

TDA5005 全站仪用于11米天线测量

李宗春，李广云，张冠宇

(信息工程大学测绘学院，河南郑州 450052, Email: zongchunli@sohu.com)

[摘要] 本文对高精度全站仪用于大中型天线安装测量进行了有益的尝试。坐标测量采用 TDA5005 全站仪配合测距反射片，导出了测距入射角计算公式，提出了一种反射片加常数测定方法。在数据处理方面，讨论了标志厚度对面形的影响。计算发现，对于圆抛物面天线而言，曲面自由拟合法与 CAD 面形拟合法是相当的。天线机械调整效果得到了电测结果的验证。

[关键词] 反射片；测距入射角；厚度改正；曲面自由拟合；电测

1 测量系统

某 11.3 米天线为卫星通信上行站，工作于 K_u 波段。水平拼装采用经纬仪带尺法，吊装完毕到 35° 工位电测时，效果极差。需要在工作状态下进行调整。先用双经纬仪交会测量系统^{[1][2]}，但限于场地的关系，测量精度不理想，后改用 TDA5005 全站仪测量，以反射片作为测距合作目标，取得了理想的效果。

1.1 测量精度

K_u 波段天线的主面精度一般为 0.7mm，测量精度一般取 0.25mm，而反射片的测量精度为 0.2mm 左右^[3]，可以满足要求，但测距入射角要小于 45° 。

1.2 测距入射角

全站仪配合反射片测量，关键问题是规划目标的入射角，本文提出了如下方法。

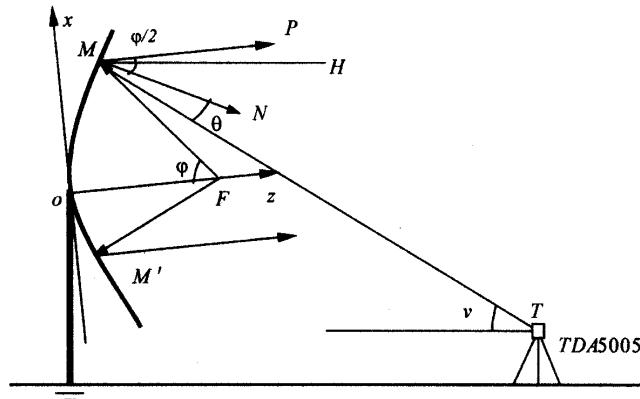


图 1 全站仪入射角计算图

如图1所示, M_0M' 为抛物主面, FM 为人射线, 它与焦轴 oF 的夹角为 φ , MP 为反射线, MN 为法线, MH 为水平线, MT 为测距入射线, 天线的仰角为 E , 目标点的垂直角为 v , 测距入射角为 θ 。则有如下关系:

$$\theta = |v + E - \frac{\varphi}{2}| \quad (1)$$

式中仰角 E 和垂直角 v 符合垂直角的正负定义, φ 的符号与 M 点的 x 坐标符号一致。

按照全站仪和天线的实际高度计算出其垂直角, 取天线的上边缘点、顶点和下边缘点三个特征点, 以 5° 工位和 35° 工位(工作姿态)分别计算各点的测距入射角, 结果见表1。

表1 不同工位下各特征点测距入射角(单位:°)

入射角	5° 工位				35° 工位			
	v	E	φ	θ	v	E	φ	θ
上边缘点	24.5	5	76	8.5	24.5	35	76	38.5
顶点	11.6	5	0	16.6	11.6	35	0	46.6
下边缘点	0.2	5	76	43.2	0.2	35	76	73.2

从表1可以看出, 5° 工位时入射角全部能满足要求, 而 35° 工位几乎无法测量, 如果一定要在该工位下测量, 就需建造测量高墩^[4], 以降低垂直角的影响, 而这无论是从经费和时间方面都是不允许的。因此实际测量时在 5° 工位进行。图2为实际测量场景。



图2 测量场景

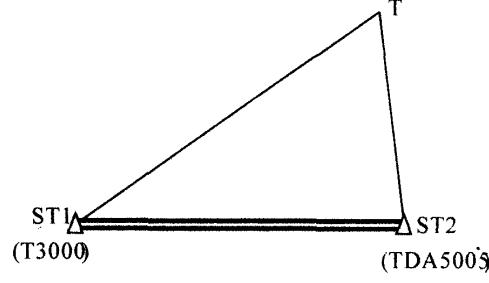


图3 TDA5005 配合反射片加常数测定方法

1.3 加常数测定

反射片加常数测定不能采用通常的三段法, 本文提出了如下方法。如图3所示, 通过经纬仪交会测量系统间接获得 TDA5005 至目标点的距离作为真值(精度在 $\pm 0.05\text{mm}$ 左右), 然后用 TDA5005 实测反射片获得名义距离, 二者的差值为反射片的加常数。本次试验得到的加常数为 34.0mm , 该常数改正到反射片的底面, 也即包括标志的厚度(0.5mm)。如果改正到反射片的表面, 则加常数应为 33.5mm 。有关标志厚度改正问题的讨论见下文。

2 测量方案

2.1 测点布设

该天线分内外两环, 内环面板 12 块, 每块面板上设计有 8 个调整点, 外环面板 24 块, 每块面板上设计有 10 个调整点, 如图 4 所示。如果所有调整点上都布设目标, 不但加大了工作量, 而且对面形改善也非常有限, 甚至可能破坏单块面板的精度。因此实际测量时每块面板选 4 个角点 (图 4 中的实心圆), 单块面板的精度靠加工来保证, 调整时不再干预。

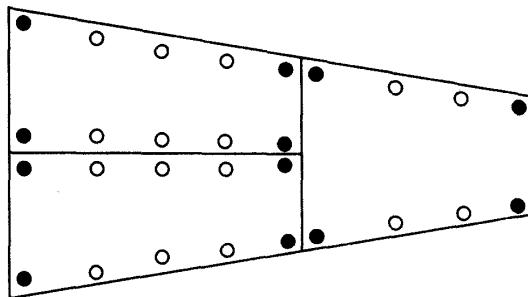


图 4 调整点布设图

图 5 是天线的实际布点图, 因为天线面板及背架的变形比较大, 在每块面板的中间又加一点, 克服一下变形的影响。

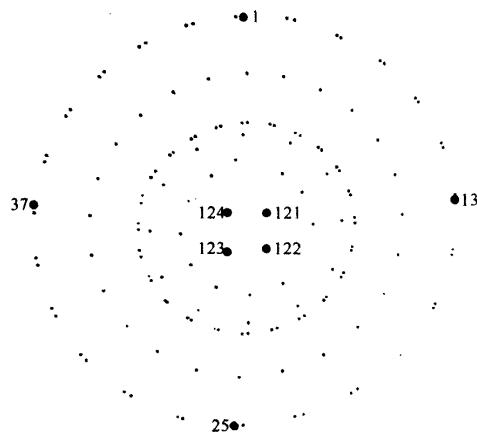


图 5 实际调整点布设图

2.2 测量方式

极坐标测量系统建立非常简单，仪器一旦架设好坐标系统即建立完毕，测点时可采用单面或双面观测。如采用双面测量需1分钟，比较费时，但测距精度高，测角有照准差；而单面测量需20秒，省时，测距精度低，但无照准差，尤其对于天线测量而言，只要照到目标上即可，甚至不用调焦，这就避免了调焦误差而且加快了测量速度。为此做了如下试验，见表2。

表2 单、双面观测对比

	I面观测	II面观测	双面观测
表面精度 (mm)	1.49	1.45	1.47
单点用时(秒)	20	20	60

由此可以估算单面观测的测量精度为0.24mm，双面观测的测量精度为0.17mm。当测量点比较多时，建议单面观测。

另外需注意极坐标测量系统无检核条件，测量宜谨慎行事。如果测量点比较密集，临近的反射片可能对测距有干扰，需要对反射片之间的距离进行设计。

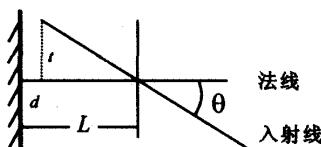
2.3 调整步骤

根据该天线的实际状况，调整分三步走：首先将每块面板的四个调整点调整到位，这是最主要的任务；其次在每块面板的中间部分加测一点，观测并调整，改善面板的精度，因为实际观测发现面板及背架有一定程度的变形；最后将剩余调整螺杆固定到背架上，它们只起连接作用。

3 数据处理

3.1 标志厚度改正

本次测量用的测距反射片的厚度为0.5mm，在测量加常数时，可将测量点归算到表面或背面，它对最后的表面精度计算是有影响的。如图6所示，L为标志厚度，θ为测距入射角。如将L归算到加常数中，它对最后结果的影响为：



$$\begin{aligned} d &= L \cdot (1 - \cos\theta) \\ t &= L \cdot \sin\theta \end{aligned} \tag{2}$$

式中 d 为纵向偏差, t 为横向偏差。表 3 为算例。

表 3 标志厚度对点位的影响

	θ ($L = 0.5\text{mm}$)		
	0°	22.5°	45°
d (mm)	0	0.038	0.146
t (mm)	0	0.191	0.354

一般而言, 横向偏差对测点所产生的法向变化不敏感, 可以忽略, 主要考虑纵向偏差的影响。从表 3 可以看出, 标志厚度的最大改正为 0.15mm , 这与反射片的测距精度相当。因此实际计算时可以忽略该项影响, 加常数里包括标志厚度 (也即此处可采用 34.0mm)。

当然严格的算法是做理论面的法向等距面, 扣除法向等距量的影响, 那就应采用 33.5mm 作为加常数。

3.2 表面精度

该天线为赋形卡式天线, 其母线的数学模型可用高次多项式表示, 而天线理论面的法向等距面用理论方程不易表示, 用 CAD 模型就相对简单一些。因此坐标转换^{[5][6]}可采用曲面自由拟合和 CAD 面形转换法, 二者的表面精度和特征点的坐标列于表 4。特征点的位置见图 5。

表 4 两种坐标转换方法所得结果比较 (单位: mm)

		曲面自由拟合 (常数 34.0mm)		CAD 面形拟合 (常数 34.0mm)		CAD 面形拟合 (常数 33.5mm, 理论面 的法向等距面模型)	
		X	Z	X	Z	X	Z
点号	1	5472.899	832.232	5472.965	832.300	5472.792	832.767
	13	5472.469	831.727	5471.928	831.270	5472.060	832.003
	25	5459.504	821.183	5459.436	821.138	5459.408	821.727
	37	5459.198	821.349	5459.750	821.828	5459.397	822.144
	121	810.757	-1333.220	810.291	-1333.253	810.453	-1332.696
	122	814.304	-1333.597	813.712	-1333.641	813.990	-1333.072
	123	787.948	-1336.289	788.376	-1336.238	788.204	-1335.712
	124	765.547	-1335.879	766.124	-1335.816	765.824	-1335.302
表面精度		0.577		0.576		0.575	

从表 4 中可以看出, 由于采用法向等距面模型最为严密, 其表面精度也最准确。近似算

法与严密算法的差值为 0.05mm，就本天线而言可以忽略。还可以发现，各特征点的坐标非常接近，说明坐标转换参数是很接近的，也即天线的边界得到了很好的控制。所以对于圆抛物面天线而言，曲面自由拟合法与 CAD 面形拟合法是相当的。

4 调整过程与电测反馈

该天线的调整采用了多种方法，包括经纬仪带尺法、经纬仪交会测量法和全站仪极坐标测量法。而且本次实践非常有趣的现象是，所有的机械调整都有电测结果的反馈，调整是否有效马上就可得到检验。

水平拼装采用经纬仪带尺法，估计测量精度应在 0.3mm 左右。将天线吊装后放至 35°工位时，不能满足入网要求。遂用双经纬仪观测，得到的面形精度为 3mm（测量精度 0.5mm 内）。产生这一现象可能的原因有：水平拼装有粗差；面板及背架的变形比较大。经过调整后表面精度变为 2mm，电测已能找到近旁瓣，但远旁瓣仍不符合要求，说明系统误差（整体变形）有一定程度的减弱，而主面精度还比较差。由于经纬仪交会测量系统对图形、基准尺和测量墩等条件要求较高，达不到规定条件则精度不理想。随后采用全站仪测量系统施测，结果见表 5。

表 5 机械调整结果及电测验证

表面精度 (mm)		电测结果 (dB)							
		第一旁瓣				远旁瓣			
		方位		俯仰					
		左	右	左	右				
1	1.5	-15.8	-13.66	-10.6	-10.0	最差 -8，大部分超差			
2	0.6	-16.6	-15.4	-21	-14	最差 -5.3，部分超差			
3	0.86	-19.0	-14.8	-20	-14.3	最差 -4.3，少部分超差			
4	0.5	-16.3	-14.8	-17.3	-15.8	最差 -1.8，少量超差			

从表 5 可以看出，随着调整的进行，表面精度越来越优化，电测结果也逐渐变好。但是此处的表面精度为 5°工位观测结果，并按该结果作最佳调整，而电测结果在 35°工位，缺少了从 5°到 35°的预调量（变形量，设计未给出），所以电测结果不很理想。

5 结束语

本文将 TDA5005 全站仪用于大型天线测量，取得了以下经验：

- 1) 导出了反射片测距入射角计算公式
- 2) 提出了一种反射片加常数测定方法

- 3) 讨论了标志厚度对面形计算的影响
- 4) 对于圆抛物面而言, 曲面自由拟合法与 CAD 面形拟合法是相当的。
- 5) 天线机械调整效果得到了电测结果的验证。

参考文献

- [1] 李广云, 倪涵, 徐忠阳 (1994), 工业测量系统, 解放军出版社。
- [2] 李广云 (2000), 工业测量系统进展, 解放军出版社。
- [3] 李广云 (2003), 非正交系坐标测量系统原理及进展, 测绘信息与工程, Vol. 28, No. 1: 4 - 10。
- [4] 李宗春, 李广云, 汤廷松, 高宏 (2003d), 某大型钢结构的精密几何检测, 钢结构, Vol. 18, No. 3: 9 - 11。
- [5] 李宗春 (2003), 天线测量理论、方法及应用研究, 信息工程大学博士学位论文。
- [6] 李宗春, 李广云, 金超 (2003a), 面天线检测数据处理方法的探讨, 宇航计测技术, Vol. 23, No. 2: 12 - 19。

第一作者简介: 李宗春, 男, 31, 山东日照人, 工学博士, 信息工程大学测绘学院副教授, 主要从事天线测量理论与技术、工业测量系统、精密工程测量方法与仪器的研究和教学工作。

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>