

论运用喷射技术 来提高煤田复合片钻进时效

陕西省煤田地质勘探公司 张晓宏

自七十年代美国通用电气公司研制出人造金刚石与硬质合金的复合片以来,复合片钻进在国内外油气田勘探中获得了令人瞩目的成绩。但是我们发现复合片钻头在3~7级岩石中进行煤田绳索取心钻进(以下简称绳钻)时,时效偏低,而且虽经不断地调整钻进参数,选用各种形式的钻头结构(改变复合片的大小、数量和其镶焊角度等)及采取一系列降低泥浆固相含量、减小孔内压差等措施,均收效不大。到现在为止,在已用过的13个钻头中,虽平均寿命为185.27m,最高寿命也超过了600m,与其它型号的金钢石钻头寿命指标相比不算低,可是就有92.3%的钻头时效小于 2m/h ,61.5%的钻头时效在 1.5m/h 以下,总平均仅为 1.59m/h (表1)。与合金钻进平均时效(2m/h 以上)相差较多,同天表、电镀等金钢石钻头在煤田绳钻中应用的时效也基本持平或略高。很明显,小时进尺打得如此之低,作为高性能切削具的复合片之优点,难以得到充分的体现,作为新兴技术的复合片钻进也难以取得

长足的发展。进而,也就更难以促进复合片钻头在煤田绳钻中的应用,推动煤田绳钻的大面积推广。所以,大大提高复合片钻进时效,不能不说是至关重要和刻不容缓的。

一、影响复合片钻进时效的主要因素

影响时效的因素是多方面的,如钻进液的性能、岩石类别、孔深、钻头结构、钻进参数等。但为什么施工配套设施较强、技术条件较好的煤田复合片绳钻的钻速要低于普通煤田合金钻进呢?是因为复合片绳钻钻头比合金钻头克取岩石面积大?还是由于钻进工艺措施不尽合理呢?虽然不能完全排斥这些因素,但通过表1可以看出:凡所钻岩石的组成颗粒细小,复合片的钻速都不高;只有个别钻头,在大颗粒成分稍多的(不含石英)岩石中钻进时效较高,如7XP-6、7XP-2和7XP-3号钻头。这就说明组成岩石的颗粒大小、影响着复合片钻头的钻速,尤其是对于泥质胶结类岩石,组成的颗粒愈小、岩石含粘土成分相对愈多,岩石的塑性系数也

石墨以游离状态,或与PHP以吸附状态,同其它固相及高分子物质一起聚结成了泥垢。

(三)小结

(1)要控制结垢的产生,就泥浆而言,应从两方面入手:降低泥浆中的固相含量,增大固相颗粒的运动阻力。

(2)在绳索取心钻进中,应尽可能避免使用分散型泥浆。使用非分散低固相及无固相冲洗液时,应不断补充具有选择絮凝特性

的PHP,以期絮凝、沉淀岩粉及其他有害固相。与此同时,若能配以机械除砂、除泥装置,将会更加有效地控制结垢现象。

(3)使用润滑剂时,加量要适当,且不可一次加入很多,还应尽可能避免使用固体润滑剂石墨。使用复合型润滑剂一方面减阻效果明显,另一方面不致于产生副作用。

最后,感谢河南省第四煤田地质勘探队与笔者的密切合作。

复合片钻头使用情况统计表

表1

钻头编号	寿命 (m)	时效 (m/h)	水路结构	钻进岩石的名称	使用单位	施工地区	制造单位
7 XP-1	175.65	1.56	平底水口	中、细、粉砂岩为主	陕煤139队	榆神府煤田南部	西安钻探所
7 XP-2	242.35	1.62	平底水口	中、细、粉砂岩为主	陕煤139队	榆神府煤田南部	西安钻探所
7 XP-3	397.39	1.93	平底水口	粗、中、细粒砂岩	陕煤139队	榆神府煤田南部	西安钻探所
7 XP-4	230.35	1.19	平底水口	泥岩、细砂岩为主	陕煤139队	榆神府煤田南部	西安钻探所
7 XP-5	213.59	1.22	底喷水眼	泥岩、细砂岩为主	陕煤139队	榆神府煤田南部	西安钻探所
7 XP-6	50.20	4.13	底喷水眼	粗、中粒砂岩为主, 部分细粉砂岩	陕煤139队	榆神府煤田南部	西安钻探所
7 XP-7	64.71	1.13	平底水口	细粉砂岩为主	陕煤139队	榆神府煤田南部	西安钻探所
7 XP-8	76.08	0.77	平底水口	砂质泥岩、细砂岩为主, 部分灰岩、石英砂岩	陕煤194队	渭北煤田中部	西安钻探所
7 XP-9	87.38	1.08	平底水口	砂质泥岩、细、粉砂岩为主, 少量砂岩含石英	陕煤194队	渭北煤田中部	西安钻探所
7 XP-10	93.44	1.17	底喷水眼	砂质泥岩、细、粉砂岩为主, 少量砂岩含石英	陕煤194队	渭北煤田中部	西安钻探所
7 BP-1	76.22	1.29	平底水口	中、细、粉砂岩, 泥岩	陕煤194队	渭北煤田中部	北京探工所
7 BP-2	603.11	2.83	平底水口	粗、中粒砂岩为主	陕煤185队	神府煤田东部	北京602厂
8 BP-1	98.00	1.35	底喷水眼	中、细粒砂岩为主	陕煤131队	神府煤田东部	西安钻探所

注: 1. 钻进参数: 钻压600~1200kg, 转速250~450r/min, 泵量57~87l/min; 2. 钻进液为PHP复配的钾

基低固相泥浆及无膨润土钻进液; 3. 中、细、粉粒砂岩基本为泥质胶结, 部分钙质胶结

就愈大, 对钻速的影响也愈明显。因此可以说, 岩石的塑性程度是影响复合片钻进时效的一个重要因素。岩石的塑性程度越高, 复合片的破岩效果就越差。按复合片是以剪切方式破碎岩石之某些碎岩机理, 复合片的破岩效果应当优越。但据表1及现场观察所绘出的不同岩层与复合片钻进时效的相关曲线(图1)得知, 实际钻进情况并非某些碎岩机理所能解释。由此, 笔者认为复合片对于不同性质的岩石有不同的碎岩特性, 即:

1) 对于较坚硬的岩石, 由于复合片大多为负前角镶嵌, 一般正常的钻压无法使复合片整体切入, 也不能产生理想的压崩、剪切

碎岩效果。而是主要依赖聚晶金刚石层的自磨出刃, 以类似于孕镶金刚石钻头的磨削碎岩作用破碎岩石。又由于复合片的金刚石层薄, 整个钻头参加碎岩的金刚石量少, 加之钻进时转速不高、故而钻速较慢。但其时效还是比磨锐性较差的合金钻进要高。在这种条件下, 只要有一定的泵量, 孔底细岩粉的排放不存在什么问题。

2) 对于中硬的脆性岩石, 因岩石的脆性大, 复合片在一定钻压作用下, 主要以压裂、压崩和剪切的方式破碎岩石。钻进中所产生的粘性不强的岩粉, 由于钻头唇面下空间有限, 除很少细岩粉直接从唇面下排出外, 一般跟随转动的钻头向后移动到水口处, 即可被液流冲出。因此岩粉排放也不存在什么问题; 加之复合片始终保持锋利的出刃, 从而钻进效果较好(图1)。

3) 对于中硬以下的塑性岩石, 只要钻压足够, 复合片即可产生切削碎岩作用。但因这类岩石颗粒细小(粒径小于0.004mm), 且泥质成分较多, 如有很强的粘结力, 就不易运动转移到水口部位排走, 于是与泥饼混杂一起, 粘附在唇面下复合片和胎体周围

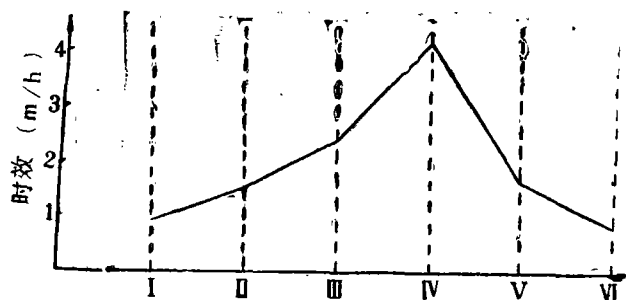


图1、不同岩石的复合片钻进时效趋势图

I—泥岩、砂质泥岩; II—细、粉粒砂岩; III—中粒砂岩; IV—粗粒砂岩; V—灰岩; VI—石英岩砂

(泥包钻头),并逐渐形成“岩粉垫层”,使钻头不能直接有效地切削岩石,而是多次重复破碎岩粉,导致时效偏低。

据根以上分析,针对煤田地层具有塑性岩石多,且与中硬脆性岩石交替出现的特点,设法分离、分裂并清除孔底的粘附岩粉,造成清洁的孔底,是提高复合片钻头钻进时效,加快复合片钻进技术在煤田绳钻推广应用的关键。

二、提高复合片钻进时效的有效途径

钻头底部岩粉的排放效果与钻进液的性能、泵能和钻头结构形式等因素有关。其中钻进液的性能、泵量主要关系到携带岩粉的能力;而钻头的水路结构、泵能则主要决定着孔底钻进液的分布和钻头水马力的大小。据石油钻井有关资料介绍,对于切削型钻头,当钻头水马力一定时,钻速增加有个极限值,只有当钻头水马力提高到一个新水平后,钻速才又随之增加。总而言之,通过改进钻头的水路结构与匹配恰当的泵能来加大钻头的水马力,不仅可降低塑性岩粉对钻速的影响,而且还是钻速得到提高的重要途径。

(一)改进钻头的水路结构

究竟选择什么样的钻头水道才能充分发挥钻头水马力的作用呢?油气田由于实行全面钻进,复合片钻头极易开设喷嘴,因而能有效地利用喷嘴射流的水力特性、达到清除岩粉、破碎岩石之目的。煤田合金取心钻进,因非煤层均采用单管取心的钻进方法,钻头壁厚,用喷射法去消除钻头“泥包”现象比较困难。而对于底唇比合金钻头要厚2~3倍(同径相比)的煤田复合片绳钻钻头来说,则有利于布置喷嘴。如利用喷射钻进的原理,提高钻头水马力,则可达到清洗孔底的目的。事实上,从表1可以看出,在同类地层中钻进,采用底喷式钻头的时效一般要比平底水口的钻头时效高。如7XP-5比7XP-4号钻

头时效高、7XP-10比7XP-9号钻头时效高,而7XP-6号钻头则比打得效果较好的7BP-2、7XP-3号平底水口的钻头时效分别高出45.9%和113.9%。事实清楚地说明,虽然现有底喷钻头的水眼仅是喷嘴结构的雏形、它所产生的喷射能量尚不足以完全清洁孔底,但已清楚地显示了喷射钻进清除孔底岩粉、提高钻进时效的能力。为此,在煤田复合片绳钻中,钻头水路必须改成喷射式水路。

因现设计的直角进出口喷嘴,水能损耗大(损失约50%)、钻头水马力小,应改用效率高的流线型、锥形和等变速型喷嘴,才能较完全地清洁孔底,这是由于它们的能量转换率高,由此形成射流的冲击力和孔底漫流速度大。大冲击力的射流在不停的旋转运动中,可很不均匀地冲击“岩粉垫”,使其破裂和发生翻转,并在高速的孔底漫流作用下,使其冲出钻头唇面;此外,高速孔底漫流所产生的牵引力还会将粘附在钻头上的岩粉分离、脱除下来,迅速排往环空中。考虑到煤田绳钻钻头直径小、结构较复杂(与不取心钻头相比)的特点,拟选择扩散角小、等速核较长、能量损耗和流线型等高级喷嘴基本相当的锥形流道的喷嘴,作为煤田复合片绳钻钻头的喷嘴。

(二)优选喷嘴直径和泵量

喷射钻进之钻头水路结构和喷嘴形式确定以后,影响钻头水马力的主要因素就是喷嘴直径和泵量。钻头水马力、射流冲击力和喷射速度均随泵量的增大或喷嘴直径的减小而增加,当然,泵量与喷嘴直径对此三个水力参数的影响程度是不相同的。对于环空间隙较小的煤田绳钻来说,泵量的增大又要有一定限制,否则,损失在循环系统的泵能将随之显著上升;且环空液流的上返速度太大,会严重冲刷孔壁。

以煤田绳钻常用的SQ70(NQT)钻具为例,其扩孔器和钻杆直径分别为78.5mm和

70mm, 钻头内外径分别是47.6和78mm, 实际成孔直径约80mm。为了防止上返流速过大冲坏孔壁, 环空液流上返速度一般限制在 $0.5 \sim 1.5 \text{ m/s}$, 那么允许泵量应为 $36 \sim 105 \text{ l/min}$ 。要想设计好喷射式煤田复合片绳钻工艺, 使其以最佳水力工作方式工作, 选择喷嘴直径和泵量时, 既要使钻头水马力达到最大, 或使射流冲击力及喷射速度能达到最大值, 又要使循环系统的能量损失尽量小, 环空液流速度不大于 1.5 m/s 。

据国内外有关资料介绍, 喷射钻进以最大冲击力工作方式碎岩效果最佳, 最大水马力工作方式次之。对于煤田绳钻来说, 由于受到允许泵量、泵能的限制, 加之不同孔深环空压力损失差别很大, 为在不同孔深钻孔中都能有效地利用泵能, 钻进不同孔深的钻孔, 宜依不同水力工作方式, 选择不同的喷嘴直径和不同的泵量。

1、在较浅孔($0 \sim 600 \text{ m}$)中环空流程短, 泵压损失不太大, 为将泵能最大限度地利用在钻头上, 使钻头获得较大的压降; 同时考虑在有限泵能范围内实现清粉之目的, 宜采用最大水马力的工作方式, 也就是控制钻头上的压降为额定泵压的 $2/3$ 。但仅选择了水力工作方式, 还不能确定喷嘴直径和泵量, 为此, 必须就额定泵压和泵量相组合的几种状况来逐一分析各项水力参数的大小, 以确定合理的喷嘴直径和泵量。

① 如按环空携带岩粉的最低泵量($Q = 36 \text{ l/min}$)要求, 选现用额定泵压、泵量为 3.92 Pa 和 200 l/min 的水泵, 那么泵在允许泵压状态下工作, 根据公式

$$P_0 = 0.081rQ^4 / C^2 d^4 \quad (1)$$

式中 P_0 ——钻头喷嘴处的压力降, $P_0 = \frac{2}{3} 3.92 \text{ Pa}$;

r ——钻进液比重, 按煤田绳钻常用优质低固相泥浆, 取 1.04 g/cm^3 ;

C ——喷嘴流量系数, 锥形流道喷嘴

为 0.963 ;

Q ——泵量, l/s ;

d ——喷嘴出口相当直径, $d = \sqrt{nd_0^2}$ cm ;

d_0 ——喷嘴出口直径, cm ;

n ——喷嘴数, 6复合片的钻头, 取 $n = 3$;

可求得 $d_0 = 0.19 \text{ cm}$ 。

显然, 这样的喷嘴出口直径太小, 不利于加工制造, 而且还将导致射流等速核过短, 造成射流水力性能的急剧下降。

② 如按环空最大许可泵量($Q = 105 \text{ l/min}$), 则按上述公式可求得 $d_0 = 0.33 \text{ (cm)}$ 。此时, 喷嘴喷射速度

$$V_j = 4.244CQ/d_0^2 = 65.72 \text{ (m)}$$

钻头射流水马力

$$N_j = 0.009rQ^3/d_0^5 = 4.21 \text{ (kW)},$$

钻头比水马力

$$N = N_j / \text{钻头底唇面积} = 0.14 \text{ (kW/cm}^2\text{)}。$$

此 V_j 和 N 与喷射钻进的基本要求(80 m/s 及 0.285 kW/cm^2)相差甚远。为此, 必须增大泵的额定泵压, 以增加 P_0 , 并提高钻头水力参数, 实现较高泵压下的大钻速钻进。但由于绳钻泵量有限, 如泵压增加过高, 将导致 d_0 过小, 故泵压增加也应适当。

③当孔深小于 600 m 。 Q 为 87 l/min 时, 泵压一般在 1.77 Pa 以下(钻进液较好)。为合理分配管路、环空和钻头上的压降, 在 Q (105 l/min)大于现钻进泵量参数的情况下, 设泵的额定泵压为 7.84 Pa , 则据公式(1)有:

$$d_0 \approx 0.28 \text{ (cm)};$$

此时, $V_j = 91.23 \text{ (m/s)}$, $N_j = 8.11 \text{ (kW)}$, $N = 0.27 \text{ (kW/cm}^2\text{)}$,

钻头射流冲击力

$$F_j = 4.243rQ^2/d_0^2 = 172.38 \text{ (N)}。$$

上述钻头水力参数能基本满足喷射钻进的要求。而且分配给环空、管路等循环压降为

2.61Pa, 与实际钻进相符, 只是冲击力略小。经对比, 在较浅孔内, 可按最大水马力工作程序选取循环泵量为105l/min、喷嘴出口直径为0.28cm, 相应额定泵压为7.84Pa。

2、在较深孔(600~1500m)中 小间隙的环空长, 压降大; 加之孔深时, 孔底压差高, “岩粉垫层”需较高的冲击力才能被破坏。为有效地使用泵能, 宜选用最大冲击力工作方式, 也就是控制钻头上的压降为额定泵压的1/2。

①若仍取 额定 泵 压 为 7.84Pa, d_0 为 0.28cm, 则按公式(1)可求得: $Q \approx 93$ (l/min); $V_j = 80.8$ (m/s); $N_j = 5.64$ (kW); $N = 0.19$ (kW/cm²); $F_j = 130.24$ (N)。此种状况的 N 较低, F_j 与较浅孔中所取的也相差不少, 只是喷射速度基本符合要求。这不仅同实现最大冲击力工作方式有一定差距, 而且与达到清粉之要求亦有距离。故应选配更大一点的额定泵压。

②选取额定泵压为9.31Pa, d_0 为0.28cm, 则由公式(1)同样有: $Q \approx 101$ (l/min); $V_j = 87.73$ (m/s); $N_j = 7.18$ (kW);

$$N = 0.24 \text{ (kW/cm}^2\text{)}; F_j = 158.87 \text{ (N)}.$$

虽然由于受到绳钻环空最大许可泵量的限制, 额定泵压不能再大, 但此时的水力参数, 已满足喷射钻进消除“岩粉垫”的基本要求, 而且循环压降分配(4.655Pa)比较合理。故钻进较深孔时, 应选择循环泵量为101l/min及喷嘴出口直径为0.28cm, 相应取泵的额定泵压为9.31Pa。

以上是以SQ70型钻具为例优选的 喷 嘴直径、泵量及相应的额定泵压和钻头水力参数。对于其它型号的绳钻钻具进行喷射式绳钻时, 其喷嘴直径、泵量等参数的选择又如何呢? 现将五种型号的钻具进行煤田喷射式复合片绳钻时的水力参数选择及喷射性能列于表2

从表2可以看出, 虽然煤田绳钻孔径较小, 又为非全面钻进, 但只要对钻头结构、水泵稍加改进, 实现喷射式钻进的条件是具备的。但表2也反映出, 由于受到钻头结构、环空许可流量的限制, 喷射式绳钻的液流冲击力、喷射速度都不及油井喷射钻进(F_j 一般为4000~6000N, V_j 约150m/s左右),

表 2

钻具 类别	实际 孔径 (mm)	钻杆 直径 (mm)	钻头直径 (mm)		孔深 类别	水力 工作 方式	锥形三喷嘴参数 (mm)			喷射 速度 (m/s)	射流水 马力 (kW)	钻头比水 马 力 (kW/cm ²)	射流 冲击力 (N)	泵 量 (l/min)	额定 泵压 (Pa)
			外径	内径			出口直径	进口直径	高度						
SQ70、80		70	73	47.6	较浅	MN	2.8	5.29	10.50	91.23	8.11	0.27	172.38	105	7.84
					较深	MF				87.23	7.18	0.24	158.87	101	9.31
S75	77	71	75	49	较浅	MN	2.1	3.96	7.88	95.73	5.28	0.21	106.72	62	7.84
					较深	MF				83.40	3.12	0.12	75.17	52	7.84
SQ81	90	81	88	57	较浅	MN	2.8	5.29	10.50	91.23	8.11	0.23	172.38	108	7.84
					较深	MF				87.23	7.18	0.20	158.87	101	9.31
S95	97	89	95	64.8	较浅	MN	2.6	4.91	9.75	105.80	10.91	0.29	199.92	105	9.8
					较深	MF				98.55	8.87	0.23	173.49	98	11.76
HR	100	88.9	98	63.5	较浅	MN	3.1	5.85	11.63	104.90	15.12	0.35	279.50	148	9.8
					较深	MF				90.2	9.56	0.22	205.70	127	9.8

注: MN为最大水马力工作方式, MF为最大冲击力工作方式。

钻头比水马力也较低,故煤田复合片绳钻要想利用喷射能量达到很强的水力冲刺、劈裂、切割和气蚀碎岩作用比较困难,但可利用喷射钻进技术来清除孔底粘附的岩粉,达到清洁孔底、提高钻进时效的目的。

三、适应喷射式复合片绳钻的相关措施

要想运用喷射钻进技术在煤田复合片绳钻中获得良好的效果,必然要使钻进工艺、钻进设备与之配套。

(一) 泵的改进及泵能利用

从表2可以发现,现有为绳钻配套的200/3.92、250/5.88型泥浆泵,是不适应煤田喷射式复合片绳钻需要的。因此,须设计和选择小缸套、中等排量和较高泵压的往复变量泵。泵的中间档应与表2数据相吻合,低档应符合同径非喷射式绳钻的需要。高档泵量应满足同径普通钻进和封孔的要求。如SQ70型钻具钻进较浅孔时就应配备160/7.84型泵,其各档排量可分别为50、80、100和160 l/min。

由于泵压 = 环空压降 + 管路压降 + 钻头喷嘴压降 + 钻头内壁与岩心间的压降 + 内外管总成间隙压降,所以,只提高额定泵压来补偿钻头喷嘴的压降是不够的,也是不全面的,还必须,

(1) 对一些环空间隙过小的钻具,如S75、S95型钻具,应配套外径稍大的钻头,以适当加大环空间隙。一般应加大到扩孔器外径与钻杆外径之比(径隙系数)为1.1左右。这样,不仅有利于减少环空压降,而且不会影响钻孔稳定和孔斜,钻头比水马力也无多大变化(如表2中HQ型钻具)。

(2) 对钻进液不仅要求具有较强的护壁和抑制地层水敏的能力,还要求其剪切稀释特性好、塑性粘度小、固相含量少,以加强射流体的渗透性,提高时效并降低喷嘴和循环系统的摩阻。尤其是针对环空液流上升快的特点,必须提高钻进液的紊流减阻性能,

以减少环空的压力损失。

(3) 钻头内壁不得开设水槽,以利在钻头内壁与岩心间形成准密封状态(如在钻头内壁加设不妨碍岩心进入的耐磨损准密封胶圈更好)。并应尽量将内管总成的矛头部位设计加工成流线型。选择钻具应选用内外管间隙较大,且为母捞公形式的钻具,以降低内外管总成间的压降。

(二) 钻进参数的调整

为充分发挥复合片钻头在塑性岩石中的回转切削作用,所加钻压应足以保证复合片切入岩石,但为避免堵塞喷嘴,钻压不宜过大。一般每个复合片可加1000~1500N的压力。同时,由于喷射式钻进孔底清洗条件好,则可适当增大转速,以提高回转切削作用,钻头的圆周线速度取1.5~2m/s。

参 考 文 献

- [1] 刘希圣等:《矿井工艺原理》,石油工业出版社,1984,154~207页。
- [2] 叶玉屏等:金刚复合片钻头的研究,《探矿工程》,1986,4,19页。

电视片《中国煤田地质特征》 即将开拍

中国煤田地质局委托中国矿业大学北京研究生部煤田地质教研室创作的《中国煤田地质特征》电视角本,已经专家审查通过。计划1989年完成录像、剪辑、配音等。此脚本是煤炭系统近40年在煤田地质勘探、科研和教学中取得的大量资料、经验、科研成果和近代国际煤田地质理论发展的总结,共分6篇:1)富饶的乌金之邦;2)中国煤田地质构造特征;3)中国的含煤地层;4)中国主要含煤建造沉积特征与成煤环境;5)中国煤的变质特征;6)中国煤的特征。

(蒋士钧)