文章编号:0494-0911(2011)10-0023-04

中图分类号: P23

文献标识码: B

# 采石场边坡多基线数字近景摄影测量

## 精度的影响因素分析

#### 李春梅,张连蓬

(徐州师范大学 测绘学院 江苏 徐州 221116)

### Influence Factors Analysis of Quarry Slope Multi-baseline Digital

#### **Photogrammetry Precision**

LI Chunmei , ZHANG Lianpeng

摘要:分析影响多基线数字近景摄影测量三维景观重建精度的因素,并结合徐州市凤山采石场边坡进行研究分析,提出提高测量 精度的措施及最佳测量方案。

关键词:旋转多基线;数字近景摄影测量;精度分析

一、引 言

传统摄影测量都以一个"立体像对"为基础进 行同名点匹配,而基于两幅二维影像所构成的"单 基线"立体像对重建三维空间是一个"病态"问题, 因为由目标点进行影像匹配可能获得多解。若采 用多基线影像,匹配时正确的光线只能交于同一 点,从而能较好地获得匹配点。另外,传统近景摄 影测量存在交会精度与影像匹配的矛盾,交会角大 的精度高,难以匹配; 交会角小的精度低,但易于匹 配。而多基线摄影测量是一种"多目"视觉方法,其 特点是采用短基线获取大重叠度的序列影像。在 短基线序列影像中,相邻的两幅影像摄影基线短、 交会角小,易于影像匹配;首尾的影像摄影基线短、 交会角大,提高了交会精度。并且由于有多个观测 值,增加了多余观测,进一步提高了交会精度及影 像匹配的可靠性<sup>[12]</sup>。

多基线数字近景摄影测量目前已成功应用于 文物保护、生物医学、工业、工程勘察、汽车、矿山、 环境工程等诸多领域<sup>[3]</sup>。徐州市凤山采石场边坡 地形数字化模型是分析边坡稳定性及计算采石量 的必要依据,采用多基线数字近景摄影测量方法进 行采石场边坡三维重构具有重要的现实意义。因 此,此类特殊地形三维重构的精度成为人们关注与 研究的焦点。本文就采石场边坡三维重建的精度 影响因素进行了大量的试验分析,研究得出有益结

#### 论及最佳测量方案。

#### 二、近景摄影测量外业数据采集

试验场选择在徐州市铜山新区南郊凤山采石 场边坡 地理位置为:北纬34°12′,东经117°12′。测 区面积约1500m<sup>2</sup>,地形起伏较大,边坡高度约 28m,长度约60m,边坡表面地形复杂。为研究需 要,在坡面上布设了38个标志点,具体分布如图1 所示。



图1 标志点分布图

#### 1. 控制点的布设与测量

试验采用相对坐标系,选择深度方向为 X 轴方 向,平行于被摄面的方向为 Y 轴方向, Z 轴竖直向 上。利用宾得 R122 全站仪(测角精度 ± 2",测距精 度 ± (2 mm + 2 × 10<sup>-6</sup> D))测量标志点的空间坐标, 采用免棱镜测量模式,每个标志点均盘左、盘右测 量两次,取其平均值作为初始数据。

#### 2. 影像拍摄

采用佳能 EOS 5D 数码相机进行影像获取,经现场考察选用28 mm的广角定焦镜头,采用旋转多

收稿日期: 2010-10-22 基金项目: 建筑物的精细三维重建及变形监测( 10XLA15) 作者简介: 李春梅( 1981—),女,江苏南通人,硕士,实验师,主要从事摄影测量与遥感图像处理方面的教学与科研工作。 基线的摄影方式,并根据研究需要拍摄了多组短基 线序列影像。

#### 三、采石场边坡三维重建精度影响因素 分析

1. 控制点的数量与分布对精度的影响

多基线近景摄影测量三维景观重构是用外业 采集的控制点坐标及其对应的像点坐标建立空间 关系,解算出影像的外方位元素,进而获得大量同 名点的空间坐标;然后再与摄影测量丰富的影像信 息相结合,最终建立研究区域的三维景观模型。因 此,控制点起着不可或缺的桥梁作用,无论是控制 点的数量还是分布都将直接影响到被摄物体物方 坐标的解算精度<sup>[4]</sup>。

(1) 控制点数量对精度的影响

选择固定的4个标志点作为精度检查点,分别 选取分布均匀的4、6、8、10、15、20、26个标志点作为 摄影测量的控制点,采用 Lensphoto 多基线数字近景 摄影测量系统解算各方案检查点的物方空间坐标, 7种方案的检查点精度统计如表1所示。其中,*X* 方向为深度方向;检查点的各个中误差均为多个模 型的平均值;相对精度为点位精度与摄影距离的比 值。将解算结果绘成控制点数量与检查点精度的 关系曲线,如图2所示。

控制		点位相			
点数	X	Y	Ζ	点位精度	对精度
4	±1.21	$\pm 1.03$	±0.47	±1.65	1/1 148
6	$\pm 0.83$	$\pm 0.83$	$\pm 0.23$	±1.19	1/1 595
8	$\pm 0.81$	$\pm 0.14$	±0.5	±0.96	1/1 978
10	$\pm 0.69$	$\pm 0.35$	$\pm 0.41$	±0.88	1/2 174
15	$\pm 0.85$	$\pm 0.46$	$\pm 0.41$	$\pm 1.05$	1/1 811
20	±0.96	$\pm 0.45$	$\pm 0.39$	±1.13	1/1 685
26	±1.18	±0.6	±0.36	±1.37	1/1 383

表1 检查点解算精度汇总表



图 2 控制点数量对精度的影响曲线图

由图 2 可以看出,当控制点数量较少时,由于多 余观测量较少,解算精度低,但随着控制点数量的 增加,检查点的精度在不断提高。尤其在控制点从 4 个增加到 8 个的过程中,解算精度提高较快,但当 控制点数增加到 8 个以上时,其解算精度提高较小, 甚至出现精度下降的情况。由此可见,控制点数量 的增加会提高检查点物方坐标的解算精度,但由于 采石场边坡陡峭且均为碎石,部分标志点采用了油 漆喷绘十字标记的方式布设,从而增加了内外业标 志点量测误差,降低了解算精度。

另外从各方向的误差曲线可以看出,由于边坡 表面凹凸不平 检查点在 *X* 方向(深度方向)的解算 精度最低,并且深度方向的误差曲线与其点位误差 曲线保持一致的变化趋势。因此,控制点的数量对 深度方向的影响最为显著。

(2) 控制点分布对精度的影响

① 控制点密集程度对精度的影响

控制点密集程度直接决定了它对检查点的作 用力度,从而影响三维重构的精度。现设计以下4 种有代表性的方案进行试验。方案1:控制点均匀 分布于整个摄区,且摄区四周均有控制点,检查点 位于控制点的控制范围内;方案2:控制点集中分布 于摄区左侧;方案3:控制点集中分布于摄区中央; 方案4:控制点集中分布于摄区右侧。

利用 Lensphoto 多基线数字近景摄影测量系统 对各方案检查点的物方空间坐标进行解算,解算精 度如表2 所示。

中误差/cm 点位相 方案 对精度 X Y Ζ 点位精度 1/1 978 1  $\pm 0.81 \pm 0.14 \pm 0.5$ ±0.96 2  $\pm 1.42 \pm 0.43 \pm 0.92$ ±1.75 1/1 141 1/953 3  $\pm 1.67 \pm 0.94 \pm 0.57$ ±2

±3.35

1/565

表2 检查点解算精度表

由表2可知方案1的解算精度最高。因此,若 控制点分布过于集中,则减弱了对远处检查点的作 用力度,从而导致检查点解算精度的下降。另外由 于边坡右侧地形较左侧复杂,导致方案2的检查点 解算精度明显高于方案4。故控制点应均匀分布于 整个摄区,摄区四周必须有控制点且兼顾中部控制。

② 控制点立体效应对精度的影响

 $\pm 2.89 \pm 1.56 \pm 0.69$ 

4

采石场边坡地形起伏变化大,坡面凹凸不平, 针对这一地形特征,研究控制点布设的立体或平面 效果对解算精度的影响。现采用均匀分布的8个控 制点,设计如下3种布设方案进行试验。方案1:均 匀立体布设于整个摄区;方案2:均匀布设于凹的特 征点上; 方案 3: 均匀布设于凸的特征点上。各方案 均采用摄影测量方法对检查点的物方空间坐标进 行解算,解算精度如表 3 所示。

方案 -		点位相			
	X	Y	Ζ	点位精度	对精度
1	±0.81	±0.14	±0.5	±0.96	1/1 978
2	±1.09	$\pm 0.48$	$\pm 0.54$	±1.31	1/1 454
3	±1.12	±0.53	±0.68	±1.41	1/1 344

表3 检查点解算精度表

3 种方案的控制点都均匀分布,但从表3看出, 方案1 的检查点点位中误差明显小于其他方案,可见 方案1 的控制点布设方案最优。因此,在对地形起伏 较大即深度较大的对象进行三维重建时,控制点不仅 要均匀分布于被摄面,还应具有一定的纵深度。

2. 摄影距离对精度的影响

试验采用普通定焦单反数码相机进行影像采 集,当摄影机镜头一定时,摄距与被摄对象在像幅 中的成像比例有关,摄距越小,影像所占比例越大。 为了数据处理的顺利进行,必须满足被拍摄对象占 整个像幅的2/3 以上,因此根据现场试验条件布设 19 m和23.3 m两种摄影距离进行试验。为避免其 他因素的影响 影像均在相同的试验条件下获取。内 业采用 Lensphoto 多基线数字近景摄影测量系统进行 数据处理,并选用相同的14 个标志点作为控制点解 算4 个检查点的空间坐标,解算精度如表4 所示。

表4 检查点的解算精度表

摄影距		点位相				
离/m	X	Y	Ζ	点位精度	对精度	
19	±0.44	±0.57	±0.38	±0.81	1/2 333	
23.3	±0.66	$\pm 0.44$	$\pm 0.45$	±0.91	1/2 547	

由表 4 可知,摄影距离对物方空间点的解算精 度有较大的影响,在满足被拍摄对象占整个像幅的 2/3 以上的条件下,拍摄距离越小解算精度越高。 因此,在能覆盖整个摄区的情况下,可尽量选择较 短的摄影距离,最好使被拍摄对象占满整个像幅。

3. 摄影基线长度与方向对精度的影响

(1) 基线长度对精度的影响

近景摄影测量中基线长度对解算精度的影响 较大,近年来国内外很多学者对此进行了深入的研究。交会角小易于影像匹配,交会角大能够提高交 会的精度,因此交会角大小成为了精度与影像匹配 之间的矛盾。为解决这一矛盾,多基线摄影测量是 一个最佳解决方案:相邻影像交会角小,易于匹配; 多基线总体交会角大,确保交会精度;同时多方向 交会,使前方交会具有多余观测,能够增加影像匹 配的可靠性<sup>[1-2]</sup>。然而基线长度对多基线摄影测量 成果也具有较大的影响,为此就研究区域的试验条 件,布设5种基线进行试验,各基线长度分别为1m、 1.5m、2m、3m、4m,并且均在23m的摄影距离下 获取影像。选择固定的4个标志点作为精度检查 点,选择相同的8个控制点解算检查点的空间坐标, 精度报告如表5所示。

表5 检查点解算精度表

基线						
长度 /m	匹配 点数	X	Y	Ζ	点位 精度	点位相 对精度
1	1 787	±1.4	±0.82	±0.49	±1.69	1/1 107
1.5	1 612	$\pm 0.85$	$\pm 0.59$	$\pm 0.47$	±1.14	1/1 669
2	1 101	$\pm 0.75$	$\pm 0.62$	$\pm 0.43$	$\pm 1.06$	1/2 231
3	1 041	$\pm 0.65$	$\pm 0.35$	$\pm 0.45$	$\pm 0.86$	1/2 708
4	952	$\pm 0.41$	$\pm 0.48$	$\pm 0.37$	$\pm 0.73$	1/3 240

相邻摄站间的基线长度应小于摄影距离的 20%,以保证相邻摄站影像间的交会角小于10°,易于 自动匹配;同时,首尾摄站间的基线长度应大于摄影 距离的50%,以保证测区内影像间的最大交会角大 于25°,从而保证交会精度<sup>[5]</sup>。但一般实际研究条件 很难保证首尾摄站间的基线长度大于摄影距离的 50%的要求,本研究的最大基线可布设为4m,设置 4个摄站。从以上试验结果可以看出,基线从2m到 4 m对精度的影响并不大,选择2m或3m基线也足 以满足工程应用的精度要求,且匹配效果较好,能为 三维建模提供足够的同名点。因此,兼顾匹配与解算 精度,本研究选用3m基线最佳。而在现场试验条件 有限的情况下两摄站间距取约为1/12摄影距离,首 尾摄站的间距在1/4~1/2摄影距离之间即可。

(2) 基线方向对精度的影响

为研究基线方向对采石场边坡三维重建精度的 影响 现在相同的试验条件下布设平行于被摄面及斜 对被摄面两种摄影基线进行试验 选择相同的8 个控 制点解算4 个检查点的精度 精度报告如表6 所示。

表6 检查点的解算精度

基线方向	X	Y	Ζ	点位 精度	点位相 对精度	
正对被摄面	$\pm 0.81$	±0.14	±0.5	$\pm 0.96$	1/1 978	
斜对被摄面	±1.74	±1.12	±0.59	±2.15	1/1 021	

试验结果表明: 斜基线大大降低了解算精度, 无法满足工程应用的精度要求。因此,拍摄影像时 基线应选择在摄区的中间位置,且基线的方向应尽 量与被摄物平行,因为基线方向与被摄物夹角越 大,变形越大,精度越低。

4. 植被对精度的影响

徐州市凤山采石场边坡春夏季植被生长旺盛, 而秋冬季植被较少。为了研究植被对近景摄影测 量精度的影响,现采用旋转多基线的摄影方式采集 了夏季和冬季的两期边坡数据,利用 Lensphoto 多基 线数字近景摄影测量系统进行解算,解算精度 如表7所示。

表7 检查点的解算精度表

季节	匹配 点数	单位权 中误差			点位		
			X	V	Z	点位	相对
		/mm	21	1	L	精度	精度
夏季	1 016	±1.628	±0.71	±0.63	±0.47	±1.06	1/2 520
冬季	1 610	$\pm 2.064$	±0.63	±0.24	±0.43	±0.97	1/2 737

由表7不难看出植被对精度的影响较大。夏季 采集的数据不易匹配,且解算精度较低;而冬季采 集的数据易于匹配,解算精度较高。

#### 四、结 论

以上研究表明,影响采石场边坡三维重建精度 的主要因素包括控制点的数量及分布、基线的长度 及方向、摄影距离、植被等。控制点从4个增加到

(上接第16页)

- [3] 鲁光泉.基于普通相机的交通事故现场三维重建关键 技术研究[D].长春:吉林大学,2004.
- [4] 范生宏. 工业数字摄影测量中人工标志的研究与应 用[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2006.
- [5] YU Zhijing , CHEN Gang. Single Camera 3D Coordinate On-line Measuring System [C] // Proceedings of Second International Symposium on Instrumentation Science and Technology. Jinan [s. n. ], 2002.

8 个的过程中,解算精度提高较快;而当控制点数增加到 8 个以上时,其解算精度提高很小,甚至有所下降。控制点应均匀立体地分布于整个摄区,摄区四周必须有控制点且兼顾中部控制。摄影基线应选择在摄区的中间位置,且方向尽量与被摄物平行,基线长度取约为 1/12 摄影距离,首尾摄站的间距在1/4 到 1/2 摄影距离之间。尽量选择秋冬季以较短的摄影距离进行影像拍摄。

由此得出本研究的最佳测量方案为:采用立体 均匀分布的 10 个控制点,基线长度选为 3 m,方向 平行于被摄面,摄影距离为 19 m,在秋冬季进行数 据采集。该方案提高了采石场边坡的重构精度,对 类似的特殊地形三维景观重构也具有重要的指导 意义。

#### 参考文献:

- [1] 张祖勋,杨生春,张剑清,等.多基线一数字近景摄影测量[J].地理空间信息 2007 5(1):1-4.
- [2] 张剑清,胡安文.多基线摄影测量前方交会方法及精度分析[J].武汉大学学报:信息科学版,2007, 32(10):847-851.
- [3] 石栓虎.近景摄影测量精度影响因素分析[J].交通科技 2009(3):63-64.
- [4] 龚涛 近景摄影测量控制点布设方案的研究[J]. 西安 交通大学学报 ,1997 ,32(3):330-335.
- [5] 柯涛,张祖勋,张剑清.旋转多基线数字近景摄影测量[J].武汉大学学报:信息科学版,2009,34(1): 44-47.
- [6] BARTOLI A, STURM P. Non-Linear Estimation of the Fundamental Matrix with Minimal Parameters [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(4): 426-432.
- [7] 刘大杰,白征东.一种 GPS 网三维平差的数学模型[J].测绘学报,1997 26(1): 37-41.
- [8] 贾盛举,于晶涛.数字近景摄影测量在工业检测中的应用[J].测绘学报,2002,31(S0):61-64.