

钻孔岩心不连续面产状测定技术

周叔举 朱效喜

(冶金工业部勘察科学技术研究所, 保定)

提 要

本文简述克雷林岩心定向器的定向技术和三种确定岩心不连续面绝对产状的方法。这三种方法是赤平投影制图法、仪器法和解析法。

一、前 言

岩体受长期构造变动的影晌, 包含有许多不连续面。岩体的破坏常沿不连续面发生, 因此在研究岩体工程的稳定性时, 首要的任务在于确定各种不连续面产状。

某些需要研究深部不连续面产状的工程, 如深凹露天采矿场边坡工程、隧道工程、大坝坝基工程等, 常需用钻探方法加以研究。对于延展很广的不连续面, 例如断层、软岩层等, 常需用三个以上的钻孔对此面定位。对于次一级各种系统的不连续面, 例如节理、层理、片理等, 则需用适宜的钻机连续取出完整定向的岩心, 测出有关参数, 进而确定各个不连续面的产状。

二、岩心定向的要求和克雷林(Craelius)定向器

由倾斜钻孔中取出的岩心, 要有三个约束条件才能确定其原位的产状。其一是原位岩心轴线的倾斜角 D , 其二是该线的方位角 A ; 这两个数据可通过对钻孔的测斜来取得。第三个约束条件是原位岩心柱最低一根母线的位置, 该线被称为基准线。基准线的确定方法是岩心定向的核心问题。

目前国际上岩心定向的方法有好几种, 而简易可靠的工具则推瑞典克雷林岩心定向器。该定向器的外形和主要部件如图1所示。它有两个主要功能: 一是在倾斜钻孔中确定圆柱状定向器的基准线, 另一是确定定向器在钻孔中与孔底残留岩心柱顶面的接触位置。如果采用适宜的钻机, 使岩心采取率达100%, 并且保证在钻进过程中各段岩心不发生转动, 则不难将定向器的基准线外延至顺序连接的各段岩心上。

现简要介绍一下克雷林岩心定向器各部的功能。克雷林岩心定向器是圆柱体, 直径与岩心相近。它的端部有6个均匀分布的定位杆。这些定位杆可调节成只在外力作用下才能伸出或退缩的状况, 分布在前方锥形头的四周。锥形头后面的顶杆与可压缩的弹簧相连接。在第一次回采岩心后, 将定向器用六个分开的卡子固定在双重岩心管的内管中, 使定位杆伸出,

并将定向器和内管一同下放于孔中。当定向器冲压到孔底残留岩心的顶部时,锥形头因弹簧压缩而回缩,六个定位杆即各与不平的岩心顶面接触而程度不同地回缩,并在新的位置上固定下来,从而确定出定向器在钻孔内与岩心顶面的接触位置。定向器的珠室为一环状空腔,内放一不能转动的铝质薄片及一能自由活动的钢珠。在锥形头退缩过程中,载有定位杆的柱塞将圆珠压到铝片上而留下印痕,六个固定卡子同时松开,定向器随即移入内管。按铝片上的印痕即可确定基准线位置,从而使定向器定向。

将定向器的带有定位杆和珠室的部件卸下,放入半圆柱形托架内,将铝片上的印痕与托架的一条边对齐。再将最上一段岩心放入托架,调整其位置,确定其顶面与定位杆的接触位置,然后沿托架的直边在岩心圆柱面上画一直线,这就是基准线。

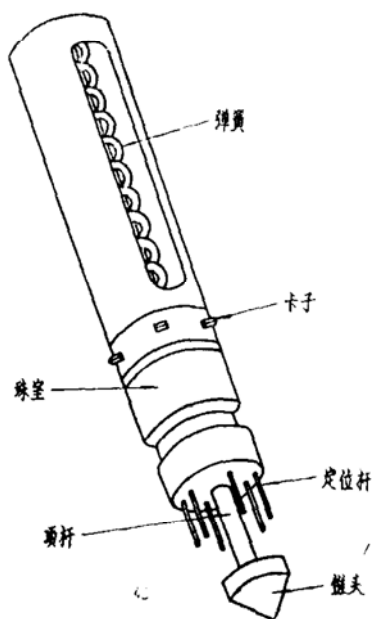


图 1

三、定向岩心中的不连续面参数的测定

在已定向的岩心段上,任一理想的不连续平面与岩心相交成为椭圆面。椭圆的几何形状相对于基准线的关系要有两个约束条件才能确定。图2示出定向岩心及其上不连续面的有关几何关系。图中的符号定义如下:

OH ——岩心轴线, OH 指向钻进方向。

P_1 、 P_2 ——椭圆长轴的下端点和上端点。

P_3 、 P_4 ——椭圆短轴的两个端点。

β 平面——包含短轴 P_3P_4 并与 OH 垂直的平面,成为圆形,圆心为 O 。

P'_1 、 P'_2 ——分别为 P_1 、 P_2 在 β 平面上的投影。

α —— OH 与 OP_1 的夹角,称为构造角。

β ——由基准线与 β 平面的交点 C 起,沿 β 平面顺时针量至 P'_1 的圆周角,称为方向角。

OC ——定向岩心在原位条件下 β 平面的倾向线。

其中构造角 α 及方向角 β 即为需测定的参数。

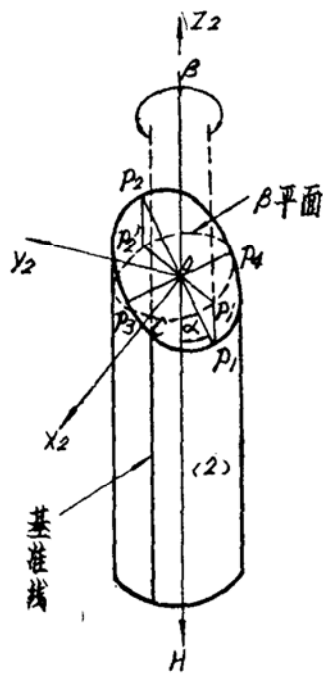


图 2

四、确定岩心不连续面产状的几种方法

(一)赤平投影制图法

利用赤平投影制图法(按下半球投影)确定不连续面产状的步骤如下:

1. 按方位角 A 和倾斜角 D 值确定岩心轴线 H 。
2. 根据 H 是 β 平面的极点的关系, 作出 β 平面并定出 C , C 表示 β 平面的倾向线。
3. 由 C 沿 β 平面顺时针方向量 β 角以确定 P'_1 ; 若 P'_1 不在下半球, 则量 $180^\circ + \beta$ 的角以确定 P'_2 。 P'_1 与 P'_2 在 β 平面上互为对蹠点。
4. 通过 H 及 P'_1 (或 P'_2) 作大圆弧。
5. 若在下半球出现的是 P'_1 , 则由 H 沿大圆弧 HP'_1 向着 P'_1 量 α 角, 定出 P_1 ; 若下半球出现的是 P'_2 , 则由 H 沿大圆弧 HP'_2 向着 P'_2 , 并经过 P'_2 共量出 $180^\circ - \alpha$ 的角, 定出 P_2 , 这样就定出长轴。(若 P_2 不在下半球, 则确定其对蹠点 P_1)
6. 由 P'_1 (或 P'_2) 沿 β 平面向任一侧量 90° 角, 定出 P_3 或 P_4 , 这样就定出短轴。
7. 经过 P_1 (或 P_2) 及 P_3 (或 P_4), 画大圆弧, 此即为所求的不连续面。

制图的示例见图 3。此法的制图步骤在参考文献[1]中有部分介绍, 本文作者之一周叔举结合定向器的使用作了补充。

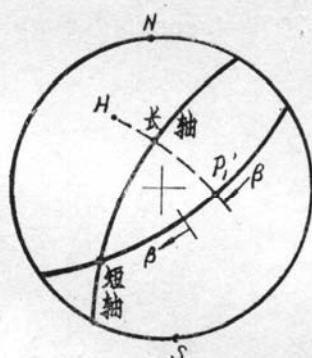


图 3

下半球投影
 H : 方位角 330°
 倾斜角 30°
 $\alpha = 30^\circ$
 $\beta = 330^\circ$

(二) 仪器法

用仪器测定不连续面产状是在仪器上采用恢复岩心轴及不连续面原位产状的方法来完成的。其原理为: 用一根轴表示钻孔, 借助于水平和垂直度盘按数据 A 及 D 的值将轴设置成所要求的位置。轴上附有一平面, 此面可绕与轴垂直的该面上的水平线在 $0 \sim 90^\circ$ 之间自由转动; 轴并能携带此平面绕轴心旋转 360° 。这样, 借助于另一套度盘可按 α 、 β 角的值设置不连续面。利用测量倾角的系统和统一的测量方位角的度盘, 可直接读出不连续面的倾向和倾角。

按这种原理设计的仪器已由冶金部勘察科学技术研究所钻探研究室研制出来, 并经过鉴定。仪器的外形见图 4。

(三) 解析法

解析法的结果主要由本文作者朱效喜所推得, 并由周叔举补充。求解过程如下:

1. 设定地平面指北坐标系—第一坐标系

设 OZ_1 垂直于地平面, 向上为正; X_1OY_1 为地平面, OX_1 的正方向指向北; OY_1 与 OX_1 成正交, 由 OX_1 顺时针量 90° 的方向为正, 如图 5 所示。

在此坐标系中, OH 为岩心的轴线, 指向钻进方向。 OH_1 是 OH 在 X_1OY_1 平面上的投影。按前面的符号, 岩心轴线的方位角为 A , 倾斜角为 D 。

2. 设定钻孔坐标系—第二坐标系

设第二坐标系的原点与第一坐标系的原点重合; OZ_2 与岩心轴线方向重合, 取与钻进方

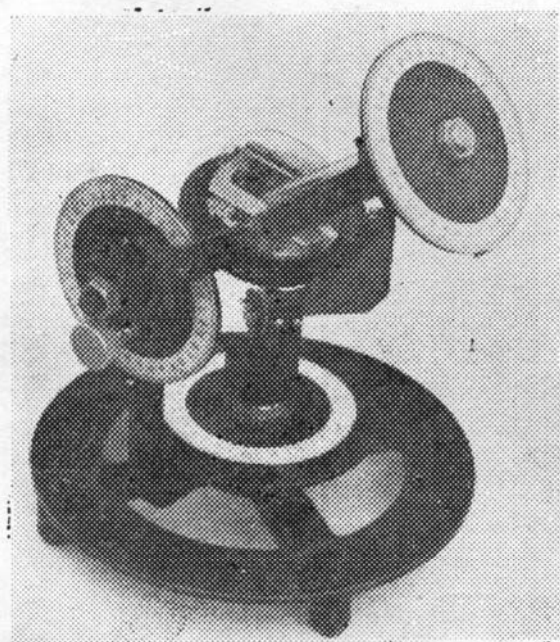


图 4

向相反的方向为正; X_2OY_2 平面与 OZ_2 垂直, 此平面即为前述之 β 平面; OX_2 为由原点至基准线与 β 平面的交点的射线, 以向外射出的方向为正; OY_2 与 OX_2 垂直, 以由 OX_2 顺时针量 90° 的方向为正。由于 X_2OZ_2 为一铅直平面, 故 OY_2 为一水平线。坐标系见图 2。

3. 钻孔坐标系内不连续面的方程

设圆柱面半径为 r , 按椭圆面上三点 P_1, P_2, P_3 的坐标可确定不连续面的方程。此三点的坐标为

$$P_1: X_{2(1)} = r \cos \beta, Y_{2(1)} = r \sin \beta, Z_{2(1)} = -r \operatorname{ctg} \alpha$$

$$P_2: X_{2(2)} = r \cos(\beta - 180^\circ) = -r \cos \beta \quad Y_{2(2)} = r \sin(\beta - 180^\circ) = -r \sin \beta$$

$$Z_{2(2)} = -r \operatorname{ctg} \alpha$$

$$P_3: X_{2(3)} = r \cos(\beta - 270^\circ) = -r \sin \beta \quad Y_{2(3)} = r \sin(\beta - 270^\circ) = r \cos \beta$$

$$Z_{2(3)} = 0$$

设在此坐标系内的平面方程为

$$X_2 + aY_2 + bZ_2 + c = 0 \quad (1)$$

将三点坐标代入(1)得

$$r \cos \beta + r \sin \beta a - r \operatorname{ctg} \alpha b + c = 0 \quad (2)$$

$$-r \cos \beta - r \sin \beta a + r \operatorname{ctg} \alpha b + c = 0 \quad (3)$$

$$-r \sin \beta + r \cos \beta a + c = 0 \quad (4)$$

解之得

$$c = 0, \quad a = \operatorname{tg} \beta, \quad b = \operatorname{tg} \alpha / \cos \beta$$

则平面的方程为

$$\cos \alpha \cos \beta X_2 + \cos \alpha \sin \beta Y_2 + \sin \alpha Z_2 = 0 \quad (5)$$

显然, P_4 点的坐标亦必满足式(5)。

4. 设定第三坐标系

该坐标系的原点与前两个系统的原点相重合, 其三个互相垂直的轴以 OX_3, OY_3, OZ_3 表示。其中, OY_3 与第二坐标系 OY_2 重合, OZ_3 与第一坐标系 OZ_1 重合。在 X_3OY_3 平面上由 OY_3 反时针量 90° 的方向作为 OX_3 轴的正方向。故第二坐标系与第三坐标系的关系为绕 OZ_2 轴旋转 $90^\circ - D$ 的角, 此两坐标系的关系如图 6 所示。

OZ_3, OZ_2, OX_3, OX_2 均在包含岩心轴线和岩心基准线的铅直平面上。第二与第三坐标系的关系如下:

$$X_2 = X_3 \cos(90^\circ - D) - Z_3 \sin(90^\circ - D) = X_3 \sin D - Z_3 \cos D \quad (6)$$

$$Y_2 = Y_3 \quad (7)$$

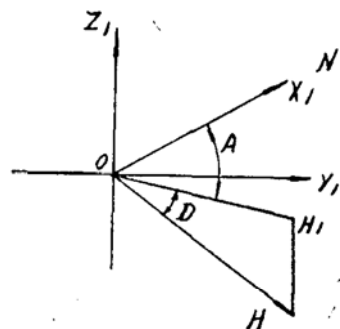


图 5

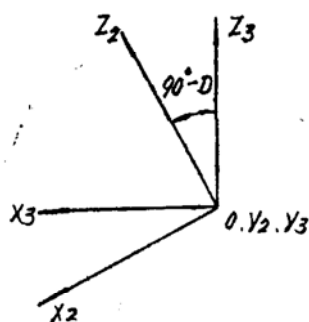


图 6

令 $Z_3 = 0$, 得直线方程

$$(\cos\alpha\cos\beta\sin D + \sin\alpha\cos D)X_3 + \sin\beta\cos\alpha Y_3 = 0 \quad (10)$$

式(10)即为不连续面在第三坐标系中走向线的方程。过坐标原点 ($x_3 = 0, y_3 = 0$), 作垂直走向线的直线, 可得倾向线在 X_3OY_3 平面上投影的方程

$$\sin\beta\cos\alpha x_3 - (\cos\alpha\cos\beta\sin D + \sin\alpha\cos D)y_3 = 0 \quad (11)$$

若以岩心轴线在水平面的投影 OX_3 为假定基准, 不连续面的倾斜方向角 η 为:

$$\eta = \text{tg}^{-1}\left(\frac{\sin\beta\cos\alpha}{\cos\alpha\cos\beta\sin D + \sin\alpha\cos D}\right) \quad (12)$$

在式(11)中, 令 $y_3 = 1$, 则有

$$X_3 = \frac{\cos\alpha\cos\beta\sin D + \sin\alpha\cos D}{\sin\beta\cos\alpha} \quad (13)$$

再将 x_3, y_3 的值代入(9), 可得不连续面上相应点的竖向坐标

$$Z_3 = \frac{(\cos\alpha\cos\beta\sin D + \sin\alpha\cos D)^2 + \sin^2\beta\cos^2\alpha}{\sin\beta\cos\alpha(\cos\alpha\cos\beta\cos D - \sin\alpha\sin D)} \quad (14)$$

这里, X_3, Y_3, Z_3 为经过坐标原点的不连续面倾向线上一特定点 ($Y_3 = 1$) 的坐标。这样, 设不连续面的倾角为 $\angle$, 则

$$\angle = \text{tg}^{-1}\left(\frac{|z_3|}{\sqrt{x_3^2 + y_3^2}}\right) = \text{tg}^{-1}\left(\frac{|z_3|}{\sqrt{x_3^2 + 1}}\right) \quad (15)$$

式(15)中的 Z_3 及 X_3 分别按式(14)及(13)确定。

对于 η 角, 如果按式(12)算出的角值为负, 因在求 $\angle$ 时取 $Y_3 = 1$ 则, 应加上 180° 。当按式(14)计算的 Z_3 为正时还需加 180° 。这样的 η 角才是不连续面的以 OX_3 为假定基准的倾向。

5. 不连续面的绝对产状

不连续面的绝对产状是以第一坐标系作为参考系, 故由第三坐标系获得的结果应加以换算。现分三种情况给出最后的结果。

(a) $\beta \approx 0, \beta \approx 180^\circ$

① 倾角 $\angle$: 按式(15)确定。

②倾向 ξ : 由于 η 是以 OX_3 方向为基准, 而 OX_3 方向与岩心轴线方位角 A 相差 180° , 故有

$$\xi = A + \eta \pm 180^\circ \quad (0 \leq \xi < 360^\circ)$$

(b) $\beta = 0$

此时椭圆长轴下端点在基准线上, 角的关系如图 7 所示。

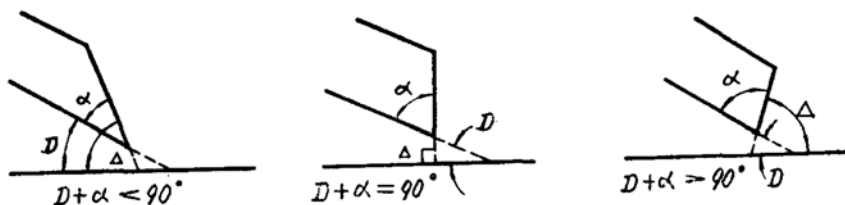


图 7

若 $D + \alpha < 90^\circ$, 则

$$\Delta = D + \alpha$$

$$\xi = A$$

若 $D + \alpha = 90^\circ$, 则 $\Delta = 90^\circ$, 而 ξ 不定。

若 $D + \alpha > 90^\circ$, 则 $\Delta = 180^\circ - (D + \alpha)$,

$$\xi = A \pm 180^\circ \quad (0 \leq \xi < 360^\circ)$$

(c) $\beta = 180^\circ$

椭圆长轴上端点在基准线上, 角的关系如图 8 所示。

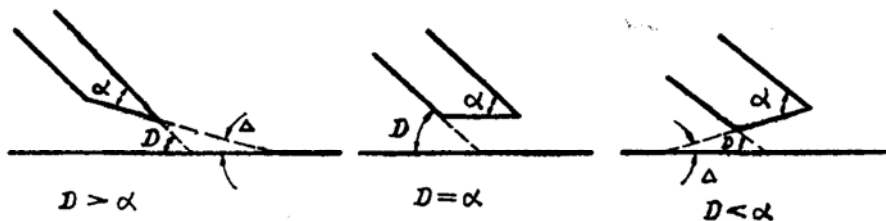


图 8

若 $D > \alpha$, 则 $\Delta = D - \alpha$,

$$\xi = A$$

若 $D = \alpha$, 则 $\Delta = 0$, ξ 不定。

若 $D < \alpha$, 则 $\Delta = \alpha - D$,

$$\xi = A \pm 180^\circ \quad (0 \leq \xi < 360^\circ)$$

上述计算过程已编制成计算程序。

冶金部勘察科学技术研究所在德兴铜矿边坡工程中, 于三个深度各为 350m 的钻孔内进行成功的岩心定向, 共取得 3348 个不连续面数据。已用计算机所编程序计算出所有这些面

的产状, 并随意选出部份数据用制图法及仪具法确定产状。比较的结果列举如下。可见三种方法的结果基本一致; 制图法与仪具法的误差量级相同, 未超过 2° , 这与输入数据的精度相比, 均在可接受的范围之内。对每一个面的测定, 制图法约需15分钟, 仪具法约需2分钟。

表1 各种测定方法所得结果的比较

序 号	钻 孔		不连续面		不 连 续 面 绝 对 产 状					
	方位角	倾斜角	构造角	方位角	方 位 角 ξ ($^\circ$)			倾 角 $\angle$ ($^\circ$)		
	A°	D°	α°	β°	电算法	制图法	仪具法	电算法	制图法	仪具法
1	235	61	43	158	188.8	190	190	22.3	22	23
2	235	61	68	89	94.5	94	95	36.1	36	36
3	240	64	52	276	3.4	4	2	47.1	47	48
4	182	56	15	44	225.0	224.5	224	80.0	80	81
5	182	56	47	278	307.8	308	306	56.4	56	57
6	238	53	32	154	186.0	186	187	28.1	28	28
7	238	53	60	164	103.1	102	105	11.2	11	10

注: 制图法所用投影网的直径为20cm。

参 考 文 献

- [1] 古德曼, R. E., 北方交通大学隧道与地质教研室译, 不连续岩体中的地质工程方法, 中国铁道出版社, 1980年, 第83页。

The Technique for Determining the Absolute Orientation of Discontinuities of Cores

Zhou Shu-ju Zhu Xiao-xi

(Institute of Geotechnics, Hydrogeology and Photogrammetry, Ministry of metallurgical Industry, Baodin)

Abstract

This paper describes briefly the technique of Craelius Core Orienter and three methods for determining the absolute orientations of discontinuities in the cores. These methods are the construction of stereographic projection, the use of specially designed instrument and the mathematical analysis,