

基于吊耳互换性的公差标注分析与应用

郑 舰, 罗 兵, 郝桂珍, 黎 玄

(江西洪都航空工业集团有限责任公司, 江西 南昌 330024)

摘 要 吊耳是机载悬挂物与载机挂架之间唯一的机械对接接口, 其制造精度、装配精度决定了机载悬挂物的挂机及离机可靠性, 故对吊耳上涉及与载机挂架配合的尺寸进行约束, 针对影响配合关系的实体特征要素采用尺寸公差或位置公差样式进行标注。本文针对吊耳的安装互换性, 分别应用尺寸公差和位置公差计算吊耳互换条件, 选取较优方法应用于工程化生产中, 以期为相关人员提供参考。

关键词 吊耳; 悬挂物; 尺寸公差; 位置公差; 互换性

中图分类号: TG8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.05.003

0 引言

吊耳是机载悬挂物不可或缺的部分, 它结构简单、体积小、承载量大、使用维护方便、一般采用高强度钢锻造毛坯, 再通过机械加工成型^[1-2]。吊耳要求能承受振动、冲击、瞬变载荷及温度效应, 还需足够的强度、刚度及使用寿命。此外, 吊耳的制造误差和装配误差对悬挂物与载机挂架之间的对接和分离可靠性有着决定性的作用, 故对吊耳本身及悬挂物^[3]上吊耳安装部位的相关要素提出尺寸公差及位置度公差要求。本文根据某型产品的吊耳互换性需求, 基于数字量传递原理, 建立吊耳在悬挂物舱段上安装的尺寸链模型, 结合实例分析比较尺寸标注和位置度标注在工程化应用中的优缺点。

1 主要技术要求

吊耳安装于悬挂物某舱段上, 吊耳相对于舱段对称面的对称度 $T_e=0.3$; 吊耳下齿面距离水平基准面的尺寸 L_7 公差为 $0 \sim +0.5$ 。

2 指标符合性设计

2.1 吊耳安装对称度符合性设计

吊耳安装在悬挂物某舱体上, 通过两定位销确定与舱体的位置关系, 吊耳对称面相对于舱体对称面的对称度误差最大值为 $T_e=0.3$, 实际装配的对称度误差值 T_0 有 4 个影响环节, 分别为: 吊耳定位销孔与吊耳中心对称面的尺寸 L_1 , 定位销同轴度误差 L_2 , 定位销小端直径 d 及舱体定位销孔直径 D 的配合间隙, 舱体定位销孔相对于舱体中心对称面的尺寸 L_3 。

2.1.1 吊耳定位销孔与相对于吊耳对称面尺寸 L_1

根据吊耳尺寸标注, 吊耳两定位销孔中心距为 $a \pm 0.1$, 将中心距标注形式转化为单侧尺寸标注形式, 则为 $L_1 = \frac{a}{2} \pm 0.05$ 。

2.1.2 定位销同轴度误差 L_2

定位销为阶梯销结构, 其大端与吊耳采用过盈配合, 配合尺寸为 $\phi DH8/u7$, 其小端与舱体采用间隙配合, 配合尺寸 $\phi dH8/f7$, 则舱体销孔直径 $D_1 = \phi d_0^{+0.022}(H8)$, 定位销小端直径 $d_1 = \phi d_{-0.028}^{-0.013}(f7)$, 定位销大端与小端同轴度误差为 0.03, 则记为 $L_2 = 0 \pm 0.015$ 。

2.1.3 舱体定位销孔相对于舱体对称面的尺寸 L_3

舱体吊耳安装槽两定位销孔中心距尺寸 $b \pm 0.1$, 尺寸及公差与吊耳一致, 则舱体定位销孔距舱体中心对称面的尺寸为 $L_3 = \frac{b}{2} \pm 0.05$ 。

通过定位销确定吊耳与舱体之间的位置, 吊耳相对于舱体对称面的对称度误差值可以建立图 1 所示的尺寸链模型, 封闭环 L_0 即为吊耳相对于舱体对称面的对称度误差, 则根据极值法计算上偏差 $ES(L_0)$:

$$ES(L_0) = ES(L_1) + \frac{1}{2} ES(D) - EI(L_3) - \frac{1}{2} EI(d) - EI(L_3) \quad (1)$$

经计算得上偏差 $ES(L_0) = 0.140$ 。

计算下偏差 $EI(L_0)$:

$$EI(L_0) = EI(L_1) + \frac{1}{2} EI(D) - ES(L_3) - \frac{1}{2} ES(d) - ES(L_3) \quad (2)$$

经计算得下偏差 $EI(L_0) = -0.1215$, 则吊耳相对于舱体的对称度误差为 $T_0 = 0.280$; 根据计算结果可知, 当前所给定的公差精度符合吊耳安装对称度要求。

作者简介: 郑舰 (1990-), 男, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 飞行器设计。

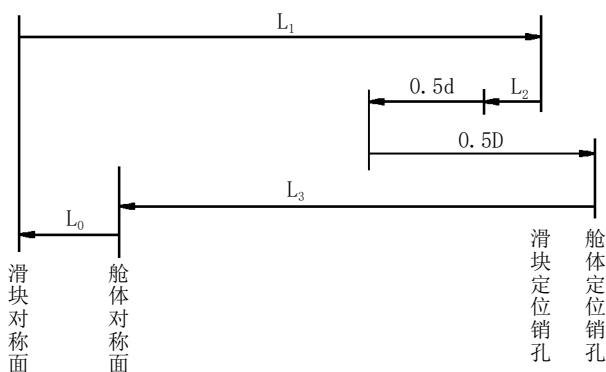


图1 吊耳装配尺寸链模型

2.2 吊耳安装高度

吊耳下齿面距离底面尺寸为 $L_5 \pm 0.1$ ；吊耳下齿面距离舱体水平基准面的距离需满足 $L_6^{+0.5}$ ，如图2所示，为满足互换性需求，则舱体吊耳安装面距离水平基准面之间的距离 L_7 ，可以通过建立尺寸链模型（见图3）计算得出。

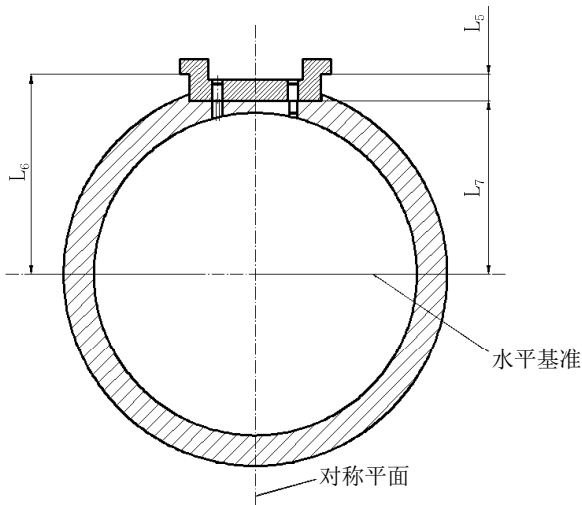


图2 吊耳安装尺寸图

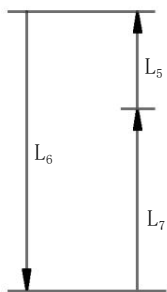


图3 吊耳安装尺寸链建模

根据上述尺寸链模型，尺寸 L_6 是由吊耳与舱体装配后形成，属于间接保证尺寸，故 L_6 属于封闭环，组

成环 L_5 、 L_7 为增环，该尺寸链中无减环，故 L_7 上偏差为：

$$ES(L_7) = ES(L_6) - ES(L_5) \quad (3)$$

经计算可得 $ES(L_7) = +0.4$ 。

L_7 下偏差为：

$$EI(L_7) = EI(L_6) - EI(L_5) \quad (4)$$

经计算可得 $EI(L_7) = +0.1$ ，故吊耳安装面距舱体水平基准面为 $L_7 = L_{+0.1}^{+0.4}$ 时，可保证吊耳与舱体具有完全互换性。

3 吊耳互换性计算

吊耳采用两个定位销实现与舱体定位，通过8组M8螺栓^[4]与舱体连接，为便于定位销与精度孔的顺利配合，将其中一个定位孔制成腰型孔；吊耳与舱体的连接形式有两类，即HB6624所述的A类、B类连接；其中采用A类连接时，吊耳、舱体均设计为通孔，且在舱体内部增加衬板，变曲面接触为平面接触、便于螺母安装与防松，使螺栓组依靠螺栓/螺母啮合的螺牙受力，强度高；采用B类连接时，直接在舱体攻丝，通过8组螺栓组件将吊耳直接焊接安装于舱体上，依靠螺栓和舱体上啮合的螺牙受力，舱体体积大无法热处理，故连接强度降低。采用A类连接安全可靠，舱体内部安装衬板、螺母，连接处强度高，但是吊耳拆卸需要旋下内部的螺母与衬板，每次需断开舱段，方可进行拆装，难度较大、耗时较长；采用B类连接时，直接在舱体上攻丝，连接处强度降低，安全性、可靠性相对较差，但是吊耳换装便捷，从外部拆装螺栓即可实现吊耳拆装，具有很好的维修保障性；分别对采用A类、B类连接时舱体上连接孔定位公差进行计算。

3.1 A类连接

采用A类连接时，舱体上开设通孔，且舱体内部需增加衬板，方便螺栓组锁紧固定，吊耳、舱体、衬板上均开设通孔，如图4所示；其位置度公差或尺寸公差与B类连接时一致，每个孔的位置度为 $\phi 0.1414$ ，或是每个孔相对于对称面的尺寸误差为 $\pm \delta_L = \pm 0.05$ 。

吊耳、舱体、衬板上的螺钉连接孔的孔位特点属于位置成数排的孔，连接形式属于A类连接，且舱体、吊耳部位的螺钉连接孔需要以定位销孔为基准，故计算螺钉孔与螺杆之间最小间隙 $Z_{\min}$ 应减半，具体公式如下：

$$\pm \delta_L = \frac{KZ_{\min}}{2\sqrt{2}} \quad (5)$$

代入孔位置的尺寸偏差 $\pm \delta_L = \pm 0.05$ 计算可得 $Z_{\min} = 0.1414$ ；则吊耳、舱体、衬板需开设的最小孔径为 $\phi 8.15$ 的通孔。

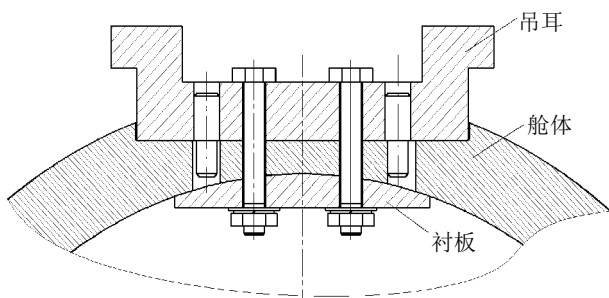


图 4 A 类连接形式

3.2 B 类连接

采用 B 类连接时, 舱体开设 8 个 M8 螺纹通孔, 用于固定吊耳, 采用尺寸公差标注 8 个孔的位置关系, 将尺寸公差转化为单侧公差方式, 每个螺钉孔沿航向、侧向的尺寸公差分量分别为 $T_x = \pm 0.05$ 、 $T_z = \pm 0.05$; 根据 HB6624 所述, 对航向、侧向公差进行合成, 则可得到每个螺钉孔的位置度公差为:

$$T_{xz} = \sqrt{T_x^2 + T_z^2} \quad (6)$$

代入式 (5) 计算可得 $T_{xz} = 0.1414$; 则螺钉孔采用位置度公差标注方式, 位置度公差取整为 0.15。

吊耳具备互换性^[5]时, 螺栓连接孔最小直径可以根据如下公式计算, 尺寸 L1、L2、L3、L4 的极限偏差 $\pm \delta_L$ 分为:

$$\text{A 类连接: } \delta_L = \frac{KZ_{\min}}{2\sqrt{2}}$$

$$\text{B 类连接: } \delta_L = \frac{KZ_{\min}}{4\sqrt{2}}$$

已知吊耳上的 8 个螺钉连接孔, 其孔位置特点属于“以两个相互垂直的平面的一孔或数孔”, 并且其中一个被连接件 (悬挂物舱体) 为螺纹孔, 故吊耳与舱体的连接形式属于 B 类连接, 安装形式如图 5 所示, 且所有螺钉孔轴线均以中心面为基准, 故吊耳螺钉连接孔与螺杆之间的最小间隙 $Z_{\min}$ 应减半, 如下式:

$$\pm \delta_L = \frac{KZ_{\min}}{4\sqrt{2}} \quad (7)$$

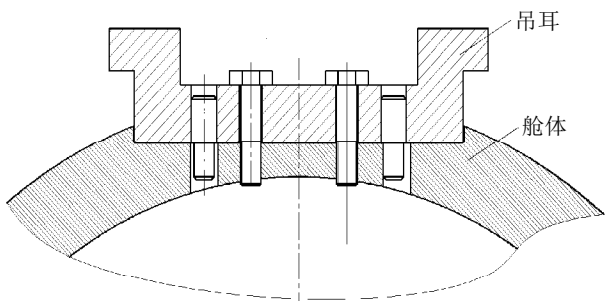


图 5 B 类连接形式

吊耳上 8 个螺钉孔是以对称平面为基准, 极限偏差为 ± 0.05 , 代入式 (7) 可得: $Z_{\min} = 0.2828$; 则吊耳具备互换性时, 螺钉连接孔最小孔径为 $\phi 8.3$ 。

4 结束语

本文论述的吊耳互换性分析计算中, 应用了尺寸公差^[6]和位置公差标注^[7], 尺寸公差与位置公差均可应用于零部件实体特征标注。鉴于尺寸公差标注因简单明了, 在实际应用中更加广泛地用于长度、直径 (半径) 等特征要素的标注。而对于位置公差, 所有基本尺寸均为理论尺寸, 所有公差均一致, 因此, 回转特征、对称特征、轴线、孔阵, 外形轮廓等要素宜采用位置公差标注, 但位置公差检测复杂, 手工操作耗费工时多, 被测要素与基准要素需要通过测量多处点位拟合而成, 故位置度多采用三坐标进行测量, 显著提高检测成本。尺寸公差标注和位置公差标注各有所长, 在工程实际应用中, 应根据吊耳的结构特征、装配要求及生产经济性综合选择标注方式, 实现二者的优化搭配。对于关键配合部位的位置精度控制, 优先采用位置公差标注确保对接可靠性; 对于非关键的单一尺寸要素, 采用尺寸公差标注简化生产与检验流程。同时, 标注设计需兼顾低成本原则, 在满足吊耳互换性核心要求的前提下, 合理平衡制造难度与精度需求, 避免过度追求公差精度导致生产与检测成本激增。通过科学的公差标注策略, 既能保障机载悬挂物的使用安全性与可靠性, 又能提升生产效率、控制制造成本, 为吊耳的工程化批量生产提供切实可行的技术支撑。

参考文献:

- [1] 宋磊, 隋合怡, 聂青, 等. 机载飞行器挂架接口精度设计方法 [J]. 导弹与航天运载技术, 2017(05):26-28,66.
- [2] 陈晓阳, 李佳慧. 通用武器接口在机载武器集成过程中的应用研究 [J]. 电光与控制, 2019,26(02):80-83,96.
- [3] 左虹, 左雪雯, 郭文利, 等. 机载悬挂物管理系统技术发展趋势 [J]. 电光与控制, 2020,27(02):51-54.
- [4] 袁钰坤, 王领, 张鹏博. 低合金超高强度钢螺钉断裂原因分析 [J]. 金属加工 (热加工), 2020(06):49-53.
- [5] 陶浩浩, 李同杰, 王一鸣, 等. 浅析素质教育下互换性与测量技术的教学 [J]. 时代汽车, 2025(05):77-79.
- [6] 张庆夫. 基于尺寸工程的汽车零部件公差叠加分析应用 [J]. 汽车零部件, 2024(03):80-83.
- [7] 闫清东, 陈修齐, 魏巍, 等. 旋转机械轴系装配体位置公差预测方法与优化研究 [J]. 兵工学报, 2018,39(12):2298-2305.