

自行车行驶与力学

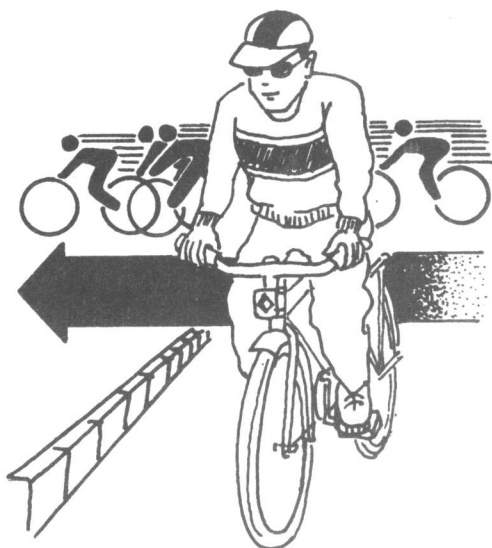
孙 宁 黄秋和

(空军保定飞行学院力学室 河北 071051)

我国素有“自行车王国”之称，目前已拥有三亿多辆自行车，约占全世界自行车总数的三分之一。自行车之所以在我国受到人们青睐，是由于它不仅是一种既经济又方便的理想交通工具，同时又是良好的健身工具。自行车的动力来自人体自身，不必消耗燃料，是一种理想的“绿色产品”。

自行车在行驶过程中有许多现象，比如：刹车时有前跳；加速时车把上扬，后轮下沉；静止时很难立住，而行驶中却比较稳定；转弯时，人车整体必须倾斜一定的角度等。本文试用力学原理来分析并解释这些现象。

为研究方便假设车轮和路面都不发生变形的理想情况，当人用力踩车时，通过链条的传递，在车轮上作用一个力偶矩 M ，力图使后轮转动。由于车轮与路面间的附着作用，在无滑滚动时，路面必然对车轮施加一作用力 F ，方向与



自行车行驶方向相同，这就是推动自行车行驶的外力即主动力。主动力 F 从车轮下边缘传到车轮轴，力图推动轮轴向前运动。当力 F 增大到足以克服自行车在静止时所受到的阻力，后轮轴开始前移，此时后轮即沿路面滚动，同时推动前轮滚动，而自行车开始向前运动。自行车起步后，其行驶情况取决于力 F 与行驶过程中所受的各种阻

力之间的关系。在任何情况下，当自行车匀速前进时，力 F 的数值一定与自行车行驶的总阻力相等。所受的阻力主要有摩擦阻力，空气阻力和上坡阻力，此外，车轮轴承内存在的摩擦也不可忽略。空气阻力是自行车行驶中，人体正面受到的迎面空气流的压力及空气与人车整体间相互摩擦所产生的摩擦力。上坡阻力是自行车上坡时，自重沿路面方向的分力。

严重的、不可挽回的后果。

随着科技的发展，武器装备的数量和质量都在不断增大和提高。各种核武器的数量已增大到惊人的地步。美国和前苏联两个大国的核储备都在 $9-13 \times 10^9$ t“TNT”当量之间，并各自拥有 3—4 万枚核弹头，英、法、印及我国也都有限度地发展了核武器，具备一定的核反击能力。据估计，全球核武器总当量大约在 25×10^9 t“TNT”左右，世界人均折合 5 吨“TNT”。一旦核战争爆发，仅现有的核武器就能将地球炸

得天翻地覆，无数城市化为灰烬。实际上，核战争是人类自我毁灭的战争。我们需要的是正义与和平。研制使用现代的最新武器，目的是消灭武器，消灭侵略，以维护世界的和平，国家的安宁。

历史告诉我们，任何一种新技术的应用，一种新武器的出现，一开始的确具有强大的威力，但随着时间的推移和技术的发展，总是被更新式、更优异的武器所取代。世界，正是在这样一种矛盾对立中曲折向前发展着。

下面从力学角度分析自行车行驶过程中的现象. 为简单起见假设自行车在平直路面上行驶, 即上坡阻力为零, 空气阻力平行于路面且作用线过车系统质心, 人车整体的总质量 m , 前后轮相距 $2L$, 质心距前后轮相等, 离地面高度 h , 则自行车行驶时受力如图 1

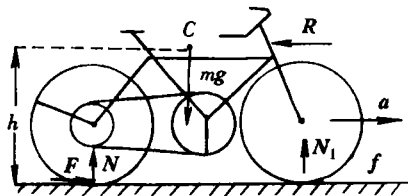


图 1

由质心运动定理

$$F - f - R = ma \quad (1)$$

$$N + N_1 - mg = 0 \quad (2)$$

由相对质心的运动定理

$$F \cdot h + N_1 \cdot L - f \cdot h - N \cdot L = 0 \quad (3)$$

由(1)式可知: 当 $F - f - R > 0$ 时, $a > 0$, 车子加速行驶, 但随车速增加, 空气阻力 R 也迅速增加, 当 R 增大到使 $F - f - R = 0$ 时, 自行车便以较原来高的速度作匀速行驶; 当 $F - f - R < 0$ 时, $a < 0$, 车子将减速行驶, 随着车速的减小, 空气阻力 R 也迅速减少, 当 R 减小到使 $F - f - R = 0$ 时, 自行车便以较原来为低的速度行驶.

由(1)、(2)、(3)式可解得:

$$N_1 = \frac{1}{2} \left[mg - (ma + R) \frac{h}{L} \right] \quad (4)$$

$$N = \frac{1}{2} \left[mg + (ma + R) \frac{h}{L} \right] \quad (5)$$

由(4)、(5)式可知, 当自行车匀速行驶时, 地面对前后轮的法向反力均为常数. 当加速行驶时, 即 $a > 0$, N_1 将减少, N 将增大, a 越大, 这种变化越明显. 所以随着加速度 a 的增大, 后轮对地面的压力增大, 前轮对地面的压力减小; 反之 $a < 0$ 时, N_1 将增大, N 将减小, 即后轮对地面的压力减小, 前轮对地面的压力增加. 这就是常见的自行车行驶过程中, 加速行驶前把上扬,

车尾下沉, 刹车时前跷的力学解释. 如果快速行驶时急刹车, 可使 $N \rightarrow 0$, 即后轮出现腾空现象, 是非常危险的. 尤其是下坡时.

要使后轮不打滑应满足

$$F \leq \mu N$$

在雨雪天或路面较松软(如沙土)时, 静摩擦系数 μ 将会大大减少以至上述条件不能满足, 而出现“打滑”现象.

无论谁在开始学骑自行车的时候, 大概都有过摔跤的经历. 为什么停着的自行车或一个不会骑车的人不能使车子立着呢? 实际上, 要使自行车不倒, 最根本的是骑车的人灵巧地操纵车把, 以控制重心位置. 具体地说, 骑车人和自行车作为一个整体, 作用在重心上重力和离心力合成一个合力, 如果骑车的人操纵车把能让上述合力的作用线贯穿于地面的点, 始终位于前后车轮接地点联结线上, 自行车就不倒. 这同在手掌上竖一根直杆, 随着直杆的倾斜灵活地移动手掌, 使直杆竖着不倒的游戏很相似. 骑自行车时, 不必担心前后倒, 只须考虑侧向的平衡就可以了, 所以说比玩直杆要轻松些.

另外, 自行车转弯时, 车身都要倾斜一定的角度. 自行车行驶时, 按右手螺旋的规则, 其车轮的角速度矢 ω 指向人的左方. 设车身稍稍向左倾斜, 则重力的力矩矢 M_0 指向车后, 由赖柴尔定理可知, 车轮的角速度矢 ω 向重力矩矢 M_0 方向偏转, 即轮向左转. 且

$$V = M_0$$

式中 V 是角速度矢 ω 的偏转角度. 所以车倾斜越大, M_0 越大, 则偏转的速度也越大. 当然后轮不能作这一进动, 只有前轮才能这样进动. 前轮既向左转, 自行车就左转弯, 结果出现一个向右的惯性离心力; 车身本来稍稍向左倾斜, 于是获得校正, 车身竖直. 同理, 设车身稍稍向右倾斜, 则前轮向右转, 自行车右转弯时, 出现向左的惯性离心力, 车身的右倾, 于是获得校正.

从以上简单的力学分析, 你也许能多掌握一些自行车运动的规律和一些安全骑车的学问.