

水泥 - 粘土浆液护壁堵漏工艺研究及其工程应用

王李昌^{1,2}, 隆 威^{1,2}

(1. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南长沙 410083; 2. 中南大学有色金属成矿预测教育部重点实验室, 湖南长沙 410083)

摘要: 钻探工程中钻孔漏失常用纯水泥浆液进行堵漏, 而针对矿区复杂地层钻进, 漏失严重, 易垮孔卡钻, 为防止漏失及井内事故发生, 必须使用高效的水泥堵漏浆液及合理的堵漏工艺。以道真新民铝土矿区为例, 对水泥 - 粘土浆液护壁堵漏工艺进行研究, 分析了水泥浆液中加入膨润土、水玻璃、减水剂后性能的变化规律, 得出水泥堵漏浆液的优化配方。实际工程应用中取得了良好效果, 大大提高了钻进效率。

关键词: 水泥 - 粘土浆液; 护壁堵漏工艺; 复杂地层; 钻探工程

中图分类号: P634.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672 - 7428(2015)02 - 0053 - 04

Study on Wall Protection and Leaking Stoppage with Cement-clay Slurry Technology and the Engineering Application/WANG Li-chang^{1,2}, LONG Wei^{1,2} (1. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 2. Key Laboratory of Metallogenic Prediction of Nonferrous Metals, Ministry of Education, Central South University, Changsha Hunan 410083, China)

Abstract: Pure cement slurry has been used to plug leakage in drilling engineering. For the serious leakage, collapse and sticking in complex formations drilling, effective cement slurry and rational plugging technology must be used to prevent the loss of flushing fluid. The analysis is made on the performance variation of cement-clay slurry with bentonite, water glass and water reducing agent adding, and the optimized formulation of the cement-clay slurry is obtained, good effects have been received in the practical engineering project with higher drilling efficiency.

Key words: cement-clay slurry; wall protection and leaking stoppage technology; complex formation; drilling engineering

0 引言

道真新民铝土矿矿床是务正道地区近年来探明的第 4 个大型铝土矿床, 332 + 333 铝土矿资源量超过数千万吨^[1]。该矿床主要产于古风化壳之上的下二叠统大竹园组地层中^[2], 矿区含矿岩系沉积序列由上至下大致具有如下规律: 碳质泥页岩(顶板) — 致密块状铝土矿(或铝土岩) — 土状、半土状、碎屑状铝土矿 — 铝土质泥岩(底板) — 含铁绿泥石岩^[1]。道真新民铝土矿区地层极为复杂, 自上而下为灰岩、碳质泥岩、铝土矿层。上覆灰岩地层风化强烈, 并受挤压后断裂、裂隙和溶洞发育, 岩石非常破碎, 地层不稳定, 岩心钻探中, 冲洗液全孔漏失, 钻孔频繁垮塌, 容易发生卡钻和埋钻等孔内事故, 甚至经常出现提钻后“封门”现象。在 2010 年 4 月 20 日 — 6 月 10 日的钻探中完成钻孔 13 个, 累计钻探工作量 633.12 m, 矿心采取率勉强达到地质设计要求的

50%, 台月效率不到 100 m, 报废钻孔 7 个。由此针对该矿区情况展开科研攻关, 进行了矿区复杂地层水泥 - 粘土浆液优化配方及护壁堵漏工艺的研究。

1 钻进工艺研究

关于复杂地层的钻进工艺, 国内外开展了广泛深入的研究, 如通过改进钻孔结构、优选钻进方法、优化钻具和钻头设计、注重钻进操作等方面综合治理复杂地层^[3-4]; 利用特殊材料制成堵漏浆液处理复杂地层, 如用水化膨胀材料复合体系进行堵漏^[5], 用复合水泥浆液进行堵漏^[6], 用脲醛树脂水泥球进行堵漏^[7]等; 采用套管隔离, 钻进复杂地层^[8]; 复杂地层绳索取心钻探技术的研究^[9]等。而本文主要是通过运用水泥 - 粘土浆液护壁堵漏, 形成高效护壁堵漏工艺, 优化钻进方法, 钻进矿区复杂地层, 达到更好的护壁堵漏效果。

收稿日期: 2014 - 04 - 25; 修回日期: 2014 - 12 - 05

基金项目: 中南大学研究生自主探索创新资助项目“长距离大口径顶管润滑减阻系统的研究与应用”(编号: 2014zzts247); 中南大学蔡田煌珠学生创新创业资助项目“新型顶管润滑减阻材料开发有限公司”(编号: 14CT03)

作者简介: 王李昌, 男, 汉族, 1989 年生, 硕士研究生在读, 从事地基处理、钻探冲洗液和灌浆浆液方面的研究工作, 湖南省长沙市中南大学校本部地学楼, wlccsu@126.com。

目前地质岩心钻进基本以金刚石钻进^[10]和硬质合金钻进^[11]方法为主,一般对于在300 m以浅地层的浅孔采用普通钻具钻进,对于300 m以深地层宜采用绳索取心钻进工艺,以减少起下钻具的辅助作业时间,提高钻进效率^[12]。针对本文所述矿区,先采用普通钻具钻进,再下套管护壁隔漏,在严重漏失地层采用水泥-粘土浆液堵漏,再钻进,待达到一定进尺,采用绳索取心钻进到底。

2 水泥-粘土浆液实验研究

普通钻孔堵漏注浆一般采用纯水泥浆^[13],针对该矿区上覆岩层风化强烈,岩石破碎,孔壁不稳,漏失严重,易垮孔卡钻,堵漏浆液应具有较低的析水率,可控的流动性和较短的凝结时间,本试验专门研制了水泥-粘土浆液进行护壁堵漏,即以水泥、膨润土^[14]、减水剂、水玻璃为主要材料的水泥-粘土浆液。水泥-粘土浆液属于带屈服值的假塑性流体^[15-16],具有良好的稳定性,可调节的流动性,较高的粘度。为了确定水泥-粘土浆液的合理配方,进行了大量的室内实验研究。

2.1 浆液基本材料的选择

水泥:湖南印山实业公司“印山台牌”普通硅酸盐42.5水泥。

膨润土:湖南常德的钙基膨润土,具有良好的触变性,悬浮性,滤失量小。其矿物成分为:蒙脱石

78.3%,石英石16.5%,方解石5.2%。

水玻璃:长沙明瑞化工公司生产的高模数工业水玻璃,产品性能(厂家测定):波美度40,模数3.20,密度1.38 g/mL。

减水剂:湖南白银新材料公司生产的BY6型FDN高效能减水剂。

2.2 浆液配制方法

(1)将量好的水泥和水,边搅拌边加入水泥,再低速搅拌3 min,使水泥充分水化;(2)加入称量好的粘土,低速搅拌5 min,使其均匀;(3)再边搅拌边加入量好的减水剂(减水剂需溶解),搅拌3 min;(4)搅拌状态下加入水玻璃,低速搅拌3 min,静置便可形成复合水泥浆液^[12]。

2.3 浆液性能测试方法

(1)流动度:用金属截锥圆模和水平玻璃板(40 cm×40 cm,厚度为0.5 cm)、刮刀来测量。

(2)凝结时间:用维卡仪测定堵漏浆液的凝结时间,浆液的初、终凝时间测试方法均按行业标准进行。

(3)析水率:用量筒进行测定,析水体积与浆液总体积的百分比为析水率。

2.4 浆液性能的影响因素

通过室内试验研究可知,水泥-粘土浆液的性能主要受水灰比和膨润土、减水剂和水玻璃掺量的影响,其性能变化规律如表1所示。

由表1分析可知,水泥浆中加入膨润土,增加了

表1 水泥-粘土浆液性能

水灰比	膨润土/ %	减水剂/ %	水玻璃/ %	析水率/ %	凝结时间/h		流动度/mm			
					初凝	终凝	初始	30 min	60 min	2 h
0.60	0	0.0	0.0	15.0	8.33	11.17	260	263	255	241
0.60	5	1.5	1.5	9.0	6.37	8.55	249	245	232	220
0.55	5	1.5	1.5	6.0	5.83	7.17	235	240	229	215
0.5	5	1.5	1.5	4.0	4.58	6.87	219	217	208	187
0.55	3	1.5	1.5	8.0	5.47	6.92	245	246	234	228
0.55	5	1.5	1.5	6.0	5.83	7.17	235	240	229	215
0.55	7	1.5	1.5	4.4	5.92	7.35	224	220	201	188
0.55	5	1.0	1.5	4.0	4.33	6.50	219	215	205	190
0.55	5	1.5	1.5	6.0	5.87	7.17	235	240	229	215
0.55	5	2.0	1.5	9.0	6.33	8.92	255	247	234	225
0.55	5	1.5	1.0	7.0	6.17	7.67	264	261	260	250
0.55	5	1.5	1.5	6.0	5.87	7.87	235	240	229	215
0.55	5	1.5	2.0	4.0	4.50	6.57	205	200	195	180

浆液的触变性,降低了浆液的流动性,提高了浆液的稳定性,降低了浆液的析水率;减水剂的加入,延长了浆液凝结时间,提高析水率,增加了浆液的流动

性;水玻璃的加入降低了浆液的流动度和析水率,缩短了浆液凝结时间,保证了堵漏工作的成功。

2.5 浆液的优化设计

通过上述室内试验研究分析,了解了膨润土、减水剂及水玻璃对水泥-粘土浆液性能的影响规律,本试验采用正交设计试验,得出水泥-粘土护壁堵漏浆液的优化配方。根据试验结果确定出浆液材料各组分掺量取值范围。

正交试验采用四因素三水平正交表安排试验,四个影响因素为水灰比(A),膨润土掺量(B),减水

剂掺量(C),水玻璃掺量(D),影响因素掺量见表 2。选用 $L_9(3^4)$ 正交表进行试验,试验结果见表 3。

表 2 掺加剂因素与水平值

序号	水灰比 A	膨润土 B	减水剂 C	水玻璃 D
1	0.50	4	0.2	1.5
2	0.55	6	1.0	2.0
3	0.60	8	1.5	2.5

表 3 浆液性能参数结果和因素分析

序号	A	B	C	D	析水率/%	初凝时间/min	终凝时间/min	流动度/mm	流动度(2 h)/mm
1	1	1	1	1	8	315	380	215	195
2	1	2	2	2	4	296	345	167	148
3	1	3	3	3	2	350	420	230	204
4	2	1	2	3	5	316	435	216	198
5	2	2	3	1	14	486	590	298	280
6	2	3	1	2	5	304	410	200	168
7	3	1	3	2	15	508	591	308	277
8	3	2	1	3	6	355	540	221	212
9	3	3	2	1	15	471	556	257	232
析水率极差分析	K1	4.7	9.3	6.3	12.3	1. 组分 D 影响最大,掺量越大越好;2. 组分 A 影响较大,掺量取小值合适;3. 组分 C 影响较大,掺量取小值合适;4. 组分 B 有一定影响,掺量取大值合适。 最佳组合: $D_3A_1C_1B_3$			
	K2	8.0	8.0	8.0	8.0				
	K3	12.0	7.3	10.3	4.3				
	R	7.3	2.0	4.0	8.0				
初凝时间极差分析	K1	320.3	379.7	324.7	424.0	1. 组分 A 影响最大,掺量越小越好;2. 组分 C 影响较大,掺量取小值合适;3. 组分 D 影响较大,掺量取小值合适;4. 组分 B 有一定影响,掺量取大值合适。 最佳组合: $A_1C_1D_2B_3$			
	K2	368.7	379.0	361.0	369.3				
	K3	444.7	375.0	448.0	340.3				
	R	124.4	4.7	123.3	71.0				
终凝时间极差分析	K1	381.7	468.7	443.3	508.7	1. 组分 A 影响最大,掺量越小越好;2. 组分 C 影响较大,掺量取小值合适;3. 组分 D 影响较大,掺量取小值合适;4. 组分 B 有一定影响,掺量取大值合适。 最佳组合: $A_1C_1D_2B_3$			
	K2	478.3	491.7	445.3	448.7				
	K3	562.3	462.0	533.7	465.0				
	R	180.6	29.7	90.4	60.0				
流动度极差分析	K1	204.0	246.3	212.0	256.7	1. 组分 C 影响最大,掺量适中较好;2. 组分 A 影响较大,掺量取大值合适;3. 组分 D 影响较大,掺量取小值合适;4. 组分 B 有一定影响,掺量取大值合适。 最佳组合: $C_2A_3D_1B_3$			
	K2	238.0	228.7	213.3	225.0				
	K3	262.0	229.0	278.7	222.3				
	R	58.0	17.6	66.7	34.4				
流动度(2 h)极差分析	K1	182.3	223.3	191.7	235.7	1. 组分 C 影响最大,掺量越大越好;2. 组分 A 影响较大,掺量适中较好;3. 组分 D 影响较大,掺量取小值合适;4. 组分 B 有一定影响,掺量取大值合适。 最佳组合: $C_3A_2D_1B_3$			
	K2	215.3	213.3	192.7	197.7				
	K3	240.3	201.3	253.7	204.7				
	R	58.0	22.0	62.0	38.0				

根据极差分析,流动度最佳组合是 $C_2A_3D_1B_3$,凝结时间最佳组合是 $A_1C_1D_2B_3$,析水率最佳组合是 $D_3A_1C_1B_3$ 。根据矿区选用护壁堵漏浆液的性能要求及室内试验研究,确定出浆液材料各组分参考掺量范围为:水灰比为 $A_2(0.55)$ 、膨润土 $B_3(8\%)$ 、减水剂为 $0.5\% \sim 1.3\%$ 、水玻璃为 $1.8\% \sim 2.2\%$ 。其性能参数为:析水率 $4\% \sim 8\%$ 、初凝时间 $4.67 \sim 5.33$ h、终凝时间 $6.50 \sim 7.40$ h、流动度 $180 \sim 220$ mm。

3 现场应用

3.1 现场试验设备

(1)XY-44 型立轴钻机;(2)BW-250 型泥浆泵;(3)泥浆搅拌机;(4)9 m 高四角钻塔;(5)国产普通材质的 S95 绳索取心钻杆;(6)Ø146 mm 套管。

3.2 现场护壁堵漏工艺

该矿区其中一报废孔是 2010 年 4 月 20 日开钻,2010 年 6 月 10 日结束,使用泥浆配方(1 m^3):50 kg 膨润土+2 kg 火碱+2 kg PAM+5 kg 防塌剂。该孔施工中,200 m 左右钻孔出现缩径、坍塌,孔内

渣多,后跟管钻进至230 m下 $\varnothing 89$ mm套管,施工到360 m左右钻孔出现缩径、掉块现象,用泥浆护壁,效果不佳,到380 m左右,钻孔出现“封门”现象,后经处理无效,报废,总耗时近50 d。

从上述报废孔旁移孔2 m进行重打,运用本文所述工艺方法钻进并使用试验研究的水泥-粘土浆液护壁堵漏,形成了适合该矿区的水泥-粘土浆液护壁堵漏工艺。

3.2.1 钻孔结构设计

根据该孔地层条件、孔深、地质对钻探质量要求及机台现有条件,该孔采用 $\varnothing 150$ mm口径开孔钻进穿过表土层进入灰岩10 m,下入 $\varnothing 146$ mm孔口管;考虑到灰岩漏水严重且厚度大,堵漏工作量大费时耗材,决定用S95绳索取心钻具顶漏钻进至180 m,下入 $\varnothing 89$ mm套管隔离灰岩漏水层;用S75绳索取心钻进直至580.45 m终孔。

3.2.2 水泥-粘土浆液应用

根据钻孔结构,结合地层情况,决定180 m以浅采用无粘土冲洗液顶漏钻进,其配方为:0.035% PAM+0.5%高效润滑剂,该冲洗液主要起润滑作用,提高钻进效率,PAM的加入起孔内排粉、地面絮凝沉降岩粉作用。顺利钻进至180 m穿过灰岩漏水地层后,下入 $\varnothing 89$ mm套管隔离灰岩漏水层。根据现场实际情况,针对180~400 m漏失较严重的地层,采用室内实验研制的水泥-粘土浆液进行护壁堵漏,堵漏浆液配方为:0.55水灰比+92%水泥+8%膨润土+1.2%减水剂+2%水玻璃,运用水泵钻杆注入法注入堵漏浆液,注入后待达初凝时间即拔出钻杆,待到终凝时间后,用S75绳索取心钻进一径到底,采用冲洗液配方:4.5%膨润土+5% Na_2CO_3 +0.5%纤维素+1.5%KHm+0.5%润滑剂,该段地层中碳质泥页岩易水化膨胀,钻孔缩径坍塌,KHm的加入抑制了岩石水化膨胀,保证了钻孔的稳定;润滑剂的加入保证了钻具的高速钻进从而提高效率。

3.2.3 现场试验结果

按照上述护壁堵漏工艺,根据钻进工艺及地层情况选取金刚石绳索取心钻进工艺参数进行钻进,该孔总耗时28 d施工到580.45 m顺利终孔,岩心采取率达90%以上,钻探台月效率达600 m左右,验收等级为甲级(取得岩心如图1所示)。全孔钻进中未出现孔内事故,证明水泥-粘土浆液护壁堵漏工艺适合于本矿区复杂地层钻进。



图1 采取的岩心

4 结语

(1)通过实验研究,形成了水泥-粘土堵漏浆液优化配方,浆液具有较低析水率,可控的流动性和较短凝结时间的性能。

(2)工程应用表明,运用优化的水泥-粘土浆液进行复杂地层钻进护壁堵漏,钻孔未出现漏失、卡钻、埋钻等事故,岩心采取率达90%以上,满足了堵漏的要求,大大提高了钻进效率。

参考文献:

- [1] 莫光员,金中国,龚和强,等.黔北道真新民铝土矿矿床地质特征及控矿因素探讨[J].地质科技情报,2013,32,(1):40-45.
- [2] 武国辉,刘幼平,张应文.黔北务一正一道地区铝土矿地质特征及资源潜力分析[J].地质与勘探,2006,42(2):39-43.
- [3] 石立明.复杂地层岩心钻探综合治理技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(2):12-14.
- [4] 廖远苏.西华山钨矿区复杂地层钻进的综合治理措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(9):17-20.
- [5] 毛洪江.地矿钻探井漏特点及复合堵漏技术[J].地质与勘探,2011,47(4):686-691.
- [6] 王李昌,隆威,高士娟.复杂地层钻探堵漏浆液的研究与应用[J].地质与勘探,2013,49(4):770-776.
- [7] 孙平贺,乌效鸣,赵均文,等.大宝山复杂钨矿地层钻孔堵漏技术研究与应用[J].地质与勘探,2010,46(1):132-136.
- [8] 卢敦华,吴焯,徐联军.套管隔离液在巨厚松散层套管起拔中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(4):42-44.
- [9] 梁健,郭宝科,孙建华,等.深孔绳索取心钻杆抗拉脱能力有限元分析[J].煤田地质与勘探,2013,41(2):90-93.
- [10] 罗超,蔡镜仑,王镇泉,等.金刚石钻进岩石可钻性研究新方法[J].煤田地质与勘探,1996,24(1):56-58.
- [11] 马植槐,刘建明,刘裕国.煤系钻探岩石可钻性分级方法的研究[J].煤田地质与勘探,1993,21(1):70-78.
- [12] 郑克清.复杂地层钻探护壁堵漏工艺研究与应用[D].湖南长沙:中南大学,2012.
- [13] 索忠伟,王生.钻孔冲洗与护壁堵漏[M].北京:地质出版社,2009:71-72.
- [14] 王鸿禧.膨润土[M].北京:地质出版社,1980.
- [15] 王星华.粘土-水泥浆流变性及其影响因素研究[J].岩土工程学报,1997,19,(5):43-48.
- [16] 王星华.粘土固化浆液在地下工程中的应用[M].北京:中国铁道出版社,1997:72-73.