

利用电子岩芯实现裂隙产状的三维测量研究

马圣敏^{1,2}, 杜惠光^{1,2}

(1. 国家大坝安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010; 2. 长江工程地球物理探测(武汉)有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘要:目前, 钻孔内裂隙的产状测量主要在二维钻孔电视展开图上进行, 存在裂隙面不明显、不直观, 判别产状时受人为影响较大等问题。电子岩芯是基于钻孔孔壁与岩芯耦合关系建立的三维模型, 利用电子岩芯测量裂隙的产状与在二维钻孔电视展开图上测量产状的原理一致, 且相比二维模式下测量更有优势。基于电子岩芯进行了三维裂隙产状的测量研究, 通过三维平面与裂隙面的匹配实现了对裂隙产状的测量。结果显示, 在电子岩芯三维模型中进行测量更为直观、明显, 减少了人为因素的影响。

关 键 词:电子岩芯; 裂隙; 产状; 三维测量

中图法分类号: P64 **文献标志码:** A **DOI:**10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.21.011

1 研究背景

钻孔电视利用孔壁光学成像技术, 可直观地了解岩矿层多种参数, 解析岩矿层产状、厚度、裂隙发育程度、水文地质情况等^[1]。工程上利用钻孔电视获取裂隙的产状信息主要基于孔壁二维平面图(由孔壁全景图展开而来)进行测量。通过分析得知, 裂隙面与圆柱形井壁的交线在三维空间中为椭圆状, 展开成二维平面图之后, 此椭圆呈正弦曲线形状^[2]。通过量测正弦曲线的最高点和最低点的深度差 H , 结合孔的直径 D , 基于公式 $\theta = \tan(H/D)$ 计算夹角, 在正弦曲线的最低点作方位标度的垂线, 从而计算出裂隙面倾向(如图 1 所示)。但该测量方式存在以下不足之处。

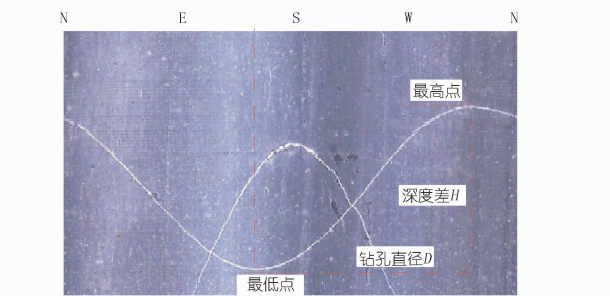


图 1 基于钻孔平面图测量裂隙产状

(1) 当裂缝宽度不均匀时, 对正弦曲线的最高点与最低点的判断容易产生人为粗差。

(2) 对于陡倾角裂隙, 受视口的影响难以选取正弦曲线的最高点与最低点。

(3) 二维平面裂隙面不直观, 对于裂隙密集区的裂隙形态难以有清晰的认识。

为了解决基于钻孔平面图测量裂隙产状存在的诸多问题, 本文基于电子岩芯技术探讨了一种三维测量裂隙产状的方法, 该方法具有直观、受人为因素影响小的优势, 可适用于孔内各种裂隙面产状的测量。

2 方法与原理

2.1 电子岩芯

电子岩芯是基于高清钻孔电视孔壁与岩芯耦合的原理, 利用钻孔空间参数建立的三维岩芯模型^[3]。电子岩芯具有原位、完整、连续等特点, 真实、全面反映了钻孔内的地质信息(见图 2)。这样, 裂隙面可在电子岩芯的三维模式下被直观地表现出来, 为三维测量裂隙产状奠定了基础。

2.2 三维测量方式

如果用一个三维平面来模拟裂隙面, 调整平面, 使

其与裂隙完全吻合,则该三维平面的产状与裂隙面的产状完全一致,基于该原理可实现裂隙产状的测量,如图 3 所示。

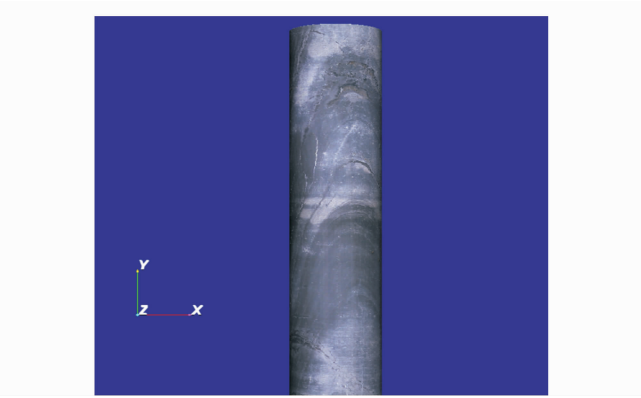


图 2 电子岩芯示例

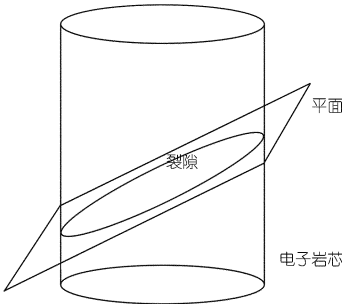


图 3 基于电子岩芯的裂隙三维测量

假设裂隙面法向量为 \boldsymbol{a} , 水平面法向量为 \boldsymbol{b} , 通过向量的点乘 $\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b} = \|\boldsymbol{a}\| \|\boldsymbol{b}\| \cos\theta$ 可以求得两平面的夹角, 即裂隙面的倾角; 通过向量的叉乘可计算两平面相交直线的向量, 而倾向方向与该直线的夹角呈 90° , 从而得出裂隙面的倾向, 如图 4 所示。

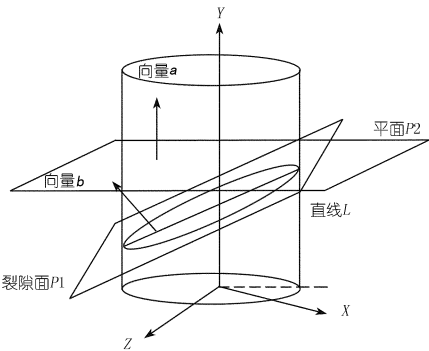


图 4 三维测量裂隙产状原理

3 三维测量的实现

基于电子岩芯来完成钻孔裂隙的三维测量, 其实现步骤分为两部分: 建立电子岩芯; 平面调整与测量。

3.1 建立电子岩芯^[4]

(1) 以磁北向为分割方向将钻孔电视获取的全孔

孔壁全景图展开为二维平面图, 钻孔半径为 R , 二维展开平面横向宽度为 $2\pi R$, 纵向宽度为 H 。

(2) 以二维平面图横向宽度一半处为中心线将二维平面图对称翻转, 生成新的二维平面图并替代原二维平面图。

(3) 以 X 轴正方向朝北, Z 轴正向朝东, Y 轴正向朝上建立三维坐标系。

(4) 按间距 N 将二维平面图分段切割为 H/N 段。

(5) 建立一个以点 pt_1 为中心、半径为 R 的三维圆柱体, pt_1 点坐标为 $(0, 0, D - N/2)$ 。

(6) 将第一段二维平面图以纹理方式映射在圆柱体外侧面, 形成第一段电子岩芯。

(7) 建立一个以点 pt_2 为中心、半径为 $R/2$ 的三维圆柱体, pt_2 点坐标为 $(0, 0, D - N/2 - N)$ 。

(8) 将第二段二维平面图以纹理方式映射在圆柱体外侧面, 形成第二段电子岩芯。

(9) 依次类推, 建立第 H/N 个以点 $pt_{H/N}$ 为中心、半径为 R 的三维圆柱体, $pt_{H/N}$ 点坐标为 $(0, 0, D - N/2 - H)$ 。

(10) 依次类推, 将第 H/N 段二维平面图以纹理方式映射在圆柱体外侧面, 形成第 H/N 段电子岩芯。

(11) 将每段电子岩芯拼接成一个整体, 实现完整的电子岩芯。

3.2 平面调整与测量

如图 5 所示, 假设水平面为 $P2$, 裂隙面为 $P1$, 则利用电子岩芯测量钻孔裂缝产状的步骤如下。

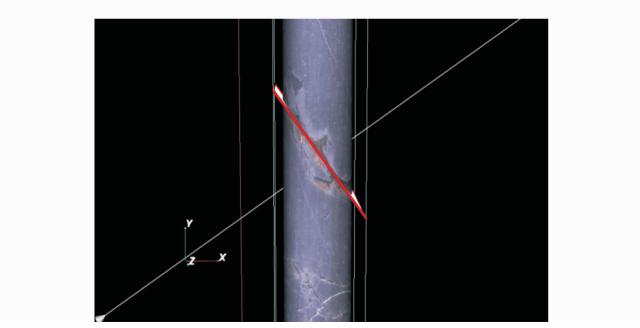


图 5 三维测量裂隙产状示例

(1) 选择电子岩芯上任一裂缝, 用平面 $P1$ 拟合裂缝, 使其与裂缝完全重合。

(2) 计算平面 $P1$ 的倾角, 将水平面 $P2$ 与平面 $P1$ 相交于直线 L , $P2$ 的法向量为 $\boldsymbol{a} \{X_a, Y_a, Z_a\}$, $P1$ 的法向量为 $\boldsymbol{b} \{X_b, Y_b, Z_b\}$, 则倾角 $\theta = \arccos \frac{\boldsymbol{a} \cdot \boldsymbol{b}}{\|\boldsymbol{a}\| \|\boldsymbol{b}\|}$ 。

(3) 计算平面 $P1$ 的倾向, 将水平面 $P2$ 与平面 $P1$ 相交于直线 L , 则 L 的向量 $\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} \times \boldsymbol{b} = \{x_1, y_1, z_1\}$, 则

倾向 $a = \arctan(z_1/x_1) - 90^\circ$ (倾向方向与直线 L 呈 90° 夹角)。

(4) 根据象限确定真倾向。若 $z_1 \geq 0, x_1 > 0$, 则真倾向 $\alpha = \arctan(z_1/x_1) - 90^\circ$; 若 $z_1 \geq 0, x_1 < 0$, 则真倾向 $\alpha = \arctan(z_1/x_1) - 90^\circ + 180^\circ$; 若 $z_1 \leq 0$, 则真倾向 $\alpha = \arctan(z_1/x_1) - 90^\circ + 180^\circ$; 若 $z_1 \leq 0, x_1 > 0$, 则真倾向 $\alpha = \arctan(z_1/x_1) - 90^\circ + 360^\circ$ 。

4 讨论

在三维测量裂隙产状时,需要用户对拟合平面深度、方向进行微调,达到与裂隙面最大程度的拟合,在实际应用过程中效率比较低,有必要开发可自动识别裂隙的软件功能,以实现用户不调整或微调拟合的方向就能最大程度拟合的功效,从而提高测量效率。

可利用二维钻孔电视图像进行边缘检测,识别出裂隙的正弦曲线,再将正弦曲线上的像素点按照相应的纹理映射计算出三维模型中的坐标值,通过三点共面原理计算出拟合平面的参数,从而绘制拟合平面。

5 结语

本文提出了利用电子岩芯三维测量裂隙产状的方法,

该方法基于电子岩芯的三维模型还原了裂缝的真实三维形态,通过三维平面拟合并计算裂缝的产状参数。该方法的优点是:可直观地观察裂缝与三维拟合平面的吻合情况;测量的裂缝产状更准确;避免了由于测量人员的经验不足导致的粗差,测量结果更可靠。可适合各类裂隙(如陡倾角裂隙)。

结合裂隙的自动识别技术^[5-6],用户可不调整或微调拟合平面,将大大提高裂隙测量的效率。

参考文献:

- [1] 朱恒银,王川婴,王强. 钻孔摄像技术在地质勘探中的应用研究[J]. 探矿工程-岩土钻掘工程,2013,40(增):69-72.
- [2] 薛国新,肖立川. 成像测井中的裂缝计算机自动识别方法[J]. 工矿自动化,2003, (4):1-3.
- [3] 马圣敏,张建清,刘方文,等. 电子岩芯与电子岩芯库的研究及应用[J]. 长江科学院院报,2012,29(8):106-111.
- [4] 张建清,马圣敏,刘方文,等. 利用电子岩芯测量钻孔裂隙产状的方法[P]. 中国:201410245783. X,2014. 08. 13.
- [5] 秦英译. 基于数字钻孔摄像的图像分析方法研究[D]. 武汉:中国科学院研究生院(武汉岩土力学研究所),2006.
- [6] 马圣敏,李恒凯,任丽平. 高密度电法三维可视化及其在地质勘察中的应用[J]. 人民长江,2010,41(21):48-50.

(编辑:赵凤超)

Research on realization of measuring dip of fracture on 3D model using electronic rock core of borehole

MA Shengmin^{1,2}, DU Huiguang^{1,2}

(1. National Dam Safety Research Center, Wuhan 430010, China; 2. Changjiang Geological Exploration & Testing Co., Ltd., Wuhan 430010, China)

Abstract: At present, the fracture occurrence measuring in borehole is mainly conducted on 2D outspread drawing of borehole TV and the problems of unobvious fracture face, indirect and artificial influence on fracture occurrence etc. are existed. Electronic core is a kind of 3D model established on the couple relation of bore-hole wall and rock core, and the measuring principle of fracture occurrence using electronic core is consistent with that on 2D outspread drawing of borehole TV and has more advantages than 2D measurement. The measuring research on 3D fracture occurrence based on electronic rock core was conducted and fracture occurrence measuring through matching of 3D plane and fracture face was realized. The result shows that the measuring on 3D model is more direct, obvious and less artificial influence.

Key words: electronic rock core; fracture; occurrence; 3D measuring