

爱达荷州ADA县

精密摄影测量加密结果的检验

詹姆斯 R·卢卡斯

作者简历(略)

提 要

在合众国整个土地测量中引入统一的坐标系统已很急需一个文件,但是现有大地控制网的加密是既耗资又费时的。国家海洋测量局(NOS)提出了一个和常规地面测量方法精度相当而成本少一半的摄影测量控制加密系统。为了更好地为土地测量员的需要服务, NOS 提出的系统包含有一个独特的计算程序,能获得加密点的两个大地坐标和在一对可通视点之间的距离、方位角和高差。最近在爱达荷州Ada县使用NOS系统得到346个加密点的精确坐标。这一计划表明用摄影测量的方法能加密被确认的三角测量控制网,而在精度和大量节约时间、经费方面权衡已显得不重要了。

引 言

最近国家科学技术学会的大地测量委员会(1980)文献上提出了一个报告,申述了在合众国急需测制多用途地籍图。报告阐明,首先必须加密现有的大地控制网,而用高精度的摄影测量这一手段来完成加密是适时和经济的方法。

大约五年前Duane Brown(1977)在佐治亚州亚特兰大市首次按实施方案作试验已显示了摄影测量加密的精确性和经济上的优越性。在同一时期NOS提出的精密摄影测量系统正在亚利桑那州Casa Grande 试验区域进行试验。这一试验证明NOS系统完全能使加密点位置的坐标误差接近5 cm,如Slama(1978)所报导;在经费方面比传统的三角测量或导线测量要少一半。被这些效果所鼓舞, NOS 试图对这一系统在工作环境方面作进一步检验。

1978年NOS和爱达荷州Ada县开始合作,在该县北部进行了近400平方英里的加密工作。测区位置如图1所示。这一工程目前未遇到像在更理想的环境的试验地区中的一些难题。但它已再次表明在大地控制网的加密中用摄影测量方法达到5 cm的精度是完全可能的。

系 统 之 叙 述

摄影测量控制加密,像任何别的测量方法一样,逻辑上分为外业和内业工作。鉴于仪器及在内,外业中获取观测数据的使用方法,其细节早已被Slama(1978)所描述。本文只简要地描述数据的获取和精选,而主要将讨论数据的平差方法。

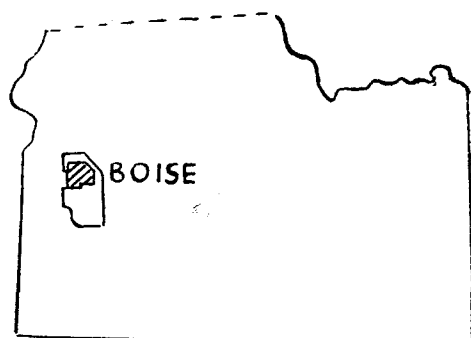


图1 计划位置：爱达荷州Ada县北部

摄影目标——直径为76cm的橙黄色发光圆盘——是重要的，这不只为了地面点定位，而且应使象点测定误差减少到最小。摄影机物镜是经wild厂改进的焦距为152mm的wild Universal Avio gon II型，它提供了对狭窄的橙黄色部分带谱的最佳分辨率。这导致在总体清晰度略有损失情况下标志影象的明显分辨率，因为仅仅这些小的标志影象具有重要的使用价值。

物镜头部还装备有一个2×2厘米的投影网格。这网格实际上是代替支托摄影乳剂的玻璃板，从它的影象测量中为排除底片变形提供手段。依靠反复量测网格的影象坐标，以使偶然误差减到最小，但经过广泛校正的结果仍很小有可能排除像软片和镜头畸变这样的系统误差。

航摄设计的任务是既要通过增加多余观测以减少偶然误差，同时也要把几何模型的强度增强到最大限度。使用3600"的高度进行飞行，曝光间隔调节到保持 $\frac{2}{3}$ 航向重叠，航线间同样应有 $\frac{2}{3}$ 旁向重叠。这样除那些环绕摄区边缘的点之外，保证每个地面点最少能有九个影象。此外，再次与主要方案航线相垂直的全部地面摄影，但仅要求有 $\frac{1}{3}$ 的旁向重叠。重复摄影的费用是很少的和用它来恢复由于航线的变化可能减弱的几何模型强度。

数据的获取

在加密任务而飞行之前，必须完成大面积的野外工作。Ada县现有的九个大地点控制点是不能满足摄影测量加密要求的，为此增加八个新的点，如图2所示。加密点——全区分区角点——都埋设标石以便将来恢复，并在全部地面点上设置可拍摄到影象目标的地面标志。分区角点的永久性标石和标志是由Ada县的全体人员设置的。

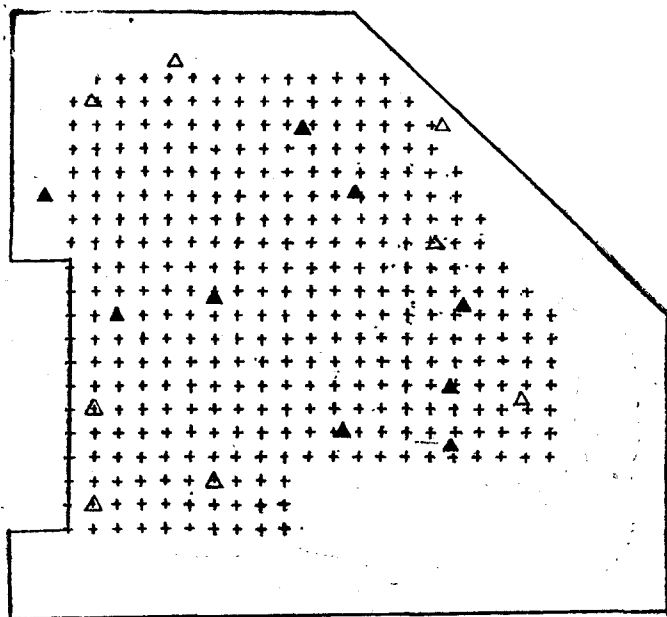


图2 测区的大地控制。原有的控制用▲表示，新的控制用△表示，分区角点用十字形记号表示。

数 据 处 理

摄影测量控制加密的高精度取决于观测的系统误差和偶然误差减至最小的程度。一旦数据准备全部结束,任何设计良好的摄影测量光束法平差程序均可用于加密控制点。然而为了更好地满足土地测量员的需要,国家大地测量局(NGS)决定扩大平差计算功能,包括计算全部可通视的一对点间的距离、方位角和高差。在常规平差中这些附加参数的计算是一个通常的修改,但是为了求解估算它们的标准偏差所必需的协方差传播是很麻烦的,为此(NGS)设计了一个特殊的加密计算平差程序。

摄影测量区域网可能要大规模法方程组,但总是很稀疏的。图3是由25个地面点和25张象片组成的一个很小的摄影测量区域网块状结构显示图。其左上部是由各地面点的三个位置分量组成的 3×3 阶子矩阵块联结成的对角线。对于每张象片有六个未知数——三个位置分量和三个定向元素。因此右下角是由 6×6 阶子矩阵块组成的对角线。非对角部分则表示地面点和象片之间的联系。

法方程按参数类型自然划分后,建议应用标准公式:

$$\begin{pmatrix} A & B \\ B^T & C \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} K & L \\ L^T & M \end{pmatrix}$$

式中 $M = (C - B^T A^{-1} B)$

(1)※

$$K = A^{-1} + A^{-1} B M B^T A^{-1}$$

(2)

分别为摄影参数和地面点位置的协方差矩阵。但是,硬套公式对大规模摄影测量平差必

将消耗计算机大量的时间和有效存储器。为了最大限度的应用摄影测量只需 3×3 阶协方差矩阵和每个地面点位置相关联,从哪里可以获得它们的误差椭圆,同时假定为了定性分析和质量检验这 6×6 阶协方差矩阵与各自的象片相关联。Duane Brown(1958)论证了为获得这些量而避免了逆阵大部分元素的计算的一种方法,这在解析摄影测量学领域里是一个重大的进展。

利用矩阵A的一组对角线结构,方程式(1)和(2)可写成:

$$M = C^{-1} = (C - \sum_i B_i^T A_i^{-1} B_i)^{-1} \quad (3)$$

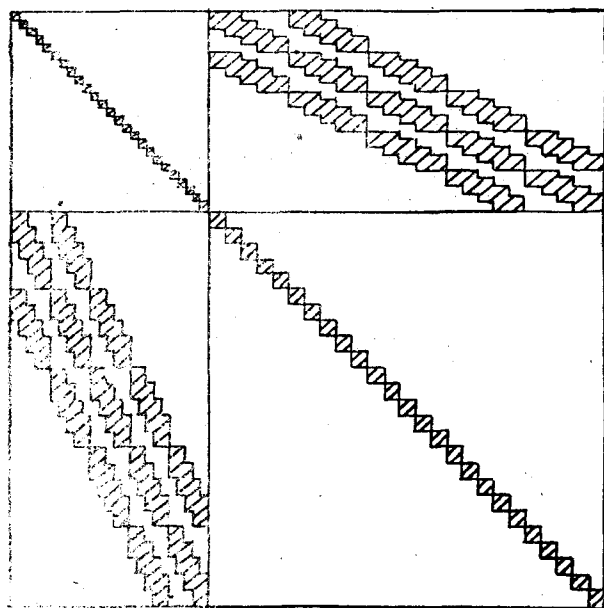


图3 摄影测量法方程式的结构

※根据矩阵求逆,式(1)应为 $M = (C - B^T A^{-1} B)^{-1}$ 。原文如此。译注

$$\text{和 } K_i = A_i^{-1} + A_i^{-1} B_i M B_i^T A_i^{-1} \quad (4)$$

方程(3)表明矩阵 \hat{C} 能顺序连续处理地面点, 这样 A_i 和 B_i 就仅仅是矩阵 A 和 B 的小集合需占用磁心存储器。一旦逆阵 M 可求, 则每个地面点位置的协方差阵 K_i 就可反复利用 A_i 和

B_i 从方程(4)获得。

从 C 变换到 \hat{C} , 导致那些对角线结构的程序块消失而产生如图4里的带状矩阵。其带宽度即为象片关联的最大限度数目, 将被填重决定的未知量的排列顺序减到最小的限度。带宽度极小化是减少计算机时间和存储器双方一个重要因素。如图4所示, 受带宽度对称区段的限制, 只提供总是往一个确定单元去取地面点的矩阵 \hat{C} 。而且在那些地面点的协方差矩阵 K_i 的计算中需要用的逆阵 M 是相同的而不是别的。因此 M 落于带宽度外是不必要计算的元素。也不必为 \hat{C} (或 M)提供比带宽度相同的正方形子形矩阵更多的磁心存储器, 凭借“固有的法方程”对称的优点能压缩到只留三角形部分。

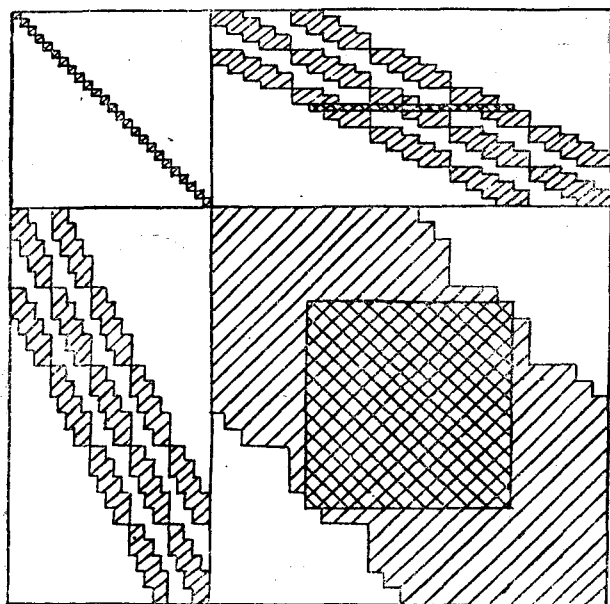


图4 用常规平差法约化法方程。阳暗部分表示“固有的法方程”。

这常规计算方法提供了解决摄影测量光束法平差问题和计算每个地面点位置的协方差的一种有效手段。但诸如距离、方位角等等这些参数的标准偏差, 涉及两个地面点点位间需要的非对角线协方差矩阵, 这些在常规平差中是不计算的。此外, 这些非对角线块包括 M 的计算就要落到带宽度之外。所以扩大常规平差提供这些附加参数就会增加计算机的负担和需要大量的存储器。

一种更为实用的方法是从方程(3)里互换地面点位置和象片参数的作用而达到。然后在地面点位置相关联的矩阵具有的带状结构里达

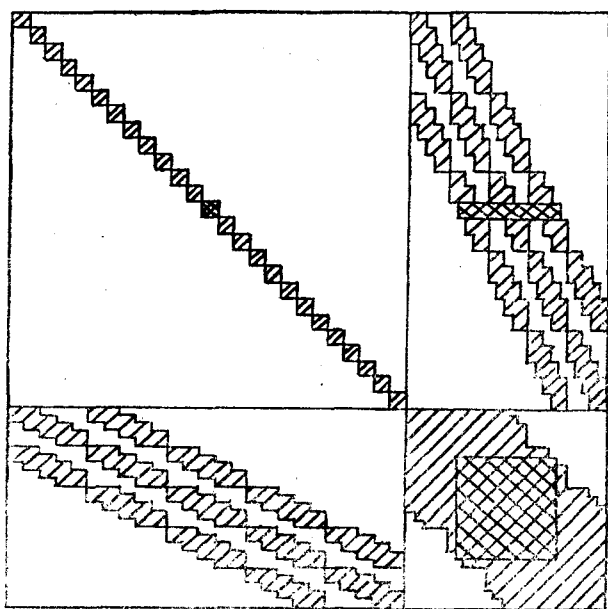


图5 用增加密度方法约化法方程

到象片的连续处理,如图5所见。这就为在保存全部常规方法的有吸引力的优点的同时提供了若干附加好处。而且落在带宽度里的那些逆元素计算都是必要和充分的,但是自动地提供非对角线协方差部分在常规平差中就达不到。由于M现在是由 3×3 阶而不是 6×6 阶子矩阵组成,逆项计算量将减少四倍。实践中这些减少将并不引人注目,因为带宽度总是随着包含次要的地面点而在扩大,虽然A d a 县测区缩小系数近似地为3.3。

此外,已经获得了全部地面点位的协方差矩阵和必要的非对角线协方差,那就根本不必使用方程式(4)。也不必计算象片参数的协方差矩阵。为了这计算是备有的技巧,从程序表的操作上说明如需这些参数可增加计算时间获得,也能完全消除。

NGS在这一思想基础上设计的摄影测量控制加密平差程序已被证明是相当有效的。A d a 县测区包括438张象片和384个地面点(总计达3780个未知参数)在UNIVAC 1100/40计算机上每次迭代约需化中央信息处理机12分钟的时间,协方差传播还需另化近13分钟。

效 果

在A d a 县346个分区角点和17个控制点如图2所示以及多于一打重要的附加点一起布设标志。如前所述沿着周边的地面点比内部的地面点在象片上出现次数要少。假使要保持测区边缘高精度,必须在测区外侧加设一排标志,为边缘象片提供位置控制。这些附加点的位置可从平差中获得,但精度较差,其每个点的坐标名义上误差为 $10 \sim 10$ cm。A d a 县决定同意减低测区边缘精度以免遇到困难和增设那么多外加点的标志的费用。因此本文介绍的结果不包括那些边缘上的分区角点。

在东西向十六条航线中利用 $\frac{2}{3}$ 航向重迭和 $\frac{2}{3}$ 旁向重迭提供了测区285张原始的合格象片。从第二次南北向九条航线仅 $\frac{2}{3}$ 旁向重迭中增加不同的153张象片。全部象片上标志影象的质量是极好的。

所有标志影象和网格交叉点是用M a n n自动星形比较仪以五次独立照准进行量测的。六个网格交叉点与每个标志影象同时量测——四个环绕影象和二个邻点。然后对影象坐标进行除大气折光差外的所有已知系统误差作改正。这种计算是整体平差过程的一个组成部分。

每条航线是用常规解析平差程序分别进行改正。这种分别的改正是为了使每条航线的坐标数据更便于利用,同时用来发现测量粗差和提供更好的未知参数的

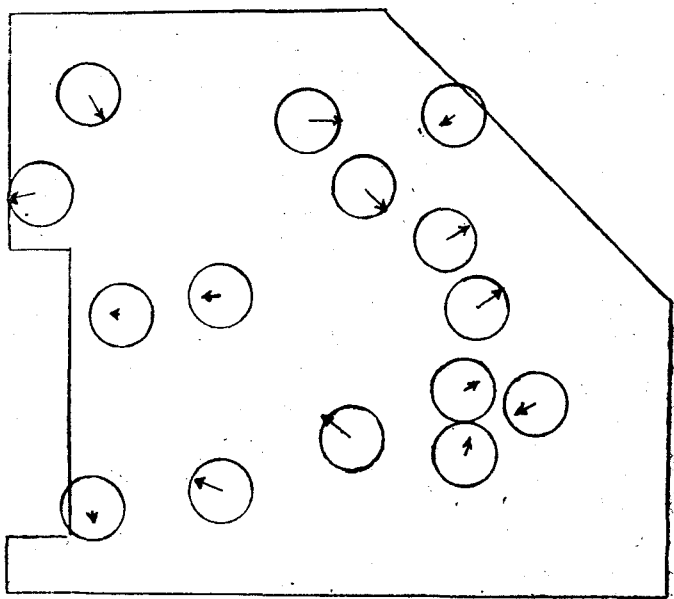


图6 由于权系数不严密引起大地控制位移。

初始改算值。

予平差仅用东西向航线并用全部大地控制点定位。总的拟合是很好的，但残差分析后表明摄影测量网出现轻微的变形，它需于测区东南角附近符合到大地控制上去。

再次平差的进行包括南北航线的象片。将在纵坐标和横坐标二者 5 cm 的标准偏差配赋到所有控制点上而不保持大地控制网不变。两个控制点的高程是由几何水准测得的已知点，为此配赋 5 cm 标准偏差。所有其它大地控制点上高程配赋 25 cm。由于每个大地点在摄影测量观测中得到大量的数，受强制约束的作用不大，允许这些受摄影测量所支配的点位有所移动。尽管如图 6 所示，在大地控制点中最大位移小于 6 cm，而大多数点位移小于 5 cm。况且，在先前的平差中出现的明显变形随着增加交叉航线观测资料而消失了。它鼓舞人心的发现摄影测量和大地测量的相容性和他们设想的精度是如此的一致。

计算从每个点的 2.5 公里半径范围内所有可通视的地面间的距离、方位角和高差尚缺乏报导。每个分区角为八个邻区所包围。方位角的精度大部分在 3 ~ 6 弧秒之间变化。高差精度很好，这是考虑到摄影测量不能提供坐标的优良的测定能力，使具有 5 ~ 15 cm 的标准误差。分区角距离计算的标准偏差如图 7 所示。

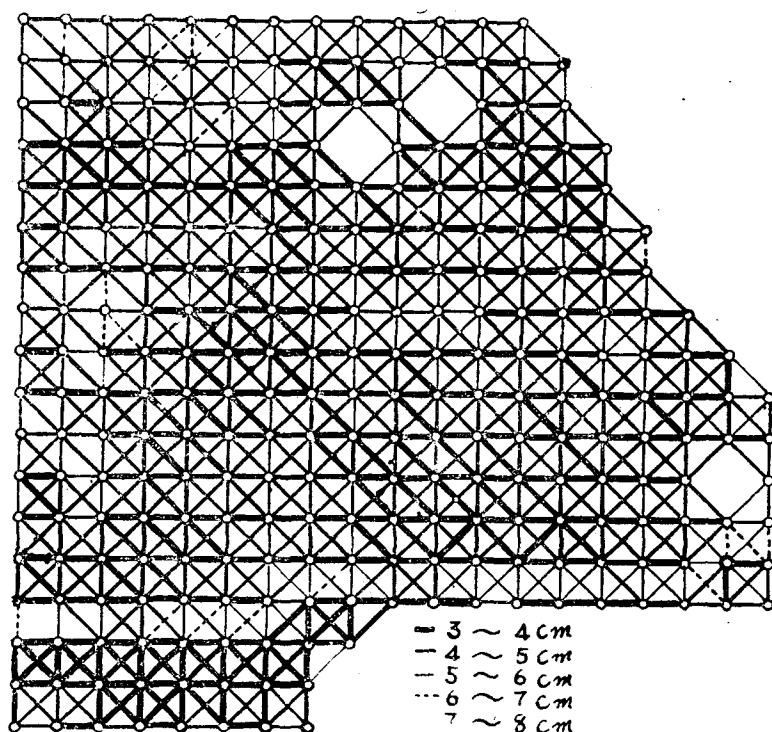


图 7 分区角点间计算距离的精度评定。

三个分区角没有目标，或它们的目标不明显和可能没有找到。按照各种情况以一个或多个自然点来代替，这些点未表示在图上。从接近左边缘一个点出发的所有线段的精度有明显的降低。因这个点几乎整个视域阻隔仅在三张象片上的位置可粗略的测定。除连接到这个点

的线段和靠近周围的少数线段外,距离计算的精度是非常令人满意的。标准误差有近84%小于5 c m,而标准误差超过6 c m的仅占1.2%。

这些结果之出现证明了摄影测量提供精密的大地控制加密的能力。进一步验证,使用三角测量和电子测距仪检核一些分区角点的位置,是安排在1981年初。

结 论

毫无问题摄影测量可以达到比常规地面测量更为经济的进行大地控制加密。本测区已表明5 c m的精度是能达到的,这将满足大多数的需要。在城区控制网可能需要更高的精度和更大的密度,将摄影比例尺增加一倍是能获得2~3 c m精度的,尽管这个推断尚待验证。

在摄影测量控制加密的效用验证中A d a县测区是成功的,但成功的主要衡量标准是试图相信它们对大地测量的一致性。假使其它州和地方政府是鼓励加密不足的控制网和假使其它代办处及承包者促使提高为完成这一服务的能力,那么该两团体的测量员和其它部门将获得实质性利益。

参考文献(略)

译自美国“测量与制图”

1981年2月22—27

姚如松、严美臻译校

王宇城初译