

文章编号:1007-2934(2015)05-0004-03

马格努斯滑翔机运动的探索与研究

吴海娜, 苏卓, 骆凯, 王旗, 程显中

(东北大学, 辽宁 沈阳 110819)

摘 要: 通过建立模型和理论计算解释了马格努斯滑翔机运动轨迹的成因, 通过数据分析和实验验证给出马格努斯力的产生所需要的必要条件。

关 键 词: 马格努斯效应; 伯努利原理; 滑翔机

中图分类号: O 4-33

文献标志码: A

DOI:10.14139/j.cnki.cn22-1228.2015.005.002

高速旋转的球在空中飞行时其轨道会弯曲的现象称为马格努斯效应。这种现象在体育运动及炮弹飞行过程中是很常见的^[1-3]。生活中, 我们只需将两个纸杯底对底叠放, 并用胶带连接为一体, 马格努斯滑翔机就做好了。简单的小制作蕴含着深奥的科学原理, 平稳落地的马格努斯滑翔机, 怎么达到“滑翔”的效果? 如何探究这一运动效果的具体成因? 研究这一运动有何现实意义? 本文从实际试验出发, 建立物理模型, 从伯劳里方程出发, 采用力学推导, 建立起马格努斯滑翔机受力的数学表达式, 探讨在马格努斯力的作用下, 马格努斯滑翔机的运动轨迹影响参数。

1 实验设计及实验结果

将两个轻质杯子的底部粘在一起制作一个滑翔机。将一根弹性带子缠绕在滑翔机的中心并抓住余下的自由端。当握着滑翔机时, 拉伸带子的自由端然后释放滑翔机。你会观察到它一边自转一边又能够十分平稳的在空中降落。虽然飞的不是很高但从高空向下放飞它, 它依然能够平稳下落。



图 1(a) 实验轨迹

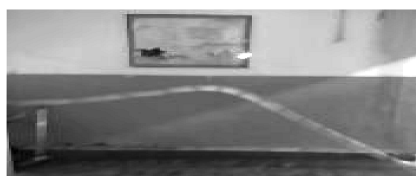


图 1(b) 实验轨迹

通过改变杯子的长度, 和发射力度, 在无风条件下, 根据实验现象发现杯子的长度增长, 杯子的升力增大, 而杯子的半径越小, 杯子的升力越小, 且弹簧弹力越小, 杯子旋转速度越小, 升力越小。我们得出推论: 当平动速度足够大, 空气阻力足够小, “滑翔机”会保持滑翔很长一段水平距离。杯子水平速度越大, 升力越大, 杯子转速越大, 升力越大。

2 理论解释

我们发现马格努斯滑翔机基于两个原理, 第一为马格努斯效应。当一个旋转物体的旋转角速度矢量与物体飞行速度矢量不重合时, 在与旋转角速度矢量和移动速度矢量组成的平面相垂直的方向上将产生一个横向力。在这个横向力的作用下物体飞行轨迹发生偏转的现象称作马格努斯效应。第二为伯努利原理, 这是在流体力学的连续介质理论方程建立之前, 水力学所采用的基本原理, 其实质是流体的机械能守恒。即: 动能+重力

收稿日期: 2015-06-25

基金项目: 辽宁省教育厅科学研究一般项目 (L2014099); 辽宁省普通高等教育内涵发展-专业建设专项 (跨校修读学分专项) (UPRPI2014024)

势能+压力势能=常数。其最为著名的推论为:等高流动时,流速大,压力就小。对于我们所要研究的马格努斯滑翔机,把机身当做一个圆柱体,则此圆柱体绕自身轴线旋转并且有流体在垂直于该轴线方向流过时,受到一个垂直于流动方向的横向力。

建立理论模型,用圆柱体代替滑翔机,获得一个前进的初速度和向后转动的转动角速度。

流过半径为 a 的圆柱的均匀流函数^[4-5]:

$$\Psi = -V_0 \frac{a^2}{r} \sin\theta \quad (1)$$

具有环量按照顺时针方向旋转的无旋流的流函数

$$\Psi = \frac{\Gamma}{2\pi} \ln r \quad (2)$$

均匀流和附着涡的流函数^[5]:

$$\Psi' = -V_0 \frac{a^2}{r} \sin\theta - \frac{\Gamma}{2\pi} \ln r \quad (3)$$

由伯努利方程,绕圆柱的压强分布:

$$P_a = \rho \frac{V_0^2}{2} \left[1 - \left(\frac{v_\theta}{V_0} \right)^2 \right] \quad (4)$$

又,柱体表面速度: $v_\theta = \frac{\partial \Psi}{\partial r} \Big|_{r=a}$

故升力:

$$L_0 = - \int_0^{2\pi} a p_a \sin\theta d\theta = \rho V_0 \Gamma$$

$$\Gamma = \oint_c v dl = 2\pi \omega r^2 \quad (5)$$

圆柱体受到空气阻力 R 升力 L 重力 G :

$$\vec{R} = -bv,$$

$$\vec{L} = \rho v_c \oint_s \vec{v} \cdot \vec{ds},$$

$$\vec{G} = mg_0.$$

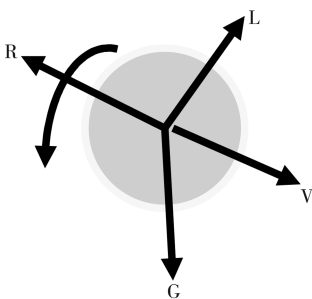


图2 受力分析

考虑角速度衰变:令 $L = \rho 2\pi r^2 \omega v_c = Q\omega v_c$, 由 $M = J\dot{\omega}$, 可得 $\omega(t) = \omega_0 \exp(-\frac{br^2}{J}t)$, 可以推出

$$m\ddot{x} + b\dot{x} + Q\omega(t)\dot{y} = 0 \quad (6a)$$

$$m\ddot{y} + b\dot{y} - Q\omega(t)\dot{x} + mg = 0 \quad (6b)$$

考虑水平射出时初始条件,初始位置坐标为零,水平速度为 v_0 。计算不同初速度初转速时使用代入实际数据求出轨迹图。

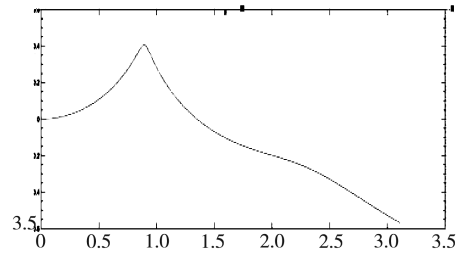


图3 (a) 初速度4.5 阻力系数0.02

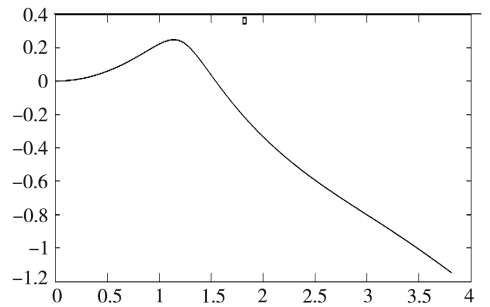


图3 (b) 初速度4.5 阻力系数0.015

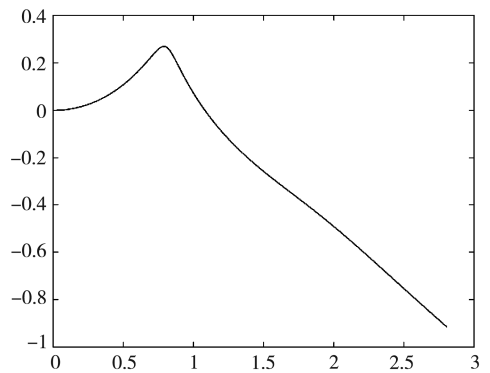


图3 (c) 初速度4.5 阻力系数0.03

根据图1的实验数据和图3的理论数据对照发现,两者符合得非常好,验证了理论分析的正确性。

3 结 论

自制的马格努斯滑翔机实验的用料和制作方

法非常简单,但其中却蕴含着有趣的科学原理。文章通过研究其受力分析,通过建立物理模型,分析其受力得到其运动轨迹方程,得出位移方程、马格努斯力所产生的横向位移与滑翔器的初速度、旋转角速度、空中飞行时间、质量、半径以、空气的密度、流体对球的阻力系数及粘性有关,并得到实验验证。研究此情形下的运动有一定实际意义,为众多飞行器及球类的运动提供借鉴。

参考文献:

[1] 于凤军. 马格努斯效应与空竹的下落运动[J]. 大学

物理,2012(9):19-21.

[2] 吕逢娇. 马格努斯效应在流量仪表上的应用[J]. 大学物理实验,2013(2):48-50.

[3] 于妍,王金平,刘若晗,等. 球类旋转对球轨迹的影响[J]. 中国科技纵横,2014(14):64.

[4] 李丰. 香蕉球的运动分析及方程推导[J]. 硅谷,2013(1):174.

[5] 吕逢娇. 马格努斯效应在流量仪表上的应用[J]. 大学物理实验,2013(2):3-5.

Exploration and Research on the Movement of Magnus Glider

WU Hai-na,SU Zhuo,LUO Kai,WANG Qi,CHENG Xian-zhong

(Northeastern University,Liaoning Shenyang 110819)

Abstract: Through the establishment of theatrical model,we explained the causes for Magnus glide trajectory. The necessary conditions for the force of Magnus are provided according to the data analysis and the experimental verification.

Key words: Magnus effect;Bernoulli's principle;glider