



“打滑”地层人造金刚石钻头的探讨

中南矿冶学院 袁公昱

随着人造金刚石钻进技术的推广，在一些地层中钻进，出现了孕镶人造金刚石钻头“打滑”的情况，成了人造金刚石钻进及绳索取芯技术应用的一个突出障碍。因此，分析“打滑”的原因，设计合理的钻头结构，具有重要的现实意义。

“打滑”地层的特点

在石英质岩石如石英脉、石英岩、含铁石英岩以及硅化程度很高的流纹岩中钻进时，由于钻头结构不适应等原因，常出现“打滑”情况。这类岩石在力学性质方面有如下特点：

1. 硬度高 从表1可以看出^[1, 2]，石英质岩石的压入硬度达800公斤/毫米²，把大理岩的压入硬度作为100，则石英质岩石的压入硬度为大理岩的7倍多。

表1 几种岩石硬度的比较

岩石名称	压入硬度(公斤/毫米 ²)	压入硬度相对值
大理岩	112	100
花岗岩	335	300
石英质岩	800	714

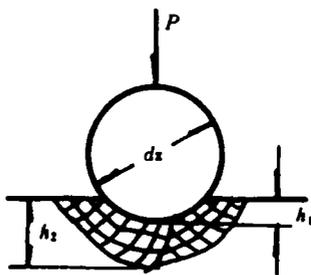


图1 单颗金刚石压入过程

В. Е. Копылов等曾研究单颗金刚石切入岩石的过程。如图1所示，压入深度和破碎穴深度分别用下式表示^[2]。

$$h_1 = \frac{P}{\pi P_K d_z} \quad (1)$$

$$h_2 = \frac{P K_P}{\pi P_K d_z} \quad (2)$$

式中 P_K —压入硬度；

d_z —金刚石直径；

K_P —岩石破碎系数，取决于岩石弹性。

采用粒度为12~20粒/克拉的金刚石在不同岩石中进行压入试验，结果见表2^[2]。

表2

岩石名称	破碎穴深度 h_2 (毫米)	轴向压力 P (公斤)
大理岩	0.075	1.67
	0.090	4.2
	0.150	8.2
花岗岩	0.018	1.6
	0.025	2.7
	0.051	4.0
石英质岩	0.0145	1.7
	0.0170	3.6
	0.0200	4.8

由式(1)、(2)及表2可见： h_2 与 P_K 成反比而与 P 成正比。由于石英质岩的压入硬度高， h_2 值较小；若要求石英质岩与花岗岩的 h_2 值相同($h_2 = 0.017 \sim 0.018$)，则轴向压力需由1.6公斤增加到3.6公斤，即轴向压力要增加一倍多。

2. 研磨性弱 对于同类的石英质岩石，由于矿物粒度不同，研磨性差别很大。矿物粒度愈细，则其圆滑度越好，硬度也越大，但研磨性则很弱，如图2所示^[3]。岩石的研磨性对孕镶人造金刚石钻头的自锐起极重要作用。岩粉对单颗金刚石上的胎体及钻头上的胎体磨损情况见图3^[1]及4^[4, 8]。

在图3中，在轴向压力 P 及切线力 R_T 的作用下，金刚石以速度 v_a 移动， R_T 力除了抵消摩擦力 T ，在金刚石前面切削岩石而形成岩粉磨损胎体。对于一个钻头来说(图4)，每颗金刚石前面的

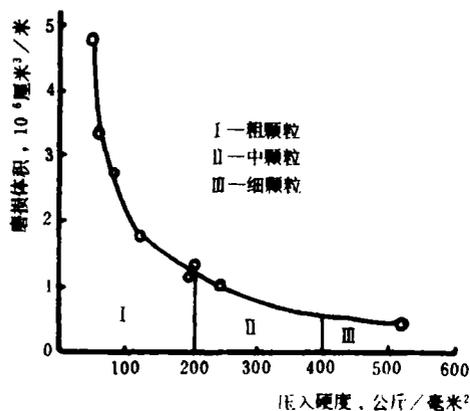


图2 石英砂岩磨蚀量与硬度关系

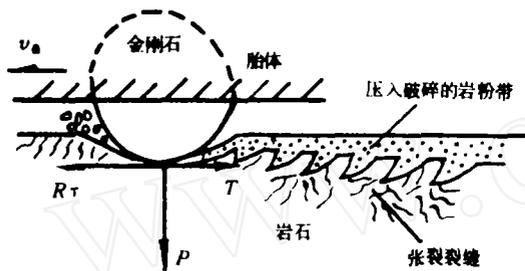


图3 单颗金刚石的胎体磨损

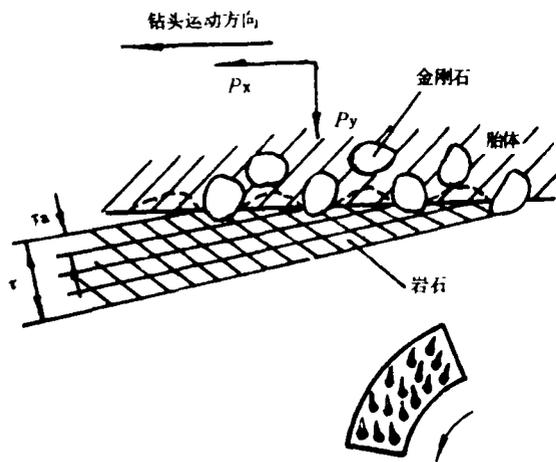


图4 钻头胎体的磨损

胎体不仅受本身破碎岩粉的研磨，而且还受前颗金刚石破碎下来的而未被冲洗液及时冲走的岩粉的研磨。正常的胎体磨损为图4中的虚线轮廓，在金刚石前面形成一个凹坑，每颗金刚石背后有一条支撑的胎体，形似蝌蚪尾。由此可见，在破岩过程中能形成较粗的岩粉，它就成为胎体一岩

石磨擦付中的磨料，不断磨损胎体。当金刚石磨损到失去工作能力脱粒，则出露新的金刚石。但是当岩石的研磨性弱，岩粉很细时，带有细岩粉的冲洗液对胎体主要产生冲蚀作用，冲蚀作用对于胎体端部磨损作用不大，致使金刚石失效后而不能脱粒，出现“打滑”。

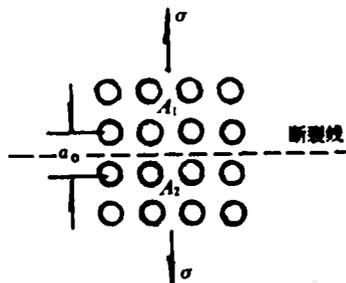


图5 晶粒模型

A_1, A_2 —晶粒质点
 a_0 —晶粒间的平衡距离

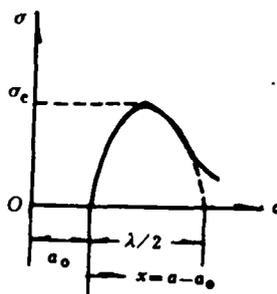


图6 将原子距离拉开所需应力

3.颗粒间的结合强度大 单矿物组成的岩石，如石英岩、石英脉等，颗粒间的结合强度取决于质点之间的原子结合强度。石英岩的晶粒模型见图5^[5]。当原子之间的距离拉开 a ($a > a_0$) 所需的应力 σ 等于或大于它的理论强度 σ_c 时才会断裂。 σ 和 a 的关系可以用具有应力波长为 λ 的正弦曲线表示，见图6^[5]。

$$\sigma = \sigma_c \sin \frac{2\pi x}{\lambda} \quad (3)$$

式中 $x = a - a_0$ ，为自平衡位置起的位移，因为它很小， $\sin x \approx x$ ，则

$$\sigma = \sigma_c \frac{2\pi x}{\lambda}$$

$$\sigma = E\varepsilon = E \frac{\lambda}{a_0}$$

E —岩石的弹性模量;

ε —岩石的应变。

$$\text{所以, } \sigma_c = \frac{\lambda}{2\pi} \frac{E}{a_0} \quad (4)$$

拉断时单位面积所需的能量为

$$U = \int_0^{\lambda} \sigma_c \sin \frac{2\pi x}{\lambda} dx = \frac{\lambda \sigma_c}{2\pi} \quad (5)$$

将(4)式 λ 代入(5)式得:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{EU}{a_0}} \quad (6)$$

可见, 岩石的理论强度 σ_c 与 E 、 U 成正比, 与 a_0 成反比。

对于细粒单矿物组成的石英质岩, 由于它的 E 值大而 a_0 小, 因此它的抗拉强度较大, 其值为144公斤/厘米²; 而花岗岩的抗拉强度则为120公斤/厘米²⁻³。由前述图3可知: 当金刚石在轴向压力作用下作回转运动时, 储存在金刚石移动背后的岩石内的应变能就要释放出来, 岩石内的应力通过卸载后使压应力转为拉应力, 当拉应力超过岩石的抗拉强度时, 则形成张裂裂缝, 出现较粗的岩粉^[1, 6]。由于石英质岩抗拉强度大, 比较难于在金刚石移动的背后产生张裂裂缝而形成较粗的岩粉。

“打滑”地层钻头结构设计的原则

根据“打滑”地层岩石力学特点, 下面分析“打滑”地层钻头结构设计的一些原则。

1. 金刚石的品级 由于“打滑”地层的岩石具有很高的压入强度, 因此金刚石必须有相当高的强度。为了使岩石产生体积破碎, 必须满足下列条件:

$$P_K \leq \frac{P_a}{S_a}, \quad \text{即 } P_a \geq P_K S_a \quad (7)$$

式中 P_a —金刚石强度(或作用在一颗金刚石上的轴向载荷, 公斤);

P_K —岩石的压入强度(公斤/毫米²);

S_a —金刚石与岩石的接触面积(毫米²)。

按二分之一的接触球冠面积计算(图7), 则

$$S_a = \frac{1}{2} \pi d_r \tau_a \quad (8)$$

式中 d_r —金刚石直径, 即平均立方尺寸(毫米);

τ_a —金刚石切入深度

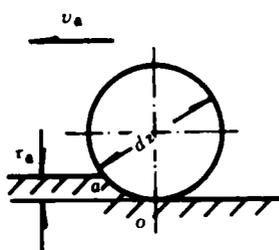


图7 金刚石接触面积

人造金刚石在钻头上的出刃量平均为35~40微米, 在正常规程条件下, 钻头上每一个扇形块上或一组的金刚石切入量 τ_a 根据钻头转速不同而不同, 见表3。

钻头转速与 τ_a 的关系 表3

钻头转速(转·分)	600	750	950	1200	1500
τ_a (微米)	8	6	5	4	3

以70目的人造金刚石为例, 取 $\tau_a = 8$ 微米, 则

$$\begin{aligned} S_a &= \frac{1}{2} \pi d_r \tau_a \\ &= \frac{1}{2} \times 3.1416 \times 0.233 \times 0.008 \\ &= 0.003 \text{ 毫米}^2 \end{aligned}$$

对于石英质岩, 压入硬度 $P_K = 800$ 公斤/毫米², 则

$$P_a = S_a \cdot P_K = 0.003 \times 800 = 2.4 \text{ 公斤}$$

考虑孔底钻头上的金刚石受力不均, 必须取安全系数, 对于脆性材料, 安全系数 η_b 规定为2~5^[7]。现取 $\eta_b = 3$, 则

$$P'_a = P_a \times \eta_b = 2.4 \times 3 = 7.2 \text{ 公斤}$$

可见, 对于“打滑”地层用的人造金刚石的强度应不低于7.2公斤, 相当于JR₄型金刚石的强度。

2. 金刚石的粒度 金刚石的粒度对孕镶钻头的自锐起重要作用。粒度粗的孕镶钻头实质上就成了表镶钻头, 则不能自锐。国外采用天然金刚

石制孕镶钻头，最优粒度范围不超过30~40目；当钻机功率相当大时，也不能超过20~30目。根据苏联超硬材料研究所试验资料，对于ACC型单晶人造金刚石，粒度为200~250 μ 时钻头能获得较好的技术经济指标。

金刚石粒度对包镶能力的影响可用下式表示^[8]：

$$A = \pi d_z^2 (1 - y) \quad (9)$$

式中 A —金刚石与胎体的接触面积（图8）；

d_z —金刚石直径；

y —金刚石的出刃系数。

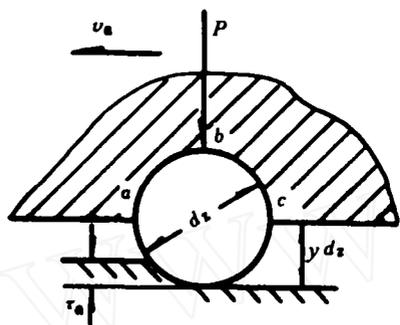


图8 金刚石与胎体的接触面积

随着金刚石直径增加，接触面积呈抛物线增加，包镶能力也相应增加，金刚石难于脱粒，钻头的自锐性降低。对于“打滑”地层，由于岩粉细，研磨胎体的能力低，金刚石粒度可取80~100目。

3.胎体性能 胎体的工作层是骨架成分、粘结剂及金刚石的复合体，如图9。在工作过程中，胎体磨损速率与金刚石磨损速率要协调，当金刚石在刻取岩石过程中逐渐磨钝而失效时，胎体则

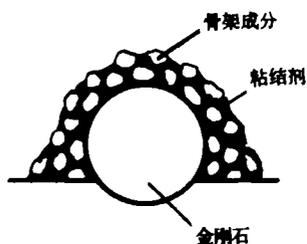


图9 工作层胎体组分

被岩粉磨损至能使金刚石脱粒，使新的金刚石出露于胎体表面，这样就不会出现“打滑”。对于

“打滑”地层用的钻头胎体，由于岩粉细，研磨能力弱，如何适当地加快胎体的磨损速率，是一个值得研究的问题。人们曾通过调整胎体的骨架成分来调整胎体的性能。看来研究粘结剂的新成分及其物理状态，对于调整胎体的耐磨性是有效的。近几年来，国内外对研究新型胎体材料很重视，并取得了一些效果。钻头在孔底环境（温度100~200 $^{\circ}$ C）中工作，由于粘结剂发生弹塑性变形和软化而失去粘结骨架成分的能力，使骨架成分脱粒，使新的金刚石出露。近两年来，我们根据岩石的研磨性不同，研制出多种预合金粉末的新型粘结剂，例如“打滑”地层用的4 $\#$ 粘结剂，胎体硬度HRC 25~30，现场初步试验，效果良好。

4.金刚石浓度 在新型粘结剂取得了进展的情况下，提高胎体中的金刚石浓度已成为可能。苏联乌克兰超硬材料研究所在花岗岩类的岩石中试验，认为100%~125%的浓度为金刚石钻头最优浓度范围，能获得较好的技术经济效果。对于“打滑”地层钻头的金刚石浓度的确定，要考虑钻进规程临界值 $[P \cdot n]$ 如何组合。根据前面的分析 对于“打滑”地层的 $[P \cdot n]$ 值组合，钻压 P 适当取偏高值而转速 n 适当取偏低值是有利的。因为适当增加 P 值，可取得较好的体积破碎和较易形成张裂裂缝。国外在坚硬岩石钻进中，对于 $\phi 46$ 、 $\phi 56$ 的孕镶钻头，轴向压力取800~1100公斤，短暂时间可加至1800公斤，迫使钻头出刃。可按下述步骤来检验金刚石的浓度：

$$P_a = \frac{P_y}{N \cdot m_s} \quad (10)$$

式中 P_a —每颗工作金刚石承受的轴向压力（公

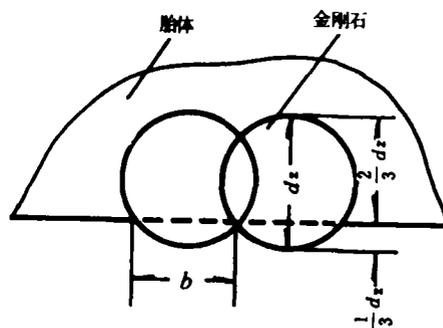


图10 每颗金刚石所占宽度

斤)；

(如图10所示)；

P_y —轴向总压力，取900公斤；

$$b = \frac{2}{3} d_z \sqrt{2} \quad (12)$$

N —钻头上切削线的数目；

$$N = \frac{B}{b} \quad (11)$$

m —钻头平均周长上参加切削的金刚石颗粒数。

B —钻头壁厚；

不同网目的人造金刚石的直径可按 В. И. 巴

b —每颗金刚石在壁厚方向所占的宽度

库里公式计算颗粒的加权平均立方尺寸¹⁾：

$$d_z = \sqrt[3]{\frac{\frac{d_{k\max} + d_{k\min}}{2} P_k + \frac{d_0\max + d_0\min}{2} P_0 + \frac{d_{M\max} + d_{M\min}}{2} P_M}{100}} \quad (13)$$

式中 d_z —金刚石颗粒的加权平均立方尺寸(毫米)；

$d_{k\max}$ 、 $d_{k\min}$ —粗粒级颗粒的最大、最小尺寸；

$d_0\max$ 、 $d_0\min$ —基本粒级颗粒的最大、最小尺寸；

$d_{M\max}$ 、 $d_{M\min}$ —细粒级颗粒的最大、最小尺寸；

P_k 、 P_0 、 P_M —分别为粗粒级、基本粒级和细粒级的百分含量。

目前国内常用网目的人造金刚石 d_z 值按式(13)计算结果见表4。

表4

我国网目	颗粒度(微米)	$P_k = 15\%$ $P_0 = 70\%$ $P_M = 12 \sim 15\%$				金刚石颗粒平均立方尺寸 d_z (毫米)	附注 计算时取 $P_M = 15\%$
		颗粒(微米)					
		应通过筛网(100%)	可留在筛上15%	应留在筛上70%	可通过筛网3%		
		$d_{k\max}$	$d_{k\min}$ ($d_n\max$)	$d_0\min$ ($d_n\max$)	$d_{M\min}$		
60	315/250	400	315	250	200	0.293	
70	250/200	315	250	200	160	0.233	
80	200/160	250	200	160	125	0.186	
100	160/125	200	160	125	100	0.148	

颗粒的平均立方尺寸(线性尺寸)与颗粒度

(粒 克拉)的关系可按式计算²⁾：

$$Z = \frac{K}{d_z^3} \quad (14)$$

式中 Z —金刚石颗粒度(粒 克拉)；

d_z —金刚石平均立方尺寸(毫米)；

K —系数， $K = 100 \sim 150$ ，取决于粒度范围。对于60~80目的人造金刚石，近似计算时 K 值可取125。则

$$Z = \frac{125}{d_z^3} \quad (15)$$

按式(15)计算的 Z 值见表5。

现取70目的金刚石为例。计算 m_b 值，首先按

表5

中国网目	颗粒度(微米)	颗粒平均立方尺寸 d_z (毫米)	d_z^3 (毫米 ³)	Z (粒 克拉)
60	315/250	293	0.0251	4980
70	250/200	233	0.0126	9920
80	200/160	186	0.0061	19531

下式求出单位切削线上的金刚石数量¹⁾：

$$m_b = 0.375 \frac{K}{100} \sqrt{\frac{1}{Z d_z}} \quad \text{粒数 厘米}$$

式中 m_b —单位切削线上的金刚石数量；

K —金刚石浓度(砂轮工业浓度制)；

Z—每一克拉中的颗粒数;

d —金刚石的平均立方尺寸(毫米)

设金刚石浓度为75%, d 为0.233毫米, Z为9920粒/克拉, 则

$$m_b = 0.375 \cdot \frac{75}{100} \cdot \frac{9920 \times 0.233}{1} \\ = 13.488 \approx 13.5 \text{粒/厘米}$$

对于 $\phi 56$ 10的人造金刚石钻头, 其平均周长上的总颗粒数为

$$m_0 = m_b \times \pi D_{cp} \times \eta$$

式中 D_{cp} —钻头的平均周长(厘米),

$$D_{cp} = \frac{D+d}{2};$$

D —钻头外径;

d —钻头内径;

η —水口影响系数, 取0.8(钻头上六个水口, 每个水口宽为5毫米)

$$m_0 = 13.5 \times 3.1416 \times 4.8 \times 0.8 \\ = 162.860 \approx 163 \text{粒}$$

由于金刚石钻头切削线上的出刃量参差不齐, 因此参加切削的金刚石粒数仅占该层金刚石颗粒总数的5.7~8.6%。在计算中取6%, 则平均周长上参加切削的金刚石颗粒数为

$$m = m_0 \cdot 6\% = 163 \times 0.06 = 9.78 \approx 10 \text{粒}$$

将有关值代入式(11)得

$$N = \frac{B}{b} = \frac{8}{3 \cdot 2 \cdot 0.233} = 36.474$$

取 $N = 36$

$$\therefore P_a = \frac{P_y}{N \cdot m} = \frac{900}{36 \times 10} = 2.5 \text{公斤}$$

上述计算结果略高于按式(7)计算的 $P_a = 2.4$ 公斤。可见, 75%的浓度基本上是合适的。

5.唇部形状 确定“打滑”地层钻头唇部形状的主要因素是: 1. 钻头在工作过程中能为产生粗岩粉尽量创造条件; 2. 适当减小唇部工作面积。锯齿形钻头在“打滑”地层中钻进能获得较高的机械钻速, 是由于孔底形成了三角形的岩石尖端, 为产生粗岩粉提供了条件; 同时唇部接触岩石的工作面积较小。它的主要缺点是锯齿磨钝后就失效。我们于去年设计和制造了断续刃人造金刚石

钻头, 如图11。

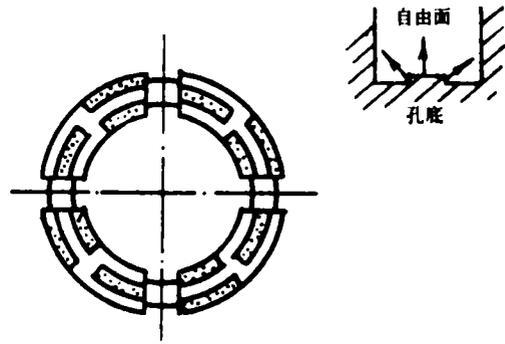


图11 断续刃钻头

这种钻头的唇部形状能使孔底形成三个自由面, 有利于产生粗岩粉; 它的工作面积也减小了, 目前正在进行生产性试验。

6.水口 对于打滑地层用的钻头, 要适当降低比水马力, 因为它影响孔底岩粉冲净程度^[3]。

3比水马力: 冲净程度为100%;

2比水马力: 冲净程度为80%;

1比水马力: 冲净程度为60%。

比水马力用下式表示:

$$N_c = \frac{N}{A} \left(\frac{\text{水马力}}{\text{吋}^2} \right)$$

式中 N —水马力;

A —钻头唇部面积;

$$N = \frac{\Delta P \cdot Q}{1714} \quad (\text{水马力})$$

ΔP —钻头上的压力降(磅/吋²);

Q —冲洗液流量(加仑/分);

1714—单位换算系数,

1马力=75(公斤·米/秒)。

为了降低钻头上的比水马力, 可以适当减小冲洗液流量 Q , 增加钻头水口过水截面。因为钻头上的压力降与水口的过水截面的平方成反比, 即

$$\Delta P \propto \frac{1}{A_0^2}$$

式中 A_0 —水口截面积。

因此, 对于“打滑”地层用的钻头, 水口数量不宜过多, 而水口截面积要相应增大。

以上是根据“打滑”地层的力学性质特点，对“打滑”地层钻头结构的分析，并提出确定其主要参数的一些原则，供设计钻头时参考。

主要参考文献

[1] Воздвиженский Б. И., Разведочное Бурение, М., Недра, 1979
 [2] Корнилов Н. И., Породоразрушающий инструмент для геологоразведочных Скважин, Справочник, М., Недра, 1979
 [3] 刘希圣等译, 钻井工艺原理, 上册, 石油工业出版社, 1981

[4] 李孔兴等译, 人造金刚石在地质勘探钻进中的应用, 地质出版社, 1981
 [5] 铃木光著, 杨其中译, 岩体力学与测定, 煤炭工业出版社, 1980
 [6] Arnold. W., Das Moderne Rotarybohren, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie Leipzig, 1965
 [7] 西安交通大学编, 材料力学, 人民出版社, 1981
 [8] 耿瑞伦等译, 金刚石钻进及其试验研究论文集, 地质出版社, 1981
 [9] Шаринин В. В., Алмазное Бурение, М., Недра, 1975

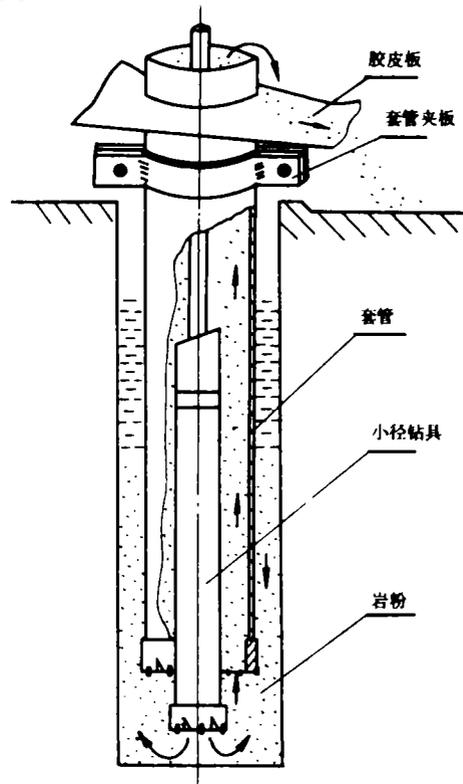
用内排法在风化层下套管

广西平桂矿务局地质勘探队 凌宠民

用清水作为冲洗液在风化层进行钻探施工，因风化岩石硬度小，胶结性差；在钻进中由于冲洗液的冲刷作用和钻具迴转的碰撞而产生大量的、颗粒较粗的岩粉。这些岩粉一部分被冲洗液排到孔外，其余颗粒较大的仍然残存在孔内；随着钻孔的不断加深，粗颗粒的岩粉在孔内越积越多，使套管不能顺利下到硬盘。只好采用随钻孔的加深逐步加长套管的跟管法钻进，使套管能下到硬盘。但是，由于孔内残存的岩粉仍没有排除，套管长度增加后，迴转阻力增大，容易发生憋泵、埋钻或套管接手滑扣、断裂等事故。即使采用跟管法将套管下到硬盘，也因为积聚在孔内的岩粉没有排除而对套管产生挤埋作用，致使终孔后套管起拔困难，浪费时间，影响生产。

所以，在风化地层钻进产生的大量岩粉是开孔下套管和终孔起套管的障碍，而排除孔内残存的岩粉是下好套管和顺利起拔套管的关键。我们在生产实践中摸索出内排法，解决了排除孔内岩粉的关键，使在风化层施工时下套管和起拔套管得以顺利进行。现将内排法介绍如下：

1. 在钻孔开孔前按下套管的口径加工一个加密合金的外刃钻头接在套管底部。开孔后随钻孔的延深逐步加长套管进行跟管钻进。钻进时送最大泵量排除钻进中产生的岩粉。随钻孔的不断



加深，较细的岩粉被冲洗液排出孔外，较粗的岩粉因孔深和水压的减弱在孔内积聚越来越多，对钻具迴转造成的阻力也就越来越大了。在这种情