

高密度低失水泥浆体系在煤田绳索取心 钻探中的应用研究

陈尔志^{1,2}, 陈礼仪^{1,2}, 向昆明^{2,3}, 章 述³, 尹亮先³, 李跃成³

(1. 地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室, 四川 成都 610059; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059; 3. 四川省煤田地质局 137 地质队, 四川 达州 635006)

摘 要:煤田钻探中,经常会遇到比较破碎、易坍塌、易水化膨胀等复杂地层,给钻进造成较大的困难。开发了具有良好的防塌性能、较好的抑制性并具有适当密度的高密度低失水泥浆体系。现场使用证明,该泥浆体系在煤田小口径金刚石绳索取心钻探中能很好维持孔壁稳定、有效抑制泥页岩的水化膨胀,降低孔内事故的发生率。

关键词:泥浆体系;高密度;低失水;煤田钻探;绳索取心钻探

中图分类号:P634.6 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2011)02-0015-04

Application of High Density and Low Filtration Drilling Fluid System in Wire-line Coring Drilling of Coalfield Exploration/CHEN Er-zhi^{1,2}, CHEN Li-yi^{1,2}, XIANG Kun-ming^{2,3}, ZHAN Shu³, YIN Liang-xian³, LI Yue-cheng³ (1. State Key Laboratory of Geohazard Prevention and Geoenvironment Protection, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 3. 137 Geological Team of Sichuan Bureau of Coal Geology, Dazhou Sichuan 635006, China)

Abstract: It is very difficult in the coalfield drilling process because rather complex strata are usually encountered; such as breaking layer, collapsing layer and hydration expansive layer. Heavy density and low filtration drilling fluid system were developed with anti-sloughing, inhibiting and proper density. Field application proves that the drilling fluid system can perfectly maintain borehole stability and effectively inhibit the hydration expansion of mud stone and shale with the accident rate in wire-line coring drilling decreased.

Key words: fluid system; heavy density; low filtration; coalfield exploration; wire-line coring drilling

1 概述

近几年,随着深部煤田勘探工程的逐步实施,千米左右的煤田勘探钻孔越来越多,这些钻孔大多采用绳索取心钻进工艺。但由于煤系地层构造复杂,当钻遇软硬不均、破碎掉块、裂隙发育等复杂地层时,极易出现缩径、垮塌、涌水等事故。特别是在深孔中采用绳索取心钻探工艺,虽能大幅度提高钻进效率,若没有合适的泥浆体系作保障,往往还会导致钻进效率低下,工人劳动强度大增,甚至会引起严重的孔内事故。因此,选配合适的钻井液体系就成为煤田深孔钻探大规模推广使用金刚石绳索取心钻探工艺必须面临的重要技术难题。

为此,笔者在钻井液理论的指导下,借鉴相关成功经验,在煤田勘探部门的大力支持下,开发出了高密度低失水泥浆体系,并在现场使用中取得了令人满意的效果。

2 煤系地层特点及其对泥浆性能的要求

2.1 煤系地层的特点

煤田勘探中遇到的岩层主要是沉积岩,沉积岩是由形状不定、颗粒大小不均匀的矿物和岩石碎屑胶结而成的,其颗粒之间的各种胶结物质,有的是胶结强度大的硅质和钙质物质,有的则是胶结强度弱的粘土质和泥质物质^[1]。由于沉积环境的不同,强烈地质运动的影响,胶结程度的不同,使煤系岩层具有松散、易破碎、软硬互层、水敏性强、空隙性等特点,给顺利钻进造成极大的困难。

2.2 对泥浆性能的要求^[2]

由于煤系岩层大多较为松散破碎、易水化膨胀、孔隙较多,有些地层甚至还发生涌水,因此要求泥浆要具有以下特点:(1)有良好的造壁性,以利于保护孔壁不垮塌;(2)具有一定的压涌、隔水性能;(3)具有较好的抑制性,使水敏性地层不发生水化、分散;(4)具有良好的携带悬浮岩屑的能力,能迅速将孔

收稿日期:2010-08-13

作者简介:陈尔志(1984-),男(汉族),贵州大方人,地质灾害防治与地质环境保护国家重点实验室(成都理工大学)在读硕士,地质工程专业,研究方向为岩土钻掘工程,四川省成都市成都理工大学银杏园2-519室,chen-erzhi@163.com。

底岩屑排出;(5)保护矿心不被溶解和污染。

2.3 煤田勘探绳索取心钻探泥浆技术的关键

由于煤田勘探大多采用金刚石绳索取心钻进,而绳索取心钻进由于外环间隙较小,循环泵压高,当孔内液体密度过高时,容易压垮孔壁。同时由于强大的离心力场造成钻杆内壁结垢,容易引起投放和打捞总成困难。因此要求泥浆除应具有2.2中的特点外,还应满足以下性能要求:(1)尽量小的环空动压,防止压漏、压裂和压垮地层;(2)钻杆内能实现紊流冲刷,以防结垢或清除泥垢;(3)环空流动状态要能调节达到或接近紊流,保持薄而韧的泥皮,防止缩径及粘附卡钻^[3]。

3 解决问题的途径

3.1 高密度实现压力平衡钻进——防止破碎地层坍塌^[4]

在高地应力下维持孔壁的稳定,防止破碎地层不发生垮塌,关键就在于维持孔内原有的压力平衡状态。而维持孔内的压力平衡状态,提高泥浆的密度,增大液柱压力无疑是最主要的思路。但要适合煤田金刚石小口径绳索取心钻进,在维持泥浆体系稳定的前提下使泥浆的液柱压力与地层压力相平衡,同时保证泥浆的稳定性,则是面临的首要问题。

3.2 低失水实现低渗透性——防止水敏性地层的水化

煤系地层含有较多的泥页岩,要抑制泥页岩等水敏性地层的水化膨胀,必须控制泥浆的失水量在较小的范围并实现低渗透。对聚合物降失水机理的研究表明,高分子链与粘土颗粒的桥联作用,在泥浆体系内部形成比较稳定的空间网架结构,粘土颗粒更加细化均匀分散,泥饼结构更加致密,从而有效地降低了泥浆的失水量。此外,由于常用高分子聚合物降失水剂分子链上具有强水化基团,会使粘土颗粒的水化膜增厚,形成粘度较高的极化水,在阻止泥浆中自由水滤失实现降失水的同时,也会使泥浆体系的粘度不同程度的升高^[4]。由于金刚石钻进环状间隙较小,泥浆粘度过大流动困难,岩屑沉淀能力差,因此不适宜采用增粘过高的聚合物。应根据地层特点选用增粘能力较低的聚合物并使泥浆具有一定的抑制性,有效防止水敏性地层的水化分散。

4 高密度低失水泥浆的实现

高密度低失水泥浆是具有较好的携带、悬浮岩屑能力和防塌性能,同时又具有较低失水量和适当

密度的泥浆。一般先由淡水、膨润土、各种聚合物类处理剂配成原浆,然后使用加重剂加重到所需密度,从而达到高密度。加重剂大多采用重晶石粉,所需密度一般根据孔内反馈情况确定。低失水则是通过加入降失水剂类聚合物来实现的。降失水剂类聚合物大都含有亲水基团,加入到泥浆中后,这些亲水基团能够解离出来,束缚自由水和增加自由水的流动阻力,达到控制失水的目的。另外,含有多种功能团的大分子降失水剂能够吸附在粘土颗粒表面形成吸附水化层,提高土粒的电动电位,增大土粒聚结的机械阻力和静电斥力,提高土粒的聚结稳定性,使多级分散的泥浆中易于保持和增加细土粒的含量,形成致密的泥饼。特别是土粒吸附水化膜的高粘度和弹性带来的堵孔作用,使泥饼更加致密,从而降低失水。高分子的加入使泥浆滤液粘度提高,也有利于降低失水量^[5]。

5 高密度低失水泥浆的特点

5.1 适当的密度

地层被钻开之前,地下的岩石受到上覆压力、水平方向地应力和孔隙压力作用,孔壁处的应力状态为原地应力状态,且处于平衡状态。当孔眼被钻开以后地应力被释放,孔内泥浆作用于孔壁的压力取代了所钻岩层原先对孔壁岩石的支撑,破坏了地层和原有应力的平衡,引起孔壁周围应力的重新分布^[6]。高密度低失水泥浆由于根据实际情况采用加重剂使泥浆具有适当的密度,使孔内液柱压力与地层压力相平衡,从而防止了垮塌、缩径等事故的发生。

5.2 较低的失水量

泥浆的失水量大,不但会引起水敏性地层的膨胀与分散,造成缩径、垮塌等孔内事故,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,还会浸泡地层,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垮塌^[7]。高密度低失水泥浆由于加入了具有降失水作用的聚合物,由于这些聚合物含有各种功能基团,这些功能基团吸附在颗粒表面形成吸附水化层,增大了土粒的电动电位,起到了保护粘土颗粒的作用,同时增加了水化膜厚度,增强了泥饼的可压缩性,使失水量降低。实际钻进中,高密度低失水泥浆的失水量一般控制在8 mL以下。

5.3 较强的护壁性

泥浆在失水的同时,泥浆中的固相颗粒被阻挡沉积在孔壁上,在压差和钻杆拍打作用下,形成一层坚实的泥饼,这便是泥浆的护壁作用^[8]。泥浆护壁性的好坏一般采用泥饼质量来衡量。通常情况下,要求泥饼要薄而致密、韧性好。因为如果钻进过程中泥饼过厚,则孔壁间隙变小,钻具回转阻力增加,容易引起卡钻、憋泵等事故的发生。高密度低失水泥浆中由于加入了大量聚合物,这些聚合物起到了阻止粘土颗粒聚结,提高分散度的作用,使形成的泥饼韧性较佳。同时,由于泥浆具有低失水的性能,泥浆中自由水或滤液较少进入地层孔隙、微裂隙及节理之中,从而防止了孔壁垮塌,其护壁性更好。

5.4 良好的抑制性

泥浆的抑制性强,有利于保护水敏性地层。煤田钻探中,由于煤系地层中大都含有泥页岩层,如果泥浆抑制性不好,往往会使孔壁产生脱落、坍塌,同时某些粘土矿物质地层,当泥浆失水时,粘土颗粒表层形成水化膜产生膨胀,往往形成缩径、卡钻等^[9]。高密度低失水泥浆中由于加入了具有泥页岩抑制效果的聚合物如磺化沥青和 KHm 类物质,磺化沥青中由于含有磺酸基团,水化作用很强,当吸附在泥页岩晶层断面上时,可阻止泥页岩的水化分散。同时, KHm 中的 K^+ 可以通过镶嵌或晶格固定使蒙脱石水化能力减弱,有利于减弱泥页岩的水化渗透,从而起到抑制作用^[10]。

6 现场应用

6.1 工程概况

高密度低失水泥浆体系在宣威华泽煤田 J203 孔试用。J203 孔为了一口金刚石岩心钻探孔,设计孔深 530 m,孔斜 18°,但实际中要求至少钻至第九号煤层。采用小口径金刚石绳索取心钻进,螺杆马达造斜,泥浆为正循环方式。地层主要为砂岩层、泥页岩层和煤层。砂岩层比较破碎,粘结性差,微裂隙发育,垮塌严重。泥页岩层易于吸水膨胀,水化裂解为细小的块体,引起下钻遇阻、泵压升高等问题。而煤层则强度较低,裂缝较大,胶结疏松,钻进中容易垮塌。

6.2 高密度低失水泥浆的现场配制

泥浆现场配制主要在搅拌桶中进行,容积约为 0.6 m^3 。配制时先在搅拌桶中加入约 0.5 m^3 水,再将膨润土和各种处理剂按比例加入,充分搅拌 30 min 后,测定泥浆的密度。然后再加入重晶石将泥浆调到所需密度。加重晶石时应分批加入,每加

一批次充分搅拌均匀后再加入下一批次,以免一次加入过多搅拌不均匀导致结块。配制中 CMC 要提前加水浸泡,使其充分溶解后再进行配浆。

具体配比为:5% 膨润土 + 0.5% CMC + 1% SMC + 2% 磺化沥青 + 1% 低荧光特效封堵防塌降滤失剂 + 1% KHm。现场泥浆性能控制标准见表 1,但如遇特殊情况可能稍有变化。

表 1 泥浆性能控制标准

| 密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 漏斗粘度 /s | 失水量 /mL | 泥饼厚度 /mm | pH 值 |
|--|------------|------------|-------------|--------|
| 1.15 ~ 1.25 | 40 ~ 60 | < 8 | < 0.6 | 8 ~ 10 |

从现场使用的情况看,泥浆在除煤层气孔段和造浆地层外,基本达到了表 1 的控制标准。现场泥浆的监测见表 2。从表 2 可以看出,泥浆的性能还是较为稳定的。

表 2 现场应用泥浆性能

| 孔深 /m | 密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 漏斗粘度 /s | 失水量 /mL | pH 值 |
|----------|--|------------|------------|------|
| 601.23 | 1.20 | 48 | 8 | 8 |
| 625.46 | 1.23 | 66 | 8 | 8 |
| 642.32 | 1.17 | 48 | 7 | 8 |
| 660.47 | 1.21 | 62 | 5 | 8 |
| 685.81 | 1.20 | 58 | 5 | 8 |

6.3 应用效果

J203 孔在钻进至孔深 640 m 以前一直采用高粘土含量配合植物胶和 CMC 的高固相泥浆体系。泥浆粘度较高,聚合物含量较少,护壁性较差,携岩能力差,钻进较为困难。钻进中经常发生垮塌且泵压较高,钻遇煤层后尤其如此。仅在 500 多米的位置就多次垮塌,垮塌后扫孔还 2 次出现分岔孔,报废大量进尺,造成巨大浪费。

钻至孔深 640 m 时,改用高密度低失水泥浆体系,开始时钻进较为顺利,钻至孔深 670 m 后出现轻微垮塌,扫孔后继续钻进,至孔深 681 m 钻至第九号煤层后大量煤层气释放进入泥浆,引起泥浆性能发生变化(见表 3)。当时并没有引起重视,继续钻进至 687 m 后发生垮塌,强行拉起至 530 m 后扫孔至 583 m 出现分岔孔。

表 3 煤层气孔段泥浆的性能

| 孔段 /m | 密度 /($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$) | 漏斗粘度 /s | 失水量 /mL | 泥饼厚度 /mm | pH 值 |
|-----------|--|------------|------------|-------------|------|
| 681 ~ 684 | 1.22 | 74 | 8 | 0.5 | 8 |
| 684 ~ 687 | 1.26 | 80 | 7 | 0.5 | 8 |

注:泥饼表面可见到小气泡。

后接着该分岔孔继续钻进。对泥浆的性能作了

一些调整,增强了泥浆的护壁性。顺利钻进至 691 m 后遇到第九号煤层,大量的煤层气进入泥浆,同样引起泥浆性能发生了改变。当时采取了加大膨润土和磺化沥青含量的方法,并适当提高了泥浆的粘度以提高泥浆的封堵、防塌能力。由于处理及时,继续钻进顺利穿过了第九号煤层,至孔深 704 m 中间没有出现大的事故。只是在起钻后下钻至 580 多米煤层位置以及 630 多米泥页岩段受阻,轻微扫孔后即顺利下至孔底。在等待电测的几天里也没有出现问题,电测一次成功。证明了高密度低失水泥浆体系对该孔破碎、易水化膨胀地层、易垮塌地层的钻进是有效的,但钻遇煤层气时效果并不是很好,需要引起特别重视。

6.4 存在问题

虽然高密度低失水泥浆在宣威华泽 J203 孔使用起到了较好的效果,但是由于地层较为复杂,使用中还是遇到了一些问题。从 583 m 分岔孔继续钻进至 614 m 时,遇到一段长度约为 14 m 的泥页岩层后,泥浆的漏斗粘度迅速上升,一个下午即从 40 s 升至 100 s 以上。由于现场材料有限,当时采用了加水稀释的方法,但需要每天监控并随时调整。后钻至孔深 670 m 左右泥浆粘度不再增加。

此外,钻进中还发现泥浆固相含量较高,由于现场受地形限制,泥浆池离孔口较近,又没有配备除砂设备,因此,泥浆性能变化较大,应引起重视。

7 结语

高密度低失水泥浆由于含有大量的聚合物类处

理剂,失水量较低,同时又具有合适的密度,因而不但能很好地保护孔壁、抑制泥页岩的水化膨胀,同时又能较好地平衡地层压力,实现平衡钻进。实践证明,该泥浆体系在煤田小口径金刚石绳索取心钻探中具有较好的护壁效果,能成功钻进水化、破碎、易垮塌等不稳定地层,降低孔内事故的发生率。但使用中应注意固相控制,同时该泥浆体系在钻遇造浆、煤层气大量释放的地层时效果并不好,需作进一步研究。

参考文献:

- [1] 周亮. 煤系地层护壁堵漏钻井液配制技术探讨[J]. 中国煤炭地质, 2009, (9).
- [2] 中国煤田地质总局. 煤田钻探工程(第五分册)——钻井液[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1994.
- [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[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(10).
- [4] 李之军, 陈礼仪, 贾军, 等. 汶川地震断裂带科学钻探一号孔(WFSD-1)断层泥孔段泥浆体系的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(12).
- [5] 黄汉仁, 杨坤鹏, 罗平亚. 泥浆工艺原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984.
- [6] 陈立敏. 青海省江仓矿区防塌钻井液技术研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2008.
- [7] 孙丙伦, 陈师逊, 陶士先. 复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术讨论与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(5).
- [8] 王文臣. 钻井冲洗与注浆[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1996. 70.
- [9] 李云飞. 泥浆在煤系地层钻进中的运用[J]. 中国煤炭地质, 2008, 20(12).
- [10] 周金葵. 钻井液工艺技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2009. 102.

(上接第 14 页)

最终钻井轨迹平面投影图如图 2 所示。

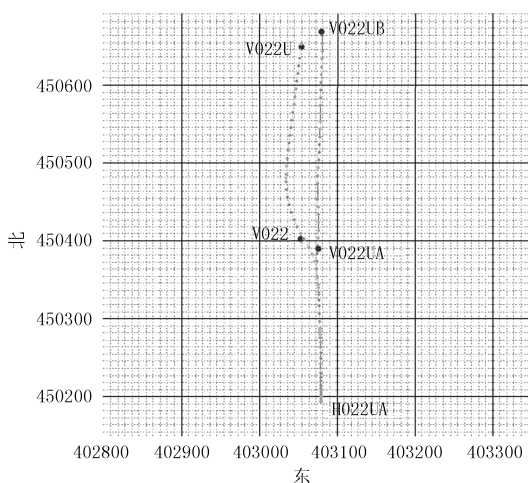


图 2 钻井轨迹平面投影图

6 结语

H022UA 井属于土耳其贝帕扎里天然碱矿三期工程的补充合同,为双通道试验井,以前从未有过类似的施工经历,完全属于“摸着石头过河”。该井从 2010 年 6 月 26 日开始一开到 2010 年 7 月 30 号连通,共耗时 34 天,在经过许多问题处理之后,该井最终达到了工程要求,并最终完井循环采卤。与此同时该井也积累了不少宝贵的经验,为今后施工类似工程提供了可以借鉴的经验。