

# 可折叠弹翼支架中双弹翼同步问题的分析与研究

钟世宏 任华 何薇 周英 张鹏

(西安长峰机电研究所, 西安 710065)



**摘要:** 根据巡航导弹可折叠弹翼支架中传动链的结构特点, 通过分析产生双弹翼展开不完全同步的客观因素, 指出现有结构的不足之处, 提出能够保证双弹翼同步展开到位的全新改进方案。详细介绍新设计方案的工作原理和实施新方案应注意的具体措施, 并提出在新产品的方案设计阶段, 从技术经济学的观点出发, 实现结构设计与现有工艺水平互动的的设计方法。

**关键词:** 可折叠双弹翼; 传动链; 定位装置; 同步

## Analysis and Study on Incompleteness Synchronous Phenomenon of Two Bomb Wing Expandedness of the Folding Bomb Wing Bracket

Zhong Shihong Ren Hua He Wei Zhou Ying Zhang Peng

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

**Abstract:** According to structure characteristic of the transmission chain in the folding-expandedness bomb wing bracket of cruise missile, impersonal factors of incompleteness synchronous phenomenon of two bomb wing expandedness frameworks are profoundly analyzed, in the meantime, the existent framework shortages are indicated. New amelioration scheme of two bomb wing synchronous expandedness are presented, as well as the work principle of redesign scheme and the concrete measures. In the scheme design step of new product, the design method of mutual-consultant between structure design and processing level are shown from the viewpoint of technological economics.

**Key words:** the folding two bomb wing; transmission chain; orientation device; synchronization

### 1 引言

折叠弹翼技术在世界各国巡航导弹研制中的应用日益广泛, 对完善折叠弹翼技术性能指标提出了更新更高的要求。巡航导弹发射升空后, 折叠弹翼由折叠状态展开至设计要求的工作状态, 确保导弹正常飞行时, 左右两侧弹翼所承载的气动载荷呈对称分布, 最大限度地减轻舵板的赘余载荷, 是可折叠弹翼支架设计时应予以充分关注的重要课题。为了更好提高巡航导弹折叠弹翼支架的综合技术性能, 现推荐一种新的设计思路, 供业内人士参考, 以期使我们的折叠弹翼技术更好地满足巡航导弹技术发展的要求。

### 2 支架部件中弹翼的同步问题

#### 2.1 实现弹翼同步问题简述

图1为巡航导弹可折叠双弹翼在贮存时的折叠状态和展开时的工作状态。发射前弹翼呈折叠状态, 体积小, 便于贮存和运输, 发射后, 弹翼在驱动装置的推动下, 左右弹翼由折叠状态同步展开至正常飞行状态, 以提供巡航导弹正常飞行所需的气动升力。但在地面展开试验过程中, 时常会遇到左右两侧的弹翼展开状态不同步, 在终点位置(弹翼完全展开位置)处不能同时被锁定机构定位锁死的现象, 即一侧弹翼已经定位锁死, 而另一侧弹翼尚未展开至设计要求的指

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: 燃气作动筒与弹翼展开技术。

收稿日期: 2011-04-28

定位置,导致锁定机构无法完成定位。尽管其差值不大,但对高速飞行的弹体,由此产生的两侧弹翼所受

的水平阻力和气动升力的不平衡,将给巡航导弹的稳定飞行埋下隐患,应引起足够的重视。

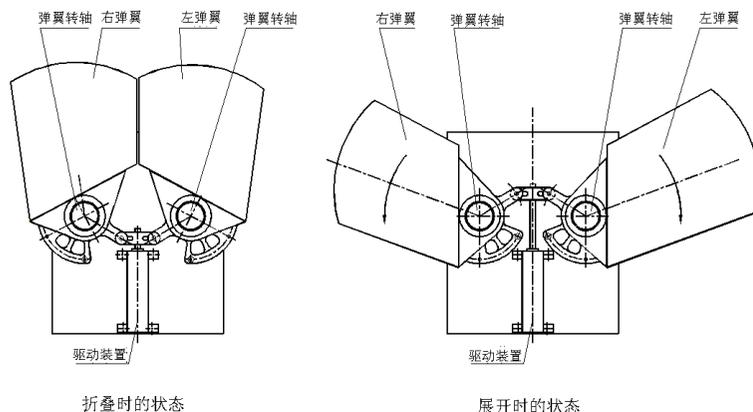


图1 折叠弹翼支架结构示意图

## 2.2 弹翼同步问题的传统解决途径

通常认为,左右两侧弹翼展开状态不同步的问题,是由于系统中各个相关零件的加工精度偏低,经组装后累积误差过大造成的,传统的解决方案就是尽可能地提高零件的加工精度,以减少累积误差,但实践证明,单纯依赖提高零件加工精度的解决方案,其效果并不理想。由于受到机加设备的性能、操作人员的技术状态、产品的生产成本和生产周期等诸多因素的影响,该类解决方案具有很大的局限性,在实际操作中难以实现,如要实现量产困难将更大。

由于机加能力所能达到的精度存在极限,生产的零件不可避免存在误差,经过总装后其误差被累积,两侧弹翼展开过程的瞬时状态存在差异是必然的。但弹翼展开过程所经历的时间极短,一般以毫秒计,对飞行状态的影响可以忽略不计。所以,只须关注两侧弹翼展开的最终状态,只要最终展开位置满足设计的要求即可。

从图1的可折叠双弹翼机构的传动关系分析可知,由一个驱动装置通过刚性传动链带动两个执行机构,同时完成两个相同的动作,则由于两个传动支链的构件存在不同的制造误差和装配误差,达到两侧同时定位锁死的预期设计要求,难度很大。笔者认为,按照该设计思路设计的机构存在固有缺陷,其工作性能及产品质量必然存在一定的隐患。所以,合理的设计方案应该是,承认两侧弹翼不能同步展开、同时定位锁死的差异,在两个传动支链中加入可以自动调整的柔性环节,以确保当一侧弹翼被定位锁死时,另一侧弹翼仍可继续旋转展开至设计要求的指定位置,从而确保两侧弹翼展开的最终状态完全满足设计指标。

## 3 弹翼新型同步锁定机构的工作原理

由可折叠双弹翼机构传动链的性能要求可知,在机构传动链中的适当位置处,加入可自动调整传动状态的柔性环节,就可以有效解决两侧弹翼展开的最终状态,完全满足设计指标的要求。根据其结构形式的不同,可分为径向式柔性环节和轴向式柔性环节两大类,其中径向式柔性环节还可分为外置式和内置式两种。在具体的产品设计工作中,可以根据机构的结构特点、承载能力、整体结构尺寸大小、加工及装配工艺等边界条件的要求,选择适当类型的结构。本文仅对径向式柔性环节进行分析和探究。

### 3.1 外置式锁定机构的工作原理

图2所示为外置式锁定机构的原理图,弹翼转轴与机架固联,弹翼与弹翼轴套固联,最外侧的驱动轴套与展开机构连接,锁定机构固定在驱动轴套上,利用弹簧的推力,通过销轴2推动销轴1与弹翼转轴相接触,并通过销轴1将驱动轴套与弹翼轴套固联为一体。当展开机构带动驱动轴套沿顺时针方向旋转时,同时带动弹翼轴套一起转动,实现弹翼的旋转展开。当弹翼旋转至设计要求的展开角度 $\theta$ 时,销轴1在销轴2的推动下,进入弹翼转轴上预设的锁销孔内,将弹翼轴套与弹翼转轴连接为一体,从而实现弹翼展开至工作位置后的定位锁定,此时,销轴1与销轴2的接触面刚好位于驱动轴套和弹翼轴套配合的圆柱面。如果另一侧的弹翼尚未展开到位,则在展开机构的推动下,驱动轴套可继续向前转动,此时销轴2与驱动轴套一起转动,销轴1原地不动,被锁死在驱动轴套内,执行定位指令。

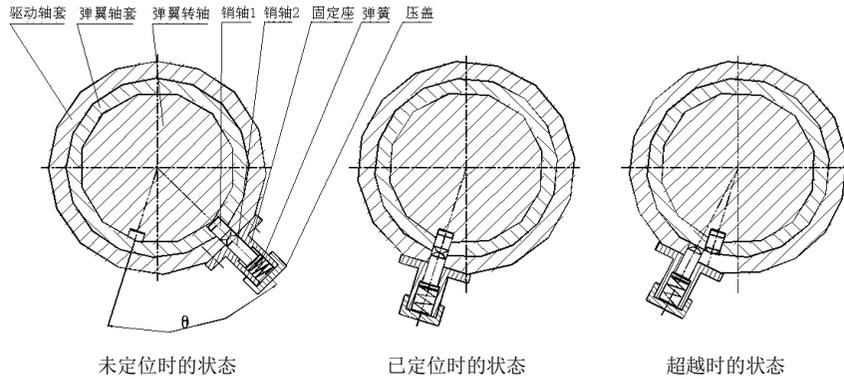


图2 外置式锁定机构原理图

销轴1的结构如图3所示，头部呈锥状结构，便于进入弹翼转轴上的锁销孔内，其半锥角应小于摩擦角，防止销轴1在定位过程中出现回退倾向，锥端的头部呈球冠结构，可减小弹翼展开时的摩擦力，后端呈圆柱状，最大限度满足传递扭矩的能力，圆柱端的球冠，便于销轴1完全进入弹翼转轴的锁销孔内，并彻底脱离驱动轴套，实现弹翼准确定位的目的。

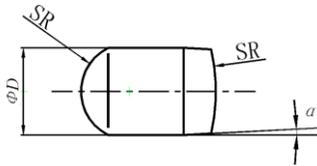


图3 销轴1结构原理图

### 3.2 内置式锁定机构的工作原理

图4为内置式锁定机构的原理图，其弹翼转轴、弹翼轴套及驱动轴套之间的结构关系与外置式锁定

机构的基本相同，销轴1和弹簧1呈压缩状态装入弹翼转轴内部的锁销孔内，在弹簧2的推动下，销轴2将驱动轴套与弹翼轴套连接为一体。安装在驱动轴套上的固定座，其内孔的结构中设置有限制销轴2移动距离的限位结构。当展开机构推动驱动轴套沿顺时针方向旋转时，同时带动弹翼轴套一起转动，实现弹翼的旋转展开。当弹翼旋转至设计要求的展开角度 $\theta$ 时，销轴1在弹簧1的推动下，通过销轴2压缩弹翼2沿径向向外运动，销轴2退入驱动轴套和固定座的孔内，销轴1伸出，将弹翼轴套和弹翼转轴连接为一体，从而实现弹翼展开至工作位置后的定位锁定，此时，销轴1与销轴2的接触面刚好位于驱动轴套和弹翼轴套配合的圆柱面。如果另一侧的弹翼尚未展开到位，则在展开机构的推动下，驱动轴套可继续向前转动，销轴2与驱动轴套一起转动，销轴1原地不动，被锁死在驱动轴套内，执行定位指令。

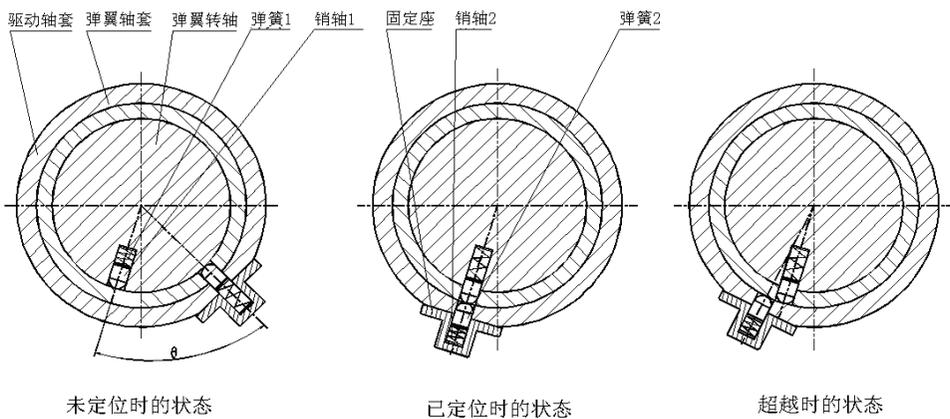


图4 内置式锁定机构原理图

由图4可看出，内置式结构具有外部结构尺寸较小的优点，但存在结构较复杂，装配难度较大，对弹翼转轴的结构强度影响较大的缺点，尤其是在设计时要合理匹配弹簧1与弹簧2之间的刚度及力值参数，

才能确保机构可靠地工作。

销轴1和销轴2的结构如图5所示，圆柱端与弹簧接触，另一端为球冠结构，便于销轴1进入弹翼轴套的锁销孔内，并完全脱离驱动轴套，实现弹翼准确

定位的目的。

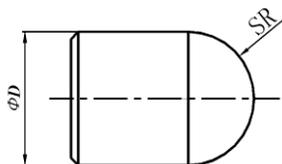


图5 销轴结构原理图

### 3.3 同步锁定机构设计时应注意的问题

#### 3.3.1 驱动轴套的应用

在传统的支架结构设计中，展开机构与弹翼轴套直接连接，这种传动方式的优点是结构简单，性能可靠，但其缺陷是展开机构前端传动链中的所有误差最终全部累积到弹翼展开状态上，而且没有调整环节，所带来的不利因素无法克服，直接影响弹翼的最终展开状态。在新的方案中，展开机构与弹翼轴套之间的传动链内增加驱动轴套结构，给原本呈现刚性的传动链中加入柔性环节创造条件，也为根据具体产品的需要，在驱动轴套与弹翼轴套之间灵活地实现刚性连接与相互转动的状态转换奠定了基础。

#### 3.3.2 锁定销轴的分段式结构应用

在弹翼处于折叠状态和旋转展开过程中，锁定销轴的作用是使弹翼轴套与驱动轴套之间呈现固联状态，与弹翼转轴作相对转动。当弹翼旋转展开至预定的工作位置，驱动轴套进入超越状态时，锁定销轴的作用是使弹翼轴套与弹翼转轴之间呈现固联状态，与驱动轴套作相对转动。利用锁定销轴沿径向的移动，灵活实现两种连接状态之间的可控转换，是径向式柔性环节设计的关键。欲实现这一性能指标，只要将传统的一体式销轴设计成分段式结构，即可满足柔性机构的功能要求。从技术经济学的观点评价，采用该类结构具有一定的优越性。

## 4 新型同步锁定机构的动力学分析

任何一个新型机构，从原理设计到投入实际应用，除了关注机构原理的科学性以外，对机构的设计中每一个结构细节都必须给予足够的重视。在本机构中，锁定销轴能否沿径向顺利移动是必须解决的问题。

### 4.1 新型同步机构的受力状态分析

弹翼旋转展开时，驱动轴套通过锁定销轴带动弹翼轴套旋转，锁定销轴承受剪切力，当锁定销轴同时沿径向运动时，必然会产生较大的摩擦阻力。要使得

销轴在两个轴套之间轻松实现相对运动，必须选择合理的摩擦副结构，从原理上降低相对运动时产生的径向摩擦阻力，这里，我们可以借鉴标准冲裁模模架中滚珠导套的结构原理，在驱动轴套及弹翼轴套的销轴孔内，采用滚珠导套式结构（原理图中未画出），将锁定销轴沿径向移动时的摩擦状态由滑动摩擦转变为滚动摩擦，从而形成剪切力的卸载结构，确保机构工作时的灵活性。

根据产品的结构特点，推动锁定销轴沿径向运动的动力，除了弹簧力之外，也可以根据具体情况选择其它形式的动力源来驱动。

### 4.2 新型同步机构的运动状态分析

上述的分析结果表明，在新设计方案中，采用异步定位方法，使两侧弹翼旋转展开的最终状态完全满足设计要求的同步定位指标。目前，数控加工技术已得到普遍应用，两侧弹翼在展开过程中的状态差异不会太大，弹翼旋转展开过程的耗时一般以毫秒计，此影响也可以通过后续的调整予以完全消除。可以认为，新方案的应用将为适当降低产品零部件的加工精度，缩短产品生产周期，改善产品的综合性能指标，提高工作效率提供了新的思路。

锁定销轴沿径向运动状态的理论分析计算，可参阅《航天制造技术》2009年第5期“巡航导弹旋转展开弹翼支架结构的力学分析与研究”一文，笔者在该文中已作过详尽的论述，这里就不再赘述。

## 5 结束语

伴随机械产品性能日新月异的进步，对机械行业的加工精度提出了更高的要求，这无疑是机械行业发展的大趋势，但一味地依赖提高机械加工的精度来实现产品性能的进步，则肯定是一个误区。能够利用普通加工精度的零件，采用巧妙的机构综合技术，实现产品指标先进、性能可靠的目的，应该是机械设计师所期待的更高层次的追求，唯有此等精神，方能达到科研水平质的飞跃，使我们的设计工作由必然王国升华至自由王国的理想境界。

### 参考文献

- 1 邹慧君, 张青. 广义机构设计与应用创新. 北京: 机械工业出版社, 2009
- 2 吴宗泽. 机械设计实用手册. 北京: 化学工业出版社, 1999
- 3 孟宪源. 现代机构手册. 北京: 机械工业出版社, 1994
- 4 钟世宏. 巡航导弹旋转展开弹翼支架结构的力学分析与研究. 航天制造技术, 2009(5): 22~27