

RW 水泥速凝早强剂在钻探护壁堵漏施工中的应用与研究

周荣书, 谢龙诚, 王国富, 樊家祥, 高红, 侯禄松

(云南南方地勘工程总公司, 云南 大理 671000)

摘要:针对复杂地层钻进水泥护壁待凝时间长、效果差的问题,通过大量室内试验,进行复合速凝早强剂的配制,作为水泥护壁堵漏外加剂,投入多个矿区不同矿种钻探施工中使用,实现候凝时间短、凝结时间可控、效果好,经济效益和社会效益明显。

关键词:钻探;复杂地层;水泥护壁;复合速凝早强剂;均匀设计

中图分类号:P634.8 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)06-0007-06

Application and Study on RW Cement Rapid Solidification Early Strength Agent in Wall Protection and Seepage Control for Drilling Construction/ZHOU Rong-shu, XIE Long-cheng, WANG Guo-fu, FAN Jia-xiang, GAO Hong, HOU Lu-song (The Southern Geological Exploration company, Dali Yunnan 671000, China)

Abstract: Composite rapid solidification early strength agent was made by laboratory tests to improve the long cement curing time of wall protection for drilling in complex formation, which was applied in different mining types drilling as additive for cement wall protection and seepage control with short cement curing time, controllable setting duration and good quality.

Key words: drilling; complex formation; cement wall protection; composite rapid solidification early strength agent; uniform design

随着岩心钻探往更深更复杂地层发展,钻遇的复杂地层,特别是深部长孔段穿越复杂地层的机遇越来越多。在钻孔结构和终孔口径受限的情况下,水泥护壁堵漏是一种既经济又十分有效的手段,但使用水泥护壁,从开始准备到恢复生产,至少需要3天的时间,如深孔段灌注水泥,则需要更长的候凝时间,有时长达一星期以上,效果还难以保证。使用传统的速凝剂,凝结时间难以控制,施工风险大,事故多,而地勘水泥和高水速凝固充填材料,受市场和地域因素的影响,购买和储运都十分不便,使水泥护壁这一工艺方法的推广应用受到很大的影响。寻找或配制一种既能缩短水泥浆候凝时间,凝结时间在一定范围内可控,施工风险小,购买储运方便,甚至在需要的时候能代替地勘水泥使用的新型材料,是十分有意义的工作,“RW复合速凝早强剂在岩心钻探施工中的应用与研究”正是针对这一需要而进行的一次探索。

1 岩心钻探护壁堵漏对水泥浆液的要求

1.1 水泥浆的可泵性

水泥浆的可泵性主要指水泥浆运用泥浆泵泵送的难易程度,用可泵期和流动度来表征,岩心钻探护壁水泥浆的可泵期一般要求不小于30 min(慢速搅拌条件下),流动度大于150 mm。

1.2 凝结时间

为了避免灌注水泥事故,要求水泥浆的初凝时间大于60 min,在必要时,水泥浆的初凝时间在一定范围内可任意确定,初凝和终凝的过渡时间尽量短。

1.3 一定的早强效果

水泥浆终凝后迅速具有一定的强度。根据施工实践,当水泥石具有1 MPa左右的抗压强度时,绳索取心工艺条件下,就能从孔内取出Ⅱ级左右的灰心,达到堵漏护壁的效果。

2 复合速凝早强剂的复合条件

用一种或几种外加剂进行复合必需满足以下几个条件:

- (1) 组成复合外加剂的几种外加剂之间或与水泥熟料矿物间都不能发生破坏结构的化学反应;
- (2) 组成复合外加剂的基准外加剂必需是水溶

收稿日期:2010-02-12; 修回日期:2010-03-15

基金项目:云南省地矿局“护壁堵漏新工艺试验”项目(项目编号:云地矿200606)

作者简介:周荣书(1969-),男(汉族),云南人,云南南方地勘工程总公司工程师,钻探专业,从事钻探技术工作,云南省大理市兴盛路16号,zrs002@163.com。

性的或易溶于水的,或者是在水溶液中能溶解的,这样才能满足泵送水泥浆的需要;

(3)复合外加剂的综合性能必需高于单掺者,也必须满足钻探护壁堵漏施工的需要。

3 速凝早强剂的复合设计

3.1 试验设计

试验的第一阶段是从市场上挑选速凝剂和高效减水剂,分别单独按各种产品商家推荐的掺量进行试验,确定最适合项目要求的品种和最佳掺量;第二阶段进行速凝剂和早强减水剂的复配,采用均匀设计法确定实验方案;第三阶段进行野外施工实验。

3.2 均匀设计

均匀设计是统计试验设计的方法之一,它与其它的许多试验设计方法,如正交设计、最优设计、旋转设计、稳健设计和贝叶斯设计等相辅相成。试验设计就是如何在试验域内最有效地选择试验点,通过试验得到响应的观测值,然后进行数据分析求得达到最优响应值的试验条件。因此,试验设计的目标,就是要用最少的试验取得关于系统的尽可能充分的信息。均匀设计即可以较好地实现这一目标,尤其对多因素、多水平的试验。

均匀设计是通过一套精心设计的表来进行试验设计的,对于每一个均匀设计表都有一个使用表,可指导如何从均匀设计表中选用适当的列来安排试验。本试验的设计、数据分析均使用“均匀设计V3.0系统”来进行。

3.3 试验方案设计

3.3.1 第一阶段试验

收集目前市场上能买得到的水泥外加剂,根据厂商推荐的掺量及上述原则与方法进行室内试验,数据采用直观分析法分析,确定了以RG强力堵漏剂、SW高效早强减水剂作为复合速凝早强剂的试验试剂。通过初步试验确定,用于钻孔护壁堵漏水泥净浆外加剂时,SW高效早强减水剂掺量为3%以上时效果较好。

3.3.2 第二阶段试验

(1)运用均匀分批法优选RG强力堵漏剂在与SW复合作用时的最佳掺量,根据前阶段试验成果可知,可采用的RG掺量优选点参照图1选择。



图1 RG掺量优选点

首先以10%作为第一批试验的点,即以10%(占水泥质量的比)RG强力堵漏剂,分别与1%~50%SW(占RG加量的质量比)混合试验,在0.6~0.7水灰比条件下,如果该点试验指标能满足要求,则选7.5%为下一个试验点,否则舍弃10%以下的点,以15%为下一批试验的点;若15%这点试验指标能满足要求,选12.5%为下一批试验的点,否则舍弃小于15%的点,以20%为下一个试验点,以此类推,直到确定最佳掺量点。

试验结果表明,当RG加量小于15%时,它与SW复合作用时早强速凝作用差,甚至以SW的减水缓凝作用为主,当RG加量为15%时,仅有SW加量为RG加量的40%和50%(相当于水泥质量的7.29%~7.5%)时,有明显的速凝早强效果,当RG加量达到20%以上、SW加量达到15%(相当于水泥质量的3%)时速凝早强效果、流动度等指标都能满足项目的要求。

(2)运用均匀设计的方法,固定水灰比为0.6,以RG加量和SW加量为变量因素,设计实验方案,各因素水平确定如下:

RG强力堵漏剂加量15%~25%;

SW早强减水剂加量3%~14%。

采用2因素9水平的均匀设计,根据因素和水平,选取均匀设计表 $U * 9(9^4)$ 来安排试验。

根据 $U * 9(9^4)$ 的均匀设计表和使用表,该设计选用1、2列构成的试验方案如表1。

表1 试验方案表

因素	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RG加量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
/%	15	16.25	17.5	18.75	20	21.25	22.5	23.75	25
SW减水剂	(3)	(6)	(9)	(2)	(5)	(8)	(1)	(4)	(7)
加量/%	5.73	9.9	14	4.38	8.52	12.66	3.0	7.14	11.28

试验时RG强力堵漏剂和SW高效早强减水剂先与水泥干粉均匀拌合。

4 试验方法

4.1 试剂

试验采用北京暴雨防水技术有限公司生产的RG强力堵漏剂、昆明生威混凝土外加剂公司生产的SW高效早强减水剂、红塔水泥有限公司生产的“上登”牌R42.5普通硅酸盐水泥作为试验材料。

4.2 试样的制备

称取700g水泥,按设计配比称取添加剂并与之均匀拌合,按0.6水灰比量取自来水与水泥搅拌

混合,搅拌机低速搅拌 3 min 后,再高速搅拌 2 min,把水泥浆倒入准备好的式模内,进行水泥浆的性能测试,记录下开始加水拌合的时间

4.3 试样性能测定

按《油井水泥物理检验方法》(GB206-78)规定测定水泥浆的流动度、用维卡仪测定水泥浆的初、终凝时间,抗压强度用带压力表的 QYL32 型油压千斤顶测定后换算得出观测值,在每组 6 个抗压强度结果中,剔除最大、最小 2 个数值,以剩下 4 个的算术平均值作为抗压强度试验的结果。如果不足 6 个,取其平均值,不足 4 个时,重做试验。

4.4 试件的养护条件

为模拟钻孔内的环境条件,试件一律置于养护池中水下养护,试验室室温为 18~20℃,湿度 55%~65%;养护池水温 17~20℃。

5 室内试验成果及数据分析

5.1 室内试验成果

用 SW 高效早强减水剂,按比例与 RG 复合配制水泥外加剂,固定水灰比为 0.6,以 RG 强力堵漏

剂、SW 高效早强减水剂加量为试验的变量因素,用均匀设计法选 U*(9⁴) 均匀设计表设计的试验方案及试验观测数据如表 2。

表 2 试验成果表

试验号	初凝时 间/min	终凝时 间/min	流动度 /mm	可泵期 /min	抗压强 度/MPa	RG 加量 /%	SW 减水剂 加量/%
1	528	542	280	45		15	5.76
2	514	540	260	42		16.25	9.9
3	194	218	260	33	3.6	17.5	14
4	360	533	230	38	0.18	18.75	4.38
5	186	197	255	31	3.6	20	8.52
6	140	157	268	30	3.6	21.25	12.66
7	171	185	260	28	2.16	22.5	3
8	126	137	265	25	2.16	23.75	7.14
9	97	106	250	20	3.6	25	11.28

注:抗压强度为自开始加水拌合到养护 8 h 的测试值。

在满足钻探护壁堵漏作业一般性要求的前提下,课题要求达到的指标主要是可调节的、保证施工安全的水泥浆的初凝时间和水泥浆灌注后可控的待凝时间(3~5 h),为此,我们又对上述方案配制的水泥浆的抗压强度的发展过程进行了观测,结果见表 3、图 2。

表 3 RW 复合速凝早强剂水泥浆抗压强度发展过程观测成果表

序号	RG 掺量/%	SW 掺量/%	抗压强度/MPa								备注
			2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h		
1	25	11.28	0.72	1.44	1.62	1.8	1.98	2.16	3.6	时间自加水拌合起算	
2	23.75	7.14		0.72	1.8	1.98	2.16	2.16	2.16	时间自加水拌合起算	
3	22.5	3			0.54	1.8	1.9	1.98	2.16	时间自加水拌合起算	
4	21.25	12.66				0.72	2.34	3.24	3.6	时间自加水拌合起算	
5	20	8.52					0.72	2.52	3.6	时间自加水拌合起算	
6	17.5	14							3.6	时间自加水拌合起算	

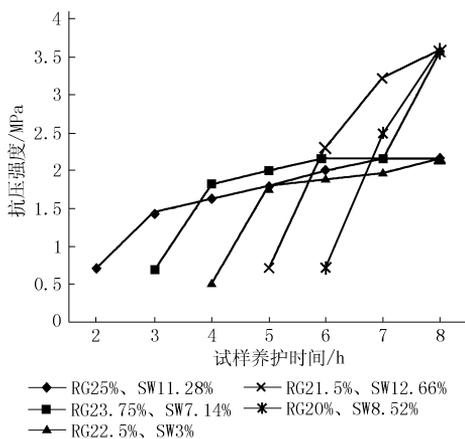


图 2 RW 复合速凝早强剂水泥浆抗压强度发展曲线

5.2 主要指标的数据分析

5.2.1 指标 1 初凝时间的回归分析

5.2.1.1 试验基本信息

指标数:1;因素个数:2;运行次数:9;
试验设计选用均匀设计表 U9*(9⁴);
各因素水平数相等。
指标 1 名称:初凝时间,单位: min;
因素 1 名称:RG 掺量,单位: %;
因素 2 名称:SW 掺量,单位: %。

5.2.1.2 多元回归分析

回归分析采用后退法,显著性水平 $\alpha=0.05$,对指标 1 进行回归分析建立的数学模型如下:

$$y_1 = b(0) + b(1) * X(1),$$

回归系数 $b(i)$:

$$b(0) = 748$$

$$b(1) = -28.0$$

标准回归系数 $B(i)$:

$$B(1) = -0.862$$

复相关系数: $R = 0.8623$
 决定系数: $R^2 = 0.7435$
 修正的决定系数: $R^2_a = 0.7435$
 残差分析(参见表4):

表4 残差分析表

No.	观测值	回归值	观测值 - 回归值	[(回归值 - 观测值) / 观测值] × 100
1	528	468	60	-11.4
2	514	415	99	-19.3
3	194	363	-169	87.1
4	360	310	50	-13.9
5	186	257	-71	38.2
6	140	205	-65	46.4
7	171	152	19	-11.1
8	126	99.6	26.4	-21.0
9	97.0	47.1	49.9	-51.4

回归分析结果(参见图3):
 $y_1 = b(0) + b(1) * X(1)$
 后退法, $R = 0.8623$ 。

5.2.2 指标5(抗压强度)回归分析

5.2.2.1 试验基本信息

指标数:1;因素个数:2;运行次数:9;
 试验设计选用均匀设计表 $U_9(9^4)$;
 各因素水平数相等。
 指标5名称:抗压强度,单位:MPa;
 因素1名称:RG 掺量,单位:%;
 因素2名称:SW 掺量,单位:%。

5.2.2.2 多元回归分析

回归分析采用后退法,显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。

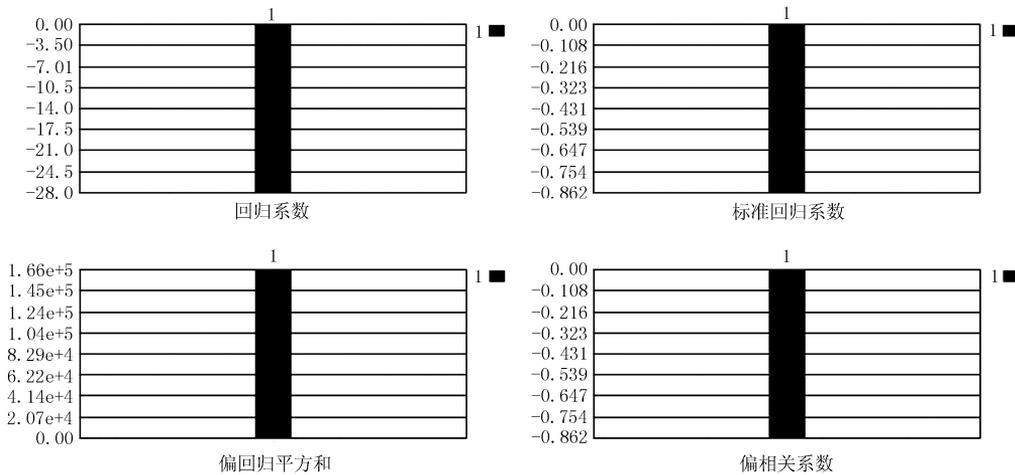


图3 指标1(初凝时间)回归分析结果图

对指标5进行回归分析建立的数学模型如下:

$$y_5 = b(0) + b(1) * X(1) + b(2) * X(2)$$

回归系数 $b(i)$:

$$b(0) = -3.40$$

$$b(1) = 0.190$$

$$b(2) = 0.255$$

标准回归系数 $B(i)$:

$$B(1) = 0.596$$

$$B(2) = 0.586$$

复相关系数 $R = 0.8360$

决定系数 $R^2 = 0.6988$

修正的决定系数 $R^2_a = 0.6558$

残差分析(参见表5):

回归分析结果(参见图4):

$$y_5 = b(0) + b(1) * X(1) + b(2) * X(2)$$

后退法, $R = 0.8360$ 。

表5 残差分析表

No.	观测值	回归值	观测值 - 回归值	[(回归值 - 观测值) / 观测值] × 100
1	0.00	-2.99e-2	2.99e-2	
2	0.00	1.38	-1.38	
3	3.60	2.79	0.810	-22.5
4	0.180	0.691	-0.511	284
5	3.60	2.10	1.50	-41.7
6	3.60	3.51	9.00e-2	-2.50
7	2.16	1.41	0.750	-34.7
8	2.16	2.82	-0.660	30.6
9	3.60	4.23	-0.630	17.5

6 工程运用实例及经济技术指标分析

6.1 工程运用实例

6.1.1 云南省香格里拉烂泥塘铜矿 ZK0-6 孔水泥护壁堵漏

烂泥塘铜矿 ZK0-6 孔设计孔深 800 m, 施工单位为云南南方地勘工程总公司探矿分公司。

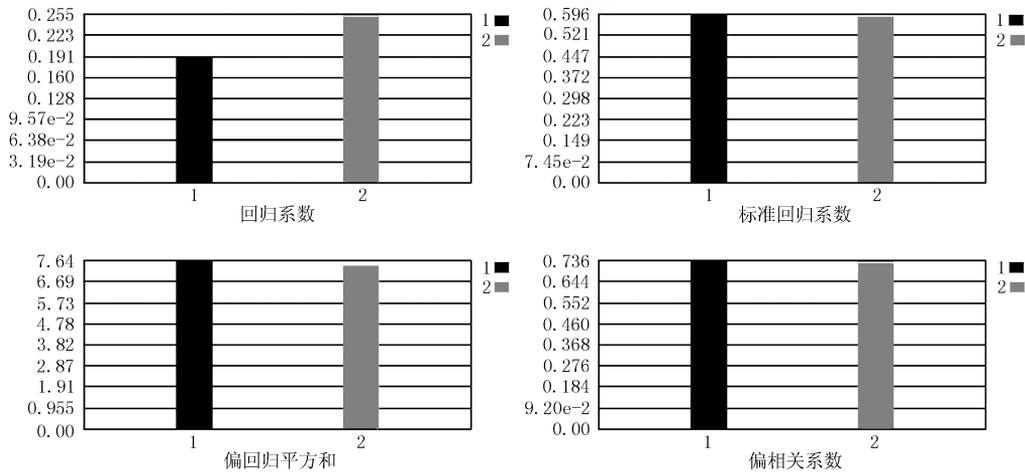


图 4 指标 5(抗压强度)回归分析结果图

ZK0-6 钻孔地层为花岗岩、花岗斑岩,采用 NQ 绳索取心钻进,全孔返浆,泥浆类型为无固相。2009 年 5 月 12 日,钻孔深度 204.60 m,钻遇断层破碎带,孔内突然漏失,干孔,经过大裂隙堵漏剂等工艺手段处理无效,于 5 月 12 日 5:20 搅制水泥浆,水灰比 0.6,用量为 500 kg;RG 强力堵漏剂 20%,用量为 100 kg;SW 高效早强剂 8.52%,用量为 42.6 kg;电动搅拌机搅拌;NQ 钻杆做灌注导管,BW160 水泵泵送灌注。15:00 探孔,于 154.66 m 遇阻开始通孔,取出完整的、强度较高的灰心,护壁成功。本次护壁作业停待时间 9 h 40 min。

6.1.2 云南省大理州鹤庆县北衙铁金矿区万铜山矿段 92ZK2 孔水泥护壁堵漏

92ZK2 钻孔设计孔深 300 m,施工单位为云南国土建设总公司昆明分公司。

92ZK2 钻孔地层为强风化、风化灰岩、灰岩夹红粘土互层,采用普通单管钻进,泥浆类型为无固相泥浆;Ø108 mm 套管下至 79.00 m;该孔于 2009 年 9 月 4 日钻进至孔深 160.01 m,孔内出现大量掉快、垮塌,孔内水位 103 m,不返浆。采用水泥护壁,配比采用 21.25% RG 强力堵漏剂 + 12.66% SW 高效早强减水剂,0.6 水灰比,电力搅拌机制浆,BW250 型泥浆泵送浆灌注。2009 年 9 月 4 日 19 时开始搅浆,2009 年 9 月 5 日 5 时开始通孔,于 75.20 ~ 120 m 取出完整灰心(120 m 以深没有探到水泥),强度较高。由于灌注时替浆量过大,造成本次水泥护壁失败,但孔内掉快、坍塌现象有所缓解,当班存侥幸心理,扫孔到底后想继续钻进,发生卡钻事故。9 月 6 日 1 时事故处理完毕,重新灌注水泥,采用 0.6 水灰比,23.75% RG 强力堵漏剂,7.14% SW 高效早强减水剂配制水泥浆,9 月 6 日 12 时探孔,于 82.35 m

遇阻开始通孔,一直到 160 m 均取出完整灰心,强度较高。护壁成功,本次护壁耗时 11 h。

6.1.3 云南鹤庆北衙铁金属矿区红泥潭矿段 23ZK2 孔水泥护壁堵漏

23ZK2 孔设计孔深 550 m,施工单位为云南南方地勘工程总公司探矿分公司。

23ZK2 孔地层为强风化灰岩、灰岩夹红粘土互层;采用 NQ 绳索取心钻进,泥浆类型为无固相泥浆;Ø89 mm 套管下至 302.12 m。该孔于 2009 年 9 月 14 日钻进至孔深 354.92 m,孔内出现大量掉快,孔内水位 332.23 m,不返浆。采用水泥护壁,0.6 水灰比,配比采用 23.78% RG 强力堵漏剂 + 7.14% SW 高效早强减水剂,电力搅拌机制浆,BW250 型泥浆泵送浆灌注。2009 年 9 月 14 日 14 时开始搅浆,2009 年 9 月 15 日 1 时开始通孔,自 323.86 m 处开始取出完整灰心,采取率 77.5%,顺利通孔到底,没有出现掉快现象,通孔钻进第 10 个回次末孔口开始返浆,护壁堵漏成功,钻进至 495.23 m 终孔。

6.1.4 云南省香格里拉烂泥塘铜多金属矿区 ZK0-1 孔水泥护壁

烂泥塘 ZK0-1 孔设计 500 m,施工单位为云南南方地勘工程总公司探矿分公司。

ZK0-1 钻孔地层为花岗岩、花岗斑岩,采用 NQ 绳索取心钻进,全孔返浆,泥浆类型为无固相,孔内静止水位 14.50 m。2009 年 10 月 25 日早班钻进至 196.98 m 时,贯穿 13 m 全风化花岗岩,孔壁失稳,于 2009 年 10 月 25 日 13:30 搅制水泥浆护壁,配比采用 4.2% 硫酸铝 + 3% SW 高效早强减水剂,水灰比 0.5,电力搅拌机制浆,BW160 型泥浆泵送浆灌注,护壁孔段 182 ~ 195.20 m。由于灌浆量小、孔内静止水位高以及灌浆后替浆灌水量没有准确掌握,

导致此次护壁作业失败。

2009年10月27日早班3:00第二次搅制水泥浆,外加剂为RG强力堵漏剂21.25%,SW高效早强减水剂12.66%,水灰比此次搅制的水泥浆量是第一次的2倍,灌注导管换为 $\varnothing 50$ mm外丝钻杆,2009年10月27日14:00通孔,160.20 m遇水泥,178.56 m取出完整灰心,顺利通孔到底,护壁成功。

6.2 技术经济指标分析

RW复合速凝早强剂,在保证水泥浆体系具有良好可泵性能的同时,当RG在5%~25%、SW在3%~14%之间选择时,可以实现水泥浆的凝固时间在97~528 min之间进行调节,其意义在于可以根据钻孔内情况、施工设备状况以及工程需要合理选择水泥浆体系配比,而且最早在灌注3 h后,水泥即能达到2 MPa左右的强度,可以通孔,这就保证了在有效实现护壁堵漏的同时,还可避免灌注水泥事故的发生,杜绝孔内复杂情况进一步恶化,为工程顺利推进赢得了更多时间。

RW复合速凝剂的实验和成功运用,特别是在香格里拉矿区的成功使用,为我公司赢得了施工时间,工程得以在冰冻期到来以前完成,取得了很好的经济效益和社会效益。野外护壁堵漏试验情况成果见表6。

表6 RW复合速凝剂早强水泥堵漏野外试验成果表

序号	矿区名称	孔号	灌注孔段/m	水泥用量/kg	RG用量/kg	SW用量/kg	候凝时间
1	烂泥塘	ZK0-1	160.2~203.5	500	100	42.6	9 h 40 min
2	北衙	92ZK2	85.10~105.0	500	106	63	10 h
3	北衙	92ZK2	85.10~105.0	500	118.75	35.7	11 h
4	北衙	23ZK2	325.30~347.23	550	130	39.27	11 h
5	烂泥塘	ZK0-1	182.00~195.20	500	106.25	63.30	11 h
合计				2550	561	243.87	52 h 40 min

试验共进行了5次,候凝时间总计52 h 40 min,比常规水泥护壁多耗用的材料成本为: $561 \text{ kg} \times 8 \text{ 元/kg} + 243.87 \text{ kg} \times 5 \text{ 元/kg} = 5707.35 \text{ 元}$,这两个矿区常规水泥护壁的候凝期为3天,即5次共需候凝 $72 \times 5 = 360 \text{ h}$,而使用RW速凝早强剂后节约了307 h 20 min。根据我公司近5年的统计资料,钻探平均纯钻时间利用率为59%,平均小时效率0.85 m,使用RW速凝早强剂后节约的307 h 20 min,可以多打进尺 $307.3 \times 0.59 \times 0.85 = 154.11 \text{ m}$,工程单价按650元/m计算,多打进尺创造的毛利为100171.50元,而多耗用的材料成本仅为5707.35元,产出与投入比为17.55:1。更重要的是,为整个工程在冰冻期到来前竣工,赢得了足够的施工时间,经济、社会效益十分可观。

7 结语

RW复合速凝剂早强水泥浆体系,具有初凝时间调节范围宽(97~528 min),初凝后向终凝过渡时间很短,终凝后强度发展快,水泥浆灌注后待凝时间短的特点,可以根据现场设备状况和工程需要,合理选择配比、灌注工艺以及通孔的时间,在保证进行有效的护壁堵漏作业的前提下,避免事故,为工程施工赢得更多时间,创造更好的经济效益,值得推广。

参考文献:

- [1] 牛建东. 水泥复合速凝早强剂的试验研究与应用[D]. 长沙: 中南大学, 2002.
- [2] 曾祥熹, 陈志超, 王玉明. 钻孔护壁堵漏与减阻[M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- [3] 彭振斌. 硫铝酸盐“S”型水泥干法护壁堵漏技术研究[J]. 探矿工程, 1995, (2): 41-42, 60.
- [4] 安徽地质局三二六地质队. 三乙醇胺~氯化钠水泥浆护壁堵漏[J]. 勘探技术, 1977, (3): 43-49.
- [5] 钱书伟, 王如春. 岩心钻探水下灌注水泥方法探讨[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(1): 18-21.

- [4] 陈嘉玉. 提高海拉尔地区钻井速度技术研究[D]. 大庆: 大庆石油学院, 2007.
- [5] 高德利, 张辉, 潘起峰, 等. 流花油田地层岩石力学参数评价及钻头选型技术[J]. 石油钻采工艺, 2006, 28(2): 1-3, 6.
- [6] 孔凡军, 杨智光, 张书瑞, 等. 徐家围子深井高温复合钻井技术的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2005, 32(11): 51-53.
- [7] 王昌真, 刘永贵. 庆深气田深层勘探钻井配套技术研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(9): 16-20.

(上接第6页)

参考文献:

- [1] 杨新斌, 宋瑞宏. 大庆油田海拉尔钻井液技术[J]. 钻井液与完井液, 2001, 18(4): 45-46.
- [2] 金波. 海拉尔探区钻井速度影响因素的分析及其对策[J]. 大庆石油学院学报, 2006, 30(5): 35-37.
- [3] 孔凡军, 刘永贵, 张显军, 等. 徐深气田深层气体钻井设计及对策[J]. 天然气工业, 2008, 28(8): 64-66.