

# 充气泡沫泥浆治理长孔段漏涌地层施工工艺探讨

翁克胜, 姜同升, 韩银龙

(安徽省地质矿产勘查局311地质队, 安徽 安庆 246003)

**摘要:**针对长孔段漏涌地层及松散破碎等复杂地层, 提出以泡沫泥浆或充气泥浆平衡地层压力的钻进方法, 兼备护壁和防止冲洗液漏失的双重作用, 实现连续堵漏和护壁, 减少堵漏时间, 有利于提高钻探效率, 降低成本。对于干旱缺水地区、全漏失地层钻探施工拓展了新的技术手段。

**关键词:**泡沫泥浆; 充气泥浆; 平衡地层压力; 漏涌地层; 松散破碎地层; 钻探效率

**中图分类号:** P634.6<sup>+</sup>4    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2017)03-0021-06

**Discussion of Construction Technology for Leakage Formations Treatment with Aerated Mud and Foam Mud/**  
WONG Ke-sheng, JIANG Tong-sheng, HAN Yin-long (311 Geology Team, Bureau of Geology and Mineral Exploration of Anhui Province, Anqing Anhui 246003, China)

**Abstract:** According to the complicated long-section well kick & circulation loss, loose and broken formations, the drilling method with foam mud or aerated mud is put forward to balance the formation pressure, which has dual role on wall protection and flushing fluid leakage prevention to realize continuous plugging and wall protection, and is helpful to improve drilling efficiency and reduce cost. This is a new technical means developed for drilling construction in water deficient area and full loss stratum.

**Key words:** foam mud; aerated mud; formation pressure balancing; well kick and circulation loss interbedding; loose and broken formation; drilling efficiency

## 1 概述

黄屯硫铁矿因岩层复杂、断裂发育、断层带岩石破碎, 故钻孔坍塌、掉块、漏失、涌水等现象严重。几年来, 在该地区施工中采取了以“堵”为主的综合治理方法, 取得了一定的成效, 但是由于漏失孔段厚度大, 漏失程度不一, 漏涌互层, 给钻进和护壁造成很大困难。在钻进中, 采用泥浆循环钻进, 泥浆消耗量大, 增加了钻进成本。曾采用顶漏钻进一段, 用水泥封堵一段的堵漏技术措施, 这一措施占用了大量的候凝时间。采用多层套管隔离护孔措施, 又受到钻孔结构等条件的限制, 且劳动强度较大。因此, 如何解决长漏失孔段采用泥浆钻进时泥浆漏失及停止输送泥浆时又发生涌水这类地层的护壁堵漏问题, 是影响该工区钻探效率、工程质量以及经济效益的技术关键。

本文就该工区长漏失孔段及漏、涌地层钻进施工过程中, 采用泡沫泥浆与充气泥浆作为冲洗液, 平衡地层压力钻进等问题, 进行几点探讨。

## 2 产生复杂地层的原因与泥浆对策

### 2.1 矿区地层类型与施工概况

黄屯硫铁矿矿区地层情况从上到下依次为第四系覆盖层、流砂、砂砾、构造破碎带, 地层裂隙发育, 地层不稳定, 且严重漏失。具体地层特征见表1。

几年来, 在该地区施工过程中采取了以堵漏为主的综合治理措施, 如堵漏泥浆(泥浆中加惰性材料)、粘土球、水泥浆液、套管隔离等, 总之是以“堵”为主, 虽然取得一定的成效, 但无论从堵漏时间, 材料消耗, 劳动强度方面来衡量, 都不是十分理想。根据钻探工作量分析钻探技术指标, 台月效率最高时才到达了321 m, 最低时只有205 m。从钻探时间利用情况来看, 纯钻时间利用率最高为32.2%, 最低时只有11.6%, 而辅助时间率高达47%~72.4%。

造成上述情况的原因, 固然与地层条件复杂这一客观事实有关, 但与采取的泥浆对策也有一定的关系。对于长漏失孔段单靠“堵”的方法, 往往是堵了一层, 而又出现了新的漏失层, 甚至已经堵过的

收稿日期: 2016-07-29; 修回日期: 2016-11-15

作者简介: 翁克胜, 男, 汉族, 1970年生, 探矿工程处经理, 工程师, 注册一级建造师, 探矿工程专业, 从事地勘施工技术管理工作, 安徽省安庆市菱湖南路21号, 272142397@qq.com。

表1 施工区地层特征简述

地 层 类 型	深度/ m	厚度/ m	岩 性 描 述	岩 石 名 称	漏失分类	孔内水位		
						漏失/m	涌水/m	
粘土、泥岩地层	第四系覆盖层	8	8~18	松散、无胶结、吸水膨胀分散	粘土、泥岩砂砾层	部分或微漏		
流砂、砂砾松散地层	流砂层、基岩风化层	30	20~40	松软、岩石破碎、多呈碎块状,此层遇水松软破碎	高岭土化安山岩	部分或微漏		
裂隙地层	含水丰富层	210	80~150	裂隙、孔洞发育、漏失孔段多,为长孔段大漏失层	安山岩、闪长玢岩、粗安斑岩、硅化泥灰岩、黄铁砂石	中漏 微漏	0.57~	0.10~
	含水层	270	40~60	裂隙发育、岩心破碎、近接触带、孔洞发育	角闪安山岩、粉砂岩	中漏 微漏	9.05	0.15
	火山熔岩、碎屑岩接触带	300	10~40	松软、泥化破碎	硅化粗安斑岩、闪长玢岩、黄铁砂石	中漏		
	构造破碎带	440	80~150	岩心全破碎坍塌、掉块严重	泥质灰岩、石英砂岩、安山岩粉、(细)砂岩	中漏		

孔段又重新漏失,使钻探施工更加困难。

## 2.2 产生复杂地层的原因分析

(1)裂隙地层厚度较大:该区钻孔仅裂隙地层的平均厚度约135 m,若把第四系覆盖层和风化带(水敏地层)算作裂隙层,那么复杂地层厚度约180 m。由于岩石裂隙发育,溶洞连通,形成钻孔后,孔壁受力情况发生变化,孔壁失去稳定与平衡,出现掉块、坍塌以及孔内岩粉增加等现象。

(2)含水层厚度大:该地区主要含水层厚度在150 m左右,主要表现为漏失孔段多,钻孔一般从孔深40 m开始发生漏失,直到终孔,且中等漏失地层的厚度多在120 m左右,因此,钻进过程中,泥浆消耗量大,孔口经常无泥浆上返。

(3)钻孔多数孔段既是裂隙地层又是含水层,甚至在同一钻孔中既有漏失孔段也存在涌水孔段,这不仅增加了复杂孔段的长度,同时也增加了地层的复杂程度。因此,对采用泥浆堵漏和护壁的功能提出较高的要求。对上述地层,要克服孔壁因失去平衡而产生的掉块、坍塌等不稳定现象,则要求泥浆有较大的密度,使孔内液柱压力略大于地层的压力,达到孔壁稳定的目的。但是由于这一孔段又是含水层,泥浆密度大,往往造成泥浆大量漏失,从堵漏和减少泥浆漏失的角度看,则要求泥浆有较低的密度,这是相互矛盾的两种需求,然而造成施工和护壁困难的主要原因是泥浆漏失。

## 2.3 长漏(涌)孔段泥浆的选择

(1)针对黄屯硫铁矿区长漏(涌)不稳定地层对泥浆堵漏和护壁功能的要求,选择泡沫泥浆或充气泥浆平衡地层压力的钻进,可以兼备护壁和防止泥浆漏失的双重作用,这是由于泡沫泥浆密度小,液柱

压力小,不仅可以防止泥浆的漏失,而且有利于提高钻进效率,同时泡沫泥浆有较高的粘度和切力,故携岩粉能力强,可以形成泥皮有利于保护孔壁,并且能实现连续“堵漏”和护壁,从而减少专门用于堵漏的时间,有利于提高纯钻进时间和钻探效率,降低成本。

(2)对于部分钻孔,钻进时泥浆漏失,停钻时则涌水的孔段,可选择机械充气泥浆,即在钻进时,在泥浆泵出口和高压管之间加一个三通接头,用小型空压机注入压缩空气,以降低泥浆密度,平衡地层压力,使泥浆恢复循环,达到洗孔和护壁的目的。当停止充气,空气便从泥浆中逸出,使密度逐渐恢复正常以压住孔内的涌水,既可防止泥浆被涌水稀释,造成泥浆性能破坏,又能确保不稳定地层的护壁作用。

## 3 泡沫泥浆

### 3.1 泡沫泥浆的配制及性能

黄屯硫铁矿钻孔平均孔深在520 m左右,最深孔不超过930 m,孔内水位较高,对使用泡沫泥浆钻进有利。选择配方时,根据该地区的实际情况,在保证泥浆性能,满足护壁堵漏要求的前提下,泡沫泥浆应配制简单,经济适用。为此,通过室内试验和参考有关资料,进行如下配制:泡沫泥浆是在原浆中加入Na-HPAN、PHP、FCLS(或KHm)和ABS经搅拌充气配制而成的,各种成分的加量与选择,对泡沫泥浆的质量有直接影响。基浆成分由6%~8%粘土、4.5% Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>、0.15% Na-HPAN、100 mg/L PHP、0.2% FCLS(或KHm)组成。其中,粘土颗粒,Na-HPAN、PHP起稳泡作用,在上述成分中加入起泡剂,即可配制成泡沫泥浆。选择发泡能力强、泡沫细

密、价格便宜的ABS为起泡剂,加量60 mg/L。泡沫泥浆的性能详见表2。

表2 各种成分的加量及泡沫泥浆的性能

泥浆种类	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	塑性粘度/ ( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ )	动切力/ Pa	失水量/ [ $\text{mL} \cdot (30 \text{ min})^{-1}$ ]	泥皮厚度/ mm	胶体率/ %	pH值
基浆	0.14 ~ 1.052	13	48	10	0.7	100	9 ~ 10
ABS	0.8 ~ 0.95	23	86	7.5	0.5	100	9 ~ 10

### 3.2 泡沫泥浆的配制过程

配制过程:将加入4.5%纯碱的粘土浸泡24 h,经充分搅拌后,依次加入Na-HPAN(0.15%),分子量1200万、浓度1%、水解度30%的PHP(100 mg/L),这时泥浆粘度很大,加0.2%FCLS稀释剂,将原浆粘度调到30 s左右(漏斗粘度),这时再加入浓度0.6%的ABS 60 mg/L,搅拌30 min后,泥浆明显膨胀增多,此时,泡沫泥浆配成。

### 3.3 性能维护与调整方法

(1)仔细观察泥浆的异常变化,及时测定泥浆的性能指标。

(2)钻进过程中,由于地下水稀释及岩粉吸附发泡剂等原因,会使泥浆逐渐去气,失去原有性能,因此,应加入发泡剂,并用空压机充气。

(3)泡沫泥浆携带岩粉能力强,但由于粘度大,净化有难度。采用旋流除砂器清除岩屑,并经常捞除岩粉,净化泥浆循环系统。

(4)泥浆经过一段时间后,由于处理剂的消耗,粘度往往下降,失水量上升,可添加新鲜泥浆或加入Na-HPAN,提高粘度,降低失水量,并控制在5 ~ 8 mL/30 min。

(5)当pH值低时,可加入 $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 重新调整,使pH值保持要求的性能。

## 4 充气泥浆

实现充气泥浆钻进,空压机是关键设备,要求有足够的风量和较高的风压,且所需功率不能过大,否则经济上是不合理的,难于在生产中被采用。为了保证空压机能安全有效地使用,在三通接头一端加上一个逆止阀,为了调节风量,配有空气流量控制阀,使钻进时能根据具体情况来调整送风量。

### 4.1 空压机的选择

#### 4.1.1 风压的确定

设泵量 $Q = 80 \text{ L/min}$ ( $0.0013 \text{ m}^3/\text{s}$ ),充气泥浆

密度 $\gamma_{充1} = 0.9 \text{ g/cm}^3$ ( $900 \text{ kg/m}^3$ ),塑性粘度 $n_p = 1.5 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ ,动切力 $\tau_d = 4.8 \text{ Pa}$ ,孔径 $D_h = 0.091 \text{ m}$ ,孔深 $L = 300 \text{ m}$ ,钻杆长 $L = 300 \text{ m}$ ,钻杆外径 $d_2 = 0.05 \text{ m}$ ,钻杆内径 $d_3 = 0.037 \text{ m}$ ,钻杆接箍数 $n = 60$ ,接箍内径 $d_4 = 0.028 \text{ m}$ ,地面管线长 $L_1$ ( $L_b$ ) = 20 m,管线内径 $d_b = 0.05 \text{ m}$ 。

(1)求 $p_1$ 值(钻杆和地面管线内的水力损失)

钻杆内平均流速:

$$v_2 = \frac{4Q}{\pi d_3^2} = \frac{4 \times 0.0013}{3.14 \times 0.037^2} = 1.21 \text{ m/s}$$

$$Re_1 = \frac{1}{\frac{n_p}{(\gamma_2/g)v_2 d_3} + \frac{1}{6} \cdot \frac{\tau_d}{(\gamma_2/g)v_2^2}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1.5 \times 10^{-3}}{\frac{900}{9.81} \times 1.21 \times 0.037} + \frac{1}{6} \times \frac{0.48}{\frac{900}{9.81} \times 1.21^2}}$$

$$= 740.74$$

因为 $Re_1 = 740.74 < 2000 \sim 3000$ 为层流态。

所以: $\lambda_1 = 64/Re_1 = 64/740.74 = 0.0864$ 。

因

$$L_1 = L_b d_3^5/d_b^5 = 20 \times 0.037^5/0.05^5 = 4.42 \text{ m}^2$$

$$p_1 = 8.3 \times 10^{-6} \times \lambda_1 \times \frac{\gamma_2 Q^2 (L + L_1)}{d_3^5}$$

$$= 8.3 \times 10^{-6} \times 0.0864 \times \frac{900 \times 0.0013^2 \times (300 + 4.42)}{0.037^5}$$

$$= 4.81 \text{ atm}$$

(2)求 $p_2$ 值(环状空间的水力损失)

$$V_1 = \frac{4Q}{\pi(d_b^2 - d_2^2)}$$

$$= \frac{4 \times 0.0013}{3.14 \times (0.091^2 - 0.05^2)}$$

$$= 0.286 \text{ m/s}$$

$$R_m = 0.9 + 0.03 = 930 \text{ kg/m}^3$$

$$Re_2 = \frac{1}{\frac{n_p}{(\gamma_2/g)v_1(D_h - d_2)} + \frac{1}{6} \cdot \frac{\tau_d}{(\gamma_2/g)v_1^2}}$$

$$= \frac{1}{\frac{1.5 \times 10^{-3}}{\frac{900}{9.81} \times 0.286(0.091 - 0.05)} + \frac{1}{6} \cdot \frac{0.48}{\frac{900}{9.81} \times 0.286^2}}$$

$$= 81.3$$

$$\lambda_2 = \frac{15.8}{Re_2^{0.9}} = \frac{15.8}{81.3^{0.9}} = 0.30 \quad (\lambda_2 \text{ 为阻力系数})$$

$$p_2 = 8.3 \times 10^{-6} \times \lambda_2 \psi \frac{\gamma_m Q^2 L}{(D_h - d_2)^3 (D_h + d_2)^2}$$

$$= \frac{8.3 \times 10^{-6} \times 0.30 \times 1.1 \times 930 \times 0.0013^2 \times 300}{(0.091 - 0.05)^3 \times (0.091 + 0.05)^2}$$

$$= 0.94 \text{ atm}$$

式中: $\psi$ ——水力损失增加系数,取 1.05 ~ 1.1。

(3) 求  $p_3$  值(钻杆接头内的局部水力损失)

$$\xi = 2 \times [(d_3/d_4)^2 - 1]^2$$

$$= 2 \times [(0.037/0.028)^2 - 1]^2$$

$$= 1.11$$

式中: $\xi$ ——局部无因次阻力系数。

$$p_3 = 8.3 \times 10^{-6} (\zeta \gamma_2 Q^2 / d_3^4) \times n$$

$$= 8.3 \times 10^{-6} \times 1.11 \times \frac{900 \times 0.0013^2}{0.037^4} \times 60$$

$$= 0.45 \text{ atm}$$

(4) 岩心钻具水力损失  $p_4 = 1.2 \text{ atm}$

(5) 求总压头损失:

$$P = K(p_1 + p_2 + p_3 + p_4) = 1.3 \times 6.04 = 9.62 \text{ atm}$$

式中: $K$ ——水力损失增加系数,取 1.1 ~ 1.4。

因为风压稍大于  $P$ (泵压)即可,所以选择风压在 0.96 MPa 以上。

#### 4.1.2 风量的确定

风量的确定是根据将具有一定密度和排量的泥浆,使其密度降低,保证钻进时泥浆正常循环为原则。

设泥浆排量  $Q = 80 \text{ L/min}$ ,  $V_{\text{泥}} = 80 \text{ L}$ , 泥浆密度  $\gamma_{\text{泥}} = 1.05 \text{ g/cm}^3$ ,  $\gamma_{\text{充1}} = 0.9 \text{ g/cm}^3$ , 风压选 12 atm。

当空气的温度、压力变化时,空气的密度可按下式换算。

$$\gamma_{\text{空}} = 1.29 \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{P}{760} \text{ kg/m}^3$$

式中: $t$ ——空气温度(设  $t = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $P$ ——空气的绝对压力,毫米汞柱(设  $P = 12 \times 760$ )

那么:

$$\gamma_{\text{空}} = 1.29 \times \left( \frac{273}{273 + 15} \right) \times \left( 12 \times \frac{760}{760} \right)$$

$$= 14.675 \text{ kg/m}^3$$

因为:

$$G_{\text{泥}} + G_{\text{空}} = G_{\text{总}}$$

所以:

$$V_{\text{泥}} \times \gamma_{\text{泥}} + V_{\text{空}} \times \gamma_{\text{空}} = \gamma_{\text{充}} (V_{\text{泥}} + V_{\text{空}})$$

$$V_{\text{空1}} = [V_{\text{泥}} \times (\gamma_{\text{泥}} - \gamma_{\text{充}}) / \gamma_{\text{充}}] - V_{\text{泥}}$$

$$= [0.08 \times (1050 - 900) / 900] - 14.675$$

$$= 0.0136 \text{ m}^3$$

$$= 13.6 \text{ L}$$

如果:

$$V_{\text{泥2}} = 80 \text{ L}, \gamma_{\text{充2}} = 0.8 \text{ g/cm}^3$$

则:

$$V_{\text{空2}} = 0.0226 \text{ m}^3 = 22.6 \text{ L}$$

充气泥浆体积在孔内液柱压力下会缩小,这样空压机  $V_{\text{空}}$  的体积要增大,因此,由式  $P_{\text{柱}} V_{\text{孔内}} = P_{\text{空}} V_{\text{空}}$  知,当  $V_{\text{孔内}} = V_{\text{空}}$  时,才能求出所需空压机的气体体积。

即:

$$P_{\text{柱}} V_{\text{孔内}} = P_{\text{空}} V_{\text{空}}$$

其中:

$$P_{\text{柱1}} = \gamma_1 L / 10 = (0.9 \times 400) / 10 = 36 \text{ atm}$$

$$P_{\text{柱2}} = \gamma_2 L / 10 = (0.8 \times 400) / 10 = 32 \text{ atm}$$

那么:

$$V_{\text{空1}} = P_{\text{柱1}} \times V_{\text{空1}} / P_{\text{空}} = (36 \times 13.6) / 12 = 40.8 \text{ L}$$

$$V_{\text{空2}} = P_{\text{柱2}} \times V_{\text{空2}} / P_{\text{空}} = (32 \times 22.6) / 12 = 60.27 \text{ L}$$

因为,所设空压机排量  $Q = 80 \text{ L/min}$ ,  $V_{\text{泥}}$  为 80 L(是 1 min 体积),因此算得空气体积  $V_{\text{空}}$  是 1 min 所需体积,这样风量  $Q = V_{\text{空2}} / t = 60.27 / 1 = 60.27 \text{ L/min}$ ,因此,只要风量  $> 60.27 \text{ L/min}$  即可。

由上计算得出风压为 12 atm,风量为  $0.6 \text{ m}^3/\text{min}$  的空压机,足以达到使用要求。

#### 4.2 泥浆的配方及性能指标

充气泥浆对基浆要求不高,密度为  $1.08 \text{ g/cm}^3$  左右的普通泥浆即能达到要求。我们选用聚丙烯酰胺泥浆,也可用泡沫泥浆的基浆,只是不加发泡剂,这样两种泥浆可以随时根据实际要求转换,避免浪费。性能指标见表 3。

表 3 泥浆性能指标

序号	处理剂加量					泥浆性能指标						
	高阳土/ %	纯碱/ %	CMC/ %	HPAN/ ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	FCLS/ %	密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	塑性粘度/ ( $\text{mPa} \cdot \text{s}$ )	动切力/ Pa	失水量/[ $\text{mL} \cdot$ (30 min) $^{-1}$ ]	泥皮厚/ mm	pH 值	胶体率/ %
1	8	4.5	0.2	150	0.2	1.050	14	450	8	0.5	9~10	100
2	8	4.5	0.2	200	0.2	1.055	16	50	8	0.5	9~10	100

### 4.3 性能的调整方法

(1)提钻时从孔口回灌部分原浆既可避免抽吸现象,又使孔内泥浆密度增大。

(2)如泥浆密度恢复较慢,可提前关闭空压机或往泥浆中加消泡剂,用来去泡增密度。由于该地区涌水孔水头高度不大,泥浆密度只要大于 $1.035\text{ g/cm}^3$ 即能压住涌水。

(3)其它调整方法可参考泡沫泥浆的性能调整。

## 5 钻探应用

为进一步解决长孔段漏失及漏涌互层钻进中存在的问题,在该矿区进行了充气泡沫泥浆钻进试验。根据钻孔的深度等情况,选用XY-44型岩心钻机,SG-18型钻塔,NBB-250/60型泥浆泵,VHP400型空气压缩机, $\varnothing 91\text{ mm}$ 口径取心钻具及各类普通单、双管钻具等。

黄屯矿区ZK45、ZK75两个试验孔钻孔结构采用 $\varnothing 130\text{ mm}$ 口径开孔,穿过覆盖层和风化层5m左右下人 $\varnothing 127\text{ mm}$ 孔口管,然后变径 $110\text{ mm}$ 口径施工到稳定地层后下人 $\varnothing 108\text{ mm}$ 套管,再换 $\varnothing 91\text{ mm}$ 口径钻进至终孔。钻进中在漏失孔段使用充气泡沫泥浆,涌水孔段停止充气,泥浆密度很快恢复能压住涌水。ZK45钻孔28天终孔,终孔孔深464.94m,台月效率498.32m;ZK75钻孔36天终孔,终孔孔深624.20m,台月效率520.17m,两个孔钻进试验效果良好。

(1)泡沫泥浆的配置和泡沫泥浆注入量:由水、发泡剂组成泡沫泥浆。通过室内试验及现场使用情况,确定在 $1\text{ m}^3$ 水中发泡剂加量为 $0.5\% \sim 0.6\%$ ,稳泡剂加量为 $0.2\% \sim 0.3\%$ 。钻进中,观察地层变化情况,对其加量再适当调整,泡沫泥浆的注入量为2.5和 $5\text{ L/min}$ 。

(2)风量及风压:钻进过程中,基本上是全风量钻进。由于风管接头有较大的漏失现象因而估计进入孔中的空气量约为 $8 \sim 9\text{ m}^3/\text{min}$ ,风压随孔深增加而增大,其变化范围在 $0.5 \sim 1.05\text{ MPa}$ 。

(3)岩矿心采取率高:采用充气泡沫泥浆钻进,使岩矿心采取率在松散、破碎地层有较大幅度的提高,两个孔岩矿心采取率均达到95%以上,提高了岩矿心的原状性,这主要因为泡沫泥浆是一种活性剂,由于极性吸附,使水分子不能渗透岩矿心,再则

空气冲刷力小及泡沫泥浆的润滑作用,使岩矿心得以保护,从而提高了岩矿心的采取率,并保证了岩矿心的纯洁性。

(4)护壁效果好:在钻进过程中始终未出现孔壁坍塌、掉块现象,说明充气泡沫泥浆能很好的保护孔壁。

(5)经济效益高:充气泡沫泥浆在两个钻孔试验中,台月效率分别达到498.32和520.17m,与普通钻进相比台月效率提高约41%,综合钻探成本大大低于普通钻进生产成本。

## 6 充气泡沫泥浆钻进技术优点

(1)泡沫属于低密度介质,钻孔内静水压力小,有利于减少孔内漏失和提高钻进速度。

(2)在破碎等复杂地层中对地层的冲刷作用小,可起到保护孔壁的作用。

(3)由于岩屑颗粒外表被泡沫包裹,形成一层保护膜,防止岩粉粘结,不致形成泥包,因此排粉排屑能力强于空气和水。

(4)由于泡沫对岩心的冲刷作用小,有利于提高岩矿心的采取率。

(5)停机停风时可以降低岩屑沉降速度,避免埋钻事故。

(6)泡沫具有洗井液的作用,不会在含水层孔壁形成泥皮,可增加出水量。

## 7 结语

在黄屯硫铁矿区长孔段中等漏失地层钻进,采用泡沫泥浆做冲洗液,与其它堵漏方法(泥浆中加惰性材料、水泥、套管等)相比,不论从时间上、材料消耗上、劳动强度及堵漏效果上都有明显的优点,泡沫泥浆平衡地层压力钻进,不仅可以实现钻进护壁作业的连续性和同步性,而且也有利于提高金刚石钻进的机械钻速,并可在钻进中,视具体情况去充分利用空压机,如果用泡沫泥浆洗孔不上返时,可开启空压机,调整送风量,使泡沫泥浆上返速度达到适宜为止。

在钻进时泥浆漏失,而停止钻进,孔内又发生涌水的地层,采用充气泥浆钻进,可以实现钻进时泥浆有较低的密度,减少漏失,恢复循环,携带孔内岩粉。当不充气时,由于这种泥浆中没有加入发泡剂和稳泡剂,泥浆密度很快恢复,可以压住涌水,这样既能

护壁,又可保护泥浆性能不被破坏,且使用这种泥浆也对提高机械钻速,降低材料消耗,预防孔内事故有利。

通过简单的计算,充气泥浆的关键设备——空压机,采用市场上小型空压机就能满足钻进时对风量、风压的要求,且动力消耗较低,从适用性和经济性考虑是可行的。但空压机最好采用电力驱动(发电机组或高压电路),而用柴油机做动力则受到限制。

随着逐步掌握充气泡沫的工艺方法,将会进一步排除与克服因设备能力所造成的孔内排渣、粘壁等客观因素对孔内事故影响。实践证明,充气泡沫钻进技术可进行各类基岩地层条件下施工钻孔的尝试与推广。

#### 参考文献:

- [1] 耿瑞伦.应用空气钻进技术钻采地下水[C]//严重缺水地区地下水勘查论文集.北京:地质出版社,2003.
- [2] 顾新鲁,赵清海,刘庆章,等.空气泡沫钻进在干旱地区水井钻探方面的应用[J].西部探矿工程,2005,(8):113-114.
- [3] 索忠伟,王生.钻孔冲洗与护壁堵漏[M].北京:地质出版社,2009.
- [4] 汤凤林,A.Γ.加里宁,段隆臣.岩心钻探学[M].湖北武汉:中

国地质大学出版社,2009.

- [5] 郑秀华,李国庆,王军,等.可循环微泡沫及其应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(S1):255-259.
- [6] 许刘万,刘智荣,赵明杰,等.多工艺空气钻进技术及其新发展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(10):8-14.
- [7] 刘家荣,王建华,王文斌,等.气动潜孔锤钻进技术若干问题[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(5):34-39.
- [8] 王艳丽.岩屑对泡沫剂性能影响的试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):22-24.
- [9] 郭京华,夏柏如,田凤.也门1区块恶性漏失地层气体钻井实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(7):1-5.
- [10] 张建,王艳丽,吴国强.空气泡沫钻进技术在复杂漏失地层中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(8):32-35.
- [11] 许刘万,王艳丽,刘江,等.影响水井钻探效率的因素及提高钻井速度的关键技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(4):18-21.
- [12] 张秋冬,王兴民,张新春,等.大口径空气钻进工艺在大陆科学钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):10-13.
- [13] 王占林,冯水山,王昱涵,等.可循环微泡沫钻井液技术在易漏失地层钻井施工中的应用[J].西部探矿工程,2014,(11):69-72.
- [14] 董震堃,胥虹,聂洪岩,等.微泡沫泥浆在贵州岩溶裂隙地层钻探施工中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(10):5-8.
- [15] 刘海波.空气泡沫潜孔锤钻进技术在大直径基岩深井中的应用试验[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(5):31-34.

(上接第16页)

#### 4 结论

作为环保、可再生的绿色能源,干热岩是未来需重点关注的能源热点,在钻采利用上从钻井角度存在井深、高温、岩石硬等钻井难点,对钻井设备、器具、仪器提出了更苛刻的要求。

根据目前的技术产品实际,提出钻井施工分两步走的建议。

液动潜孔锤作为钻速有效的提高机具,已基本达到第一步干热岩钻井施工的要求,同时提出了采用氟橡胶和全金属密封材料和结构解决液动潜孔锤的耐高温性能、采用注渗碳化钨工艺提高运动密封副连续工作寿命、以及采用分流结构解决与其他井底动力机具大泵量的匹配等关键技术方案。

#### 参考文献:

- [1] 谢文卫,苏长寿,宋爱志.新型高冲击液动潜孔锤的研究[J].探矿工程,1998,(6):31-32.
- [2] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等.系列高效液动锤的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(3):27-31.
- [3] 王建华,苏长寿,左新明.深孔液动潜孔锤钻进技术研究与应用[J].勘察科学技术,2011,(6):59-64.
- [4] 张金昌.地质钻探技术与装备21世纪新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(4):10-17.
- [5] 王建华.大直径液动潜孔锤钻进技术探讨[J].勘察科学技术,2009,(6):22-24,28.
- [6] 张金昌.钻探技术新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):11-18.
- [7] 赵福森,张凯.青海贵德ZRT<sub>1</sub>干热岩钻井钻进工艺研究[J].石油钻探技术,2015,43(2):5-7.
- [8] 刘伟莉,马庆涛,付怀刚.干热岩地热开发钻井技术难点与对策[J].石油机械,2015,43(8):11-15.
- [9] 苏长寿,谢文卫,杨泽英,等.高效岩心钻进的有效途径——液动锤钻探[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(S1):81-84.