

机载光电平台风阻分析

刘家燕

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 长春 130033)

摘 要: 机载光电平台安装在飞行器外部, 以捕获、跟踪和记录地面目标, 并获取图像; 还用于目标测角和目标自动跟踪。光电平台必须克服任何外部阻力的扰动, 使其内部的光学系统光轴保持稳定。在一定的飞行条件下, 光电平台在空中随飞行器飞行时, 会产生作用于自身的空气阻力, 空气阻力对光电平台旋转体-方位轴和俯仰轴的影响很大, 为确保视轴的稳定, 保证设备的跟踪和成像质量的同时, 减轻重量, 合理选择转轴的驱动元器件, 必须对光电载荷平台所受空气阻力及风阻力矩进行分析、计算。

关键词: 光电平台; 空气阻力; 风阻力矩

中图分类号: TH123

文献标识码: A

文章编号: 1672-9870 (2011) 02-0080-03

Drag Analysis of Airborne Photoelectric Platforms

LIU Jiayan

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Changchun 130033)

Abstract: The airborne photoelectric platform is mounted on aircraft to capture, track and record targets on the ground, and obtain the images of the target. It also measure locations of the target and follow the target automatically. Airborne photoelectric platform must overcome any disturbances to keep the stabilization of line of sight of optical system. Under certain air conditions, airborne photoelectric platform is affected by air drags, which can influence axis of azimuth and pitch greatly. To keep the stabilization of line of sight and guarantee tracking and image quality, to alleviate weight, as well as to select driving component reasonably, air drag and drag torque acted on airborne photoelectric platform must be analyzed and calculated. This article introduces a method of the drag analyzing and calculating.

Key words: photoelectric platform; drag; drag torque

机载光电平台(简称光电平台)为光学系统的载体, 通常挂在直升机或无人机下面, 对地面目标实施捕获、跟踪和记录, 光电平台安装在飞行体上, 具有一定的飞行速度, 其速度远大于风速, 由此会带来一定量的空气阻力(以下称为风阻), 其为光电平台被扰动的关键, 为了保证光学系统光轴稳定, 成像清晰, 光电平台设有控制驱动系统。由此要求光电平台为流线型的外形, 结构紧凑, 重量轻, 提高载荷比, 定性分析风阻所带来的影响, 定量计算风阻力矩为控制元件电机的合理选择提供依据, 从而使光电平台轻量化。

1 机载光电平台的结构

机载光电平台通常安装在飞行体的下部, 如图 1

画线处, 简易结构示意图如图 2 所示, 1 方位旋转轴、2 方位驱动元件、3 方位旋转体、4 俯仰旋转体、5 俯仰驱动元件、6 俯仰旋转轴、7 光学系统, 光学系统安装在俯仰旋转体内, 俯仰旋转体相对方位旋转体可 $\pm 90^\circ$ 旋转, 与方位旋转体共同 360° 转动, 以便对目标进行搜索, 并实施捕获、稳定跟踪和图像记录。球体直径 $\phi 300\text{mm}$, 平台高度 460mm , 方位旋转轴直径 $D = \phi 80\text{mm}$, 俯仰旋转轴直径最大 $D = \phi 60\text{mm}$ 。

2 机载光电平台风阻及风阻力矩分析计算

一般无人机的飞行速度为 $170\sim 220\text{km/h}$ 即 $47.2\sim 61.1\text{m/s}$; 直升机的飞行速度为 $200\sim 300\text{km/h}$

收稿日期: 2011-02-16

基金项目: 国家 863 高科技研究发展计划项目 (2008AA121803)

作者简介: 刘家燕 (1968-), 女, 高级工程师, 主要从事机械结构设计的研究, E-mail: liujy_224@sina.com。



图1 机载光电平台挂飞图

Fig.1 The airborne photoelectric platform mounted on aircraft

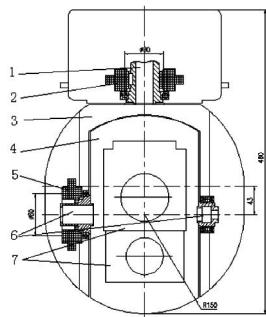


图2 光电平台结构示意图

Fig.2 The airborne photoelectric platform structure

即 55.6~83.3m/s；设最高飞行高度 6000m。

风阻，即飞行体在空气中所受力公式 R

$$R = C_R \rho \frac{V^2}{2} F \quad (1)$$

式中： C_R —总空气动力系数；光电平台按圆球形状，《飞机的飞行原理》中查表： $C_R=0.48$ ； ρ —空气质量密度， $\text{kg s}^2/\text{m}^4$ ；根据不同的飞行高度，《航空机械设计手册》查表可得； V —空气速度或者物体运动速度， m/s ； F —最大切面积， m^2 。

光电平台是挂在飞行器的下面，转动球体外露，其受力除其自身所需加速力矩外，关键是飞行体飞行过程中所受风阻。光电平台在实际应用时，通过对方位和俯仰两轴的控制，来保证其稳定，风阻对光电平台的影响，关键是作用在方位和俯仰轴的风阻力矩。

力矩 M 的计算公式

$$M = RL \quad (2)$$

式中：

R—空气阻力，N；

L—阻力臂，m；

对于体密度为 $\mu(x, y, z)$ 球体 Ω ，对坐标面的质心 $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$ 为

$$\bar{x} = \frac{M_{yz}}{M} = \frac{\iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) x dV}{\iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) dV} \quad (3)$$

$$\bar{y} = \frac{M_{zx}}{M} = \frac{\iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) y dV}{\iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) dV} \quad (4)$$

$$\bar{z} = \frac{M_{xy}}{M} = \frac{\iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) z dV}{\iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) dV} \quad (5)$$

M_{yz} 、 M_{zx} 、 M_{xy} 为体密度为 $\mu(x, y, z)$ 球体 Ω ，对坐标面的静力矩

$$M_{yz} = \iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) x dV \quad (6)$$

$$M_{zx} = \iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) y dV \quad (7)$$

$$M_{xy} = \iiint_{\Omega} \mu(x, y, z) z dV \quad (8)$$

由以上公式可计算出，球心在坐标原点的，直径为 D 半球的质心 $(0, 0, \frac{3D}{16})$ ，因此半球体的风阻力矩公式，

$$M_{\text{风阻}} = R \times \frac{3D}{16} \quad (9)$$

以下关于风阻及风阻力矩的分析计算中，将光电平台近似为一个密度均匀的球体。

2.1 方位轴的风阻力矩分析计算

光电平台方位旋转体近似为两个 SR150mm 的分开半球体和中间高度为 43mm 的圆柱体的连接，外形及尺寸可参考图 2，迎风面积：

$$F = \frac{\pi D^2}{4} + L \times D = \frac{\pi \times 0.3^2}{4} + 0.3 \times 0.043 = 0.084 \text{m}^2$$

通过以上公式，在飞行条件改变时(简单列举四个数据计算)，光电平台方位旋转体风阻数据见表 1。

由表 1 可知，飞行速度 300km/h(83.3m/s)，飞行高度 5000km 时，飞行体受力最大。

如图 4 所示，光电平台随飞行器一同按某一个指定方向飞行，风阻如图标注。光电平台的方位旋转是以图中两点划线的交点为中心，球体迎风一面所受风阻以此转轴为轴对称分布，由此，风力对方位轴的旋转没有增加其扭矩，但对方位轴产生了正压力，产生方位轴的摩擦力，转动摩擦系数 0.004，旋转轴直径 $D = \phi 80 \text{mm}$ ，针对以上求解，最大旋转摩擦阻力矩计算如下：

$$f_{\text{风阻}} = R \mu = 9.652 \times 0.004 = 0.039 \text{kg} = 0.39 \text{N}$$

$$\text{旋转摩擦阻力矩 } M_{\text{风阻摩擦}} = f_{\text{风阻}} D/2 = 0.39 \times 0.04 = 0.016 \text{Nm}$$

由此，风阻给方位轴所带来的力矩为 0.016Nm。

表1 光电平台方位旋转体的飞行条件、风阻对照表

Tab.1 The air conditions and air drags of the airborne photoelectric platform azimuth

飞行速度 V(m/s)	飞行高度 (m)	环境温度 T °K	大气压力 B (mmHg)	空气质量 密度ρ (kg s ² /m ⁴)	风阻 R (kg)
61.1	500	284.9	715.96	0.119	8.956
61.1	5000	255.6	405.37	0.069	5.193
83.3	5000	255.6	405.37	0.069	9.652
83.3	6000	249.1	354.13	0.062	8.673

实际方位加速力矩 $M_{\text{加速}}=0.05\text{Nm}$, 摩擦力矩为轴系所带来的, 包括轴承、编码器组、方位轴的导电环等, 取摩擦力矩 $M_{\text{摩擦}}=0.03\text{Nm}$, 方位轴所需总力矩 0.1Nm , 当海拔低时, 相应的空气质量密度要加大, 或者飞行速度增加, 风阻力矩还要有所增大。

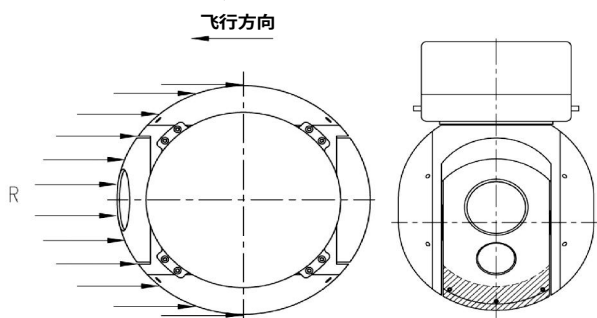


图4 光电平台俯视图 图5 光电平台主视图

Fig.4 The planform of the airborne photoelectric platform Fig.5 The front of the airborne photoelectric platform

2.2 俯仰轴的风阻力矩分析计算

光电平台的俯仰旋转为图2中俯仰旋转体4, 图5中间部分, 以图中水平点划线为旋转轴, $\phi 300$ 球体的一部分, 最大切面积为 0.046m^2 , 飞行时正前方被遮挡了一部分, 为图5中阴影的轴对称部分, 阴影部分的面积为 0.0072m^2 , 由此迎风面积为 0.039m^2 , 在飞行条件改变时, 光电平台俯仰旋转体风阻数据计算见表2。

如图6所示, 光电平台随飞行器一同沿某一个

表2 光电平台俯仰旋转体飞行条件、风阻对照表

Tab.2 The air conditions and air drags of the airborne photoelectric platform pitching

飞行速度 V(m/s)	飞行高度 (m)	环境温度 T °K	大气压力 B (mmHg)	空气质量 密度ρ (kg s ² /m ⁴)	风阻 R (kg)
61.1	500	284.9	715.96	0.119	4.158
61.1	5000	255.6	405.37	0.069	2.411
83.3	5000	255.6	405.37	0.069	4.481
83.3	6000	249.1	354.13	0.062	4.027

方向飞行, 风阻如图标注。光电平台的俯仰旋转是以图中两点划线的交点为中心, 球体迎风一面所受风阻上方被阻挡了一部分, 由此, 风阻对俯仰轴增加了扭矩—风阻力矩, 被遮拦部分所产生的风阻最大为 $4.481 \times 0.0072 / 0.046 = 0.70\text{kg}$, 风阻所带来的风阻力矩,

$$M_{\text{风阻}} = R \times \frac{3D}{16} = 0.70 \times 9.8 \times 3 \times 0.3 / 16 = 0.386\text{Nm}$$

同样对俯仰轴产生了正压力, 增加了俯仰轴的摩擦力, 转动摩擦系数 0.004 , 旋转轴直径 $D = \phi 60\text{mm}$, 最大旋转摩擦阻力矩的计算如下,

$$f_{\text{风阻}} = R\mu = 4.481 \times 0.004 = 0.018\text{kg} = 0.18\text{N}$$

旋转摩擦阻力矩 $M_{\text{风阻摩擦}} = f_{\text{风阻}} D / 2 = 0.18 \times 0.06 / 2 = 0.0054\text{Nm}$

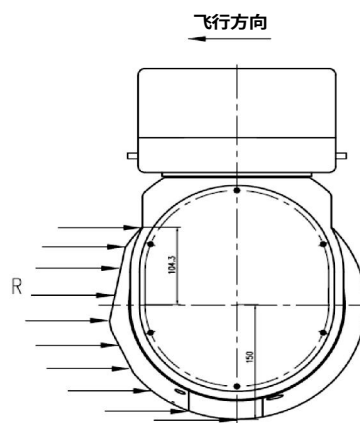


图 光电平台侧视图

Fig.6 The side-glance of the airborne photoelectric platform

由此, 风阻给俯仰轴所带来的风阻力矩为 0.386Nm 。实际俯仰加速力矩 $M_{\text{加速}}=0.03\text{Nm}$, 摩擦力矩为轴系所带来的, 包括轴承、编码器组等, 取摩擦力矩 $M_{\text{摩擦}}=0.02\text{Nm}$, 俯仰轴所需总力矩 0.4Nm , 当海拔低时, 相应的空气质量密度要加大, 或者飞行速度增加, 风阻力矩还要有所增大。

2.3 特殊位置的分析计算

平台只露出一半时, 对方位轴没有带来风阻力矩, 但对俯仰轴却带来了最大的风阻力矩:

$$M_{\text{风阻}} = R \times \frac{3D}{16}$$

对于 $D=300\text{mm}$ 的球体, 飞行速度 300km/h , 5000m 高空时的俯仰风阻为:

$$R_{\text{俯仰}} = C_R \rho \frac{V^2}{2} F = 0.48 \times 0.069 \times (83.3^2 / 2) \times 0.023 = 2.643\text{kg}$$

(下转第 89 页)

表 1 磁耦合与光电耦合比较

Tab.1 Magnetic coupling and photoelectric coupling comparison

	磁耦合	光电耦合
速度	比较高	比较低
功耗	很低,约为光耦的十分之一左右	比较高
体积	为光耦的百分之四十	比较大
价格	为光耦的百分之四十	比较贵
灵活性	非常高 能同一芯片实现正反双向通道	比较低

的操作模式:BasicCAN 模式(和 PCA82C200 兼容)和 PeliCAN 模式。BasicCAN 模式可以在 PCA82C200 开发的软件与硬件直接互连不需要对设置做任何更改,该模式是上电后默认的操作模式,它同时能够处理所有 CAN2.0B 规范的帧类型,而且它还具有一些更强的功能,使其适用于更广泛的领域。SJA1000 操作最主要的功能由三个部分组成:初始化、发送帧和接收帧。

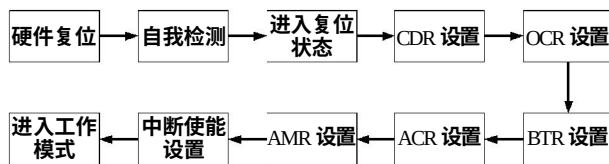


图 3 SJA1000 初始化顺序

Fig.3 SJA1000 initialization sequence

CAN 总线的初始化设置是保证正常通信的最首要的条件,初始化方式如图 3 所示。对于节点的波特率的设置是非常重要的,每个节点处的波特率必须保持一致否则通信无法正常进行,而其他设置则

必须保证在复位的情况下完成。硬件复位是保证在复位管脚处出现一个高低电平的变化,并保持的过程。

5 结论

通过实验证明,该通信方式解决了传统串行通信过程中失败率和误码率都很高的缺点,CAN 总线特有的容错机制可以使我们在查询检测和排除错误的过程中更加的方便。在针对足球机器人这种对于策略选择实时性和控制精确性都相当高的领域来说,优势相当明显。

参考文献

- [1] 李雪源,陈万忠.基于 ASEJ1939 协议的 CAN 总线通信技术及应用 [D].中国优秀硕士学位论文全文数据库,2005.
- [2] 耿方新,傅家林.CAN 总线控制器的研究与设计 [D].中国优秀硕士学位论文全文数据库,2010.
- [3] Sohn S D,Seong P H.Quantitative Evaluation of Safety Critical Software Testability Based on Fault Tree Analysis and Entropy [J]. Systems and Software,2004,73 (2) : 351- 360.
- [4] 牟学刚,朱劲,蒋平.三轮全向足球机器人结构设计与系统模型研究 [J].机械与电子,2006 (5) :38-41.
- [5] 余群名,王会方,张骏,等.足球机器人运动控制算法研究 [J].湖南大学学报:自然科学版,2006,33 (6) :42-45.
- [6] 吴宪兵.足球机器人运动控制研究 [J].机床与压,2009,37 (1) :128-130.

(上接第 82 页)

俯仰风阻力矩

$$M_{\text{风阻俯仰}} = R \times \frac{3D}{16} = 2.643 \times 9.8 \times 3 \times 0.3 / 16 = 1.457 \text{ Nm}$$

俯仰轴所需总力矩除 0.4Nm 外,还需增加 1.457Nm,共 1.857Nm。

3 结论

以上分析计算针对于两轴两框架光电平台,由于使用条件的不同,风阻对其两轴的影响是大不相同,尤其是俯仰轴,风阻力矩是关键阻力矩。通过风阻分析,光电平台能够合理选择其驱动元件,减少重量,更好地保证其性能的发挥。

参考文献

- [1] 叶菲莫夫.飞机的飞行原理 [M].熊海泉,等,译.北京 国

防工业出版社,1960.

- [2] 第三机械工业部.航空机械设计手册 [M].北京 国防工业出版社,1974.
- [3] 潘锦珊,方人淞,申振华,等.气体动力学基础 [M].西安:西北工业大学出版社,1989.
- [4] 石清,李桦.飞行器空气动力特性的综合评估方法研究 [J].空气动力学学报,2009,27 (3) :271-274.
- [5] 李素循.近空间飞行器的气动复合控制原理及研究进展 [J].力学进展,2009,39 (6) :740-755.
- [6] 樊菁,蒋建政.远程超低飞行轨道分析 [J].力学学报,2009,41 (4) :449-454.
- [7] 鲍文亮,黄显林.多框架光电平台动力学建模及耦合分析 [J].哈尔滨工程大学学报,2009,30 (8) :893-897.
- [8] 张建辉,杨炯.高速列车受电弓减阻的风洞试验研究 [J].铁道科学与工程学报,2010,7 (6) :116-121.
- [9] 黄波,黄大庆.无人机光电平台技术指标设计方法 [J].信息化研究,2010,36 (11) :26-28.