

温度变化对飞机翼面类结构装配的影响研究

徐鹏

(上海飞机制造有限公司 制造工程中心, 上海 201324)

摘要:针对温度变化对大型结构件装配影响较大的问题,以某型飞机升降舵铰链装配为例,分析温度变化对升降舵铰链装配展向位置的影响,通过理论分析与试验验证相结合的方式进行研究,得到了相关结论,并提出了解决方案,可以作为解决飞机翼面类结构装配问题的参考。

关键词:温度变化;飞机;翼面类结构;装配

中图分类号:V262.4 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)05-0060-04

Study of Effect of Temperature on Aircraft Wing Structure Assembly

XU Peng

(Manufacturing Engineering Center, Shanghai Aircraft Manufacturing Co., Ltd., Shanghai 201324, China)

Abstract: The temperature change has great influence on large structure assembly. This paper takes the large airplane wing structure for example. The temperature change has greater influence on the assembly of such structure. By the theoretical analysis, experimental verification and study, it obtains the relevant conclusion, and puts forward the solutions. It can give a reference to the assembly of the aircraft wing structures.

Keywords: temperature change; aircraft; wing structure; assembly

0 引言

飞机的制造过程从某种意义上说是在各不相同的室温下,用测量工具、标准工艺装备将飞机图样上的尺寸和形状逐步地传递给飞机零件制造和装配工艺装备,再由工艺装备传递到产品上去的过程^[1]。对于尺寸较小的结构,温度变化对装配的影响较小,基本可以忽略。但对于飞机翼面类结构,往往展向尺寸较大,温度变化对该类结构展向装配的影响则较大,有时甚至决定了该类结构能否顺利装配。

程宝冀针对温差、温滞和温滞差对飞机大部件结合交点协调的影响进行了研究,揭示了它们对协调误差的影响^[2];刘忠梁针对热膨胀对飞机装配协调的影响以及对飞行器装配中产生的两种热膨胀误差进行了研究,提出了消除其影响的相关技术^[3-4];杨亚文针对温度对型架稳定性的影响进行了研究,分析了造成温度影响稳定性的因素,提出了消除温度影响的方法^[5];邹爱丽等提出了减小飞机装配过程中温度变化影响的具体措施^[6];张俐通过分析飞机装配过程中受环境温度影响的相关因素,总结出一套有关装配、对接工艺中关键测量点的综合热变形误差分析方法^[7]。

本文以某型飞机升降舵铰链装配为例,针对温度变化对该类结构的影响进行深入研究,以期得到一些普遍性的结论,作为该类结构装配的参考。

1 问题描述

某型飞机升降舵与水平安定面,通过水平安定面后梁上的6个悬挂支架接头与升降舵铰链支架接头进行连接,如图1所示。悬挂支架接头与升降舵铰链支架接头之间为单双耳对接的形式。

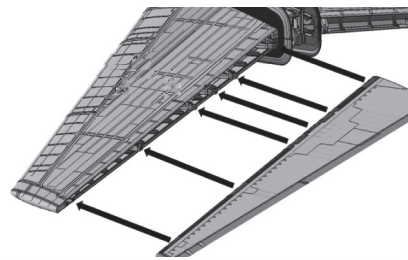


图1 升降舵与水平安定面对接示意图

升降舵与水平安定面对接时,6号铰链接头(接头编号如图2所示)与悬挂支架接头连续几架次均存在展向干涉,升降舵无法和水平安定面按图样要求对接。经过分析,除了设计问题和零件公差累积问题外,温度变化对升降舵铰链位置也会产生影响,但是目前没有任何数据表明影响的程度。

为了研究温度变化对升降舵铰链装配展向位置变化的影响规律,本文拟通过理论分析与实验验证相结合的方式,对影响规律进行分析。

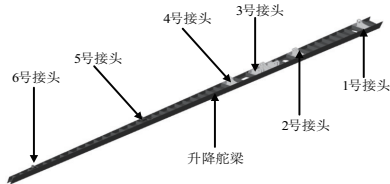


图2 升降舵铰链接头示意图

2 理论分析

某型飞机升降舵与水平安定面的对接协调路线如图3所示。升降舵标准量规与水平安定面标准量规为相互协调的正反标工；以升降舵标准量规作为依据，安装升降舵铰链装配型架上的铰链接头定位器，最后通过工装安装升降舵产品上的铰链接头；同样，以水平安定面标准量规作为依据，安装水平安定面悬挂支架装配型架上的悬挂支架定位器，最后通过工装安装水平安定面产品上的悬挂支架接头。

经过现场测量发现，正、反标工之间以及两副装配型架之间的协调尺寸误差相对较小(0.1 mm 以内)，因此，须重点研究装配型架至产品的误差。

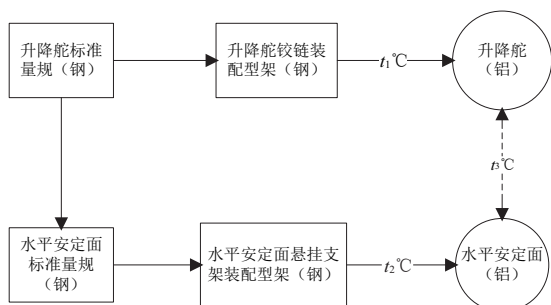


图3 升降舵与水平安定面对接协调路线图

根据协调路线图，画出接头协调尺寸的线膨胀曲线图，如图4所示。

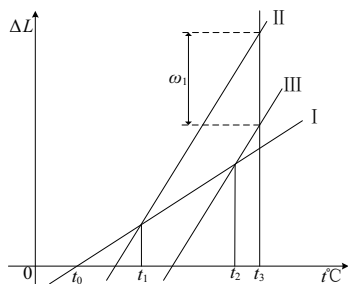


图4 接头协调尺寸线膨胀曲线图

图中：I——升降舵和水平安定面装配型架接头定位件的协调尺寸 L_A 和 L_B 的线膨胀曲线，也是标准工艺装备上的对应协调尺寸的线膨胀曲线，它以 t_0 (20℃) 为标准温度，在标准温度时其尺寸为公称尺寸(不计制造误差)。

II——升降舵铰链支架接头在装配型架上，于 t_1 时固定后，接头的协调尺寸 L_A 的线膨胀曲线。

III——水平安定面悬挂支架接头在装配型架上，于 t_2 时固定后，接头的协调尺寸 L_B 的线膨胀曲线。

3 条曲线的方程式分别为：

$$I : \Delta L_{\text{型架}} = L_0 \alpha_{\text{钢}} (t - t_0) \quad (1)$$

$$II : \Delta L_A = L_0 \alpha_{\text{铝}} (t - t_1) + L_0 \alpha_{\text{钢}} (t_1 - t_0) \quad (2)$$

$$III : \Delta L_B = L_0 \alpha_{\text{铝}} (t - t_2) + L_0 \alpha_{\text{钢}} (t_2 - t_0) \quad (3)$$

式中： $\alpha_{\text{钢}}$ 、 $\alpha_{\text{铝}}$ 分别为钢和铝合金的线膨胀系数； $\Delta L_{\text{型架}}$ 、 ΔL_A 、 ΔL_B 分别为型架、升降舵和水平安定面的协调尺寸 (L) 在温度由 t_0 变到 t 时的尺寸变化。

升降舵和水平安定面的线膨胀协调误差 (ω_1) 为

$$\omega_1 = \Delta L_A - \Delta L_B \quad (4)$$

将式(2)和式(3)代入式(4)，得

$$\omega_1 = L_0 \cdot \Delta \alpha \cdot \Delta t \quad (5)$$

式中： $\Delta \alpha = \alpha_{\text{铝}} - \alpha_{\text{钢}}$ ； $\Delta t = t_2 - t_1$

由图3和式(5)可知， ω_1 与部件对接时的温度 t_3 无关^[1,3]。

3 试验验证

3.1 工装温度随周围环境温度的变化

为了验证实际情况下工装温度随周围环境温度的变化情况，用 T 型热电偶(铜-康铜热电偶，测温范围-200℃ ~ +350℃，测量精度±1℃)，对升降舵铰链工装及其周围环境温度进行了测量(图5)。测量时间从上午 9:00 到下午 4:30，测量时间间隔 30s，左、右工装各 2 个测量点(共 4 个)，测量结果如图 6-图 9 所示。

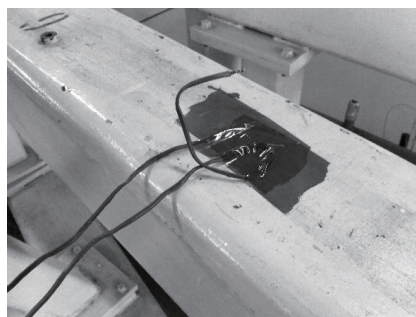
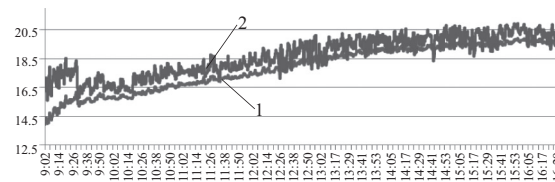
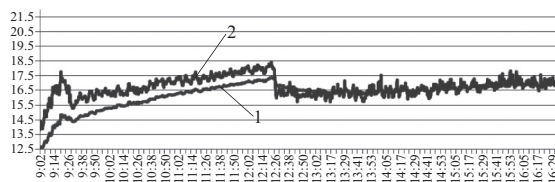


图5 T型热电偶



1—工装表面温度；2—工装环境温度。

图6 测量点1工装及周围环境温度



1—工装表面温度；2—工装环境温度。

图7 测量点2工装及周围环境温度

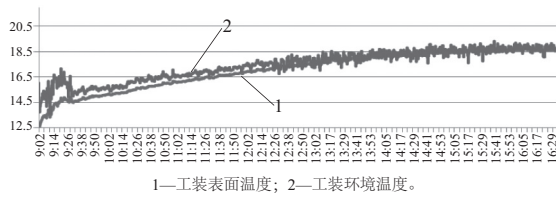


图 8 测量点 3 工装及周围环境温度

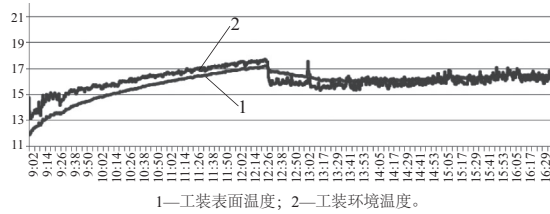


图 9 测量点 4 工装及周围环境温度

从以上测量结果可得出以下结论:

1) 工装温度变化滞后于环境温度变化;

2) 空调对工装温度影响较大。工装与环境在上午空调刚开启时温度相差最大,随着环境及工装温度的升高,二者的差值逐渐缩小,到中午前后,工装与环境的温度大体相同;中午后,工装与环境的温度缓慢升高,但升幅较小。

根据上述温度测量的结论,测量都是在下午 1:30 以后进行,用环境温度代替工装表面温度。

3.2 温度变化对升降舵铰链装配型架的影响

升降舵铰链装配型架如图 10 所示。以铰链装配型架的坐标系作为基准,用激光跟踪仪测量用于定位升降舵铰链定位器的定位面和孔圆心,减去理论偏移的尺寸后得到值即为测量的 1#、2#、3#、4#、5#、6#。由于研究的目标是升降舵展向位置的变形,而展向方向不与铰链装配型架坐标系的任一坐标轴平行,因此以 2#、3#、4#、5#、6#到 1#的距离为参照目标处理数据。经过测量,不同温度相对 9.2℃时工装铰链点位置的偏差值如表 1 所示。

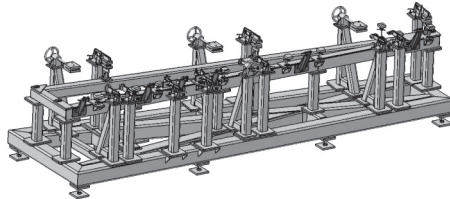


图 10 升降舵铰链支架装配型架

表 1 不同温度相对 9.2℃时工装铰链点位置的偏差值 单位:mm

位置	左侧工装偏差			右侧工装偏差		
	12.4℃	24.5℃	19.3℃	12.4℃	24.5℃	19.3℃
1#-2#	0.010	-0.041	-0.053	0.052	0.030	0.066
1#-3#	0.035	-0.020	-0.008	0.056	0.046	0.040
1#-4#	-0.009	-0.007	-0.052	0.061	0.066	0.097
1#-5#	0.014	0.053	0.019	0.089	0.069	0.007
1#-6#	0.097	0.004	0.019	0.056	-0.073	-0.104

根据表 1,以 9.2℃变化值为基准,展向最大变化值出现在右侧型架 1#-6#的 19.3℃时,变化值 0.104 mm。

温度变化对升降舵铰链装配型架工装铰链接头定位器的展向位置影响较小,大多数变化值和激光跟踪仪误差在同一数量级。产生这种结果的主要原因是,虽然升降舵装配型架本身会随着温度的变化热胀冷缩,但型架通过地脚螺栓固定在地坪上(图 10),而地坪相对于室温变化的伪热膨胀系数($\alpha_{地伪}$)很小,经过相关实验测量,为 $0.46 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ ^[3],与工装材料钢的热膨胀系数相差近 25 倍(估算时可近似认为 $\alpha_{地伪} \approx 0$),工装受到地坪的约束,导致变化值较小。因此,温度变化对升降舵铰链装配型架基本无影响。

3.3 温度变化对升降舵产品的影响

在不同温度下,采用激光跟踪仪测量对升降舵铰链接头的位置进行测量,得到不同温度下升降舵铰链点测量与理论偏差值及不同温度相对 9.8℃时升降舵铰链接头位置偏差值,如表 2 所示。

表 2 不同温度相对 9.8℃时铰链接头位置偏差值 单位:mm

位置	左侧产品偏差			右侧产品偏差		
	11.4℃	19.3℃	24.5℃	11.4℃	19.3℃	24.5℃
1#-2#	0.165	0.284	0.530	0.073	0.226	0.374
1#-3#	0.278	0.503	0.885	0.116	0.365	0.567
1#-4#	0.097	0.458	0.960	0.180	0.489	0.762
1#-5#	0.267	0.889	1.634	0.179	0.659	1.217
1#-6#	0.339	1.261	2.345	0.275	1.048	1.794

根据表 2,以 9.8℃变化值为基准,当温度为 24.5℃时,左侧 1#-6#铰链接头距离变化值为 2.345 mm,右侧 1#-6#铰链接头距离变化值为 1.794 mm。

温度变化对升降舵产品的铰链接头展向位置影响值明显。升降舵 5 个铰链接头与 1 号铰链接头的距离随着温度提高而变大。两铰链间距离越长,对温度变化反应越明显。由于温度变化对装配型架的影响较小,因此,式(2)变为:

$$\Delta L_A' = L_0 \cdot \alpha_{铝} \cdot (t - t_1) \quad (6)$$

以升降舵 6 号铰链接头为例,铝在 0℃~100℃之间的热膨胀系数($\alpha_{铝}$)为 $23.5 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$,当温度变化 15℃时,1 号接头与 6 号接头距离变化($\Delta L_A'$)为 1.76 mm,与试验数据基本吻合。因此,升降舵产品随温度的变化规律与单纯铝的变化规律基本一致。

另外,忽略温度变化对装配型架的影响,式(3)变为:

$$\Delta L_B' = L_0 \cdot \alpha_{铝} \cdot (t - t_2) \quad (7)$$

升降舵和水平安定面的线膨胀协调误差 ω_2 为:

$$\omega_2 = \Delta L_A' - \Delta L_B' \quad (8)$$

将式(6)和式(7)代入式(8),得

$$\omega_2 = L_0 \cdot \alpha_{铝} \cdot \Delta t \quad (9)$$

式中: $\Delta t = t_2 - t_1$ 。

由式(9)可知, ω_2 仅与升降舵铰链支架和水平安定面

悬挂支架分别在其装配型架上定位时的温度 t_1 和 t_2 有关, 而与部件对接时的温度 t_3 无关。

4 解决措施

根据上述结论, 要控制升降舵与水平安定面之间的协调误差, 仅需分别控制升降舵铰链支架和水平安定面悬挂支架在其装配型架上定位时的装配温度。针对目前的结构形式, 提出了以下 4 种解决方案:

1) 升降舵铰链支架装配和水平安定面悬挂支架装配时, 分别记录温度值, 并尽量保持二者装配时的温度一致。

该方案较简单, 但实际操作中要将同一架份的 2 个组件在相同温度下装配存在一定的难度, 并且由于厂房温度并非恒定不变, 即使铰链装配时测得空间温度保持一致, 但由于工装本身升温存在滞后性, 实际并非所测得温度。

2) 制作恒温装置, 将升降舵铰链装配型架和水平安定面悬挂支架装配型架与外界环境隔离, 以消除温度影响。

该方案可以有效减小温度变化对装配的影响, 但恒温装置制作成本及后期运行维护费用较高。

3) 根据研究得出的温度变化影响规律, 针对不同装配温度制作不同厚度的补偿垫片(如以 20℃ 为基准), 以补偿温度变化的影响。

该方案成本介于方案 1) 与方案 2) 之间。本方案同样存在方案 1) 中温度测量的问题, 且现场操作较为繁琐, 不利于生产效率的提升。

4) 将钢制工装全部更换为铝制工装, 在同一温度下, 安装升降舵铰链接头与水平安定面悬挂支架定位器, 通过定位器的变形解决铰链接头和悬挂支架的偏差问题。另外, 按照目前工装的结构形式, 工装受到地坪的约束, 并非自由热胀冷缩, 建议将铰链装配型架与地坪连接的展向改为伸缩可调结构。

该方案成本较高, 可在后续新建生产线时考虑。

5 结语

本文以某型飞机升降舵铰链装配为例, 针对温度变化对升降舵铰链装配展向位置的影响, 采用理论分析与试验验证相结合的方式进行了研究, 得到了如下结论:

1) 温度变化对升降舵铰链装配型架基本无影响。

2) 温度变化对升降舵产品的铰链接头展向位置影响明显。5 个铰链接头与 1 号铰链接头的距离随着温度提高而变大, 两铰链间距离越长, 对温度变化反应越明显。

3) 升降舵产品随温度的变化规律与单纯铝的变化规律基本一致。

4) 升降舵与水平安定面之间的协调误差仅与升降舵铰链支架和水平安定面悬挂支架分别在其装配型架上定位时的温度 t_1 和 t_2 有关, 而与部件对接时的温度 t_3 无关。

根据上述结论提出的 4 种解决方案, 可以作为解决飞机翼面类结构装配问题的参考。

参考文献:

- [1] 程宝冀. 飞机制造协调准确度与容差分配[M]. 北京: 国防工业出版社, 1978.
- [2] 程宝冀. 温差、温滞和温滞差对飞机大部件结合交点协调的影响[J]. 南京航空航天大学学报, 1986, 18(3): 77-82.
- [3] 刘忠梁. 飞机装配协调互换问题与装配型架设计安装[M]. 北京: 航空工业出版社, 1991.
- [4] 刘忠梁. 热膨胀误差对飞行器装配中互换协调的影响及其排除方法[J]. 航空制造技术, 2001(1): 57-60.
- [5] 杨亚文, 李永策. 温度对飞机装配型架稳定性的影响及消除方法[J]. 沈阳航空工业学院学报, 2000, 17(1): 4-7.
- [6] 邹爱丽, 戴良景, 刘震磊, 等. 温度变化对飞机装配的影响及解决措施[J]. 沈阳航空工业学院学报, 2006, 23(2): 17-18.
- [7] 张刚, 王炜辰. 基于飞机装配的热变形误差分析方法[J]. 机械工程与自动化, 2017(1): 4-6.

收稿日期: 2019-03-20

(上接第 42 页)

- [4] Dykas, B. Investigation of thermal and rotational contributions to the catastrophic failure mechanism of a thin-walled journal operating with foil air bearings[C]. Master's Thesis, Case Western Reserve University, 2003.
- [5] Prah J, Dykas B, Bruckner R. Preliminary experimental characterization of the gas film in foil thrust bearings[C]. STLE/ASME 2006 International Joint Tribology Conference. 2006; 1367-1368.
- [6] Feng K, Kaneko S. Thermohydrodynamic study of multiwound foil bearing using lobatto point quadrature [J]. ASME Journal of Tribology, 2009, 131: 217-219.
- [7] Andres L S, Kim T H. Thermohydrodynamic analysis of bump type gas foil bearings: A model anchored to test data [J]. ASME Journal of Engineering Gas Turbines and Power, 2010, 132: 425-429.
- [8] Lee D, Kim D. Design and performance prediction of hybrid air foil thrust bearings[J]. Journal of Engineering for Gas Turbines & Power, 2015, 133(4): 425-426.

- [9] 陈汝刚, 陈韬. 温度影响下箔片动压止推轴承分析[J]. 西安交通大学学报, 2014, 48(11): 32-36.
- [10] 姜本刚, 雷群, 杜建军. 高速滚珠轴承电主轴热态特性分析[J]. 润滑与密封, 2017, 42(2): 6-12.
- [11] 闫佳佳, 刘占生, 张广辉, 等. 考虑稀薄气体效应的止推箔轴承静特性分析[J]. 航空动力学报, 2016, 31(6): 1521-1529.
- [12] 张学清. 高温微气体动压轴承非等温气膜动力特性及箔片固体润滑涂层研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2016.
- [13] 凌文辉, 王以飞, 裴云, 等. 冲压发动机气膜冷却分析模型[J]. 推进技术, 2011, 32(5): 713-716.
- [14] 吴宏, 邓宏武. 气膜出流对叶片内表面换热系数影响的实验研究和计算[J]. 航空动力学报, 1999, 14(3): 247-250.
- [15] 刘飞龙. 大型立式水泵机组电机滑动推力轴承润滑与承载特性研究[D]. 扬州: 扬州大学, 2016.

收稿日期: 2018-03-06