

新型可折叠翼板展开机构的设计及动力学研究

钟世宏 孙 巍 张崇耿

(西安长峰机电研究所, 西安 710065)



摘要: 根据可折叠翼板展开机构的工作特性, 提出增力型展开机构的设计方案, 通过描述机构的运动方程和翼板驱动力矩的表达式, 对新展开机构的动力特性作出详细分析, 为可折叠翼板展开机构的设计方法提出了新的思路。

关键词: 可折叠翼板; 展开机构; 动力特性

Design and Dynamics Study of the New-type Folding Bomb Wing Expansion Device

Zhong Shihong Sun Wei Zhang Chongeng

(Xi'an changfeng Research Institute of Mechanism and Electricity, Xi'an 710065)

Abstract: According to the work characteristic of the folding-bomb wing expansion device, the design scheme of the increasing-force type expansion device is presented. By discussing the movement equation of the device and driving moment expression of bomb wing, the dynamical characteristic of the new-type expansion device is analyzed in detail. So that the new design idea of the folding-bomb wing expansion device is provided.

Key words: folding-bomb wing; expansion device; dynamical characteristic

1 引言

随着可折叠翼技术的应用日益增多, 对翼板支架的性能提出了更高的要求。设计出原理科学、结构合理, 能够确保导弹发射升空后, 可折叠翼板按照预定要求可靠展开的翼板支架, 已经成为我们在新产品研制工作中亟待解决的课题。伴随着现代武器装备性能的不断完善, 未来新型产品向大型化发展的趋势, 翼板展开时产生的气动升力大幅增加, 所产生的阻力矩亦相应增大, 使得折叠翼板展开的难度越来越高。展开机构作为翼板支架传递功率的核心组件, 理应成为我们在翼板支架设计工作中重点关注的目标。

2 翼板展开时的气动升力

如图 1 所示, 为折叠翼板在不同攻角条件下, 翼板展开时产生的气动升力 $F_{升}$ 与翼板转角 θ 之间的对

应关系, 横坐标为翼板展开时的转角值, 纵坐标为对应的气动升力 $F_{升}$ 值。由图可知, 随着翼板展开时转角值 θ 的增加, 翼板所产生的气动升力 $F_{升}$ 值亦随之增大, 并随产品攻角值的增大, 气动升力 $F_{升}$ 曲线愈接近直线, 且直线的斜率明显增大。同时, 在转角 θ 接近终点的后三分之一区域时, 翼板产生的气动升力 $F_{升}$ 值明显增大。

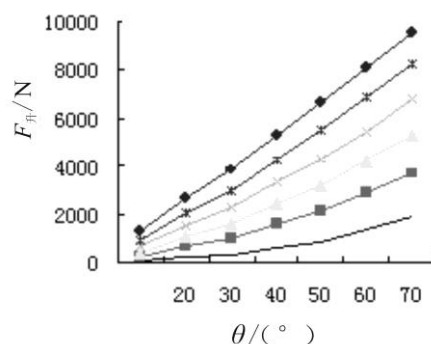


图 1 设计要求的加载力值曲线

作者简介: 钟世宏 (1957-), 高级工程师, 机械制造工艺及自动化专业; 研究方向: 燃气作动筒与折叠翼展开技术。

收稿日期: 2013-07-10

3 折叠翼展开机构的设计

如何将燃气作动筒所提供的推力, 稳定、可靠、高效地转换为翼板展开所需的驱动力矩, 是翼板支架展开机构的主要任务。作为连接驱动装置和翼板之间承上启下的重要机构, 除了要求它具有足够的强度、刚度之外, 其方案的科学性和结构的合理性应该成为更加重要的指标。这不仅关系到如何最大限度地提高翼板支架的工作效率, 能否确保折叠翼板按照设计要求顺利展开, 也是展开机构设计时必须遵循的基本原则之一。

3.1 折叠翼展开机构的方案设计

由于翼板气动升力 $F_{升}$ 值随着翼板转角 θ 的增加而增大, 由此产生的阻力矩也相应增大, 如前所述, 翼板产生的气动升力 $F_{升}$, 在转角 θ 的后三分之一区域内取得较大值, 所以, 阻力矩的较大值也位于翼板转角 θ 的后三分之一区域。为了更好地适应翼板气动载荷变化规律, 展开机构应在该区域内提供较大的驱动力矩, 即具有增力功能。新方案的展开机构采用如

图 2 所示的双摇杆滑块机构, 作为导轨中可移动组件的滑块 B , 在燃气作动筒活塞的推动下, 将沿着直线导轨 $C-C$ 作直线运动, 并通过滑块上的铰链 B , 带动两侧的连杆 AB , 推动与翼板固连的摇杆 OA , 绕翼板转轴的的回转中心 O 旋转, 实现翼板旋转展开之目的。由于两侧翼板的结构完全对称, 所以展开机构也采用完全对称的结构, 以直线导轨 $C-C$ 为对称轴, 两侧对应的连杆 AB 和摇杆 OA 的长度均保持一致。在图 2 中, 设连杆 AB 与直线导轨 $C-C$ 之间的夹角 α_i 为连杆展开角, OA_0 为摇杆初始位置, 对应的翼板初始角为 θ_0 , 此时翼板呈折叠状态。 OA_i 为摇杆在展开过程中的任意位置, 对应的翼板转角为 θ_i , 翼板位于展开过程的任意位置。 OA_t 为摇杆的终点位置, 对应的翼板转角为 θ_t , 当摇杆旋转展开至该位置时, 翼板位于正常工作状态。

对于设计某一具体的翼板支架结构, 如何选择摇杆的长度和终点位置 θ_t 的值, 对展开机构的性能有非常重要的影响。为保证机构初始工作状态满足力学性能的要求, 一般取连杆展开角的初始值 $\alpha_0 \geq 30^\circ$ 。

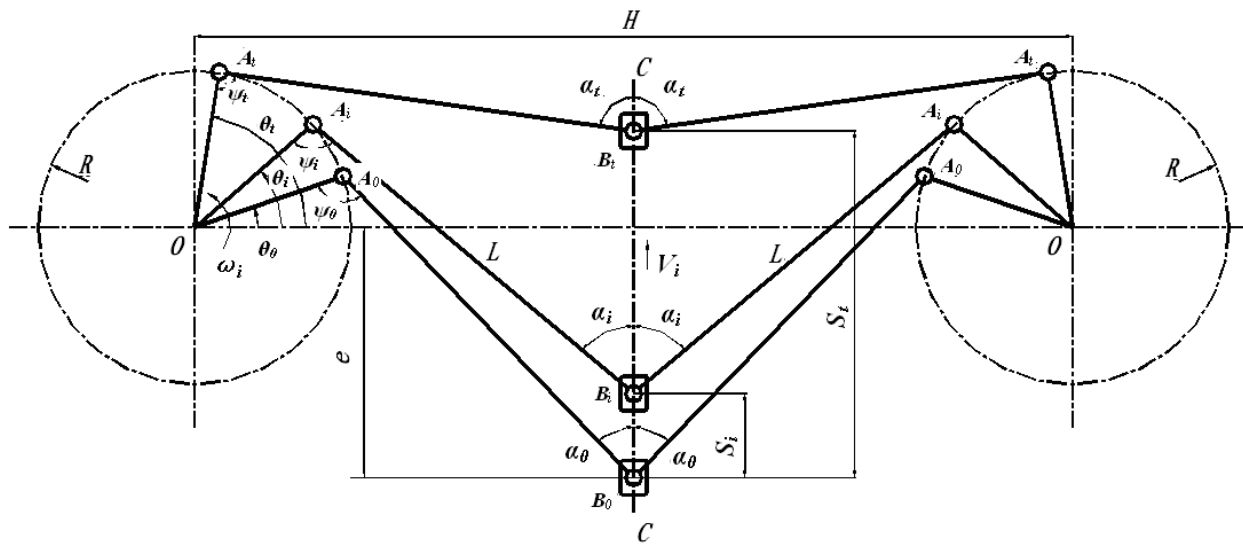


图 2 展开机构原理图

3.2 折叠翼展开机构的动力学分析

3.2.1 折叠翼展开机构的运动学分析

图 3 为折叠翼展开过程中任意位置的受力分析图, 设 θ_0 为翼板展开的初始角度, 两侧翼板转轴的中心距为 H , 摇杆长度 $OA=R$, 连杆长度 $AB=L$, e 为滑块初始位置到两翼板回转中心连线的距离, α_i 为连杆与直线导轨之间的夹角, 即连杆展开角, F 为燃气作动筒活塞提供的推力, F_1 为连杆的内力, M_i 为施加给

翼板的驱动力矩。根据翼板在展开过程中, 连杆长度不变的条件, 从图 3 中可以得出, 当滑块 B 移动至任意位置 B_i 时, 通过连杆推动摇杆绕轴线 O 点旋转, 可得摇杆转角 θ_i 与滑块位移 S_i 之间的关系式如下:

$$\left(R \cos \theta_i - \frac{H}{2}\right)^2 + (e + R \sin \theta_i - S_i)^2 = L^2 \quad (1)$$

式中: θ_i ——翼板在 i 时刻的转角; S_i ——滑块在 i 时

刻的位移。整理可得：

$$S_i = e + R \sin \theta_i - \sqrt{L^2 - \frac{H^2}{4} - R^2 \cos^2 \theta_i + HR \cos \theta_i} \quad (\text{II})$$

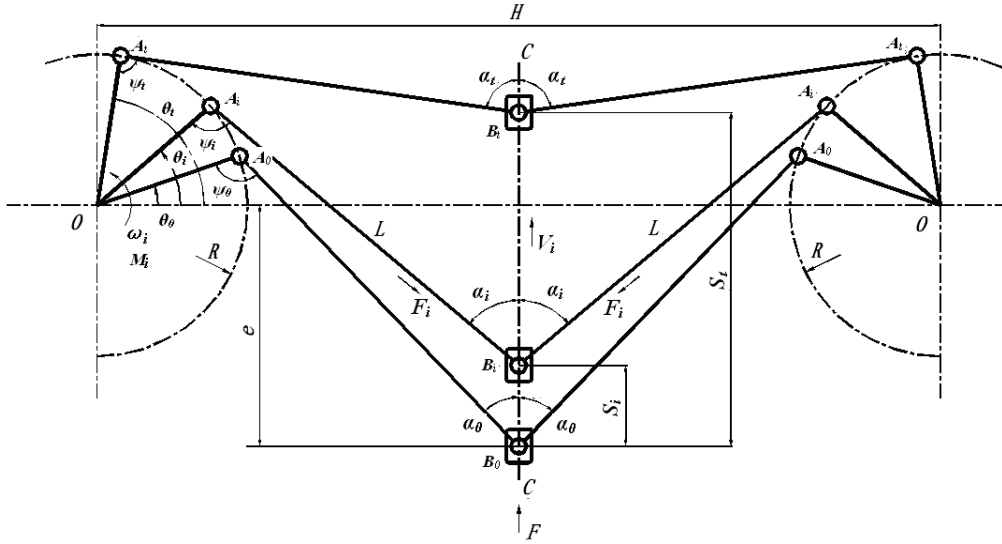


图3 展开机构受力分析图

由(2)式知,保证机构能够正常工作的条件是:

$$L^2 - \frac{H^2}{4} - R^2 \cos^2 \theta_i + HR \cos \theta_i \geq 0 \quad (\text{III})$$

对(3)式求解,可得:

$$\cos \theta_i \geq \frac{H - 2L}{2R} \quad (\text{IV})$$

所以,要保证展开机构能够正常工作,摇杆终点位置 θ_i 的取值应满足如下条件:

$$\theta_i \leq \cos^{-1} \frac{H - 2L}{2R} = [\theta^*] \quad (\text{V})$$

将(2)式的两边同时对时间求导,可得滑块移动速度 V_i 与翼板旋转角速度 ω_i 之间的关系:

$$V_i = \left(R \cos \theta_i + \frac{HR \sin \theta_i - R^2 \sin 2\theta_i}{2\sqrt{L^2 - \frac{H^2}{4} - R^2 \cos^2 \theta_i + HR \cos \theta_i}} \right) \omega_i = Q \omega_i \quad (\text{VI})$$

$$Q = R \cos \theta_i + \frac{HR \sin \theta_i - R^2 \sin 2\theta_i}{2\sqrt{L^2 - \frac{H^2}{4} - R^2 \cos^2 \theta_i + HR \cos \theta_i}}, \text{ 当摇}$$

杆转角 θ_i 逐渐趋近于 $[\theta^*]$ 时, Q 值快速增大,当 $\theta_i \rightarrow [\theta^*]$ 时, $Q \rightarrow +\infty$ 。 Q 的单位为 mm。

滑块移动速度 V_i 与翼板旋转的角速度 ω_i 的对应关系如图4中的 Q 曲线所示,当翼板旋转展开接近终

点位置时,即使滑块的移动速度 V_i 较快,对应的翼板旋转角速度 ω_i 也较小,从而在结构原理上保证翼板在终点位置附近运行平稳,避免对支架产生冲击的现象。

从图3中,可以得出连杆展开角 α_i 与摇杆转角 θ_i 的关系式为:

$$\sin \alpha_i = \frac{H}{2L} - \frac{R}{L} \cos \theta_i \quad (\text{VII})$$

将(4)式代入(7)式,可得: $\sin \alpha_i \leq 1$, 即连杆展开角 $\alpha_i \leq 90^\circ$ 。

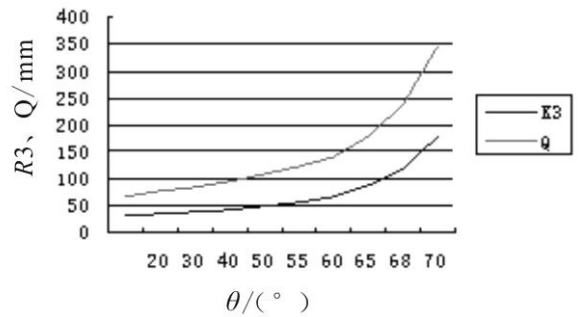


图4 展开机构特性曲线图

由上述分析可得,滑块位移 S_i 、连杆展开角 α_i 以及滑块移动速度 V_i 与翼板旋转的角速度 ω_i 之间的关系均为摇杆转角 θ_i 的单值函数。换句话说,对于具体的支架展开机构,这些参数的取值只与摇杆转角 θ_i

的变化量有关, 而且具有唯一性。

3.2.2 折叠翼展开机构的动力学分析

由结构知, 连杆 AB 为只承受压力的二力杆, 设燃气作动筒作用于滑块的推力为 F , 利用结构的对称性, 可得连杆所承受的压力 F_1 与活塞推力 F 的关系为:

$$F_1 = \frac{F}{2 \cos \alpha_i} \quad (8)$$

单个翼板获得的展开驱动力矩应为:

$$M_1 = F_1 R \sin \psi_i = \frac{FR \sin \psi_i}{2 \cos \alpha_i} = \frac{FR \sin \psi_i}{2 \sqrt{1 - \left(\frac{H}{2L} - \frac{R}{L} \cos \theta_i \right)^2}} = K_3 F \quad (9)$$

式中: 传动角 ψ_i 为连杆与摇杆在 i 时刻的传动角; 且有 $\psi_i = 90^\circ + \alpha_i - \theta_i$,

$$\text{连杆展开角: } \alpha_i = \sin^{-1} \left(\frac{H}{2L} - \frac{R}{L} \cos \theta_i \right)$$

对于具体的翼板展开机构而言, R 、 H 、 L 均为确定值, 所以, 由上式知, 驱动力矩 M_i 为摇杆转角 θ_i 的单值函数 $M_i = f(\theta_i)$ 。对机构进一步的分析可得, 在翼板展开的后半程, 存在 $|\alpha_i - \theta_i| \leq 3^\circ$, 即连杆与摇杆之间传动角的变化范围为 $\psi_i = 90^\circ \pm 3^\circ$, 这表明本机构的传递效率比较高。

驱动力矩 M_i 与燃气作动筒推力 F 比值称为展开机构的力矩转换系数 $K_3 = \frac{M_i}{F}$, 它与翼板展开角度 θ_i

的对应关系, 可用图 4 中的 K_3 曲线描述。在翼板展开的初始阶段, 由展开机构转换而来的驱动力矩较小, 这可避免在燃气作动筒的推力剪断剪切销后, 活塞快速向前移动, 工作气室内燃气压力的过度波动, 而造成燃气作动筒输出推力的不稳定。后半程的驱动力矩快速增大, 有利于翼板的后期展开。在接近终点的区域内, 驱动力矩增速较快, 翼板的转速迅速降低, 机构呈现低速大扭矩的特性, 非常有利完成折叠翼板的展开工作。

从前面的分析可知, 在翼板旋转展开的整个过程中, 燃气作动筒活塞的位移 S_i 、连杆展开角 α_i 、翼板的驱动力矩 M_i 均可以表达为翼板在 i 时刻转角 θ_i 的函数。

4 几种常用展开机构的性能分析

为了说明双摇杆滑块展开机构的优越性, 现将常

见的几种展开机构输出力矩的性能作出对比。设燃气作动筒的输出推力为 F , 则有:

齿轮齿条展开机构: 机构的基本原理是, 将图 3 中的滑块变为齿条, 用一对齿轮与两侧翼板固连, 齿条沿直线运动时, 带动两侧齿轮同时转动, 将翼板与齿轮固联, 即可实现翼板的旋转展开。设该机构中的齿轮分度圆半径 R_1 , 则单个翼板获得的驱动力矩为:

$$M = \frac{1}{2} FR_1 \cos \alpha' = K_1 F \quad (10)$$

式中: α' ——齿轮压力角, 一般取 $\alpha' = 20^\circ$ 。

力矩转换系数: $K_1 = \frac{1}{2} R_1 \cos \alpha'$, 为常数, 单

位为 mm。结构确定之后, 翼板的驱动力矩 M 值仅与燃气作动筒的输出推力 F 成正比, 与翼板的转角 θ_i 无关。

双曲柄滑块机构: 机构的基本原理是, 由图 3 中的滑块直接推动与两侧翼板固连的曲柄, 带动两侧翼板同时转动, 即可实现翼板展开。设该机构中曲柄的长度 R_2 , 则单个翼板获得的驱动力矩为:

$$M_i = \frac{1}{2} FR_2 \sin \theta_i = K_2 F \quad (11)$$

式中: 力矩转换系数 $K_2 = \frac{1}{2} R_2 \sin \theta_i$, 与翼板转角 θ_i 的正弦值成正比, 单位为 mm。

翼板获得的驱动力矩 M_i 值与燃气作动筒的输出推力 F 和翼板转角 θ_i 正弦值的乘积成正比。

双摇杆滑块机构: 设该机构中摇杆的长度 R_3 , 则单个翼板获得的驱动力矩为:

$$M_i = \frac{FR_3 \sin \psi_i}{2 \cos \alpha_i} = K_3 F \quad (12)$$

式中: 力矩转换系数 $K_3 = \frac{R_3 \sin \psi_i}{2 \cos \alpha_i} = f(\theta_i)$, 单位

为 mm。

对应不同的翼板转角 θ_i 值, 三种展开机构的力矩转换系数 K_1 、 K_2 、 K_3 曲线如图 5 所示。在翼板展开的后半程, K_3 的值明显大于 K_1 、 K_2 的值, 即新机构驱动翼板旋转展开的能力优于前两种机构。这表明, 当驱动同样负载的翼板展开时, 在新机构中使用的燃气作动筒活塞输出的推力可以较小一些。

(下转第 XXIII 页)

