

滑翔机的盘旋问题探究

林冰心 周嘉豪 施展 陆杭军

(浙江师范大学数理信息与工程学院 浙江 金华 321004)

(收稿日期:2017-03-23)

摘要:应用力学知识,分析了滑翔机水平尾翼、安装角、垂直尾翼和机翼对滑翔性能的影响,特别是针对如何设计出滑翔机合适的盘旋进行了深入探究.从滑翔机滑翔现象中提取出物理问题,提供了把抽象的力学理论应用于实际系统的一个很好的范例,同时也对设计出高性能的滑翔机有很好的参考价值.

关键词:滑翔机 盘旋 竞时

1 引言

力学是一门古老而又重要的学科,是其他物理科目的基础.目前,学生一般都通过不断做题,阅读理论书来掌握力学相关知识点.学生很少有体会对力学知识学以致用经历.要找到一个能调动学生积极性,具有一定趣味性,同时大学低年级甚至高中生都能够理解的力学实践性课题是非常困难的.

滑翔机比赛项目是一个理论联系实际,能够很好锻炼大学生多方面能力的竞赛项目.滑翔机起源于20世纪20年代,各种飞机模型在如今大学生群体中热度很高,航空模型运动被列为首批重点国防体育项目,每年都举办全国性的航空模型比赛.特别值得一提的是,最近几年的浙江省大学生力学竞赛以火箭助推载重滑翔机竞时比赛为主要内容,极大提高了理工科大学学生学习力学的积极性,把所学理论知识和动手制作实践很好地结合起来.在比赛中滑翔机滑翔时因受到空气动力会使其姿态各异,火箭助推滑翔机属于竞时竞赛,需要滑翔机尽可能地保持在计时裁判员的视野内滑翔,这样滑翔机的盘旋设计便显得尤为重要.尤其是在高空中存在相对较大的风速时,除了考虑盘旋外,还要考虑滑翔机的稳定性,所以理论计算往往是复杂的.本文应用相关力学知识,分析了滑翔机的盘旋问题.这一工作既解决了滑翔机竞赛中一个盘旋设计的关键问题,同时

也提供了一个应用学过的力学理论知识解决实践项目中碰到的复杂问题的范例,能够让学生体会到理论联系实际的过程,有助于对力的平衡、力矩平衡、力学稳定性、空气动力学等相关力学知识的进一步理解,让学生能够了解理论应用到具体问题上时应注意的问题和困难,同时能够激发学生学习力学的兴趣,调动他们学习力学的积极性.

2 滑翔机简介

滑翔机在空中飞行时受到重力和空气动力,其中空气动力又包括作用在物体表面上的空气压力(垂直于物体表面)和空气与物体的摩擦力.在火箭助推过程中,首先在地面点火,由火药提供动力,助推火箭连带滑翔机迅速升空.当到达最高点时,反向喷火,完成火箭与滑翔机的脱离.于是,滑翔机开始进入滑翔姿态.随着滑翔机的姿态不断改变,这些力的相互关系也在不断改变,最后滑翔机应能保持一定的姿态做稳定的飞行.所谓稳定的飞行就是滑翔机的下滑角、倾斜坡度、盘旋半径及速度大小等始终不变或变化不大.

滑翔机结构如图1所示,其主要部件由机翼、尾翼、机身等组成.

(1) 机翼

机翼是滑翔机重要的部件之一,主要作用是滑翔机提供升力,如图1所示.

作者简介:林冰心(1996-),女,在读本科生.

指导教师:陆杭军(1976-),男,博士,主要从事凝聚态物理方面的研究.

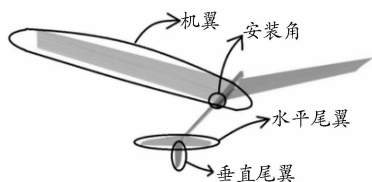


图1 滑翔机各位置示意图

(2) 尾翼

尾翼分为垂直尾翼和水平尾翼,垂直尾翼是用来保证模型飞机的纵向稳定性的.水平尾翼能够调节、稳定机尾气流,提供一部分升力,并通过提供力矩来调节飞机的俯仰.

(3) 安装角

如图2所示,安装角是以飞机拉力轴线为基准,机翼的翼弦线与拉力轴线的夹角,主要影响滑翔机的俯仰稳定性.

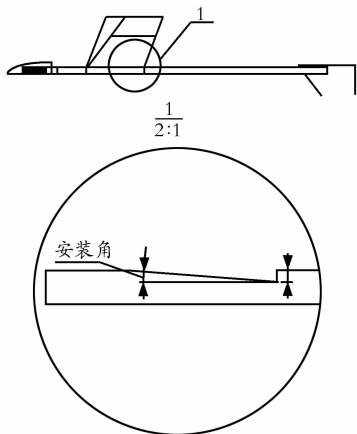


图2 安装角示意图

3 滑翔机的盘旋

滑翔机竞时比赛竞赛委员会规定飞行留空时间从火箭点火开始计时,到滑翔机着陆计时结束,且试飞场地在田径场.为了让滑翔机尽可能长时间地保持在计时裁判员的视线之内,在设计滑翔机时必然要考虑当滑翔机在稳定飞行时能够盘旋下滑.此外,盘旋飞行的姿态具有较好适应外界气流的能力.当滑翔机受到外界干扰而改变迎角时,在机翼升力增大(或减小)的同时,盘旋半径也会相应减小(或增大),使模型坡度加大(或减小),从而减小了波状飞行的机率,增大了飞行的稳定程度.那么,盘旋半径大小究竟与哪些因素有关呢?

假设滑翔机做向一侧倾斜的圆周盘旋运动,对其受力分析如图3所示,用公式表示为

$$L \cos \gamma = G$$

$$L \sin \gamma = F \tag{1}$$

其中, γ 是模型盘旋时的倾斜角, L 是滑翔机的等效升力, G 是滑翔机的重力.

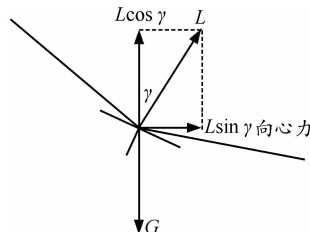


图3 滑翔机受力分析图

我们将滑翔机盘旋飞行的轨迹在平面的投影近似视为圆周运动,其必受一向心力.当假设滑翔机做向一侧倾斜的圆周盘旋运动时,这个作用在模型上的向心力就是图中机翼倾斜的升力的水平分力 $L \sin \gamma$. 设滑翔机重力为 G , 盘旋飞行速度为 v , 做转弯半径为 R 的圆周运动需要的向心力 F 为

$$F = \frac{G}{g} \frac{v^2}{R} \tag{2}$$

式中 g 为重力加速度,大小为 9.8 m/s^2 .

已知
$$L = \frac{1}{2} C_L \rho v^2 S \tag{3}$$

其中 C_L 是升力系数(主要与翼型形状、机翼平面形状、表面状态、雷诺数和迎角等因素有关), ρ 为空气密度, S 是机翼的面积.代入式(2)整理,得

$$R = \frac{2G}{g C_L \rho S \sin \gamma} \tag{4}$$

所以,由公式可知,滑翔半径与重力 G 大小成正比,与升力系数 C_L ,机翼面积 S ,空气密度 ρ 以及倾斜角 γ 的正弦成反比.所以若要控制盘旋半径,便要控制这些相关因素.

当选定了滑翔机最佳机型后,其升力系数 C_L ,机翼面积 S 便已唯一确定,所以这两个因素无法进行大幅度改变.而它的重力大小 G 在微小的范围内是可调的,但若调整幅度过大会导致整架滑翔机数据的大幅改变,因此,由于调整的幅度十分有限,一般不采用调整重力大小的方式来改变盘旋半径.所以要想掌控良好的盘旋半径,调整滑翔机的倾斜角 γ 至关重要.

4 实现盘旋的途径

由以上分析得,对盘旋半径的控制主要控制因

素为倾斜角 γ . 其原因为当盘旋半径减小时, 倾斜角 γ 增大, 所以滑翔机在大坡度急转弯时容易出现盘旋下坠的现象. 同时, 下沉一侧的机翼与相对气流的迎角超过了临界迎角而失速, 使上反角的作用丧失, 所以滑翔机的横向稳定性对小半径、大坡度盘旋引起的下坠现象起不了克服作用.

综上, 在设计滑翔机盘旋半径时, 需要解决的主要难题是如何防止滑翔机进入过大坡度飞行. 经过分析研究总结, 我们给出如下 4 种实现盘旋飞行的方法.

a. 倾斜水平尾翼

水平尾翼倾斜安装后, 其产生的辅助升力 $L_{尾}$ 在水平方向上的分力 $L_{x尾}$ 对重心的力矩将使模型转弯飞行.

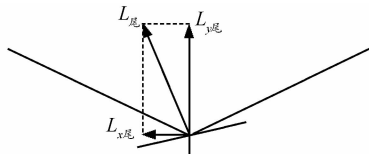


图 4 倾斜水平尾翼示意图

b. 减小盘旋飞行时内侧机翼的安装角

安装角的大小决定飞机在滑行时机翼和机身的迎角差, 迎角与升力系数的关系如图 5 所示. 假设滑

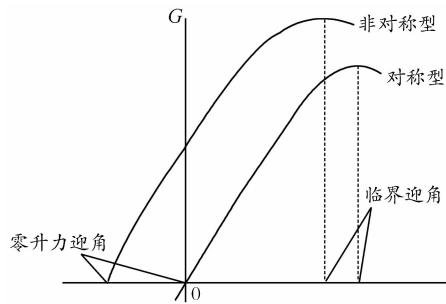


图 5 迎角与升力系数关系图

翔机处于最小阻力的临界迎角飞行, 此时减小一侧机翼的安装角, 则这侧的升力也随之减小, 飞机开始盘旋.

c. 偏转垂直尾翼

滑翔机高速飞行时, 只要稍稍偏转垂直尾翼, 迎面而来的气流就会对垂直尾翼产生很大的阻力 $F_{阻}$, 阻力对重心的力矩很容易改变飞行方向. 这种只让机头转而整体不转的盘旋称为侧滑.

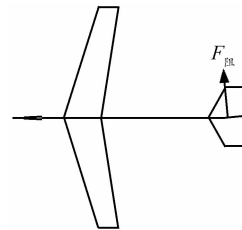


图 6 偏转垂直尾翼示意图

d. 外侧机翼前移

当一侧机翼前置时, 两片机翼产生升力 L_x 的水平分力不再作用于机身上的同一点, 无法相互抵消, 反而产生对重心的微小力矩, 使滑翔机偏转, 达到盘旋飞行的效果.

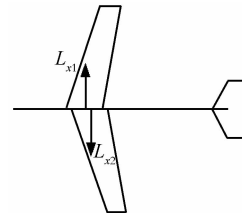


图 7 外侧机翼前移示意图

5 盘旋方法的评估

经不同方案的实际制作, 于同一高度进行飞行实验, 得到实验数据如表 1 所示.

表 1 4 种方案的实验数据

方案	飞行时间 /s						平均时间 /s	飞行状态
	8.5	7.5	8.9	10.7	5.5	6.8		
a	8.5	7.5	8.9	10.7	5.5	6.8	7.983 3	盘旋半径过大, 几乎无盘旋便飞离视线
b	13.5	15.8	10.3	23.5	16.5	11.2	15.133 3	盘旋良好, 但下沉速度较快
c	10.5	11.6	8.1	5.3	8.9	10.0	7.400 0	盘旋时好时坏, 很容易侧滑下坠
d	16.3	20.5	13.6	18.0	19.2	25.3	18.816 7	盘旋良好, 有较好的飞行姿态

就此 4 种方案实验所得数据分析其优缺点:

a. 倾斜水平尾翼

一般来说, 水平尾翼产生的升力较机翼产生的

升力可忽略. 因此, 通过倾斜水平尾翼不足以提供足够的向心力, 或者说产生的盘旋半径会很大, 无法达到让滑翔机保持在限定视线内的目的.

b. 减小盘旋飞行时内侧机翼的安装角

以牺牲部分升力为代价,使滑翔机整体倾斜,充分发挥了盘旋飞行的稳定性优势.但是,滑翔机的经济迎角一般在 3° 左右,在此基础上想要减小安装角,实际制作中达不到这么高的精度.

c. 偏转垂直尾翼

由于滑翔机飞行速度较快,垂直尾翼稍稍偏转就会受到很大的空气阻力,使滑翔机出现明显的侧滑.但对垂直尾翼的强度要求特别高,而且侧滑的幅度也不容易控制.

d. 外侧机翼前移

当外侧机翼前移,升力的水平分力必定会产生对重心的力矩,并且,即使只有微小的力臂,只要升力足够大,就能够使滑翔机偏转.不过这种方法也只是让机头转,整机仍保持水平.

综上所述所列4种能够实现盘旋的途径,a和b两种都是通过倾斜滑翔机达到盘旋,c和d则是通过扭转机头达到盘旋.考虑滑翔机具有一旦掷出就不能人为调整其飞行姿态的特殊性,以及实际制作中能够达到的精度水平,可将前置盘旋飞行时外侧机翼,同

时减小内侧机翼的安装角,使滑翔机即有扭转机头的动作,又有整机倾斜辅助盘旋,达到理想的盘旋姿态,并且充分发挥了盘旋飞行适应外界气流的能力.

故推荐b和d两组方案结合使用.

6 总结

我们利用力学基本知识分析了滑翔机盘旋滑翔的过程,提供了盘旋滑翔设计思路与方案,并对不同方案进行评估,得到了一些有用的结果.本文中的滑翔机盘旋设计特别为大学生在参加滑翔机竞时一类比赛中提供了可靠的理论依据.另外,理论分析和动手实践这个过程能够紧紧抓住学生的兴趣,使学生有动力、有信心来探索滑翔机滑翔飞行背后的一些力学原理.

参考文献

- 1 马丁·西蒙斯. 模型飞机空气动力学. 北京:航空工业出版社,2007.109~111
- 2 张国强,吴家鸣. 流体力学. 北京:机械工业出版社,2006.90~93
- 3 谭楚雄. 模型飞机调整原理. 北京:航空工业出版社,2007.26~34

(上接第63页)

华大学出版社,2010

- 3 董键. Mathematica与大学物理计算(第2版). 北京:清

In-depth Research on the Dynamic Issue in Rough Bowl Wall(II)

Ni Feng

(Deqing Senior high school, Huzhou, Zhejiang 313200)

Abstract: The author deduced the relationships between angular velocity ω and angle of turn θ and drew the picture of ω with θ in the in-depth dynamic research in rough bowl wall(I). We can get corresponding ω and velocity v in the different orbit positions when the object rolls down from A point in the rough bowl wall to the position with zero velocity for the first time. In order to research the dynamic in rough bowl wall deeply, in this paper we calculate and draw the pictures of θ with t and ω with t by Mathematica when the object do anticlockwise motion. We can get corresponding θ , ω and v accurately in different time from the pictures.

Key words: rough bowl wall; a vertical track; dynamic; the second order ordinary differential equation; mathematica