

复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践

孙丙伦^{1,2}, 陈师逊³, 陶士先⁴

(1. 吉林大学, 吉林 长春 130026; 2. 山东省地质矿产勘查开发局, 山东 济南 250013; 3. 山东省第三地质矿产勘查院, 山东 烟台 264000; 4. 北京探矿工程研究所, 北京 100083)

摘要:深部找矿勘探给钻探技术提出了更高的要求。钻孔越深, 施工周期越长, 孔内往往越复杂, 施工难度越大。在复杂地层进行深孔钻探更是如此, 护壁技术显得尤为重要。结合近年来进行深孔钻探所遇到的问题, 对复杂地层深孔钻进泥浆护壁技术进行了较深入的探讨, 并在生产实践中对 PHP 泥浆和新型 LBM 泥浆进行了试验应用, 取得了较好的效果, 对深孔钻探施工具有一定的借鉴意义。

关键词:深孔; 复杂地层; 钻探; 泥浆技术; LBM 泥浆

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2008)05-0013-03

Discussion and Practice on Wall Protection with Slurry in Deep-hole Drilling in Complicated Formation/SUN Bing-lun^{1,2}, CHEN Shi-xun³, TAO Shi-xian⁴ (1. Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Shandong Provincial Bureau of Geology & Mineral Resources, Jinan Shandong 250013, China; 3. Shandong No. 3 Institute of Geo-mineral Prospecting, Yantai Shandong 264000, China; 4. Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: More advanced drilling techniques are demanded for deep ore exploration. The deeper a drilling hole is, the longer the construction period would be with more complicated situations in borehole and more difficulties in construction, so wall protection becomes more important. The paper discussed the technique of wall protection with slurry in deep-hole drilling in complicated formation with deep-hole drilling problems in recent years, and presented the test application of PHP mud and LBM mud, which could be the reference for deep-hole drilling construction.

Key words: deep-hole; complicated formation; drilling; mud technique; LBM mud

随着我国经济和社会的快速发展, 矿产资源可采储量下降的问题日益突出, 大部分经济较发达地区浅部矿产资源已濒临危机。为保证经济和社会的快速可持续发展, 必须加大矿产资源勘查开发力度, 在“攻深找盲”上下功夫, 向深部、向工作难度大的地区勘探, 这就给钻探技术提出了更高的要求。钻孔越深, 钻穿的地层越多, 施工周期越长, 孔内会越复杂, 施工难度会越大, 在复杂地层进行深孔钻探更是如此。

1 复杂地层深孔钻探存在的主要问题

(1) 孔壁失稳, 护壁困难。复杂地层钻进, 孔越深, 地层越复杂, 钻进时间越长, 孔壁越容易失稳。也就是说复杂地层深孔钻探, 保护孔壁是十分重要的一环, 必须解决好护壁问题。

(2) 回转阻力大, 动力和材料消耗大, 孔内事故多。随孔深的增加, 孔内钻杆增长, 摩擦阻力增大。对绳索取心钻探而言尤为突出, 不仅钻杆磨损加快, 钻机负荷增大, 而且难以提高转速, 还容易造成断钻

杆等孔内事故。必须采取润滑措施, 有效减少钻杆的回转阻力。

(3) 钻头寿命缩短。深孔钻进, 钻压难以准确控制, 加上钻杆接头密封不良易产生泄漏, 难以保证将冲洗液全部送到孔底, 形成假循环, 容易造成钻头微烧, 影响钻头寿命。

(4) 钻进效率低, 成本高。在复杂地层进行深孔钻进, 施工周期长, 若护壁措施不当, 孔内事故增多, 钻进效率降低, 成本增高。

2 复杂地层深孔钻探对冲洗液的要求

上述问题的解决大都与冲洗液有关, 冲洗液在复杂地层钻探起着至关重要的作用。目前深孔钻探较先进的工艺方法是金刚石绳索取心钻进。深孔、复杂地层及金刚石绳索取心钻进的工艺特点对冲洗液性能提出了更高的要求。

(1) 具有良好的护壁性能。冲洗液具有较低的滤失量和较强的造壁性, 具有吸附、粘结孔壁作用, 形成的泥皮薄而韧性强, 能有效保护孔壁稳定。

收稿日期: 2008-03-18

作者简介: 孙丙伦(1965-), 男(汉族), 山东昌邑人, 吉林大学建设工程学院博士研究生在读, 山东省地质矿产勘查开发局施工与安全管理处副处长、研究员, 山东省深基础工程协会副秘书长, 探矿工程专业, 从事技术管理工作, 山东省济南市历山路 74 号, sunbl@sddkj.com。

(2)具有良好的润滑性能。粘附系数小,能有效降低摩擦阻力,降低回转阻力,防止粘附卡钻等,减少动力和材料消耗,延长钻具寿命。

(3)能防止钻具结垢。冲洗液应具有超低固相和极细分散性,流变性能好,能有效防止钻具结垢,避免内管打捞失败。

(4)具有良好的携带岩粉、清洗孔底和冷却钻头的性能。冲洗液的粘度、切力、动塑比等应适中。

3 PHP 系列泥浆护壁技术

3.1 PHP 冲洗液性能特点

水解聚丙烯酰胺(PHP)是由聚丙烯酰胺(PAM)水解而成。PAM是非离子型高分子聚合物,分子量且变化范围广,分子链长并由多个链节组成,柔性强。由于PHP是伸展的长链高分子化合物,具有多种非离子吸附基团,如 $-\text{CONH}_2$ 等,可通过氢键吸附粘土表面,在岩层表面因多点吸附而形成薄的吸附膜,不仅对水敏性地层可减轻泥浆滤液对地层的侵蚀作用,而且对破碎地层,也可因阻止滤液渗入裂缝和多点吸附膜的保护而不易产生坍塌掉块,故PHP泥浆具有较好的护壁性能。同时,PHP可看作是长链的阴离子和非离子混合型高分子表面活性剂,可吸附在金属和岩石表面起润滑作用,减小钻杆柱与孔壁间的摩擦阻力,因而可采用较高的回转速度钻进。不同分子量和水解度的PHP还具有选择絮凝和降失水作用。随着合成技术的发展,现阶段国内大量使用的是分子量 >1000 万的高分子PHP,其絮凝、包被作用更加明显,主要用于配制无固相冲洗液。

3.2 PHP 系列泥浆的应用

在山东莱州地区蚀变岩型金矿钻探中,地层主要为花岗岩,受断层构造影响,岩石破碎、裂隙发育,部分地层漏失严重,施工中常发生坍塌、掉块、漏失现象,属典型的硬、脆、碎、漏力学不稳定复杂地层。伴随金刚石绳索取心钻进工艺的推广应用,为防止钻杆内壁结垢,主要采用PHP及其复配型如PHP+PVA、PHP+KHm等无固相冲洗液进行护壁。

现场用PHP:分子量800~1200万,水解度30%;

PVA:醇解度99%,溶解时要加温到80~90℃并不停搅拌。

主要性能指标见表1。

多年生产实践证明,普遍采用PHP系列无固相冲洗液后,在一般破碎地层钻进,基本能够解决孔壁

表1 PHP和PHP+PVA冲洗液性能

冲洗液类型	表观粘度 /($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	塑性粘度 /($\text{mPa}\cdot\text{s}$)	动切力 /Pa	滤失量/[$\text{mL}\cdot$ (30 min) $^{-1}$]
PHP 冲洗液	6.3	5.0	0.25	全漏失
PHP+PVA 冲洗液	6.7	5.3	0.26	17

稳定、润滑和防止绳索取心钻杆内壁结垢问题,取得了较好的使用效果:有效提高了钻进效率和钻探工程质量,平均台月效率由原来采用普通泥浆时的342 m提高到430 m,提高幅度达25.7%;孔内事故明显减少,孔内事故及停待率由原来的31.25%下降为20.49%;优质孔率由原来的70%~80%提高到90%以上。这也是目前国内岩心钻探中仍大量使用PHP系列泥浆的重要原因。但是对严重破碎、漏失地层,这一问题一直没有得到很好的解决。随着深部找矿钻探的开展,钻孔越来越深,完孔周期越来越长,这一问题愈加突出。譬如在上述同一地区进行寺庄深部金矿勘探中,为解决深孔钻进护壁问题,采取了套管和PHP无固相冲洗液组合护壁技术,即增加一级孔径,先采用 $\text{O}95$ mm孔径钻进穿过上部破碎、坍塌掉块地层(一般在400 m以浅),下入 $\text{O}89$ mm套管护壁,然后采用PHP+PVA冲洗液护壁钻进,取得了较好的技术效果,2005年共完成钻孔33个,进尺24531.84 m,平均时效2.16 m,平均台月效率626 m。但这一施工方法成本较高,有必要寻找更好的解决方法。

4 LBM 泥浆护壁技术

4.1 低粘增效粉 LBM

新型低粘增效粉LBM是由膨润土经过化学改造升级而成的高级造浆材料,具有低粘度和低滤失量的特点,现场配制简单,维护方便,是一种集造浆与泥浆处理剂功能于一体的多功能“方便面”式复合材料。

4.2 LBM 泥浆特性与护壁机理

LBM中含有大量 $-\text{CONH}_2$ 、 $-\text{COONa}$ 、 $-\text{CN}$ 等基团,配制的泥浆具有低密度、低粘度、低切力、低失水和高分散性等“四低一高”特性,并且可通过改变其加量任意调节其性能。LBM泥浆性能见表2。

室内试验及机理分析证明,LBM泥浆具有以下特点:

(1)LBM泥浆具有良好的流变性能。用3%LBM配制的泥浆,其粘度、动塑比都很小。这一特性有利于降低环空压降,避免因泥浆粘稠导致过高的环空压力波动,防止憋泵和压垮不稳定地层,有利

表 2 LBM 泥浆性能

LBM 加量 /%	视粘度 AV /(mPa·s)	动塑比	API 滤失量 /mL	HTHP 滤失量 /mL
3	4.0	0.14	9.6	40
4	5.5	0.15	8.0	36
5	7.0	0.17	7.8	30
6	9.5	0.19	7.6	26
7	11.8	0.26	7.4	22
8	14.5	0.34	6.8	21

于保护孔壁。此外,良好的流变性能,能够使泥浆保持紊流状态,从而有效地防止和消除绳索取心钻杆内壁结垢现象,对绳索取心钻进是非常有利的。

(2)具有较低的滤失量。泥浆滤失量大,不但会引起水敏性地层的膨胀与分散,造成缩径、坍塌等孔内事故,而且不利于松散、破碎地层的稳定。这是由于泥浆滤液侵入到地层较深,除引起地层中矿物成分产生水化作用以外,还对地层浸泡,使岩石的机械强度大大降低,在地层压力、波动压力等因素影响下极易造成孔壁坍塌。LBM 泥浆的滤失量比 PHP 无固相冲洗液低得多,可有效阻止泥浆中自由水或滤液进入地层孔隙、微裂隙、节理之中,从而防止孔壁坍塌,其护壁性能更好。

(3)具有较强的造壁性能。造壁性一般指泥皮的厚度、强度和对地层的粘结特性。LBM 泥浆中含有聚合物成分,聚合物较低的分子量以及 LBM 特殊的加工工艺,使得聚合物能够以极细的状态均匀地分散于泥浆中,形成高质量的泥皮。室内试验证明:LBM 泥浆泥皮薄,一般厚度 ≤ 0.3 mm;韧性好,反复折叠,不破裂;对滤纸的附着力强,不易被水冲刷掉。这一特性有利于保护破碎、松散地层的稳定。

(4)具有较强的抑制性。泥浆的抑制性强,对保护水敏性地层非常有利。泥浆的抑制性可通过膨胀试验和坍塌试验来说明。采用 HP-01 页岩膨胀仪、标准钠土岩心,通过对蒸馏水、3% LBM 和 0.09% PHP(分子量 12000 万)6 h 膨胀量的测定,计算出各自的相对膨胀降低率,试验结果见表 3。

表 3 冲洗液抑制性能试验结果

钻井液类型	膨胀量/mm						相对膨胀 降低率/%
	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	
蒸馏水	1.05	1.54	1.92	2.28	2.51	2.88	0
LBM 泥浆	0.52	0.76	0.97	1.16	1.28	1.41	51
0.09% PHP	0.79	1.19	1.50	1.73	1.97	2.15	25

由表 3 中明显看出:LBM 泥浆比 PHP 泥浆具有更强的抑制能力。

在现场用浸泡岩心的方法进行坍塌试验,效果也很明显。将矿层附近易破碎地层岩心,用普通泥

浆浸泡 8 h 便崩解,用 PHP 无固相冲洗液浸泡 6 d 碎裂,而用 LBM 泥浆浸泡 15 d,仍无明显变化。

(5)LBM 泥浆泥皮质量好,粘附系数低。试验得知 3% 普通膨润土泥浆的粘附系数为 0.45,而相同加量的 LBM 泥浆的粘附系数仅为 0.1。这主要是由于 LBM 泥浆泥饼具有优良的质量。观察试验后的泥饼可以发现,该泥浆泥饼厚度薄,表面光滑细腻,韧性强,因而其粘附系数低。这一特性对深孔钻进非常有利。

4.3 LBM 泥浆现场应用效果

2007 年,仍在上述同一地区进行金矿深孔钻探,平均孔深 830 m,最深 1003 m。在 380~410 m 处,遇构造角砾岩、碎裂花岗岩、断层泥等,施工过程中存在坍塌、掉块,严重影响了钻进效率和钻孔质量。为此采用了 LBM 泥浆。一般加量为 3%,钻进过程中可根据地层破碎程度适量增减,取得了非常明显的效果,不仅有效避免了坍塌、掉块,而且钻杆内壁无结垢,无打捞受阻、憋泵、糊钻等现象发生,顺利地完成了 11 个钻孔、9135 m 的钻探施工任务,提高了钻进效率,降低了成本,取得了良好的经济和社会效益。

同年在招远玲珑金矿区进行深孔钻探,不仅局部地层破碎严重,而且多数钻孔严重漏失,曾采取 PHP 泥浆、棉籽壳、花生皮等进行堵漏无效,泥浆全部漏失,无奈采用 PHP + PVA 冲洗液“顶漏”钻进,钻进中坍塌、掉块严重,严重影响钻进效率,甚至发生坍塌事故。如 ZK160-3 孔,应用 PHP 无固相冲洗液钻进,在孔深 515.07~517.85 m 出现一段岩心呈砂粒状松散地层,孔内坍塌,经多次反复扫孔仍无法将钻具下到孔底。换用 LBM 泥浆后(加量 4%),仅用了 5 h 就穿过坍塌层,继续钻进至 525.38 m。由于钻孔全漏失,为节约成本重新换用 PHP 冲洗液,直到 665.30 m 终孔没有再出现坍塌掉块现象。又如 ZK136-4 孔,开始采用 PHP + PVA 无固相冲洗液,钻进至 1009.58~1020.60 m,地层破碎严重,至 1040.08 m 发生断钻具事故,提钻后孔壁坍塌,事故钻具被埋住,经反复扫孔处理 7 d 后均没有效果,孔内沉淀物一直保持 5~8 m。随后换用 LBM 泥浆冲孔,经 26 h 将沉淀物排除,处理完事故钻具后,钻进至 1146.59 m 终孔,一直未发生坍塌掉块现象。

实际应用证明,LBM 泥浆在破碎、漏失等不稳定复杂地层中使用,对于稳定孔壁、防止坍塌、防止绳索取心钻杆内壁结垢等具有明显效果。

(下转第 24 页)

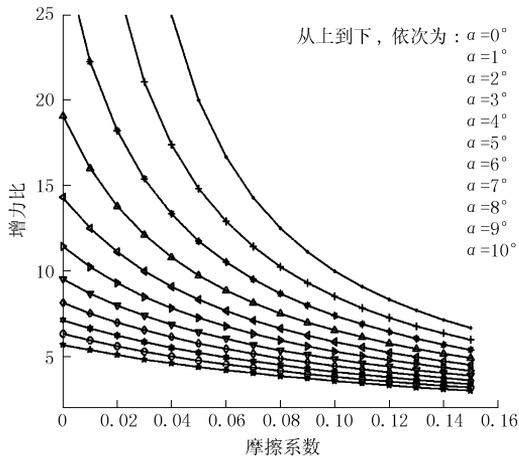


图3 增力比与摩擦系数的关系图

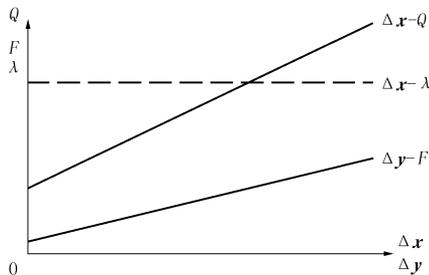


图4 卡瓦位移与夹紧力关系图

- λ 曲线)。其数值大小取决于 α 角, α 越小, 机构扩力比越大。

(2) 弹簧压缩量 Δy 与卡瓦径向位移量 Δx 的比值为定值, 其数值大小取决于 α 角。当卡瓦位移量一定时, α 角越小, 所得活塞系统位移量越大, 弹簧

压缩量也越大。

(3) 由于存在上述 2 个关系 (即 λ 为定值, $\Delta y/\Delta x$ 为定值, $F \propto \Delta x$), 夹紧力 Q 与卡瓦位移量 Δx 成正比 (见 $\Delta x - \lambda$ 曲线)。因此, 采用斜面增力机构的卡盘, 其夹紧力在卡盘夹持范围内的变化很大。也就是说, 当夹持钻杆的直径发生变化以及卡瓦因磨损而径向尺寸变化时, 夹紧力也产生较明显的变化。

卡瓦斜面角 α 是这种机构最主要的设计参数。在卡盘基本参数 (夹持能力, 夹持范围) 一定时, 减小 α 角可相应减小所得的弹簧力 F , 但活塞系统移动量加大, 从而使卡盘轴向尺寸加大, 故一般取 $\alpha = 6^\circ \sim 9^\circ$ 。

4 钻机试验效果

钻机加工完成后, 在兵器工业第五研究所进行了调试和空载运行试验, 之后进行了生产性试验。试验表明卡盘的工作状态良好, 达到了预期的效果。

参考文献:

- [1] 王正林, 王胜开, 陈国顺, 等. MATLAB/simulink 与控制系统仿真[M]. 北京: 电子工业出版社, 2005.
- [2] 冯德强. 钻机设计[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1993.
- [3] 瞿叶高, 卜长根, 李金峰. 虚拟样机技术在地质工程机械领域的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2006, 33(11).
- [4] 赵大军, 索忠伟. 岩土钻凿设备[M]. 长春: 吉林大学出版社, 2004.
- [5] 李世忠. 岩心钻机改进的一些设想[J]. 探矿工程, 2000, (5).

(上接第 15 页)

5 结语

(1) 复杂地层深孔钻进, 泥浆性能至关重要, 低密度、低粘度、低切力、低失水和高分散性泥浆能有效保护孔壁的稳定性, 并且对提高钻进效率、防止钻杆内壁结垢都非常有利。

(2) 与 PHP 系列泥浆相比, LBM 泥浆具有较小的滤失量和良好的造壁性能, 不仅能有效解决水敏性地层由于水化作用而引起的膨胀缩径及分散造浆问题, 而且对裂隙发育、破碎力学不稳定地层具有良好的稳定孔壁作用。

(3) LBM 泥浆具有良好的流变性能, 能有效防止钻杆内壁结垢以及钻头泥包和粘附卡钻, 有利于

绳索取心钻进。

(4) LBM 泥浆粘附系数小, 具有较强的减摩降阻效果, 对钻具具有良好的保护作用, 能明显提高钻具的使用寿命并降低能耗, 有利于进行深孔钻进。

(5) LBM 泥浆具有较低的密度和较小的切力, 有利于提高钻进速度。

参考文献:

- [1] 陶士先, 汤松然, 彭步涛. 绳索取心钻杆内壁结垢机理与防治研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(S1): 155-159.
- [2] 汤松然, 周绍光, 熊德才. LBM 低粘增效粉[J]. 探矿工程, 1992, (2): 15-17, 19.
- [3] 王禹, 刘波, 高洪志. 油页岩地层绳索取心钻探冲洗液技术探讨. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(S1): 32-34.
- [4] 李世忠. 钻探工艺学[M]. 北京: 地质出版社, 1989. 39-213.