

车载光电侦察系统升降平台设计

蔡 荣, 祁 蒙, 李利亚
(华北光电技术研究所, 北京 100015)

摘 要:结合车载光电侦察系统的发展需求,针对国内现有某型车载侦察系统存在的升降高度低、低温环境工作能力差等问题,对系统升降平台单元进行了多方面的分析。从升降平台的机械结构和驱动方式入手,介绍了升降平台改进设计的思路和方法,并举例说明,对升降平台改良设计的方案和方法进行了验证。

关键词:车载;光电侦察系统;升降平台

中图分类号:TN97 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2014.03.011

Design of the lifting platform of vehicular electro-optical reconnaissance system

CAI Rong, QI Meng, LI Li-ya
(North China Research Institute of Electro-optics, Beijing 100015, China)

Abstract: In order to increase the lifting range and low-temperature-environment adaptability of vehicular reconnaissance system, the lifting platform is analyzed in detail. From the mechanical structure and drive mode of the lifting platform, the improved design method of lifting platform is presented, and one example is illustrated. The improved design method is verified by practical engineering project.

Key words: vehicular; photoelectric reconnaissance system; lifting platform

1 引言

光电侦察系统是现代战争不可或缺的组成部分,而光电系统车载化更是提高了它的机动性与灵活性,使其能够快速侦察、定位、识别多种威胁,更好地隐蔽自己,提高生存能力,弥补大型系统的不足。随着车载侦察系统引入越来越多电子设备的发展需求,对载车的设计也提出了更高的要求。

升降平台作为车载系统的一个重要组成单元,主要用于承载光电侦察系统,为其提供一个升降高度可以调节的稳定支撑。光电侦察系统需在高稳定精度下工作,因此升降平台在设计过程中需要考虑的因素较多,如升降平台的受力情况、结构形式、驱动方式、线缆连接等。增加升降平台的升降高度,提高其环境适应性,是缩小车载侦察系统与国外同类产品差距的关键因素。

2 结构组成和工作原理

车载升降平台结构组成的关键要素包括结构形式和驱动形式的选择与设计,不同的组合具有各自的特点,能满足不同的工作要求。

2.1 结构形式

目前常用的车载升降平台结构主要有折叠式和伸缩式两种,不同的结构特点适用于不同的使用要求和条件。伸缩式升降平台采用电动、气动和液压三种驱动方式,其升降速度较折叠式快,但举升承载能力相对较小,适于承载体积质量相对较小的光电仪器、通信天线等设备;折叠式升降平台以剪刀

作者简介:蔡 荣(1977-),女,工程师,主要从事光电探测系统和伺服平台结构设计。E-mail:qrwen@sina.com
收稿日期:2013-05-14;修订日期:2013-07-17

叉式结构为主,多采用液压驱动,具备较高的升降高度、承载能力和抗风性能。提升升降平台的升降高度,其结构高度和体积上增加量也相对较小。

因此,结合本文中载车光电侦察系统负载重量较大、升降高度较高、车内安装空间较小的特点,在原有车载系统升降平台的结构形式上选用折叠式升降结构。

2.2 驱动形式

车载升降平台大多数采用液压驱动的方式完成平台的升降功能,工作过程中可能存在以下缺陷:

(1) 液压驱动举升力大,承载能力强,但升降速度较慢,在满足战场准备和撤收时间要求方面有所欠缺;

(2) 液压油具有可压缩性,液压系统中的密封件也会产生泄露,这些因素都会导致升降平台位置不稳定,从而影响光电设备的稳定性,使图像产生抖动;

(3) 液压油黏度系数随着温度变化的特性会导致液压油在低温环境下出现流动性差甚至固化的现象,严重时导致液压系统无法工作,增加车载系统低温环境工作的风险;

(4) 液压系统较难维护,维护周期短,维护工作量大。

气压驱动虽然在维护上优于液压,但是气体压缩性强,受压力和温度影响,体积变化更大,很难满足设备的稳定性要求,因此更不宜使用。

电机驱动则能较好地克服液压驱动所存在的缺点,且环境适应性强,适合本方案选用。

2.3 电动剪式升降平台工作原理

根据车载侦察光电系统升降平台存在问题及增加升降高度的需求,以国内现有某车载侦察系统为例,围绕升降平台的机械结构形式与驱动方式进行改进设计,新方案采用电动剪式升降机构,如图1所示(以三个剪叉组件为例)。

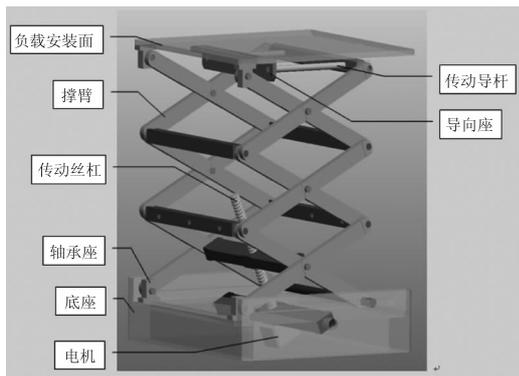


图1 组成原理图

电动剪式升降机构由剪叉组件、驱动电机、负载安装板及底座等组成。剪叉组件为对称结构,由多个撑臂通过轴承铰接而成,其固定端与轴承座铰接,移动端通过传动导杆实现水平平移;驱动电机通过传动丝杠提供水平方向推力,从而实现平台的上升和下降。剪叉组件的数量及撑臂的长度决定了升降平台的升降高度。

3 设计计算与实例分析

3.1 车载升降平台设计与计算

3.1.1 升降平台结构尺寸计算

对图1所示的电动剪式升降机构建立坐标系并进行受力分析,如图2所示。

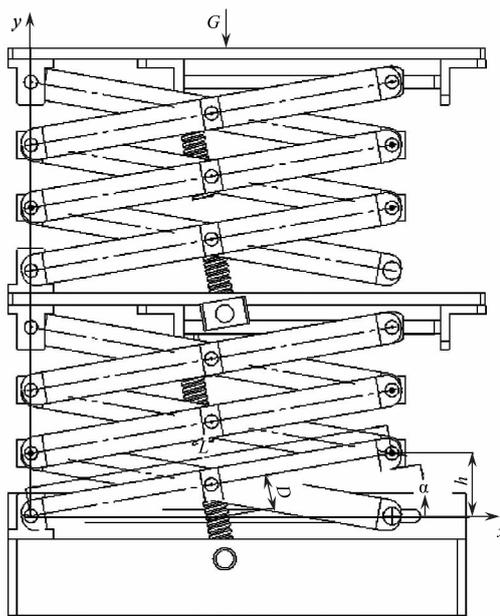


图2 运动结构简图

由图2可知:

$$L = h / \sin \theta \quad (1)$$

$$D = \frac{L}{2} \times \tan \theta \quad (2)$$

其中, L 为撑臂长度; θ 为撑臂与水平面夹角; h 为单剪叉升程高度; D 为丝杠移动位移。

为提高升降台的工作行程 H (即转台安装面高度方向的最大位移),同时降低电机的驱动负载,升降台采用多段剪叉机构组合而成,每段剪叉机构由一个电机驱动,各段之间由固定平板连接,以提高升降台的稳定度和可靠性。剪叉组合数为 n ,每组内剪叉数量为 m ,则升降台的总行程高度为:

$$H = n \times m \times h \quad (3)$$

为保证升降平台的稳定性和电机的驱动可靠性,根据经验值:

$$\theta_{\min} \leq \theta \leq \theta_{\max} (\theta_{\min} = 12^\circ, \theta_{\max} = 38^\circ) \quad (4)$$

每组电机的行程为:

$$D = D_{\max} - D_{\min} = \frac{L}{2} (\tan 35^\circ - \tan 12^\circ) = 0.28L \quad (5)$$

3.2 升降平台驱动电机参数计算

根据图 2 建立坐标系,每组剪叉的电机负载用力 F_i 替代,每组剪叉的提升角度相同为 α ,平台上的负载标记为符号 G ,每组剪叉机构的自重为 $G_i (i=1 \sim n)$,且假设重心为该组剪叉结构的中心位置。

根据虚位移原理:

$$G \cdot \delta r_G + \sum_{i=1}^n G_i \cdot \delta r_{G_i} + \sum_{i=1}^n F_i \cdot \delta r_{F_i} = 0 \quad (6)$$

按照解析法将上式在坐标系中分解如下:

$$-G \cdot \delta y_G - \sum_{i=1}^n G_i \cdot \delta y_{G_i} + \sum_{i=1}^n F_i \cdot \delta y_{F_i} -$$

$$\sum_{i=1}^n F_i \cdot \delta y_{F_i} = 0 \quad (7)$$

因为:

$$y_G = m \cdot n \cdot L \cdot \sin \theta \quad (8)$$

$$y_{G_i} = (i-1) \cdot m \cdot L \cdot \sin \alpha + \frac{L}{2} \cdot m \cdot \sin \theta \quad (9)$$

$$x_{F_i} = \frac{L}{2} \cdot \cos \theta \quad (10)$$

$$y_{F_i} = (i-1) \cdot m \cdot L \cdot \sin \alpha + \frac{L}{2} \cdot \sin \theta \quad (11)$$

所以:

$$\delta y_G = m \cdot n \cdot L \cdot \cos \theta \cdot \delta \theta \quad (12)$$

$$\delta y_{G_i} = (i - \frac{1}{2}) \cdot m \cdot L \cdot \cos \theta \cdot \delta \theta \quad (13)$$

$$\delta x_{F_i} = -\frac{L}{2} \sin \theta \cdot \delta \theta \quad (14)$$

$$\delta y_{F_i} = (i-1) \cdot m \cdot L \cdot \cos \alpha \cdot \delta \theta + \frac{L}{2} \cdot \cos \theta \cdot \delta \theta \quad (15)$$

为了简化计算,在此假设每组剪叉的自重相同均为 G_1 ,每个电机的负载 F_i 相同,均为 F ,将上述分量带入虚位移原理式中,得到:

$$F = \frac{2m \cdot G + m \cdot n \cdot G_1}{\tan \theta + m \cdot n - m + 1} \quad (16)$$

从上式可以看出,随着 θ 的变大,即随着平台的不断升高,电机的负载是不断变小的。因此,在 θ 最小时, F 具有最大负载,而在 θ 最大时, F 具有最小负载,因此电机的堵转扭矩为:

$$N = F \times (d/2) \times \tan(\Phi + \rho) \quad (17)$$

其中, F 为轴向负载; d 为传动螺杆螺纹中径; Φ 为螺纹升角, $\Phi = \arctan(P/\pi d)$; P 为螺纹导程; ρ 为当

量摩擦角, $\rho = \arctan(\mu/\cos \alpha)$; μ 为螺纹副摩擦系数,取值 0.1; α 为螺纹牙形角的一半,取值 15° 。

电机的转速 W 直接影响升降平台的升降速度,要保证升降平台在时间 S (秒) 内上升到规定高度,此时丝杠的行程为 D ,则电机的最小转速 (rpm) 计算如下:

$$W_{\min} = 60 \times D / (S \cdot P) \quad (18)$$

其中, P 为丝杠螺纹导程。

3.2 实例分析

假设车载侦察系统对升降台的要求以及边界尺寸如下:

升降台的行程 $H \approx 5$ m,要求完全展开为 10 s;升降台的臂长尺寸 $L = 0.9$ m;负载 $G = 200$ kg

若剪叉自重 $G_1 = 50$ kg,电机传动丝杠螺纹中径 $d = 50$ mm,螺距为 $p = 5$ mm,导程 $P = 15$ mm,那么照上述要求,升降台的尺寸设计参数中可以采用 $m = 3, n = 3$ 。则:

$$h = L \cdot \sin \theta_{\max} = 0.554 \text{ m} \quad (19)$$

$$H = m \cdot n \cdot h = 4.98 \text{ m} \quad (20)$$

$$F_{\max} = \frac{6G + 9G_1}{\tan 12^\circ + 7} = 229 \text{ kg} \quad (21)$$

$$N = F \times (d/2) \times \tan(\Phi + \rho) = 7.7 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (22)$$

$$D = 0.28L = 0.252 \text{ m} \quad (23)$$

$$W_{\min} = 60 \times \frac{D}{S \cdot P} = 60 \times \frac{252}{10 \times 15} = 100.8 \text{ rpm} \quad (24)$$

为进一步验证设计的可行性,本文主要针对剪叉组件的关键部件即传动丝杠进行自锁以及强度校核计算;同时选配合适的力矩电机以满足式 (3) 中的设计要求。其中丝杠材料选用 40 CrMn。

3.2.1 自锁校核

当丝杠的螺纹升角 Φ 小于或等于传动的当量摩擦角 ρ 时,螺纹传动副可以实现自锁。其中:

$$\Phi = \arctan(P/\pi d) = \arctan(\frac{15}{\pi}) = 5.45^\circ$$

$$\rho = \arctan(\mu/\cos \alpha) = \arctan(0.1/\cos 15^\circ) = 6^\circ$$

由上述计算结果可见 $\Phi \leq \rho$,螺纹传动能够自锁。

3.2.2 螺杆强度校核

螺杆的当量应力计算如下:

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{4 \times F}{\pi d_1^2}\right)^2 + 3 \times \left(\frac{N}{0.2 \times d_1^3}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\left(\frac{4 \times 2244}{\pi \times 44.587^2}\right)^2 + 3 \times \left(\frac{7700}{0.2 \times 44.587^3}\right)^2}$$

$$= 1.7 \text{ MPa}$$

其中, F 为轴向载荷, 取值 2244 N; d_1 为外螺纹小径, 取值 44.587 mm; N 为传动扭矩, 取值 7700 mN·m。

螺杆材料的许用应力 $[\sigma] = 167 \sim 278 \text{ MPa}$

因为 $\sigma < [\sigma]$, 因此螺杆的强度满足设计要求。

3.2.3 电机选型

本文设计选取的电机除了需要满足扭矩、转速等本身的性能参数外, 还需适应低温和高温的工作环境。针对式(3)中所计算的电机相关参数, 本文选用表1所示的永磁式直流力矩电机, 其性能参数均能满足设计需求。

表1 永磁式直流力矩电机性能参数

型号	峰值堵转参数			连续堵转参数			最大空载转速/rpm	外形尺寸/mm
	电压/V	电流/A	转矩/N·m	电压/V	电流/A	转矩/N·m		
I60LYR3-2							150	$\Phi 160 \times \Phi 90 \times 91$
	60	8.5	24.53	24	3.26	9.81		

通过选用上述国内某型号电机, 同时设计合理的机械结构尺寸, 就能实现升降平台较快速升高5米的设计目标。因此, 该电动剪式升降平台的设计方案是可行的。

4 结论

随着现代战争在地域上的大为扩展, 越来越多的侦察监视车需要投入到各种不同的使用环境之中, 不断增大升降平台的上升高度是车载侦察系统发展的一个重要方向。本文通过对目前车载侦察系统升降平台几种常用升降方式的分析, 针对车载侦察系统出现的问题, 在增加升降平台单元升降高度方面做了一些尝试, 论述了设计思路与实现方案。这种升降平台适合在包括低温的各种环境下使用, 将逐步在车载化技术中得到应用并发挥重要的作用, 但是就升降高度而言, 还需展开进一步研究, 使车载侦察系统能够升得更高, “看”得更远。

参考文献:

- [1] Chen Xiaobo. Study on thrust of electric scissors lifting platform[J]. Entertainment Technology, 2005, 8(2): 22-25. (in Chinese)
陈晓波. 电动剪叉升降台推力方式的探讨[J]. 演艺设备与科技, 2005, 8(2): 22-25.
- [2] Zhang Dongmei, Shang Chunmin, Qiao Yanfeng. The research of deformation measurement technology of vehicle flat in photoelectric theodolite[J]. Laser & Infrared, 2005, 35(6): 435-437. (in Chinese)
张冬梅, 尚春民, 乔彦峰. 光电经纬仪车载平台变形测量技术研究[J]. 激光与红外, 2005, 35(6): 435-437.
- [3] Mu Yuandong, Li Liren. Analysis of vehicleborne turntable's key parts[J]. Laser & Infrared, 2008, 38(7): 705-707. (in Chinese)
穆远东, 李立仁. 车载转台关键部件结构分析[J]. 激光与红外, 2008, 38(7): 705-707.
- [4] Zhang Chao, Song Jie, Shi Jinyan. Vehicle-borne system integration of one large photoelectric equipment[J]. Journal of China Academy of Electronics and Information Technology, 2008, 3(3): 266-270. (in Chinese)
张超, 宋洁, 石金彦. 某大型光电设备系统的车载集成[J]. 中国电子科学研究院学报, 2008, 3(3): 266-270.
- [5] Chen Lixue, Liu Yu, Li Ruifeng. Thinking on key technology of vehicle mounted extensible mast system[J]. Journal of Applied Optics, 2009, 30(2): 187-190. (in Chinese)
陈立学, 刘宇, 李瑞峰. 车载升降桅杆系统的关键技术思考[J]. 应用光学, 2009, 30(2): 187-190.
- [6] Jiang Weiwei, GAO Yunguo, Feng Dongyan, Chen Zhaobing, PU Jicheng. Automatic-leveling system for base-plane of large-size photoelectric equipment[J]. Optics and Precision Engineering, 2009, 17(5): 1039-1045. (in Chinese)
姜伟伟, 高云国, 冯栋彦, 陈兆兵, 蒲继承. 大型光电设备基准平面自动调平系统[J]. 光学精密工程, 2009, 17(5): 1039-1045.
- [7] Deng Hongguang, Sun Dagang, You Sikun, et al. Modeling and key parameters study for scissors elevating platform[J]. Machine Development, 2005, 34(7): 20-22, 124. (in Chinese)
邓宏光, 孙大刚, 游思坤, 等. 剪叉式升降平台建模及关键参数研究[J]. 机电工程技术, 2005, 34(7): 20-22, 124.