

基于近景摄影测量法计算掘进隧洞中切穿顶拱的裂隙面产状

范留明, 王中锋, 李 宁

(西安理工大学 水利水电学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 基于近景摄影测量原理, 利用掘进隧洞掌子面上裂隙信息, 提出了确定裂隙面产状的方法, 并通过将被裂隙所切穿的顶拱曲面沿某一方向拉伸的“曲化平”方法, 将弧形线转化成直线, 然后应用矢量叉乘确定裂隙面产状, 实现了对切穿顶拱的裂隙面产状的计算。最后, 通过算例验证了该方法的可行性。

关键词: 近景摄影测量; 掘进隧洞; 裂隙; 产状; 曲面迹线

中图分类号: P234.1; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2008)03-0283-03

Attitude Determination of Joint Running Through Vault Based on Close-range Photogrammetry in Excavating Tunnel

FAN Liu-ming, WANG Zhong-feng, LI Ning

(School of Water Resources and Hydroelectric Engineering, Xi'an University of Technology,
Xi'an 710048 Shaanxi, China)

Abstract It is a problem to determine the joint attitude using digital image in the close-range photogrammetry technique. The primary reason is that only two-dimensional information but not three-dimensional information is obtained from a single image. When a cranny plane cutting the tunnel vault, cranny traces becoming arc lines will made it more difficult to obtain the cranny information. Based on the close-range photogrammetry theory, a new method to calculate the joint attitude is proposed using the information of the ahead face in excavating tunnel. The arithmetic method called transforming from curved surface to horizontal plane carry out the calculation of the joint attitude cutting the tunnel vault. Finally, its feasibility is proved by a theory model example.

Key words: close-range photogrammetry; excavating tunnel; joints; attitude; curve plane trace

0 引言

随着数字化摄影(像)技术以及计算机数字图像处理方法的高速发展, 许多普通数码摄影设备逐渐被应用于工程测量中, 为工程现场和室内试验测量提供了新的手段^[1-2]。因具有采集速度快、采集数据量大、受外界干扰小、现场操作方便以及实时预报效果好等诸多优点而备受青睐。其中, 近景摄

影方法测量隧洞裂隙就是一个典型应用实例^[3]。

在岩体隧洞开挖过程中, 由于受施工的影响, 洞内通常粉尘多、光线弱、噪音大、机车过往频繁, 施工环境差, 用传统的手工方法测量裂隙, 不仅效率低、受环境干扰多, 而且那些不易到达的裂隙面甚至被切割成的危险体也给手工操作带来诸多困难。而近景摄影测量法则可以克服这些缺点^[4], 进行多角度、全方位、不接触安全测量, 及时获得掌子

收稿日期: 2007-10-20

基金项目: 陕西省教育厅重点实验室重点科研计划项目(05JS34)

作者简介: 范留明(1968-), 男, 河南修武人, 副教授, 从事岩石力学与工程研究。E-mail: fanliuming@xaut.edu.cn

面附近围岩的裂隙发育状况,配合现场监测,实时预报施工安全状况。

尽管这种测量方法具有诸多优点,但是其理论研究和实际应用还在不断探索。其中,如何准确求取裂隙产状,就是一个值得研究的课题^[5-7]。理论上,依据单幅图像无法直接计算产状,必须联合多幅图像才能求取^[8]。例如,对于圆拱直墙式隧洞,可将穿过掌子面和边墙的两条迹线向量进行叉乘,求取裂隙面产状。不过,这一方法仅适合于开挖面为平面的情形(图 1)。当开挖面为曲面时,例如,裂隙面位于掘进隧洞的顶拱时,该如何利用这一方法计算产状尚有待解决。为此,笔者提出了一种“曲化平”的方法,较好地解决了这一问题。

1 产状计算的基本方法

1.1 掘进隧洞中裂隙产状的计算原理

在隧洞掘进过程中,随着掌子面不断向前推进,裂隙面在各个开挖面的迹线不断显露出来,其出露位置将被数码摄影设备采集到,并通过解译计算出在三维空间中的坐标位置。

坐标系如图 1, $\triangle ABC$ 为裂隙面的位置, n 是法向量。 AB 、 BC 分别是出露在掌子面和左壁面(以开挖方向为参照)上的两条裂隙迹线。由数学几何关系可知,迹线 AB 和 BC 确定一个裂隙面,其法向量 n 为

$$n = AB \times BC = \begin{bmatrix} i & j & k \\ x_B - x_A & 0 & z_B - z_A \\ 0 & y_C - y_B & z_C - z_B \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\text{其中 } AB = (x_B - x_A, y_B - y_A, z_B - z_A) = (x_B - x_A, 0, z_B - z_A) \quad (2)$$

$$BC = (x_C - x_B, y_C - y_B, z_C - z_B) = (0, y_C - y_B, z_C - z_B) \quad (3)$$

根据平面及其法线间的关系,即可推求裂隙产状。但是,以上产状求法只适用于开挖面为平面的情况,例如穿过直立边墙与掌子面裂隙面。多数隧洞顶面通常为拱形曲面,裂隙的出露形状不再是直线,而是曲线(图 2)。此类情况如果仍然使用上述计算方法,则需要对其先作“曲化平”处理。

1.2 切穿隧洞顶拱裂隙的产状计算

1.2.1 “曲化平”处理基本原理

“曲化平”简单地说,就是将曲面拉伸为平面。隧洞顶部通常为(椭)圆柱面,在此面上出露的裂隙面迹线为曲线段,此类情况下的“曲化平”问题,就

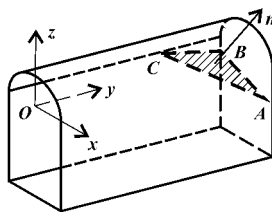


图 1 边墙平面迹线 BC

Fig. 1 Joint Traces BC on the Side Wall

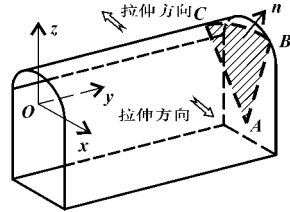


图 2 顶拱曲面迹线 BC

Fig. 2 Joint Trace BC on the Vault Curve

是通过顶面沿某一方向展开为平面,将曲线迹线转化为直线段,然后再求取直线向量。

图 2 中,掘进隧洞为圆拱直墙式,顶拱为半圆形。坐标原点位于拱心处, y 轴与洞轴线平行,取开挖方向为 y 轴正向。 x 轴和 y 轴分别为水平方向和竖直方向。当掌子面掘进至某一位置时,在掌子面上出露的某一裂隙面迹线为 AB ,在

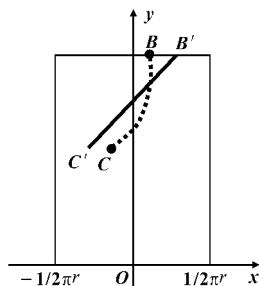


图 3 拉伸前后顶拱裂隙迹线

Fig. 3 A Joint Trace on the Vault Curve

顶拱的迹线为 BC 。显然,迹线 AB 为直线段,迹线 BC 为弧线段。将图 2 顶拱部分以拱顶最高点(最大 z 值点)为基准,沿着平行于 x 轴方向(图 2 箭头所示)拉伸,拉伸后的结果如图 3。

图 3 为一关于 y 轴的对称图形,其中, B 点和 C 点为原顶拱面展开前的位置, B' 点和 C' 点为顶拱面展开后在平面 xOy 中的位置。由图 3 可见,顶拱面展开后, B 点移至 B' 点, C 点移至 C' 点,曲线迹线就转化成了直线迹线。经过此变换后,就可以计算直线 $B'C'$ 的方向矢量。

1.2.2 顶拱迹线向量计算方法

假定直线 $B'C'$ 的方向矢量的形式为

$$B'C' = (\delta x_{BC}, \delta y_{BC}, \delta z_{BC}) \quad (4)$$

在图 3 中, B 点与 B' 点、 C 点与 C' 点的 y 坐标在顶拱面展开前后没有改变,则

$$\delta y_{BC} = y_{C'} - y_{B'} = y_C - y_B \quad (5)$$

在平面 xOy 中, z 坐标为一常数,显然

$$\delta z_{BC} = z_{C'} - z_{B'} = 0 \quad (6)$$

因此,直线 $B'C'$ 的方向矢量关键在于推求 x 分量 δx_{BC} 。事实上, δx_{BC} 等于 xOz 立面顶拱半圆中 B 点与 C 点之间的弧长(图 4),计算中令

$$\theta_C = \theta_B + \theta \tag{7}$$

则 $\cos \theta = \cos(\theta_C - \theta_B) = \cos \theta_B \cos \theta_C + \sin \theta_B \sin \theta_C$

$$\tag{8}$$

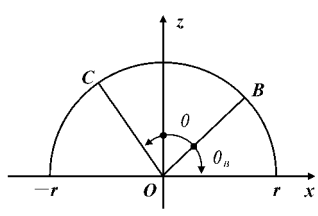


图 4 曲线向量 x 分量

Fig. 4 x-Component of Curve Trace Vector

根据角度与坐标之间三角关系, 得

$$\cos \theta = \frac{x_B x_C + z_B z_C}{r^2} \tag{9}$$

所以 $\theta = \arccos\left[\frac{x_B x_C + z_B z_C}{r^2}\right] \quad (0 \leq \theta < \pi)$

$$\tag{10}$$

x 分量 δx_{BC} 可以通过计算弧长求取

$$\delta x_{BC} = \begin{cases} +r\theta & x_C > x_B \\ -r\theta & x_C < x_B \end{cases} \tag{11}$$

直线 $B'C'$ 的方向矢量为

$$B'C' = (\pm r\theta, y_C - y_B, 0) \tag{12}$$

1.2.3 切穿顶拱裂隙面产状的计算

裂隙面法向量 n 的形式解为

$$n = AB \times B'C' = \delta x i + \delta y j + \delta z k \tag{13}$$

式(13)各个分量 δx 、 δy 、 δz 由下式确定

$$n = \begin{bmatrix} i & j & k \\ x_B - x_A & 0 & z_B - z_A \\ \pm r\theta & y_C - y_B & 0 \end{bmatrix} \tag{14}$$

根据平面法线向量及其产状的关系式, 得

$$\alpha = \arccos \frac{\delta z}{\sqrt{\delta x^2 + \delta y^2 + \delta z^2}} \tag{15}$$

$$\beta = \begin{cases} \arccos \frac{\delta x}{\sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}} & (\delta y > 0) \\ 2\pi - \arccos \frac{\delta x}{\sqrt{\delta x^2 + \delta y^2}} & (\delta y < 0) \end{cases} \tag{16}$$

式(15)~(16)中, 倾角 α 为锐角, 取值范围为 $\left[0, \frac{\pi}{2}\right]$; 倾向 β 是在 xOy 平面中, 与 x 轴正向的夹角, 取值范围为 $(0, 2\pi)$ 。

2 模型算例

假定图 2 中, 横断面为 $8\text{ m} \times 8\text{ m}$, 当掌子面掘进至 98.5 m 时, 迹线端点 A 、 B 、 C 的空间坐标(单

位为 m , 下同从略)分别为

$$\begin{cases} A(2.58, 98.5, 1.06) \\ B(1.68, 98.5, 3.61) \\ C(-3.20, 95.2, 2.40) \end{cases} \tag{17}$$

AB 直线向量(从 A 到 B)为

$$AB = (-0.90, 0.00, 2.55) \tag{18}$$

求取 BC 直线向量(从 B 到 C)之前, 需要进行“曲化平”处理。这里, 取 $r=4$, 分别将 x_B 、 x_C 、 y_B 、 y_C 代入式(10)中, 经计算求得 $\theta=1.36$ 。并将计算结果代入式(12)中, 便可求得曲线 BC “曲化平”后的直线向量

$$B'C' = (-5.46, -3.30, 0.00) \tag{19}$$

将式(18)~(19)代入式(13)中, 即可得裂隙面法线向量

$$n = AB \times B'C' = 8.24i + 13.92j + 2.97k \tag{20}$$

根据式(15)~(16), 解得裂隙面倾角 α 为 79.6° , 倾向 β 为 58.8° 。

3 结语

应用近景摄影对岩体裂隙进行现场测量, 是一个快速高效的采集方法, 具有广阔的应用前景。通过“曲化平”方法对裂隙面切穿隧洞顶拱时的结构面产状计算方法进行了研究和实例分析, 验证了该计算方法的可行性, 有一定实用价值。但是, 由于缺少现场数据采集资料, 故无法利用实测资料进行验证, 然而应用实测资料与理论计算相对比是今后研究的一个方向。

参考文献:

- [1] 张祖勋, 张剑清. 数字摄影测量[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 1997.
- [2] 张剑清, 潘 励, 王树根. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003.
- [3] 冯文源. 近景摄影测量[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2002.
- [4] 郑小宁. IRLIS-3D 与传统测量方式的优劣比较[J]. 中国水利, 2003(18): 24.
- [5] 王树根, 朱宜萱. 用近景摄影测量测定地质产状的作业方法[J]. 测绘通报, 1993(5): 17-20.
- [6] 吴志勇. 数码图像的解析在野外岩体裂隙统计上的应用[J]. 成都理工学院学报, 2001, 28(增刊): 157-161.
- [7] 范留明, 李 宁. 基于数码摄影技术的岩体裂隙测量方法初探[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 24(5): 792-797.
- [8] 王凤艳, 陈剑平, 庞贺民. 应用数字近景摄影测量提取岩体裂隙迹长信息方法研究[J]. 世界地质, 2006(25): 40-42.