



## 物理与生活

# 用物理知识释疑弯道跑技术

罗志华

(广州协和学校 广东广州 510160)

(收稿日期:2023-05-25)

**摘要:**如何用物理知识正确释疑弯道跑技术既是物理学习的需要,又是学以致用要求。释疑过程有利于培养学生的建模能力,提升应用理论分析解决实际问题的能力。体育课中有200 m和4×100 m接力赛专题,均涉及到弯道跑技术的内容。从弯道跑运动员身体向内倾斜的原因、定量计算身体向内倾斜的角度、运动员如何做到身体向内倾斜几个方面进行阐述。

**关键词:**弯道跑;圆周运动;向心力

2020年出版粤教版教材必修二第二章圆周运动第3节“生活中的圆周运动”资料活页栏目,介绍了田径运动员的弯道跑技术<sup>[1]42</sup>。学生在体育课中学习的弯道跑动作要领主要有:整个身体向内倾斜,迈腿向前时,左膝稍向外展,以前脚掌外侧着地;右膝稍向内扣,以脚掌内侧着地,同时,加大右腿前摆的幅度。弯道跑摆臂时,左臂摆动幅度稍小,靠近体侧前后摆动;右臂摆动的幅度和力量稍大,且前摆时稍向左前方,后摆时肘关节稍向外。弯道技术变化的程度与跑的速度、弯道半径有关联,速度越快、半径越小,技术变化的程度越大。

### 1 弯道跑建模常见错误

学生学完圆周运动知识,面对这一熟悉的生活情境,很乐意用所学知识去解释弯道跑技术:身体向内倾斜,是为了获得一个平行身体的支持力,该支持力的水平分力提供运动员做圆周运动的向心力,这时运动员的受力情况如图1所示。学生还找到这种解释的教材类似模型,汽车在倾斜路面转弯的受力情况如图2所示,火车通过弯道时的受力情况见图3<sup>[1]39</sup>。

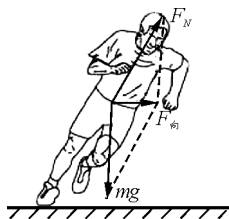


图1 学生对运动员弯道跑受力分析图

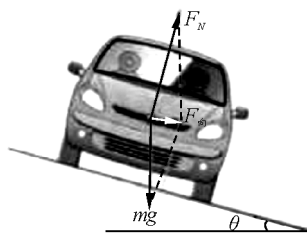


图2 汽车在倾斜路面转弯时的受力图

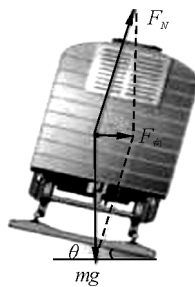


图3 火车通过弯道时的受力图

### 2 造成错误的原因

这种解释虽符合学生的认知情况和知识迁移特点,但却经不住推敲,标准的田径跑道是水平的,根据弹力特点运动员获得的支持力方向应该垂直接触面竖直向上,运动员做圆周运动的向心力来源于跑道对运动员的静摩擦力,运动员弯道跑的受力情况如图4所示,教育科学出版社出版的物理教科书就是这样解释的<sup>[2]</sup>。面对正确的受力解释学生往往表示不理解。既然倾斜并不能使支持力也倾斜而产生水平分力,向心力依然来源于图4中的静摩擦力,那运动员的身体为什么要向内倾斜?

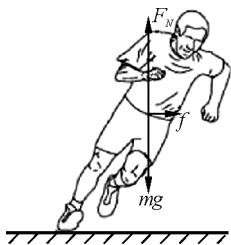


图4 运动员弯道跑正确受力分析图

### 2.1 用假设法来论证

对学生们的疑惑可以用假设法来解释,假设运动员弯道跑时身体不向内倾斜,其受力如图5所示.这里简单介绍惯性力,当物体有加速度时,物体具有的惯性会使物体有保持原有运动状态的本能,而此时若以该物体为参考系,并在该参考系上建立坐标系,看起来就仿佛有一方向与加速度方向相反的力作用在该物体上.弯道跑的运动员在做圆周运动,其惯性力背离圆心(俗称离心力).把运动员简化成刚体,如以过脚和地面接触点水平线为轴,重力、支持力、摩擦力的力矩为零,而惯性离心力将使身体向外侧转动,也就是身体不向内倾斜的运动员将向外摔倒;当然也可以过重心的水平线为轴,摩擦力产生的力矩使得运动员的脚转向跑道内侧,出现运动员身体向外摔倒现象,如图5所示.

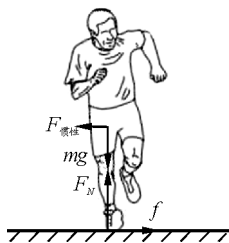


图5 运动员弯道跑不倾斜将会向跑道外摔倒示意图

为了防止运动员弯道跑时向外摔倒,运动员必须保持身体向跑道内侧倾斜,运动员受力情况如图6所示.

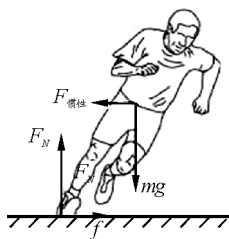


图6 运动员弯道跑向跑道内侧倾斜保持平衡受力示意图

这时如果以过脚和地面接触点的水平线为轴,支持力、摩擦力的力矩为零,惯性离心力和重力的力

矩平衡;如果以过重心的水平线为轴,重力、惯性离心力的力矩为零,支持力和摩擦力的力矩平衡.由力的合成知识可得出此时支持力和摩擦力的合力过重心,且与惯性离心力和重力的合力等大反向.运动员受力的合力和合力矩都为零就不会因转动而摔倒.

### 2.2 类比错误的根源

运动员在赛道上转弯与火车转弯(或公路上汽车转弯)模型不相同,后者路面倾斜,支持力的水平分力提供向心力,前者跑道水平,支持力竖直向上.运动员在赛道上转弯与汽车在倾斜弯道上转弯模型也不相同.后者在正常转弯时可视为质点,前者不能.

### 3 弯道跑技术的物理知识

既然身体向内倾斜,接下来用物理知识定量估算一下倾斜角度.以图7所示,运动员向内侧倾斜与竖直方向所成角为 $\theta$ ,结合图像可知 $\tan \theta = \frac{f}{F_N}$ ,由竖直方向力的平衡得 $F_N = mg$ ,由牛顿第二定律水平方向的摩擦力提供向心力 $f = m \frac{v^2}{R}$ ,则倾斜角 $\theta$ 的正切值 $\tan \theta = \frac{v^2}{gR}$ ,世界级运动员在 $4 \times 100$  m接力赛速度大小约为 $10$  m/s,国际性比赛田径跑道9条分道最内侧弯道半径(内径)为 $37.90$  m,最外侧弯道半径为 $47.90$  m,代入可得 $\tan \theta_{\text{内}} = 0.2692$ , $\tan \theta_{\text{外}} = 0.2130$ ,通过查三角函数表 $\theta_{\text{内}} = 15^\circ$ 、 $\theta_{\text{外}} = 12^\circ$ ,运动员在最内侧和最外侧跑道上竞赛时,身体的倾斜角相差约为 $3^\circ$ ,这也是运动员重视比赛道次安排的原因.对接力赛的第一棒和第三棒为弯道跑,对运动员的要求是具有超强的弯道能力.在第32届东京奥运会上,中国男子 $4 \times 100$  m接力赛第一棒汤星强、第三棒苏炳添都符合要求,最终获得第4名(由于英国队出现违规,最后递进获得铜牌),取得历史性突破的好成绩.

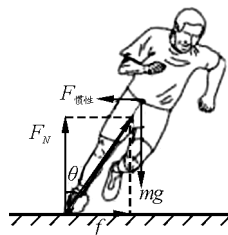


图7 运动员身体倾斜角度定量计算示意图

(下转第161页)

$$\Delta\delta_2 = \frac{\frac{d \tan \theta}{(l+d)(l+d-\tan \theta)}}{\frac{l-\tan \theta}{l-\tan \theta+d} - \frac{l-2 \tan \theta}{l-2 \tan \theta+d}} = \frac{d \tan \theta}{(l+d-\tan \theta)(l+d-2 \tan \theta)}$$

因为 $\Delta\delta_1 < \Delta\delta_2$ ,所以在相同时间内位置②到③向左运动得更快。

### 方法二:特值法(相同路程比时间)

我们再选择反光镜的中心 $O$ 点,并以此为入射点添加第三条特殊光线 $L_3$ ,且 $L_3$ 上任意一点均是该位置视野的中心点[图2(c)].我们仍以车的左前方为参考点;当车驶过位置⑥时,其左前方恰好位于后视镜中的 $N$ 点;驶过位置⑤时,其恰好位于 $O$ 点;但其左前方要想位于 $M$ 点,位置④必须要在无穷远处(即无法实现)。

基于上述分析,要使车每次都在后视镜中向“左”运动相同的距离,开始运动时所需时间长,越往后所需时间越短,所以该车向左在做加速运动。

### 3 真题演练

笔者在搜集相关资料时,发现2023年的一道中考模拟题也考查了该知识,现呈现如下:

(上接第159页)

弯道跑中运动员如何做到身体倾斜,这就是弯道跑技术中的蹬地和摆臂技巧了,运动员右脚脚掌内侧着地(图8右侧运动员),左脚脚掌外侧着地(图8左侧运动员),这样运动员身体成一直线而向内倾。弯道跑摆臂时,运动员左臂摆动幅度稍小,靠近身体侧前后摆动;右臂摆动的幅度和力量稍大,且前摆时稍向左前方,后摆时肘关节稍向外。这样摆臂能保证运动员的重心始终跟脚、躯干、头在一条直线上而不会左右、前后晃动,这样就不会影响运动员的成绩。弯道跑身体倾斜角度调整如图9所示。



图8 运动员弯道跑左、右脚着地展示图

$A$ 、 $B$ 两辆车在公路上笔直行驶,当 $A$ 车驾驶员看到左侧后视镜中如图3(a)的情况,说明两辆车位置如图3(b)所示.如果此刻 $B$ 车按箭头方向匀速靠近 $A$ 车,那么 $A$ 车驾驶员看到的后视镜中的“ $B$ 车”在镜中的左右移动情况是( )

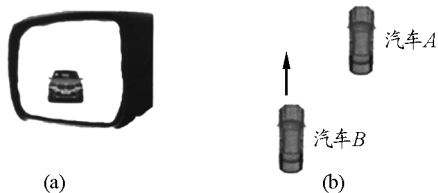


图3 后视镜成像问题题图

- A. 加速向左移动      B. 减速向左移动  
C. 加速向右移动      D. 减速向右移动

**解答:**由于 $A$ 车和 $B$ 车均在水平路面上沿同一方向做匀速直线运动,以 $A$ 车为参照物,整个分析过程与本文内容相类似,不难作出判断选择选项A。

### 4 结束语

初中物理是基于生活现象的再思考,这就要求我们在生活中多一丝洞察、少一些绝对,眼睛所见很多时候未必真实,寻求真理需要我们拿出纸笔;在教学中除了传道授业,更要培养学生独立思考、分析问题的能力,授学生以鱼不如授学生以渔。

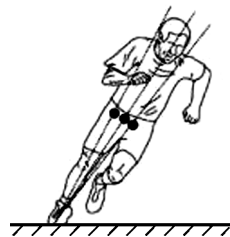


图9 运动员弯道跑身体倾斜角度调整示意图

总之,把弯道跑的运动员建模成在水平面上做圆周运动的物体,其在水平跑道上的支持力和重力平衡,跑道对运动员的静摩擦力提供向心力.至于身体向内侧倾斜只是为了防止因惯性而向外侧倾倒,而向内侧倾斜的角度则取决于运动的速度和跑道的曲率半径。

### 参考文献

- [1] 熊建文. 普通高中教科书 物理必修2[M]. 广州: 广东教育出版社, 2019: 42, 39.  
[2] 蔡铁权. 普通高中教科书 物理必修2[M]. 北京: 教育科学出版社, 2005: 31.