

文章编号: 1003-501X(2003)01-0053-03

经纬仪测量系统在工业测量中的应用

王晋疆¹, 金素坤², 邸旭², 杨志文²

(1. 天津大学精密仪器与光电子工程学院, 天津 300072;

2. 长春理工大学研究生部, 吉林 长春 130022)

摘要: 由数台经纬仪和一台计算机组成的经纬仪测量系统进行定基线前方交会测量, 可以完成在工业测量中的单点坐标的测量、确定长度的测量和曲面型面的测量。在曲面型面的测量中, 针对型面误差分布范围大小的不同提出了用采样值比较和采样值的均值比较的方案, 实验表明测量精度可以达到 0.15mm, 相对测量精度达到了 0.00003。

关键词: 经纬仪测量系统; 坐标测量; 曲面测量; 长度测量

中图分类号: TH761.1

文献标识码: A

Application of Theodolite Measuring System in Industrial Measurement

WANG Jin-jiang¹, JIN Su-kun², DI Xu², YANG Zhi-wen²

(1. College of Precision Instrument and Opto-Electronic Engineering, Tianjin University,

Tianjin 300072, China; 2. Department of Graduate, Changchun University of Science
and Technology, Changchun 130022, China)

Abstract: A theodolite measuring system consisting of several theodolites and a computer can carry out frontage intersecting measurement according to the fixed reference line. It can carry out the coordinate measurement for single point, measurement for determining length and measurement for curved surface and profile in industrial measurement. In curved surface and profile measurement, Sample values comparison and averaged values comparison of the sample values are proposed against the different distribution ranges of the profile errors. The experiments show that its measuring accuracy and relative measuring accuracy can attain 0.15mm and 0.00003, respectively.

Key words: Theodolite measuring systems; Coordinate measurement; Curved surface measurement; length measurement

引言

工业中经常需要在较大范围内对单点坐标的测量、确定长度的测量和曲面型面特征的测量。传统的检测方法多为机械法。这些检测方法通用性差、检测工艺复杂而且精度低, 特别是无法实施在特定状态下的检测。经纬仪测量系统的出现解决了传统方法遇到的难题。与以往的检测方法相比, 经纬仪测量系统具有下列特点: (1) 实时性。它的测量数据可以由经纬仪采集并传输到计算机进行处理。(2) 非接触。通过经纬仪对特定目标的对准实现了对难以接近物体的测量。(3) 灵活性。经纬仪测量系统可以根据被测物体的特点合理布设, 满足不同的使用要求。因此对它进行研制与开发对我国许多工业领域有重要的意义。

1 经纬仪测量系统的测量原理

1.1 测量原理

经纬仪测量系统主要由数台经纬仪(最少两台)和一台计算机组成。另外所需的附件有标准尺、可粘

贴标记或激光目标发生器、固定支座等。其测量原理是定基线前方交会测量法。设两台经纬仪的三轴中心分别为 1 和 2。首先建立如图 1 所示的空间直角坐标系。O (1) 为坐标系原点, 1,2 连线在水平方向的投影为 X 轴, 过 1 点的铅垂方向为 Z 轴, 由右手法来确定 Y 轴。

当两台经纬仪同时对准空间一点 $P(X, Y, Z)$ 时, 可以得到两个水平角和两个天顶距为 H_A, H_B 和 V_A, V_B 。若已知 1, 2 的水平间距 b 和 2, 2' 的垂直高度差 h_{AB} , 就可以由(1)式、(2)式和(3)式计算出 P 点的三维坐标。

$$X = b \sin H_B \cos H_A / \sin(H_A + H_B) \quad (1)$$

$$Y = b \sin H_B \sin H_A / \sin(H_A + H_B) \quad (2)$$

$$Z = [b(\sin H_B \cot V_A + \sin H_A \cot V_B) / \sin(H_A + H_B) + h_{AB}] / 2 \quad (3)$$

1.2 基线 b 和高度差 h_{AB} 的确定

基线 b 和高度差 h_{AB} 可以采用以前方交会为基础的比例法间接测量得到。在如图 1 所示的测量布局中, 长度为 d 的标准尺被放置在两台经纬仪的同一侧。标准尺应该尽可能的放置在 XOY 平面内, 并且平行于 X 轴。首先分别测量标准尺上的位置 P_1 和 P_2 。然后假设 A, B 间

的基线长度为 b_0 , 即可以求出 P_1 和 P_2 处的近似坐标 (X_1, Y_1, Z_1) 和 (X_2, Y_2, Z_2) , 其中 Z_1 和 Z_2 含有未知变量 h_{AB} 。根据这两点的坐标可以算出 P_1 和 P_2 间的近似距离 d_0

$$d_0 = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2} \quad (4)$$

由相似原理得到基线长 b

$$b = db_0 / d_0 \quad (5)$$

两台经纬仪的高度差 h_{AB} 可以由(6)式计算得到

$$h_{AB} = b[(\sin H_{B1} \cot V_{A1} - \sin H_{A1} \cot V_{B1}) / \sin(H_{A1} + H_{B1}) + (\sin H_{B2} \cot V_{A2} - \sin H_{A2} \cot V_{B2}) / \sin(H_{A2} + H_{B2})] / 2 \quad (6)$$

2 经纬仪测量系统的应用

2.1 单点坐标测量

我们所采用的经纬仪测量系统的硬件是莱卡公司生产的 TC2003 电子经纬仪, 相应的数据处理程序自行编写。TC2003 型电子经纬仪的测角精度为 $0.5''$, 直读精度为 $0.1''$ 。采用的标准尺长 1m, 精度为 0.01mm。

两台经纬仪被固定在稳定的支座上。在测量之前需要严格地对两台经纬仪调水平, 并且打开经纬仪的角度补偿功能, 确保不同位置上的测角精度。表 1 列出了对一固定点的五次测量结果。

通过上面的数据看出单点的单次测量已经达到较高的精度。若采用多次测量可进一步减小测量误差。多次测量同时也加大了测量的工作量。一般重复 3~5 次即可。

2.2 确定长度测量

在单点坐标测量的基础上, 很容易得到任意两点间的距离。在这个实验中要对一个标准尺进行测量。

表 2 所示的是当标准尺放置在五个不同位置时, 被测量两点间的实际距离 $L_{12} = 800\text{mm}$, 测量两点的空间坐标后计算出测量距离 l_{12} , 并求出它们的差值。多次测量的相对误差优于 10^{-5} 。

2.3 曲面测量

对于曲面的测量方法是通过对曲面上的若干特征点的测量并对数据进行一定的处理, 然后将测量值与被测曲面的基准值进行比较得到被测曲面的型面误差。

在实验中测量的是一块天线的样品 ($120\text{mm} \times 120\text{mm}$)。样品被固定在一个微调支座上。这个支座可以沿一个方向精密移动, 它最小的准确移动距离是 0.01mm。样品在固定时要求其法线与支座的移动方向

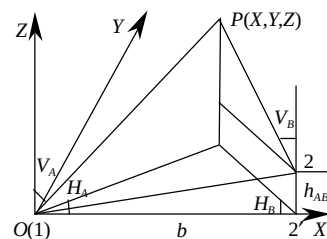


图 1 测量原理

Fig.1 Measuring principle

表 1 单点坐标测量结果

Table 1 Measured results for the coordinate of single point

	X/mm	Y/mm	Z/mm	P/mm
1	359.403	5166.055	1416.341	5368.735
2	359.402	5166.112	1416.344	5368.790
3	359.387	5166.087	1416.363	5368.771
4	359.404	5166.026	1416.332	5368.705
5	359.419	5166.047	1416.304	5368.719
Average num-value	359.403	5166.065	1416.337	5368.744
Standard deviation	0.011	0.034	0.022	0.036

表 2 长度测量结果

Table 2 Measured results for length

	l_{12}/mm	$(L_{12} - l_{12})/\text{mm}$	$(L_{12} - l_{12})/L_{12}$
1	799.991	0.009	0.000011
2	800.031	-0.031	-0.000039
3	799.982	0.018	0.000022
4	800.044	-0.044	-0.000055
5	800.022	-0.022	-0.000028

平行。支座放在大约距离 XOZ 平面 5m, 距离 XOY 平面 1.5m。我们在样品上选取 9 个采样点 (3×3), 对其分别编号为 $P_{11} \sim P_{19}$, 其中 P_5 是对称中心。下面分两种情况说明对不同型面误差分布情况的处理。

(1) 当选取的采样区域与型面误差区域大小相当时。

当选取的采样区域与型面误差区域大小相当时。在位置 1 测量各采样点, 记为 $P_{11} \sim P_{19}$ 。然后将样品向经纬仪方向移动 0.15mm 到位置 2, 测量 5 号采样点, 记为 P_{25} 。我们以 $P_{11} \sim P_{19}$ 采样点确定的曲面为基准面, 以 $P_{11} \sim P_{19}$, P_{25} 和 $P_{16} \sim P_{19}$ 采样点确定的曲面为有型面误差的曲面。已知这个曲面是二次曲面, 所以可以设一个二次曲面方程的一般形式

$$Y = aX^2 + bZ^2 + cXZ + dX + eZ + f \quad (7)$$

将基准曲面和有型面误差曲面的两组采样数据分别代入(7)式, 得到两个方程组

$$Y_{1i} = a_1 X_{1i}^2 + b_1 Z_{1i}^2 + c_1 X_{1i} Z_{1i} + d_1 X_{1i} + e_1 Z_{1i} + f_1 \quad (i=1 \dots 9) \quad (8)$$

$$Y_{2i} = a_2 X_{2i}^2 + b_2 Z_{2i}^2 + c_2 X_{2i} Z_{2i} + d_2 X_{2i} + e_2 Z_{2i} + f_2 \quad (i=1 \dots 9) \quad (9)$$

式中 X_{1i}, Y_{1i}, Z_{1i} ——位置 1 对应的各采样点坐标值;

X_{2i}, Y_{2i}, Z_{2i} ——位置 2 对应的各采样点坐标值。

根据最小二乘法分别解出基准面方程系数的最佳解 $a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1$ 和有型面误差曲面方程系数的最佳解 $a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2$, 即得到了两个曲面的方程。然后, 在这两个曲面上分别进行二次采样, 求出对应于相同(X_i, Z_i)坐标下的 Y_i 的差值, 这些差值就反映了型面误差。图 2 的测量结果表明使用这样的检测可以满足型面误差为 0.15mm 的检测精度要求。

(2) 当选取的采样区域小于型面误差区域时。

根据试验表明当选取的采样区域面积小于型面误差区域时, 采用下面的处理方法。我们在位置 1 处测量各采样点, 记为 $P_{11} \sim P_{19}$ 。然后同样将样品向经纬仪方向移动 0.15mm 到位置 2, 同样测量各采样点, 记为 $P_{21} \sim P_{29}$ 。我们以 $P_{11} \sim P_{19}$ 采样点确定的曲面为基准面, 以 $P_{21} \sim P_{29}$ 采样点确定的曲面为有型面误差的曲面。然后用同样的方法求出基准曲面和有型面误差曲面的方程。当仍然用前面的方法来表示面型时, 各点的误差虽然在 -0.15mm 附近, 但是有一些采样点的偏差比较大 (图 3)。这主要是由于两个曲面的基本特征完全相同, 不同之处仅仅是在一个方向上有平移, 这时的单点测量误差就对所拟合曲面的特点的影响比较突出。在实际应用中, 一般对大区域内的型面误差区域主要是考虑总体分布。因此, 处理这类问题将不采用将单个二次采样点的 Y 坐标差值作为型面误差的衡量标准, 而是将这些差值的平均值作为这一块测量区域的型面误差值。通过多次实验验证, 虽然每次计算的型面误差分布状况不同 (图 3), 但是型面误差都在 -0.15 左右, 所以这样处理的结果能很好的符合实际要求。

3 结论和建议

本文主要介绍了经纬仪测量系统的测量原理。通过对单点坐标的测量、确定长度的测量及曲面样品的测量, 表明经纬仪测量系统完全可以完成在工业测量中常用的点线面的测量。特别是对于曲面的精密测量和恰当的数据分析, 表明其测量精度可以达到 0.15mm。随着对经纬仪测量系统的进一步研究和开发, 相信它将解决许多工业领域中存在的对大型工件的精密测量、精密定位和精密检测等难题。

通过对整个测量原理的分析和实际测量试验的操作, 认为应该特别注意以下几个方面: (1) 经纬仪测量系统的直接测量结果表现为被测点的空间三维坐标。

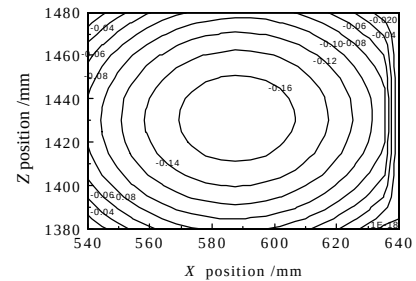


图 2 误差区域小

Fig.2 The error zone is small

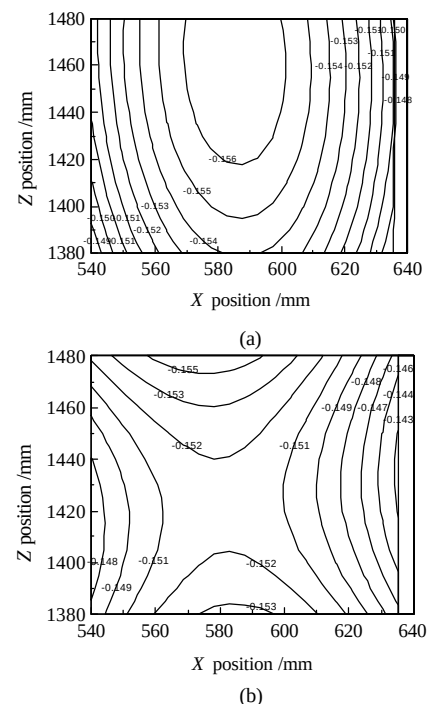


图 3 误差区域大 (两个例子)

Fig.3 The error zone is large (two examples)

(下转第 69 页)

像进行处理的，可以精确的滤除噪声，保留信号。

对比 Xu 的算法和我们的算法处理后的图像及表 2 中的结果可见，两者效果相当，但必须注意到，Xu 的算法中要计算小波系数的相关，计算量大，而我们的算法只是简单的系数大小比较，从而使其所需时间大大缩短。最后还需要说明的是我们的算法在抑噪和保留边缘的能力上比最佳线性滤波器要好得多，这一点的详细证明见文献[4]。

结束语

我们引入了一种使用小波变换处理 MR 图像噪声的新方法，这种滤波器是根据信号与噪声不同的性质进行频率选择，能较好地保留边缘的同时滤除噪声，这样就提高图像的分辨力，计算量也很小。由于我们的目的主要是从高频中提取出信号而滤除噪声，相对而言，小波包在高频部分比小波分解得更精密，有更好的处理效果，下一步我们将探讨小波包在此方面的应用。

参考文献：

[1] MCVEIGH E R, HENDELMAN R M, BRONSKILL M J. Noise and filtration in magnetic resonance imaging [J]. Medical Physics, 1985,12(5): 586-591.

[2] MALLAT S, HWANG W L. Singularity detection and processing with wavelets [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1992, 38(2): 617-643.

[3] MALLAT S, ZHONG S. Characterization of signals from multiscale edges [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1992, 14(7): 710-732.

[4] XU Y, WEAVER J B, HEALY D M, et al. Wavelet transform domain filters: A spatially selective noise filtration technique [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1994, 3(6): 747-758.

[5] 彭玉华. 小波变换与工程应用[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 115-117.

[6] MALLAT S G. A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet representation [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989,11(7): 674-693.

[7] WANG C X, SNYDER W E, BILBRO G, et al. Performance evaluation of filtered backprojection reconstruction and iterative reconstruction methods for PET images [J]. Computers in Biology and Medicine, 1998,28(1): 13-25.



(上接第 55 页)

将要求的被测量转化为空间坐标的形式是解决问题的关键。(2) 针对具体的被测物体合理布设测量系统是保证测量精度的要点。(3) 完善相关软件的开发，使其能更好地满足不同的使用要求。(4) 进一步扩展经纬仪测量系统的应用范围，将被测三维坐标与实际大型工件的安装调试结合起来是今后研究的一个重要方向。

参考文献：

[1] 于来法, 段定乾. 实时经纬仪工业测量系统[M]. 北京: 测绘出版社, 1996.

[2] 徐忠阳. 电子经纬仪在工业测量中的应用[J]. 军测科技, 1990, (2): 15-19.

[3] 李小鹏. 以电子经纬仪为传感器的无接触三维精密定位测量系统[J]. 测绘工程, 1995, 4(1): 31-37.

[4] TESKEY W F, BAYLY D A, MARTELL H F. Use of laser targeting in precision machinery surveys[J]. Surveys technology of surveying engineering, 1993, 119(2): 59-70.

[5] KAISTO I, KOSTAMOVARA J, MANNIEN M. et al. Laser radar based measuring system for large scale assembly applications[J]. SPIE, 1994, 2088: 121-131.

[6] 罗 明, 段发阶, 王学军, 等. 非接触光学柔性三维坐标测量系统[J]. 光电工程. 1996, 23(6): 18-23.

[7] 田 丰, 陈文艺, 赵 宏, 等. 一种实用化的三维测量系统[J]. 光电工程, 1996, 23(5): 64-68.