

钾铵基聚合物泥浆在大同煤田复杂地层钻进中的应用

徐学军

(山西省地质勘查局二一七地质队,山西 大同 037008)

摘要:煤田地质钻探中,白垩系卵石层、多层采空区及泥岩地层是一大钻进难题。一是上部长孔段砂卵石层胶结松散,易垮塌;二是下部泥岩水敏性强,膨胀性大,节理裂隙发育,极易产生缩径、造浆及不同程度的渗漏;三是多层采空区的护壁问题。针对这些问题,在大同煤田复杂地层钻进中,经反复实验选用了钾铵基聚合物低固相泥浆。实践证明,采用钾铵基聚合物低固相泥浆,可有效防止孔内坍塌、掉块、缩径,预防孔内事故,提高钻进效率,降低成本,达到了正常的钻进目的。

关键词:煤田勘探;长孔段卵石层;多层采空区;钾铵基聚合物;泥浆

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2016)12-0045-04

Application of Potassium Ammonium Polymer Mud in Complex Formation Exploration Drilling of Datong Coalfield/
XU Xue-jun (The 217 Geological Team, Shanxi Provincial Geological Prospecting Bureau, Datong Shanxi 037008, China)

Abstract: Cretaceous gravel layer, multilayer goaf and mud stone formation have been difficult for coalfield geological drilling. Firstly, it is easy to collapse due to the loose cementation at upper sand gravel layer hole section; secondly, strong water sensitivity, high swelling, joint and fissure development easily cause hole shrinkage, mud making and different degrees of leakage at lower hole section; thirdly, the wall protection in multilayer goaf. In view of the above, in the complex formation drilling in Datong coalfield, potassium ammonium polymer low solid mud is selected by repeated tests. The practice proves that the accidents of hole collapse, block falling, hole shrinkage can be prevented by using potassium ammonium polymer low solid mud to improve drilling efficiency and reduce cost.

Key words: coalfield exploration; long gravel layer hole section; multilayer goaf; potassium ammonium polymer; mud

0 引言

大同煤田主要集中在大同市西部延伸至左云县,是山西省的主要经济产业支柱之一。由于多年的长期开挖,近市郊区域范围内地下侏罗系地层的矿产资源面临枯竭,对国民经济及企业生存产生了一定的影响。为发展经济、改善民生,经过国家有关部委研究论证,目标力促于本区西部的左云县,着眼于地层深部,为国家寻找新的煤炭矿产资源。为此,从 2006 年起国家在本区范围内左云县东南部相继批准了多个大型煤田勘探详查项目,其中东周窑 1 期、马道头、东周窑 2 期和刘家窑矿区共 4 个大型煤田勘探详查项目,区域勘探面积共 550 km²,由我队中标并投入施工,5 个年度共完成钻孔 332 个,钻探工作量 200545 m,提交煤炭储量 45 亿 t。

由于地层复杂、护壁困难,给施工带来较大难度。经过精心组织,科学施工,加强管理,圆满完成了任务,受到上级的一致好评和肯定,取得了较好的经济效益和社会效益,也为我队今后对外市场开拓

奠定了良好的基础。所施工矿区从 2010 年始除刘家窑矿区外其他 3 个大型矿区相继投产运行。

1 矿区地层特征、施工难度及地层对泥浆的要求

1.1 矿区地层特征

左云县东南区煤田位于大同西南部,属低山丘陵区,地层岩性从上至下依次为:第四系黄土覆盖层(0~35 m);白垩系松散层,以粗细砂砾石、砂泥质充填的卵砾石(22~475 m),平均厚度 230~360 m,最大厚度 445 m,特别是东周窑 2 期贾家窑矿区平均砾石层厚度达 300~350 m;下部侏罗系、石炭系紫红色砂质泥岩夹各种粗中细砂岩,以泥质胶结为主,节理裂隙发育;最下部见奥陶系灰岩 10~25 m 后终孔,岩石较完整。东周窑 1 期矿区内侏罗系矿层大部已采空,深度 98~305 m,采空层厚度 2.20~4.80 m 不等,最大 5.80 m,有 1/3 的钻孔位于各级采空区内,一般 1~3 层,个别 4~5 层。

1.2 地层施工难度及对泥浆的要求

收稿日期:2016-10-28;修回日期:2016-11-02

作者简介:徐学军,男,汉族,1962 年生,工程师,钻探工程专业,从事探矿工程技术及管理工作,山西省大同市永泰南路 79 号,13403420703@163.com。

存在的施工难题有:一是上部长孔段砂卵石层胶结松散,易垮塌;二是下部泥岩水敏性强,膨胀性大,节理裂隙发育,在钻进中极易产生缩径、造浆及不同程度的渗漏;三是多层采空区的护壁问题;四是矿区施工面积大,单个矿区勘探面积最大 214 km²,施工钻机多而分散,最多同时开动台数 63 台,不易管理,给施工带来较大难度。

要求泥浆不仅具有适当的结构强度,便于携带岩屑,有利于稳定孔壁,防塌防漏,而且要有良好的抑制性,抑制粘土分散泥岩造浆、粘度和密度上升,同时要具备泥饼薄而韧,滤失量小、防卡、防粘及防塌性能。

2 钻进方法及套管护壁技术

2.1 钻进方法与钻孔结构

由于多层采空区的护壁问题无法用泥浆解决,因此我们主要采用了优质泥浆护壁配合套管封隔的综合治理措施。

合理选择钻进方法和钻孔结构是护壁工作的必要条件,根据地质情况及我队目前设备状况,上部砂卵石层采用一般的钻进方法,使用金刚石复合片(PDC)加强型取心钻头,壁厚为 12 mm;下部较完整的砂岩、泥岩采用金刚石绳索取心或金刚石普通双管钻进,并采用加大金刚石钻头外径的方法,其外径比普通钻头大 8~9 mm,这样可以降低环空阻力,防止孔壁坍塌、缩径,减少提下钻次数,提高回次进尺。

钻孔结构为 4 级,开孔 $\varnothing 150$ mm,下入 $\varnothing 146$ mm 套管后,更换 $\varnothing 133$ mm 口径钻进砂卵石层,穿过下入 $\varnothing 127$ mm 套管,而后换 $\varnothing 94$ mm 至孔底。预留 $\varnothing 75$ mm 一级口径作备用。

2.2 套管护壁技术应用

多级采空区采用套管封闭,有的采空区下入套管后还存在不同程度的漏失问题,采用水泥浆多次进行封堵无效,原因是套管受钻杆的撞击作用,钻进一段时间后套管被打活产生不同程度的漏失。针对此问题,下套管前在套管底部制作了一个弹性止水接头,在套管底部间距 20~30 cm 连接 2 个同径套管接箍,因为接箍比套管外径大 1.5 mm,采用细纱布在两个接箍中间缠绕,每缠一圈用胶水涂抹(干胶加热变成液体状),其接头外径比孔径大 1~2 mm,下入孔底后,由于制作的接头外径比孔径大且具有弹性,下入孔底后密封性较好,效果明显。

2.3 取心技术

上部卵石层采用普通双管钻具采取岩心,针对该层松散、破碎的特点采用屏蔽式莲蓬卡簧,并控制钻进参数,适当降低钻压、转速,控制泵压;下部较完整岩层采用金刚石绳索取心钻具,钻进至距矿层及矿层顶底板 15 m 处,及时丈量钻具和校正孔深,准确掌握煤层及顶底板的深度和厚度,较破碎的砂砾岩采用底喷式金刚石钻头。采用以上措施有效地保证了岩矿心的采取率。

3 钾铵基聚合物泥浆的应用

3.1 泥浆类型的选择

正确选择泥浆体系是顺利穿越砂卵石层的保证。根据地层要求,我们选择了钾基(KHm-PAM)聚合物不分散低固相优质泥浆,并进行了多种泥浆体系的配方试验,室内反复将钻孔样品岩样进行垮塌浸泡试验,发现钾铵基泥浆对样品浸泡后垮塌的时间延长 4.0~6.5 h(东周窑 1 期矿区半胶结砂卵石岩样,其中一组室内实验结果,见图 1)。为此,我们改用了钾铵基聚合物不分散低固相优质泥浆(KHm-NH₄-HPAN),作为全孔冲洗液,基浆由 KP241 增粘剂和水解聚丙烯腈铵盐(NH₄-HPAN)进行配制,根据地层情况再加广谱护壁剂(GSP)和 801 随钻堵漏剂。KP241 的化学成分除含有优质钠土外主要由聚丙烯酰胺(PAM)和腐殖酸钾(KHm)组成,有可以提高粘度、降低失水、提高泥浆的抑制性、润滑性、改善泥浆的流变性能、使用方便诸多优点。

3.2 泥浆配方

3.2.1 砂卵、砂砾及半胶结的砂砾层

膨润土(1%~2.5%)+增粘剂 KP241(1.5%~2.5%)+水解聚丙烯腈铵盐(NH₄-HPAN),根据地层变化情况,部分钻孔再加入腐殖酸钾(KHm)0.5%~1%,广谱护壁剂(GSP)0.2%~0.5%,810 随钻堵漏剂 0.3%~1%。进一步降低泥浆的滤失量,增强浆液的流动性能,提高防塌、防卡、防漏效果。

3.2.2 下部完整岩层

下部完整岩层直接采用 KP241 + NH₄-HPAN 配制。KP241 浓度为 2.0%~2.5%,NH₄-HPAN 浓度为 0.2%~0.4%。视地层情况适当添加 GSP 和 810 随钻堵漏剂进行调节。

3.3 泥浆制备方法

严格按照比例配制基浆,充分搅拌均匀,时间 > 20 min,然后将 KP241 按比例边搅拌边撒入,不得



(a) 1号普通泥浆开始浸泡 (b) 2号钾铵基聚合物泥浆开始浸泡
(c) 3号钾铵基泥浆开始浸泡 (d) 1号普通泥浆9h后开裂垮塌
(e) 2号钾铵基聚合物泥浆22h后开裂垮塌 (f) 3号钾铵基泥浆28h后开裂垮塌

图 1 东周窑 1 期矿区半胶结砂卵石岩样室内实验结果

快速倒入,搅拌约 10 min 后,将 $\text{NH}_4 - \text{HPAN}$ 按比例缓慢倒入,继续搅拌约 5 min,若需调节,按顺序再继续加入 KHm 、 GSP 及 810 随钻堵漏剂,搅拌均匀即可。

3.4 泥浆性能指标

泥浆应满足如下性能:固相含量 $< 4\%$,密度 $1.05 \sim 1.08 \text{ g/cm}^3$,漏斗粘度 $20 \sim 28 \text{ s}$,含砂量 $< 4\%$,滤失量 $8 \sim 12 \text{ mL/30 min}$,泥皮厚度 $< 0.5 \text{ mm}$, pH 值 $8.5 \sim 9.5$ 。不同类型地层的泥浆性能见表 1。

表 1 不同类型地层的泥浆性能

地层	泥浆类型	表观粘度 $\eta_{\text{表}} / (\text{mPa} \cdot \text{s})$	塑性粘度 $\eta_{\text{塑}} / (\text{mPa} \cdot \text{s})$	切力 T_0 / Pa	API 滤失量 / $[\text{mL} \cdot (30 \text{ min})^{-1}]$
卵石层	钾铵基	7~8	6~7	0.40~0.45	10
完整岩层	钾铵基	4~5	4~5	0.30~0.35	<8

3.5 泥浆现场维护管理

(1) 施工现场布置泥浆坑 1 个 ($> 10 \text{ m}^3$), 沉淀坑 2 个 ($> 3 \text{ m}^3$), 循环系统长度 $\geq 15 \text{ m}$, 每 5 m 加隔板 1 个, 将大颗粒砂砾及时清除。

(2) 每个机台配置泥浆配套仪器及旋流除砂器等除砂设备, 由项目部专业人员负责, 且每班专人负责管理, 保证泥浆性能指标始终满足地层要求。根据地层变化情况及时添加补充处理剂进行调节, 严格控制滤失量、含砂量及固相含量。

(3) 严格控制固相含量 $\geq 4\%$, 造浆严重及孔内含砂量大时要及时进行处理。

(4) 项目部配置了专门泥浆材料供应站, 防止不合格材料影响施工。

(5) 每班定期测定泥浆性能, 及时补充新浆及加入处理剂进行调节, 泥浆循环池设立标尺, 及时掌握孔内泥浆消耗和漏失情况, 发现问题及时处理。

(6) 加强泥浆技术的现场培训工作, 提高员工的实际操作水平, 每月定期组织邀请有关专业人员进行一次培训学习, 现场指导实际操作, 发现问题及时处理。

4 钾铵基聚合物泥浆的作用机理

4.1 防塌机理

主要是处理剂中 K^+ 的镶嵌作用及聚合物的包被作用, 因为 K^+ 嵌入粘土晶格, 增强了晶格间的联结力, 置换了可置换的阳离子, 形成稳定的低水结构蒙脱石及完整的伊利石结构, 有效地抑制了水敏性地层的水化膨胀, 防止孔壁坍塌。 NH_4^+ 也具有同等作用。该泥浆体系中的聚合物 (PAM 、 $\text{NH}_4 - \text{HPAN}$) 有效高分子涂熬在孔壁上可以横跨微裂隙产生拉力有利于孔壁稳定, 当浓度一定时大分子长链在孔壁上多点吸附形成憎水膜对粘土颗粒起到包被作用, 并横向封闭泥岩的微细裂缝, 起到了护壁堵漏作用。由于 K^+ 和 NH_4^+ 两种离子同时存在, 相互配合, 防塌效果更为明显。另外泥浆体系中 GSP 和 801 堵漏剂共同作用在孔壁上, 能够形成一种特殊的水化膜, 有利于孔壁稳定。

4.2 降滤失和抑制作用

KP241 是一种较好的提粘、降滤失及抑制性处理剂, 同时该体系中水解聚丙烯腈铵盐 ($\text{NH}_4 - \text{HPAN}$) 和广谱护壁剂 (GSP) 也具有良好的降滤失、抑制粘土水化分散的作用。

采用钾铵基聚合物优质低固相泥浆能保持冲洗液的低密度、低失水、高剪切、流动性、润滑性, 有利于提高钻探效率。在钻进中, 可以减少环空阻力、压力激动, 防止对孔壁的冲刷作用, 实现平衡钻进, 保护孔壁稳定。在绳索取心钻进中, 能使钻杆内形成薄而韧的泥皮, 内管易于投放和打捞, 减小对岩心的冲刷作用, 保护岩矿心, 提高采取率。

5 钻探施工效果

5.1 完成情况

完成工作量情况及经济技术指标见表 2。

表2 完成工作量情况及经济技术指标

矿区	时间	工作量/ m	钻孔 数/个	甲级 孔/个	乙级 孔/个	报废 孔/个	报废工 作量/m	岩心采取率/%		报废 原因	钻探台效/ m	备注
								围岩	矿层及顶底板			
东周窑1期	2006年6月—12月	11456	24	7	17	6	2045	68	86	坍塌埋钻	277	普通泥浆
	2007年3月—6月	22804	38	18	20			81	96		468	钾铵基泥浆
马道头	2009年9月—11月	103685	182	136	46			83	95		514	钾铵基泥浆
东周窑2期	2010年6月—8月	32150	48	38	10			84	97		528	钾铵基泥浆
刘家窑	2015年4月—6月	30450	40	32	8			83	98		536	钾铵基泥浆
合计		200545	332	232	100			平均79.8	平均94.4		平均464.6	

5.2 效果对比

使用该优质聚合物低固相不分散泥浆体系进行护壁,孔内事故少,钻进效率高,漏失少,且无坍塌现象。由于工期紧,2006年有部分外协钻机参与施工,由于对泥浆技术认识不足,采用普通泥浆(膨润土+CMC+KHm)护壁,报废钻孔6个,报废工作量2045 m,2007年3月全部采用钾铵基优质泥浆进行护壁,无报废工作量。钻探平均台效500 m以上,单机最高台效达632 m,较2006年下半年提高了70%,钻孔优质率提高了50%。

5.3 存在的问题

冬季施工难度大,特别是每年元旦左右,天气很冷,最低温度-25~-32℃,泥浆不易管理,除在浆液中加入适量的NaCl外,需要采取泥浆系统保暖措施,一般采用棉篷布围堵架设厂房取火加温,但污染严重且存在安全隐患,后用热水管循环加温效果好。外部利用0.5 t热力锅炉,内部用Ø8 mm×6根×2组塑料管在篷房内四周缠绕热水循环散热,但成本加大。

4级以上的采空区钻进护壁困难,继续采用分级套管隔离,受到钻孔级配结构限制,若将上部套管拔出,孔内易垮塌,继续钻进不返浆,加堵漏材料无效时,我们一般采用浓度0.5%~1.0% KP241配制浆液顶漏快速钻进,钻头选择Ø100 mm PDC钻头,岩心管外径89 mm,增大钻头外径,防粘、防卡,同时降低泥浆成本,穿过最后一层采空区后再下入套管进行封闭。顶漏钻进时从孔口不停地用300 ppm PAM浆液缓缓流入,以便润滑钻具,但要小心操作。

6 经验与认识

(1)实践证明,钾铵基聚合物泥浆的护壁效果更为明显,显示了护壁的优越性。该泥浆体系在煤田勘探复杂地层钻进是行之有效的,能够较好地控制流变参数和钻井液密度,优化钻井参数,基本保证

钻探施工的正常进行。

(2)采用的钾铵基聚合物优质泥浆优于钾基泥浆的防塌效果,在砂卵、砂砾、泥岩、破碎的复杂地层中应用效果良好。

(3)钾铵基聚合物优质泥浆中固相粒度较粗,高剪切,粘度低,密度低,对提高机械钻速极为有利,缩短了施工周期。

(4)该泥浆体系具有良好的控制泥页岩水化作用的性能,有利于完井电测,无遇阻夹卡现象。

(5)该泥浆体系流动性好,剪切稀释作用强,动塑比大,有利于粘土侵的净化,有利于除砂,孔底干净,减少了钻具、泵件的磨损,延长了钻头的使用寿命,最高钻头寿命达265 m,平均142 m/个。据地层情况适度调节加量,满足了地层要求,保持了孔壁稳定。

(6)钻进中要提高实际操作要领、合理控制钻进参数,提下钻操作升降机要平稳,尽量减小惯性作用,防止孔内钻具的抽吸作用。严禁钻头猛冲孔底,下钻遇阻或岩心堵塞时,可以上下轻微活动钻具,无效立即提钻。严禁使用弯曲钻杆,避免造成钻具回转时对孔壁的碰撞敲打,保证孔壁稳定性。

参考文献:

- [1] 孙建华. 大深度复杂地层绳索取心钻探技术[J]. 地质装备, 2008, 9(4): 19-21.
- [2] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 山东青岛: 中国石油大学出版社, 2012.
- [3] 王效祥. 钻井液工艺原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- [4] 张祖培, 刘宝昌. 碎岩工程学[M]. 北京: 地质出版社, 2004.
- [5] 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): 40-44.
- [6] 王炜东. 谈煤田钻探钻孔水泥护壁堵漏施工[J]. 黑龙江科技信息, 2012, (28): 262-262.
- [7] 陈伟武. 尧峪金铜矿超厚水敏性地层钻进泥浆护壁技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(5): 38-40, 43.
- [8] 刘海明, 徐学军. 煤田勘探超厚卵石层及多层采空区的钻进经验[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(S1): 107-109.
- [9] 孙智杰, 张金生. 煤田钻探不同地层的泥浆方案与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(S1): 178-179.