

趣谈自行车运动

刘延柱¹⁾

(上海交通大学工程力学系, 上海 200030)

摘要 叙述自行车运动的发展简史, 以及对自行车行驶稳定性的力学解释.

关键词 自行车, 运动稳定性, 陀螺效应

自 1791 年法国人希克拉 (C.Sicrac) 骑着装两个木轮的“木马”在路易十六王宫的大草坪上奔跑时算起, 自行车的出现已有两百多年历史了. 不过希克拉的带轮木马还算不上真正的自行车, 因为他的木马没有车把, 没有脚蹬, 车子的驱动全靠他自己双脚的奔跑. 20 多年后, 1817 年德国男爵德雷斯 (K.Drais) 为带轮木马装上活动车把, 使木马的转向更为灵活, 双脚能暂时离地滑行. 这个被称为“步行机器” (Laufmaschine) 的新发明在巴黎博览会展出以后, 很快成为风行 19 世纪欧洲的消遣玩意 (图 1). 1839 年苏格兰人麦克米伦 (K.McMillan) 在后轮装上脚蹬, 实现了用脚踏驱动前进, 成为名副其实的自行车. 1860 年法国人拉勒曼 (P.Lallement) 将脚蹬装在前轮, 前轮设计得比后轮大, 目的是想使每脚踏一圈前进的距离更长些. 1870 年英国人斯塔利 (J.K.Starley) 为提高前进速度, 将前轮的直径增大到双脚刚好够得着脚蹬的程度. 这种高轮车被戏称为“便士和 1/4 便士” (Penny-farthing), 因为高大的前轮带一个矮小的后轮恰似一个大硬币配一个小硬币 (图 2). 不过高轮车的设计思想也受到力学规律的惩罚. 首先是骑这种车的难度很大, 而且很不稳定. 当骑车人遇到障碍或紧急刹车时会由于惯性而向前摔倒, 并带动后轮离开地面, 使双轮车变成独轮车. 从安全因素考虑, 应缩小前轮增大后轮, 于是两个轮的大小逐渐变得完全一样. 此后, 斯塔利的侄子和劳森 (J.H.Lawsen)



图 2 高轮车

于 1885 年发明了链条传动, 1888 年爱尔兰人邓禄普 (J.Dunlop) 发明了充气橡皮轮胎, 从此自行车完全定型. 一百多年来直到现在, 自行车的性能不断提高, 但基本结构没有多大变化^[1].

自行车作为最普及的交通工具几乎人人会骑, 但要回答为何静止时一推就倒的自行车却能稳定行驶的问题则并不容易. 虽然从 19 世纪起就已开始探讨自行车的力学原理^[2], 发表的研究工作至今已不下数十篇, 但关于自行车力学问题的讨论至今仍未结束^[3]. 铁摩辛科 (S.Timoshenko) 的教科书里用离心力效应作为自行车稳定性的理论根据^[4]. 当车身向一侧倾斜时如前叉又向同侧转动, 则车子作弧线运动, 所产生的离心力克服车身的重力矩将自行车拉直而保持稳定. 这种解释虽然有理, 但未考虑车轮转动所产生的陀螺效应. 1911 年克莱因 (F.Klein) 和索默费尔德 (A.Sommerfeld) 的著作指出了陀螺力矩在自行车稳定性中的重要作用^[5]. 自行车向前运动时前轮滚动产生的动量矩矢量指向左侧, 如车身向右侧倾斜, 前叉也向右侧转动, 则车身重力对支点的力矩矢量指向前方, 恰好与前叉转动产生的陀螺力矩平衡. 可以认为, 自行车的稳定性是离心力效应和陀螺效应综合作用的结果. 这两种解释都要求骑车人控制把手随时使前叉向车身倾斜的相同方向转动. 这也正是骑车技巧的基本要领.

熟练的骑车人双手脱把仍能疾驰如飞, 又如何解释? 研究表明, 自行车的设计应使车子具有“自稳定性”. 为解释自稳定性现象, 设车身的对称平面为 Π , 前叉相对垂直轴的倾角为 δ , 前叉支在前轮的中心 O 点处, 但前叉的转轴不通过 O 点. 前叉转轴的延长线与地面的交点为 Q , Q 点在前



图 1 德雷斯步行机器

2007-07-31 收到第 1 稿, 2007-12-10 收到修改稿.

1) E-mail: liuyzhe@online.sh.cn

轮与地面的接触点 P 的前方。设 O 点与前叉转轴的垂直距离为 b , Q 点与 P 点的水平距离为 a (图 3)。车身通过前叉在前轮中心处作用的重力 W 和地面在 P 点处作用的法向约束力 N 平衡, $N = -W$ 。当车身连同前叉向右侧倾斜 φ 角时, 沿垂直方向的重力 W 和法向约束力 N 均偏离 Π 平面。二者沿 Π 平面法线的投影分别为 $W \sin \varphi$ 和 $N \sin \varphi$, 且分别以 b 和 $a \cos \delta$ 为力臂, 产生绕前叉转轴的力矩 $M = (b + a \cos \delta) N \sin \varphi$ 。前叉在此力矩的推动下转动, 转动方向恰好与车身倾斜方向一致, 使自行车保持稳定, 这也是自行车的前叉转轴不通过前轮的轮心和触地点的原因。

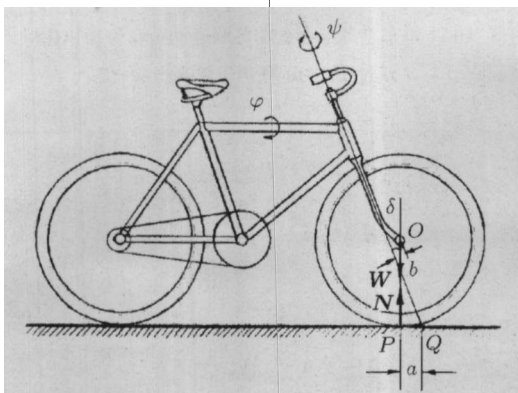


图 3 前轮和前叉的受力图

自行车力学的定量研究通常将自行车简化为由车身、前叉、前轮、后轮等 4 个刚体组成的多刚体系统。如果将骑车人也简化成固定在车身上的刚体, 根据线性化动力学方程的稳定性判据计算, 自行车的稳定行驶速度大约在 10~20 km/h 范围以内。换言之, 速度小于 10 km/h 或大于 20 km/h 自行车均失稳。这个结论明显错误, 因为实际经验说明, 自行车的速度愈快愈容易稳定。问题出在: 将骑车人简化成固定不

动的刚体, 忽略了对人对车的主观控制作用。在行驶过程中, 骑车人不仅要随时转动把手, 还要随时利用躯体的转动控制自行车的姿态。作为对自行车力学模型的改进, 将骑车人对车把的控制过程用简化的控制规律体现, 认为前叉转角 ψ 随车身倾角 φ 按比例变化, 即 $\psi = k\varphi$ 。计算得到的比例系数 k 的稳定域取决于速度, 速度愈快 k 的下限愈低, 对车把的控制愈轻便。这个结果显然更接近实际情况^[6]。由此可看出, 骑车人的主观行为对行驶稳定性起着重要作用。这个道理是显而易见的, 对于没学会骑车的人而言, 骑上再好的自行车也不可能稳定。

自 19 世纪末外国传教士将自行车带入我国以后, 已在民间迅速普及。中国已成为名副其实的自行车大国。自行车运动作为一种体育项目, 早在 1896 年第 1 届奥运会上就被列入正式比赛。我国的自行车运动在科学训练指导下技术水平不断提高。可以预期, 在北京奥运会上我国自行车运动健儿将会取得优异成绩。

参 考 文 献

- 1 Herlihy DV. Bicycle: the History. New Haven: Yale University Press, 2004
- 2 Whipple FJW. The stability of the motion of a bicycle. *The Quarterly Journal of Pure and Applied Mathematics*, 1898, 30: 312~348
- 3 Jones DEH. The stability of the bicycle. *Physics Today*, 2006 (9): 51~56
- 4 Timoshenko S, Young DH. Advanced Dynamics. New York: McGraw-Hill, 1948
- 5 Klein F, Sommerfeld A. Über die Theorie des Kreisels. Leipzig: Teubner, 1910
- 6 刘延柱. 自行车的受控运动. *力学与实践*, 1995, 17 (4): 39~42

横杆下“钻”过去的跳高

赵致真¹⁾

(武汉电视台, 武汉 430015)

摘要 重点介绍跳高运动的历史事件, 比较各种跳高姿势的技术特点, 从力学的角度分解跳高的技术动作, 分析进一步提高成绩的可能途径。

关键词 跳高, 重心, 跳高姿势

跳高历来被称为“失败者”的运动, 每次都以运动员碰撞横杆而告终。但曾经打破世界纪录的跳高健儿却又都是无限风光的“成功者”, 他们的矫健身姿和巅峰成绩永载跳高

运动的史册。

今天的男子世界跳高纪录已经达到 2.45 m, 而 1896 年第 1 届奥运会时, 跳高成绩仅为 1.81 m。带来这一变化的原因与其说是人类弹跳能力的增强, 毋宁说是充分掌握力学原理, 不断改进跳高技术的结果。

最初的跳高都是“自由式”, 运动员沿垂直方向跑近横竿, 用随意的动作腾空跨越。1839 年加拿大运动员沃夫兰跳过了 1.69 m, 这是公认的最早世界纪录。

本文于 2008-04-01 收到。

1) E-mail: zhizhen.zhao@mail.com