

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2024.01.021

差值换算法在端头装配工艺中的研究

白海清* 马磊 李晟玮 王非

(北京机电工程总体设计部, 北京 100854)

摘要: 一些航天飞行器的前舱为端头和舱体组合结构, 无防护层试装后分解, 通过分别粘接防护层再次进行装配, 装配中需保证对接面台阶值符合要求。针对端头已粘接防护层但舱体未粘接防护层, 装配中无法保证对接面台阶值的问题, 根据端头结构和扫描精测数据, 建立了端头坐标轴, 设计了测量数据差值换算法和台阶值判断合格的方法, 在舱体装配替代端头测量台阶值, 计算得到原端头理论台阶值, 进而可以进行合格性指标判断和制定修磨措施, 解决了非常规工序下端头装配中如何保证台阶值的问题。通过端头装配试验验证了方法有效, 可以保证对接面台阶值符合要求, 并且提出了本研究分别在产品研发阶段、批产阶段、类似结构产品装配中的推广价值。

关键词: 端头; 装配工艺; 扫描精测; 差值换算法

中图分类号: TH21

文献标识码: A

OSID: 

0 引言

对于远程高超声速航天飞行器, 端头结构的前舱在透波、隔热等性能上具有较大作用。部分航天飞行器前舱的前端为端头结构, 外部具有防护层, 生产中首先对舱体和端头进行装配, 如果对接面台阶值超差需返修, 返修后分解, 粘接防护层后再次进行装配, 装配后再次测量对接面台阶值, 若台阶值仍超差需返修。

在产品生产中, 若由于生产异常导致需更换舱体, 则会出现非常规工序: 将已粘接防护层的端头和未粘接防护层的舱体进行装配。常规操作方法无法保证对接面台阶值符合要求, 本研究通过建立差值换算法, 结合组合测试方法, 解决了此问题^[1-3], 大大提升了生产效率, 并解决了工序链路并行带来的装配中非常规工序下的卡脖子问题。

1 问题及现状介绍

舱体为圆锥形, 一周均匀划分为 4 部分, 每两部分的临界位置分别定义为 I、II、III、IV 象限, 每个象

限位置刻有象限线。端头部位结构由端头、隔热杯、碟簧、垫片、螺母、舱体、防护层 1、防护层 2 组成, 碟簧共 4 片且为相同规格。结构示意图如图 1 所示, 舱体左侧为小端, 右侧为大端。

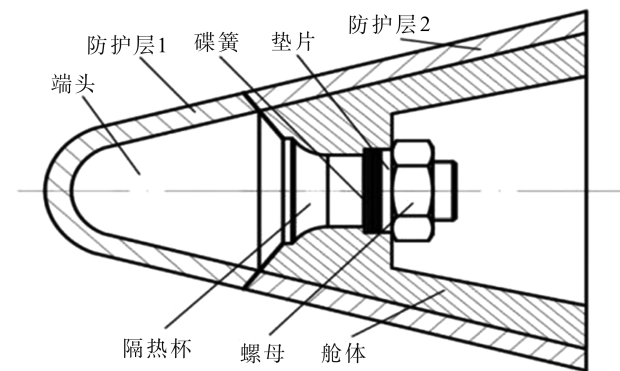


图 1 端头结构示意图

1.1 装配顺序及要求

在装配过程中首先将端头和隔热杯放置在舱体小端, 从舱体大端将两个碟簧串联以碟簧大端朝向端头放入端头螺柱部分, 再次从舱体大端将

* 通信作者. E-mail: Haiqingbai01@163.com

引用格式: 白海清, 马磊, 李晟玮, 等. 差值换算法在端头装配工艺中的研究[J]. 民用飞机设计与研究, 2024(1): 132-136. BAI H Q, MA L, LI S W, et al. Research on the difference value conversion method in the end assembly technology[J]. Civil Aircraft Design and Research, 2024(1): 132-136(in Chinese).

两个碟簧串联以碟簧小端朝向端头放入端头螺柱部分,即将 4 片碟簧以复合组合方式进行组合套入端头螺柱,其中每 2 片碟簧串联叠合为一组,两组碟簧的小端贴合。将垫片放入端头螺杆,将螺母在螺杆上拧紧施加预紧扭矩,分解后将端头旋转 45° 再次施加预紧扭矩,循环进行分解螺母、转动端头、施加预紧扭矩的操作,直至将端头旋转 360° 。每次分解螺母前,先测量端头和舱体之间四个象限线位置的间隙值,寻找间隙最小值并记录此时端头的旋转角度,再按照此角度进行装配,对螺母施加预紧扭矩,完成第一次装配,并测量台阶值等指标。台阶值即与舱体外壁垂直方向的端头和舱体对接面高度差。在端头和舱体的对接面位置,端头部分高于舱体部分为顺向台阶,低于舱体部分为逆向台阶。

测量完成后将螺母旋转分解,先取下垫片、碟簧、端头、隔热杯,接着对端头和舱体分别粘接防护层 1、防护层 2。再次按照第一次选定的端头角度进行装配,对螺母施加锁紧扭矩,完成第二次装配,并测量台阶值。在两次装配过程中,都需要保证端头和舱体的对接面不出现逆向台阶,且顺向台阶不大于 0.4 mm 。

1.2 问题描述

端头和舱体在无防护层状态下装配后,可直接测量台阶值,但对于端头已粘接防护层 1、舱体未粘接防护层 2 的情况,装配后无法直接测量台阶值,本研究中提出一种此状态下测量台阶值的方法。

2 研究内容

2.1 实验件术语及符号定义

将本研究所需装配的端头命名为“端头 1”,新准备一件无防护层 1 状态的端头命名为“端头 2”,其中“端头 1”为粘接防护层 1 的状态。

端头圆柱段的加工精度为 0.02 mm ,是端头所有曲面加工精度最高的位置,通过对端头进行三维扫描得到逆向数模^[4],以圆柱段为基准拟合得到端头轴线^[5]。与端头的外侧锥面母线垂直作与端头外侧棱边相交的垂线,垂线与端头中心轴线相交于 O 点,从 O 点起沿此垂线建立坐标轴 L, O 点为零点,沿此垂线向端头外侧棱边方向延伸为正值,单位为 mm ,坐标轴位置如图 2

所示。

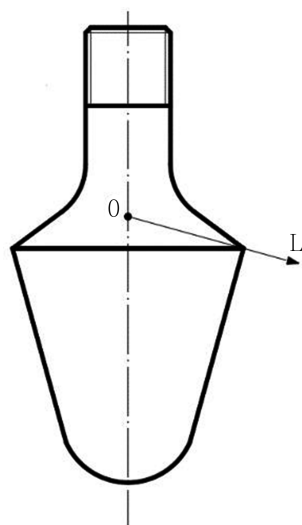


图 2 坐标轴 L 示意图

端头螺柱部分的端面具有象限标识 I、II、III、IV,同时在每个象限位置刻有一条直线作为象限线,在此四个象限线和四个相邻象限线的中点共 8 个位置建立 8 个与 L 方向一致的坐标轴,每个坐标轴间隔 45° ,以 I 象限的象限线位置为起点记录为 L1,沿象限 I—IV 递增方向定义为坐标轴 L1—L8,从端头球头端方向正视端头的坐标轴 L1—L8 示意图如图 3 所示。

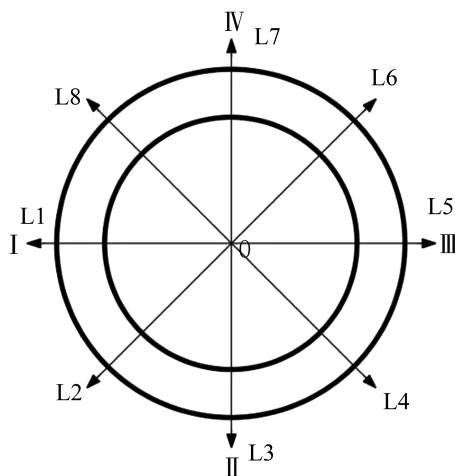


图 3 坐标轴位置示意图

对于端头,按照正常加工工序在生产完成后使用三维扫描仪对各部分进行精测生成逆向数模,端头在舱体上装配后按照舱体的象限位置对端头的象限进行标记,对于标记象限后的端头根据逆向数

模找出对应的坐标轴 L1—L8,将端头 1 中坐标轴 L1—L8 对应的外侧棱边所在点的坐标值分别记为 L1b—L8b,将端头 2 中坐标轴 L1—L8 对应的外侧棱边所在点的坐标值分别记为 L1a—L8a。

2.2 差值换算法说明

将端头 1 的象限与舱体象限对应,按照图 1 结构进行装配,对端头 1 末端螺母施加预紧扭矩,定义此时端头 1 角度为 0° ,测量舱体和端头 1 对接面间隙值。将螺母分解,将端头 1 旋转 45° 后再次装配,对螺母施加预紧扭矩,测量间隙值。重复此过程,每次将端头 1 旋转 45° ,直至端头 1 旋转一周,从测量的间隙值中选择最小间隙值对应的装配角度。将端头 2 按照此角度进行装配,施加预紧扭矩。

在端头 1 和端头 2 的精测报告中分别记录数据 L1b—L8b、L1a—L8a,分别计算 L1a 和 L1b、L2a 和 L2b、…之间的差值,即 L1a-L1b、L2a-L2b、L3a-L3b、L4a-L4b、L5a-L5b、L6a-L6b、L7a-L7b、L8a-L8b,将这 8 个差值记为 h_1 、 h_2 、…、 h_8 。

测量端头 2 和舱体在 L1—L8 位置接触面的台阶值,将第 L_i 位置的台阶值记为 a_i ,计算 $a_i - h_i$,得到端头 1 在 L_i 位置的理论台阶值,记为 C_i ,即得到 C1—C8^[6]。观察理论台阶值 C1—C8 是否满足装配台阶值要求,若存在不满足的位置,使用 100 目砂纸对舱体进行微量修磨直至全部位置满足要求^[7],其中在相邻的两坐标轴之间部分进行曲面过渡修磨^[8],在使用砂纸修磨时为保证误差可控每往复摩擦 10 次进行一次测量^[9]。将端头 2 分解,舱体粘接防护层 2 后将端头 1 按照所选择的装配角度进行正式装配,施加锁紧扭矩,完成正式装配。

2.3 实验过程

使端头 1 的象限和舱体的象限对应,将端头 1 按照图 1 的结构进行装配,对端头 1 末端螺母施加预紧扭矩 $15 \text{ N} \cdot \text{m}$,记此时端头 1 角度为 0° ,测量端头 1 和舱体之间的间隙值。将螺母分解,将端头 1 按照舱体的象限递增方向依次旋转 45° 、 90° 、 135° 、 180° 、 225° 、 270° 、 315° ,在每个角度对螺母施加 $15 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的预紧扭矩,每次分解螺母前测量端头 1 和四个舱体象限线位置的间隙,测量结果如表 1 所示。测量完成后将螺母和端头 1 分解,完成第一次装配。

表 1 第一次装配间隙值

端头 1 角度	I/mm	II/mm	III/mm	IV/mm	间隙均值 /mm
0°	0.02	0.02	0.08	0.09	0.052 5
45°	0.02	0.05	0.03	0.02	0.030 0
90°	0.02	0.02	0.06	0.05	0.037 5
135°	0.05	0.02	0.13	0.15	0.087 5
180°	0.02	0.05	0.03	0.02	0.030 0
225°	0.02	0.02	0.03	0.07	0.035 0
270°	0.02	0.06	0.03	0.02	0.032 5
315°	0.02	0.03	0.08	0.03	0.040 0

如表 1 所示, 45° 时端头 1 和舱体之间的间隙值最小,选定此刻端头 1 的角度为正式装配角度,但在第一次装配过程中无法测量端头 1 和舱体之间的台阶值。将端头 2 按照与端头 1 第一次装配选定的角度进行装配,对螺母施加 $15 \text{ N} \cdot \text{m}$ 预紧扭矩,其中碟簧、垫片、隔热杯使用第一次装配所使用的产品。

在端头 1 和端头 2 的精测报告中分别记录数据 L1b—L8b、L1a—L8a,分别计算 L1a 和 L1b、L2a 和 L2b、…、L8a 和 L8b 之间的差值,将这 8 个差值记为 h_1 、 h_2 、…、 h_8 。精测数据和计算数据如表 2 所示。

表 2 端头数据

产品	坐标值			
端头 1	L1b	L2b	L3b	L4b
	69.143	69.186	69.209	69.229
端头 2	L1a	L2a	L3a	L4a
	69.104	69.124	69.136	69.131
差值	h_1	h_2	h_3	h_4
	-0.039	-0.062	-0.073	-0.098
产品	坐标值			
端头 1	L5b	L6b	L7b	L8b
	69.223	69.206	69.154	69.132
端头 2	L5a	L6a	L7a	L8a
	69.104	69.126	69.109	69.115
差值	h_5	h_6	h_7	h_8
	-0.119	-0.080	-0.045	-0.017

测量端头 2 和舱体在 L1—L8 位置对接面的台阶值,将第 L_i 位置的台阶值记为 a_i ,计算 $a_i - h_i$,得到端头 1 的理论台阶值,记为 C_i ,即得到 C1—C8。观察这 8 个位置的理论台阶值 C1—C8,要求 0 mm

$\leq C1-C8 \leq 0.4$ mm,对于不满足该要求的坐标轴位置,使用砂纸进行修磨,其中在相邻量坐标轴之间的部分进行曲面过渡修磨,保证端头 2 和舱体对接面台阶情况符合要求。所测量的端头 2 和舱体对接面台阶值数据和计算后得到的端头 1 理论台阶值数据如表 3 所示。

表 3 台阶值数据

类 别	台阶值/mm			
端头 2	a1	a2	a3	a4
实测台阶值	0.102	0.202	0.101	-0.334
端头 1	C1	C2	C3	C4
理论台阶值	0.141	0.264	0.174	-0.236

类 别	台阶值/mm			
端头 2	a5	a6	a7	a8
实测台阶值	-0.311	-0.194	0.221	0.310
端头 1	C5	C6	C7	C8
理论台阶值	-0.192	-0.114	0.266	0.327

观察表 3 数据,得知在 L4、L5、L6 三个位置的端头 1 理论台阶值 C4、C5、C6 不满足要求,分别为 -0.236 mm、-0.192 mm、-0.114 mm,都为负值,即理论上端头 1 和舱体对接面为逆向台阶。使用砂纸对 L4、L5、L6 三个位置的舱体和端头 2 的对接位置进行了修磨,同时对 L3 与 L4 之间、L4 与 L5 之间、L5 与 L6 之间、L6 与 L7 之间的部分进行了曲面过渡修磨,以满足 C4、C5、C6 均在 0~0.4 mm 之间的要求,即修磨后 a4、a5、a6 满足表 4 要求。

表 4 修磨后端头 2 实测台阶值要求

测量点位	a4	a5	a6
间隙值/mm	-0.098~0.302	-0.119~0.281	-0.080~0.320

将端头 2 分解,将舱体转运至相应厂房粘接防护层 2,粘接完成后按照图 1 进行第二次装配,对端头 1 末端的螺母依次施加 15 N·m、50 N·m、70 N·m、110 N·m 的锁紧扭矩。装配中端头使用端头 1,即本产品正式使用的端头,在装配过程中、装配后进行相关数据测量,完成第二次装配,即完成正式装配。

2.4 实验结果

通过对正式装配完成的产品进行测试试验后,在端头 1 和舱体组合状态下将防护层 1、防护层 2 剥离^[10],观察端头 1 和舱体对接面完整一周的范

围,均无逆向台阶,经测量顺向台阶全部小于 0.4 mm,得以反向证明本研究的方法有效、可靠,可以在非常规端头装配工序中有效保证零部件对接面的台阶指标要求。

3 推广价值

常规装配工序为第一次装配端头和舱体均无防护层,装配中可以直接对台阶情况进行测量,本研究中由于生产异常需要更换舱体,而此刻端头已粘接防护层 1,装配后无法直接测量对接面台阶情况。通过本研究,可以在不更换端头前提下保证台阶值符合要求,无需重新生产一件端头,大幅度降低了成本,同时缩短了生产周期,保证了生产计划。

通过本研究,可在具有类似装配需求的产品中进行应用。由于端头在精加工后本身需要尺寸测量,将尺寸测量方式更换为三维扫描精测,对端头进行三维扫描生成逆向数模后测量得出本研究中的 L1—L8 值。如产品尺寸大、精度高,则在逆向数模中将尺寸测量为 L1—L12,甚至 L1—L36,在不提高成本的前提下可为后续非正常装配工序提供保证。本研究内容具有以下推广价值:

- 1) 产品研制阶段需要更换舱体,可在不重新生产一件端头的前提下装配保证对接位置的台阶符合要求,节约一件端头,同时大幅度降低生产成本、缩短生产周期;
- 2) 在产品的批产阶段,能够使处于不同生产工序的舱体和端头具有互换性和更强的并行生产可行性,使生产计划具有更强的工序协调性;
- 3) 在类似需要保证对接面台阶的装配结构中,引用本研究可大幅度提升生产效率。

4 结论

端头结构前舱是多种类型航天飞行器的重要组成部分,每件端头的生产需要大量成本,在时间就是金钱的大环境下缩短研制周期也是重要目标之一。本研究结合前舱的结构和生产计划,对非常规装配工序中如何保证台阶值符合要求提出了解决方法,通过差值换算法对三维扫描精测数据计算可得到原端头装配中的理论台阶值。使用替代端头装配作为参考进行了装配试验,对超差台阶值对应部分进行了修磨,剥离防护层后测量原端头与舱体对接面台阶值,测量结果合格,验证了方法的有

效性。为研制阶段、批产阶段的前舱生产提供了调整生产计划的技术保障,对类似结构的产品装配提供了技术参考。

参考文献:

- [1] 唐殿容. 机械装配工艺的关键技术探究[J]. 科技创新与应用, 2020(20): 91-92.
- [2] 徐伟昆. 论机械装配的工艺基础分析[J]. 科技视界, 2015(8): 73.
- [3] 杨东亚, 龚俊. 三维机械装配误差的建模方法[J]. 起重运输机械, 2010(3): 48-50.
- [4] 吴云霞, 赵小雨, 赵红霞, 等. 基于逆向工程技术的汽车壳体三维扫描系统优化设计[J]. 计算机测量与控制, 2018, 26(7): 169-172, 177.
- [5] 韩雨萌. 大型复杂零件的三维扫描测量精度研究[D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2017.
- [6] 倪静. 机械装配系统可视化误差分析[J]. 山东工业技

术, 2018(21): 50.

- [7] 陈小刚. 机械装配中钳工的操作技能分析[J]. 内燃机与配件, 2022(2): 194-196.
- [8] 胡文泉. 钳工技术在机械装配作业中的应用与分析[J]. 农业工程与装备, 2023, 50(1): 23-25.
- [9] 迟亨克. 钳工技术在机械装配作业中的应用与探索[J]. 模具制造, 2023, 23(9): 154-156.
- [10] 郭艳辉, 魏冬梅, 张丹丹. 机械装配工艺及关键技术分析[J]. 科技展望, 2016, 26(11): 55.

作者简介

白海清 本科, 助理工程师。主要研究方向: 机械设计。E-mail: Haiqingbai01@163.com

马磊 本科, 高级工程师。主要研究方向: 机械设计。E-mail: 308191980@qq.com

李晟玮 本科, 助理工程师。主要研究方向: 机械设计。E-mail: 973004780@qq.com

王非 本科, 助理工程师。主要研究方向: 机械设计。E-mail: wangfei_0506@qq.com

Research on the difference value conversion method in the end assembly technology

BAI Haiqing* MA Lei LI Shengwei WANG Fei

(Beijing System Design Institute of Mechanical-electro Engineering, Beijing 100854, China)

Abstract: The forward cabin of some space aircraft is a combination structure of the end socket and the cabin body. After trial assembly without protective layer, it is decomposed and assembled again by bonding the protective layer respectively. During assembly, it is necessary to ensure that the step value of the docking surface meets the requirements. In view of the problem that the end socket has bonded protective layer the and the cabin body has not bonded protective layer, the step value of the docking surface cannot be guaranteed in the assembly, the end socket coordinate axis was established according to the end socket structure and the scan accurate measurement data, the difference value conversion method of measurement data and the qualified method of step value judgment were designed. Measured step value after the replacement end socket was assembled in the cabin body, and the theoretical step value of the original end socket was calculated. Furthermore, the qualification index can be judged and the grinding measures can be made, solving the problem of how to guarantee the step value in the assembly end socket of the unconventional process. Through the end socket assembly test, the effectiveness of the method was verified, which can ensure that the step value of the docking surface meets the requirements. The promotion value of this research in product development stage, batch production stage, and assembly of similar structural products was presented.

Keywords: end socket; assembly technology; scan accurate measurement; difference value conversion method

* Corresponding author. E-mail: Haiqingbai01@163.com