文章编号:1004－5589(2006)01－0039－04

应用数字近景摄影测量提取岩体裂隙迹长信息方法研究

王凤艳[1]，陈剑平[2]，庞贺民[1]

(1. 吉林大学 地球探测科学与技术学院，吉林 长春 130026; 2. 吉林大学 建设工程学院，吉林 长春 130026)

摘要:针对传统以皮尺为主要工具的岩体裂隙迹长测量方法精度及效率较低、尤其是遇有危险场地不能遥测等缺点，研究应用数字近景摄影测量的方法获取岩体裂隙迹长信息，以普通非量测数码相机为主要工具，以JX-4A数字摄影测量工作站为依托进行信息处理，可以快速获取隧道施工掌子面裂隙迹线图。经实验比较分析，数字近景摄影测量方法获取岩体裂隙信息在精度和效率方面都优于传统方法。

关键词:普通数码相机;数字近景摄影测量;迹线图

中图分类号:P551; TB89 **文献标识码**:A

Research on method of distilling trace length information of rock mass crevice by digital close-range photogrammetry

WANG Feng-yan[1], CHEN Jian-ping[2], PANG He-min[1]

1. College of Geo-Exploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China;
2. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun 130026, Jilin, China

Abstract: Traditional method taking tape as main tool to measure trace length of rock mass crevice has lower accuracy and efficiency, especially, it can not realize in dangerous field. A new method applying digital close-range photogrammetry to achieve trace length information of rock mass crevice is reported. This method takes common digital camera as a main tool to collect information of rock mass crevice and depends on digital photogrammetry workstation of JX-4A to process information. In this way the tunnel building face crevice trace chart can be gained speedily. After the experimental evaluation, this method is thought to be superior to traditional one.

Key words: common digital camera; digital close-range photogrammetry; trace chart

裂隙岩体中节理裂隙的几何尺寸影响岩体变形性与稳定性，岩体中裂隙的迹长及其概率分布特征是岩体特征的重要参数[1-3]。但快速有效地采集裂隙的迹长信息却较困难，传统的方法是采用皮尺测量迹长，但该方法的精度和效率都很低；人工直接干预现场的时间长，影响现场施工的进度，特别是在一些工期紧，且危险性较大的地下隧道施工中，这种影响尤为突出。因此，高效率、高精度地获取施工现场岩体裂隙信息是当前工程地质领域亟待解决的重要问题，国内有关学者在此方面进行了一些探索[4,5]，并取得了一些成果。本文采用数字近景摄影测量的办法进行施工现场的岩体裂隙迹长的测量研究，并将数字近景测量的结果与使用全站仪测量的迹长（看作真值）以及传统皮尺测量的迹长结

收稿日期：2005-06-10；改回日期：2005-12-06

基金项目：国家自然科学基金面上资助项目(40272117, 40472136)

万方数据

果进行对比。结果表明，数字近景摄影测量法较传统方法效率高，精度好。

1 数字近景摄影测量

数字摄影测量是基于数字影像与摄影测量的基本原理，应用计算机技术、数字影像处理、影像匹配和模式识别等多学科的理论与方法，提取所摄对象用数字方式表达的几何与物理信息[6]。为获取被摄对象的几何信息，必须建立像点与其对应的空间点的对应关系。在摄影测量学中，通常采用共线方程（即像点、物方点与光心三点共线）描述它们之间的关系：

$$x-x_0=-f\frac{a_1(X-X_S)+b_1(Y-Y_S)+c_1(Z-Z_S)}{a_3(X-X_S)+b_3(Y-Y_S)+c_3(Z-Z_S)}$$

$$y-y_0=-f\frac{a_2(X-X_S)+b_2(Y-Y_S)+c_2(Z-Z_S)}{a_3(X-X_S)+b_3(Y-Y_S)+c_3(Z-Z_S)}$$

上式中：x,y 为像点的像平面坐标；x_0,y_0,f 是影像的内方位元素；X_S,Y_S,Z_S 是摄站点的物方空间坐标；X,Y,Z 是物方点的物方空间坐标；a_i,b_i,c_i（$i=1,2,3$）为影像的3个外方位角元素的三角函数元素组成的9个方向余弦。

基于数字摄影测量的基本理论，国内外学者研究利用数字影像或数字化影像完成摄影测量作业的系统—数字摄影测量工作站，将整个摄影测量工作高度集成到一起，全部内业测量工作都整合到一台（套）计算机系统中。已经推出了一些数字摄影测量系统[7]，中国研究并投入生产使用的有武汉大学的 VirtuoZo 的 SuperStation 和中国测绘研究院推出的 JX-4A 数字摄影测量工作站。

（1）JX-4A 数字摄影测量工作站

数字摄影测量工作站 JX-4A，其显著特点是：具有强大的立体编辑功能和产品质量的可视化检查[8]。此工作站的组成：两台显示器，左右手轮、脚盘、两个立体镜和主机（包括 CPU 和显卡等）。

（2）普通数码相机

传统的近景摄影测量用的摄影机是摄影经纬仪和固定基线的立体摄影机。它们用干板和固定焦距以确保几何稳定性。随着计算机技术的快速发展和经济便捷的数码相机地广泛使用，非量测数码相机正逐渐取代传统的量测相机，而广泛地应用于各个领域，与传统的量测相机相比，普通数码相机虽然不能提供内方位元素，镜头畸变大，但其具有以数字方式存储像片，摄影时不需要底片，采集的数字影像可以长期保存，可直接与计算机连接，效率高，信息处理周期短等优点。

2 应用数字近景摄影测量获取裂隙迹长信息的方法研究

（1）数码相机的检测

鉴于普通数码相机为非量测相机，必须进行检校后才能有效地控制影像的几何精度，数码相机的检校有很多种方法[9-11]，采用在实验场中建立格网目标，测定格网点的物方坐标后，拍摄像片并量取格网点的像方坐标，结合共线方程经过坐标反算后得到相机的镜头畸变系数和内方位元素，研究中采用 Canon 数码相机，检测其镜头畸变系数 $k_1=2.659\times10^{-8}$，并测定内方位元素。这是采用 JX-4A 工作站进行数据处理的基础。

（2）控制测量

通过近景摄影测量的控制可以将近景摄影测量网纳入到给定的物方空间坐标系，还可以通过多余的控制加强摄影测量网的强度以及检查摄影测量的精度和可靠性。控制点的个数≥6个，其布置应避免在一个平面上，一般要求是：应均匀地布置控制点，使它们环绕被测目标，并且使各控制点在像片上的构像范围越大越好。控制点的三维坐标测定采用空间前方交会法，使用全站仪 TopCon GTS 601 进行测量，算出控制点的三维坐标的精度为 0.5 mm，满足后续数据处理的需要。

（3）摄影

研究中使用 Canon 数码相机，拍摄时选自动调焦模式，选择影像分辨率为 1 856×1 392 像素。采用移动相机法正直摄影方式获取立体像对，摄影系数 K（摄影距离 y 与摄影基线 B 之比）取 10。拍摄时尽可能获取最有效的摄影覆盖，尽量避开屏障，防止出现摄影死角，通过摄影得到目标体的两张像片 13.JPEG 和 15.JPEG，用其建立目标体的三维立体模型。

（4）数据处理

①相机数码图像预处理

用来建立目标体立体模型的 JX-4A 数字摄影测量工作站，只能处理 *.TIF 格式的图像，用 Canon 数码相机所获得的数字图像是 JPEG 文件格式的彩色图像，所以必须进行格式转换。研究中用 Photo-

万方数据

shop图像处理软件来实现图像文件格式的转换。

②相机文件的建立

JX-4A 进行数据处理时,必须首先建立相机文件,以确定影像的像平面坐标系,研究中根据影像的宽度和高度及内方位元素,确定影像四个角点的坐标(单位 mm),从而确定像平面坐标系,进行相机文件的建立。

③控制点文件的建立

三维控制点的测定采用空间前方交会法,通过编制的三维空间坐标计算程序可以快速解算出控制点的三维坐标,建立控制点文件,备 JX-4A 数据处理时用。

④JX-4A 处理图像

应用 JX-4A DPW 工作站进行图像处理,获得目标体的立体模型的工作流程图(图 1)。

根据岩体目标的影像情况,选取手工定向的方式对影像进行处理[12],获取目标体上的裂隙迹线图。

3　实验结果分析

实验中,以全站仪测出来的裂缝信息为真值。其他方法所获取的结果与其进行比较。获得裂隙信息的实际情况如图 2 所示:

图 2 中,划线为皮尺测量的结果,实线为全站仪测量的结果,点线为数字近景摄影测量方法得出的结果。数字近景摄影测量得出的裂隙与全站仪得出的裂隙信息基本吻合,而皮尺测量的裂隙与之相比相差较大。进一步,从定量上统计 8 条裂隙的信息(表 1),计算出数字近景摄影测量方法测得的裂隙点位中误差和长度中误差。点位中误差为:$m_{点位}=\sqrt{\frac{(x-x_{全})^2+(y-y_{全})^2}{n}}$,式中:$x,y$ 为数字摄影测量方法测得的裂隙端点坐标,$x_{全},y_{全}$为全站仪测得的裂隙端点坐标,n 为点数;长度中误差为:$m_{长度}=\sqrt{\frac{[(l-l_{全})^2]}{n}}$,式中:$l$ 为数字摄影测量方法测得的裂隙长度,$l_{全}$为全站仪测得的裂隙长度,n 为裂隙条数。同理可以求出传统方法测得的裂隙点位中误差和长度中误差。统计结果表明,数字近景摄影测量测得的裂隙点位中误差为 0.029 m,皮尺测量的点位中误差为 0.032 m,数字近景摄影测量测得的裂隙长度中误差为 0.020 m,皮尺测量的长度中误差为 0.022 m。

4　结论

(1)实验结果表明,数字近景摄影测量方法测量岩体裂隙点位中误差(0.029 m)优于传统皮尺测量岩体裂隙点位中误差(0.032 m),数字近景摄影测量方法测量岩体裂隙长度中误差(0.020 m)优于传统皮尺测量岩体裂隙长度中误差(0.022 m)。

(2) 数字近景摄影测量方法获取岩体裂隙迹长信息与传统的皮尺测量手段相比,不仅提高了获取裂隙信息的精度,而且速度快、效率高,还可以实现遥测,更适应工程快速施工要求。

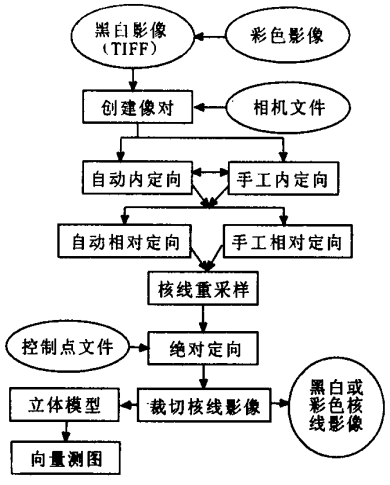


图 1 JX-4A DPW 工作流程图

Fig. 1 Workflow diagram of JX-4A DPW

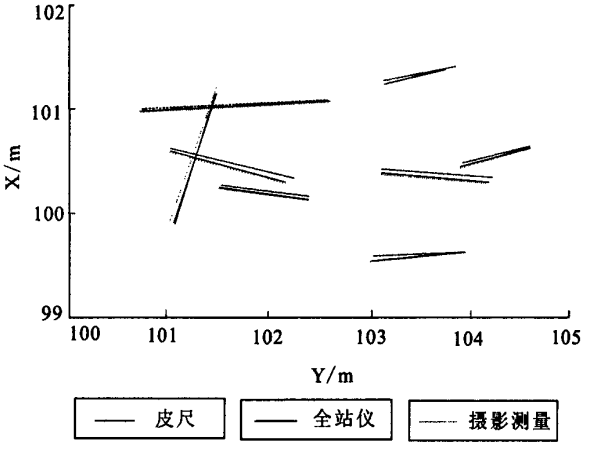


图 2 三种方法获得的裂隙迹线图

Fig. 2 Crevice trace chart obtained through three means

万方数据

表 1 数字摄影测量方法和传统方法获取裂隙信息比较

Table 1 Crevice information compare between digital photogrammetry and tranditional measurement

裂隙名称	长度	端点号	全站仪测量	数字近景摄影测量	皮尺测量
	l		1.891	1.879	1.922
		4-1 X	100.771	100.773	100.751
L4		4-1 Y	100.573	100.564	100.579
		4-2 X	102.661	102.65	102.671
		4-2 Y	100.648	100.651	100.669
	l		1.260	1.3	1.271
		5-1 X	101.067	101.014	101.071
L5		5-1 Y	100.191	100.222	100.209
		5-2 X	102.29	102.27	102.311
		5-2 Y	99.886	99.883	99.929
	l		0.875	0.878	0.887
		6-1 X	101.565	101.551	101.571
L6		6-1 Y	99.828	99.83	99.859
		6-2 X	102.434	102.422	102.451
		6-2 Y	99.722	99.722	99.749
	l		1.341	1.341	1.331
		7-1 X	101.551	101.533	101.541
L7		7-1 Y	100.782	100.776	100.799
		7-2 X	101.099	101.069	101.111
		7-2 Y	99.519	99.518	99.539
	l		0.701	0.690	0.741
		9-1 X	103.194	103.218	103.191
L9		9-1 Y	100.826	100.866	100.849
		9-2 X	103.882	103.898	103.921
		9-2 Y	100.959	100.982	100.979
	l		0.699	0.716	0.689
		11-1X XX xXXX XXXX XX			
L11			103.95	103.958	103.981
		11-1 Y	100.033	100.029	100.069
		11-2 X	104.627	104.653	104.651
		11-2 Y	100.206	100.203	100.229
	l		1.095	1.060	1.103
		12-1 X	103.162	103.146	103.171
L12		12-1 Y	99.975	99.976	100.009
		12-2 X	104.255	104.203	104.271
		12-2 Y	99.902	99.894	99.929
	l		0.916	0.917	0.885
		14-1 X	103.092	103.071	103.101
L14		14-1 Y	99.145	99.145	99.189
		14-2 X	104.005	103.985	103.985
		14-2 Y	99.225	99.223	99.223

参考文献:

[1] Kulatilake P H S W, Wu T H. Estimation of mean trace length of discontinuities [J]. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1984, **17** (3): 215-232.

[2] ZHANG L, Einstein H H. Estimating the mean trace length of discontinuities [J]. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 1998, **31** (4): 217-235.

[3] Priest S D, Hudson J A. Estimation of discontinuity spacing and trace using scanline surveys [J]. *International Journal Mechanics Mining Science and Geomechanics Abstract*, 1981, **18** (4): 183-197.

[4] 李浩，张友静，吴继敏. 用近景摄影测量方法进行边坡地质编录 [J]. 工程地质计算机应用，1999，**13** (2)：18-20.

LI Hao, ZHANG You-jing, WU Ji-min. Geological editing record with close-range photogrammetry in slope [J]. *Geo Com*, 1999, **13** (2): 18-20.

[5] 李冬田. 应用数码相机进行隧道施工地质编录 [J]. 工程地质计算机应用，1998，**8** (1)：30-31.

LI Dong-tian. Constructional geology editing record with digital camera in Tunnel [J]. *Geo Com*, 1998, **8** (1) 30-31.

[6] 张祖勋，张剑清. 数字摄影测量 [M]. 武汉：武汉大学出版社，1997：3.

ZHANG Zu-xun, ZHANG Jian-qing. Digital photogrammetry [M]. Wuhan : Wuhan University Press, 1997: 3.

[7] 张剑清，潘励，王树根. 摄影测量学 [M]. 武汉：武汉大学出版社，2003：202.

ZHANG Jian-qing, PAN Li, WANG Shu-gen. Photogrammetry [M]. Wuhan : Wuhan University Press, 2003: 202.

[8] 中国四维测绘技术北京公司. JX-4A 数字摄影测量工作站操作手册 [M]. 北京：中国四维测绘技术北京公司，2001：4-10.

Beijing Geo-Vision Tech. Co. Ltd. Service manual of JX-4A digital photogrammetry workstation [M]. Beijing: Geo-Vision Tech. Co. Ltd, 2001: 4-10.

[9] 冯文灏. 近景摄影测量 [M]. 武汉：武汉大学出版社，2002：184-214.

FENG Wen-hao. Close-range photogrammetry [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2002: 184-214.

[10] 杨朝辉，李浩，杨林. 数码相机可量测化的研制 [J]. 测绘工程，2003，**12** (2)：34-37.

YANG Zhao-hui, LI Hao, YANG Lin. Research on measurable digital camera [J]. *Engineering of Surveying and Mapping*, 2003, **12** (2): 34-37.

[11] 谢文寒，张祖勋，张剑清. 基于灭点标定相机的理论与实践 [C]// 2004 数字近景摄影测量学术研讨会论文集. 武汉：武汉大学，2004：72-77.

XIE Wen-han, ZHANG Zu-xun, ZHANG Jian-qing. Theory & pratice of demarcating camera on the basic of vanishing point [C]// Learing proseminar of digital close-range photogrammetry. Wuhan: Wuhan University, 2004: 72-77.

[12] 中国四维测绘技术北京公司. JX-4A DPS 综合通讯技巧与问答 [M]. 北京：中国四维测绘技术北京公司，2001：63-64.

Beijing Geo-Vision Tech. Co. Ltd. Communication and technique interlocution of JX-4A DPS [M]. Beijing: Beijing Geo-Vision Tech. Co. Ltd., 2001: 63-64.

万方数据