

无人机舵面用玻璃钢柔性铰链片的研制

张元明 赵鹏飞 张忠伟

(西北工业大学第 365 研究所, 西安 710072)

摘要 针对小型无人机操纵舵面的特点, 利用玻璃钢复合材料比强度高、柔韧性良好的特性, 提出了“薄片”式狭长矩形玻璃钢复合材料迭层板舵面柔性铰链片的设计概念。介绍了柔性铰链片的结构及其成型工艺方法。柔性铰链片是通过变曲率的柱状弯曲来实现舵面的偏转功能, 不仅提高了舵面气动效率, 而且提高了舵面精度, 使用效果良好。

关键词 玻璃钢 柔性铰链片 无人机 舵面 成型工艺

无人驾驶飞机(简称无人机)的机动飞行是通过操纵舵面的偏转来实现的。通常操纵舵面的铰链是由两个或两个以上的可转动关节组成的转动轴, 舵面绕其铰链转动轴在一定角度范围内偏转, 如图 1 a 所示。舵面的转动设计往往会带来舵面气动效率的较大损失, 这种损失在一些特殊布局(如无尾布局)的无人机中显得尤为突出。因此, 如何通过气动、结构、机构一体化设计来协调或解决气动与机构之间的矛盾, 从而在满足舵面运动要求的同时尽可能提高舵面的气动效率是飞机设计者追求的目标。

玻璃钢以其性能优异、材料及结构的可设计性和成型方便等特点在航空领域中得到了广泛的应用。多年来, 在发展迅速的无人机领域, 轻质高强的玻璃钢较多地用于承载结构的设计中^[1~3], 而耐腐蚀、电性能良好等特点也使玻璃钢成为一些特殊用途的功能性结构材料。此外, 玻璃钢还具有良好的柔韧特性, 这个特性也可以很好地应用于一些柔性结构的设计中。

笔者针对无人机操纵舵面的特点, 利用玻璃钢良好的柔韧性能, 研究并实践了一种舵面柔性铰链片的设计思想, 有效地解决了无人机操纵系统中气动和结构之间的矛盾, 提高了舵面的气动效率。这种设计已成功地用于某型无人机的设计中, 应用效果良好。

1 设计思想

在飞机操纵舵面的设计中, 为了提高舵面气动效率和减小舵面操纵铰链力矩, 常常采取各种气动补偿设计。常用的气动补偿有结构补偿、轴式补偿和内补偿等。结构补偿和轴式补偿对减小铰链力矩效果显著, 但是其气动效率的提高只能通过减小舵面与安定面之间的间隙来控制, 显然其气动效率的

补偿是有限的; 内补偿方式的气动效率有一定的提高, 铰链力矩也较小, 但内补偿要求结构空间较大, 不适合结构高度小的舵面, 特别是对于绝对高度非常小的无人机操纵舵面, 这种方式一般很少使用。

对小型无人机来说, 舵面铰链力矩一般是比较小的, 气动补偿的主要目的在于提高舵面的气动效率。综合分析各种气动补偿设计之后, 针对无人机操纵舵面的特点, 研究发展了一种单面封贴的气动补偿形式, 即在舵面前缘的下翼面处将舵面与安定面之间的缝隙予以封闭, 以此防止气流的上下串动, 减小气流的能量损失, 达到提高舵面的气动效率的目的, 如图 1 b 所示。借助于某型无人机的模型风洞吹风试验, 将这种气动补偿方式与其它几种补偿形式在补偿效率方面进行了比较, 结果表明, 单面封贴气动补偿的补偿效率最好, 相对于传统的结构补偿和轴式补偿, 其气动效率提高了约 40%。

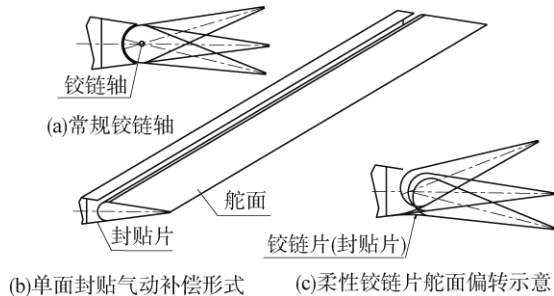


图 1 舵面铰链示意图

虽然单面封贴气动补偿设计的气动效率高, 但却带来结构实现的难度。由于舵面与安定面之间在操纵过程中有相对运动, 若采用常规的转动轴式设计方法, 则单面封贴的气动补偿是无法实现的。为了将转动轴与单面封贴气动补偿的设计思想很好地结合起来, 笔者提出了柔性铰链片的设想, 即用柔韧

特性良好的材料制作的片状结构将舵面与安定面连接而形成舵面铰链片,通过这一特别设计的铰链片的弹性柱状弯曲来实现舵面的偏转(如图1c所示),从而实现单面封贴的气动补偿设计。

2 玻璃钢柔性铰链片

对柔性铰链片来说,其功能容结构与机构为一体。作为结构,需支撑舵面并承受舵面气动载荷;作为机构,必须能够实现舵面的偏转运动功能。因此铰链片结构必须满足以下设计要求:

(1) 良好的柔韧性,即铰链片在力矩的作用下,能在弹性范围内产生较大的柱状弯曲以满足舵面偏转角度的要求;

(2) 应具备一定的刚度和强度,以承载舵面自重和气动载荷,同时在气动载荷和舵面自重的作用下,舵面沉浮的位移量须满足操纵精度要求;

(3) 针对反复多次弯曲的使用状态,舵面铰链片还必须具有良好的抗疲劳特性;

(4) 满足无人机的使用环境要求。

显然,柔性铰链片与常规结构不同,良好的柔韧性能是其设计的关键技术要求,也是结构选材的主要条件。对比几种典型材料的弹性伸长率和柔量等性能参数可知^[4,5],常用的金属材料铝和钢的最大弹性伸长率仅为0.5%左右,碳纤维复合材料为0.8%~1.7%,而玻璃钢可达2%~3.2%,同时玻璃钢柔量比上述几种材料大数倍,可见玻璃钢具有较好的柔韧特性。此外,玻璃钢还具有良好的抗疲劳特性、较好的温度特性及耐腐蚀性等。综合分析结果表明,玻璃钢复合材料是无人机舵面柔性铰链片的最佳选择材料。

3 玻璃钢柔性铰链片结构

借助于复合材料的经典迭层板理论,通过材料设计、铺层设计和弹性柱状弯曲结构设计来进行玻璃钢柔性铰链片的工程设计^[6]。

玻璃钢柔性铰链片的结构被设计为“薄片”式狭长矩形迭层板。“薄片”式狭长矩形迭层板沿长度方向的铺层可依据结构设计的需要设计为等层数铺层或“梳状”层数变化铺层形式,如图2所示。由于铰链片的厚度很薄,因此铰链片迭层板的铺层单元采用二维纤维织物制品,这样便于进行对称均衡的铺层设计。铰链片的安装采用连续、均匀的胶接连接方式,其两个长边分别与舵面和安定面胶接,如图3所示。

当舵面偏转时,狭长铰链片沿宽度方向将产生

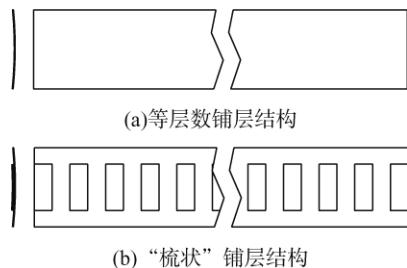


图2 “薄片”式狭长矩形铰链片结构形式

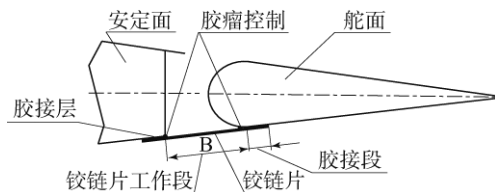


图3 舵面铰链片结构示意图

等曲率弹性柱状弯曲变形。因此保证整个铰链片材质的均匀性和几何尺寸,以及在胶接装配中,严格控制铰链片工作段的宽度尺寸精度(图3中的宽度B),对实现这种等曲率弹性柱状弯曲是相当关键的。

4 柔性铰链片的制造与装配

由于铰链片结构对其材质的均匀性和几何尺寸精度要求较高,因此认为手糊成型室温固化的环氧玻璃钢的耐热性及质量一致性难以达到这些要求,故确定选用中温固化韧性环氧树脂预浸料在热压罐中成型玻璃钢铰链片。

考虑到室温胶接装配过程的限制和对胶粘剂耐热性的需求,选择室温固化韧性环氧胶粘剂,该胶粘剂于室温固化后的剪切强度和剥离强度需满足通常无人机的使用温度要求。

在胶接装配过程中如何保证胶接区内边缘平直并且避免此边缘部位产生胶瘤是需要解决的关键工艺技术。为此,采取了用所选胶粘剂和纤维织物带制品预制胶粘带的方法,在胶粘带的预制过程中需要严格控制其宽度、含胶量以及含胶均匀性。铰链片与安定面和舵面的胶接连接在装配模具中进行,以保证铰链片位置、胶接位置准确和所需的胶接压力。舵面铰链片的胶接装配过程如图4所示。

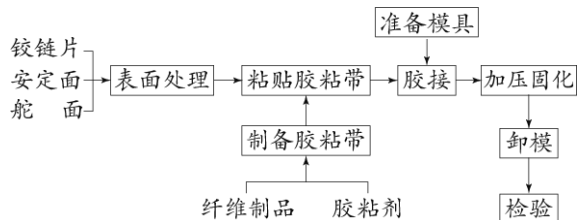


图4 舵面铰链片胶接装配过程

5 应用实例

玻璃钢舵面柔性铰链片已经被成功地应用于某型无人机的升降舵面和方向舵面上。该无人机的使用温度范围为 $-40 \sim +55^{\circ}\text{C}$ 。

经过详细的分析和设计, 选用了美国 Hexcel 公司的 913 G-120-55 预浸料来制作该无人机舵面的玻璃钢柔性铰链片。该预浸料由玻璃布与中温固化改性环氧树脂基体制成, 其单层固化厚度 0.12 mm, 固化温度 125°C , 固化时间 60 min, 固化压力 0.3 MPa。固化后玻璃钢的最大干态和湿态使用温度分别可达 130°C 和 100°C 。装配胶接用的胶粘剂选择了美国 3M 公司的 2216B 型室温固化韧性环氧胶粘剂。

铰链片的铺层设计为等层数铺层。按照最大应变 $\epsilon_{\max} \leq 0.9\%$ 来控制, 铰链片弹性柱状弯曲的最小曲率半径 $\rho_{\min} = 42.6 \text{ mm}$, 满足了舵面上偏 30° 、下偏 20° 的要求。在最大舵面气动载荷下, 舵面的下沉位移不大于 1.5 mm, 认为基本不影响舵面的功能和效率。

应用玻璃钢柔性铰链片的小型无人机已成功地完成了多次飞行试验, 结果表明, 玻璃钢舵面柔性铰

链片的应用不仅提高了舵面气动效率, 而且减小了舵面给操纵系统带来的间隙, 提高了舵面操纵精度。

6 结语

(1) 玻璃钢舵面柔性铰链片是玻璃钢复合材料在无人机设计上的一个新的应用, 此设计概念具有较高的工程应用价值。

(2) 玻璃钢舵面柔性铰链片的气动补偿设计可较大幅度提高小型无人机舵面的气动效率。

(3) 玻璃钢舵面柔性铰链片的成型工艺性好, 胶接装配工艺简单, 易于实施。

参考文献

- 1 张元明, 赵鹏飞. 小型无人机 C/G 复合材料尾撑杆的设计. 玻璃钢/复合材料, 1996(5): 20
- 2 张元明, 赵鹏飞. 玻璃钢蒙皮/全腔填充泡沫塑料夹芯结构机翼设计. 玻璃钢/复合材料, 2003(1): 17
- 3 Zhang Yuanming, Zhao Pengfei. Design and Manufacture of FRP Foam Sandwich Structure Wing for a UAV. Bristol, 18th Bristol International UAV Systems Conference, 2003-03-31.
- 4 姜作义, 张和善. 纤维-树脂复合材料技术与应用. 北京: 中国标准出版社, 1990.
- 5 工程材料实用手册编辑委员会. 工程材料实用手册. 北京: 中国标准出版社, 1989.
- 6 蔡四维. 复合材料结构设计. 北京: 人民交通出版社, 1987.

DEVELOPMENT OF THE GFRP FLEXIBLE LAMELLA "HINGE" FOR UAV CONTROL SURFACE

Zhang Yuanming, Zhao Pengfei, Zhang Zhongwei

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

ABSTRACT A new design concept of flexible lamella "hinge" for unmanned aerial vehicle(UAV) control surface is presented. The flexible lamella "hinge" is made of thin GFRP (glass-fiber reinforced polymer) laminates because it is more flexible than other materials. The flexible lamella "hinge" can be bended into column shape adaptive to control surface movement. The structure types of the GFRP flexible lamella "hinge" are given, and its manufacture method is realizable. This new design concept have been applied to a UAV successfully, the aerodynamic efficiency of control surface is improved obviously.

KEYWORDS GFRP, flexible lamella "hinge", UAV, control surface, manufacture method

燕化成为聚丙烯专用料基地

目前, 燕化公司第二套聚丙烯装置专用料平均生产比例已达 92%, 第三套聚丙烯装置专用料平均生产比例达 80.7%, 两套聚丙烯装置可生产聚丙烯专用料牌号达 140 余种, 成为名副其实的聚丙烯专用料生产基地。

2002 年, 国内聚丙烯通用料市场相对饱和, 而专用料缺口较大, 进口产品 70% 以上为专用料。燕化公司抓住这一市场机遇, 强化该公司在聚丙烯专用料方面的优势, 率先开发出洗衣机料、管材料等一系列高质量、高附加值的聚丙烯专用料。在这些专用料产品中, 洗衣机专用料 PP1947 系列、K7726 系列产品深受海尔、小天鹅、荣事达等国内知名洗衣机厂家的欢迎, 已经占领全国 50% 的市场份额; 管材料 PPR4220、PPB4240、B8101、洗衣材料 K7726、嵌段共聚料

K8303 等产品质量稳定、形成批量生产, 大量替代了进口产品, 成为燕化公司重要的经济效益增长点。(晁璇)

GRP 新型温室覆盖膜在山西问世

日前玻纤增强塑料(GRP)新型温室覆盖膜在山西问世, 该产品的推广应用, 将对温室大棚的大范围发展起极大的促进作用。

该新型覆盖膜以玻璃纤维为主要原料, 再用不饱和聚酯树脂、醇酸稀料、松香、过氧化甲乙酮、环烷酸钴和明矾等多种原料配制而成。与普通的塑料薄膜相比, 它的最大特点在于, 当室外温度高于 -16°C 的情况下, 温室不需要盖草帘, 在降低农民投资的同时节省了劳动力。并且, 该产品的透光性好、力学性能高、保温性能好, 使用寿命是普通塑料薄膜的 10 倍。(陈玉民)