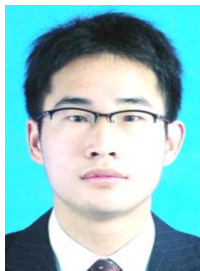


大型紧缩场的装调基准建立

方 程 李晓星 周国锋

(北京航空航天大学机械工程及自动化学院, 北京 100191)



摘要: 介绍了通过激光跟踪仪与电子经纬仪配合使用建立紧缩场暗室坐标系, 然后通过坐标平移得到装调坐标系的方法, 并将其应用于某个紧缩场装调实践。

关键词: 紧缩场; 装调基准; 激光跟踪仪; 电子经纬仪

Foundation about Assemblage and Adjustment Benchmark of Large Compact Antenna Test Range

Fang Cheng Li Xiaoxing Zhou Guofeng

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beihang University, Beijing 100191)

Abstract: A method of establishing assemblage and adjustment coordinate system is introduced and was used in a CATR assemblage and adjustment practice. The method is translating chamber coordinate system which is established with the use of the laser tracker and electronic theodolite.

Key words: CATR; assemblage and adjustment benchmark; laser tracker; electronic theodolite

1 引言

紧缩天线试验场 CATR (Compact Antenna Test Range) 简称紧缩场或压缩场, 是在室内测量微波天线电磁场特性的必备测试设施。紧缩场的工作频率可以从 $1\sim 100\text{GHz}$, 甚至更高^[1]。目前, 由于采用拼装结构的紧缩场具有成本低、维修性好的优点, 得到国内的广泛应用。紧缩场面板的制造、装调精度影响着紧缩场的实际特性, 面型精度的高低决定了紧缩场所能达到的最高工作频率。在设计紧缩场时, 面板的加工精度和安装调整精度均有严格的要求^[2]。总之, 装调工艺的优劣是保证紧缩场质量的关键, 而装调过程中装调基准建立是整个装调工艺的基础。

本文测试与装配的是由北京航空航天大学为某研究所设计的一种单反射面微波紧缩场, 紧缩场面板的理论外形是旋转抛物面, 静区为圆柱形, 尺寸为直径 $\Phi=2.5\text{m}$, 长度 $L=2.5\text{m}$, 工作频率 $2.0\sim 40\text{GHz}$, 整体型面 RMS 值达到 $75\mu\text{m}$ 以下即可。暗室尺寸为

$20.7\text{m}(L)\times 14.2\text{m}(W)\times 11.8\text{m}(H)$ 。

2 暗室坐标系的建立

暗室坐标系保证紧缩场与暗室以及低反射扫描架等之间的位置关系。微波暗室是一个能够屏蔽外界电磁干扰, 抑制内部电磁多路径反射干扰, 对来波几乎全部吸收的电磁测量环境, 是进行天线参数测试及电磁波辐射、散射特性测试的理想场所^[3]。暗室坐标系是以大地水平为基准的坐标系, Y 轴铅垂向上, 以保证最终测量坐标系 Y 轴与面板设计坐标系 Y 轴重合, Z 轴在面板、底座、馈源及样件的对称中心线上。

2.1 利用电子经纬仪布置以大地水平为基准的水平面标志点

为保证在暗室内均匀布点, 将电子经纬仪摆放在暗室中央。由于暗室设计建立时, 在馈源位置有标志线, 用激光对点器置中仪器, 将电子经纬仪置于标志线中心点上。将经纬仪调整到水平位置, 锁死经纬仪

作者简介: 方程 (1987-), 硕士, 航空宇航制造工程专业; 研究方向: 大型天线面板的检测与装调。

收稿日期: 2010-09-25

垂直调整, 偏转水平角, 在暗室内均匀布点。通过经纬仪的望远镜观察, 利用激光跟踪仪自带的附件反射靶标及磁性目标座, 寻找水平等高点。将反射靶标的中心点移动到望远镜的十字中心线上, 固定好发射靶标下的磁性目标座, 此时目标座的位置可以作为建立水平面的参考点。均匀选取十个点, 依次记为点 $P_1, P_2, \dots, P_{10}$ 。

2.2 利用电子经纬仪布置水平线标志点和竖直线标志点

偏转经纬仪的水平角, 松开经纬仪垂直调整机构, 使其发出的激光点正好打在馈源位置朝着面板方向的标志线上, 锁死水平调整机构, 将水平角清零。偏转垂直角, 在标志线上依次均匀布点, 依次记为点 Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 。松开水平调整机构, 将水平角转动至 90° , 再次锁死水平调整机构, 旋转经纬仪垂直调整机构, 在暗室内依次均匀布点, 依次记为点 X_1, X_2, X_3, X_4 。

2.3 利用标志点建立暗室坐标系

由于激光跟踪测量的原理是利用靶标反射激光进行测量, 在利用激光跟踪仪进行各标志点的坐标测量过程中, 需将电子经纬仪移除。兼顾整体面板测量精度和馈源位置, 将激光跟踪仪放置于面板与馈源中间离馈源大约 1m 的位置。建立的暗室坐标系与激光跟踪仪位置如图 1 所示。

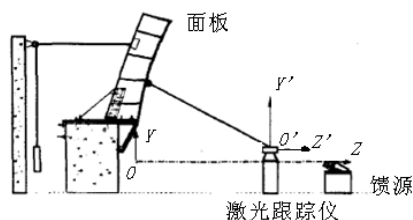


图 1 暗室坐标系与跟踪仪位置示意图

测量标志点 $P_1, P_2, \dots, P_{10}$ 的坐标, 用这十个点拟合出一个平面 P , 将其法矢作为暗室坐标系的 Y 轴方向。由于地面不可能绝对平整, 所以不能直接利用水平线和竖直线标志点直接进行直线拟合。将点 $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, X_1, X_2, X_3, X_4$ 全部投影于平面 P 上, 记为 $Z_{1p}, Z_{2p}, Z_{3p}, Z_{4p}, X_{1p}, X_{2p}, X_{3p}, X_{4p}$ 。利用点 $Z_{1p}, Z_{2p}, Z_{3p}, Z_{4p}$ 拟合出一条直线 Z , 同样, 利用点 $X_{1p}, X_{2p}, X_{3p}, X_{4p}$ 拟合出一条直线 X 。直线 Z 与直线 X 的交点作为暗室坐标系的原点, 经过原点且与平面 P 法矢平行的直线作为暗室坐标系的 Y 轴, 直

线 Z 作为暗室坐标系的 Z 轴, 按照右手坐标系的法则确立 X 轴。

3 装调坐标系的建立

装调坐标系的建立在反射面背架安装完成与面板初步挂装之后, 如图 2 所示。



图 2 面板基本挂装之后

本紧缩场共由 9 块面板拼装而成, 中间面板尺寸大, 占据静区大部分的面积, 故选取中间面板上的标志点进行坐标转换, 从暗室坐标系获得装调坐标系, 以指导整个紧缩场的装调。

测量坐标系由暗室坐标系沿 X, Y, Z 方向平移可得。具体原理和步骤为:

以悬挂基本到位的中间面板为基准, 确定设计坐标系。单块面板的四个基准定位小孔依次为 $ABCD$ 。在设计坐标系下的坐标分别为 $(X_{A0}, Y_{A0}, Z_{A0}), (X_{B0}, Y_{B0}, Z_{B0}), (X_{C0}, Y_{C0}, Z_{C0}), (X_{D0}, Y_{D0}, Z_{D0})$ 。理论上: $X_{A0} = X_{B0}; X_{C0} = X_{D0}; Y_{B0} = Y_{C0}; Y_{A0} = Y_{D0}$ 。面板初步悬挂到位以后, 测得面板上的四个基准定位小孔的位置在暗室坐标系下的值为: $(X_{A1}, Y_{A1}, Z_{A1}), (X_{B1}, Y_{B1}, Z_{B1}), (X_{C1}, Y_{C1}, Z_{C1}), (X_{D1}, Y_{D1}, Z_{D1})$ 。调整之后, 理论上面板调整到水平竖直以后, 点 $ABCD$ 的坐标为 $(X_{A1}', Y_{A1}', Z_{A1}'), (X_{B1}', Y_{B1}', Z_{B1}'), (X_{C1}', Y_{C1}', Z_{C1}'), (X_{D1}', Y_{D1}', Z_{D1}')$, 应该使 $X_{A1}' = X_{B1}'; X_{C1}' = X_{D1}'; Y_{B1}' = Y_{C1}'; Y_{A1}' = Y_{D1}'$ 。

取 $X_{AB} = 1/2(X_{A1} + X_{B1}); X_{CD} = 1/2(X_{C1} + X_{D1}); Y_{BC} = 1/2(Y_{B1} + Y_{C1}); Y_{AD} = 1/2(Y_{A1} + Y_{D1})$, 则理论上面板调正之后在暗室坐标系下的位置应该有:

$X_{A1}' = X_{B1}' = X_{AB}; X_{C1}' = X_{D1}' = X_{CD}; Y_{B1}' = Y_{C1}' = Y_{BC}; Y_{A1}' = Y_{D1}' = Y_{AD}$ 。

此时, 通过坐标平移可以将暗室坐标系转换到设

计坐标系，也就是紧缩场装调坐标系。装调坐标系与暗室坐标系位置，如图3所示。

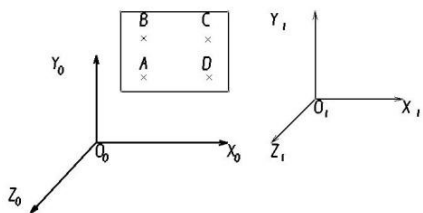


图3 最终型面精度云图

可以计算出从设计坐标系到暗室坐标系之间需要平移的量为：

$$\Delta X=1/4\left(X_{A0}+X_{B0}+X_{C0}+X_{D0}-X_{A1}-X_{B1}-X_{C1}-X_{D1}\right);$$

$$\Delta X=1/2\left(X_{A0}+X_{C0}-X_{A1}-X_{C1}\right);$$

$$\Delta X=1/2\left(X_{A0}+X_{C0}-X_{AB}-X_{CD}\right);$$

$$\Delta X=1/2\left(X_{A0}+X_{C0}-X_{AB}-X_{CD}\right);$$

$$\Delta X=1/4\left(X_{A0}+X_{B0}+X_{C0}+X_{D0}-X_{A1}-X_{B1}-X_{C1}-X_{D1}\right);$$

同理：

$$\Delta Y=1/4\left(Y_{A0}+Y_{B0}+Y_{C0}+Y_{D0}-Y_{A1}-Y_{B1}-Y_{C1}-Y_{D1}\right);$$

$$\Delta Z=1/4\left(Z_{A0}+Z_{B0}+Z_{C0}+Z_{D0}-Z_{A1}-Z_{B1}-Z_{C1}-Z_{D1}\right);$$

于是，通过平移已经建立好的暗室坐标系，可以建立设计坐标系，即装调坐标系。

4 实际装调实践应用

在本次装调实践过程中，点 $P_1, P_2, \dots, P_{10}$ 的最终拟合平面精度为 $73\mu\text{m}$ ，保证了装调坐标系与设计坐标系 Y 轴方向重合。表1为激光跟踪仪测得十个标志点的坐标。

表1 水平面标志点坐标

编号	x	y	z
P_1	5258.437	116.296	7461.189
P_2	5106.289	116.206	5804.561
P_3	5031.177	115.746	2298.527
P_4	4885.391	115.966	512.705
P_5	1848.342	115.756	-325.244
P_6	-10.565	116.228	-330.728
P_7	-1914.77	116.129	-328.1
P_8	-7758.06	116.097	2562.497
P_9	-3831.05	116.087	14246.719
P_{10}	-3250.9	116.048	14678.614

点 $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, X_1, X_2, X_3, X_4$ 最终拟合直线精度分别为 $42\mu\text{m}, 35\mu\text{m}$ 。在此装调坐标系下，型面最终精度达到 $62.2\mu\text{m}$ ，远低于设计要求的 $75\mu\text{m}$ ，最终型面精度云图如图4所示。焦点位置和焦距偏差也在允许范围之内，可见装调坐标的建立精度完全满足大型紧缩场的装调。图5是整个装调结束后的实物图。

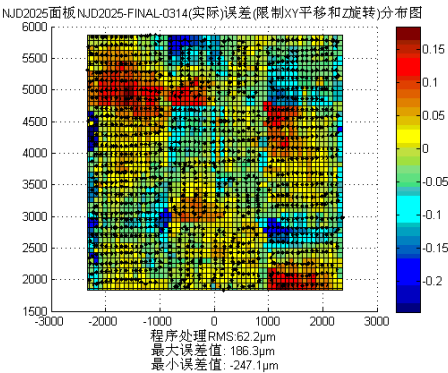


图4 最终型面精度云图



图5 装调结束后紧缩场实物图

5 结束语

本文介绍了一种利用激光跟踪仪与电子经纬仪配合使用建立紧缩场装调基准的方法，并将此方法成功运用于某个大型紧缩场的工程实践。此方法不仅大大提高了紧缩场的装调进度，而且保证了紧缩场面板的整体型面精度，可作为以后大型紧缩场装调基准建立的方法。

参考文献

1 甘霖. 大型天线面板测量技术及质量保证技术研究[D]. 北京航空航天大学硕士论文, 2008

2 马骊群, 王继虎, 曹铁泽. 微波紧缩场面板的精密检测与定位[J]. 计量学报, 2006, 27(3A): 45~48

3 李高升, 刘继斌, 何建国. 微波暗室设计原理的研究与应用[J]. 电波科学学报, 2004, 19(增刊): 285~288