

关于金刚石钻进的机械钻速、碎岩功耗 与规程参数优化关系的试验研究

汤凤林

А. И. Ламбин

(武汉地质学院)

(苏联伊尔库茨克工学院)

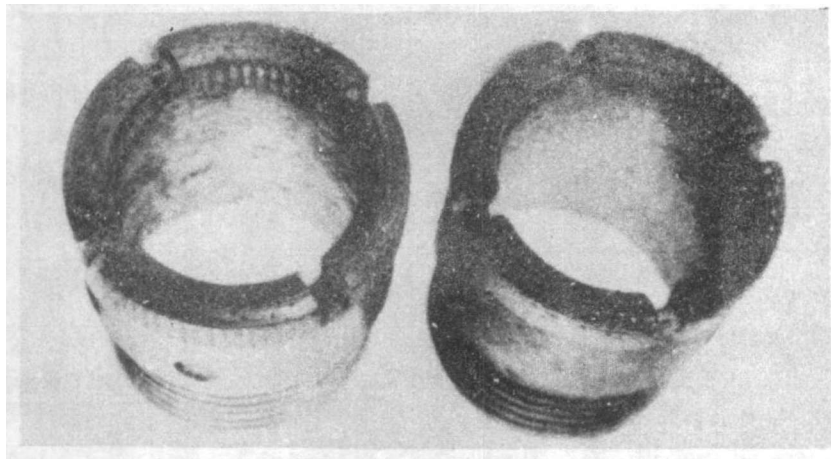


钻探技术

我国的金刚石钻进技术发展较快,已经成为钻进硬岩和坚硬岩石的重要方法。但如何通过试验确定一定的数学模型,来表达钻速和碎岩功耗与钻进规程参数的关系,以便根据实际情况选用最优规程参数,获得更好的钻进效果(较高的机械钻速,较长的钻头进尺,较低的钻探成本)和合理的碎岩功耗则研究得较少,因此就此问题所进行的试验与研究具有一定的理论价值和实际意义。

试验条件与试验方法

钻进试验是在苏联伊尔库茨克工学院钻探实验室金刚石钻进试验台上进行的。试验台上配备有СБА 500金刚石钻机(系油压给进,有六个正向转速:120、195、280、430、700、1015转/分和二一个反向转速),ГР-16/40水泵,用电动机驱动。孔底压力用钻机上的钻压表测定,冲洗液(清水)量用ЭМР-2流量计测定,碎岩功耗用Н-395功率表记录、测定、算得。



照片1 试验用钻头(左为表镶,右为孕镶)

为了分析与讨论钻头类型的影响,选用了表镶钻头01A3CB60—30和孕镶钻头02И4ГK120K60(照片1),二者皆为苏联机床制造、工具工业部卡巴尔迪诺—巴尔加尔金刚石工具厂制造。钻头的技术性能与规格为:

表镶钻头牌号为01A3CB60—30型,口径

59/42,批号K069,所用金刚石为人造高强度60粒/克拉级(其中侧刃是30粒/克拉级),金刚石量7.5克拉,胎体硬度HRC20~25。孕镶金刚石钻头牌号为02И4ГK120K60型,口径59/42,批号D042,金刚石为经粒化处理的XXXIV组“6”副组,120粒/克拉级(侧刃为未经粒化处理的60粒/

克拉级), 金刚石量11.5克拉, 胎体硬度HRC30~40。两种钻头水口均为4个, 尺寸为5×3。

所钻岩石为花岗岩, 根据ПОР仪测定的动强度系数 $F_{动}$ 和ПОАН-2M仪测定的研磨性系数 $K_{研}$ 算得的联合系数 P_M 确定的可钻性为8~9级。

试验是用二水平(为了减少试验点数)全因素(钻压、转速、冲洗液量)方法, 即 2^3

方法进行的。根据苏联国家标准、有关规范和试验条件, 选用了表1所列的各个因素的基本水平、上、下水平以及规定的代号。

试验测得资料及其处理

机械钻速、碎岩功耗与钻进规程参数关系的试验设计方案、试验进行次序以及测得的试验结果分别列于表2和表3。

所研究的因素及其实际数值

表1

水 平	钻进规程参数及其数值		
	钻头转速, 转/分	孔底压力, 公斤	冲洗液量, 升/分
上水平 ($X_i = +1$)	1015	1800	50
下水平 ($X_i = -1$)	430	800	25
基本水平 ($X_{cp} = 0$)	720	1200	37.5
变化范围 (ΔX_i)	290	400	12.5
代 号	X_1	X_2	X_3

钻速优化关系试验方案及结果

表2

试验 点号	试验 次序	X_1	X_2	X_3	机械钻速, 毫米/分					
					$V_{数1}$	$V_{数2}$	$\bar{V}_{数}$	$V_{平1}$	$V_{平2}$	$\bar{V}_{平}$
1	2: 16	-1	-1	-1	22.6	18.8	20.7	19.9	18.6	19.25
2	15: 1	+1	-1	-1	48.4	60.0	54.2	44.8	56.6	50.70
3	9: 3	-1	+1	-1	41.7	44.8	43.25	40.0	43.8	41.90
4	5: 7	+1	+1	-1	75.0	83.3	79.15	88.2	83.3	85.75
5	12: 4	-1	-1	+1	18.8	13.3	16.05	14.2	18.8	16.50
6	14: 6	+1	-1	+1	41.1	31.3	36.20	42.0	22.1	32.05
7	8: 11	-1	+1	+1	34.1	33.0	33.55	27.0	27.0	27.00
8	13: 10	+1	+1	+1	88.2	93.8	91.00	85.7	63.8	74.75

注: $V_{数1}$ 和 $V_{平1}$ 为第一次试验数据, $V_{数2}$ 和 $V_{平2}$ 为第二次试验数据, $\bar{V}_{数}$ 和 $\bar{V}_{平}$ 为其平均值。

碎岩功耗(千瓦)测得结果

表3

试验 点号	试验 次序	X_1	X_2	X_3	表镶钻头			孕镶钻头		
					$N_{数1}$	$N_{数2}$	$\bar{N}_{数}$	$N_{平1}$	$N_{平2}$	$\bar{N}_{平}$
1	2: 16	-1	-1	-1	0.72	0.82	0.77	0.88	0.96	0.92
2	15: 1	+1	-1	-1	1.92	3.12	2.52	2.40	2.58	2.49
3	9: 3	-1	+1	-1	1.82	2.59	2.21	1.30	2.03	1.67
4	5: 7	+1	+1	-1	3.46	3.98	3.72	3.36	3.02	3.19
5	12: 4	-1	-1	+1	0.62	0.53	0.58	0.67	0.91	0.79
6	14: 6	+1	-1	+1	2.11	2.02	2.07	2.02	1.92	1.97
7	8: 11	-1	+1	+1	2.16	1.49	1.83	2.64	1.20	1.92
8	13: 10	+1	+1	+1	3.70	3.50	3.60	3.55	2.88	3.22

注: $N_{数1}$ 、 $N_{平1}$ 为第一次试验测得数据, $N_{数2}$ 、 $N_{平2}$ 为第二次试验测得数据, $\bar{N}_{数}$ 和 $\bar{N}_{平}$ 为其平均值。

所得资料处理包括：优化参数分散度均匀性检验，回归系数的确定，回归系数显著性检验，数学模型相应性检验，等等。

为了检验优化参数（机械钻速和碎岩功耗）的分散均匀程度，须用柯赫连（Кохрен）准则检验：

$$G_{\text{算}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{\sum_{i=1}^N S_i^2} < G_{\text{表}}$$

$$S_j^2 = \frac{\sum_{v=1}^m (\bar{Y}_v - Y_{vj})^2}{m - 1}$$

式中：\$S_j^2\$—优化参数在\$V\$点的分散度；

\$j\$—该点重复试验的序号；

\$\bar{Y}_v\$—该点优化参数\$m\$次试验的算术平均值；

\$Y_{vj}\$—\$V\$点的优化参数的数值；

\$m-1\$—各点的重复试验次数（自由度）；

\$G_{\text{表}}\$—柯赫连准则表值；

\$N\$—试验点数。

如果\$G_{\text{算}} > G_{\text{表}}\$，则说明该点试验结果的分散度是不均匀的，需要采取措施（如再次重复试验），直到均匀为止。如果\$G_{\text{算}} < G_{\text{表}}\$，则可认为分散度是均匀的，于是可按式计算其平均值：

$$S^2 = S^2\{Y\} = \frac{\sum_{v=1}^N S_v^2}{N}$$

式中，\$S^2\{Y\}\$—各点优化参数的平均值。

如优化参数的分散度是均匀的，则可按下式和表4所列方案计算数学模型的回归系数：

$$b_i = \frac{\sum_{v=1}^N X_{iv} \bar{Y}_v}{N}$$

式中：\$b_i\$—相应的回归系数，

\$X_{iv}\$—设计方案中有关列中规程参数的代号。

回归系数计算方案表

表4

试验点号	\$X_0\$	\$X_1\$	\$X_2\$	\$X_3\$	\$X_1 X_2\$	\$X_2 X_3\$	\$X_1 X_3\$	\$X_1 X_2 X_3\$	\$\bar{Y}_k\$	\$\bar{V}_\Psi\$	\$\bar{N}_k\$	\$\bar{N}_\Psi\$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	20.7	19.25	0.77	0.92
2	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	+1	54.2	50.70	2.52	2.49
3	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	43.25	41.90	2.21	1.67
4	+1	+1	+1	-1	-1	-1	-1	-1	79.15	85.75	3.72	3.19
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	16.05	16.50	0.58	0.79
6	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	36.20	32.05	2.07	1.97
7	+1	-1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	33.55	27.00	1.83	1.92
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	91.00	71.75	3.60	3.22
回归系数	\$b_0\$	\$b_1\$	\$b_2\$	\$b_3\$	\$b_{12}\$	\$b_{23}\$	\$b_{13}\$	\$b_{123}\$				

回归系数算出之后，须对其进行显著性检验。如果该回归系数是显著的，则应保留在回归方程内；如是不显著的，则可视其为零，在回归方程内不再保留。回归系数的显著性检验，按照斯特尤颠特（Стьюдент）准则进行。对每一个回归系数均按下式进行检验：

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}} > t_{\text{表}}, S\{b_i\} = \sqrt{\frac{S^2\{Y\}}{N \cdot m}}$$

式中：\$t_i\$—按斯特尤颠特准则算得的数值；

\$S\{b_i\}\$—回归系数分散度的均方差；

其余同前。

为了检验所得回归方程是否与钻进过程基本

相应，须用费什尔（Фишер）准则对\$F\$按下式进行相应性检验：

$$F = \frac{S_{\text{算}}^2}{S^2\{Y\}}, S_{\text{算}}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{v=1}^N (\bar{Y}_v - \hat{Y}_{vj})^2,$$

式中：\$S_{\text{算}}^2\$—数学模型相应性分散度数值；

\$Y_{vj}\$—按所得回归方程算得的优化参数的数学期望；

\$l\$—回归方程中所含回归系数的个数；

其余同前。

如果\$F_{\text{算}} > F_{\text{表}}\$，则说明该数学模型没有反映钻进过程，不宜使用。如果\$F_{\text{算}} < F_{\text{表}}\$，则说明该数学模型与所研究的过程基本相应，能大体上描写了机

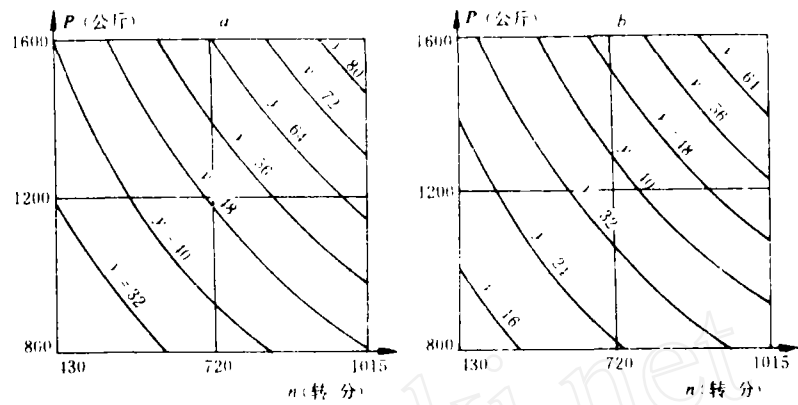


图1 表镶钻头钻速(毫米/分)与规程参数优化关系曲线

a— $Q=25$ 升/分; b— $Q=50$ 升/分

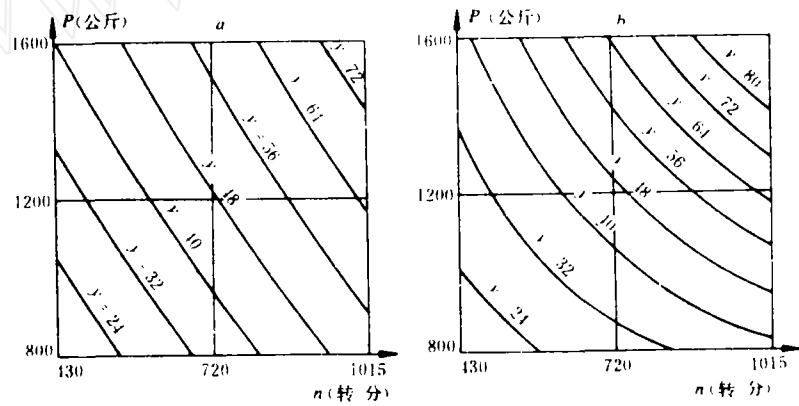


图2 孕镶钻头钻速(毫米/分)与规程参数优化关系曲线

a— $Q=25$ 升/分; b— $Q=50$ 升/分

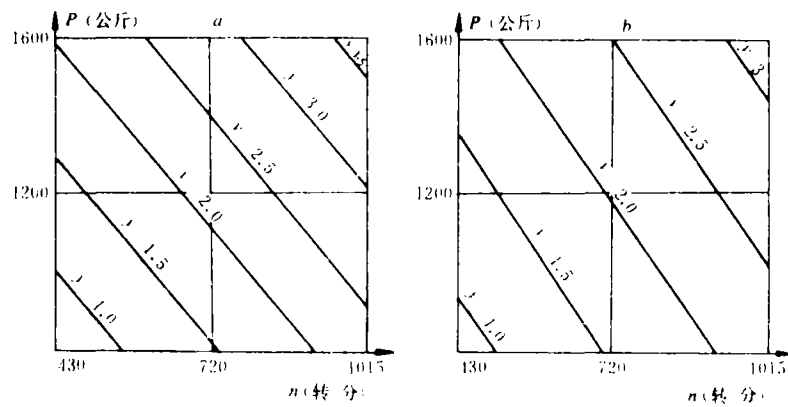


图3 碎岩功率消耗(千瓦)与规程参数优化关系曲线

a—表镶钻头; b—孕镶钻头

械钻速或碎岩功耗与钻进规程参数的关系和变化规律。

上述计算是按照笔者所编的程序,用EC-1020-2 IBM电子计算机计算的。经检验得到描写钻进过程的回归方程。

对于表镶钻头机械钻速:

$$Y_{表} = 46.76 + 18.38X_1 + 14.98X_2 + 4.96X_1X_2 + 3.1X_2X_3 + 4.36X_1X_2X_3;$$

对于孕镶钻头机械钻速:

$$Y_{孕} = 43.49 + 17.33X_1 + 13.86X_2 - 5.91X_3 + 5.58X_1X_2;$$

对于表镶钻头钻进碎岩功率:

$$Y_{表} = 2.16 + 0.82X_1 + 0.68X_2;$$

对于孕镶钻头钻进碎岩功率:

$$Y_{孕} = 2.02 + 0.70X_1 + 0.48X_2。$$

用电子计算机算得的优化关系曲线分别示于图1~3。

所得资料的分析与讨论

从表镶钻头机械钻速回归方程和图2可见,

表镶钻头钻进时岩粉粒度分布情况

表5

试验 点号	n 转/分	P 公斤	Q 升/分	V 毫米/分	粒 度 分 布 重 量 百 分 数						
					> 0.5 毫米	0.5~0.25 毫米	0.25~0.16 毫米	0.16 毫米	0.25 毫米	0.16 毫米	> 0.16* < 0.16
1	430	800	25	20.7	0.32	0.21	2.23	97.21	0.56	2.79	2.87
2	1015	800	25	54.2	0	1.21	1.88	96.91	1.21	3.09	3.19
3	430	1600	25	43.25	0.08	0.56	1.35	98.01	0.61	1.99	2.03
4	1015	1600	25	79.15	0.13	0.39	3.21	96.28	0.52	3.73	3.87
5	430	800	50	16.05	3.60	0.27	0.77	95.36	3.87	4.64	4.87
6	1015	800	50	36.20	0.36	2.03	5.36	92.25	2.39	7.75	8.40
7	430	1600	50	33.55	0.03	1.52	1.68	96.77	1.55	3.23	3.33
8	1015	1600	50	91.00	0.31	3.81	4.27	91.61	4.12	8.39	9.16

* > 0.16, < 0.16表示>0.16毫米颗粒的重量/<0.16毫米颗粒的重量,下同。

从孕镶钻头机械钻速回归方程和图2可见,其钻速也是随钻头转速 X_1 和钻压 X_2 的增大而提高,且 X_1 的作用比 X_2 大。但钻速的提高在 Q 由50升/分减少到25升/分时更为明显,而在 $Q = 50$ 升/分时,钻速随转速和压力的增大而提高的幅度并不大。这可能是由于冲洗液量偏大,孔底岩粉过少,胎体(硬度为HRC30~40)磨损不良,金刚石出露恶化,钻速下降所致。岩粉粒度分析(表6)表明,随着 Q 由25升/分增到50升/分,

表镶钻头钻进时机械钻速随转速 X_1 和压力 X_2 的增加而增加,其中转速 X_1 的作用比压力 X_2 的作用大,因为 X_1 的系数值比 X_2 的大。这可能是由于随着转速和压力的增大,岩石破碎的深度和机会随之增大所致。随着冲洗液量 Q 由25升/分增到50升/分,钻速的提高更为明显。这可用随着转速和压力的增大,钻速提高,产生的岩粉增加,大的冲洗液量可以及时地将岩粉排走,有效地冷却金刚石和胎体,而且对于表镶钻头来说,岩粉的变化对胎体磨损、金刚石露出的影响不十分敏感,因此可以更为有效地破碎岩石。从岩粉粒度分析(表5),如以直径大于0.16毫米和直径小于0.16毫米的岩粉重量百分比为准,则在 $Q = 50$ 升/分时,较大颗粒所占比例比 $Q = 25$ 升/分时为大(分别为4.87~9.16%和2.03~3.87%)。说明此时岩粉能及时排出,重复破碎较少,金刚石和胎体得以有效冷却,因此效果较理想。

大颗粒岩粉所占比例降低(由2.73~12.31%降到1.86~10.13%)也说明了这一点。机械钻速回归方程中冲洗液量的代号 X_3 前为负号,说明在该试验条件下,钻速是随冲洗液量的增加而降低的。

对于碎岩功耗来说,表镶钻头和孕镶钻头,皆随转速和压力的增大而增加,其中转速的作用比钻压作用大一点。碎岩功耗回归方程和图3说明,冲洗液量的影响不大, X_3 在回归方程中和在

孕镶钻头钻进时岩粉粒度分布情况

表 6

试验 点号	n 转/分	P 公斤	Q 升/分	V 毫米/分	粒度分布重量百分数						
					0.5 毫米	0.5~0.25 毫米	0.25~0.16 毫米	0.16 毫米	0.25 毫米	0.16 毫米	0.16 毫米
1	130	800	25	19.25	0	0.56	2.55	96.89	0.56	3.11	3.21
2	1015	800	25	50.70	0.91	0.92	1.70	97.31	0.96	2.66	2.73
3	130	1600	25	41.90	0	0.97	1.96	97.07	0.97	2.93	3.02
4	1015	1600	25	85.75	0.72	6.38	3.85	89.01	7.11	10.96	12.31
5	130	800	50	16.50	0.22	0	1.61	98.17	0.22	1.83	1.86
6	1015	800	50	32.05	0	0.91	5.56	93.53	0.91	6.47	6.92
7	130	1600	50	27.00	0.13	3.52	3.13	92.22	3.65	6.78	7.27
8	1015	1600	50	71.75	0	1.61	1.56	90.80	1.61	9.20	10.13

破碎单位体积岩石能耗量情况

表 7

试验 点号	n 转/分	P 公斤	Q 升/分	表镶钻头			孕镶钻头		
				N 千瓦	V 毫米/分	E 千瓦分/厘米 ³	N 千瓦	V 毫米/分	E 千瓦分/厘米 ³
1	130	800	25	0.77	20.7	1.60	0.92	19.25	2.03
2	1015	800	25	2.52	51.2	1.91	2.49	50.70	2.40
3	130	1600	25	2.21	13.25	2.15	1.67	41.90	1.68
4	1015	1600	25	3.72	79.15	2.00	3.19	85.75	1.58
5	130	800	50	0.58	16.05	1.55	0.79	16.50	2.03
6	1015	800	50	2.07	36.20	2.46	1.97	32.05	2.86
7	130	1600	50	1.83	33.55	2.39	1.92	27.00	3.02
8	1015	1600	50	3.60	91.00	1.68	3.22	71.75	1.81

关系曲线上均未出现,可以视其为零而忽略不计,就说明了这一点。但在一般情况下钻速也是随转速和压力的增大而增大的。因此,在衡量和评价碎岩功耗时,似乎不宜单纯考虑功耗绝对值的大小,还应从破碎单位体积岩石的能耗量或单位进尺的能耗量来讨论。破碎单位体积岩石能耗量的计算结果列于表7,其中碎岩能耗量是以破碎1立方厘米岩石所消耗的能量(千瓦分)来计算和评价的。

从图3和表7可见,尽管碎岩功耗随转速和压力的增加而提高,但此时的钻速也几乎同步增长,因此,破碎单位体积岩石所消耗的能量稳定在一定的水平上。对于表镶钻头来说, $E = 1.55 \sim 2.46$ 千瓦分/厘米³, 对于孕镶钻头来说, $E = 1.58 \sim 3.02$ 千瓦分/厘米³。了解这一点是非常重要的,它会有有一定的理论意义和实际的经济价值,

应引起重视。试验台钻进表明,以表镶钻头钻进花岗岩,当其规程参数 $n = 1015$ 转/分、 $P = 1600$ 公斤、 $Q = 50$ 升/分时,机械钻速最高为91毫米/分,岩粉粒度分布最为合理, $0.161/\leq 0.16 = 9.16\%$, 碎岩能耗量最低, $E = 1.68$ 千瓦分/厘米³。以孕镶钻头钻进,当 $n = 1015$ 转/分、 $P = 1600$ 公斤和 $Q = 25$ 升/分时效果最好: $V = 85.75$ 毫米/分; $0.16/\leq 0.16 = 12.31\%$, $E = 1.58$ 千瓦分/厘米³。

结 论

通过试验台试验和对试验资料的分析研究,可做如下结论:

使用二水平全因素试验方法,可以做数量不大的试验,得到描写钻进过程(如机械钻速、碎岩功耗与钻进规程参数优化关系)的数学模型。

钻探工作者可根据这个数学模型,从自己单位的钻探实际出发,选用与相应优化关系相应的规程参数,以便得到更好的钻探技术经济指标。因此,这种方法为在钻探工程中研究各种优化关系提供了一种有效的科学手段。

钻进试验表明,金刚石钻进时机械钻速随钻头转速和孔底压力的增大而提高,钻头转速对机械钻速的影响较孔底压力为大。表镶钻头钻进时,机械钻速有随冲洗液量由25升/分增到50升/分而增加的趋势;孕镶钻头钻进时,机械钻速有随冲洗液量由25升/分增到50升/分而减少的趋势。这可能主要分别是由于岩粉能否及时排走、减少重复破碎、金刚石和胎体能否及时冷却和胎体磨损是否合理、金刚石能否及时出露、有效破碎岩石等所致。

在考虑碎岩功耗时,虽然功耗随钻头转速和孔底压力的增大而提高(冲洗液影响不大),但同时还要考虑由于规程参数提高而使机械钻速提高的一面,因此用破碎单位体积岩石所消耗的能量这个概念来评价更为客观与合适。在某种意义上可以讲,正是碎岩能耗量 E 才能更加客观地反映岩石的力学性质和碎岩的难易程度。分析岩粉粒度分布情况,有助于讨论机械钻速、碎岩能耗量与规程参数间的优化关系。

试验台钻进表明,对于在此条件下钻进花岗岩,考虑到机械钻速、碎岩能耗量和岩粉粒度分布情况,使用表镶钻头01A3CB60—30钻进的

最优规程参数为: $n = 1015$ 转/分; $P = 1600$ 公斤; $Q = 50$ 升/分。使用孕镶钻头02ИАГК120К60钻进的最优规程为: $n = 1015$ 转/分; $P = 1600$ 公斤; $Q = 25$ 升/分。

参考文献

- [1] 汤凤林等:地质与勘探,1985,第6期
- [2] Методические указания. Методика выбора и оптимизации контролируемых параметров технологических процессов. РДМУ, 109-77, М., Изд. Стандартов, 1978
- [3] Адлер, Ю. П.: Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М., Изд. Наука, 1976
- [4] Сычевская, И. Д.: Планирование научного эксперимента. М., ЦНИИЭИ приборостроения, 1976
- [5] Козловский, Е. А.: Кибернетика в бурении. М., Изд. Недра, 1982
- [6] Марамзин, Е. А. и др.: Технические средства для алмазного бурения. Л., Изд. Недра, 1982
- [7] Козловский, Е. А.: Справочник инженера по бурению геологоразведочных скважин. М., Изд. Недра, 1984
- [8] Norman, L. Johnson, et al: Statistics and Experimental Design in Engineering and the Physical Sciences, v II, John Wiley and Sons, New York, 1977

不提钻测斜效果好



小消息

为适应磁性矿区的钻探施工,我公司多年来一直在探索磁铁矿区的测斜技术与工艺,特别是随着金刚石绳索取心钻进技术的推广,在绳索取心钻杆柱里进行测斜更显得必要。

1986年4月,我公司403队在北台铁矿的ZK3203、ZK3404和ZK3402孔内,成功地实现了不提钻测斜,即将小直径($\varnothing 38$ 毫米)

陀螺仪下到绳索取心的钻杆柱内进行钻孔弯曲测量,从而节省了时间,提高了测斜效率,并保证了仪器的安全。

测斜所用仪器为JTL—38型陀螺仪,是上海地质仪器厂在上海航海仪器厂研制的DZ陀螺马达的基础上,于1986年初批量加工的产品,是当前我国生产的陀螺钻孔测斜仪中直径最小、性能先进的一种。

东北冶金地质勘探公司

宋福霖