

铲子坪金矿区钻孔严重 弯曲的力学机制定性分析

赵代珍

(湖南省地质矿产局407队)

文章介绍了施工区地质概况;总结了钻孔弯曲规律和治斜效果;从力学观点分析了钻孔方位角和顶角变化的原因;提出了硬岩钻进的工作方法和防斜措施。

关键词: 蚀变破碎带; 钻孔弯曲规律; 力学机制定性分析

地质概况

黔阳铲子坪金矿,属构造破碎带蚀变岩型金矿。矿区地层主要有震旦系下统江口组第1、2段和板溪群马底驿组。钻探通过的地层主要为灰绿—黄绿色含砾砂质板岩、粉砂质绢云母板岩、变质长石石英砂岩、变质砂岩、变质含砾砂岩夹变质砂砾岩透镜体。岩石多具变余结构或鳞片变晶结构,板状或层状构造。板理不很发育,但片理和微裂隙发育。产状较稳定,走向 $10\sim 40^\circ$,倾向 $280\sim 310^\circ$,倾角 $40\sim 60^\circ$,个别 70° 以上。

地层中经常可见顺层石英脉,呈单脉或复脉形式出现,厚几到几十厘米,也有达数十米的。这些石英脉或复脉致密坚硬,可钻性9~10级,研磨性强。

蚀变破碎带走向北西—南东,倾向 210° ,倾角 85° 左右,呈舒缓波状,局部倒转,全长近6km,宽2~15m,一般宽5~7m。因此准确掌握钻孔顶角和方位角才可能命中靶区。故地质设计钻孔一般顶角 15° ,方位角 30° 。

蚀变破碎带的岩性十分复杂。蚀变类型主要有硅化、黄铁矿化、毒砂化和退色化等,其中以硅化最具有特征性。硅化又可以分为强硅化(可钻性11~12级),中等硅化(可钻性9~10级)和弱硅化(可钻性7~8级)。

钻探施工概况

1. 施工设计及效果

钻孔施工设计是:勘探线方位 $30\sim 210^\circ$,与岩层走向接近平行;垂直或近于垂直含矿蚀变破碎带;钻孔顶角 15° ,方位角 30° ,穿矿厚度20~40m。原则上依勘探线由浅至深施工,偏离勘探线不应大于5m。

1987年1台钻机施工,配用XY—2型、XU600—3型、XY—4型钻机各1台;BW250/50型水泵2台,BW200型水泵1台。采用 $\phi 76$ 金刚石及 $\phi 75$ 合金混合钻进,清水洗井。从4月上钻到11月底共施工8个孔,完工6个。其中4个I类孔,2个II类孔,完成进尺1583m,报废163m。

1988年有两台钻机施工,任务为3500m,结果虽无报废进尺,但钻孔弯曲仍然严重。经两年来的钻探实践,证明存在两大难题,即:

(1) 钻孔通过含矿蚀变破碎带时,由于硬岩厚度大、进尺慢、效率低,钻头消耗大,成本高。

(2) 钻孔严重弯曲,尤其是方位角顺时针增大,严重影响钻探质量,甚至报废。

2. 钻孔弯曲规律

(1) 在0~50m之间,约有92%的钻孔顶角上漂 $0.5\sim 2.5^\circ$;约有45%钻孔的方

位角顺时针增大 $2\sim 13^\circ$ ，约有36%的钻孔，方位角逆时针减小 $0.4\sim 15^\circ$ ，保持原方位不变的仅有18.18%的钻孔。

(2) 在50~100m之间，近73%的钻孔顶角下垂 $0.8\sim 3.5^\circ$ ，18%的钻孔顶角上漂 $1\sim 1.5^\circ$ ，只有一个钻孔(占9%)顶角保持不变;91%的钻孔方位角顺时针增大 $1\sim 25^\circ$ ，9%的钻孔顶角变小。

(3) 在100~150m之间，67%的钻孔顶角变小 $0.5\sim 4.3^\circ$ ，22%的钻孔顶角稳定，11%的钻孔顶角顺时针增大 $4\sim 25^\circ$ ，约11%的钻孔逆时针变小 6° 。

(4) 在150~200m之间，50%的钻孔顶角上漂 $0.5\sim 1.5^\circ$ ，33%的钻孔顶角保持稳定，17%的钻孔顶角下垂 3° ；全部钻孔的方位角都顺时针增大 $9\sim 27^\circ$ 。

(5) 在200~250m之间，50%的钻孔顶角上漂 $0.2\sim 1.5^\circ$ ，33%的钻孔顶角保持稳定；全部钻孔的方位角都顺时针增大 $7\sim 18^\circ$ 。

(6) 在250~300m之间，全部钻孔顶角上漂 $0.5\sim 9.5^\circ$ ；全部钻孔方位角顺时针增大 $16\sim 28^\circ$ 。

(7) 在300~350m之间，所有钻孔的顶角都增大 $0.5\sim 5.5^\circ$ ；方位角顺时针增大 $9\sim 10^\circ$ 。

(8) 最大顶角 31.3° ，最小 6.7° 。

(9) 据实测资料，可得出设计顶角与实际顶角关系图(图1)和钻孔轴线水平投影图(图2)。

从图1可知，孔深50m以内，顶角上漂；超过50m，顶角下垂的占45%，上漂的占48%，两者相差不多，而顶角不变的仅占6.67%。顶角上漂者，可以提前见矿，减少穿矿层的假厚度，但顶角下垂，则穿矿层的假厚度增大。因此，必须防止顶角下垂。

由图2可见，各孔的轴线水平投影为同方向(顺时针)，而不同曲率的一束抛物线(或似抛物线)。孔越深，抛物线越完善，跨度也较宽，变化也越大，越接近 120° 方向，

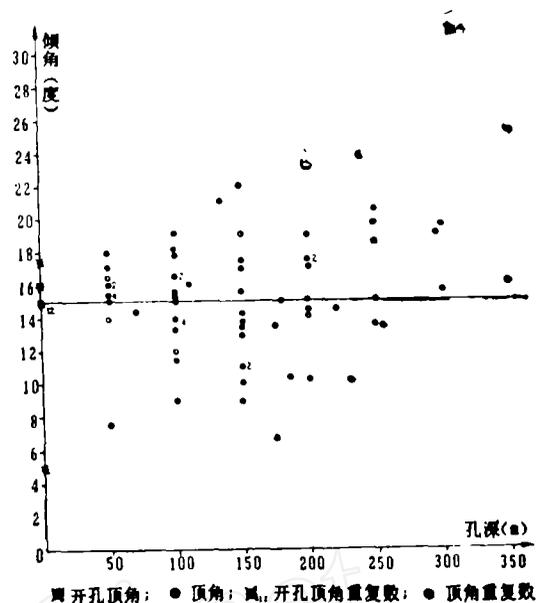


图1 部分钻孔设计与实际顶角关系图

(图中横线为设计的倾角线)

即岩层倾向的反方向。这个方向与设计方向垂直，与含矿破碎带的走向近于平行，致使钻孔远离靶区或不能穿过矿体。

钻孔弯曲的临界值(遇层角)约为 20° ，极限值为 $100\sim 130^\circ$ 。

3. 防斜治斜情况

自1987年即发现钻孔严重弯曲，孔深超过250m为硬岩(含矿蚀变带)，钻进效率低，穿矿困难。故当年就成立了专题小组，对钻头造型、唇面处理，钻孔初级定向，钻进参数等进行研究，虽取得了一定成效，但未能解决根本问题。具体情况如下：

(1) 初级定向：原钻孔设计方位均为 30° ，在初步掌握方位角按顺时针方向偏斜的规律后，根据孔深及地层特点，适当减少开孔方位角，对顺利打到靶区有较好作用。

(2) 冲击回转钻进：为了对付硬岩层及防斜、保直，使用了Y2-73型冲击器，经在3个孔部分孔段使用，技术经济指标有所提高，但防斜、保直效果不明显。

(3) 纠斜：1987年使用本队自制的重

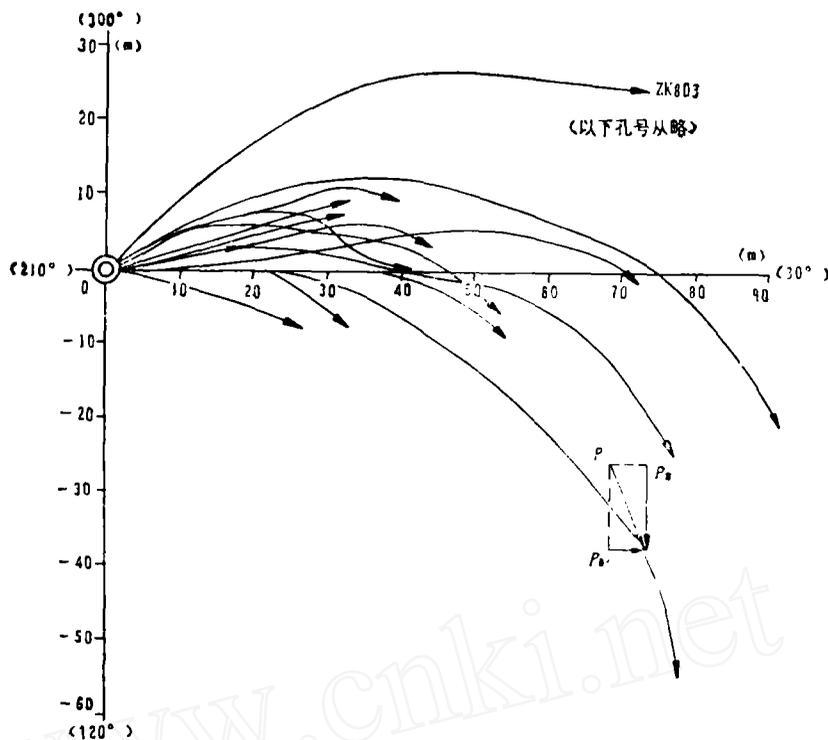


图 2 部分钻孔轴线水平投影及受力关系图

锤自动定向活动式纠斜器,在ZK301孔和802孔共纠斜7次(其中1次失败),每次纠正方位 2° 左右,加上保持孔段,实际减少方位偏斜 5° 左右。另外还用反转钻进纠正方位角,因效果不够理想,难下定论。

1988年,除采用过去行之有效的防治斜方法外,主要采用螺杆钻受控定向钻探技术及液动冲击回转钻探技术。螺杆钻及其配套的单点定向技术,取得了良好效果。同时采取小径造斜、大径扩孔、大径正常钻进交替进行的办法。实践证明这套综合技术是治斜的有效途径,并用微机完成繁琐的计算。但在8级以上的硬岩钻进中,螺杆钻就不太适用了。

钻孔严重弯曲的力学机 制定性分析

笔者认为本区钻孔严重弯曲主要是地质

因素造成的,钻进工艺是次要的。

矿区有两个性质迥异的地质体,一为江口组1、2段地层;一为含矿硅化破碎带。现从力学观点探讨钻孔严重弯曲的原因。

1. 江口组1、2段地层

设计钻孔轴线几乎平行于江口组地层走向线,岩层倾角 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$,岩性为板岩与砂岩(或砂砾岩)互层,软硬不均。钻孔轴线遇层角小,钻头受力不均。

(1) 风化带中的钻孔弯曲原因:在 $0\sim 50\text{m}$ 风化带范围内,钻孔顶角上漂,是因为所有钻孔都是 75° 的斜孔。由地表往下可以分为强、中、弱三种风化带,可钻性分别为1~2级、2~3级和3~4级(图3)。钻孔由软岩往硬岩层钻进,钻头最高点为软岩层,最底点为硬岩层。在软岩中钻进,岩性不能起导向作用,且易破碎形成“龟背”(图4a)或反“龟背”面(图4b)。这种面产生 $F_{\text{阻}}$,使钻头往软岩方面靠,导致顶角上漂。

如为直孔，此现象可减少，在0~50m范围内增大顶角（上漂）并非普遍规律，只在打斜孔时才明显表现出来。然而，由于岩石可钻性级别低，软硬相差不多，对方位影响不明显，有的增大，有的减小或不变，多受主动钻杆制约，钻进工艺和操作也有较大影响。

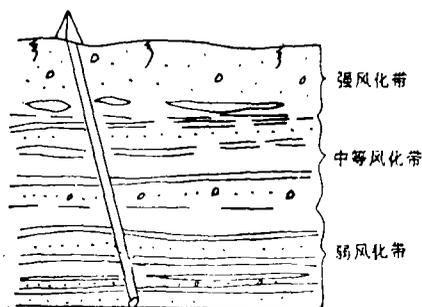


图3 钻孔穿过强、中、弱风化带示意

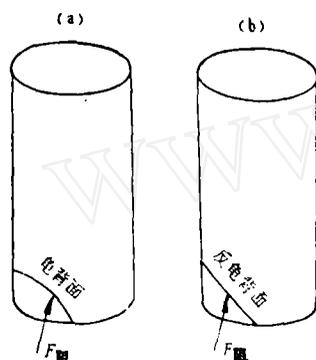


图4

(a) 岩心破碎形成龟背面；(b) 岩心破碎形成反龟背面

(2) 原生带中钻孔弯曲的原因：在ZK1102孔中，对江口组的灰绿色变质含砾砂岩，采了4个岩样作硬度测试，结果表明：

① 不论是压入硬度还是摆球硬度，其原始测试数据均较离散，这主要是岩样中的砾石、砂及胶结物硬度有差异，但平均值仍有可比性。

② 岩样硬度有较明显的各向异性，其平行层理的压入硬度比垂直层理的压入硬度大8~35%，平均为19%。平行层理的比垂直层理的摆球硬度大9~28%，平均为15%。

③ 岩石的可钻性为5~6级，平行层理的

可钻性级别略高于垂直层理。

因此，在钻进中出现受力不均现象（图5）。在钻孔（斜孔）的正上方C及正下方A刻刃受力相同，不发生倾角和方位的变化，只在B、D两处产生切深差。因为江口组是浅变质层状岩石，钻头上的切刃在B点刻取岩石是顺层受力（图6），在D点是逆层受力（图7）。刻刃顺层刻取岩石时，轴压力 P_y 及水平推力 P_x 的合力 P_D 的方向与层面趋于垂直（ 120° ），即给岩面一个垂直的破坏力；逆层刻岩时，其合力 P_D 与层面趋于一致。从碎岩原因分析，岩石的层状结构使其具有各向异性。岩样硬度测试结果显示，平行层理的可钻性略高于垂直层理。由此可知，当刻刃顺层刻岩时，相对易于破碎岩石，于是出现顺层刻刃的切深 h_B 大于逆层切深 h_D 的现象，使钻头方位逐渐偏向B的方向（遇层角增大），即钻孔方位角顺时针增大。实际上本区钻孔轴线与岩层走向完全一致者不多，多数有一定夹角，故各孔弯曲情况不一。即是同一个孔，在不同孔段的弯曲情况也不尽相同。通常顶角和方位角同时变化，但前者变化小，后者变化大。顶角与方位角的变化程度，与钻孔轴线、岩层产状和蚀变破碎带的空间位置有关，且受岩石软硬和构造影响。

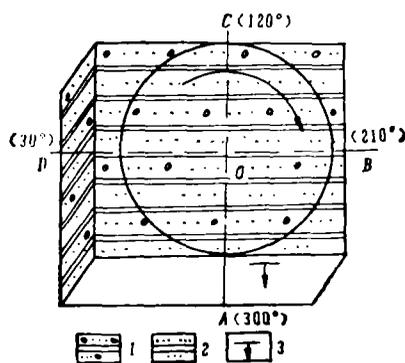


图5 江口组岩层产状与钻孔弯曲关系示意图

1—变质含砾砂岩；2—变质粉砂岩；3—产状

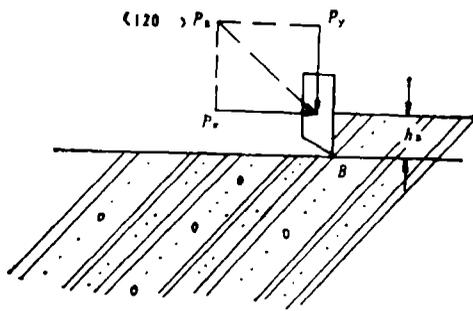


图6 B点顺层刻岩示意图
(图例同图5)

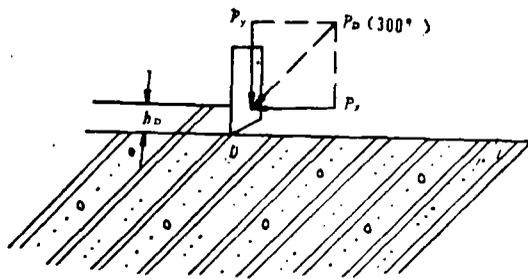


图7 D点逆层刻岩示意图
(图例同图5)

2. 蚀变破碎带

假设钻孔穿过的硅化呈带状，其受力与江口组地质体钻孔通过时有所不同，二者相差 90° (图8)。这时， A' 和 C' 两点受力相同，而 B' 点为顺层刻取， D' 点为逆层刻取，出现往 B' 方向偏移。同理，也获得 P_B ，垂直于蚀变破碎带(30° 方向)的作用力。但蚀变破碎带本身可以认为是厚度大、致密均质、高硬度、耐研磨、各向异性不明显的地质体。因此，解决钻孔弯曲的矛盾，主要是对付耐研磨硬岩层(10~12级)的问题。

从两种地质体受力情况分析可知，钻孔弯曲受力如图2所示，本区所有钻孔轴线的水平投影，几乎都呈抛物线(或似抛物线)状，这是因为在钻进过程中，始终受到 P_B (120°)和 P_B (30°)两个力的作用，它们的合力 P 控制着钻头的偏向。但 P_B 和 P_B 不是恒力，而是随钻孔深度不同和距蚀变破碎带之远近

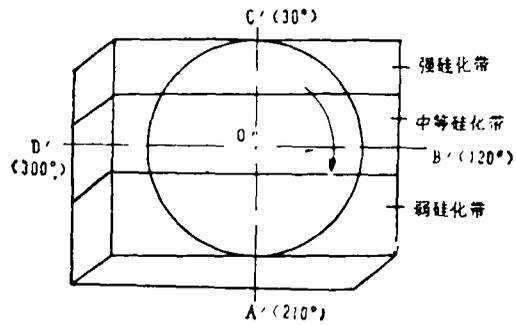


图8 蚀变(硅化)破碎带状
与钻孔弯曲关系示意图

强硅化带为11~12级；中等硅化带为
9~10级；弱硅化带为7~8级

而变化，故合力 P 也是变化的。当钻孔未打到硅化带时，以 P_B 为主，进入硅化带， P_B 逐渐增大。由于这两个力的变化和制约，使钻孔轴线在平面上的投影呈抛物线(或似抛物线)出现。又因各孔位置、深浅、距蚀变破碎带远近和地质条件不同，尽管同时都受 P_B 和 P_B 的作用，但力的大小和方向是有差异的，故形成之抛物线(或似抛物线)曲率、跨度和完善程度不同。由同一点所作钻孔轴线水平投影图不但不重合，而且是束状的。但孔深超过250m，这些钻孔多已进入中等硅化或强硅化带，岩心难以形成龟背面或反龟背面，而具有导向杆的作用。由于是斜孔，硅化的强弱程度始终保持钻头上部(最高点)强、下部(最低点)弱，因此下部进尺快，上部进尺慢，使钻孔顶角上漂。至于孔深50~250m范围，顶角既有上漂又有下垂，且两者几率接近，这是因为这些孔段多在弱硅化至中等硅化地带，岩心既可形成龟背或反龟背面，又可变成“导向杆”而导向。

此外，钻孔设计方位与岩层走向接近，岩层又是软硬交错，按理钻孔应出现顺层漂的现象，即两硬层夹软层，当钻具进入软层后，一般沿软层漂走，难以进入两硬岩中。但为何未出现这种现象呢？因为除岩层外，在钻具前进方向上还存在着又硬、又韧的蚀变破碎带和硅化带。

对本区今后钻探工作的设想

1. 对钻孔严重弯曲的治理

解决钻孔严重弯曲的途径有三：①估计可能出现的偏斜量，作出预防性设计；②采用不同钻进工艺技术，使偏斜最小；③人工造斜进行纠斜。此外尚可采用一些特殊方法：

(1) 推广螺杆钻定向钻进，施工定向孔和分枝孔：螺杆钻效率较低，且受地层条件限制，故硬岩（8级以上）和含矿蚀变带以及硅化围岩中的钻孔弯曲问题，只能另寻其他方法解决。

(2) 采用反转钻进法：适用于方位弯曲不严重的钻孔，纠斜有效。

(3) 采用冲击回转钻进：对本区来说，是坚持使用的问题，它能提高钻进效率，能起防斜、保直作用。

(4) 引进防斜保直器，选用有防斜作用的钻具，如满眼钻具。

(5) 其他方法：在钻探资料足够的前提下，根据遇层角、块状岩石百分比、岩心大小、孔深及钻孔弯曲变化率等，作出一种

或多种钻孔模拟模型和图象，应用微机，试求钻孔弯曲的理想方程，以指导设计加密线（孔），以及尚未施工矿段钻孔的设计工作。

2. 硬岩钻进工艺问题

(1) 硬碰硬：对付硬岩，当然以金刚石钻进最好，但因钻头消耗大，成本高，故在金刚石钻头的一些最优技术参数未确定前，不宜大量使用。但可以试引进一些钻进硬岩的新型钻头，如无锡钻探工具厂的唇面为交叉形钻头，湖南地勘公司的圆柱齿形金刚石钻头，武汉地院的锯齿形孕镶人造金刚石钻头，郑州探矿厂的孕镶天然金刚石钻头等，根据试用的效益比较，选择推广。

(2) 以柔克刚：以钢粒钻进对付硬岩层。如浙江某矿区，钢粒钻进10~11级的硅质角岩和石英岩，时效能达到0.2m，这与铲子坪矿区金刚石钻进时效相差无几。如能以钢粒代替金刚石钻进，不仅能节约成本，而且从理论分析，本区在硬、韧岩层利用钢粒钻进，尚有防斜保直的可能。因为钢粒可以随时填充钻头最低部位的环状间隙，使钻头保持平稳钻进。

A Qualitative Analysis on Reasons for the Serious Hole Deflection in the Chanziping Gold Mining District

Zhao Daizhen

The geological setting of the mining district, deflection regularity of holes drilled and effectiveness of hole deflection rectification are introduced in this paper. The reasons for large variations of azimuthal and zenithal angles of holes drilled are investigated with a view point of mechanics. In the last part of the paper the author proposes his suggestions on drilling method in hard rock area and measures taken for prevention of hole deflection.