



# 奥里的科学

北京2022年冬奥会特别策划

在北京冬奥会的赛场上，奥运健儿们用顽强的意志和勇敢拼搏的精神，不断冲击着速度和难度的极限。苏翊鸣怎样做到2秒钟内旋转5圈？羽生结弦挑战的4A到底有多难？时速高达150公里的钢架雪车俯冲下来，怎样“跑”才安全？从百米大跳台一跃而下，如何才能“飞”得更远？本期冬奥特别策划，从科学的视角解读冰雪项目里旋转、跳跃与飞转等高难度动作的知识和原理。我们相信，在科技的加持下，冰雪运动一定会向着“更快、更高、更强”迈进。

策划 陈于磊  
编辑 于翥翔  
刘翊

## 苏翊鸣怎么做到2秒转5圈 身体承重会增加10倍

□ 陈征

2月15日，北京冬奥会单板滑雪男子大跳台决赛中，中国队选手苏翊鸣以两跳1800度高难度动作赢得金牌。而他优美炫酷的旋转跳跃是如何做到的呢？这里面也有深奥的物理学知识。

### 从顶端积蓄动能很关键

运动员的各种复杂动作归根结底是由两种基本动作组成的，即运动员质心的平动和围绕质心的转动。苏翊鸣在滑雪大跳台上的完整运动过程，大约可以分为3个部分：动能积蓄阶段、腾空阶段和落地缓冲阶段。

在动能积蓄阶段，运动员从大跳台顶端出发下降，重力势能一部分转化成动能，还有一小部分消耗在雪板与雪道的摩擦，克服空气阻力等过程中转化成热能。在这个过程中运动员除了起跳时的蹬地外，身体各部分具有相同的速度方向和大小，可以简化成质心沿斜面滑下并在对侧斜面上冲的平动的过程。

### 空中旋转要承受5—10倍的重力

在腾空阶段，运动员不但在进行一个质心以起

跳台约25度仰角的“斜上抛”运动，同时还在进行两个自由度上的旋转动作，一是围绕竖直轴的转体动作，二是选手本人弯曲身体抓板等动作。苏翊鸣从腾空到落地的时间大约都不足2秒，在2秒内要完成5圈的旋转。这意味着角速度达到了约 $5\pi$ ，按运动员肩宽40厘米左右估算，手臂即便紧贴身体，旋转半径20厘米时，感受到的离心加速度也达到约50米/秒<sup>2</sup>，即局部的离心加速度已经是重力加速度的5倍多。当运动员旋转半径达到一般人打开手肘所能达到的40厘米左右时，边缘的离心加速度达到重力加速度的10倍。普通人承受过载的极限大约在3倍重力加速度左右，飞行员能达到6—7倍，航天员的标准会再高一些。虽然运动员在高速旋转中只是局部感受高加速度，然而此时做动作，比如打开手臂，这部分身体的“重量”会增加到原来的10倍，抬起手臂就不是一件容易的事了。

### 落地时速可达70公里

落地阶段是通过地面滑行的摩擦阻力逐渐降低速度进行缓冲的阶段。按照动量定理，同样的动能变化，作用时间越长，相应的作用力越小。因为跳



2月14日，中国选手苏翊鸣在北京冬奥会单板滑雪男子大跳台比赛中。

台滑雪腾空到落地绝对高度仍在下降，选手的质心平动速度依然在增加，它们落地时的速度甚至能达到约70公里/小时，而此时运动员还在进行水平旋转，如果落地时滑雪板的前进方向不准确，非常容易发生翻滚。当运动员以数十公里的时速与雪面接触，那里的雪面可并不松软，虽然不是正碰，仍然会产生巨大的冲击力，甚至能让运动员骨折。

在冬奥项目的竞技中，运动员通过在冰雪上的飞驰、跳跃、旋转而最终取得成功的动作，必然是符合物理基本规律的；反之，许多选手也正是在科学的指导下，更高效地提升了自己的技术。

（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）

## 钢架雪车“跑”得有多快 最高时速达150公里

□ 科普时报记者 毛梦因

2月11日，国家雪车雪橇中心“雪游龙”沸腾了；中国选手闫文港以4分1秒77的成绩获得北京冬奥会男子钢架雪车比赛铜牌，这是中国选手首次在该项目中登上冬奥会领奖台。

“太难了！”赛后，一直关注中国钢架雪车运动发展的北京体育大学冬奥培训学院教师、冬季奥林匹克学者季成难掩兴奋和激动。成立于2015年的中国钢架雪车队刚走过不到7年，就在北京冬奥上实现了奖牌突破，这是一份意义重大的荣耀。

### 田径等“跨界”选手多

对很多观众来说，钢架雪车是本届冬奥开始后才听说的“冷门项目”。运动员单手扶车，通过一段助跑加速后迅速跳上车，并以头朝前的俯卧姿态俯冲滑行，在一分钟左右的时间内高速冲过一千多米的多个弯道完成比赛，因此被称为“冰上俯冲机”。

由于这一项目在国内没有青少年力量储备，我国大量的钢架雪车运动员都是从田径、举重等下肢力量强的项目“转项”而来的。这是因为滑行的初始动力依靠出发前的助跑加速，对运动员的下肢力量和爆发力要求极高。“田径运动员是不借助器械的，现在要借助助雪橇滑行的钢架雪车，就需要重新学

习技术特点和思维方式，这是运动员“跨界”的最大困难。”季成说。

钢架雪车看似出发后即可“一趴到底”，实际上每个弯道的技术表现都至关重要。在最高可达150千米/小时的疾驰中，轻微的身体晃动都会对成绩产生明显影响，这需要运动员对赛道有深刻的理解，并能在瞬间迅速调整入弯角度，对运动员的体能和智能都有较高的要求。“随着对赛道经验的积累，运动员的表现也会越来越好，所以滑行运动选手的职业生涯周期是比较长的。”季成说，这也让我们对中国钢架雪车队在今后赛事中的表现抱有更多的期许。

### 科学训练保证“驾驶”安全

冬奥不仅是赛场上的拼搏，也是场外科实力的比拼。在二七国家冰雪运动训练科研基地，“六自由度钢架雪车训练系统”可以在体感和视觉上营造出逼真的训练环境，有效克服季节对冬季项目训练时长的影响；国家雪车雪橇中心的数字摄像头和风洞，帮助运动员寻找有效减阻的动作；比赛服采用3D打印技术定制，以确保分割线位置不影响运动员发力；国产冬奥钢架雪车鞋为运动员起跑、滑行注入有力支撑……2020年底，“雪游龙”赛道建



2月11日，中国选手闫文港在北京冬奥会男子钢架雪车比赛中出发。

成，这是世界上第17条经过国际雪车联合会认证、符合冬奥会比赛标准的赛道。“家门口”的赛道给了运动员充分的熟悉时间，帮助中国健儿发挥出东道主的优势。

### 钢架雪车具有独特魅力

看过比赛后，很多观众久久沉浸在“速度与激情”带来的震撼之中。季成认为，钢架雪车自有它的魅力：“我把这个项目的体育哲学总结为‘向死而生’。运动员一开始训练时都有一定的风险，但只有在一次次勇敢的冲刺滑行后，才能获得对于赛道的理解和经验的积累，成为出色的钢架雪车运动员。”不断地延展自我潜能，挑战人类极限，这正是对运动精神的最好诠释。

## 羽生结弦挑战的4A到底有多难 不仅转得快还要跳得高

□ 科普时报记者 于翔

2月10日，日本选手羽生结弦在本届冬奥会花样滑冰男子单人滑自由滑比赛中，挑战了花滑界的最高难度4A动作。但令人遗憾的是，前2个动作都摔倒在冰面上。这个被认为是挑战人类极限的动作，到底有多难？

### 腾空前要将速度提高10%

4A的专业说法是“阿克塞尔四周跳”，被公认为花滑领域最难的跳。阿克塞尔跳是花样滑冰跳跃动作的一种，由挪威选手阿克塞尔·保尔森在1882年首次完成。4A虽然被算作四周跳，但却要多转体半周，实际要完成四周半。与3A相比，4A的最高点提高了整整17厘米，落冰点也要增加1米多的距离。为了准备好这些必要条件，运动员在腾空前必须将速度提高10%。

此外，A跳是一个向前跳跃的动作，在转体之前，运动员的重心不可避免地处于冰刀的外侧，如果稍不注意，冰刀极有可能发生横向打滑，危险性很大。

2021年12月，在全日本花样滑冰锦标赛的赛前公开训练中，羽生结弦首次在公众面前完成了4A，证明这个只停留在理论层面的动作在现实中是可以完成的。但迄今为止，还没有运动员在比赛中成功跳出4A，其难度可想而知。

### 平地跳起滞空时间不足0.9秒

北京交通大学国家级物理实验教学示范中心教师陈征博士介绍，花样滑冰的四周跳和跳台滑雪有所不同，跳台滑雪有积蓄速度的滑道，落地也在斜坡上，有比较高的高差，滞空时间相对长。而花样滑冰完全依赖运动员自身在平面上的起跳，按照基础物理来计算，这可以看做一个竖直上抛的质心平动和一个转动的组合，平地跳起1米的滞空时间只有不足0.9秒，要在这个时间内完成4周的旋转，其角速度接近 $9\pi$ ，身体收紧时手臂的离心加速度也能达到约150米/秒<sup>2</sup>，即大约15倍重力加速度以上。

运动员想要完成更多周数的旋转动作，就得滑得更快，选择合适的方式起跳，来增加初始的角动量，这是决定旋转速度和持续时间的基础。而起跳后，运动员还要运用肢体力量，保持一个极其紧凑的身体姿态，手臂交叉收拢，紧贴身体，尽量让自己看起来像一支铅笔，减少干扰角动量的转动惯量，以增加旋转速度。

### 转这么多圈不晕吗

花样滑冰运动员们在冰上不停地旋转，可还是镇定自如，难道不晕吗？据媒体报道，中国花



2月10日，日本选手羽生结弦北京冬奥会花样滑冰男子单人滑自由滑比赛失误。

滑运动员王诗玥、柳鑫宇被问到这一问题时，王诗玥表示：“其实都晕，反正我和柳鑫宇是真晕。”有时候运动员转完之后，也会分不清方向，但是在赛场上、板墙边，每一个方向都会有标志物。选手会自己找参照物，接下来在转完那一刻，是能看到参照物位置的，所以会知道大概往哪个方向滑行。柳鑫宇笑称，下来之后，有两秒什么都看不见，眼前都是花的。

对于运动员而言，要与眩晕抗衡必须先稳住前庭系统，就要经过大量“前庭习服法”的练习和规范训练，使得运动员的身体已处于习惯旋转的状态，让原本受旋转刺激产生的反应不断减轻甚至消失，能更轻松地驾驭旋转的眩晕感。除了前庭习服法，运动员还会进行多重综合能力训练。比如旋转平衡能力训练，是为了控制好身体重心与肢体位置，借助蹦床、弹力棒、平衡板等训练，可增强躯干稳定性能力。

## 跳台滑雪如何“飞”得更远 V字型姿态提高升力

□ 科普时报记者 于翔

俯冲、跳跃、飞行、落地、滑行……跳台滑雪，就来自人类最原始的对飞行的渴望。运动员不需要任何外力，只借助跳台带来的巨大惯性，可以在空中飞行数秒钟，这种转瞬即逝的飞跃，会给人带来巨大的身心愉悦。

在此次冬奥会上，中国跳台滑雪队在参赛人数和参赛项目上均创历史纪录，虽然成绩距离世界顶尖选手仍有距离，但20岁小将宋祺武相信，中国跳台滑雪运动员在“训练神器”风洞实验室的帮助下，会飞得更远。

### 与地面保持平行“飞翔”

跳台滑雪主要分为4个阶段，即助滑阶段、起跳阶段、飞行阶段和落地阶段。助滑阶段，运动员从出发点向下滑行，重力势能转化为动能，重力势能越大，转化的动能也就越大。为了减少空气阻力的影响，选手们往往采用下蹲姿势，同时双臂紧贴身体向前延伸，为起跳阶段提供更快的速度。

进入起跳阶段和飞行阶段，飞得更远成为比赛的终极目标。由于运动员无法克服重力的影响，因此他们都会选择将身体和雪板尽可能地保持与地面平行的姿态，即运动员采取一种身体向前倾，同时滑雪板向前分开的V字型经典姿势，这样能够加大下方空气与身体接触的表面积，并且还可以给身体

一种最为理想的迎角，就像飞机起飞一样，能够最大程度地获得空气向上的托举力。虽然这个过程持续的时间较短，但是较大的升力可以使运动员保护飞行的时间更长。

### 百米高台跳下为何安然无恙

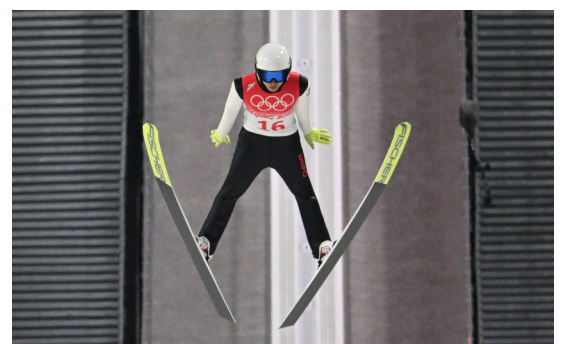
从百米高空起跳，在没有任何保护措施的前提下，运动员为何落地以后还能毫发无损？

对于跳台滑雪而言，一来跳台滑雪起跳和落地坡是经过计算的，这样运动员起跳和着陆时的轨道，是和他们抛物线的轨迹吻合的，也就不容易以垂直方式落地；二来着陆面是斜面，斜面的坡道分解了水平方向的力，向下坠落的力和落地坡的力形成夹角，把原本应该向下的冲击力转换为斜面上的加速度，运动员得以安全着陆，并继续滑行一段，利用地面摩擦力停止，最终完成比赛。

为了降低摔倒造成的损伤程度，滑雪服的材料一般是合成纤维，内衬也装有泡沫状物以缓冲着陆冲击力。滑雪板最宽为11.5厘米，长度一般是身高的1.46倍，为落地时的稳定性提供了很好的保证。

### 没有世界纪录的比赛项目

跳台滑雪是一个非常“看风”的项目，因为跳



2月11日，中国选手宋祺武在北京冬奥会跳台滑雪男子个人大跳台比赛中。

跃时的瞬时风速风向都将对最终的跳跃距离造成影响。如运动员在逆风时跳跃更容易凭借升力跳出更远的距离，所以并不是跳得越远得分就一定更高，还要根据瞬时风向风速等进行相应的加减值。除了风速外，上升气流、侧风或旋流，都有可能将空中的运动员置于危险之中。为此，“雪如意”在赛道多个位置都安装了风速测量装置。

因此，跳台滑雪项目只能根据比赛当天特定的天气和场地条件下运动员的竞技情况来评判出最好成绩，而无法与其他时间或其他场地的成绩进行横向比较，并没有世界纪录。从飞行距离来看，跳台滑雪的最好成绩已超过250米。

（资料来源：中国数字科技馆、国家体育总局网站等）

（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。）