

大型航天器仪器板装配工艺研究

陈少君 胡黎明 张玉良 汪浩
(北京卫星制造厂, 北京 100194)



摘要: 针对仪器板装配精度要求高、装配后精测难度大、舱内仪器板的安装面精度差以及装配应力大等装配技术难题, 制定了精测辅助装配方案、激光雷达-激光跟踪仪联合测量以及在安装面间添加调整垫片的工艺措施。采用该方案顺利地完成了某型号仪器板的装配, 装配精度满足设计要求。

关键词: 仪器板; 装配技术; 精测辅助装配

Study on Instrument Board Assembly Technology of Large Spacecraft

Chen Shaojun Hu Liming Zhang Yuliang Wang Hao
(Beijing Spacecrafts, Beijing 100094)

Abstract: Considering the high assembly accuracy of instrument board, the difficult accurate measurement and the assembly stress is high because of mounting surface precision is poor. Technology measures were made which include a accurate measurement-aided assembly, laser radar-laser tracker measurement and adding adjusting shim between mounting surface. Using the process measures, a type instrument board assembly was successfully completed, the assembly accuracy has met the design requirements.

Key words: instrument board; assembly technology; accurate measurement-aided assembly

1 引言

随着我国航天事业的快速发展, 航天器向大尺寸、高精度方向发展。仪器板是安装在航天器上用于安装各类仪器设备的次结构, 因为部分设备(如陀螺等)的安装精度高, 仪器板自身在航天器上的装配精度相应提高。

为确保仪器板在舱体上的装配精度, 制定了“精测辅助装配”总体方案, 整个装配过程中, 需要通过精测手段获得仪器板各阶段的装配数据, 根据精测数据对仪器板进行调整直至满足装配要求。仪器板与测量基准间属于空间尺寸, 采用传统的测量手段无法实现, 制定了采用激光雷达和激光跟踪仪联合测量的精测方案。由于航天器结构存在制造误差, 导致仪器板安装面自身精度较差。若直接进行装配, 仪器板将随

着安装面变形, 产生较大的装配应力, 同时装配精度不能满足要求。为此, 制定了增加调整垫片来抵消安装面变形量的工艺方案。

2 装配技术要求

某型号舱体内安装有数层仪器板, 每层仪器板的装配要求基本一致。图1为仪器板安装的典型示意图, 仪器板安装在舱体内部的仪器板安装面上, 装配基准为整舱外端面(基准A)、整舱 I-III 象限面(基准B)和整舱 II-IV 象限(基准C)。

某型号仪器板装配的精度及公差等级见表1。其中仪器板平面与基准A最大距离超过4000mm, 平行度公差为0.5mm, 形位精度处于国标GB/T1184的精密级。其余装配尺寸的精度均为中等级。

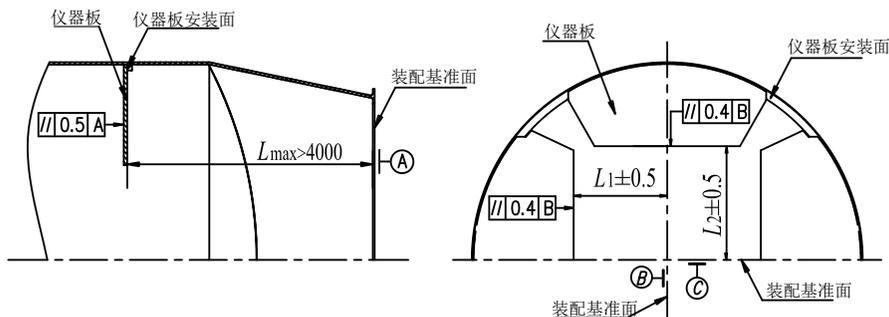


图 1 某型号仪器板装配示意图

表 1 某型号仪器板安装精度表

序号	项目	基准	精度要求	公差等级	备注
1	仪器板平面与A面平行度	A	0.5	精密	$L_{max} \geq 4000\text{mm}$
2	仪器板边缘与B基准平行度	B	0.4	中等	-
3	仪器板边缘与C基准平行度	C	0.4	中等	-
4	仪器板边缘距B基准的距离	B	$L1 \pm 0.5$	中等	$L1_{max} \geq 950\text{mm}$
5	仪器板边缘距C基准的距离	C	$L2 \pm 0.5$	中等	$L2_{max} \geq 750\text{mm}$

3 装配难点分析

3.1 装配精度要求高

仪器板的装配精度要求较高，如表 1 所示，某型号仪器板的装配公差最高为精密级，极大地增加了仪器板的装调难度。

3.2 测量难度大

首先，如图 1 所示，仪器板安装于舱体内部，测量基准在舱体外侧，采用传统的直接测量方法以及单台的精测设备无法完成测量任务。

其次，整个测量过程中，舱体必须保持静止，不能进行任何引起位置变化的操作。装配人员每次进舱进行调整仪器板操作后，舱体均会发生实际位移，此时均需重新建立基准进行精测。采用原始装配基准，需使用多台精测设备反复联合测量，操作复杂。

3.3 装配应力大

由于舱体在制造过程中存在应力等因素，导致舱内安装仪器板的平面发生变形，若仪器板直接安装，首先，变形的安装面会导致仪器板装配变形，产生较大装配应力；其次，导致仪器板的装配精度不能满足要求。

4 仪器板装配措施

4.1 精测辅助装配方案

由于仪器板的装配精度高，一次装配无法满足要

求。精测辅助装配方案，是在装配过程中使用精测仪器测量仪器板的各种装配数据，通过对数据分析，确定仪器板的实际装配精度以及调整方案。通过“精测—调整—精测”反复装调，直至仪器板装配精度满足要求。

4.2 仪器板测量方案

4.2.1 采用激光雷达和激光跟踪仪联合建立基准

仪器板初步装配后，需要进行精测来分析仪器板的装配精度。由于仪器板安装位置与测量基准分别位于舱体的两端，如图 1 所示，单台精测设备无法同时获取基准面和测量面的信息。目前大型航天器装配过程的精测经常采用多台精测设备联合构成大尺寸测量系统^[1]，故仪器板的装配选用两台精测设备联合建立测量基准。

由于激光雷达精测时不需要目标靶镜，不需对被测对象进行物理接触，可防止测量引起被测对象的位移，减小测量误差。故选用激光雷达为主要测量设备，用于对仪器板的安装位置进行测量。同时选择激光跟踪仪为辅助测量设备，用来建立及转换测量基准。

激光跟踪仪通过内置的激光干涉器、红外线激光发射器、光靶反射球测量长度，光栅编码器测量水平和仰视角度来实现三维空间物体的测量。3D 单点精度在 2m 范围内为 0.033mm，10m 范围内不超过 0.05mm，可以满足测量要求。

激光雷达测量方式与激光跟踪仪类似，最大优点在测量过程中不需使用目标靶镜，不需进舱即可完成

测量。测量空间半径可达 60m，测量精度在 10μm/m 量级，满足测量要求。

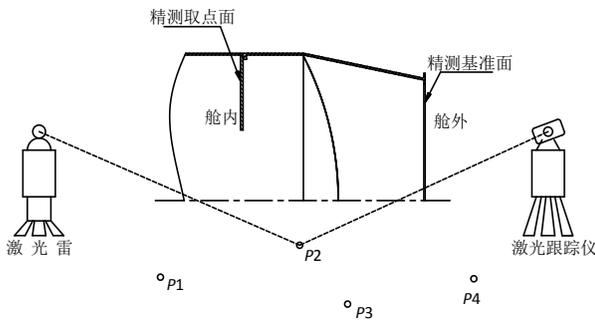


图 2 激光雷达-激光跟踪仪联合测量示意图

激光雷达-激光跟踪仪联合测量见图 2，在测量现场布置公共测点 $P=[P1、P2、P3\dots]$ ，公共点的数量越多，由激光跟踪仪向激光雷达基准转移越精确。

激光雷达-激光跟踪仪联合建立基准步骤如下：

a. 用激光跟踪仪对基准面 A 和公共点 P 进行测量，得到基准面的测量矩阵 $A_{跟踪仪}$ ，公共点测量矩阵 $P_{跟踪仪}$ 。

b. 用激光雷达测量公共点 P ，得到公共点测量矩阵 $P_{雷达}$ 。则由激光跟踪仪到激光雷达的过渡矩阵为：

$$T_1 = P_{跟踪仪}^{-1} P_{雷达}$$

则基准 A 在激光雷达的矩阵为：

$$A_{雷达} = A_{跟踪仪} P_{跟踪仪}^{-1} P_{雷达}$$

由此即可完成激光雷达整舱基准的建立。

c. 用激光雷达对舱内仪器板进行精测，将精测数据在整舱基准 $A_{雷达}$ 下进行处理，即可得到仪器板相对于整舱基准的装配精度。

4.2.2 舱体基准转移

仪器板每次调整后，都需要重新建立测量基准进行精测。若采用激光雷达-跟踪仪联合建站来恢复基准，费时费力（整舱仪器板装配需要精测 60 多次）。

若将精测基准转移至仪器板舱外一侧，使激光雷达能够同时扫描到仪器板和转移后的测量基准，则单台激光雷达即可完成仪器板精测和恢复测量基准工作，极大地提高了测量效率。

整舱基准转移步骤如下：

a. 激光雷达与激光跟踪仪联合建立装配基准，将精测基准由跟踪仪转移到激光雷达上，得到装配基准 $A_{雷达}$ ；

b. 在航天器仪器板一侧的舱体外侧布置一定数量的精测点 $Q=[Q1、Q2、Q3\dots]$ 作为装配新基准，保证激光雷达能够同时扫描到仪器板和精测点；

c. 使用激光雷达测量新基准的精测点，得到测量矩阵 $Q_{雷达}$ 。则由新基准到整舱基准的过渡矩阵为：

$$T_2 = Q_{雷达}^{-1} A_{雷达}$$

舱体每次移动后，使用激光雷达扫描舱体上转动后的新基准精测点，得到测量矩阵 $Q_{转动}$ ，则整舱基准 $A_{转动}$ 在激光雷达内还原为：

$$A_{转动} = Q_{转动}^{-1} Q_{雷达} A_{雷达}$$

整舱基准还原后，即可使用激光雷达对舱内仪器板进行精测。采用基准转移方法，简化了操作流程、提高了精测效率。

4.3 仪器板的调整

仪器板初次安装后，通过精测可得到仪器板的安装精度数据，并能够判断出仪器板的装配精度。若仪器板安装不满足装配精度要求，可以在仪器板与安装面间安装调整垫片来调平。通过对精测数据的分析，可确定调整垫片的厚度、外形及安装位置。安装调整垫片后，消除了由于安装面变形引起的装配应力，同时可满足仪器板精度要求。

4.4 装配流程

仪器板的装配流程，如图 3 所示。精测数据见表 2 所示，装配精度满足指标要求。

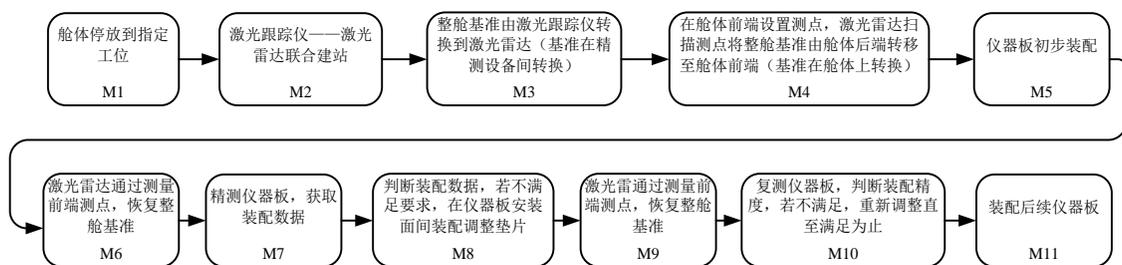


图 3 仪器板装配流程

(下转第 51 页)