烧蚀模型的近景立体摄影测量

冯祖绳　马宗魁　祁德清　姚智英

（中国科学院力学研究所）

摘要　本文介绍了立体摄影测量的基本原理和步骤，分析了在气动实验中应用立体摄影测量的前景。使用直接线性变换程序，用普通相机拍摄测量烧蚀模型，精度达 0.2 毫米。

一、引　言

近年来，由于计算技术的发展，摄影测量从地形测量扩展到土木建筑、医学、力学等各个领域[1]。它具有下述特点：

（1）光学非接触测量。适合于高温、高压、柔软物体和难以进入的场所（例如风洞内）测量。由于相机远离实验区，不影响实验，且现场设备简单、安全、可靠。

（2）三维数据图形显示。它可以测出被测物各点在 X、Y、Z 三个方向上的数据；由一对相片还可以测得被测物的等高线或各个断面形状。

（3）一套设备可以测量多种参数，例如应变、速度、振幅、位移等。

由于上述特点，近景摄影测量在气动力学[2]、材料力学、固体力学、水动力学等方面有广泛的应用前途。由于使用的是价格便宜的普通相机，相机方位不能精确测定，因此有必要开展近距离立体摄影测量的研究。

二、解析立体摄影测量的步骤和直接线性变换程序

近景解析摄影测量过程见图 1。

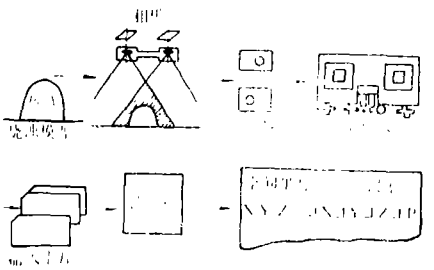

图 1　近景解析摄影测量过程

解析立体摄影测量的步骤如下：

（1）用立体照相机或两个普通相机拍摄被测物体，得到相片对；

（2）将相片对放入立体坐标仪进行测量，得到被测物图象的坐标 x、y；

（3）图象坐标值 x、y 送入计算机，算出物体空间坐标 X、Y、Z 及其误差 ΔX、ΔY、ΔZ。

由于普通照相机设有框标，透镜和胶卷畸变大，因此，精确测量时广泛使用解析法，而直接线性变换方法为使用普通相机奠定了基础[3]。

其基本关系式如下：

$$\left.\begin{aligned} x_M-\frac{L_1X_M+L_2Y_M+L_3Z_M+L_4}{L_9X_M+L_{10}Y_M+L_{11}Z_M+1}=0 \\ y_M-\frac{L_5X_M+L_6Y_M+L_7Z_M+L_8}{L_9X_M+L_{10}Y_M+L_{11}Z_M+1}=0 \end{aligned}\right\}$$

其中 x_M、y_M 为被测点 M 的相片坐标仪坐标，X_M、Y_M、Z_M 为被测点 M 的空间

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

坐标，$L_1 \sim L_{11}$ 为转换系数。

求解空间坐标 X、Y、Z 分两步进行：

(1)已知若干个控制点的空间坐标 X、Y、Z 和坐标仪坐标 x、y，求解转换系数 $L_1 \sim L_{11}$。

有两张不同角度拍摄的相片，一张相片有两个方程，因此，为了求得11个转换系数，一张相片中至少要知道6个控制点的空间坐标。

为了提高测量精度，求解方程一般多于未知数。根据误差理论，一般控制点数取8至15个。另外，选择的控制点应尽可能在被测物附近排列均匀，如果将被测物中已知空间坐标的若干个点作为控制点，则效果更好。

(2) 已知转换系数和被测点的相片坐标值 x、y，求解空间坐标 X、Y、Z 和均方误差 ΔX、ΔY、ΔZ。

因为 X、Y、Z 是三个未知量，而一张照片只有两个方程，因此至少需要两张不同角度拍摄的相片。这时便有四个方程，可用最小二乘法求最可信赖值和算出各点的均方误差。同样，高精度测量时，可以拍摄多张照片，进行数据处理。但一般相片数多于五张后，对精度改善不大。

直接线性变换程序特点如下：

(1)使用 FELIXC-512 计算机，字长32位，双精度运算。

(2)由主程序 DLT 和子程序SORT、XPYPC、OBJECT 和 SWPMAT 组成，占内存60K字节。

(3) 为了数据采集自动化，程序自动挑选，能排列有用的原始数据和废弃无用数据。计算结果中除了能列出各点空间坐标 X、Y、Z 外，还同时给出各点三个方向的均方误差 ΔX、ΔY、ΔZ 和位置误差 ΔP，便于误差分析。

(4) 任意选择要处理的相片数，测量点可多达1000个。

三、微型机为基础的自动相机控制

测量动态过程需要连续拍摄若干张相片，为此，研制了 CPU 为8085的微型机，用来控制 AH Φ-1 自动相机。微型机框图见图2。

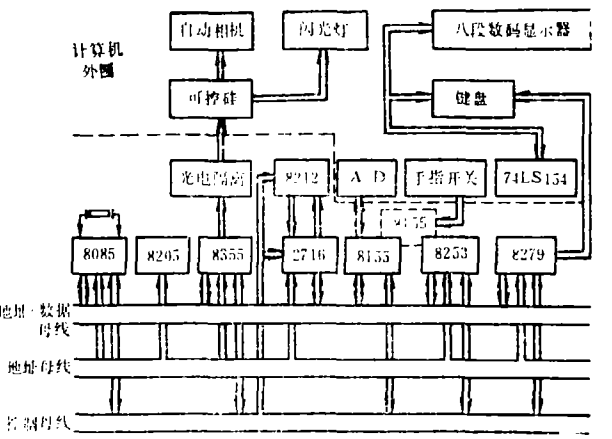

图 2 微型机框图

微型机使用了带 I/O 接口的存贮器8155和8355，因此有8个端口、48个I/O通道供外部设备输入、输出使用。为了避免可控硅对电源的影响，采用光电隔离。仪器面板上有16个数码显示器和24个键盘控制，能显示各种参量。被测物附近也有相同的数码显示器，便于相机拍摄。

监控程序存于 ROM 8355，相机控制程序存于 EPROM 2716，更换2716可以得到不同的控制程序。系统的基本性能如下：

(1) 程序可以任意决定拍摄张数和拍摄时间间隔。最多可拍摄200张。

(2) 十六位数字显示，不仅可以使

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

相片显示被测物体图形，而且可以显示时间变量 t 和其它参量，方便判读和得到与时间有关的参数（如速度场分布）。

（3）计算机精确控制闪光灯和快门开启，保证两者同步。

（4）计算机配备有变换时间为25微的A/D、计数器3253、手动开关等外设，可进一步控制其它实验装置。

四、烧蚀模型立体摄影测量和精度标定

由于烧蚀模型形状不规则（图3），且是用质地柔软的石蜡制成，很难用机械的方法接触测量，因此采用了立体摄影的方法。

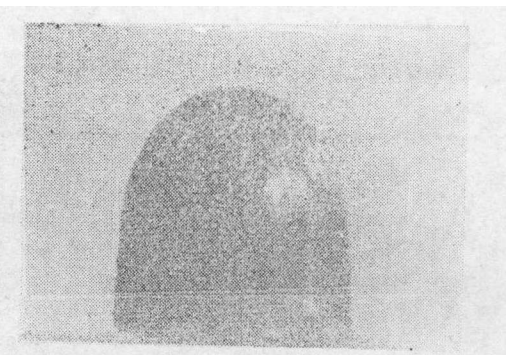

图 3 烧蚀模型

将模型放在已知坐标系中，用幻灯机投射一定的几何图形或在被测物体上涂色等方法提高模型的反差。然后用普通相机或自动相机从不同角度进行拍摄，得到模型的立体相片对（图4）。应该注意的是，相片对必须含有六个以上的已知点和全部被测点。

相片对分别放在坐标仪上进行判读，得到相片坐标值。再把数据送入计算机进行处理，标出各个被测点的空间坐标值，并可根据空间坐标值描绘出等高线（图5）。

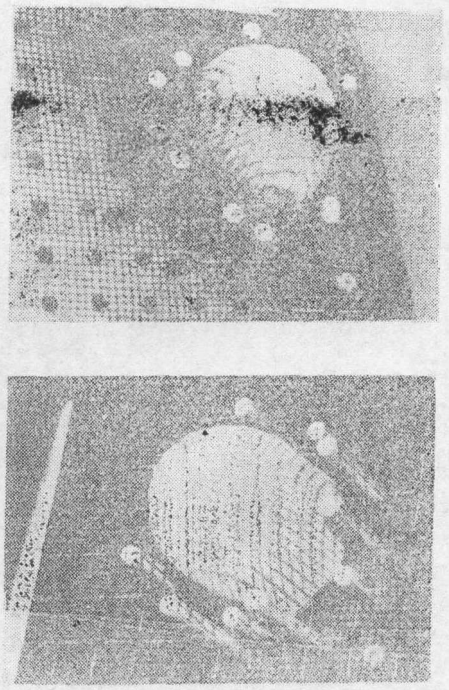

图 4 烧蚀模型立体相片对

为了确定近景立体摄影方法的测量精度，可将一枚硬币置于上述测量用的坐标系中进行立体摄影测量（图6），测出硬币表面一些凹凸点的数值，然后跟用精度为0.001毫米的立式测长仪测得的准确数值相比较，可知近景立体摄影测量的精度达0.2毫米。

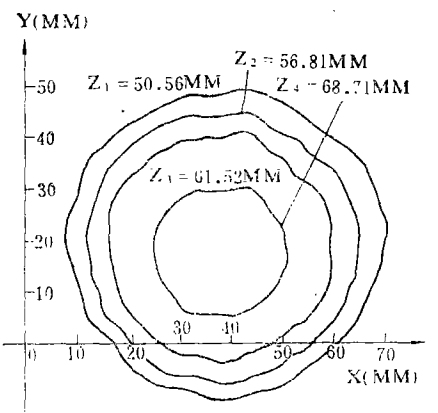

图 5 烧蚀模型等高线

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

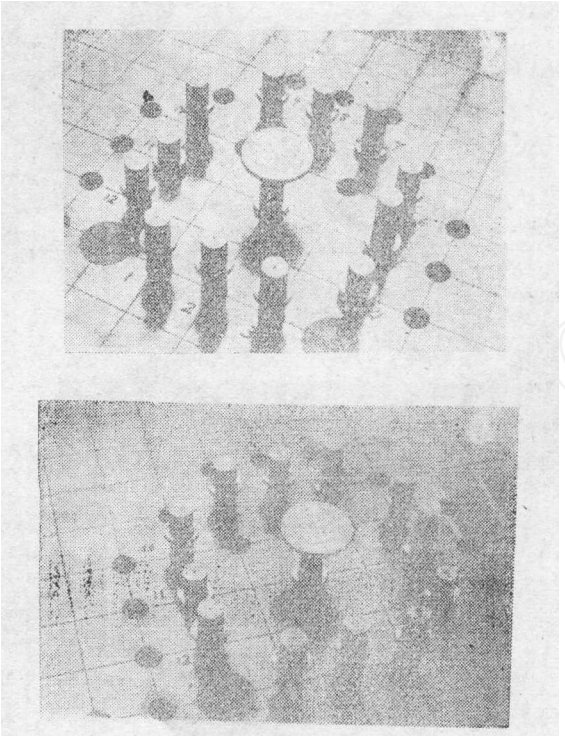

图 6 "伍分"硬币相片对

本工作得到张建华同志的帮助，特此表示感谢。

参 考 文 献

[1] Cheffins, O.W.: Non-topographic Photogrammetry in a Commercial mapping company, 14 th Congress of the ISP. 1980.

[2] Joseph, D. Brooks and Jerry, K. Beamish: Measurement of the model aeroelastic deformations in the wind tunnel at transonic speeds using stereophotogrammetry, NASA TP 1010, 1977.

[3] Ferara, H. M.: Simple cameras for close-range applications, Photogrammetric Egineering 38: 5, 447—451, 1972.

（上接第 32 页）

本文得到山东体育中心李敦厚、刘士杰和伊晓东等同志的大力支持，在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] 蔡国华：FD-09 低速风洞气流紊流度和附面层测量，北京空气动力研究所，1968.

[2] J. C. R. Hunt, E. C. Poulton and J.C. Mumford: The Effects of Wind on People; New Criteria Based on Wind Tunnel Experiments, Building and Environment, Vol.11 pp15—28, 1976.

[3] T.V. Lawson and A. D. Penwarden: The Effects of Wind on People in the Vicinity of Buildings Proceedings of Wind Effects on Buildings and Structures, 1975.

[4] I. Kamei and E. Maruta: Wind Effects on Walking, Report of the Annual Meeting of Architectural Institute of Japan, 1978.

[5] S. Murakami, T.Sheda, T.Goto and K. Uehara: Experimental Studies about Strong Wind Effects on Pedestrians; Walking Tests in Large Wind Tunnel, Journal of institute of Industrial Science, University of Tokyo, 1976.

[6] S.Murakami, K. Uehara, T. Goto, T. Sheda and M. Yamada: Wind Effects on pedestrians; Part II Walking Tests in Precinct in Front of High-rise Building, Report of the Annual Meeting of Architectural Institute of Japan, 1977.

[7] M.Paciuk and M. Porch: A Wind Tunnel Investigation on the Ground Level Wind Environment in a Proposed Open Stadium, Israel Institute of Technology, Haifa, Israel.

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net