66°和60°。

11）依公式（1）移项，断层走向上的地层视水平断距：$S_1 = 27.20$（米）/cos 66° = 66.87米。断层走向上的矿脉视水平断距：$S_2 = 17.14$（米）/cos60° = 34.28米。

12）据地层产状定出地层大圆（H_1）与断层面大圆（F）的交点（X_1），并读出其在断层面上的侧伏角（φ_1）25°S；定出矿脉大圆（H_2）与断层面大圆（F）的交点（X_2），并读出其在断层面上的侧伏角（φ_2）30°N；同时可读出X_1、X_2两交迹的夹角为（γ）125°。

13）将上述数据代入下式（推导过程略），断层总滑距：

$$ab = (S_1^2 \cdot \sin^2\varphi_1 + S_2^2 \cdot \sin^2\varphi_2 + 2 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot \sin\varphi_1 \cdot \sin\varphi_2 \cdot \cos\gamma)^{\frac{1}{2}} / \sin\gamma = 28.28\text{米}。$$

因上式计算繁杂，故一般取得上述各数据后，多采用作图法求总滑距，其精度取决于作图比例尺。

14）作断层面图（图7）：在断层走向线上任取一点a（代表一个相当点），取适当比例在两侧分别截$aN = S_1 = 66.87$米、$aS = S_2 = 34.28$米。据交迹的侧伏角，过N、S点分别作X_1（25°S）和X_2（30°N）线，两线相交于b点，连接ab，并按比例量度其长度，即断层总滑距：$ab = 28.3$米。

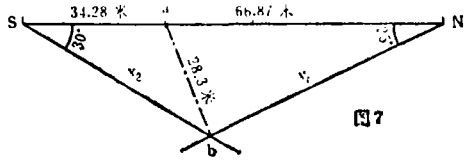

图7

比较上述计算法和作图法可知，计算法繁杂而较精确，作图法简便而精度稍差。但对日常地质工作来说，作图法的精度仍足以满足要求，故最后一步多采用作图法。

小　结

1）借助赤平极射投影法确定断层的断距和滑距，方法简单方便。从测算的角度出发，可以把断距只分为层断距（层面法线方向上的断距）和其他断距（其他方向线上的断距）两种。据其他断距求层断距用乘法，乘以此二断距夹角的余弦；据层断距求其他断距用除法，除以此二断距夹角的余弦。故公式（1）～（4）实际上就是公式（1）的移项所得。由此可见，无论计算三度空间上的任何断距和滑距，只需记忆公式（1）就可以了。

2）断层的断距和滑距，总是与断层的滑动方向（断层性质）相配合的，运用赤平极射投影法或作图法确定断层滑动方向的问题，在有关资料中已有过一些介绍，故本文未再述及。

参 考 文 献

〔1〕毕令斯M.P.，构造地质学，张炳熹等译，中国工业出版社，1965

〔2〕沃尔弗松Ф.И.等，矿田和矿床构造，秦国兴等译，中国工业出版社，1966

〔3〕高森，极射赤平投影法求矿体真厚度，《地质与勘探》，1978（4）

〔4〕武汉地质学院等，构造地质学，地质出版社，1979

〔5〕何绍勋，构造地质学中的赤平极射投影，地质出版社，1980

〔6〕吴自强，断层断距的计算方法，《煤田地质与勘探》，1980（1）

〔7〕Phillips, F.C., The use of stereographic projection in structural geology, 3—ed, 1971.

〔8〕Billings, M.P., Structural Geology 3—ed, 1972

钻孔剖面投影的图算和计算方法

中南矿冶学院　高　森

将钻孔各测程按测斜数据和岩矿层产状，通过计算和作图方法投影在剖面图上，这是大量的日常工作。如何寻求更简便、更科学的方法，是一个需要探讨的问题。

现场常用垂直（法线）、倾向（假倾角）和走向投影法。近年来，又出现了较先进的产状（四面体）投影法。从其实质看，即是将见层（矿）点，以最短距离投影到剖面上，可称为直接投影法。

剖面投影的解析几何表示法

如图1所示，xyz为直角坐标，A为原点。BC = L为钻孔测程长（测斜点影响长度），其顶角为θ，与剖面XAZ的方位夹角

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

为α，B点为见层（矿）点，岩层面BDH的倾角为∠AKH=δ，走向为BD，岩层面与剖面的交汇线为DH，其似倾角为Ω。剖面与倾向的方位夹角为φ。令BE⊥AD，EF⊥AD，EG⊥DH。连接CE，CF，CD和CG，分别等于L_1,L_2，L_3，L_4，即得到采用垂直、倾向、走向和直接投影法的斜长投影长度，L_1～L_4同钻孔L间的投影夹角(轴偏角)分别为γ_1～γ_4。连接BF和BG，令似倾角∠EBF=ω，相当孔斜中的终点角∠BGE=β。

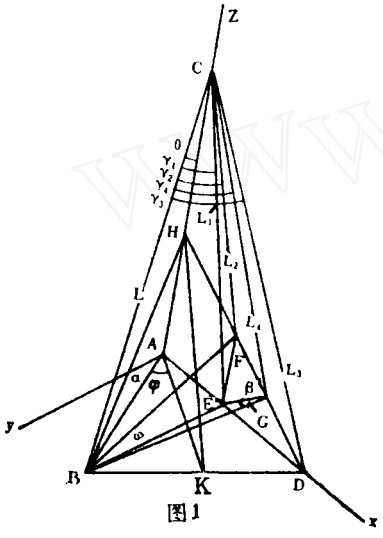

图1

取δ=30°，θ=40°，φ=50°，α=64°，作正投影图（图2），XAZ为剖面图，XAy为平面图。L_1～L_4的顶角分别令为θ_1～θ_4。

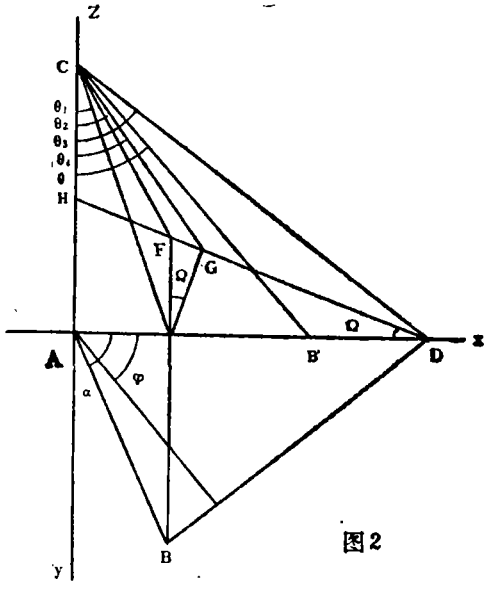

图2

AB′=AB，三角形ABC转在剖面内，CB=L，∠ACB′=θ。

采用作图或计算法，或联合运用，要解决的问题就是根据已知条件L、θ、α及φ；求解ω，Ω，θ_1～θ_4，γ_1～γ_4和L_1～L_4。此外，还有垂直投影长、水平投影长和投影轴心角。

由图2得到的诸角度值同计算法（见后）相比，结果接近，误差±2°，若绘大图，精度自然会提高。

若90°<α<180°（第二象限），取α=180°-64°=116°，其它条件不变，作正投影图（图3），结果也接近计算值。

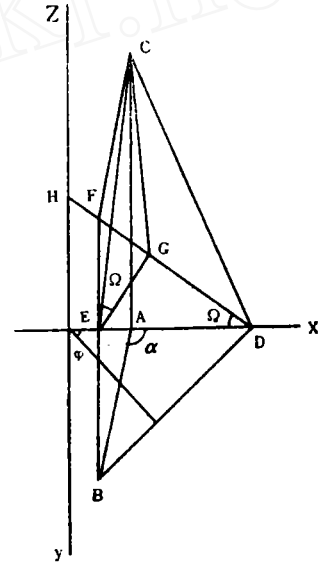

图3

若180°<α<360°（第三、四象限），则按相对于剖面对称的关系处理，第一、四象限对称，第二、三象限对称。第三、四象限的情况相当于钻孔同岩层倾向相反，由底板见层（矿）的坑内仰顶角（负顶角）钻孔等。

由图2、3中投影关系可得：

$$H=AC=L\cos\theta=L_1\cos\theta_1=L_2\cos\theta_2+EF=L_3\cos\theta_3=L_4\cos\theta_4+EG\cos\Omega$$

$$b=AE=L\sin\theta\cos\alpha=L_1\sin\theta_1=L_2\sin\theta_2=|L_3\sin\theta_3-EF\operatorname{ctg}\Omega|=|L_4\sin\theta_4-EG\cos\Omega$$

其中$EG=EF\cos\Omega=BE\operatorname{tg}\omega\cos\Omega=L\sin\gamma_1\operatorname{tg}\omega\cos\Omega$

由图知，∠CFE=π-θ_2，∠CGE=π-(θ_4+Ω)，对三角形CGE，按正弦定理可得

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$L_4=\frac{L_1\sin(\Omega\pm\theta_1)}{\sin(\theta_4+\Omega)}$$（对图2为＋号，对图3为－号）

$L_{1\sim4}$的计算公式见后。

剖面投影的赤平投影表示法

采用下半球投影系，按四种投影方法定义和已知条件所作的赤平投影图见图4。

半圆Axy为吴氏网的赤平面，A（C）为原点，大圆弧$\overset{\frown}{AB}=\theta$为钻孔产状，Ax为剖面大圆，y为剖面的极点（即Ay为法线），二面角∠XAy＝90°，AKL为岩层面大圆，AK为倾向，$\overset{\frown}{AK}=90°-\delta$为顶角，∠BAL＝α，∠KAL＝φ。四种投影法的图算法分述如下：

垂直投影法：过y和B二点作大圆，交AX于E点，$\overset{\frown}{Ay}=\overset{\frown}{Ey}=90°$，∠AEy＝90°。则可得到$L_1$的投影$\overset{\frown}{AE}$，并量得角距$\overset{\frown}{AE}=\theta_1$，$\overset{\frown}{BE}=\gamma_1$。

倾向投影法：将BEF直立面（图1）表示在赤平投影图中，应过A点，即直立大圆Ay，与岩层面AKL的交汇线为AF′，则F′y＝ω。过F′和B二点作大圆交AX于F点，或者说，AF′与AB构成的面与AX的交汇线为AF，则可得L_2的投影$\overset{\frown}{AF}$，并量得$\overset{\frown}{AF}=\theta_2$，$\overset{\frown}{BF}=\gamma_2$。还应指出，BEF不是BEF面（图1）的直立小圆之投影。

走向投影法：要求过B点作与倾向垂直（或与走向平行）的线，即过B点作大圆BD′正交AK，交于D点，则可得到L_3的投影$\overset{\frown}{AD}$，并量得$\overset{\frown}{AD}=\theta_3$，$\overset{\frown}{BD}=\gamma_3$。

直接投影法：由图1知，为了使B点直接投影于剖面，且BG⊥DH，应作BE⊥AD，ED⊥DH，则BGE面必然垂直于剖面，DH垂直于BGE面，所以BG⊥DH，∠BGE＝β，若视HD为钻孔，则β角就是孔斜中的终点角。BGE面的倾向为GE，走向为BE，顶角为∠GEF＝Ω，所以在图4中，AX延长方向取$\overset{\frown}{AG'}=\Omega$，过G′和y作大圆，即得BGE面的平行面。大圆与岩层面AKL交于G″点，$\overset{\frown}{AG''}$就是二面的交汇线，过G″和B二点作大圆与AX交于G点，或者说，AG″与AB构成的面同AX的交汇线为AG，则可得到L_4的投影$\overset{\frown}{AG}$，并量得$\overset{\frown}{AG}=\theta_4$，$\overset{\frown}{BG}=\gamma_4$，还需指出，BGE并不是BGE面(图1)的直立小圆投影。

同前例，取δ＝30°，θ＝40°，φ＝50°，α＝64°作赤平投影图（图4），使$\theta_1\sim\theta_4$，ω，Ω转在横标上，$\gamma_1\sim\gamma_4$过大圆径线，可量得：$\theta_1=20°$，$\gamma_1=36°$；ω＝24°，Ω＝20°，$\theta_2=28°$，$\gamma_2=37°$；$\theta_3=52°$，$\gamma_3=47°$；$\theta_4=34°$，$\gamma_4=38°$。同计算值比较，结果能满足要求。本文采用了较小直径吴氏网，若采用20厘米的网，精度还可提高。

取α＝180°－64°＝116°，其它条件同上，作赤平投影图（图5），绘制方法同于图4，但大圆从略。所得结果接近计算值。

球面三角计算法

为了适应各种条件下使用，能够验算和精确计算，能够造表和利用电算，有必要推导出计算公式。利用图4，采用球面三角公式计算，按球面直角三角形记忆规则(图6)，导出公式。四种投影法分别叙述如下：

垂直投影法：球面三角形ABE中，

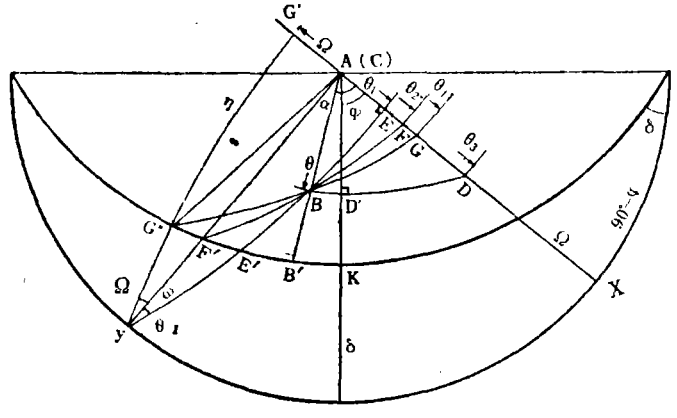

图4

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

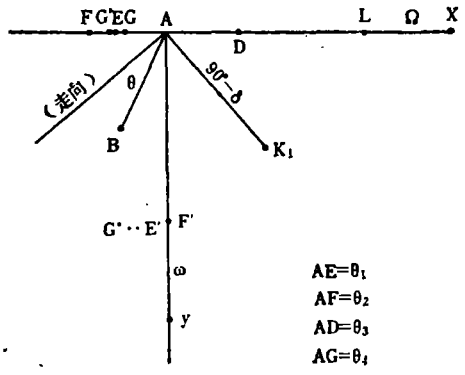

图5

∠AEB = 90°，已知θ和α，可求得θ_1和γ_1。如图6之（1），除直角外，依顺序将各边角（元素）列在圆上，但直角的二邻边用余角余弦等于相邻元素的余切之积或不相邻元素的角距。记忆规则是某元素的正弦之积。于是：

$$\cos\alpha = \mathrm{ctg}\theta\,\mathrm{ctg}(90^\circ-\theta_1)$$

$$\cos\theta = \sin(90^\circ-\theta_1)\sin(90^\circ-\gamma_1)$$

可写为 $\mathrm{tg}\theta_1 = \cos\alpha\,\mathrm{tg}\theta$ ……（1）

$$\cos\gamma_1 = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_1} \quad \cdots\cdots(2)$$

又 $\sin\theta_1 = \mathrm{ctg}\alpha\,\mathrm{tg}\gamma_1$

$\sin\gamma_1 = \sin\alpha\sin\theta$

相乘得 $\cos\gamma_1 = \dfrac{\sin\theta\cos\alpha}{\sin\theta_1}$ ……（2′）

走向投影法：球面三角形 ABD 被球面垂线 AD′ 分为两个球面直角三角形，如图6（2）、图6（3），可得：

$$\cos(\alpha-\varphi) = \mathrm{ctg}\theta\,\mathrm{tg}AD'$$

$$\cos\varphi = \mathrm{ctg}\theta_3\,\mathrm{tg}AD'$$

故 $\mathrm{tg}\theta_3 = \dfrac{\mathrm{tg}\theta\cos(\alpha-\varphi)}{\cos\varphi}$ ……（3）

ABD又被 BE分为球面直角三角形，如图6（4），可得：

$$\cos\gamma_3 = \cos(\theta_3-\theta_1)\cos\gamma_1 \quad \cdots\cdots(4)$$

倾向投影法：ABF被BE 分为两个球面直角三角形，如图6（5）和图6（6），可得：

$\sin(\theta_2-\theta_1)\,\mathrm{tg}\gamma_1\,\mathrm{ctg}\angle AFB = \sin\theta_1\,\mathrm{tg}\alpha\,\mathrm{ctg}\angle AFB$

$\sin\theta_2 = \mathrm{ctg}\omega\,\mathrm{ctg}\angle AFB$（ω见后）

相除移项得：

$$\mathrm{ctg}\theta_2 = \mathrm{ctg}\theta_1 - \mathrm{tg}\alpha\,\mathrm{tg}\omega \quad \cdots\cdots(5)$$

$$\cos\gamma_2 = \cos(\theta_2-\theta_1)\cos\gamma_1 \quad \cdots\cdots(6)$$

直接投影法：y 为极点，$L\overset{\frown}{y} = 90^\circ$（未绘出），而$LG' = 90^\circ$，故L是$\overset{\frown}{yG'}$大圆的极点，即 $L\overset{\frown}{G''} = 90^\circ$，故 $G'G'' = \angle G'LG'' = \eta$。ALF′ 被AK分为两个球面直角三角形，如图5（7、8、9），可得φ、δ、ω、Ω和η间的关系式：

$$\mathrm{ctg}\eta = \mathrm{tg}\omega\cos\Omega \quad \cdots\cdots(7)$$

$$\mathrm{ctg}\delta = \frac{\sin\varphi}{\mathrm{tg}\omega} = \frac{\cos\varphi}{\mathrm{tg}\Omega} \quad \cdots\cdots(7')$$

$$\mathrm{tg}\varphi = \frac{\mathrm{tg}\omega}{\mathrm{tg}\Omega} \quad \cdots\cdots(8)$$

按BGE作图6（10），按 GG′G″作图6（11），可得：

$$\sin(\theta_4-\theta_1) = \mathrm{tg}\gamma_1\,\mathrm{ctg}\beta$$

$$\sin(\theta_4+\Omega) = \mathrm{tg}\eta\,\mathrm{ctg}\beta$$

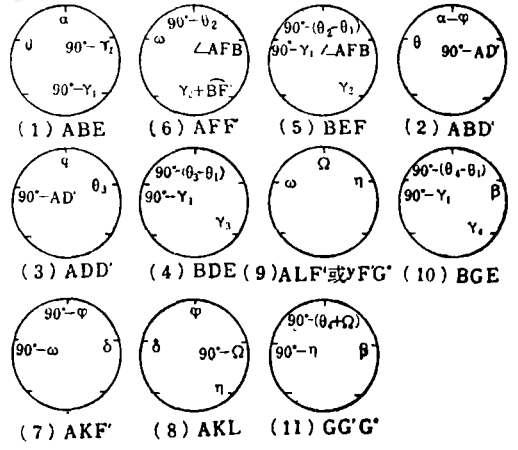

图 6

相除并除以$\sin(\theta_1+\Omega)$得

$$\mathrm{ctg}(\theta_4+\Omega) = \mathrm{ctg}(\theta_1+\Omega) - \frac{\mathrm{tg}\gamma_1\,\mathrm{tg}\omega\cos\Omega}{\sin(\theta_1+\Omega)} \quad \cdots\cdots(9)$$

$$\cos\gamma_4 = \cos(\theta_4-\theta_1)\cos\gamma_1 \quad \cdots\cdots(10)$$

综合上述结果，由1、5、3、9式可求得$\theta_1 \sim \theta_4$，由2、6、4、10 式可求得$\gamma_1 \sim \gamma_4$。

同前例，取δ = 30°，θ = 40°，φ = 50°，α = 64°，计算值为：$\theta_1 = 20^\circ21'48''$，$\gamma_1 = 35^\circ17'30''$；$\omega = 23^\circ51'31''$，$\Omega = 20^\circ21'48''$；$\theta_2 = 28^\circ53'47''$，$\gamma_2 = 36^\circ23'33''$；$\theta_3 = 51^\circ42'33''$，$\gamma_3 = 45^\circ54'20''$；$\theta_4 = 35^\circ2'17'$，$\gamma_4 = 37^\circ51'10''$。

取α = 180° − 64° = 116°，其它条件同上，计算值为$\theta_1 = -20^\circ11'44''$，$\gamma_1 = 35^\circ17'30''$；$\theta_2 = -28^\circ53'47''$，$\gamma_2 = 36^\circ23'33''$；

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$\theta_3 = 27°57'59''$，$\gamma_3 = 53°58'20''$；$\theta_4 = -20°1'48''$，$\gamma_4 = 35°17'$。

投影轴心角（投影遇层角）

如图1、4所示，用赤平投影图求算投影轴心角十分方便。钻孔轴心角为∠CBH（图1）或$\overset{\frown}{BB'}$（图4），令为λ。

令似倾角 $\angle ABH = 90° - \overset{\frown}{AB'} = \Omega'$，则 $\angle CBH = \overset{\frown}{BB'} = (90° - \Omega') - \theta$。综合式为：$\lambda = |(90° - \Omega') \pm \theta|$。

四种投影方法的投影轴心角分别为$\lambda_{1-4} = |(90° - \Omega) \mp \theta_{1-4}|$。钻孔与岩层同倾向用－号，即二角之差，$90° - \Omega - \theta_{1-4}$或$\theta_{1-4} - (90° - \Omega)$；反倾向用＋号，即二角之和。

垂直投影与和水平投影长

如图1，令垂直投影长H_{1-4}，剖面方向（X轴）水平投影b_{1-4}，y轴水平投影w_{1-4}。此外，令EF = h，ED = b′。四种投影方法的投影长度分别如下：

垂直投影法：

$$H_1 = L\cos\theta = L_1\cos\theta_1$$
$$b_1 = L\sin\theta\cos\alpha = L_1\sin\theta_1$$
$$w_1 = L\sin\theta\sin\alpha = L\sin\gamma_1 = L_1\operatorname{tg}\gamma_1$$
$$L_1 = L\cos\gamma_1$$

走向投影法：

$$H_3 = L\cos\theta = L_3\cos\theta_3$$
$$b_3 = |b' \pm b_1| = w_1\operatorname{tg}\varphi \pm b_1 = L_3\sin\theta_3$$
$$L_3 = \frac{L\cos\theta}{\cos\theta_3} = L\left(\frac{\sin\gamma_1\operatorname{tg}\omega\operatorname{ctg}\Omega}{\sin\theta_3} \pm \frac{\sin\theta\cos\alpha}{\sin\theta_3}\right)$$

倾向投影法：

$$H_2 = H_1 \pm h = H_1 \pm w\operatorname{tg}\omega = L_2\cos\theta_2$$
$$b_2 = L\sin\theta\cos\alpha = L_2\sin\theta_2$$

直接投影法：

$$H_4 = H_1 \pm w\operatorname{tg}\omega\cos^2\Omega = L\cos\gamma_4\cos\theta_4 = L_4\cos\theta_4$$
$$b_4 = b_1 \pm h\cos\Omega\sin\Omega = L_4\sin\theta_4$$

上述公式中，同倾向（α在第一、四象限）时用正号，反倾向（α在第二、三象限）时用负号。

（上接第68页）

钟堵住；第三次在孔深209.19米处遇到垂深0.7米溶洞和裂隙，用40小时50分钟堵住。这三次均属全漏层段。我们采用的堵漏办法是投黄泥球、麦草和马粪，或用麦衣子泥浆灌孔，还曾用烂毛毡、烂帆布、石头块等进行塞堵。第四次漏失从孔深265.11米开始，仍采用前述堵漏法，边堵边钻，经过十八天多，进尺仅2.34米，先后投入孔内黄土60多立方米、麦草450多公斤、锯末一卡车、水泥400多公斤，还有不少马粪、树枝等，都没把漏失堵住。经研究分析，孔深264～627米处是断层破碎带，不但漏失，而且还是含水层。送下去的各种堵漏物都大量流失。接着又试用锯末泥浆堵漏，在粘度大于40秒、比重不小于1.2的泥浆中，掺入5%的锯末和10%的水泥（重量比），从孔口灌入，但也无效果。分析其原因，是锯末泥浆靠自身压力细水长流，虽往缝隙中渗漏，但淤塞不住，随地下水顺裂隙流失。一些日常生活中的现象启发了我们：吃饭细嚼慢咽不噎食；上下公共汽车、进出影剧院时人们如不争先恐后的拥挤，人流密度小，门口是较通畅的，反之则会发生拥挤堵塞。根据这个道理，我们构思出用于堵漏的“急流”原理，即堵漏时加大泵量，促使锯末泥浆呈急速流动状态，致使泥浆中的锯末在岩层裂隙的狭窄处或拐弯处密度骤增，达到阻塞堵漏目的。

锯末泥浆急流堵漏的具体做法是这样的：在已搅好的，粘度大于40秒，比重不小于1.2并已加入5～10% 400～500号水泥的泥浆中，掺入3%筛过的锯末（用8～12目的筛子筛去杂物）搅匀，然后将钻具下到漏层上部，开泵（我们用的是BW—200/40球阀泥浆泵），通过钻具把锯末泥浆灌入孔内。为了达到“急流”，必须将泵速开到额定值。为使泵吸锯末泥浆顺利，可把莲蓬头卸掉。所用的钻具带有岩心管及钻头，开泵的同时开动钻机慢速转动钻具，预防钻具堵塞。就这样仅用了半小时，三麻袋锯末拌成三立方米多的泥浆就把漏失堵住了，顺利地钻过了有严重漏失的地层。

实践证明，锯末泥浆急流堵漏法具有原料来源广，成本低，灌注工艺简单等优点。我们在尔后的各漏失孔推广应用此法，均取得了良好效果。

© 1994-2009 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net