

# 钻 进 工 艺

(之三)

——钻孔的弯曲和测量



钻孔施工过程中，往往会发生不同程度的弯曲，通常也叫孔斜。钻孔弯曲就是指钻孔在施工过程中偏离了原设计方向。也就是说，钻孔的顶角和方位角均发生了变化。顶角即钻孔轴心线与垂直线之间的夹角，它与设计钻孔的倾角(开孔角度)之和等于 $90^\circ$ 。顶角的变化用顶角弯曲度来表示：

$$J_{\theta L} = \frac{\Delta\theta}{L};$$

$J_{\theta L}$ ——顶角弯曲度，度/米；

$\Delta\theta$ ——孔段长 $L$ 的顶角变化量，度；

$L$ ——孔段长，米。

方位角是指钻孔轴心线在水平面上的投影与磁北方向之间的夹角。按顺时针方向度量。方位角的变化用方位角弯曲度来表示：

$$J_{\alpha L} = \frac{\Delta\alpha}{L};$$

$J_{\alpha L}$ ——方位角弯曲度，度/米；

$\Delta\alpha$ ——孔段长 $L$ 的方位角变化量，度。

这里指的孔段长也就是测点间距。按照现行岩心钻探规程规定：一般斜孔测点间距为50米；直孔测点间距为100米。根据具体情况也可以缩短测点间距。

## 一、钻孔弯曲的原因

不论是人造金刚石或天然金刚石钻进，钻孔的弯曲程度比合金钻进或钢粒钻进都轻得多。但在目前技术条件下，要完全防止钻

是有限的。故然 $\text{Th}^{4+}\text{Ca}^{2+} \rightarrow 2\text{Ce}^{3+}$ 的置换方式有利，但由于 $\text{CaO}$ 含量一般不足形成富钍独居石。 $\text{Ce}^{4+}$ 与 $\text{Fe}^{2+}$ 通常是不共存的，镜下虽可见到赤铁矿化，但 $\text{Fe}^{3+}$ 可能是 $\text{Fe}^{2+}$ 氧化的结果。

综上所述，可以确认网顶石是独居石族矿物的一个新变种。这一矿物的发现与确认，为稀土矿物学增添了新的内容，对祖国稀土矿物资源的研究是具有一定经济和理论意义的。

网顶石(Wandinite) 因产于网顶山而定名。

### 主要参考文献

[1] 冯连顺等，网顶石——一个富含钍磷酸盐类的新矿物，《中国地质学会一九六二年年会论文摘要汇编(第二册)》，1962

[2] 郭承基，《稀土矿物化学》，中国工业出版社，1963

[3] 中国科学院贵阳地球化学研究所，《稀有元素矿物鉴定手册》，科学出版社，1972

[4] 地质科学研究院地质矿产所稀有组，《稀土矿物鉴定手册》，地质出版社，1973

[5] Т.А. Сидоренко，《Рентгенографический определитель урановых и ураносодержащих минералов》，Госгеолтехиздат, 1960

[6] Е.И. Семенов，《Минералогия редких земель》，Изд.АН СССР, 1963

[7] ИМГРЭ АН СССР 《Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов》，том 2, Изд. "Наука"

[8] И.Д. Борнеман-старынкевич，《Руководство по расчету формул минералов》，Изд. "Наука"

孔弯曲还不可能。引起钻孔弯曲的原因是多方面的，这里只着重谈谈金刚石钻进时造成钻孔弯曲的主要原因。

(一) 地质方面的原因

对金刚石钻进来说，岩石的各向异性是促使钻孔弯曲的主要原因之一。曾经做过这样的实验，将金刚石钻头轴线与层状岩石的层面成 $90^\circ$ 、 $45^\circ$ 和 $0^\circ$ 进行钻进（图1），这三个方向的机械钻速差别很大（见表1），其比值为 $1:0.67:0.57$ 。这说明岩石在不同方向上的机械性能是不一样的。

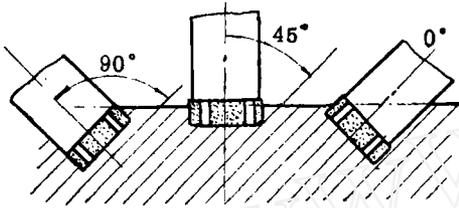


图 1

表 1

岩 石	钻 头 与 岩 层 层 面 交 角		
	$90^\circ$	$45^\circ$	$0^\circ$
Ⅺ~Ⅻ级石英岩	8.62	5.90	5.00
Ⅸ级石英石灰质泥页岩	11.10	7.35	6.35

岩石的各向异性对钻孔弯曲的影响表现为破碎穴与应力不同心。如图2a所示，在单向集中载荷作用下，力的方向垂直于岩层

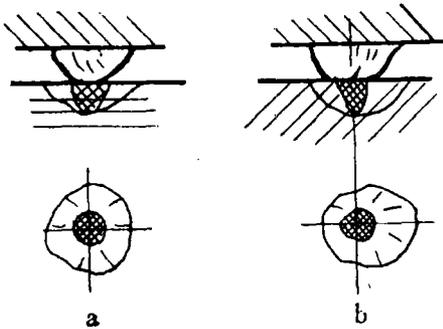


图 2

面，此时破碎穴中心与应力中心重合；图2b所示为作用力的方向与岩石层面之间形成交角，则破碎穴中心偏离了应力中心。这种情况，反映在孔底

上即为破碎不均匀(图3)，垂直层面方向破碎得多些，从而导致钻头向一边位移，粗径钻具轴心线偏离钻孔轴心线，最终使钻孔偏向垂直于岩石层面的方向发生弯曲。

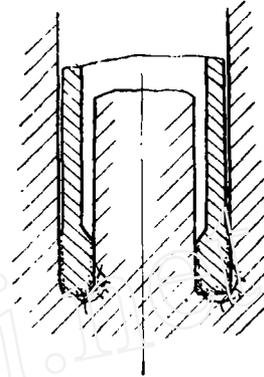


图 3

在层状岩层中钻进，当钻孔与岩层斜交时，钻头顺层刻取岩石的一面阻力小，逆层刻取岩石的一面阻力大。如图4，A处的金刚石顺层刻取岩石，B处的金刚石逆层刻取岩石，阻力N大于阻力P，钻孔将逐渐向着垂

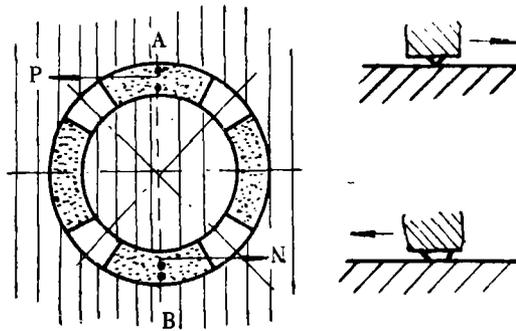


图 4

直于岩层层面的方向发生弯曲。当钻孔与岩层走向交角较大时，由于岩石各向异性的影响，也就是说岩石垂直于层理面方向的抗压强度小于顺层理面方向的抗压强度，钻头就会偏向抵抗力小的方向即垂直层理面的方向发生弯曲。

钻孔由软岩层钻进到硬岩层时，也易发生弯曲。当钻孔以较小的角度与坚硬岩石的

层面相遇时，钻孔往往会顺层下滑发生弯

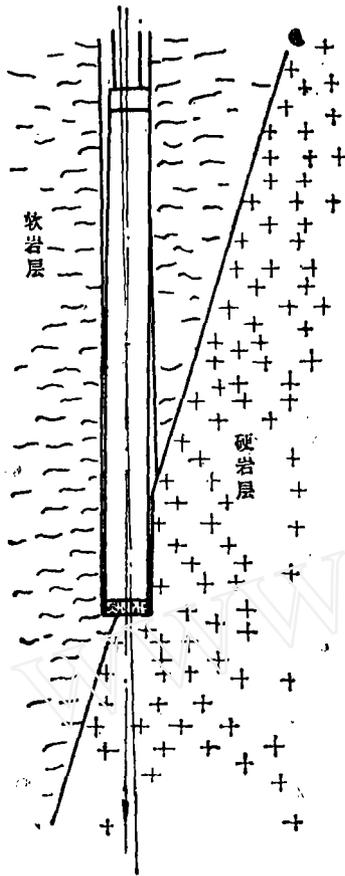


图 5

曲(图5)，如果钻孔以较大的交角与坚硬岩石的层面相遇，由于坚硬岩层难于破碎，使钻头与坚硬岩层接触的一边受到较大的抵抗力，粗径钻具发生歪斜的倾向，钻孔就逐渐向着坚硬岩层方向偏斜(图6)。

应该指出，由于金刚石钻进孔径小，钻速

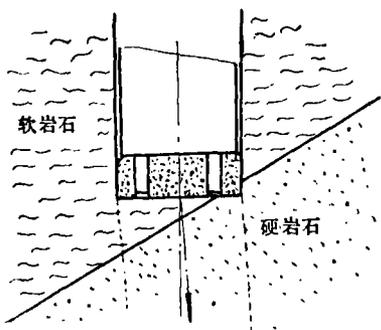


图 6

高，很快便钻进硬岩层，所以，这种原因造成钻孔弯曲不甚显著。

金刚石钻进中，钻孔遇到裂隙、砾石、溶洞、断层、破碎带等时都会发生弯曲。弯

曲情况与弯曲规律与合金钻进或钢粒钻进类似，不再重述。

## (二) 技术方面的原因

一般来说，孔壁间隙和粗径钻具的长度对钻孔弯曲程度有很大影响。金刚石钻进由于孔壁间隙很小，因而孔壁间隙与粗径钻具长度的比值也很小，促使钻孔弯曲的倾向也就小一些。但是，金刚石钻进用的粗径钻具直径较小，管壁较薄，因而刚性较差，在过大的轴心压力作用下可能产生纵向弯曲，也会促使钻孔发生偏斜。

粗径钻具上下两端与孔壁的摩擦阻力不一样也是造成钻孔弯曲的原因。正常钻进时，钻具是向右回转的，若粗径钻具上端摩擦阻力大，钻孔易向左弯曲；下端摩擦阻力大，则钻孔易向右弯曲。这种摩擦阻力的大小取决于所用扩孔器类型、岩石性质、轴心压力大小等因素。

其它如设计钻孔倾角的大小、钻机回转器安装角度不正、基台安装不平不稳固、孔口管下的不正不牢、粗径钻具过短或弯曲、钻进时轴心压力过大、扩孔或换径时没用导向管以及钻进易被冲溃的岩层时冲洗液量过大等等都会导致钻孔发生弯曲。

由于金刚石钻进钻具回转时几乎无摆动，钻头层面上磨料分布均匀(相对于硬合金或钻粒而言)，而且在硬岩中钻进速度快，所以金刚石钻进钻孔弯曲程度均比合金钻进或钻粒钻进的钻孔弯曲程度小。

以上所述，只是钻孔弯曲的一般原因。实际上，引起钻孔弯曲的原因是多方面的。有些因素可能互相抵销，而有些因素则可能同时起作用，这就要求我们对具体情况作具体分析。毛主席教导说：“我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”钻孔弯曲，这是钻头空间运动的一种表现形式。运动取一定形式必然受一定力的作用。所以分析钻孔弯

曲的原因最根本的是要综合分析孔内钻具在钻进过程中的受力情况。只有抓住了这一实质，才能找出钻孔弯曲的原因，总结出钻孔弯曲的规律。掌握了钻孔弯曲规律就可以采取措施预防钻孔弯曲；或利用钻孔弯曲规律进行定向钻进。

## 二、钻孔弯曲的预防

钻孔发生弯曲不但满足不了地质设计要求，而且给施工带来困难。如勘探非层状矿床时，钻孔弯曲会把矿体打丢；勘探层状矿体时，钻孔弯曲则会曲解矿体厚度和埋深；钻孔弯曲，偏离了勘探线，使控矿间距缩短或增加等可影响到储量的计算，致使对矿床的勘探作出不正确的评价。在施工过程中，钻孔发生弯曲，不但升降钻具、上下套管受阻，而且钻具的回转消耗动力大，加剧钻具与设备的磨损，破坏孔壁，易发生断钻、卡钻等等事故，影响钻进效率。因此，一个钻孔的弯曲程度若超过了规定范围，这个钻孔就要部分或全部报废，既浪费人力、物力，还延误勘探任务。

金刚石钻进时尽管钻孔弯曲程度比其他钻进方法来小，但仍须十分注意钻孔弯曲的预防工作。

首先，钻探施工部门和地质设计部门要互相协作，改变过去那种地质人员只管“划圈圈”（定孔位），钻探工人只管打钻的做法，共同根据钻孔弯曲规律进行合理的布孔设计，或利用钻孔弯曲规律设计定向钻孔，使终孔位置尽可能接近预定的见矿点，以满足地质设计要求。

其次，必须认真做好开孔的准备工作，如机场地盘要平整、稳固，钻机回转器定位准确，孔口管要下正、固定要牢靠等。特别是在第四纪复盖层中开孔，由于地层软，开孔钻进的一瞬间就可进尺几至十几米，如不认真对待，往往容易出现开孔偏斜现象。一

旦发生开孔偏斜，随着孔深的增加，由于弯曲度的递增，则终孔位置偏离勘探线也就越远。

第三，实践证明，加长粗径钻具长度有利于防止钻孔弯曲，但由于金刚石钻进取心钻具口径小、管壁薄，长度大则刚性差，所以须根据不同的岩层、孔深、孔径以及采用的钻进参数来合理地选配取心钻具的长度，一般以3~5米为宜。

其他如换径或扩孔时要加导向管，复杂地层钻进（如遇空洞等）时，要选择合理钻进规程，以及各种防斜扶正器的运用等防斜措施，这里就不详细介绍了。

## 三、钻孔弯曲的测量

钻孔弯曲测量也叫测斜，就是按规定的间距测量钻孔的方位角和顶角。有关测点间距以及测斜应注意的事项，目前生产上都有具体规定，这里着重谈谈几种小口径测斜仪。

自大力推广小口径钻进以来，有关单位都在研制小口径测斜仪：如湖南冶金地质勘探公司二四六队研制成功的感光测斜仪、上海地质仪器厂试制的JXX—1型测斜仪和云南省地质局九队改装的42毫米小口径测斜仪。这三种测斜仪都是用磁针来测方位，用重锤原理来测顶角，因此只能用于非磁性矿区。上海地质仪器厂生产的JXK—2型小口径测斜仪，在磁性矿区和非磁性矿区都可以用。

JXX—1型仪器的测斜原理是把非电量（方位角、顶角）转换为电量（电阻），再由电量（电阻）转换为非电量（面板刻度盘上的角度值）。仪器的结构是由地表箱、井下仪器及钢丝绳绞车等组成。地表箱内有两组平衡电桥构成测量线路，地表箱的面板上则装有刻度盘等。井下仪器由测量系统、控制系统及电源等组成。控制系统由一套可控

晶体管延时线路通过继电器控制直流微型电机的正反转,以达到控制顶角、方位角测量系统的“锁紧”或“自由”状态。仪器下井时,测量系统处于锁紧状态(由调好的延时线路控制),当下到测点位置后,晶体管延时线路使继电器接通,微型电机反转,测量系统即从锁紧状态转到自由状态,此时即可进行顶角和方位角的测量。测量时延时2分钟,待顶角指针和方位角指针都稳定后,测量系统再从自由状态转到锁紧状态,以便仪器升至地表后,测定其数值的大小。测量操作时,仪器是用钢丝绳吊下井的,下至预定测点进行测量完毕后,升至地表,再将仪器与地表箱用电缆接通,在面板的刻度盘上即可读出所测顶角与方位角的度数。

云南省地质局九队改装的42毫米小口径测斜仪,经孔内试测,测量精度完全达到规定要求。其结构原理与上海地质仪器厂生产的JJX—3型测斜仪基本相同。

感光测斜仪的特点是采用感光显影直接记录罗盘磁针和倾角指针的影象,测斜结果相当可靠。它与目前常用的包氏仪比较,具有较大的优越性:应用晶体管延时开关比钟表装置简单而准确;不用机械顶卡装置可避免震动,消除机械误差;直接用感光显影记录方位和倾角,避免视读误差;结构小巧

轻便,目前已用于46毫米小口径钻孔,使用效果良好。有关感光测斜仪的原理、构造详见《地质与勘探》1975年第3期。

JXK—2型测斜仪原理与JXC—1型磁性钻孔测斜仪相同,采用非电量电测法,用三芯电缆下入孔内,可作多点测量。仪器由井下部分和地面控制箱组成。井下部分包括上仪器、下仪器 and 定向测具三部分。上仪器内有终点角测量系统及磁针灵敏系统;下仪器内除有终点角测量系统外,还有顶角测量系统。仪器的测量原理是这样的:将测点的顶角、方位角和终点角转变为电阻值,经过地面控制箱内电桥平衡,可直读出测点的顶角、方位角,顶角的测量是通过两个重锤灵敏系统来完成的(这和一般测斜仪相同);方位角的测量有两个机构,在非磁性矿区,钻孔的方位角测量是通过磁针灵敏系统来完成;在磁性矿区则靠连环测量原理,即先测出上仪器的终点角,然后测出相距25米的下仪器终点角,通过公式计算即可得出该孔段的方位角增量。该仪器的特点是:终点角测量系统用浮筒式结构,浮筒浸在油中,减小测量系统上下轴承的摩擦力,测量精度高,且不易损坏,控制状态转换采用电机凸轮机构,使用方便可靠。测斜仪的技术性能如表2。

表2

技 术 性 能	测 斜 仪 名 称 ( 型 号 )		
	感光测斜仪	JXX—1	JXK—2
1. 顶 角: 1) 测量范围	—	0~45°	0~50°
2) 测量误差	—	±30'	±30'
3) 分度值	2°	—	—
2. 方位角: 1) 测量误差	—	当顶角大于3°时 < ±4°	当顶角大于3°时 < ±4°
2) 分度值	2°	—	—
3. 终点角: 1) 测量误差	—	—	当顶角大于5°时 < ±1°
2) 测量范围	—	—	0~360°
4. 下井仪器允许承受最大液体压力, 公斤/厘米 <sup>2</sup>	—	150	150
5. 下井方法	钢丝绳或钻杆	φ2.5 钢丝绳	电 缆
6. 测量方法	点 测	点 测	任意多点点测
7. 状态控制方法	晶体管延时线	晶体管延时线路控制电机正反转	直流电机正反转控制机构
8. 定时范围, 分钟	—	3~20' 共9个挡	—
9. 允许最高工作温度	—	—	60°C
10. 电 源	直流6V.	直流15V. 6V.	直流67.5V. 9V.
11. 测井电缆抗拉强度, 吨	—	—	4~0.6
12. 井下仪器外径, 毫米	—	φ40	φ40
13. 定向测具外径, 毫米	—	—	φ34