

摄影方法量测结构面产状的灭线法和灭点推导法

李冬田

(河海大学土木工程学院, 江苏 南京 210098)

摘要 在概述岩坡结构面产状摄影测量方法的基础上, 提出了灭点推导法及其计算公式, 并对灭线法作了进一步说明. 这两种方法依据中心投影灭线和灭点的原理推导. 应用这两种方法, 在野外产状测量时, 须进行方位的控制, 而不需要任何长度和高度的控制测量. 在内业中也不需要计算任何空间点位置, 从而可以减少控制测量工作, 增加了摄影外业的灵活性. 因为提高了拍摄的灵活性, 减少了像片量测的过程, 可以提高产状测量的精度, 适合于在地质编录摄影中应用.

关键词 摄影测量; 产状测量; 灭线法; 灭点推导法

中图分类号: P232 文献标识码: A 文章编号: 1006-7647(2005)01-0021-04

Vanishing line method and vanishing point deduction method for photographic survey of strike-dip of structural surfaces//
LI Dong-tian (College of Civil Engineering, Hohai Univ., Nanjing 210098, China)

Abstract : Based on a summary of the methods for photographic survey of strike-dip of structural surfaces on rock slopes, the vanishing point deduction method and its calculation formula are proposed, and the method of vanishing line is further illustrated. Both methods are deduced from the principles of vanishing point and vanishing line of perspective geometry. With the two methods, only the direction control is needed for field survey of strike-dip, without requirement of any control survey in length and altitude. For the in-house survey, there is no requirement for calculation of the location of any spatial points. Thus, the workload for control survey is reduced, and the flexibility of photograph is improved. With the high precision in strike-dip survey, the method is suitable for geological photo logging.

Key words : photographic survey; strike-dip survey; vanishing line method; vanishing point deduction method

摄影地质测绘是岩体工程地质测绘的一种优秀方法^[1], 国内外均从 20 世纪 70 年代中后期开始研究和应用这种方法进行岩坡工程地质测绘. 近年来, 随着许多水电站、铁路、高速公路等大型工程的兴建, 以及数码相机和“全数字摄影测量系统”(VirtuoZo)的不断完善和推广, 使摄影地质测绘更受到人们的关注. 由于技术上的某些关键问题未很好地解决, 这种方法在我国尚未广泛应用. 其中最重要的技术关键是如何有效地从像片上测量地质结构面的产状. 目前在摄影地质测绘中, 量测结构面产状基本上都用三点法和转绘图解算法, 但这些方法在应用中有一定困难, 往往不能保证精度. 为此作者曾提出“灭线法”测量产状^[2], 其后又研究了“灭点推导法”.

1 三点法和转绘图解算法概述

a. 三点法. 三点法是构造地质学中解算产状的基本方法, 也是目前摄影地质测绘中普遍应用的方法^[3]. 应用这种方法的基本条件是立体摄影. 根据所

摄像对上某一结构面不在一条直线上的 3 个点的视差, 计算该结构面的产状, 或者根据摄影测量空间解析计算得到的某一结构面不在一条直线上的 3 个点的空间坐标, 计算(或图解计算)该结构面的产状. 这种方法解算产状的精度, 除了像点量测精度外, 主要取决于这 3 个点所构成的三角形面积的大小. 在实际工作中, 在地形摄影测量(宏观的)像片上, 由于所测结构面 3 个点构成的三角形面积往往太小, 这样计算的产状误差可能很大. 这是当前影响摄影地质测绘方法推广的主要原因.

b. 转绘图解算法. 其基本方法是: 先制作坡面地形图, 一般是用近景摄影测量制作比例尺较大的坡面地形图, 要求等高线的密度要大些. 通过对像片的地质解译和转绘, 或用地形地质“一次成图”, 制作坡面地质图, 然后在坡面地质图上解算结构面的产状. 应用这种方法的条件是坡面的起伏要大. 只有当坡面起伏足够大时, 所量测的结构面才可能有明显的三角形. 解算产状的方法仍是构造地质学中常用的方法.

不论是三点法还是转绘图解算法,其原理都是用该结构面不在一条直线上的3个点的空间位置,计算结构面的产状.确定点的空间位置,是摄影测量中非常成熟的方法,所以常常借助摄影测量人员的工作和成果来确定点的空间位置(相对坐标或地理坐标).但是按摄影测量工作的习惯和为减少控制点测量的工作量,在对边坡进行摄影测量时,强调所测量范围的整体性,要求以较少的像对,覆盖整个测量范围.这样进行的立体摄影,对坡面地形测量是很有利的,但是对地质解译和地质测量往往不合适,因为像片的比例尺往往太小,像对上局部地质现象的立体效应往往较差,也就是说,在比例尺较小的、较远处拍摄的像对上,细部现象的视差太小,依靠这样的像对量测产状往往是较困难的,特别是在开挖得比较平整的坡面上更是困难.

2 灭线法和灭点推导法的基本思路

野外地质编录的摄影,要求灵活.为记录细部的地质现象,必须近摄.相机到目标的距离一般仅几米或十几米,宏观的地质现象必须远摄,纵距一般几十米,有时甚至以千米计.摄影的角度和位置,也要求灵活.在拍摄宏观地质现象时,有时可以用在物方建立测量控制点的方法,但在细部观察的近摄的地质编录中,往往很难在物方设置控制点.而准确的产状测量,往往需要近摄.拍摄方式要求灵活,但控制困难,这是摄影地质编录中最大的矛盾.

灭线法和灭点推导法,是根据中心投影几何灭线与灭点的原理进行摄影测量的方法,都不需要通过点的空间位置测量.这样,一方面寻求了某种适合地质摄影测量的外业拍摄方法,另一方面也可以减少因像点量测误差带来的产状测量的困难.

空间几何要素,有点、线、面3种类型,它们互相联系,又各自具有不同的属性.在中心投影几何中,直线的投影是以“灭点”为端点的直线,无限延展的平面的中心投影,是以“灭线”为边界的半无限面.用具有中心投影性质的像片来测量面的产状,可以根据面的空间投影规律测量,而不必都通过点的坐标量算来计算.

由于不需对空间的点位进行分析,灭线法和灭点法推导所要求的控制只是为确定3个角方位元素:方位角 φ 、高度角 ω 和旋偏角 κ .这样就可以一定程度地减小控制的困难.

3 灭线法

3.1 灭线法的原理

灭线法是用像片上出现的结构面的灭线,求结

构面产状的方法.它是在特定的外业方式拍摄的单像片上,对结构面产状进行量测的.

这种方法要求在摄影时,要找到一个确定的拍摄位置,从这个位置上见到的所测的结构面,是一条直线.也就是说,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,该结构面的影像为一条直线(若该结构面是平面).此直线即该结构面在像平面上投影的灭线.

图1(a)是在像片上灭线 mm' 正好通过像片的中心——像主点“O”的情况.若此时相机主光轴水平,即主光轴的高度角 $\omega = 0$,且旋偏角 $\kappa = 0$,则主光轴的方位角 φ 即该结构面的走向(D_s); mm' 向右倾斜时,倾向 $D_d = D_s + 90^\circ$, mm' 向左倾斜时, $D_d = D_s - 90^\circ$; mm' 与横坐标(水平线)的交角即该结构面的倾角.

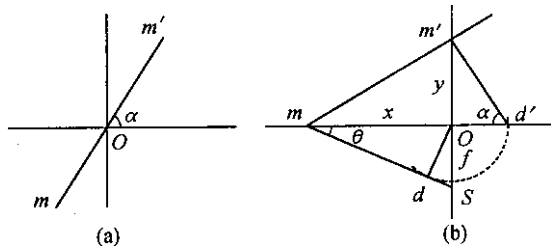


图1 灭线法原理

绝大多数时候,灭线 mm' 不通过像主点,如图1(b)所示.图1(b)横坐标以上是像面,横坐标以下是相机光学中心(S)与像片横坐标构成的水平面的展示图.此时由S和灭线 mm' 构成的平面即位于该结构面的延伸面上.如果此时主光轴的高度角 $\omega = 0$,且旋偏角 $\kappa = 0$,则 S_m 即走向线,若主光轴的方位角为 φ ,有

$$\text{走向} \quad D_s = \varphi \pm (90^\circ - \theta) \quad (1)$$

$$\text{倾向} \quad D_d = D_s \pm 90^\circ \quad (2)$$

$$\text{倾角} \quad \alpha = \arctan \frac{y}{x \sin \theta} \text{ 或 } \alpha = \arctan \frac{\tan \alpha'}{\sin \theta} \quad (3)$$

式中: θ 是走向线 S_m 与像片横坐标的交角, $\theta =$

$\arctan \frac{f}{x}$; x 和 y 分别为灭线在横坐标和纵坐标上的

截距,可以从像片上量取; f 是摄影的主距(通过相机检校得到); α' 为灭线 mm' 与横坐标的夹角,即像片上该结构面的视倾角,可直接从像片上量取.对式(1),当 $x > 0$ 时,取“+”,当 $x < 0$ 时,取“-”;对式(2),当 $xy > 0$ 时,取“+”,当 $xy < 0$ 时,取“-”.

当主光轴的高度角 $\omega \neq 0$ 时,可以先在像片的倾斜坐标系中计算结构面的产状要素,然后通过坐标系的旋转来换算.

3.2 灭线法的控制条件

摄影测量的控制有物方控制和像方控制两个途径.

a. 物方控制方法. 野外作业中如果可以作物方控制, 这是最好的方法, 它可以避免因相机参数的误差而带来的测量误差. 物方控制的方法, 可以是常用的控制点测量的方法, 也可以用控制标架的方法. 灭线法是不依靠点位测量的单像片测量方法, 它仅仅测量结构面的产状. 因此一般的控制点和控制标架的方法不适用. 定向标架方法^①可以确定任意拍摄的单像片的旋偏角、高度角和方位角, 是一种适用于灭线法的物方控制方法. 使用这种方法的前提是, 必须对相机进行自检校, 以确定相机的 3 个线方位元素和畸变参数.

当景方有 2 条以上铅垂线的影像时(最好是在像片的两侧都有铅垂线影像), 根据铅垂线影像也可以确定任意拍摄像片的旋偏角和高度角^①. 摄影的方位角可用罗盘测定(罗盘的精度对于结构面产状测量是允许的), 也可以用已有的大比例尺地形图, 用后方交会的方法确定摄站点位后计算.

b. 像方控制方法. 由于物方控制方法在野外往往受条件限制, 所以应考虑像方控制的方法. 可加工相机定向的装置. 最简单的方法是将相机安装在经纬仪的镜筒上, 使相机的光轴与经纬仪镜筒的光轴平行. 野外拍摄时, 先将经纬仪整平、定向, 选好镜头拍摄后, 用经纬仪读取方位角和高度角. 旋偏角应恒等于“0”.

4 灭点推导法

灭线法的应用条件是必须找到能把结构面看成一条线的拍摄位置. 应用这种方法专门测量一些重要的结构面的产状, 可以得到满意的结果. 往往进行这种专门的拍摄后, 既量测了该结构面的产状, 又记录了结构面的其他地质特征, 如层面的夹泥、断层带的构造、裂隙的宽度、平整度和充填物等等. 但是这种方法的缺点也是明显的: ①每次拍摄一般只能测一个结构面的产状; ②往往有时找不到这种合适的拍摄位置. 因此它一般只能用于某些重要结构面的编录和产状量测.

4.1 灭点推导法的基本原理

灭点推导法是用像对, 或多个摄站上拍摄的像片, 首先求得走向线的灭点, 进而求得产状的方法. 它可以克服灭线法的不足.

这种方法要求在野外拍摄时, 沿一条直线基线拍摄一系列的像片. 沿这条基线上的一系列摄站, 可以是定间距的, 也可以是不定间距的. 基线宜平行于坡面走向, 尽可能水平(倾斜不大于 5°). 尽可能采用

正直摄影方法, 即摄影主光轴方位垂直于基线方位; 主光轴水平. 也可采用等倾摄影方法或等偏摄影方法(记录其高度角和偏向角). 所有的摄站必须在一近水平的、直的基线上, 这是基本要求.

4.1.1 结构面的走向

当正直摄影时, 像片的横坐标轴(x 轴) 所切过的露头上的每一个点, 都位于同一个水平面上. 该水平面可称之为“视平面”. 图 2 表示了该视平面的情况. 图中 a 是某一结构面露头与视平面的交线, 也是该结构面的一条走向线. S 为摄影的光学中心. 除非 a 与基线平行, 否则它总要与基线相交, 其交点为 M , 该走向线与基线的夹角为 θ . M 点的意义在于, 如果它出现在像片上, 该点在像片上的投影即直线 a 的灭点. 设想, 如果 S 和 M 重合, 则所摄的像片上, a 的投影为一个点, 该结构面的投影为一条直线, 则可用灭线法计算该结构面的产状. 因为在沿基线一系列摄站上拍摄了正直摄影像片, 当摄站 S 越来越接近 M 时, a, b, c 所围成的三角形中, α 角越来越小. 根据这个现象, 可以用 2 个以上的摄站拍摄的像片, 根据像片上 α 角的变化, 确定走向线与基线的夹角 θ .

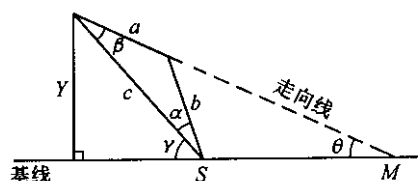


图 2 灭点推导法原理

在图 2 线段 a, b, c 所围成的三角形中, α 可以由像片横坐标轴上结构面的露头宽度 δ 计算. $\beta = \gamma - \theta$, γ 由像片结构面露头左端点的横坐标 x 和镜头的主距 f 计算. 定义: x 为视平线上结构面露头左侧像点的像面横坐标, δ 为视平线上结构面露头影像的宽度, 则

$$\gamma = \arctan \frac{f}{-x} \quad (4)$$

$$\alpha = \arcsin \frac{\delta \sin \gamma}{\sqrt{(-x - \delta)^2 + f^2}} \quad (5)$$

根据三角形边角公式推算, 有

$$\sin \alpha = \frac{a \sin(\gamma - \theta)}{\left[a^2 + \frac{Y^2}{\sin^2 \gamma} - \frac{2aY \cos(\gamma - \theta)}{\sin \gamma} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

在两个摄站上拍的两张像片中, α 和 γ 是变化的, 而 a 和 Y 为常量. 从两张像片得到的计算式中, 消去 a 和 Y , 进一步化解, 可得到以下公式:

①李冬田. 近景摄影地质编录. 河海大学讲义, 1987.

$$\tan \theta = (\cot \alpha_1 - \cot \alpha_2 - \cos 2\gamma_1 \cot \alpha_1 + \cos 2\gamma_2 \cot \alpha_2 + \sin 2\gamma_1 - \sin 2\gamma_2)(\cos 2\gamma_1 - \cos 2\gamma_2 + \sin 2\gamma_1 \cot \alpha_1 - \sin 2\gamma_2 \cot \alpha_2) \quad (7)$$

$\gamma_1, \gamma_2, \alpha_1, \alpha_2$ 分别根据 S_1 和 S_2 摄站所拍的两张像片上,同一结构面露头上,同一位置的露头宽度 δ_1, δ_2 和 x_1, x_2 由式(4)和式(5)计算得到。其序号自左向右排列。

根据两张像片上的 γ 和 α ,即可按式(7)计算 θ ($\tan \theta$ 取绝对值),即结构面走向与基线走向的锐夹角。则结构面的走向

$$D_s = B \pm \theta \quad (8)$$

式中: B 为基线走向,取向拍摄方向的右方的方位角;当结构面露头出现在正直像片左侧时,若 $\alpha_1 > \alpha_2$ 取“+”;反之则取“-”。

4.1.2 结构面的倾向

当走向 D_s 确定以后,倾向 $D_d = D_s \pm 90^\circ$ 。当结构面顺坡倾斜时, $D_d = D_s + 90^\circ$ 。当结构面反坡倾斜时, $D_d = D_s - 90^\circ$ 。

4.1.3 结构面的倾角

仍然讨论正直摄影,且结构面露头影像位于视平线上的情况。

确定结构面的倾角,应分两个步骤:

a. 确定最大倾斜线。当摄影方向垂直于结构面走向时,视准线(像片的纵坐标轴,即像片的主纵线)即与结构面露头最大倾斜线的影像重合。根据这个原理,可以在像片上确定结构面的最大倾斜线。

当摄影方向不垂直于结构面走向,而垂直于摄影的基线时,可以按投影转换的原理,根据上述计算得到的 θ 角,在像片上找到相当垂直于走向的偏向摄影主纵线的位置,确定结构面的最大倾斜线。

有的天然边坡,一些巨大的结构面露头上有流水产生的浸染痕迹,也指示了结构面的最大倾斜线。

b. 找到了最大倾斜线后,根据最大倾斜线的投影,计算倾角。

图 3(a)表示了正直摄影时,像主点与所选的最大倾斜线的下端点重合的情况。 S 为摄站的位置; AB 为结构面的最大倾斜线; AO 为铅垂线; AE 为最大倾斜线在垂直于主光轴的平面上的投影,其形态与像面上的投影是一致的, $\angle AEO$ 是该最大倾斜线在像片上的视倾角,写成“ α_s ”。根据图中所示的几何关系,可以得到以下公式:

$$\tan \alpha = \tan \alpha_s \sin \theta \quad (9)$$

α_s 可以从像片上直接量取。

对于基线上任意摄站的正直摄影像片,所选最大倾斜线不通过像主点时,根据图 3(b),有

$$\tan \alpha = \tan \alpha_s (\sin \theta + \cos \theta \cot \gamma) \quad (10)$$

式中的 γ 是按最大倾斜线影像与横坐标交点的坐标(x)计算的偏斜角。

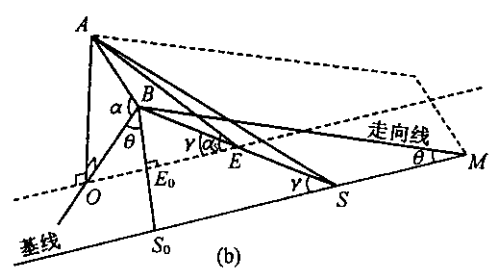
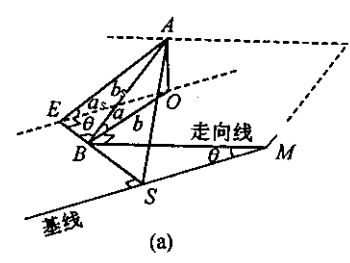


图 3 倾角推导原理

当坡面相当平(如人工开挖坡面)时,结构面在坡面上的迹线,反映了结构面的侧伏角,根据该侧伏角与走向的关系,可以确定倾向和倾角。

4.2 等倾摄影原理的应用与坐标系转换

以上讨论的灭点推导法计算,都是对正直摄影时,位于视平面上的露头产状量测方法。对于不在视平面上的露头,可以考虑用等倾摄影的方法,先求得结构面在等倾坐标系中的产状,然后通过坐标转换,计算该结构面在大地坐标系中的产状。但实际上不需要进行另外的等倾摄影的操作,可以在正直摄影像片上,计算同一摄站不同高度角等倾摄影像面上的 x, δ 和 α_s 等参数,从而计算不同高度的结构面的产状。应注意两个关键:

a. 正直摄影像片上所有的水平影像,在同摄站各不同高度角的等倾摄影像片上也都是水平影像,但其长度发生了规律的变化。所以,上述求结构面走向的方法,对正直摄影像片上所有高度的结构面都是适用的,只是 x 和 δ 的长度要根据其高度角修正;正直摄影像片上量得的 α_s ,与等倾摄影像片上量得的 α_s 也不同,也应按其高度角进行修正。

b. 这样计算得到的走向、倾向和倾角,都是等倾坐标系中的走向、倾向和倾角,必须通过产状的坐标系转换,才得到大地坐标系中的产状。

具体的方法不在此赘述。这样,只要沿一条水平基线,在多个摄站上进行正直摄影,用这个像片系列,就可以量算像片范围内所有结构面的产状。如果不是正直摄影,只要摄影时有准确的高度角和方位角的记录,都可以转换为正直摄影的图像。

(下转第 44 页)

的螺栓,同时应保证螺栓的紧密连接。

c. 螺栓的断裂是设计、制造、安装等各个环节问题的集中反映,应对闸门结构型式、支承铰数量、闸门底部支承行走轮的增加、闸门底槛形状以及闸门底止水型式等诸多问题进行进一步的研究并加以改造,以消除螺栓断裂隐患,确保闸门安全运行。

4 结 语

船闸闸门和启闭机是船闸的重要组成部分,其安全与否直接关系着船闸的航运畅通以及人民生命财产的安全。支铰连接螺栓的断裂严重影响到闸门结构的安全与稳定,对船闸防洪、通航构成了极大的威胁。

新桥船闸支铰连接螺栓的断裂主要是3个支承铰轴不同心、螺栓材质选用不当以及螺栓松动所引起的,是设计、制造、安装等各个环节问题的集中反映。由于3个支承铰安装困难,支铰轴同心度难以保证,而通过计算分析可知,解除上支承铰或中支承铰对闸门强度影响不大。因此,可以对闸门支承铰数量进行调整改造,解决支铰安装困难,保证支铰能较好

地满足同心度要求。同时,还有待于对闸门结构型式、闸门底部支承行走轮的增加、闸门底槛形状以及底止水型式等问题的进一步研究。

致谢 对参加该项目的全体成员表示感谢!

参考文献:

- [1] SL74-95 水利水电工程钢闸门设计规范[S].
- [2] 苏存明,王俊.三峡永久船闸人字门顶枢预应力锚杆安装的难点分析及方案优化[J].水力发电,2001(3):32—34.
- [3] 邵绍锋.三峡永久船闸一闸首人字门安装位置优化及底节门体安装[J].水力发电,2001(3):35—37.
- [4] 彭智祥.三峡永久船闸人字门温度变形浅析[J].水力发电,2003,29(5):27—29.
- [5] 汤长书,曾维,闫如义,等.大型船闸人字闸门的塑性疲劳和脆性断裂[J].中国三峡建设,2003(11):35—40.
- [6] 许建平.京杭运河扩容工程船闸人字门启闭机设计[J].水运工程,2003(5):58—62.
- [7] 曾又林,何文娟,张宏志,等.樊口船闸人字门背拉杆预应力优化计算与调试[J].武汉大学学报,2003,36(2):37—40.

(收稿日期 2004-01-09 编辑 骆超)

(上接第24页)

另外需要强调的是,这种计算所用的像片,不能有明显的光学畸变。如果像片有畸变,必须进行纠正,否则会对产状量测结果有较大的影响。

5 讨 论

a. 本文提出了测量结构面产状的灭点推导法,并进一步说明了灭线法。这是两种完全不同于传统的三点法(和转绘图法)的方法。其特点是不通过空间点的坐标的测量,而直接测量产状,从而可以在不做控制点测量的情况下,进行产状测量。它适用于要求有很大灵活性的地质编录和地质描述的摄影。随着测量技术的发展,控制点测量和加密会越来越方便简捷,这两种方法可以作为新的、补充的测量产状的手段。

b. 灭线法可以作为对某一重要结构面的专门量测的方法,比较方便,也比较准确。

c. 灭点推导法只要求在拍摄时,是沿一条方向确定的基线,进行多摄站拍摄,而与纵距的大小、基线的长短无关。在计算中不需要任何长度坐标的概念。在数据采集时,当然希望 α 比较大些; $\gamma_1 - \gamma_2$ 和 $\alpha_1 - \alpha_2$ 也比较大些,这样可以减少像片上 δ 和 x 量测的误差。纵距大小和基线的长短(两摄站的距离)的选择,与这种误差是有关系的。正因为如此,用于

测量产状的摄影测量,一般希望离露头近些。

d. 本文公式是针对正直摄影的。因为在摄站固定的条件下,像平面的方向可以任意变换,所以实际上沿基线各摄站所拍摄的像片,可以是任意方向的,但必须记录其准确的角方位元素,或用其他方法保证能确定其角方位元素。

参考文献:

- [1] 李冬田.遥感地质学[M].北京:地质出版社,1988.135—137.
- [2] 李冬田.岩坡摄影地质测量与岩坡空间信息系统[J].河海大学学报(自然科学版),1999,27(1):25—28.
- [3] 沈耀成.煤田地质小构造近景摄影测量[J].测量通报,1983(3):60—63.

(收稿日期 2004-04-16 编辑 熊水斌)

