

## 球面三角计算定向取心结构面产状方法

肖阳春, 胥建华, 石永泉, 谢智斌

(成都理工学院 勘察与机电工程系, 四川 成都 610069)

**摘 要:**根据定向取心数据计算中所确定的在岩心正截面上:水平截面上椭圆高点的投影沿反时针方向到结构面上椭圆高点的投影影的夹角  $\varphi$  的值及变化情况和结构面倾角、倾向的定义,通过球面三角简化计算过程来正确确定结构面的空间状态参数:结构面的倾角、倾向和走向。

**关键词:**定向取心;球面三角;倾角;倾向;结构面

中图分类号:P634.5 文献标识码:B 文章编号:1000-3746(2001)02-0049-02

## 1 概述

定向取心技术在现代地质勘探与工程地质勘察中的重要性越来越突出,它既能提高勘探与勘察的经济效益,更重要的是通过单孔取心能准确提供结构面的正确产状。现在该技术正在水电站坝基勘探、大型基岩滑坡预测勘察、复杂地层结构与构造勘探等方面得到运用;同时,它对正确认识深部地质构造、查明矿体形态和延伸情况有重要价值,并对勘探工程的布置和矿藏的开发具有指导意义。定向取心的用途越来越广,但定向取心数据的准确计算方法到现在为止还没有一个详尽的过程说明,本文就此作一简单的讨论。

定向取心技术的关键是取得带有定向标记的岩心——即利用打印、刻痕、钻眼、照相等方法在孔底岩石表面或未断根的岩心端面或圆柱侧面上作出定向标记,测出该定向标记与钻孔弯曲平面间的夹角,同时应测出该处钻孔的顶角和方位角。

当获得定向岩心后,对标示在岩心上的定向标记进行正确处理显得尤为重要,只有对其进行正确处理才能获得正确结果。处理的方法主要有:复位实测、数学计算、平面正投影(解析分析)、赤平投影等。复位实测法需要仪器和工具,赤平投影法不够直观,因此笔者在此仅采用球面三角简化数学算法对定向岩心进行结果处理。

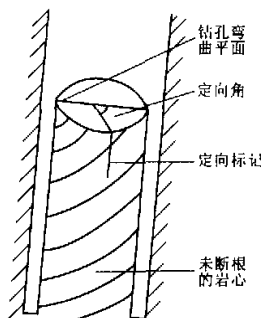


图 1 定向岩心原生状态示意图

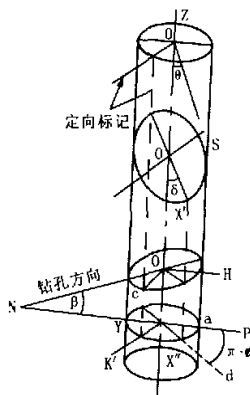


图2 定向岩心中结构面、水平面和岩心正横截面间的关系图

对图 2 中的各参数及关系进行简化,得图 3。图 3 中,首先将岩心直立于空白纸面上(纸面即为岩心正横截面  $P$ ),把岩心柱上标示出的水平面的高点  $A$ 、水平面的低点  $B$  投影到纸面上,再把岩心上的结构面(主要是层面或裂隙面)高点  $C$ 、结构面低点  $D$  投影到纸面上,连接  $A$  与  $B$  和  $C$  与  $D$  如图 3 所示。规定:从  $A$  点沿反时针方向转到  $C$  点的夹角为  $\varphi$ 。

## 2 定向岩心空间状态分析

在钻孔中定向岩心空间状态如图 1 所示,该示意图表示出了岩心在自然状态下的空间状态。

图2表示取出的定向岩心的已知数据。 $OO$ 为钻孔轴线,岩心水平截面(氢氟酸测斜仪刻痕)为椭圆 $H$ ,其长轴方向为钻孔轴线方向;岩心正横截面为圆 $P$ ;岩心上的结构面为椭圆 $S$ 。水平截面椭圆 $H$ 长轴延长线可与岩心横截面圆 $P$ 交于一点 $N$ , $N$ 点在 $P$ 面的射影为 $OY$ 。结构面椭圆 $S$ 长半轴 $OX'$ 与 $OO$ 轴线的夹角为钻孔穿过结构面的“遇层角 $\delta'$ ”; $OX'$ 在 $P$ 面的射影为 $OX''$ 。定向刻痕方向已知,可供确定 $X'X''(OX')$ 的位置用。

收稿日期:2000-01-27

作者简介:肖阳春(1964-),男(汉族),四川隆昌人,成都理工学院讲师,钻探工程专业,硕士,从事岩土工程施工与设计的教学、研究及计算机应用研究工作,四川省成都市十里店,(028)3244220, xiaoyc@cdit.edu.cn。

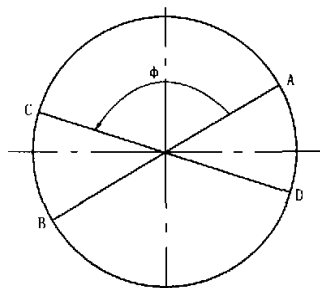


图3 岩心正横截面上钻孔倾向线投影与结构面倾向线投影的交角关系

### 3 数学计算方法

通过对前面定向岩心基本参数的了解,即可将定向岩心的各项参数标示在岩心轴的结构面、水平面和岩心的正横截面上,形成如图4所示的参数几何关系图。

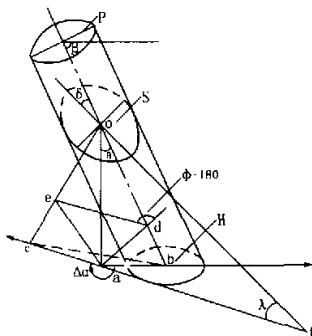


图4 定向岩心中结构面、水平面和岩心正横截面间的关系

如图4所示,  $ab$  为钻孔轴线倾向;  $ac$  为结构面法线倾向;  $af$  为岩层倾向;  $oa$  为铅垂线;  $ob$  为岩心轴线;  $oc$  为结构面法线;  $of$  为结构面倾斜线;  $oad$  为钻孔倾斜方向的垂直面;  $oac$  为通过结构面法线与结构面垂直的平面;  $obc$  为法轴面, 即结构面法线与钻孔轴线组成的平面;  $ade$  为自  $a$  点作的垂直于岩心轴线的平面;  $\lambda$  为结构面倾角;  $\delta$  为钻孔“遇层角”;  $\Delta\alpha$  为结构面法线方向与钻孔轴线方向的夹角;  $\theta$  为钻孔顶角;  $\beta$  为钻孔倾角。

在  $oade$  中, 可将  $\Delta ade$  近似看成是球面三角形, 则  $oade$  就是球心三角形, 根据球面三角关系可得:

$$\cos\lambda = \sin\beta\sin\delta - \cos\beta\cos\delta\cos(\varphi - 180^\circ)$$

经变换得结构面倾角计算式:

$$\lambda = \cos^{-1}(\sin\beta\sin\delta + \cos\beta\cos\delta\cos\varphi) \quad (1)$$

式中:  $\lambda$  —— 结构面倾角;  $\beta$  —— 钻孔倾角,  $\beta = 90^\circ - \theta$ ;  $\theta$  —— 钻孔顶角;  $\delta$  —— 钻孔遇层角,  $\delta = \tan^{-1}[D/(h_1 - h_2)]$ ;  $D$  —— 岩心直径;  $h_1, h_2$  —— 结构面高点、低点到柱底的距离;  $\varphi$  —— 岩心正截面上水平面上高点投影沿反时针方向到结构面高点投影间的夹角。

同理, 据球面三角关系可得结构面法线方向与钻孔轴线方向的夹角  $\Delta\alpha$ :

$$\tan\Delta\alpha = -\sin\varphi/(\tan\delta\cos\beta - \sin\beta\cos\varphi) \quad (2)$$

则钻孔倾向与岩层走向间的夹角  $\epsilon$ :

万方数据

$$\epsilon = 90^\circ - \Delta\alpha \text{ 或 } \epsilon = \Delta\alpha - 90^\circ$$

经公式变换后得:

$$\epsilon = -\tan^{-1}[(\tan\delta\cos\beta - \sin\beta\cos\varphi)/\sin\varphi] \quad (3)$$

式中:  $\epsilon$  —— 钻孔倾向与岩层走向间的夹角; 其余符号同前。

则结构面走向  $\alpha_b$  为:

$$\alpha_b = \alpha - \epsilon \quad (4)$$

式中:  $\alpha_b$  —— 结构面走向;  $\alpha$  —— 钻孔方位角。

据实际描述结构面走向的定义方法,  $\alpha_b$  应是:  $0^\circ \leq \alpha_b < 360^\circ$ , 因此有:

$$\alpha - \epsilon < 0^\circ \text{ 则 } \alpha_b = 360^\circ + \alpha - \epsilon$$

$$0^\circ < \alpha - \epsilon < 360^\circ \text{ 则 } \alpha_b = \alpha - \epsilon$$

$$360^\circ < \alpha - \epsilon \text{ 则 } \alpha_b = \alpha - \epsilon - 360^\circ$$

由以上分析可以得到结构面的准确走向  $\alpha_b$  和倾角  $\lambda$ 。但是, 准确描述结构面空间状态的参数是结构面的倾向  $\alpha_d$  和倾角  $\lambda$ 。众所周知, 倾向与倾角互成  $90^\circ$  角, 按定义走向  $\alpha_b$  可有互成  $180^\circ$  角的 2 个值, 因此就给准确确定结构面的倾向  $\alpha_b$  带来一定的难度。就以上确定的方法和过程, 下面提出计算倾向  $\alpha_d$  的方法。

$$(1) \text{ 当 } \varphi \leq 180^\circ \text{ 时 } \alpha_d = \alpha_b + 90^\circ$$

$$\alpha_b + 90^\circ > 360^\circ \text{ 时 } \alpha_d = \alpha_b - 270^\circ$$

$$0^\circ \leq \alpha_b + 90^\circ \leq 360^\circ \text{ 时 } \alpha_d = \alpha_b + 90^\circ$$

$$(2) \text{ 当 } \varphi > 180^\circ \text{ 时 } \alpha_d = \alpha_b - 90^\circ$$

$$\alpha_b - 90^\circ < 0^\circ \text{ 时 } \alpha_d = \alpha_b + 270^\circ$$

$$0^\circ \leq \alpha_b - 90^\circ \leq 360^\circ \text{ 时 } \alpha_d = \alpha_b - 90^\circ$$

通过以上计算, 就能得到描述定向岩心结构面的正确结构参数, 从而达到准确了解地层的结构产状和结构面的空间状态的目的。

### 4 结论

以上计算方法和结果在实际生产应用中得到了证实, 在常规的地质勘探钻孔取样中得到的结果与实测结果相当的吻合。

但是, 从理论分析看, 该数学分析算法采用了球面三角简化算法实现, 从而导致:

(1) 当钻孔遇层角相同时, 在大顶角情况下用球面三角法替代解析法在计算结构面倾角  $\lambda$  时有一定误差, 顶角  $\theta > 70^\circ$  时,  $\lambda$  的误差会随  $\theta$  的增大而急剧增大。

(2) 当钻孔顶角相同时, 遇层角  $\delta < 15^\circ$  时,  $\lambda$  的误差会随  $\delta$  的减小而急剧增大。

以上 2 种造成  $\lambda$  误差的情况都是由于用球面三角法替代解析法而形成的; 但是, 用球面三角法替代解析法计算结构面的倾向  $\alpha_d$  无误差。常规的地质勘探钻孔取样中, 一般顶角  $\theta < 10^\circ$ , 由以上计算式得出的结构面产状误差在  $1/100^\circ \sim 1/1000^\circ$  之间, 已经足够精确描述结构面的空间特征, 因此它的计算是足够准确的。

### 参考文献:

- [1] 吴光耀. 定向钻进工艺原理[M]. 成都: 成都科技大学出版社, 1991.