

SDQ - 91 型定向取心器的研制

楼日新¹, 吴光琳²

(1. 四川准达岩土工程公司, 四川 成都 610072; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘 要 介绍了 SDQ - 91 型随钻测量定向取心钻具的特点、定向取心器的研制、随钻测量仪的选型与改进等。

关键词 岩心定向; 定向取心; 定向岩心; 随钻测量; 孔斜; 定向方位角; 刻痕; 作图法

中图分类号: P634.7 文献标识码: A 文章编号: 1000 - 3746(2003)S1 - 0153 - 05

Development of SDQ - 91 Directional Coring Apparatus/LOU Ri-xin¹, WU Guang-lin²(1. Chengdu Hydroelectric Investigation and Design Institute, State Power Company, Chengdu Sichuan 610072, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

Abstract: This paper briefly introduces the design of SDQ - 91 directional coring apparatus, selection of SDQ - 91 borehole measuring instrument and its improvement. The principle of the core drilling device and its structural characteristics, working principle of the magnetic ball directional inclinometer and its technical properties, design of non-magnetic tube and shock eliminating device and measurement of the core directional parameters are also recounted.

Key words: core re-orientation; directional coring; re-orientated core; MWD; bore hole inclination; re-orientated azimuth; notch; plotting method

1 概述

1.1 岩心定向技术的研究现状、发展趋势

“八五”期间,我们在对国内外岩心定向技术进行调研的基础上,结合我国国情和水电工程地质勘测的实际,研制了 YDX - 1 型岩心定向装置及其配套器具,先后在桐子林水电站、紫坪铺水电站、锦屏水电站三滩坝址和官地水电站等勘测工地进行了生产试验和现场应用,采集了合格的定向岩心,满足了确定岩层面和断裂面产状以及岩体地应力方向的要求,取得了较好的效果,并且于 1995 年 3 月通过了电力工业部科技司组织的科技成果鉴定。但是,还存在一些不足之处。主要是磨孔、打标记、测量孔斜和定向标记位置以及钻取定向岩心分次完成,占用较多工时。磨孔提钻后在孔壁不稳定的情况下,容易引起掉块,造成孔底不干净,影响随后打定向标记的成功率。另外,进行定向测量时,测量仪起点线与打标记微型钻头位置不易对准,有时会影响定向测量精度。

“九五”期间,为了适应溪洛渡水电站高坝坝址快速勘测的需要,并且针对该区岩石坚硬、岩层内部裂隙面和滑移面发育、软弱夹层常见等特点,必须进

一步完善上述岩心定向技术与工艺。主要体现在岩心定向钻具方面要简化操作,减少完成定向取心的升降钻具次数,提高工效;在测量仪器方面要结构简单,使用方便,测量数据可靠,成本低廉,便于推广;在计算机应用方面,不但要能够处理岩心定向数据,求解层面和断裂面产状,而且还要能够存储岩心定向资料。

为此,采取的技术路线是:保证定向取心质量,满足水电工程地质勘测要求;打定向标记、测量孔斜和标记位置以及采集定向岩心在同一回次内完成,简化操作、提高工效;并尽量节省设备投资,降低制造成本,以利于推广应用。

2 SDQ - 91 型定向取心钻具的设计

2.1 钻具的设计要求

(1) 在一个钻进回次内完成定向和取心。

(2) 适用于中硬和坚硬、完整与微裂隙岩石的定向取心。

(3) 与水电工程地质钻探用的 $\varnothing 91$ mm 普通单动双管金刚石钻具的金刚石钻头、岩心卡簧、卡簧座等可以互换使用。

收稿日期 2003 - 04 - 30

基金项目: “九五”国家科技攻关项目(96 - 221 - 01 - 03)

作者简介 楼日新(1967 -) 浙江东阳人,国家电力公司成都勘测设计研究院四川准达岩土工程公司副总经理、高级工程师,勘察工程、地质工程专业,博士,从事岩土工程设计与施工工作,四川省成都市青羊区浣花北路1号(028)87399690, chidl.lrx@163.com; 吴光琳(1934 -) 江苏盐城人,成都理工大学教授,采矿工程专业,从事钻探和钻孔工程的教学和科研工作,四川省成都市二仙桥东三路一号(028)84078611。

(4)对常规使用岩心钻探设备无特殊要求。

(5)结构简单,操作方便,易损件少,经久耐用,造价低廉。

2.2 钻具的工作原理

定向取心器由传递钻压和扭矩的外管装置以及与外管不联动的、打定向标记和提断定向岩心的内管装置 2 部分组成(见图 1)。

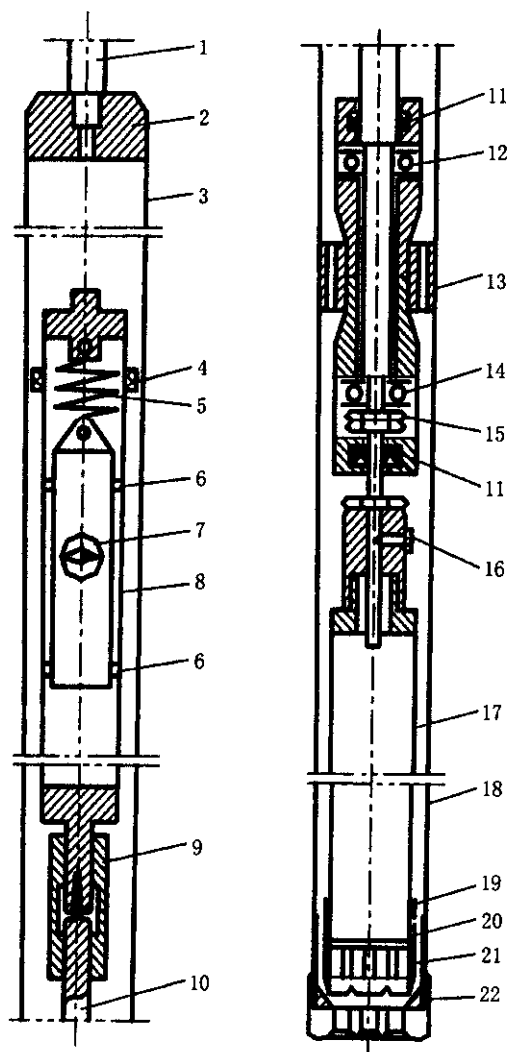


图1 SDQ-91 型定向取心器示意图

1—钻杆柱 2—异径接头 3—非磁外管 4—扶正器 5—弹簧 6—定向键 7—磁球仪 8—测量仪容纳管 9—定向接头 10—轴 11—密封圈 12—轴承 13—通水接头 14—轴承 15—调节螺母 16—定向螺钉 17—岩心管(半合管或无缝管) 18—外管 19—带刻刀内管导正环 20—卡簧座 21—带刻刀卡簧 22—钻头

钻压和扭矩经异径接头(2)、非磁外管(3)、通水接头(13)、外管(18)、钻头短接(或扩孔器)等传递到金刚石钻头(22),破碎岩石。

内管轴(10)通过推力滚动轴承安装在外管通水接头(13)上、下方的轴承座中以保证双管回转时

的单动性。测量仪容纳管(8)经定向接头(9)与内管轴(10)连接。内管(17)经螺纹和定向螺钉(16)连接在轴(10)上。内管下端开有定位槽,内管导正环上的刻刀(19)插入定位槽内,并突出于内管内壁。在岩心进入内管的过程中对岩心侧面刻痕,作为定向标记。导正环下方为卡簧座(20),卡簧座内设有 2 个防转销钉,分别插入内管定位槽和卡簧(21)的开口槽。卡簧内壁也焊有刻刀,在提断岩心时,卡簧收缩,刻刀对岩心根部刻痕作定向标记。由于定向接头(9)的定位棒、内管轴(10)上的定位螺钉、内管(17)下端的定位槽与测量仪起点线在同一母线上,因此可以测出定向标记方向。

冲洗液经非磁管(3)与测量仪容纳管(8)之间的环隙、通水接头(13)的孔道、内管和外管之间的环隙到达孔底,以排除岩粉和冷却钻头。

2.3 钻具的结构特点

(1)用侧面刻痕法作定向标记,并且将测量仪随钻置于内管上部,实现了钻进过程中刻痕,钻进结束时测量孔斜和定向标记位置,测量完毕后提断岩心起钻,在一个回次内完成定向取心各项工序。

(2)从测量仪到卡簧之间各零件的连接,采用了定位键、槽、销、棒和焊接方式,从而保证了拆装过程中不发生母线错位,避免了操作上的麻烦,提高了定向的准确性。

(3)配备出刃大小不同的 2 种刻刀作定向标记。内管导正环的刻刀出刃较大,用于 4~7 级中等硬度的岩心;卡簧上的刻刀出刃较小,用于 7~9 级坚硬的岩心。当岩心硬度超过 9 级和万一因刻刀磨损难以刻痕时,可以在退出岩心前,在卡簧座定位销和内管下端定位槽处的岩心根部,用色笔补作定向标记。因此,该钻具可用于除严重破碎外的各种岩层的定向取心,并能够保证高度的成功率。

(4)配备可以互换的无缝内管和半合内管。当岩心中断裂面发育、岩心比较破碎或岩心软硬交替时,可采用半合内管,避免退心时使岩心发生人为破碎或上下混乱。

(5)钻具结构简单,拆卸安装方便,轴承用盒式密封,工作可靠,使用寿命长。

3 SDQ-91 型随钻测量仪的选型与改进

3.1 测量仪选型论证

要在一个回次内完成定向取心的一切工序,就必须随钻测量孔斜和定向标记位置。要实现随钻测量,比较方便的一种方法就是在回次钻进末了、在不

提钻的情况下,从钻杆内下入仪器进行测量;另一种方法是在下钻之前将仪器置于钻具中,一起下入孔内,钻进完毕后测量。因为一般测斜仪器不能通过常用的 $\varnothing 50\text{ mm}$ 钻杆,所以前一方法无法采用,只好选择后一方法。为此,测量仪器应具有如下特点:

(1)在回次钻进中,测量仪置于孔内钻具内,会受到强烈的纵向振动、横向振动和冲击,因此必须具有良好的抗振性。

(2)测量仪必须既能测量钻孔顶角和方位角,又能测量定向标记刻痕的方位角,既可用于垂直孔,又可用于倾斜孔。

(3)测量仪应是结构简单,使用方便,性能可靠,读数准确。

(4)仪器成本低廉,利于推广使用。

重力加速度计和磁通门类测斜仪抗振性能好,但其成本太高,不利于在实际生产中推广,而一般磁针和重锤类测斜仪虽然售价便宜,但其抗振性能不能满足随钻测量的条件。经过综合对比,决定选用磁球定向测斜仪。

磁球定向测斜仪可同时测量钻孔的顶角、方位角和定向标记的方位角。它无轴承、顶尖和框架,结构简单,耐振性好,精度高,测程大,读数直观,操作方便。但是该仪器通常是用钻杆或钢绳连接探管下孔测量,未曾装在钻具内进行过随钻测量,因此需要采取措施提高其抗振能力和工作可靠性。经与中国地质科学院探矿工艺研究所商定,改用电子钟定时锁卡直读,并由我们进一步改善仪器的抗振能力。

3.2 仪器工作原理

3.2.1 钻孔顶角和方位角测量原理

该仪器的测量系统是应用 2 个同心球面上动点与静点在几何空间的经纬关系设计的,浮动偏重磁球为测量敏感元件。如图 2(a)所示,件(1)为内装高能磁性材料的光滑球体,磁球的重心位于其铅垂轴线的下部,磁球保持恒水平指向磁北。在磁球的最大水平圆周线上,均匀地刻有 $0^\circ \sim 360^\circ$ 方位读数,磁球的下表面上,均匀地刻有同心圆刻线,同心圆的圆心为磁球铅垂轴线的下端点 O' 。仪器底壳(2)为一透明体,其内表面最低处刻有一十字线,十字线的交点为 A' (即仪器轴线在球体表面上的穿刺点),可通过 A' 向上引一根与仪器轴线平行的定向标记线(母线)。磁球(1)与透明底壳(2)之间充满透明的悬浮润滑油。

当仪器垂直时(图 2a),磁球的纵轴线 OO' 与仪器轴线重合,此时顶角为零,无方位角,但是定向标

记线与某一方位读数重合,指出定向标记(刻痕)方位角。当仪器倾斜时(图 2b), AA' 与 OO' 相交成夹角, A' 重合于磁球下表面上某一点,此时 O' 与 A' 在磁球表面上的弧距(同心圆个数)即为顶角。在磁球表面上,通过读数器延伸 $O'A'$ 的连线至某一方位读数,即可读出方位角。同样,定向标记线指出定向标记方位角。

3.2.2 定时锁紧电路原理

如图 3 所示,接通电源后,32768 Hz 振荡器工作,后面的分频器、计数器均停止工作,处于预置状态。拨动预置拨盘可将所需定时时间赋予两个减数器。按动启动开关后,分频器、计数器开始工作,每分钟减一个数,直到两个计数器均为零时,“时间到”信号出现,控制器输出驱动信号,使马达转动,约 $10 \sim 20\text{ s}$ 后停止,锁紧机构锁紧磁球,此时又重新处于预置状态。按反转按钮,电流反向,马达反转,松开磁球。

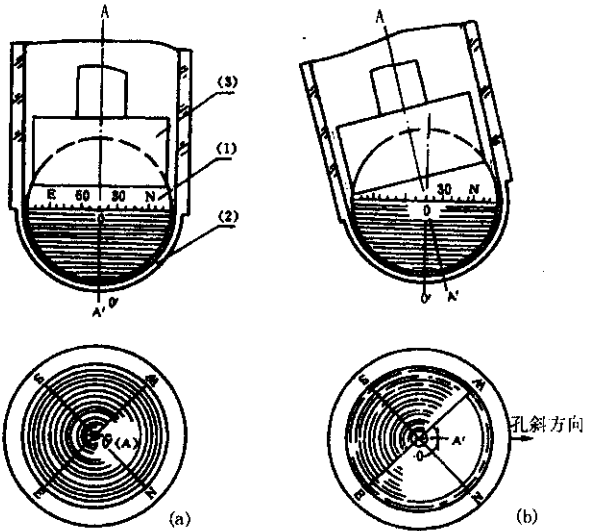


图 2 钻孔顶角和方位角测量原理

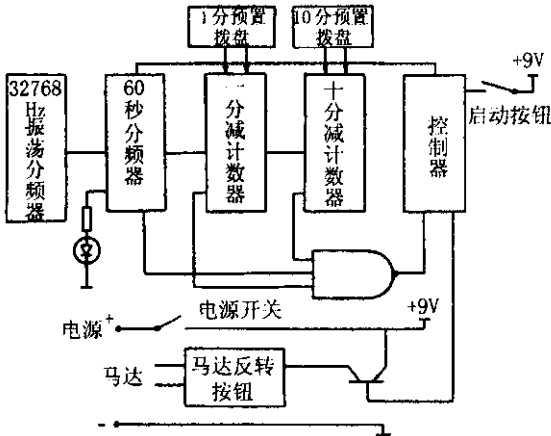


图 3 定时锁紧电路原理

3.2.3 刻痕方位角测量原理

刻刀安装在导正环和卡簧上,导正环、卡簧、卡簧座、内管、内管轴、测量仪容纳管之间皆通过销、键、槽、榫连接,保持它们之间都不会发生相对转动;测斜仪上有 2 个滑键与容纳管上的 2 个键槽相配合。这样,测斜仪与容纳管之间也不会发生相对转动,即测斜仪上定向红线位置与刻刀位置不变。

由于测斜仪的磁球部分与仪器外壳之间是螺纹连接,那么不同的测斜仪其定向红线与定向滑键方向可能不一致,因此要对读得的定向红线方位角进行修正后,才是刻痕的方位角。修正方法如下:如图 4 所示,装合角为 φ_0 。对于某一种测斜仪来说, φ_0 是一定的。可以通过测量弧长算出 φ_0 的角度。如果装合角为 φ_0 ,则刻痕方位角 α_K = 仪器红线方位角 + φ_0 ;如果装合角为 $-\varphi_0$,则刻痕方位角 α_K = 仪器红线方位角 - φ_0 (当钻孔顶角 $\theta < 10^\circ$ 时,刻痕方位角与仪器红线方位角的差值 $\alpha_0 \approx \varphi_0$)。

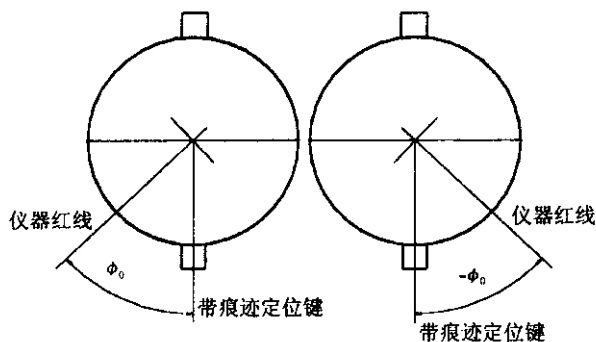


图 4 刻痕(定向标记)方位角的修正
(从磁球往滑键方向看)

3.3 仪器技术性能

- (1) 顶角测程 $0^\circ \sim 90^\circ$; 分度值 2° ; 误差 $\pm 0.5^\circ \sim 1^\circ$ 。
- (2) 方位角测程 $0^\circ \sim 360^\circ$; 分度值 5° ; 误差 $\pm 2^\circ$ 。
- (3) 环境温度: $-10 \sim 100^\circ\text{C}$ 。
- (4) 压力密封: $\leq 10\text{ MPa}$ 。
- (5) 定时器: 工作时间最短 1 min, 最长 99 min, 每 1 min 一档, 时差 $\pm 1\text{ s}$ 。
- (6) 仪器外径 32 mm。

3.4 非磁外管设计

3.4.1 非磁外管材料的选择

非磁外管的作用是隔断上部钻杆柱与下部岩心定向钻具被地磁场磁化后对磁球定向的干扰,从而保证测量数据准确可靠。非磁外管通常采用非磁性铁合金,如蒙乃尔合金、铬镍合金、铬镍锰合金、铬锰

合金等。对于定向测量用的非磁性钢材,要求具有一定的机械强度,其机械性能应当接近 DZ-40、DZ-50 等钢材。另外非磁外管的磁导率越小越好,通常 $\mu < 1.05$,即可满足定向测量要求。

由于非磁外管含镍量较高,所以售价远高于普通钢材。考虑到节约成本等因素,本设计选用 1Cr18Ni9Ti,其磁导率合乎要求,其机械性能稍低于 DZ-40、DZ-50 等钢材,故采用壁厚为 6.5 mm 的非磁外管,以弥补其不足。这样,在性能上即可完全满足要求。

3.4.2 非磁外管长度的计算

磁球到磁极的非磁外管长度可按式计算:

$$S = \sqrt{\frac{m \sin \theta \sin \alpha}{\text{tg} E (H_m - H_s \cos \alpha)}} \quad (1)$$

式中: S ——磁球到磁极的非磁外管长度, cm; m ——磁极强度, 电磁单位; θ ——钻孔顶角 ($^\circ$); α ——钻孔方位角 ($^\circ$); E ——磁球偏斜方位角, 其最大偏转误差取 0.8° ; H_m ——地球磁场水平分强度, 奥斯特 (1 奥斯特 = 10^6 伽马); H_s ——钻柱磁场水平分强度, 奥斯特。

取 $\alpha = 90^\circ$, $\theta = 60^\circ$, $H_m = 34600$ 伽马, $m = 1000$ 电磁单位, 则 $S = 147\text{ cm}$ 。

设上部钻杆柱与下部岩心定向钻具磁极强度相同, 磁球位于两极之间, 则非磁外管全长度:

$$M = 2S = 294\text{ cm}$$

考虑到管子两端丝扣部分的长度, 故取非磁外管长度为 3 m。

3.5 减振装置设计

由于测量仪处于孔内十分恶劣的条件下工作, 受有强烈的纵向、横向振动和冲击, 因此必须采取减振措施, 以延长其使用寿命。

3.5.1 纵向减振弹簧的设计

纵向减振采用拉力弹簧, 将测量仪用弹簧悬吊在容纳管中。

根据测量仪质量和钻具回转速度 (600 r/min), 利用简谐运动方程, 确定出弹簧刚度 (0.507 N/mm), 然后根据求得的弹簧刚度及圆柱螺旋弹簧计算公式, 确定出弹簧丝径 ($\varnothing 2\text{ mm}$)、工作圈数 ($n = 26$) 和其它几何参数。弹簧材料选用无磁性钢材 1Cr18Ni9Ti。

3.5.2 横向减振橡胶的设计

容纳管与非磁外管、测量仪与容纳管之间均设置橡胶减振环进行横向减振。横向减振原理与纵向减振相同。根据前面确定的弹簧刚度为 0.507 N/

mm, 选定橡胶的邵氏硬度为 65 ~ 70。两者弹性大致相当。减振环壁厚为 3 mm, 高度为 20 mm。

3.6 岩心定向参数的测取

由测斜仪可以读得测量孔段的顶角 θ 、方位角 α 和刻痕方位角 α_k 。而层面(或断裂面)椭圆长轴的终点角(即层面椭圆长轴方向面与钻孔轴线方向面的夹角) φ , 以及钻孔遇层角(即层面椭圆长轴与钻孔轴线的夹角) δ , 则需在定向岩心柱上另行测定。方法如下:

(1) 将岩心柱直立在桌面上, 如图 5 所示。注意代表下部层位的岩心部分在下方。

(2) 用游标卡尺或借助卡规, 量取岩心直径 d 。

(3) 在岩心表面上, 用色笔过层面椭圆最低点 A 画岩心正横断面的圆周线 $ADECA$ 。

(4) 量取层面椭圆最高点 B 至圆周线 $ADECA$ 的距离 $BC = h$, 则 $\delta = \text{tg}^{-1}(d/h)$ 。

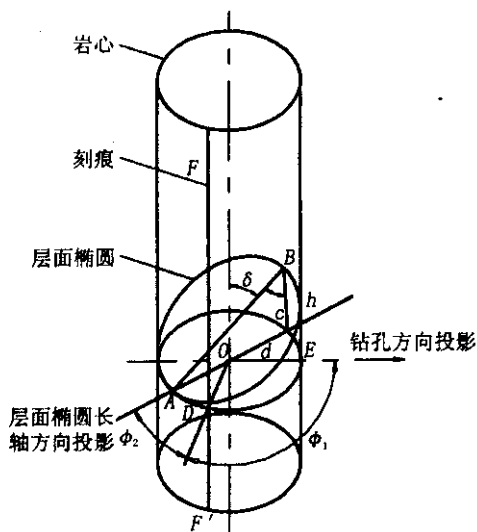


图 5 测取定向参数图

(5) D 点是刻痕与圆周线 $ADECA$ 的交点。在圆周线 $ADECA$ 上, 用钢卷尺测取由 D 点沿顺时针方向到 A 点的弧长 DA 则:

$$\varphi_2 = \frac{2DA}{d} \times \frac{180^\circ}{\pi}$$

(6) 计算 φ_1 :

$$\varphi_1 = \text{tg}^{-1} \frac{\text{tg}(\alpha_k - \alpha)}{\cos \theta} \quad (2)$$

式中符号同前, 当 $\theta < 10^\circ$ 时 $\varphi_1 \approx \alpha_k - \alpha$ 。

(7) 计算 φ :

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 \quad (3)$$

4 结语

在两年半时间内, 经过调研、确定技术方案、进行器具设计、加工制造、现场试验、以及数据处理微机软件研究等一系列工作, 完成了 SDQ-91 型随钻测量定向取心钻具的研制任务, 并且达到了预定的各项技术经济指标。主要成果有:

(1) 定向取心器。适用于 $\varnothing 91$ mm 以上的钻孔直径、 $0 \sim 90^\circ$ 的钻孔顶角和 300 m 以内的孔深。可在 4 级以上的完整和微裂隙岩石中取得合格的定向岩心。在同一回次中完成各项定向取心工序。

(2) 随钻测量仪。适用于顶角 $0 \sim 90^\circ$ 、方位角为 $0 \sim 360^\circ$ 的钻孔。定向标记位置角为 $0 \sim 360^\circ$ 。测量精度顶角为 $\pm(0.5^\circ \sim 1^\circ)$, 方位角和定向标记位置角为 $\pm 2^\circ$ 。耐压能力 > 6 MPa, 抗振能力可适应 500 ~ 600 r/min 的钻具转速。

(3) 微机软件包。具有数学计算和作图求解岩层层面和断裂面产状的功能, 计算和作图结果即刻在屏幕上显示; 以及岩心定向数据库功能, 可随时查阅和调用岩心定向数值。

(4) 定向取心操作规范。包括准备工作、下钻、钻进、提钻、取出定向岩心、测定层面和断裂面岩心定向参数并求解产状、以及保存和维护定向取心器具等操作要求。

使用该项岩心定向技术, 可以实现随钻测量, 在一个回次内完成定向取心各种工序, 简化了操作, 节约了工时; 同时有计算机软件作图求解和计算岩层层面和断裂面产状, 存储岩心定向数据, 提供信息迅速, 查阅资料方便。与“八五”定向取心项目相比, 此项研究成果不但在技术上前进了一步, 而且在经济效益上也更加明显, 因此可望有比较好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 吴光琳, 齐瑞忱, 胥建华, 等. YDX-1 型岩心定向器的研制和应用[J]. 探矿工程, 1997(5).
- [2] 季米特拉雪克 A. И., 等. 用 КГДГ 定向取心器采取定向岩心[J]. 丁方维译. 国外探矿工程情报, 1988(4).
- [3] 马克新. YCO-II 型岩心定向钻具的工作原理及应用[J]. 地质与勘探, 1999(2).
- [4] 吴光琳. 利用定向岩心确定地下岩层产状的方法[J]. 成都地质学院学报, 1984(4).
- [5] 汤国起, 季伟峰. 非磁性钻杆在钻孔定向和测斜中的应用[J]. 探矿工程, 1985(6).
- [6] Schmitz D. et al. Core orientation in the KTB pilot well[J]. Scientific Drilling, 1989(3).