

钻井废弃泥浆用作注浆材料的研究

陈振国^{1,2},徐 润^{1,2},高岗荣^{1,2}

(1. 煤炭科学研究总院 建井研究分院,北京 100013;2. 北京中煤矿山工程有限公司,北京 100013)

摘 要:采用 X 射线衍射仪和激光粒度仪分析朱集西煤矿矸石井钻井泥浆和注浆用黏土浆,显示钻井泥浆的膨胀性黏土矿物含量相对黏土浆高,且黏土颗粒粒径小;通过钻井泥浆对水泥水化历程影响的研究和由钻井泥浆配成的钻井液水泥浆的黏度、塑性强度等性能的研究,证明朱集西煤矿钻井废弃泥浆可代替黏土浆用作注浆材料。

关键词:钻井泥浆;注浆;黏土浆;塑性强度

中图分类号:TD265.4 **文献标志码:**A

Research on waste drilling mud being used in grouting

CHEN Zhen-guo^{1,2}, XU Run^{1,2}, GAO Gang-rong^{1,2}

(1. Mine Construction Branch, China Coal Research Institute, Beijing 100013, China; 2. Beijing China Coal Mine Engineering Corporation Limited, Beijing 100013, China)

Abstract: The drilling mud of dirt shaft and clay slurry in Zhujixi Coal Mine was studied by means of XRD and laser particle analyzer. The results show that the content of smectite is higher and the partical size is smaller in drilling mud. The research of the influence of drilling mud to the hydration process of cement and the viscosity, plastic strength of drilling mud cement grout demonstrates that waste drilling mud can be used in grouting instead of clay slurry.

Key words: drilling mud; grouting; clay slurry; plastic strength

在煤矿立井井筒的地面预注浆中,黏土水泥浆为主要的注浆材料。黏土水泥浆是由黏土、水泥、水玻璃和水组成的悬浊液^[1]。黏土是黏土水泥浆的主要成分,占浆液体积的 8.5%~22.0%^[2]。一个千米级井筒的注入量达万余立方米,需要大量黏土。黏土的采集、运输及黏土浆的制取,消耗大量财力、物力和人力。

钻井法施工过程中会产生大量的废弃泥浆。而废弃泥浆的处理方法因技术、成本等原因仍处在试验阶段;直接排放会占用土地资源且污染环境。将钻井产生的废弃泥浆代替黏土浆用于注浆,则可变废为宝,减少注浆施工中的黏土浆的制浆量,同时达到部分处理钻井废弃泥浆的目的。立井钻-注平行作业,则为钻井废弃泥浆用于注浆施工提供了有利条件。对此问题的理论分析和实验证明对工业应用具有重要意义。

1 钻井泥浆与黏土浆差异性分析

注浆施工预制黏土浆工艺是用泥浆泵将水或泥浆加压,使其在小孔径的端口喷出,以粉碎土体,细化的黏土颗粒悬浮于浆液中,再经制浆机的细磨和除砂器的除砂后流入储浆池。

钻井泥浆基本上是钻井过程中黏土地层的自然造浆。为调节其黏度、失水量等参数会根据泥浆的实际情况加入适量的添加剂。

黏土浆与钻井废弃泥浆的差别在于:钻井泥浆中加入了部分添加剂;各种黏土矿物成分含量不同;黏土粒径分布不同。

钻井泥浆和黏土浆宏观性能的对比如表 1。

由表 1 可以得出,钻井泥浆稳定性好,几乎不析水;因钻井施工中有除砂程序,钻井泥浆含砂量低;黏度明显高于黏土浆。

表 1 钻井泥浆和黏土浆性能对比

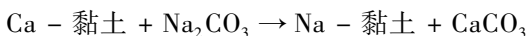
Table 1 Performance contrast between drilling mud and clay slurry

密度/ (g·cm ⁻³)	含砂量/%		24 h 析水率/%		黏度/s	
	钻井 泥浆	黏土浆	钻井 泥浆	黏土浆	钻井 泥浆	黏土浆
1.11	1.0	3	0	16	42	17
1.09	0.7	3	1	18	33	16
1.07	0.7	2	1	20	22	15

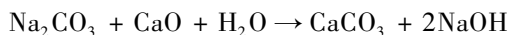
注:钻井泥浆为朱集西煤矿研石井钻井深度为 360 m 时取样;黏土浆取自朱集西煤矿地面预注浆工地。

1.1 钻井泥浆中的主要添加剂

(1) 纯碱。一般在初期加入,用作分散剂,通过离子交换和沉淀作用使钙黏土变为钠黏土来改善黏土的水化分散性能,即



碳酸钠可以和水泥中的氧化钙反应生成 CaCO₃ 沉淀,产生 NaOH,促进水泥水化^[3],即



此外,CO₃²⁻还可以和水泥水化产生的 Ca(OH)₂ 反应,生成 CaCO₃。反应使整个液相体系中 Ca²⁺ 的浓度下降,于是在硅酸三钙和硅酸二钙包覆层内外离子浓度差增大,从而加速了硅酸三钙和硅酸二钙的水化速度。

(2) 羧甲基纤维素钠。用作钻井泥浆的降滤失剂^[4];在水泥砂浆中,作为化学添加剂起增强增稠作用。在对添加了羧甲基纤维素钠的水泥石进行微观结构观察中,发现聚合物在结石体中呈薄膜状,依其黏弹性作用使无机物的刚性空间骨架得以增强,但它影响整个体系的水化反应速度,迟化水化产物的形成和发展^[5]。

(3) 三聚磷酸钠。钻井泥浆的稀释剂,在水泥砂浆中用作缓凝剂。文献[6]研究得出了三聚磷酸钠对硅酸盐水泥有缓凝作用,但基本不影响水泥最终水化。

朱集西煤矿研石井钻井泥浆中,初期加入少量碳酸钠和羧甲基纤维素钠;在钻井深度为 66.0、229.9 和 380.0 m 时,分别加入三聚磷酸钠 11 t、25 t 和 42 t。

1.2 黏土矿物成分含量和黏土粒径分布的测试

钻井泥浆和黏土浆中的主要成分都是黏土颗粒,而其矿物成分和粒径分布决定着浆液的黏度、析水率等性能。应用日本理学电机公司的 D/MAX2500 型 X 射线衍射仪,通过 X 射线衍射谱图分析,对黏土浆和钻井废弃泥浆的黏土矿物分别进行定量分析(表

2)。

表 2 黏土矿物相对含量 X-射线衍射解析数据

Table 2 The XRD analytic data of relative content of clay minerals

浆液	黏土矿物相对含量/%					混层比/%	
	S	I/S	I	K	C	I/S	C/S
钻井泥浆	87	5	8			80	
黏土浆	75	12	2	11		45	

注:黏土分析执行标准:SY/T 5163-1995;S—蒙皂石类,如蒙脱石、贝得石、皂石等;I/S—伊利石蒙脱石混层,简称:伊/蒙混层;I—伊利石;K—高岭石;C—绿泥石;C/S—绿泥石蒙脱石混层,简称绿/蒙混层;混层比一般指在混层矿物中膨胀层所占的比例。

从黏土矿物 X-射线衍射分析报告中可以得出,钻井泥浆和黏土浆中的主要的黏土矿物都为伊/蒙混层,而钻井泥浆伊/蒙混层矿物中膨胀层所占比例明显高于黏土浆的。这可解释钻井泥浆低密度、低析水率、高黏度的特性。

制备密度均为 1.07 g/cm³ 的黏土浆和钻井泥浆的样品,应用 Malvern 的激光粒度仪对钻井泥浆和黏土浆中黏土颗粒的粒度分布进行测试,测试结果如图 1、表 3 所示。

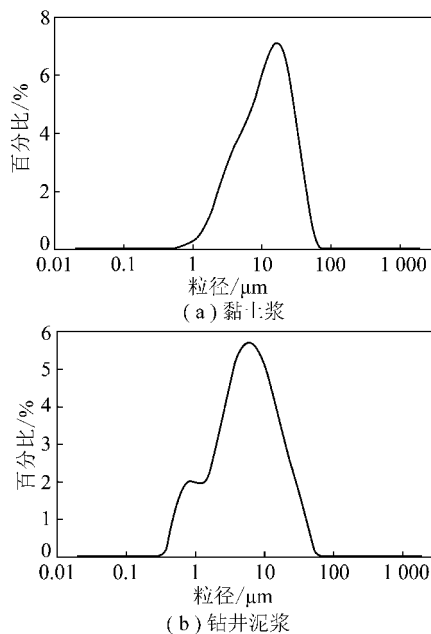


图 1 黏土颗粒的粒度分布

Fig. 1 Particle size distribution of clay particle

表 3 粒度分析数据

Table 3 Partical size analysis data

浆液	表面积平均粒径/μm	体积平均粒径/μm
黏土浆	7.190	14.955
钻井泥浆	2.851	8.513

钻井泥浆的平均粒径明显小于黏土浆。原因在于钻井泥浆中膨胀性黏土比例大,且钠盐的加入使得颗粒更加分散;钻井泥浆经过钻头的反复研磨和钻井过程中不断循环,分散颗粒。钻井泥浆粒径小,也是其密度低、黏度大的原因之一。

2 钻井液水泥浆的配比和性能

参考黏土水泥浆体系,用钻井泥浆替代黏土浆制成注浆浆液。从强度、成本等因素考虑,同样采用水泥为主要固化剂,水玻璃为速凝剂,则研究的关键问题是分析钻井泥浆对水泥水化的影响。

2.1 钻井泥浆对水泥水化历程的影响

2.1.1 实验方法

利用测量水泥水化热的装置,检测相同配比的黏

土水泥浆和钻井液水泥浆的温度变化。试验方法参照 GB/T12959-2008 进行。每种浆液配成后,用天平称取 3 份质量为 (400 ± 1) g 的浆液,分别装入已准备好的 3 个截锥形圆筒内,移入到对应保温瓶中,置好温度传感器后,用熔胶密封。从密封时刻算起,设置测温软件每隔 5 min 记录 1 次温度,共记录 72 h。

2.1.2 实验结果与讨论

根据记录时间和浆液的对应温度,以时间为横坐标,温度为纵坐标作图,对比相同配比的黏土水泥浆和钻井液水泥浆的温升曲线(图 2)。因为外部环境恒定温度 $T=20\text{ }^\circ\text{C}$,所以温度曲线和恒温线 $T=20\text{ }^\circ\text{C}$ 之间区域的积分面积的大小(表 4)可以用来衡量一定时间内的放热量的多少,利用 Origin 软件,计算各区域面积和温度曲线峰值出现的时刻。

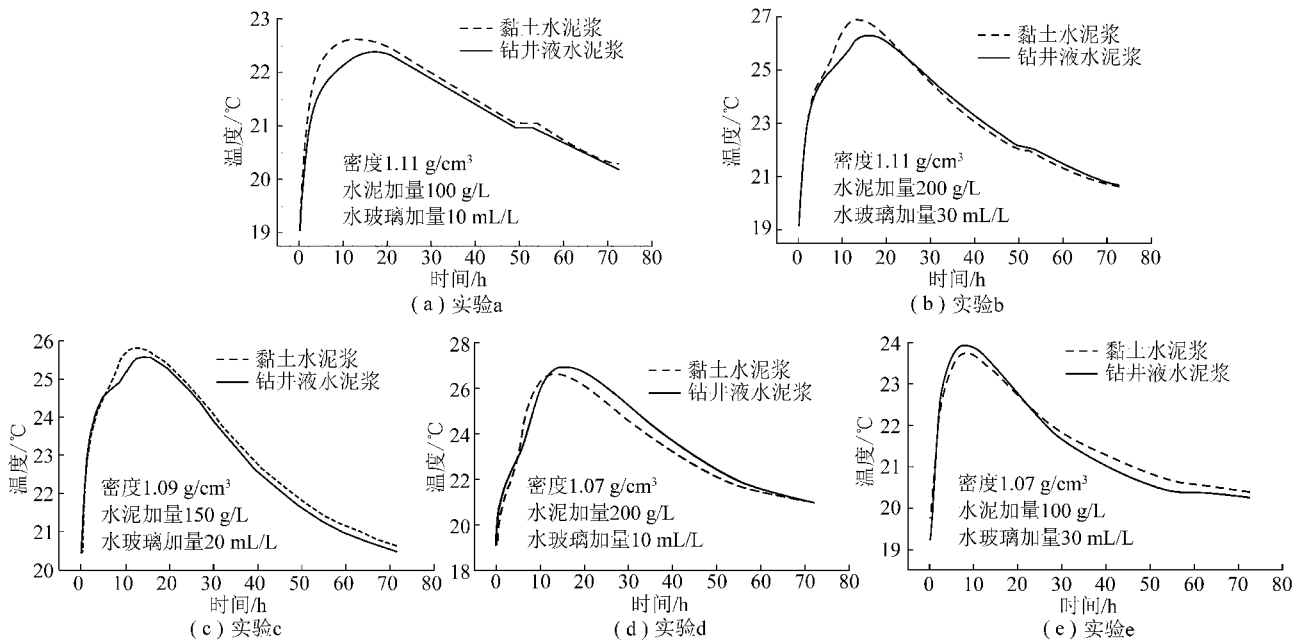


图 2 相同配比的黏土水泥浆和钻井液水泥浆的温升曲线

Fig. 2 Temperature rise curves of clay-cement grout and drilling mud cement grout with the same material ratio

表 4 各曲线和直线 $T=20\text{ }^\circ\text{C}$ 之间区域的积分面积(时间 $t=0\sim 72\text{ h}$)及温峰时刻

Table 4 The integrated area between curves and line $T=20\text{ }^\circ\text{C}$ ($t=0\sim 72\text{ h}$) and the time of temperature peak

浆液	实验 a		实验 b		实验 c		实验 d		实验 e	
	S_a	t_a	S_b	t_b	S_c	t_c	S_d	t_d	S_e	t_e
钻井液水泥浆	99.2	14.2	248.0	14.5	215.4	12.7	267.1	15.7	114.2	7.2
黏土水泥浆	110.4	10.4	250.1	12.0	227.1	11.6	246.1	12.5	119.6	7.2

注: S 为温度曲线和直线 $T=20\text{ }^\circ\text{C}$ 之间区域的积分面积; t 为温峰出现的时刻, h。

从表 4 可以看出, 实验 a、b、c 中, 在钻井泥浆密度为 1.11 g/cm^3 和 1.09 g/cm^3 时, 钻井液水泥浆的放热量略小, 但数值相差不大, 对浆液的正常固结没有影响; 在密度为 1.07 g/cm^3 时, 实验 d 中钻井液水泥

浆的 3 d 放热量大于黏土水泥浆, 虽然实验 e 中钻井液水泥浆的略小, 但由图 2(e) 可以得出钻井液水泥浆 1 d 的放热量也略大于黏土水泥浆。

钻井泥浆添加剂中, 既有水泥速凝剂, 又有水泥

缓凝剂。其中缓凝剂三聚磷酸钠的加量相对较大。三聚磷酸钠用做钻井泥浆稀释剂,加入后使浆液的密度和黏度大幅下降,同时在循环沉淀池中产生大量沉淀,固相物质的分离也降低了浆液中三聚磷酸钠的含量;钻井泥浆在稀释外排过程中也排出大量三聚磷酸钠和其他化学添加剂,所以钻井泥浆添加剂对水泥水化影响甚微。而钻井泥浆,因伊/蒙混层矿物中膨胀层所占比例明显高于黏土浆,浆液黏度大,一定程度上影响水泥水化过程中离子的迁移速度,而使得图2(a)、(b)、(c)中钻井液水泥浆的温峰稍低。图2(d)、(e)中,钻井泥浆密度低,黏度小,而使得水泥水化不再受黏度影响。

从表4可以看出,相同配比的钻井液水泥浆和黏土水泥浆的温峰出现时刻基本相同,曲线趋势基本一致,放热量的数值相差不大,所以钻井泥浆基本不影响水泥水化程度,对水化速度的影响很小,影响因素主要是浆液的黏度。

2.2 钻井液水泥浆的性能

朱集西钻井泥浆密度偏低,黏度偏大,配成的钻井液水泥浆稳定性很好,几乎不析水,但配成的钻井液水泥浆黏度大,见表5。

表5 钻井液水泥浆黏度

Table 5 The viscosity of drilling mud cement grout

配制 1 L		黏度/s		
水泥/g	水玻璃/mL	密度 1.07	密度 1.09	密度 1.11
100	0	23	43	50 s 后滴流
	10	29	69	-
	20	122	160 s 后滴流	-
	30	180 s 后滴流	78 s 后滴流	-
150	0	25	46	20 s 后滴流
	10	31	58	-
	20	71	153 s 后滴流	-
	30	149 s 后滴流	76 s 后滴流	-
200	0	23	76	-
	10	29	144 s 后滴流	-
	20	89	-	-
	30	48 s 后滴流	-	-

注:钻井泥浆密度单位为 g/cm^3 ;黏度测试采用泥浆黏度计,单位为 s ; n 秒后滴流,指因浆液黏度大,经 n 秒后呈滴流状态。

塑性强度是衡量黏土水泥浆的重要指标,它表示浆液抗剪切性能的力学指标。采用测锥式塑性强度测定仪测量浆液塑性强度。

从图3中可以看出,钻井液水泥浆的塑性强度增长速率大于黏土水泥浆。因为钻井液水泥浆的黏度比相同配比的黏土水泥浆的黏度大,浆液中自由水的含量少,而两种浆液中水泥水化速率基本相同,所以

钻井液水泥浆先失去流动性,进入塑性状态,进而使其塑性强度快速增长;且因钻井泥浆中黏土颗粒细小,分散均匀,浆液固化过程中,伴随着水泥水化对水分的吸收,形成的孔隙较小,而使得结实体的塑性强度大。从图3、4中各浆液塑性强度的增长过程可以看出,低密度的钻井泥浆也可代替黏土浆用于注浆材料。

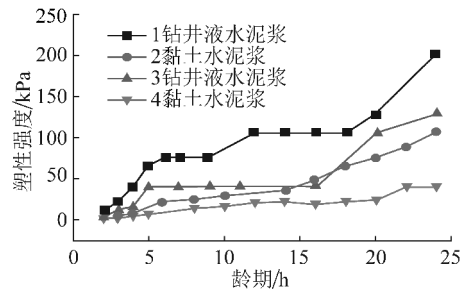


图3 相同配比的黏土水泥浆和钻井液水泥浆的塑性强度增长曲线

Fig. 3 The plastic strength growth curves of clay-cement grout and drilling mud cement grout with the same material ratio

钻井泥浆和黏土浆密度都为 $1.11 \text{ g}/\text{cm}^3$, 1、2 中的水泥加量为 $150 \text{ g}/\text{L}$, 水玻璃加量 $30 \text{ mL}/\text{L}$; 3、4 中的水泥加量为 $200 \text{ g}/\text{L}$, 水玻璃加量 $20 \text{ mL}/\text{L}$

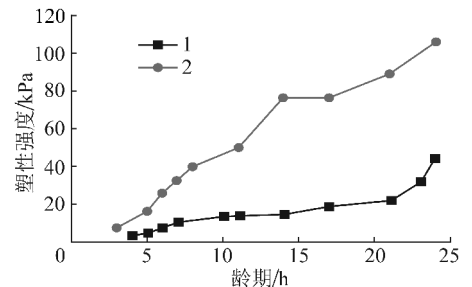


图4 低密度的钻井液水泥浆的塑性强度增长曲线

Fig. 4 The plastic strength growth curves of low density drilling mud cement grout

密度 $1.07 \text{ g}/\text{cm}^3$ 钻井泥浆, 水泥加量 $200 \text{ g}/\text{L}$, 1 号水玻璃加量 $20 \text{ mL}/\text{L}$, 2 号水玻璃加量 $30 \text{ mL}/\text{L}$

因钻井废弃泥浆密度低,而导致制得的钻井液水泥浆的密度低,从图5中可以看出,以水泥加量为 $100 \text{ g}/\text{L}$ 配成浆液的 24 h 塑性强度偏低,所以钻井液水泥浆的配比中,水泥最低加量以 $150 \text{ g}/\text{L}$ 为优。

3 工程实例

钻井泥浆用于注浆材料首次在淮北矿业集团袁店二矿的主井井筒地面预注浆工程进行工业性试验,应用注浆段长度 210.5 m , 注入量达 $7\,606 \text{ m}^3$ 。井筒注浆段剩余涌水量小于 $4 \text{ m}^3/\text{h}$, 达到了注浆堵水的目的。

皖北煤电集团朱集西煤矿风井井筒地面预注浆

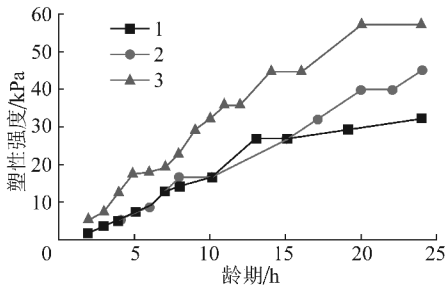


图5 低水泥加量的钻井液水泥浆的塑性强度增长曲线

Fig. 5 The plastic strength growth curves of drilling mud cement grout with low dosage of cement

1,2,3 分别为密度 1.07、1.09、1.11 g/cm³ 的
钻井泥浆,水泥加量 100 g/L,水玻璃加量 30 mL/L

工程中也使用了钻井泥浆,应用注浆段长度223.2 m,注入量为9 334 m³,形成了良好的隔水帷幕,使得风井井筒凿井工程于2010年快速安全的通过了注浆段。

4 结 论

(1) 朱集西煤矿矸石井钻井泥浆和注浆用黏土浆中的主要的黏土矿物都为伊/蒙混层,而钻井泥浆伊/蒙混层矿物中膨胀层所占比例明显高于黏土浆的,而使得钻井泥浆黏度偏高。

(2) 钻井泥浆黏土的平均粒径小于注浆用黏土浆的。

(3) 钻井泥浆基本不影响水泥水化程度,对水化速度的影响很小,影响因素主要是浆液的黏度。

(4) 朱集西煤矿钻井泥浆配成浆液密度低,但塑

性强度增长速率快,可用于注浆工程。

参考文献:

- [1] 徐润,左永江. 黏土水泥浆性能及其堵水机理的研究[J]. 煤炭学报,1996,21(6):613-617.
Xu Run,Zuo Yongjiang. Properties of clay-cement grout and mechanism of water control[J]. Journal of China Coal Society, 1996, 21(6):613-617.
- [2] 周兴旺. CL-C型黏土水泥浆及其注浆工艺[J]. 中国煤炭,1995(7):32-35.
Zhou Xingwang. Clay-cement grout and the technology[J]. China Coal, 1995(7):32-35.
- [3] 刘其城,徐协文,陈曙光. 混凝土外加剂[M]. 北京:化学工业出版社,2009.
Liu Qicheng,Xu Xiewen,Chen Shuguang. Concrete admixture[M]. Beijing:Chemical Industry Press,2009.
- [4] 孙建荣. 钻井液凿井泥浆再生调制与废弃处理[J]. 煤炭科学技术,2008,36(1):25-27.
Sun Jianrong. Regeneration preparation and dumping treatment of drilling mud for mine shaft drilling[J]. Coal Science and Technology, 2008, 36(1):25-27.
- [5] 吕子义,周锡蕙. SCMC在硬化水泥石中的形貌特征[J]. 上海交通大学学报,1997,31(9):152-156.
Lü Ziyi,Zhou Xihui. Morphological study of SCMC in hardened cement pastes[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 1997, 31(9):152-156.
- [6] 马保国,许永和,董荣珍,等. 三聚磷酸钠对硅酸盐水泥初始水化历程的影响[J]. 混凝土,2004(11):20-24.
Ma Baoguo,Xu Yonghe,Dong Rongzhen, et al. Influence of sodium tripolyphosphate to the hydration of Portland cement[J]. Concrete, 2004(11):20-24.