

钻探方法确定岩体结构面产状

石永泉,代常友

(成都理工大学 地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室,四川 成都 610059)

摘要:在许多地下工程中,均需确定岩体结构面产状。文章阐述了确定岩体结构面产状的两类方法及其主要特点。岩芯定向方法需专门的仪器设备,成本较高,工序多;钻探直接计算方法,属常规方法钻探,故成本低,但需要 3 个钻孔测斜资料。文章提出了采用立体解析几何法,依据 3 点钻孔测斜资料、岩芯层面角,确定岩体结构面产状的方法。该方法分为两种情况: 3 点测斜资料——钻孔顶角和方位角不完全相同情况下,3 点测斜资料取自 1 孔、2 孔或 3 个钻孔均可以,可以采用 2 个向量的数量积方法确定岩石结构面产状; 来自 3 孔的 3 点测斜资料——钻孔顶角和方位角完全相同情况下,可以采用两个向量的向量积方法确定岩石结构面产状。该方法准确、简单、成本低、适用性强。进一步完善并发展了以往确定岩石结构面产状的方法。此方法得到了很好的验证。

关键词:岩体结构面;产状;立体解析几何;钻孔;向量的数量积;向量的向量积

文章编号:1003-8035(2007)01-120-04

中图分类号:P313:P583

文献标识码:A

1 概述

在地质工程、水电工程、石油开发和地质灾害防治工程方面,了解岩石结构面(如节理面、断层面、物质分界面)产状,岩石结构面产状,对于勘探、工程设计和施工有重要意义。目前确定岩石结构面产状的方法有两类。

1.1 岩芯定向方法

即取出岩芯,确定岩石结构面与钻孔弯曲方向或地球正北方向之间关系,然后再依据钻孔弯曲参数(顶角、方位角),确定岩石结构面产状。具体有打标记法、古地磁法及物探测井法。打标记法^[1],利用专门的取芯工具,给岩芯打标记,从孔中取出具有确定方向的岩芯,再与钻孔弯曲参数相配合来确定岩石结构面产状。古地磁法^[2],不需任何专门的孔内仪器或工艺,只需从岩芯上取一柱状岩样,利用保存在岩石中的磁场方向进行测量、分析和计算,确定岩芯的方位,再与钻孔弯曲参数相配合来确定岩石结构面产状,此法限于沉积岩。物探测井法为依据物探测井得到孔壁展开图像,图像上有方位角度,通过观测图像与岩芯结构面特征,确定岩芯原来的空间位置,再与钻孔弯曲参数配合,确定岩石结构面产状。此 3 种方法均需专门的仪器设备(或钻具),成本较高,工序多,可能产生的人为误差因素多,但可实现对测点岩石结构面产状的测量。

1.2 直接计算方法

可利用 3 个钻孔穿过岩石同一标志面的不同标高,计算出岩石标志面(结构面)产状,此法要求标志面必须明显。还可用一个弯曲钻孔的岩芯和测斜资料,采用赤平投影法计算岩石结构面产状。该方法计算复杂,并存在计算误差。采用直接计算方法,由于是常规方法钻探,故成本低。

本文采用立体解析几何方法,依据钻探的岩芯和测斜资料,直接计算岩石结构面产状。

2 确定岩石结构面产状的方法

2.1 岩芯层面角的测取

2.1.1 取得的岩芯如图 1 所示,用游标卡尺或借助卡规,量取岩芯直径 d 。

2.1.2 在岩芯表面上,用粉笔或色笔,过层面椭圆最低点 A 画岩正横断面的圆周线 $ADCA$ 。

2.1.3 量取层面椭圆最高点 B 至圆周线 $ADCA$ 的距离 $BC = h$,则:

$$= \tan^{-1}(h/d) \quad (1)$$

角即是岩石结构面法线与岩芯(钻孔)轴线的夹角,称为岩芯层面角,若 $h = 0$, $= 0$ 。

收稿日期:2006-03-24;修回日期:2006-07-19

作者简介:石永泉(1963—),男(满族),辽宁省北宁人,成都理工大学教授,地质工程专业,1989年毕业于长春地质学院获硕士学位。现从事岩土钻掘工程、地质灾害防治工程教学、科研工作。

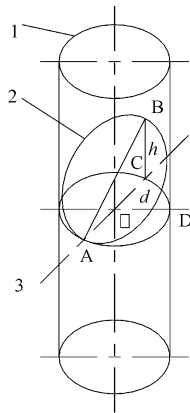


图 1 岩芯层面角的测取图

Fig. 1 Dip angle measurement on the core

1—岩芯;2—层面椭圆;3—层面椭圆长轴方向投影

2.2 立体解析几何计算方法

2.2.1 3 点测斜资料(钻孔顶角和方位角)不完全相同情况下的计算方法

建立坐标系,以孔口 O(也可不取孔口)作为坐标原点,以正北方向(也可不取正北方向)作 X 轴方向,铅垂方向为 Z 轴方向,则正东方向为 Y 轴方向,如图 2 所示。

直接计算岩石结构面产状,需要知道同一层地层(或岩石结构面产状一致的地层)内 3 点的测斜数据,即钻孔顶角和方位角。注意:3 点的钻孔顶角和方位角不完全相同;3 点可取自 1 个钻孔、2 个钻孔或 3 个钻孔均可。还需测取相应 3 点的岩芯层面角。

设 2 个向量分别为 $a = \{a_x, a_y, a_z\}$, $b = \{b_x, b_y, b_z\}$, 依据 2 个向量数量积有

$$a \cdot b = |a| |b| \cos \theta = a_x b_x + a_y b_y + a_z b_z \quad (2)$$

则两向量的夹角

$$\cos \theta = \mu_a \mu_b + \nu_a \nu_b + \dots \quad (3)$$

式中 θ 为两向量的夹角;

μ_a, ν_a, \dots 为一向量的方向余弦;

μ_b, ν_b, \dots 为另一向量的方向余弦。

如图 2 所示,已知 A、B、C 3 点于一个孔内,测斜数据钻孔顶角、方位角分别为 (α_1, β_1) 、 (α_2, β_2) 、 (α_3, β_3) , 依据钻孔顶角、方位角含义,便易求得 A、B、C 3 点处钻孔轴线切线(钻进方向向量)的方向余弦分别为:

$$\mu_a = \sin \alpha_1 \cos \beta_1 \quad (4)$$

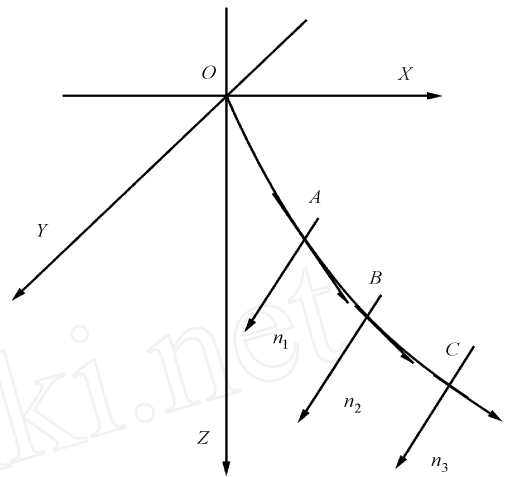


图 2 立体解析几何计算图

Fig. 2 Calculation diagram of analytical geometry

n_1, n_2, n_3 ——为 3 点处岩石结构面法线向量

$$\nu_a = \sin \alpha_1 \sin \beta_1 \quad (5)$$

$$a = \cos \alpha_1 \quad (6)$$

$$\mu_b = \sin \alpha_2 \cos \beta_2 \quad (7)$$

$$\nu_b = \sin \alpha_2 \sin \beta_2 \quad (8)$$

$$b = \cos \alpha_2 \quad (9)$$

$$\mu_c = \sin \alpha_3 \cos \beta_3 \quad (10)$$

$$\nu_c = \sin \alpha_3 \sin \beta_3 \quad (11)$$

$$c = \cos \alpha_3 \quad (12)$$

n_1, n_2, n_3 分别为 3 点处岩石结构面法线(取向下方向)向量,通过对岩芯测量得 3 点处岩芯层面角分别为 $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$, 设岩石结构面法线(取向下方向)向量方向余弦为 μ, ν, \dots 。则依式(3)可得

$$\mu \mu_a + \nu \nu_a + \dots = \cos \alpha_1 \quad (13)$$

$$\mu \mu_b + \nu \nu_b + \dots = \cos \alpha_2 \quad (14)$$

$$\mu \mu_c + \nu \nu_c + \dots = \cos \alpha_3 \quad (15)$$

解得:

$$\mu = D_1/D \quad \nu = D_2/D \quad \dots = D_3/D$$

式中:

$$D = \begin{vmatrix} \mu_a & \nu_a & a \\ \mu_b & \nu_b & b \\ \mu_c & \nu_c & c \end{vmatrix}$$

$$D_1 = \begin{vmatrix} \cos \alpha_1 & \nu_a & a \\ \cos \alpha_2 & \nu_b & b \\ \cos \alpha_3 & \nu_c & c \end{vmatrix}$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} \mu_a & \cos \alpha_1 & a \\ \mu_b & \cos \alpha_2 & b \\ \mu_c & \cos \alpha_3 & c \end{vmatrix}$$

$$D_3 = \begin{vmatrix} \mu_a & v_a & \cos \alpha_1 \\ \mu_b & v_b & \cos \alpha_2 \\ \mu_c & v_c & \cos \alpha_3 \end{vmatrix}$$

$D \neq 0$, 有唯一解。 $D = 0$, 有多解, 可能由测斜误差所至, 或由 3 点处岩石结构面产状不一致引起的, 此种情况可用增加测点数来解决。

岩石结构面法线(向下方向)向量的顶角 μ , 方位角 ν 可求

$$\mu = \sin \alpha \cos \beta \quad (16)$$

$$\nu = \sin \alpha \sin \beta \quad (17)$$

$$= \cos \gamma \quad (18)$$

$$= \cos^{-1} \gamma \quad (19)$$

$$= \cos^{-1} (\mu / \sin \alpha) = \sin^{-1} (\nu / \sin \alpha) \quad (20)$$

岩石结构面倾角

$$= \quad (21)$$

由于岩石结构面法线向量取的是法线向下方向, 故岩石结构面倾向 m 为:

$$m = \quad + \quad (22)$$

此外, 通过钻孔测斜资料(即钻孔深度、顶角、方位角), 可求得 A 点、B 点或 C 点的坐标值, 再依据岩石结构面法线向量, 容易得到过 A 点、B 点或 C 点的岩石结构面方程。

2.2.2 3 孔中 3 点测斜资料(钻孔顶角和方位角)完全相同情况下的计算方法

建立坐标系同前。在此种情况下, 要求岩石标志面(结构面)明显, 依据钻孔测斜资料(多为垂直孔), 确定 3 孔于岩石标志面处的坐标 $D(x_1, y_1, z_1)$, $E(x_2, y_2, z_2)$, $F(x_3, y_3, z_3)$ 。

由于平面法向量 n 与向量 DE 和向量 DF 都垂直, 而

$$DE = \{x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1\}$$

$$DF = \{x_3 - x_1, y_3 - y_1, z_3 - z_1\}$$

所以可取它们的垂直向量 n 为

$$n = DE \times DF = \begin{vmatrix} i & j & k \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} \quad (23)$$

$$n = [(y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1)]i + [(z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1)]j + [(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)]k \quad (24)$$

为了说明方便, 令 $a = [(y_2 - y_1)(z_3 - z_1) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_1)]$, $b = [(z_2 - z_1)(x_3 - x_1) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_1)]$, $c = [(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_1)]$, 则

$$n = ai + bj + ck \quad (25)$$

仍取该平面法线向下方向的向量进行计算, 若 $c > 0$, n 即为法线向下方向的向量, 则该向量方向余弦 μ, ν, γ 为:

$$\mu = a / (a^2 + b^2 + c^2)^{0.5}$$

$$\nu = b / (a^2 + b^2 + c^2)^{0.5}$$

$$\gamma = c / (a^2 + b^2 + c^2)^{0.5}$$

若 $c < 0$, $-n$ 为法线向下方向的向量, 则该向量方向余弦 μ, ν, γ 为

$$\mu = -a / (a^2 + b^2 + c^2)^{0.5}$$

$$\nu = -b / (a^2 + b^2 + c^2)^{0.5}$$

$$\gamma = -c / (a^2 + b^2 + c^2)^{0.5}$$

依式(19)~(22)可求岩石标志面倾角和倾向。

此外, 依据岩石标志面法线向量, 易得到岩石标志面方程。

3 计算实例

某地同一层地层中, 3 点(来自 3 个钻孔)测斜数据 α, β 分别为 $(200^\circ, 50^\circ)$, $(90^\circ, 40^\circ)$, $(170^\circ, 30^\circ)$, 3 点处岩芯层面角 γ 分别为 $50^\circ, 44^\circ, 38^\circ$ 。

建立坐标系, 将 3 点测斜数据 α, β 分别代入式(4)~(12)得:

$$\mu_a = \sin 50^\circ \cos 200^\circ = -0.720$$

$$\nu_a = \sin 50^\circ \sin 200^\circ = -0.262$$

$$a = \cos 50^\circ = 0.64$$

$$\mu_b = \sin 40^\circ \cos 90^\circ = 0$$

$$\nu_b = \sin 40^\circ \sin 90^\circ = 0.642$$

$$b = \cos 40^\circ = 0.766$$

$$\mu_c = \sin 30^\circ \cos 170^\circ = -0.492$$

$$\nu_c = \sin 30^\circ \sin 170^\circ = 0.087$$

$$c = \cos 30^\circ = 0.866$$

将 3 点处钻孔轴线切线(钻进方向向量)的方向余弦和 3 点处岩芯层面角分别代入式(13)~(15)得

$$-0.72\mu - 0.262\nu + 0.64 = \cos 50^\circ$$

$$0.642\nu + 0.766 = \cos 44^\circ$$

$$-0.492\mu + 0.087\nu + 0.866 = \cos 38^\circ$$

解得

$$D = -0.0527$$

$$D_1 = 0.0357$$

$$D_2 = -0.0296$$

$$D_3 = -0.0248$$

$$\mu = -0.678$$

$$\nu = 0.561$$

$$= 0.470$$

将 μ 、 ν 、代入式(19)、(20)得

$$= 140.2^\circ$$

$$= 61.9^\circ$$

据式(21)、(22)得

$$= 61.9^\circ$$

$$m = 320.2^\circ$$

而实际 $= 62^\circ$, $m = 320^\circ$, 计算值与实际值吻合较好。

4 结论

4.1 计算岩石结构面产状方法的原理正确,计算方

法无误差;

4.2 该确定岩石结构面产状方法适用性强,只要可获得同一层地层中 3 点的测斜数据和岩芯层面角,便可确定岩石结构面产状;

4.3 计算岩石结构面产状方法简单可行,成本低;

4.4 采用此种确定岩石结构面产状方法时,若该层地层岩石结构面产状一致,便可由 3 点测量数据确定该层岩石结构面产状;若该层地层岩石结构面产状不一致,可由 6 点、9 点、12 点、..... 测量数据来分别确定地层各处岩石结构面产状。

参考文献:

- [1] 石永泉,等. SDQ—91 型随钻岩芯定向测量仪的研制[J]. 成都理工学院学报, 2000, (4): 398 - 401.
- [2] D C 布利克莱,等. 岩芯定向方法及其误差的消除[J]. 国外探矿工程情报, 1984, (4): 149 - 151.
- [3] 李怀乾. 用钻孔资料求构造面产状[J]. 河南地质, 1997, (2): 143 - 145.
- [4] 石永泉,岩芯定向技术问题[J]. 地质与勘探, 2004, (6): 92 - 94.

Directly determining the occurrence of rock mass structural plane using drilling method

SHI Yong-quan, DAI Chang-you

(The national Laboratory of Geological Hazard Prevention & Geological Environment Protection, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: In many underground engineering, determining the occurrence of rock mass structural plane is needful. Two kinds of methods and their main characters for determining rock mass structural plane occurrence are described. Core orientation needs special instruments and equipments, the cost is high, and the process is complex. While the cost of direct calculation with traditional drilling is low, but it needs three boreholes inclination survey data. It is advanced that the method determines the occurrence of rock mass plane using analytical geometry method, by three-shot boreholes inclination survey data and core structural plane rake. It has two kinds of cases: in case of three boreholes inclination survey data, borehole vertex angle and azimuthal are not the same, three-shot boreholes inclination survey data may be from one borehole, two boreholes or three boreholes, determining the occurrence of rock mass structural plane can use the way of scalar quantity product of two vectors; in case of three boreholes inclination survey data, borehole vertex angle and azimuthal from three boreholes are all the same, determining the occurrence of rock mass structural plane can be by the way of vector product of two vectors. The method is accurate, convenient, low cost and well applicable, and improves and develops the traditional methods. This method is proved by an example.

Key words: rock mass structural plane; occurrence; analytical geometry; borehole; scalar quantity product of vectors; vector product of vectors