

自行车功率函数及其模拟方法的优选

上海自行车四厂 刘有毅

关键词:模拟 线性阻抗 非线性阻抗 惯性阻抗

符 号 表

1. m —人一车系统总质量	17. ω —转鼓角速度
2. θ —斜坡升角	18. ω_k —风机角速度
3. g —重力加速度	19. k —风机变速箱升速比
4. μ —轮胎与地面的滚动摩擦系数	20. W_i —测试时后轴实际载荷
5. μ_t —后轮与金属转鼓的滚动摩擦系数	21. P —风机出口风压
6. C_x —空气阻力系数	22. Q —风机出口风量
7. ρ —空气密度	23. N_F —风机轴功率
8. A —人一车系统迎风面积	24. N —人一车系统总功率
9. V_F —逆风风速	25. N^i —假负载总功率
10. R —前、后轮半径(相等)	26. N_i —人一车系统克服第 i 项阻抗做功时的功率
11. J_1 —前轮转动惯量	27. N_i^i —克服第 i 项假负载阻抗做功时的功率
12. J_2 —后轮转动惯量	28. W_i —人一车系统克服第 i 项阻抗做功
13. γ —转鼓半径	29. J_j —转鼓系统中第 j 个零件的转动惯量
14. χ —人一车系统质心坐标	30. J_k —风机、变速箱内高速构件总转动惯量
15. $\dot{\chi}$ —人一车系统质心速度	31. ω_j —转鼓系统中第 j 个零件的角速度
16. $\ddot{\chi}$ —人一车系统质心加速度	

减薄,不能抵抗形变外力的作用。

3、材料焊口清理不良,焊接时挤压辊压力不够,结合线中杂质未被挤出,产生了结合线弱化,脆性增加。

4、材料存在成分带状偏析。

参考文献

1、毕惠琴;《焊接方法及设备》,机械工业出版社。

版社。

2、陈伯鑫;《焊接冶金原理》,清华大学出版社。

3、《金属材料缺陷金相图谱》,上海人民出版社。

(本文在撰写过程中,曾得到上海自行车三厂余献国同志的帮助,在此表示感谢)

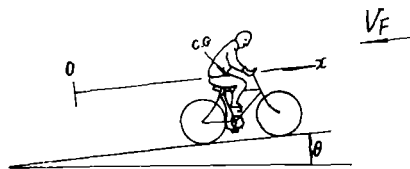
为了满足广大消费者对自行车新产品的越来越高的要求,近几年来,我们经过艰苦努力,开发成功了飞达牌 TH81 型内燃机助动自行车。现已投入大量生产。为了保证助动自行车的整车性能,需要对其起动性能,加速性能及最高车速等指标进行检测。以往只能选一条车辆较少的道路进行试验。但费工费时,且精度难保证,无法满足批量生产的需要。为此需要研制一种能够模拟道路骑行状态的整车测试设备——助动车转鼓测功机。

要研制助动车转鼓测功机,首先得掌握助动车在实际骑行状态下的功率消耗特性,并寻找到相应的模拟方法。事实上,无论是机器助动,还是人力驱动,助动车所需克服的外界阻抗是完全一致的。这就使我们有充分的理由相信:只要掌握了普通自行车在骑行中的功耗特性,并寻找到相应的模拟方法,我们就可以实现用试验机代替道路骑行,进行有关试验的愿望。

一、自行车在道路上行驶时的功率消耗特性

自行车在道路上直线行驶时,需克服五种阻抗:轮胎与地面之间的滚动摩擦阻抗,风力阻抗,惯性阻抗,爬坡阻抗及内部阻抗。其中的内部阻抗包含车架等的振动耗能,轴承内摩擦耗能等。由于此种阻抗在总阻抗中所占比例相当小,因此可以忽略不计。这样,主要的必须讨论的阻抗为四种。

在如图一所示的系统中,要使人 and 车的组合重心由原点 O 移至 x 点,必须克服上述四种阻抗作功。因此,其功率损耗也由此四个部分组成



图一

1、滚动摩擦阻抗消耗的功和功率

这是一种线性阻抗,系统克服这种阻抗所作的功为:

$$W_1 = \int mg\mu \cos\theta dx = \int mg\mu \cos\theta \dot{x} dt \quad (1)$$

对式(1)求导得:

$$N_1 = mg\mu \cos\theta \dot{x} \quad (2)$$

2、风阻消耗的功和功率:

这是一种非线性阻抗,系统克服这种阻抗所作的功和功率为:

$$W_2 = \int \frac{1}{2} C_x \cdot P \cdot A (V_F + \dot{x})^2 \dot{x} dt \quad (3)$$

$$N_2 = \frac{1}{2} C_x P A (V_F + \dot{x})^2 \dot{x} \quad (4)$$

3、惯性阻抗消耗的功和功率:

只要系统的速度 \dot{x} 不为零,则系统就具有平动动能和转动动能。其中的转动动能主要贮存于前、后轮。而链轮,由于惯量小且转速低,因此可以忽略其所贮存的很小的转动动能。

要使系统获得这两种功能,系统必须作功:

$$W_3 = \frac{1}{2} m \dot{x}^2 + \frac{1}{2} J_1 \left(\frac{\dot{x}}{R}\right)^2 + \frac{1}{2} J_2 \left(\frac{\dot{x}}{R}\right)^2 \quad (5)$$

对式(5)求导得:

$$N_3 = m \dot{x} \ddot{x} + \frac{J_1}{R^2} \dot{x} \ddot{x} + \frac{J_2}{R^2} \dot{x} \ddot{x} \quad (6)$$

4、爬坡阻抗所消耗的功及功率:

系统爬坡必然使其势能增强,为此系统也必须作功:

$$W_4 = \int mg \sin\theta \cdot \dot{x} dt \quad (7)$$

$$N_4 = mg \sin\theta \cdot \dot{x} \quad (8)$$

综上所述,人一车系统的总功耗为:

$$\begin{aligned} N &= N_1 + N_2 + N_3 + N_4 \\ &= mg(\mu \cos\theta + \sin\theta) \dot{x} + \frac{1}{2} C_x P A (V_F \\ &\quad + \dot{x})^2 \dot{x} + \left(m + \frac{J_1}{R^2}\right) \dot{x} \ddot{x} + \frac{J_2}{R^2} \dot{x} \ddot{x} \end{aligned} \quad (9)$$

令 $\theta=0, V_F=0$ 则:

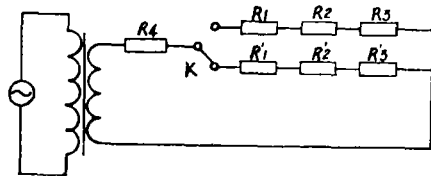
$$\begin{aligned} N &= mg\mu \dot{x} + \frac{1}{2} C_x P A \dot{x}^3 + \left(m + \frac{J_1}{R^2}\right) \dot{x} \ddot{x} \\ &\quad + \frac{J_2}{R^2} \dot{x} \ddot{x} \end{aligned} \quad (10)$$

式(10)即为自行车在风速为零,坡度为零的条件下,直线行驶时的功率方程。其右侧是 \dot{x} 及 \ddot{x} 的函数。它由线性、非线性及惯性三种成份组成。要用测功机代替道路试验,关键就在于如何用机械或电器装置来模拟功率方程中的各有关成份。

二、功率函数模拟的理论依据

自行车在行驶中,始终存在着功率的输入与消耗,其间包含着能量的平衡 就如图二所示的变压器系统一样。

自行车就象一个变压器,如果输入的功率为一定值,则变压器的初、次级间将达到一种平衡。图中 R_4 代表后轮的惯性阻抗。即式(10)右端第4项的内容。 R_1 为式(10)右端第1项的内容, R_1' 为其等效假负载。 R_2 为式(10)右端第2项的内容, R_2' 为其等效假负载。 R_3 为式(10)右端第3项的内容, R_3' 为其等效假负载。 K 为选择开关。



图二

为了用试验机来模拟道路试验,在试验机上必须有能代替式(10)右端有三项的假负载。而要在实用的速度范围内逼真地模拟道路试验,必须有:

$$\begin{cases} R_1 = R_1' \\ R_2 = R_2' \\ R_3 = R_3' \end{cases} \quad (11)$$

真假负载相等的主要条件: R_1', R_2', R_3' 与其对应的 R_1, R_2, R_3 具有一致的数学表达式。即函数的结构相同,系数相等。

三、假负载的选择

在实际的试验机上,可以选用不同的假负载。但假负载的特性将决定模拟的精度。真假

负载的数学表达式越接近,则模拟的质量越高,试验机的性能越好,越能真实地反映实际的骑行状态。因此,为了满足式(11)所给出的条件,应分别就式(10)右端第1、2、3项分别选择假负载。

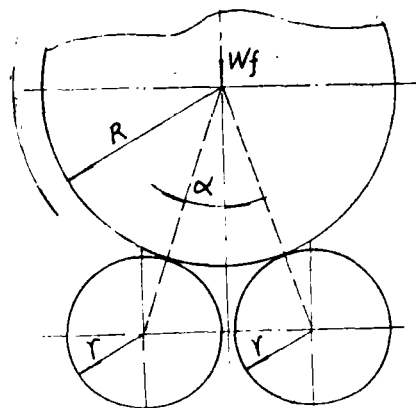
1、线性假负载的选择:式(10)右边第1项为线性函数。自行车的滚动摩擦阻力由四项目内容组成:

- (1)轮胎的变形、发热,发音所造成的能量损失;
- (2)轮胎和路面的相对滑动所造成的能量损失;
- (3)路面变形而造成的能量损失;
- (4)路面不平而造成的冲击损耗。

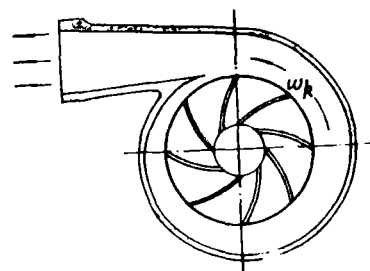
当后轮放置在金属制的转鼓上运动时(如图三所示),同样存在滚动阻力。主要由前2项组成。当轮缘线速度为 \dot{x} 时,其功耗为:

$$N_1' = W_f \cdot \mu f \cdot \dot{x} / \cos \alpha \quad (12)$$

当 $W_f \cdot \mu f / \cos \alpha = mg\mu$ 时,则满足式(11)中的 $R_1 = R_1'$ 的全部条件。真假负载相等。



图三



图四

2、非线性假负载的选择

式(10)右边第二项 $\frac{1}{2}C_x\rho\dot{x}^3$ 是 \dot{x} 的非线性函数。可以选用离心式风机来加以模拟。如图四所示。

通常,我们把风机的压力、流量、轴功率与转速之间的关系式,统称为通风机定律。其中有三条重要性质,使得风机能够充当非线性函数 $\frac{1}{2}C_x\rho A\dot{x}^3$ 的假负载。这三条重要性质是:

(1)通风机的流量与其转速成正比:

$$Q = K_1\omega_R \quad (13)$$

(2)通风机的压力与其转速的平方成正比:

$$P = K_2\omega_k^2 \quad (14)$$

(3)通风机的轴功率与其转速的立方成正比:

$$N_F = K_3\omega_k^3 \quad (15)$$

当风机用作假负载时

$$N_2' = N_F = K_3\omega_k^3 = k_3\left(\frac{k\dot{x}}{r}\right)^3 \quad (16)$$

只要 $K_3\left(\frac{K\dot{x}}{r}\right)^3 = \frac{1}{2}C_x\rho A$, 则 $R_2 = R_2'$ 的条件全部满足。真假负载等效。 K_3 由风机的结构参数决定。

此处值得一提的另一点是,由于 $Q = K_1\omega_R = K_1(K\dot{x}/r)$, 因此就有可能利用风机提供的风力,对助动发动机进行跟踪冷却。使整个模拟过程更接近实际骑行状态。

3、惯性假负载的选择:

式(10)右边第三项中包含 \ddot{x} 因子,是一种惯性负载,所选择的假负载也必须具有这种特性。这种假负载就是利用两个转鼓及其传动系统中的各个转动零件构成的。这种由转鼓、轴、风机转子、变速齿轮等构成的系统与自行车后轮相接触,并由后轮的摩擦来驱动。系统在任一时刻所贮存的动能为:

$$E_K = \sum_{j=1}^n \frac{1}{2}j_j\omega_j^2 \quad (17)$$

在整个惯性系统中,起动装置可采用超越离合器隔开。除了离心风机的叶轮、叶轮轴、变速器中的高速齿轮外,其余各构件均以 $\omega = \dot{x}/r$ 的角速度转动。而高速构件则以 $\omega_k = K\dot{x}/r$ 的角速度转动。其中 K 为一级齿轮传动的升速

比。

已知这些高速构件的总惯量为 J_k , 它们所贮存的动能为:

$$E = \frac{1}{2}J_k\omega_k^2 = \frac{1}{2}J_k \cdot k^2\dot{x}^2/r^2 \quad (18)$$

将式(18)并入式(17)可得:

$$E_k = \frac{1}{2}\left(\frac{\dot{x}}{r}\right)^2\left(\sum_{j=1}^{n-1}J_j + k^2J_k\right) \quad (19)$$

对式(19)求导可得:

$$N_3' = \left(\sum_{j=1}^{n-1}J_j + K^2J_k\right)\frac{\dot{x}}{r} \cdot \frac{\ddot{x}}{r} \quad (20)$$

令

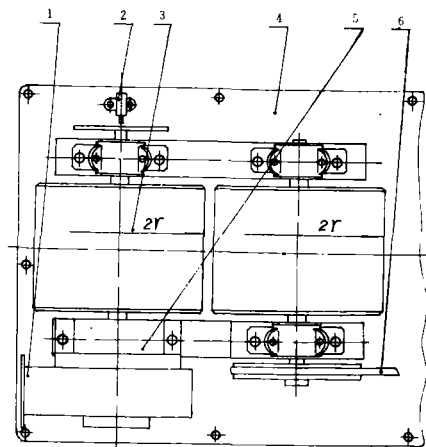
$$\left(\sum_{j=1}^{n-1}J_j + K^2J_k\right)/r^2 = m + J_1/R^2,$$

则满足 $R_3 = R_3'$ 的全部条件。

由于不论是在道路上行驶,还是在试验机上测试,后轮的转动情况是完全一致的。因此,式(10)右边第四项的假负载就可由真负载来充当。即: $R_4 = R_4$, 如图中所示的共用电阻 R_4 。

四、模拟装置的组合及使用

全套模拟装置如图五所示,图中部件 1 为离心风机,部件 2 为转速传感器,部件 3 为转鼓,部件 4 为底板,部件 5 为升速齿轮箱,6 为传动皮带,与起动电机相连。电机轴上可安装超越离合器。这套装置安装在底盘内。它包含了线性、非线性和惯性三种假负载。只要设计参数合理,真假负载是可以相等的。

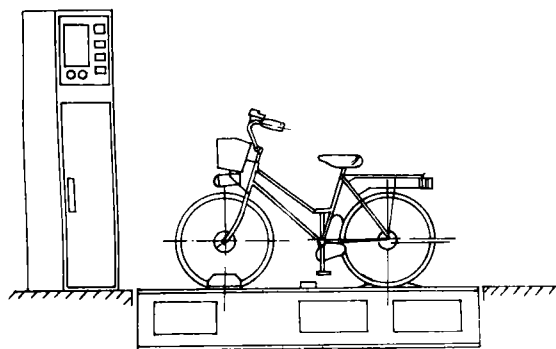


图五

测功机使用时,将助动车前轮用气动夹具夹紧,将后轮放于两转鼓上,骑手骑在车上测试。仪表板在测试者左前方的电器箱上部,便于读数,开关采用脚踏式开关。如图六所示。

五、结束语

转鼓测功机是模拟自行车实际骑行状态进行整车动态,性能检测的专用设备。为了进行比较精确的模拟,首先要找出自行车在实际骑行状态下的完整的功率消耗函数,即本文的式(9),然后,需要解决以下几个问题:



图六

1、功率函数的简化

这里所说的函数简化,其实质就是测试条件的简化。在式(9)中 $\theta \neq 0, V_r \neq 0$,展开后,存在 \dot{x}^2 项。需要用离心式摩擦耗能器来加以模拟。这样,测功机的构造就较复杂,成本也会上升,试制周期也较长。而将式(9)简化成式(10),

则可以避免这种情况。事实上,自行车在无风平坦路面上直线行驶时所反映出来的特性,已能准确地代表该车的综合性能。因此,这种简化是合理的。

2、选择假负载的原则。

真假负载的功耗函数的结构应相同,系数应相等。这样在实用的速度范围内,就能进行精确的模拟。

选择假负载的方法很多,可以选用机械的,也可以选用电器的。这里介绍的是机械的。我们首先考虑选用具有相似物理本质的假负载。真假负载的物理本质相似,决定了它们的消耗函数的结构也是相似的。经具体分析,就可以找到需要的结构。只要在结构设计时,计算正确,就能使真假负载相等。

上述分析方法对于其它模拟设备的设计也具有一定的参考价值。

注:在 J_j 中,当 $j=1,2$ 时,对应的 J_1, J_2 是惯性假负载系统中的两个元件的转动惯量,与前、后轮的转动惯量是两回事。

参考文献:

1、《自行车实用手册》第一分册[日]自行车产业振兴会编 邢玉民 李松操 译 轻工业出版社 1982年3月 统一书号:15042·1662

2、《通风机的使用与维修》张汉昶 编著 机械工业出版社 1985年5月 统一书号:15033·5692

▲ 新近出版的轻工业部蓝皮书《中国轻工业行业改组改造和投资指南》指出:

半封闭、小而全的企业结构,档次低、品种少的产品结构远不能适应国内外市场需求,实现一调四上(调节总量、上品种、上质量、上档次、上效益),提高市场竞争能力,扩大出口创汇,努力使我国成为真正的“自行车王国”。

实现零件标准化、配套件通用化、产品系列化,优先支持少数零部件厂生产达到合理经济规模。

改变现有多数整车厂生产零部件散装出厂的现状,采用先进技术和装备,加强自行车试验研究,提高自主开发和设计能力和整车组装出厂的能力,增强市场竞争和应变能力。

▲ 在北京百货大楼家用电器部举办的“93之春国产名牌自行车精品荟萃展销”中可以看出,人们对自行车的消费需求已趋于“时装化”,对牌号的追求趋于淡化。

“梦幻系列色”、“镭射系列色”、“理石系列色”、“五彩色”等深受青年人喜爱,其中理石蓝、理石红、理石粉及梦幻黑、梦幻蓝最为人们所喜爱。