滑行身体向圆心方向倾斜达极限程度时的各项相关数据并代入公式，此时 k 等于 1，并假设此时冰刀切入水平冰面的深度为 1 个计量单位，先求出冰的极限应力 σ_m 的代表数值，然后将极限应力 σ_m 的代表数值代入公式，再假设运动员改用槽刃冰刀后劈的角度数值，当 $p \cos(\theta - \theta) < \sigma_m \times kh$ 时，运动员可以继续加大身体向圆心方向倾斜的程度；当 $p \cos(\theta - \theta) = \sigma_m \times kh$ 时，冰质斜面处于将被破坏临界状态；当 $p \cos(\theta - \theta) > \sigma_m \times kh$ 时，冰质斜面将被破坏。

例如，某运动员使用平刃冰刀在弯道滑行中身体向圆心方向倾斜极限程度时与水平冰面的夹角 θ 大约 40° ，瞬时速度 v 为 11.50 m/s，滑行轨迹半径 8.5 m，身体质量 m 为 60 kg。根据向心力公式，此时运动员产生的向心力 F_n 大小为 934 N。查三角函数表推算出此时蹬冰力 p 为 1 219 N，对水平冰面的正压力为 783 N，对劈背的正压力 p_2 为 862 N，假设此时冰质斜面受到的水平分力 $p \cos \theta$ 已达到可承受的最大值，冰的极限应力 σ_m 的代表数值为 934 个计量单位。如果运动员改用劈为 82° 的槽刃冰刀，将相关数据代入公式 $p \cos(\theta - \theta) = \sigma_m \times kh$ 中，使用槽刃冰刀与使用平刃冰刀相比切入水平冰面的深度的比例系数为 1.15，冰质斜面可承受的最大水平分力增大 15%。如果运动员使用劈为 82° 的槽刃冰刀，蹬冰力 1 219 N 不变，加大身体向圆心方向倾斜的程度，随着运动员身体向圆心方向倾斜的程度加大冰刀切入水平冰面的深度将减小，运动员身体向圆心方向倾斜的程度可以加大到与水平冰

面夹角 37° , 冰质斜面可承受的水平分力最大值为 1 006 N。因为运动员的身体所受到的向心力 F_n 的大小等于运动员蹬冰力的水平分力 $p \cos \theta$ (方向相反), 运动员可以产生的向心力增大到 974 N, 可以使弯道滑行瞬时速度加大到 11.74 m/s 而保持滑行轨迹半径 8.5 m 不增大。

4 槽刃增大了惯性滑进方向冰刀与冰面之间的滑动摩擦系数

槽刃冰刀在增大运动员弯道滑行时冰质斜面可承受的最大水平分力的同时, 由于劈变得尖锐了, 也增大了切线方向冰刀与冰面之间的滑动摩擦系数、增大了直道滑行时惯性滑进方向冰刀与冰面之间的滑动摩擦系数。但因为钢与冰之间的滑动摩擦系数很小, 切向滑动摩擦力增大的绝对值与因运动员加大身体向侧倾斜的程度而增大的蹬冰力的水平分力的绝对值相比很小。况且, 根据槽刃增大运动员弯道滑行时冰质斜面可承受的最大水平分力相同的道理, 也增大了运动员直道滑行时支撑腿蹬冰方向冰质斜面可承受的最大水平分力, 对运动员加大身体向侧倾斜的程度、增大蹬冰力的水平分力是有利的。利大? 弊大? 不能通过计算出一个使用槽刃冰刀与使用平刃冰刀相比切入水平冰面的深度的比例系数值就加以简单地判定。因为每一个运动员身体质量、最大蹬冰力不同, 身体向侧倾斜的程度不同, 需要使用的劈的角度也不同。例如少儿运动员使用平刃冰刀, 可能冰质斜面可承受的最大水平分力即已满足产生足够的向心力、用最快的速度滑过弯道的要求。而对于成年运动员比赛场上的情况已经表明需要使用劈更尖锐的槽刃冰刀才能使弯道

滑行时线速度不受压制, 满足用最快的速度滑过弯道的要求。甚至成年男运动员在短距离比赛项目直道滑行中都可能因为使用槽刃冰刀可以加大向侧蹬冰力而从中受益。总之, 无论弯道滑行、直道滑行, 只要运动员支撑腿最大蹬冰力的水平分力大于冰质斜面可承受的最大水平分力, 增大冰质斜面可承受的最大水平分力, 对充分发挥运动员的滑行技术和体能就是有利的。因人而异, 合理选择、使用适宜角度的劈^[2], 就可能使槽刃冰刀在短道速滑运动使用中扬长避短。

上述理论研究证明, 短道速滑运动员使用槽刃冰刀可以增大冰质斜面可承受的最大水平分力, 在弯道滑行时可以让身体向圆心方向倾斜的程度更大、用更大的支撑力蹬冰, 从而产生更大的向心力, 以更快的速度滑过弯道。现今世界上还没有能够直接用于给短道速滑冰刀加工槽刃的机器, 研制给短道速滑冰刀加工槽刃的机器将是下一步的重要任务。建议研制给短道速滑冰刀加工槽刃的自动磨刀机, 请短道速滑运动员使用槽刃冰刀做滑行试验, 以证明上述理论是否正确。

参考文献:

- [1] 短道速滑竞赛规则[Z]. 中国滑冰协会审定, 2010: 38-39.
- [2] 希德·布罗得本特, 张三璋. 磨冰刀的技术理论与方法[J]. 冰雪运动, 1983(6): 58-66.
- [3] 高等学校普通体育课教学参考书冰上教材编写组. 滑冰[M]. 北京: 人民教育出版社, 1982: 27.
- [4] 体育学院通用教材运动生物力学编写组. 运动生物力学[M]. 北京: 人民体育出版社, 2007: 65.

