

超大直径、巨厚漂卵石地层钻井泥浆护壁洗井工艺技术

杨宗仁¹, 袁洁², 张鹏¹, 赵丽¹

(1. 河北大直径工程井建设有限公司, 河北 石家庄 050031; 2. 河北省地质矿产勘查开发局, 河北 石家庄 050031)

摘要:介绍了采用机械钻井法施工 $\varnothing 8.3$ m、深度 286 m(其中漂卵石层厚度 251 m) 矿山竖井的钻井泥浆护壁洗井技术, 主要包括钻井泥浆的配制、不同地层条件下泥浆性能参数的选择、调整以及钻井泥浆的净化、洗井等工艺技术措施。

关键词:漂卵石地层; 超大口径竖井; 机械钻井; 泥浆; 护壁洗井

中图分类号: TD262.1⁺1; P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2010)04-0050-04

Well Flushing Technology with Drilling Mud in Super Large Diameter and Great Thick Gravel-oulder Formation/ YANG Zong-ren¹, YUAN Jie², ZHANG Peng¹, ZHAO Li¹ (1. Hebei Large Diameter Engineering Well Construction Co., Ltd., Shijiazhuang Hebei 050031, China; 2. Hebei Bureau of Geology and Mineral Exploration, Shijiazhuang Hebei 050031, China)

Abstract: The paper introduced the well protection and well washing technology with drilling mud by mechanical drilling construction method; the drilling diameter was 8.3 m, the depth was 286 m and the thickness of gravel-boulder was up to 251 m. The preparation of drilling mud, the selection & adjustment of mud performance parameters in different formations, mud purification and well washing were illustrated.

Key words: gravel-boulder formation; super-diameter shaft; mechanical drilling; mud; well protection and well washing

机械钻井法施工矿山竖井, 需要通过泥浆进行护壁洗井完成。钻井泥浆是由水、膨润土、化学处理剂按一定比例配置、搅拌而成符合钻井工艺要求的溶胶悬浮液, 其主要作用是临时支护井壁稳定、冷却破岩刀具、冲洗井底及携带岩屑, 同时, 也是钻井井筒永久支护预制混凝土井壁漂浮下沉的介质, 钻井泥浆的性能直接影响着井壁漂浮下沉和壁后充填质量, 以及钻井洗井效果, 所以钻井泥浆性能参数要满足不同阶段竖井施工的要求。

1 工程的基本情况

河北遵化铁矿竖井工程由主井、副井、风井组成, 其中副井的钻井直径为 8.3 m, 深度为 286 m。矿区第四系地层主要为巨厚的漂卵石地层, 基岩部分主要为微风化花岗岩片麻岩, 地层具体情况如下:

0~113.9 m 为粘性土及砂层、卵石层, 以粗砂砾石为主, 一般粒径为 2~6 cm, 最大粒径为 20~30 cm, 砾石的主要成分为石英岩、片麻岩, 其中局部层段为粘性土充填;

113.9~231.6 m 为粗砂、漂卵石层, 一般粒径为 10~20 cm, 最大粒径为 40~50 cm, 漂卵石的主要成分为石英岩、片麻岩, 局部层段为粘性土充

填;

231.6~251.0 m 为漂卵石层, 最大可见粒径为 102 cm(通过钻头携带至地表), 一般为 20~40 cm, 漂卵石的主要成分为石英岩, 层底为黑色粘性土, 层厚约 1.9 m;

251.0~286 m 为花岗片麻岩, 灰绿色, 主要成分为石英、长石、角闪石等, 局部见少量石榴子石, 细粒变晶结构, 片麻状构造, 岩层的倾角为 35°, 微风化片麻岩的抗压强度最大为 101 MPa。

竖井施工采用机械钻井方法和普通凿井方法综合进行, 上部漂卵石层部分采用机械钻井法施工, 进入稳定的基岩地层 30 m 进行井筒永久支护。副井采用钻井法施工井段的设计参数为: 竖井净径 6.2 m; 钻井直径 8.3 m; 竖井深度 286 m; 井壁厚度 0.6 m; 成井后井筒涌水量 ≥ 5 m³/h; 成井后竖井垂直度 $\geq 0.8\%$ 。综合考虑施钻地层主要为巨厚漂卵石层的特点, 确定采用分级钻进成井工艺。超前钻井直径为 $\varnothing 3.5$ m, 一级扩钻为 $\varnothing 6.3$ m, 二级扩钻为 $\varnothing 8.3$ m。选用化学泥浆进行钻井护壁洗井, 洗井排渣方式为气举反循环。泥浆净化采用以重力沉淀净化为主, 机械旋流净化、化学药剂处理相结合的方式综合进行。

收稿日期: 2009-12-06

作者简介: 杨宗仁(1971-), 男(汉族), 内蒙古赤峰人, 河北大直径工程井建设有限公司副经理、工程师、注册安全工程师、注册建造师, 岩土工程专业, 从事大直径工程井施工技术和管理, 河北省石家庄市建华南大街 58 号, hbjkyz@sina.com。

2 钻井泥浆的配制

2.1 泥浆材料

根据施钻区域为巨厚漂卵石层的特点,选用低固相水解聚丙烯酰胺(PHP)泥浆护壁,造浆的主要材料和处理剂为膨润土、水、纯碱(Na_2CO_3)、火碱(NaOH)、聚丙烯酰胺(PAM)、羧甲基纤维素钠($\text{Na}-\text{CMC}$)、三聚磷酸钠($\text{Na}_5\text{P}_3\text{P}_{10}$)等,其中膨润土为辽宁省黑山县生产的以蒙脱石为主的钙钠基膨润土,该土具有较好的分散性和造浆能力。分散剂选用工业碳酸钠,其主要作用是提供 Na^+ ,对钙土进行改性处理。高分子聚合物 PAM,主要作为絮凝剂。 $\text{Na}-\text{CMC}$ 主要作为降失水剂,以降低泥浆的失水量,作为胶体保护剂,提高泥浆的稳定性和泥皮质量。三聚磷酸钠主要作用是降低泥浆的粘度和切力,有利于泥浆的净化和降低泥浆的含砂量,维持适当的泥浆密度。

2.2 泥浆的制备

通过现场室内试验,确定泥浆的最优配比。泥浆在专用的搅浆机中完成,先将一定量的水加入搅浆机中,再按水质量的 6%~8% 加入膨润土,搅拌约 30 min,使膨润土颗粒充分分散。再按比例加入纯碱(约为膨润土含量的 4%~6%),充分搅拌后加入一定量的水解聚丙烯酰胺(PHP)搅拌均匀。

2.3 泥浆性能参数

新制备的 PHP 泥浆的主要性能参数为:粘度 20~22 s;相对密度 1.03~1.05 g/cm^3 ;失水量 ≤ 12

$\text{mL}/30 \text{ min}$;泥皮厚度 $< 1.0 \text{ mm}/30 \text{ min}$;含砂率 $\leq 0.1\%$;胶体率 99%;pH 值 7~8。

3 不同地层条件下各级钻井泥浆性能参数的选择及调整

根据地层条件的特点及钻井法施工矿山竖井工艺的要求,不同钻井阶段对泥浆性能参数有着不同的要求。钻井施工过程中,泥浆的 pH 值一般控制在 7~8 为宜,否则泥浆的胶体率低,性能不稳定。在孔隙度大、易漏失的漂卵石层段钻进时,泥浆的失水量不必控制得太严,保持一定的失水量,对护壁泥皮的形成是必要的。但失水量过大,易导致泥皮疏松、泥皮过厚,对钻井护壁反而不利,在易漏失的漂卵石地层钻进时,泥浆的失水量一般控制在 20~22 $\text{mL}/30 \text{ min}$ 。

超大直径、巨厚漂卵石层钻井施工,大面积井壁稳定是泥浆的临时支护作用来保证,所以各级钻井过程,适当保持泥浆的相对密度以平衡地层及地下水的压力,对维护井壁稳定是必要的。钻井完成后安放预制混凝土井壁的过程需要 20 天左右的时间,期间泥浆无法循环,要保证井壁安放到预定位置和壁后充填水泥浆固井止水的的功能,适当提高泥浆的粘度和胶体率,降低泥浆的失水量和含砂率,保证泥浆性能参数的稳定。不同地层条件下各级钻井泥浆性能参数如表 1 所示。

钻井泥浆性能参数的调整。钻井施工过程中,

表 1 不同地层条件下各级钻井时的泥浆性能参数

钻井径级	地层情况	粘度 /s	相对密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	失水量 /($\text{mL} \cdot (30\text{min})^{-1}$)	泥皮厚度 /($\text{mm} \cdot (30\text{min})^{-1}$)	含砂率 /%	胶体率 /%	pH 值
Ø3.5 m 及 Ø6.3 m	砂卵石	20~22	1.10~1.20	≤ 20	≤ 2.2	≤ 2	≥ 95	7~8
	漂卵石	20~26	1.10~1.25	≤ 22	≤ 2.5	≤ 2	≥ 95	7~8
	基岩	18~22	1.10~1.20	≤ 18	≤ 2.0	≤ 1	≥ 95	7~8
Ø8.3 m	砂卵石	20~22	1.10~1.20	≤ 20	≤ 2.0	≤ 2	≥ 95	7~8
	漂卵石	20~26	1.10~1.25	≤ 22	≤ 2.2	≤ 2	≥ 98	7~8
	基岩	18~22	1.10~1.20	≤ 15	≤ 1.5	≤ 1	≥ 98	7~8
钻井完成及安放井壁前		20~22	1.10~1.20	≤ 10	≤ 1.0	≤ 0.5	≥ 99	7~8

定时对泥浆的性能参数进行测量,当钻进地层发生变化时及时调整泥浆的性能参数。泥浆性能的几个基本参数是相互关联、相互影响的,调整泥浆性能的其中一个参数时要均衡考虑其它参数的变化。泥浆的含砂率过大会导致泥浆的相对密度过高,一般采用加强自然沉淀、机械旋流除砂或加入三聚磷酸钠处理剂的化学方法分离泥浆中的粉细岩屑,降低泥浆中的含砂率进而降低泥浆的相对密度。泥浆的粘度过大时,一般采用加入低粘度的泥浆或清水进行

稀释,当泥浆稀释导致失水量和泥皮厚度增加时,应同时加入 $\text{Na}-\text{CMC}$ 溶液调整泥浆的失水量。当泥浆的 pH 值偏小,导致泥浆的胶体率偏低,泥浆的性能不稳定时,一般应加入 Na_2CO_3 调整泥浆的 pH,同时加入 $\text{Na}-\text{CMC}$ 调整泥浆的胶体率。在泥浆的处理过程中,碱是基本的处理剂,只有充分钠化的粘土,才能使 PHP 充分发挥作用。如果原浆中的碱量不足,企图用其他处理剂来调整泥浆的性能是不能达到理想的效果的。钻井法凿井各道工序对泥浆的

性能参数要求差别大,在特定的条件下所适应的泥浆性能参数往往是一个经验范围,完成 $\varnothing 8.3$ m、深度286 m 钻井井筒泥浆的理论方量在 15000 m^3 以上,有时很难及时调整泥浆的性能参数,但是必须遵循的原则,首先要考虑安全护壁性能参数的需要,是保证钻井安全的必要条件,其次再考虑确定不同工艺所需求的泥浆性能参数。

4 钻井泥浆的净化处理

钻井泥浆净化是把循环泥浆从井底携带至地表的岩屑从泥浆中分离出去恢复其原有参数的工艺过程。若泥浆处理不及时有效,含有大量岩屑的泥浆流回至井内,在井底造成重复破碎,或残留在井底,不仅加速钻头刀具的磨损,还会影响泥浆的护壁性能,在采用泥浆漂浮安防预制井壁过程中,大量岩屑沉淀井底,影响井壁顺利安防到预定的位置,沉砂堵塞井壁底部分预留的注浆孔,进而影响壁后充填质量。完成 $\varnothing 8.3$ m、深度286 m 钻井需破碎岩土的量大于 15000 m^3 ,都需要通过泥浆循环携带至地表净化分离出来,所以采用钻井法凿井,必须做好泥浆的净化工作。 $\varnothing 8.3$ m 钻井泥浆处理系统平面布置如图1所示。

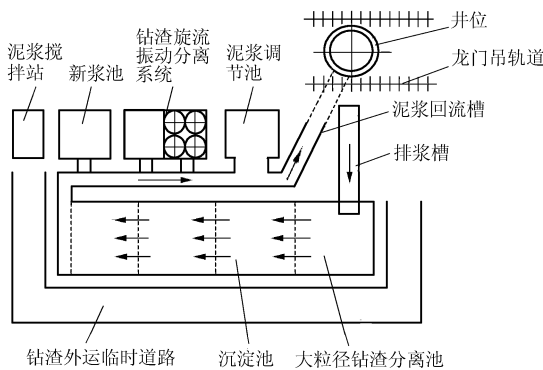


图1 泥浆处理系统现场平面布置图

泥浆净化主要采用重力自然沉淀分离、化学处理剂絮凝和机械强制分离等方法进行综合处理。泥浆池沉淀净化系统,由清渣池、沉淀池、泥浆槽组成,采用反循环洗井,出井泥浆首先进入清渣池,被泥浆携带的大粒径的岩块迅速沉淀,用挖掘机或抓斗及时把大粒径的岩块清除,较细的岩屑随着泥浆流经沉淀池缓流区慢慢沉淀,泥浆以大坝溢流的形式漫流过堰口溢流,回流进入泥浆槽返回井筒。

采用泥浆池沉淀净化泥浆的效果与泥浆的粘度、岩屑颗粒的粒径和泥浆的相对密度有关,在泥浆粘度小的情况下,一般经过重力沉淀净化可满足钻

井工艺要求。泥浆的粘度高时,岩屑在泥浆中的下降阻力增大,沉淀净化效果差,致使泥浆的含砂率超标,必须经过机械旋流净化及振动脱水化或化学处理剂进行二次净化处理。泥浆机械净化选用多台ZX-250型泥浆处理装置并列使用。ZX-250型泥浆处理装置的性能参数为:处理能力 $250\text{ m}^3/\text{h}$;分离粒度 $\geq 27\text{ }\mu\text{m}$;除砂率 $\geq 90\%$;脱水率 $\geq 80\%$;处理污浆的最大密度 $\leq 1.4\text{ g/cm}^3$;总功率48 kW。

化学处理剂净化处理泥浆:选用三聚磷酸钠作为处理钻井泥浆的化学药剂,由于三聚磷酸钠吸附在粘土颗粒表面,可拆散泥浆中的网状结构,降低泥浆的粘度和切力,具有剪切稀释作用,降低岩屑颗粒在泥浆中的下沉阻力,有利于泥浆的净化。使用时,按一定比例将粉剂加入到正在搅拌的水中,搅拌15 min后形成浓度为5%的三聚磷酸钠的水溶液,随时加入循环的泥浆中,一般加量为泥浆体积分量的0.1%左右。经过机械旋流净化或化学处理剂处理后泥浆含砂率可控制在0.1%以内,完全满足钻井泥浆护壁工艺和井壁安放工艺对泥浆参数的要求。

5 钻井泥浆洗井用空压机参数的选择

钻井泥浆洗井是使用泥浆介质将钻头刀具破碎的各种岩屑从井底工作面清除的过程,洗井效果不好,造成岩屑在井底的重复破碎,影响进尺效率。泥浆洗井冲洗量一般根据泥浆在钻杆中的上返速度来确定,即泥浆在钻杆中的上返速度要大于最大岩块在泥浆中的下沉速度。

泥浆在钻杆中上返速度的确定:

$$V = 1.76K \sqrt{gD \left(\frac{\gamma_1}{\gamma} - 1 \right)}$$

式中: V ——泥浆在钻杆中的上返速度, m/s ; K ——系数,考虑泥浆在钻杆中的上返速度要大于岩块的下沉速度,取 $K \geq 1.2$; g ——重力加速度, m/s^2 ; D ——所确定的岩屑直径,根据漂卵石地层情况及钻杆的通径取 0.3 m ; γ_1 ——岩屑重度,计算中一般取 $\gamma_1 = 2.6\text{ g/cm}^3$; γ ——钻井泥浆的相对密度, $\gamma = 1.2\text{ g/cm}^3$ 。

则泥浆在钻杆中的上返速度 $V = 1.76 \times 1.2 \times$

$$\sqrt{9.8 \times 0.3 \times \left(\frac{2.6}{1.2} - 1 \right)} = 3.9\text{ m/s}$$

时能够携带粒径为 0.3 m 的岩屑。完成气举反循环洗井工艺的主要施工设备是空压机,其技术参数直接影响洗井泥浆的循环量及洗井效果。

$\varnothing 8.3$ m 扩井钻进时泥浆循环量的确定:

$$Q = 2828d^2V$$

式中: Q ——需要洗井泥浆的循环量, m^3/h ; d ——钻杆内径, $d = 0.366 \text{ mm}$; V ——泥浆在钻杆中的上返速度, $V = 3.9 \text{ m/s}$ 。

则 $Q = 2828d^2V = 2828 \times 0.366^2 \times 3.9 = 1478 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

提升单位体积泥浆压风消耗量:

$$V_0 = \frac{K_1 \gamma h}{231g \frac{\gamma H_0 + 10}{10}}$$

式中: V_0 ——提升单位体积泥浆的压风消耗量, m^3/m^3 ; γ ——泥浆相对密度, $\gamma = 1.2 \text{ g/cm}^3$; K_1 ——系数, $K_1 = 2.17 + 0.0164 h = 2.367$; h ——扬程, $h = 12 \text{ m}$; H_0 ——压风管埋入深度, $H_0 = [(P_{\text{压}} - \Delta P) / \gamma] \times 10 = 100 \text{ m}$; $P_{\text{压}}$ ——供风压力, $P_{\text{压}} = 14 \text{ kg/cm}^2$ (1.4 MPa); ΔP ——供风管路压力损失, $\Delta P = 2 \text{ kg/cm}^2$ (0.2 MPa)。

则:提升单位体积泥浆压风消耗量

$$V_0 = \frac{2.367 \times 1.2 \times 12}{231g \frac{1.2 \times 100 + 10}{10}} = 1.36 \text{ m}^3/\text{m}^3$$

$\text{Ø}8.3 \text{ m}$ 扩井钻进时,循环泥浆洗井所需的供风量

$$V = \frac{QV_0}{60} = \frac{1478 \times 1.36}{60} = 33.5 \text{ m}^3/\text{min}。$$

所以, $\text{Ø}8.3 \text{ m}$ 扩井钻进时选用供风量为 $23.3 \text{ m}^3/\text{min}$ 、排气压力为 20.7 kg/cm^2 的两台 RHP825E 型空压机并联使用,供风量富余系数为 $(23.3 + 23.3) / 33.5 = 1.39$,满足钻井施工的要求。 $\text{Ø}8.3 \text{ m}$ 钻井选用 RHP825E 空压机的性能参数为:排气压力 20.7 kg/cm^2 ;排气量 $23.3 \text{ m}^3/\text{min}$;功率 230 kW ;二级螺杆压缩形式。

在矿山竖井超大直径钻井施工中,洗井效果取决于流经井底工作面的流速及流线状态,即使泥浆

的循环量达到 $1500 \text{ m}^3/\text{h}$ 以上,工作面的冲洗速度仍然很小,为克服这一不利因素,通过改进钻头结构(将平底钻头改为截锥体或球面体形式)和优化其它工艺参数进行弥补。实际钻井施工过程中,通过气举反循环洗井携带至地表的岩块粒径最大达到 0.33 m ,如图 2 所示。

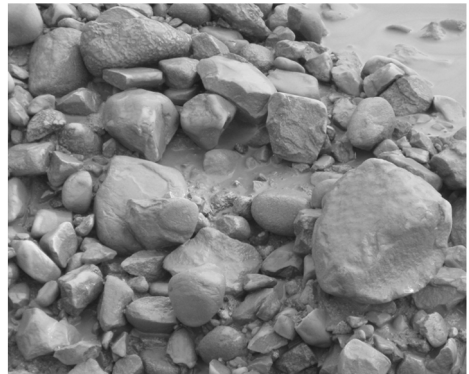


图 2 气举反循环洗井携带至地表的岩块

6 结语

钻井泥浆性能对实现钻井安全、提高钻井效率、保证井壁漂浮下沉到预定位置及壁厚充填质量等有着关键作用。巨厚漂砾层条件下的超大直径钻井施工,应按工艺要求配置、调整泥浆性能参数指标以满足不同条件的护壁需要。各级工序对泥浆的性能参数要求差别大,在特定的条件下所适应的泥浆性能参数没有一个特定值,往往是一个经验范围,但必须遵循的原则是:首先要考虑护壁性能参数,这是保证钻井安全的必要条件,其次再考虑确定不同工艺所需求的泥浆性能参数。

参考文献:

- [1] 崔云龙. 简明建井手册[M]. 北京:煤炭工业出版社,2003.
- [2] 翁家杰. 井巷特殊施工[M]. 北京:煤炭工业出版社,2000.

(上接第 49 页)

(4) 下放割刀前,要在地面上反复试验,使割刀头能够收入圆筒内,并能够顺利打开;

(5) 钻杆割断后,首先要确认割刀已经收入圆筒内以后,才能试着轻轻往上提,以免将割刀拉断而增加处理事故的难度;

(6) 由于孔内有几个拉断的钩子头(经分析,钩子头应紧贴在孔壁上),在将上部钻杆锥出钻孔后,要及时用纺锤形钻头将拉断的钩子头挤入孔壁内,以免掉入钻孔下部,形成新的事故。

8 几点体会

(1) 地质钻探孔施工过程中,出现各种孔内事故是在所难免的,出现事故后一定要把事故的性质弄清楚,绝不能盲目地去处理,更不能急躁。

(2) 处理任何一种事故,都要从易到难逐步进行,在处理过程中要坚决避免将事故恶化。

(3) 不要轻言放弃。这次事故在处理到后期时,情况已经非常糟糕,已经到了报废钻孔的边缘,但是由于我们没有放弃,最终将事故处理成功,避免了近百万元的损失。