

岩坡摄影地质测量与岩坡空间信息系统

李冬田

(河海大学土木工程学院 南京 210098)

摘 要 阐述了当代应用遥感和地理信息系统进行岩坡地质测量和编录的几个关键技术问题. 提出了测量结构面产状的“灭线法”, 提出了以量测摄影仪与普通相机相结合的地面摄影遥感为基础, 建立岩坡空间信息系统(RSIS)的概念, 提出了分析块体和滑面的“层运算”方法. 讨论了本研究领域中进一步发展的方向.

关键词 摄影地质测量; 灭线法; 岩坡空间信息系统; 层运算

中图分类号 P233

岩坡地质测绘的准确性, 是岩坡稳定分析中最重要的问题之一. 然而传统的岩坡地质测绘基本上是“目测加罗盘”的方法, 劳动强度大而精度极差, 又往往无法校核. 摄影地质测量是岩坡工程地质测绘的一种优越的方法^[1, 2, 3], 国内外均从 70 年代中后期开始研究. 但是, 由于技术上某些关键问题未解决, 这种方法在我国尚未广泛应用. 其中最突出的问题是如何有效地用摄影方法测量地质结构面的产状. 目前在摄影测量中对于结构面产状量测, 最普遍的是用三点法, 也可用图解法或与其相应的计算法^{*, **}. 这些方法都要用像对, 计算的依据是同名像点的视差. 本文姑且称其为“视差法”. 在实际工作中, 由于同一结构面上三个点构成的面积往往很小, 用视差法计算的产状往往误差太大而无法应用. 作者在本文中提出的“灭线法”, 是一种用特定的外业方式拍摄的单像片量测地质结构面产状的方法. 试验证明, 这是一种较有效的方法.

摄影地质测量的又一技术难点是编录成果的拼接成图问题, 其关键在于设计合适的投影转换方式. 作者将另文讨论. 但应当指出, 任何一种平面图都难以全面而清晰地反映坡体的空间结构. 在计算机技术迅速发展的今天, 人们自然想到用计算机建立岩坡坡体的三维模型. 摄影地质测量实际上是摄影加计算机处理的方法. 由于测量成果的每个细节已经储存于计算机, 可以较方便地编制岩体的三维模型, 并在此基础上建立岩坡稳定分析的空间信息系统.

岩坡空间信息系统(RSIS)是用地理信息系统(GIS)方法研究和监测岩坡稳定的计算机系统. 它可以储存和管理所有有关岩坡的信息, 并以图像的方式进行分析、计算和显示.

作者曾参与三峡临时船闸边坡的摄影测量试验(国家“八五”攻关项目 85—16—03—08—12), 并在广东和江苏进行了一些试验, 进一步研究了上述问题. 本文拟就岩坡摄影地质测量和岩坡空间信息系统的若干主要问题进行探讨.

1 摄影测量岩坡结构面产状的灭线法

空间几何要素, 有点、线、面三种类型. 它们互相联系, 又各自具有不同的属性和不同的中心投影特性. 因此, 在摄影测量面的“产状”时, 应把面作为一种不同于点的空间要素来对待, 可以根据面的中心投影规律测量, 而不一定都通过点的坐标量算来计算. 根据中心投影定律, 一个平面上所有直线的中心投影都终止于一条直线, 这条直线即该平面中心投影的灭线.

本文提出的灭线法, 要求在摄影时使相机(投影中心) 位于所量测的结构面的延伸面上. 这样得到的像片上, 该

收稿日期: 1997-02-24

作者简介: 李冬田, 男, 教授, 水文工程地质专业, 主要从事遥感与地理信息系统在水文工程地质工作中应用的研究.

* 李冬田. 测量陡坡岩石构造面产状要素的手相机像对图解法. 见: 首届工程地质委员会筹备组编. 中国地质学会工程地质委员会首届学术会议论文摘要汇编, 1979. 232 ~ 233

** 李冬田. 摄影地质测量. 华东水利学院, 1984. 21 ~ 24

结构面的影像为一条直线。若该结构面是平面,则该结构面的灭线,为满足这个条件,可通过以下两种途径:

a. 如果对边坡全面地编录,可以用序列的多摄站拍摄的方法,即布置一条平行于边坡走向的多摄站摄影基线,沿基线等距离地布置一系列的摄站。每个摄站上须摄3~5个方向的像片(按相机视场角的大小而定,使总视场角大于 120°)。这样,每条裂隙将被许多个摄站拍摄,其中总会有1或2个摄站,较接近该结构面的延伸面,这时在像片上该结构面的影像为一条直线,即该结构面的灭线。这条灭线与相机的光学中心构成的平面,即该结构面的延伸面。根据摄影方位角 φ 、摄影主距 f 、灭线在像片纵横坐标上的截距 a 和 b ,即可计算其产状(如果结构面是弯曲的,则应分段量算)。这样得到的产状的精度与摄站间距有关,还和结构面走向与基线的交角 γ 有关。当摄站间距为纵距的 $1/10$ 时, $\gamma > 70^\circ$ 的结构面,其走向测量误差不大于 2.5° ;当 $\gamma = 45^\circ \sim 70^\circ$ 时,结构面走向测量误差约 2° ; $\gamma < 45^\circ$ 时,走向测量误差小于 1.5° 。倾角计算误差取决于走向误差,在多数情况下小于走向误差。摄站间距越小,产状测量误差也越小。对于 $\gamma < 30^\circ$ 的结构面,宜增设侧向的摄站,或用像对求灭线的方法作为辅助手段。

b. 如果为边坡稳定监测和分析,需测量一个或几个主要结构面的产状,可对该结构面进行专门的瞄准拍摄,即目视寻找该结构面的延伸面的位置,使拍摄时在取景框中见到该结构面为一条线(不一定要使该结构面的影像通过像框中心),并记录摄影主光轴的高度角 ω 和方位角 φ 。

显然,不论是序列的多摄站方式还是专门瞄准方式,笨重的量测摄影仪是不便操作的。由于产状测量的精度是以度计的,因此普通相机摄影测量在这种作业中具有很大的优越性。正因为如此,作者认为在有条件时用量测摄影仪与普通相机相结合的方法,或者单纯采用普通相机进行测量,是岩坡摄影地质测量的基本方法。在有条件时,应用数码相机代替普通相机,可以大大地提高工效,降低成本,而因此摄站密度的加大,可进一步提高测量的精度。

2 岩体空间信息系统(RSIS)及其几何模型

RSIS与一般的环境地质信息系统一样,有数据库、分析系统、输入输出系统和界面。其数据库包括岩体几何模型(空间数据库)和参数及变形观测数据库(属性数据库)两部分。应用GIS软件将岩体空间数据库与属性数据库有机地联系,是RSIS的第一个特点。RSIS的分析系统也包括几何分析系统和稳定分析系统两部分。稳定分析系统可以以块体稳定分析模型为基础,也可以以有限元稳定分析模型为基础。几何分析系统的方便的几何分析过程,是RSIS的又一个重要特点。

岩体几何模型是三维的几何模型,它用 X 和 Y 表示平面坐标,用平面上每个点的数字(Digit)表示高程,反映了坡面和各主要结构面的三维空间信息。在这个模型中,每一个面都反映为一个独立的DEM(数字高程模型)。所有DEM都具有共同的格式和共同的参考系。

坡面DEM可以由摄影测量生成,也可以由输入地形图生成。

结构面DEM可根据结构面在坡面上的迹线和所量测到的产状编制。在有硃探或钻探资料时,应用勘探资料进行控制。在编制结构面DEM时,往往可发现产状量测的误差,这种误差可通过像片的重新解译和计算予以修正。某些长大的、破碎带较宽的结构面,其产状是变化的,结构面在空间并不一定是一个平面,在编制结构面DEM时应反映其产状的变化。因此,编制岩体几何模型的过程是反复解译像片、反复校核的过程。这样编制的岩体几何模型,具有较高的可靠性。

3 岩体几何分析原理

对于边坡块体稳定分析说来,岩体几何分析的主要内容是:分析各主要结构面切割岩体所形成的块体,各块体的形状、大小,滑动面的形状和大小,滑动面或双滑面交线的产状等等。应用地理信息系统“层运算”的方法,可方便地进行这类分析。这种方法的实质是将坡面DEM和各结构面DEM进行代数运算。当然,为进行DEM与DEM的代数运算,各DEM的参考系参数必须一致。

具有栅格结构的DEM可以看作是一个 m 行 $\times n$ 列的矩阵。为便于叙述,在书写上作以下定义:

用文件名加方括号,表示该DEM图像矩阵。如(a)坡面DEM为[S] (b)结构面DEM为[T_i][T_j][T_k],而 i, j, k 表示结构面编号 (c) [T_{ij}]和[T_{ijk}]分别表示 i, j 两个结构面的上交面和 i, j, k 三个结构面上交面的DEM (d) [B_i][B_{ij}][B_{ijk}]分别表示 i 结构面、 i 和 j 两个结构面以及 i, j, k 三个结构面所切成的边坡块体

DEM 或称为 DTM(Digital Thickness Model),其数值表示该块体铅直厚度的分布(而不是高程) $[P_i][P_{ij}]$, $[P_{ijk}]$ 等,分别表示 $B_i][B_{ij}][B_{ijk}]$ 等块体下滑面的 DEM.

在进行 DEM 代数运算的过程中,用 pos 表示对负值赋 0',如

$$[M] = pos([T_1] - [T_2])$$

即

$$[M]_{ij} = \begin{cases} [T_1]_{ij} - [T_2]_{ij} & [T_1]_{ij} \geq [T_2]_{ij} \\ 0 & [T_1]_{ij} < [T_2]_{ij} \end{cases}$$

按上述写法,块体 DEM 和块体下滑面 DEM 可由下列算式计算:
由一个结构面切成的块体

$$[B_i] = pos([S] - [T_i])$$
$$[P_i] = [S] - [B_i]$$

由两个结构面切成的块体

$$[B_{ij}] = pos([S] - ([T_j] + pos([T_i] - [T_j])))$$
$$[P_{ij}] = [S] - [B_{ij}]$$

由三个结构面切成的块体

$$[B_{ijk}] = pos([S] - ([T_k] + pos([T_{ij}] - [T_k])))$$
$$[P_{ijk}] = [S] - [B_{ijk}]$$

其中

$$[T_{ij}] = pos([T_i] - [T_j]) + [T_j]$$

块体体积

$$V_i = \sum_{ij} [B_{ij}] \times a$$

或写成

$$V_i = ta[B_i] \times a$$

式中 :a——DEM 图像每个像素的面积.

图 1 为江苏某公路路坡单滑面与双滑面以及相应不稳定块体的数字模型.图中细线为等高线,粗线 C1 为某一泥化夹层,F2 为一断层,块体的灰度表示厚度,每一灰阶为 3 m 厚.

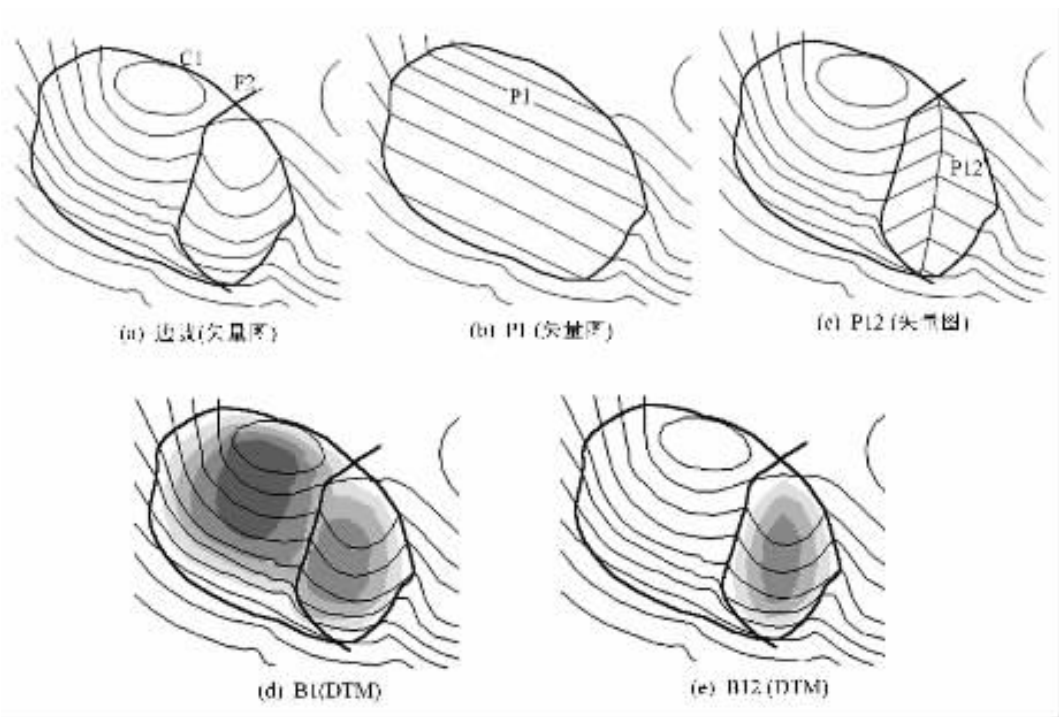


图 1 江苏某公路路坡不稳定块体的数字模型

Fig.1 The digital models of some unstable blocks on a highway slope in Jiangsu Province
滑面的面积,可经判断、掩模处理后直接读出.是双滑面还是单滑面,以及双滑面交线倾向和倾角,均可按编制的程序,由计算机进行判断和计算.

4 讨 论

a. 岩坡地质测量与编录的方法亟待改进. 传统的人工测量方法基本上是草测法, 精度低、速度慢、资料无法校核、劳动强度大, 而且不安全. 在工程规模越来越大、人工边坡越来越高的情况下, 人工测量方法已完全不能适应工程的需要. 应用摄影遥感的方法是必须的. 近年来, 计算机软、硬件技术的飞速发展, 使像片量测和投影转换等操作已不再成为难题. 像片自动测图软件的微机化, 数码相机的发展和应用, 对摄影测量方法在各方面应用的普及将带来极大的推动作用. 面临摄影测量和计算机技术的发展以及地质工作本身的急需, 研究地质摄影测量中的特殊问题, 比如产状的量测、岩性(包括风化、蚀变等)的解译等, 是十分迫切的. 本文所提出的“灭线法”是解决产状测量问题的一种尝试.

b. 地理信息系统(GIS)技术, 是研究地理空间现象的有效手段, 正在被越来越广泛地应用. 试验证明, 在岩体稳定分析中, 用 GIS 技术编制的岩坡空间信息系统(RSIS)具有明显的优越性:

(a) RSIS 能将摄影的图像、解译的图形、描述的文字、试验的参数和勘探资料等一切岩坡勘测资料, 有机地组织在一个信息库中, 有利于资料的储存、管理、转换、分析、显示和输出; 有利于资料的匹配和校核.

(b) RSIS 的岩坡空间几何模型在建立过程中, 对各种几何信息进行匹配和校核, 具有较高的准确性和科学性.

(c) RSIS 的分析过程, 具有可视化的特点. “层运算”的方法, 实质上是将 GIS 常用的叠层分析(Overlay)用于科学计算. 本文中仅用此法计算了块体和下垫面、滑面的形状、大小等要素. 当考虑滑面上摩擦系数分布均匀和水压力分布不均匀等条件时, 可编制摩擦系数分布的数字模型(DFM)和水压力分布数字模型(DPM)等, 参与层运算, 则可得到用条分法等常规方法难以得到的计算结果.

与岩坡摄影地质测量相联系的岩坡空间信息系统的研究和应用还仅仅是开始, 有大量的问题有待深入研究. 岩坡空间信息系统必将成为岩坡稳定分析研究和监测中不可缺少的工具, 有着巨大的发展潜力和广阔的发展领域.

参 考 文 献

- 1 李冬田, 贺锦辉. 普通相机立体摄影在工程地质测绘中的应用. 见: 中国地质学会工程地质委员会主编. 第四届全国工程地质大会论文选集. 北京: 海洋出版社, 1992. 1661 ~ 1667
- 2 Brandow V D. A non-metric close-range photogrammetric system for mapping geologic structures in mines. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1976, 42(4): 442 ~ 446
- 3 Wei Yonghua. Monitoring deformation of large abrupt slope along the TGP approach channel using close-range photogrammetry. Hongkong: Proc of 8th Symposium of FIG, 1996. 421 ~ 425

Geologic Photogrammetry and Spatial Information System for Rock Slope

Li Dongtian

(College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098)

Abstract Some key technical problems in geologic mapping and logging for rock slopes by use of remote sensing and geographic information system(RS & GIS) are discussed. The "extinctive line method" is suggested for surveying the strike-dip of structural planes. The concept of Rock-slope Spatial Information System(RSIS) based on remote sensing of ground photogrammetry, and the method of "layer calculation" for study of rock blocks and sliding planes are put forward. The prospects of further development of this field are discussed.

Key words Geologic photogrammetry; extinctive line method; rock-slope spatial information system; layer calculation