

无固相聚合物钻井液在香格里拉普朗铜矿区 复杂地层钻进中的试验与应用

吴昊¹, 郝志斌^{2,3}, 张绍和^{2,3}, 孙平贺^{2,3}, 赵冲全⁴, 杨昌杰⁴

(1. 云南迪庆有色金属有限责任公司, 云南 迪庆 674400; 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; 3. 中南大学地球科学与信息物理学院, 湖南长沙 410083; 4. 中国有色金属工业昆明勘察设计研究院, 云南昆明 650051)

摘要:针对香格里拉普朗铜矿区所遇到的复杂地层,通过室内试验研究,确定采用植物胶作为主剂、聚丙烯酰胺和 LP 作为辅剂得到无固相聚合物钻井液,在钻探矿区 ZK0409 钻孔中的绳索取心钻进中使用,成功解决了该矿区复杂地层的钻进问题。探讨了无固相聚合物钻井液的最佳配方,并分析了其在复杂地层钻进中的作用机理。

关键词:植物胶;聚丙烯酰胺;钻井液;复杂地层;作用机理;普朗铜矿

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)03-0010-04

Application of the Solid-Free Polymer Drilling Fluid in Drilling of the Complex Strata in Pulang Copper Mining Area of Shangri-La/WU Hao¹, HAO Zhi-bin^{2,3}, ZHANG Shao-he^{2,3}, SUN Ping-he^{2,3}, ZHAO Chong-quan⁴, YANG Chang-jie⁴ (1. Yunnan Diqing Nonferrous Metals Limited Liability Company, Diqing Yunnan 674400, China; 2. The Ministry of Education Key Laboratory of Non-ferrous Metal ore Forecast, Changsha Hunan 410083, China; 3. School of Geosciences and Info-Physics, Central South University, Changsha Hunan 410083, China; 4. Kunming Prospecting Design Institute of China Nonferrous Metals Industry, Kunming Yunnan 674400, China)

Abstract: Aimed to the complex strata of Pulang copper mining area of Shangri-La, and by the experimental date and theoretical analysis, the solid-free polymer drilling fluid consisting of host agent (vegetable-gum) and assistant agents(PAM & LP) was fixed, which was applied in the wire-line drilling construction for ZK0409, the drilling difficulties in complex strata of Pulang copper mining area of Shangri-La were vercome. The paper discussed the optimum formula of the solid-free polymer drilling fluid and analyzed its action mechanism in complex strata.

Key words: vegetable-gum; PAM; drilling fluid; complex strata; action mechanism; Pulang copper mining

1 工程概况

1.1 工程地质情况

普朗铜矿区位于滇西北迪庆藏族自治州东部,地处香格里拉县格咱乡境内,东、南与洛吉乡接壤。矿区紧邻滇、川交接部位,地处高原雪域,夏季多雨潮湿,冬季干旱寒冷,位置偏僻,交通不便,无永久性驻点,施工条件恶劣,加之严重的高原气候,各施工机械的使用效率远低于额定效率。

矿区内出露地层主要为三叠系,局部出露第四系。主要地层基岩为:闪长玢岩、石英闪长玢岩、石英二长斑岩组成的复式岩体;覆盖层为冰碛(坡积)物,部分地区较厚。基岩岩石硬度为硬~中硬,可钻性 7~10 级。局部出现松散破碎地层、弱胶结地层、致密“打滑”的石英地层(见图 1),钻进困难。覆盖

层地层结构松散,富含砂卵石,胶结差,成孔困难,极易垮塌。这样的地层特点,反映在钻孔施工中,常表现为孔壁垮塌、卡钻、埋钻、缩径、超径、不进尺,甚至发生钻孔报废的严重事故。

1.2 试验孔钻探设备及参数

钻探用设备、仪表及工具直接影响钻探效率及对特殊情况的处理,是钻探过程中最关键的环节。根据现场实际情况和钻进技术参数结合矿区以往钻探经验,试验钻孔 ZK0409 的主要设备见表 1。

HXY-5A 型钻机是一种功能齐全、性能稳定的深孔岩心钻机,结构紧凑、合理、运转平稳、噪声小,传动效率高,装拆方便,适用于以硬质合金、金刚石为主进行大、小口径的岩心钻探。BW-250 型泥浆泵为卧式三缸往复单作用活塞泵,该泵具有 2 种缸

收稿日期:2012-10-30; 修回日期:2013-01-23

基金项目:湖南省自然科学基金资助(07JJ6089);中国博士后科学基金资助(2012M521560)

作者简介:吴昊(1967-),男(汉族),贵州人,云南迪庆有色金属有限责任公司工程师,探矿工程专业,主要从事钻探工程、岩土工程方面的管理和施工工作,云南省迪庆藏族自治州池慈卡街 21 号,wh010203@163.com;郝志斌(1989-),男(汉族),山西人,中南大学地球科学与信息物理学院在读硕士研究生,地质工程专业,湖南省长沙市中南大学校本部地学楼,csudzhzb@126.com。



(a) 松散破碎地层岩心



(b) 弱胶结地层岩心

图 1 松散破碎地层、弱胶结地层岩心情况

表 1 主要施工设备

设备名称	规格型号	数量	备注
钻机	HXY-5A	1	储备部分易损配件
泥浆泵	BW-250	1	储备部分易损配件
电动机	Y250-4	1	储备部分易损配件
钻塔	SG-18	1	
电焊机		1	用于现场维修等
电潜泵		2	用于水源供水

径和 4 挡变速,可满足不同口径、不同孔深、不同地质岩心钻探的需要。

1.3 试验孔地质情况

此次研究主要针对 ZK0409 钻孔所处地层情况进行。ZK0409 钻孔设计孔深 1100 m,孔位处于断裂带,覆盖层厚 70 m,从 100 m 开始,破碎带出现频繁,间隔 3~8 m 基本就有 1~2 m 的破碎层,钻进困难,漏失、掉块严重,取心率较低,钻进到 870 m 出现 2~4 m 的弱胶结膨化地层,岩心膨胀松散,取心率下降。

出现上述钻探问题,除了该钻孔处于断层位置,破碎带集中,地质条件复杂外,关键是所采取的钻井液性能与该地层不相适应。经过初步测试,钻井液原浆和返浆的失水量基本在 34、46 mL/min, pH 值接近中性,不利于钻井液性能的稳定,且漏斗粘度接近清水,基本起不到胶结护壁、携粉、防漏、防塌的功用,钻井液原浆及返浆性能测验见表 2。

表 2 钻井液原浆及返浆性能测验表

配方	密度 /(g·cm ⁻³)	漏斗粘度 /s	滤失量 /mL	pH 值	Φ600	Φ300
原浆	1.000	22.72	34.0	7	3	2.5
返浆	1.010	15.84	46.0	8	3	2

根据地层情况及深孔钻探需要,分析表 2 数据,作用于该孔段的钻井液应具有低密度、低失水量,具有胶结性防塌和抑制性泥浆护壁的功用,并保证一定的泥浆润滑性能,在预防孔内事故的前提下保证较高的钻进效率^[1-3]。根据在复杂地层中采取金刚石绳索取心钻进工艺对钻井液性能的要求及经验^[4],特别是在深孔钻进中钻杆接头数增多,接口密封存在漏洞,极易导致在钻杆回转过程中离心力的作用下固相颗粒向钻杆接口处聚集,达到一定程度就会形成固相沉积圈,导致绳索取心钻具内管起拔困难,甚至由于强抽吸作用而造成孔壁坍塌等事故^[5,6]。所以采用无固相聚合物钻井液作为该孔钻井液进行钻进。

2 钻井液的研制及作用原理

2.1 钻井液作用原理

通过对诸多钻井液材料的选择,经过多次配方比对,最终确定采用主剂植物胶、辅剂聚丙烯酰胺和辅剂 LP 组成无固相聚合物钻井液。主剂植物胶为解决破碎等复杂地层护孔难题有很好的作用^[7-9],辅剂 LP 在防止孔壁坍塌降低钻井液失水量方面有良好功效。

主剂植物胶为无毒无味淡黄色粉末,辅剂聚丙烯酰胺为无色中性颗粒,主要起交联提粘功用,辅剂 LP 为暗黑色颗粒,碱性,主要起分散稳定功用。

主剂植物胶是一种非离子型高分子聚合物,高分子链上还有诸多吸附基,容易吸附在固体表面和井壁岩石表面形成一层高分子膜,同时由于自身有一定的粘度及空间体型结构,使吸附在孔壁岩石表面的高分子膜有一定的强度,在一定程度上可以保证孔壁及岩样在允许外力作用下保证一定的完整度;辅剂聚丙烯酰胺为线性高分子聚合物,仅有吸附基,强化主剂植物胶的交联絮凝作用,达到增粘的作用,而且由于线性分子阻力小,同时也起到了润滑作用;辅剂 LP 提供的碱性条件使一定比例的主剂植物胶由中性处理剂转化为水化能力更强的阴离子型处理剂,分子链得到进一步舒展,增大了支链间的接触和吸附,增强分散稳定性,同时辅剂 LP 具有一定的吸附基和诸多水化能力极强的亲水基团 -COO⁻Na⁺、-ONa⁺,强化了主剂颗粒的分散性、均匀性,从而降低失水量。

从以上分析中可以看出,主剂植物胶、辅剂聚丙烯酰胺、辅剂 LP 在钻井液的性能调节上并不是一致的,确定各试剂的合适比例对高效发挥钻井液的

性能至关重要。

2.2 配方设计及实验

通过实验①、②与③的结果(见表3)对比可以看出,辅剂聚丙烯酰胺的单独加入,除了增加粘度以外,并没有对失水量有实质性的帮助,反而加大了失水量。这是由于辅剂聚丙烯酰胺独有吸附基,在富含主剂植物胶的溶液中,辅剂聚丙烯酰胺通过其支链吸附主剂颗粒,并蜷曲絮凝成团,这样反而打乱了主剂植物胶形成的自稳体系,从图2可明显地看出加入辅剂聚丙烯酰胺后溶液的变化,絮凝效果明显。

表3 各实验配方性能参数

序号	配方			主要性能参数					
	主剂植物胶/%	辅剂PAM/%	辅剂LP/%	漏斗粘度/s	滤失量/(mL·(30 min) ⁻¹)	pH值	Ø600	Ø300	
①	2	0.30	0	182	全失水	9	55	28	
②	1	0.30	0	158	全失水	9	43	23	
③	1	0	0	24.39	44	8	7	4	
④	1	0	1	27.31	17	10	8	5	
⑤	1	0.05	1	34.69	22	10	14	8	
⑥	1	0.05	0.5	34.83	23	10	12	7	
⑦	0.5	0	0	22.49	26	8	4	3	
⑧	0.5	0.05	0.5	35.05	10	10	9	5	
⑨	0.5	0.05	0.2	34.20	13	10	9	6	
⑩	0.5	0.025	0	29.07	27	8	6	4	

通过实验③与④的结果对比可以看出,辅剂LP的单独加入,漏斗粘度在允许波动范围内,明显降低了失水量,并且pH值有所提高。说明辅剂LP一方面的碱性条件促进主剂植物胶分散,一方面自身的吸附基及强吸水基的作用下,加强了主剂植物胶自身体型结构的交联扩展,形成空间网络,阻碍水分子



图2 主剂植物胶加辅剂聚丙烯酰胺前后对比滤饼图

通过,并小范围增加了粘度。

钻井液性能的好坏并不能单纯的从漏斗粘度及失水量方面考虑,钻井液的触变性和剪切稀释性能同样在很大程度上影响钻进、取心效率。通过上述分析,在主剂植物胶中单独加某一种辅剂,只能满足单一的指标,寻找主剂、辅剂之间的合适比例才是配比的关键。

实验⑤和⑥的结果对比,实验⑥和⑧的结果对比,实验⑦和⑩的结果对比可以确定钻井液各成分的大致区间。

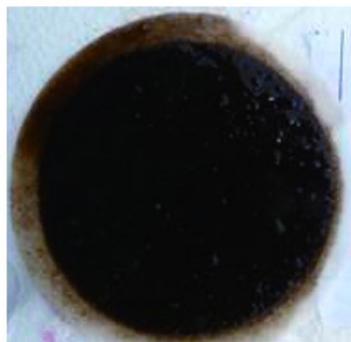
选取配方⑥、配方⑧、配方⑨进行流变性分析,进一步确定局部最佳实验配比(参见表4和图3)。

表4 实验优选配方流变性参数及分析

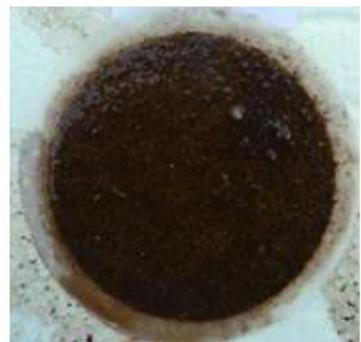
配方	流变性分析							
	表观粘度		塑性粘度	动切力	动塑比	K		
	Φ600	Φ300	/(mPa·s)	/(mPa·s)	/Pa	/(Pa·s)	n	/(Pa·s ⁿ)
⑥	10	7	5.00	3.00	2.04	0.68	0.51	0.14
⑧	9	5	4.50	4.00	0.51	0.13	0.85	0.01
⑨	9	6	4.50	3.00	1.53	0.51	0.58	0.08



(a) 配方⑥



(b) 配方⑧



(c) 配方⑨

图3 实验优选配方滤饼

对于无固相钻井液而言,表观粘度主要是由钻井液体系结构内的内摩擦作用和主辅剂高分子间交联所形成的空间网架结构所引起的,尤其在低剪切速率的情况下这种结构表现的更加明显。所以表观黏度的数值大小直接反映着钻井液空间网架结构

型对钻井液性能的影响程度,直观的表现就是排砂和携岩屑的效果。

同样,无固相钻井液的流体形式属于假塑性流体,流性指数 n 表示假塑性流体在一定剪切速率范围内所表现出的非牛顿性的程度和剪切稀释性的强

弱^[2]。 n 值越小,曲线的曲率越大,流体的非牛顿性越强,剪切稀释性也越强,同样动塑比也说明了剪切稀释能力的强弱,需要注意的是, n 值并非越小越好,推荐范围为0.4~0.7,且 n 值越接近0.5,有助于钻井液在环行空间产生较好的流核,形成平板层流,保证了钻井液能有效地携带岩屑和保持井眼清洁; K 值与钻井液的粘度、切力有关,其值越大,粘度越高,可有效包裹岩心,提高岩心采取率及取心质量。

通过对流变参数的具体分析及滤饼的柔韧度,结合钻探现场的适用性及经济性,优化推荐配方为配方⑨,配方⑥在条件允许的情况下同样推荐使用。

3 现场应用

ZK0409孔采用实验配方前,孔段位于896 m破碎层时测的钻井液上返量为20 L/min,采用实验配方后,在循环完成后进行测量,孔段位于908 m破碎层时钻井液上返量为29 L/min,钻井液上返性能稳定,通过地表循环系统基本可完成钻井液净化,全孔未发生大面积钻井液流失或失效,钻井液消耗显著降低。除了严重破碎带进行过灌浆处理外,无固相聚合物钻井液对其他孔内条件可基本应对。

ZK0409孔在采用实验配方循环稳定后,通过取心情况来看,遇到弱胶结膨化地层时所取的岩心膨化率明显降低,未出现岩心呈砂砾分散状的情况,现场取弱胶结膨化地层岩样置于实验配方钻井液中浸泡48 h不散,现场取心率满足设计要求。

4 结论及建议

无固相聚合物钻井液在应对垮塌、掉块、漏失、缩径等松散破碎地层和弱胶结膨化地层方面取得了

良好的效果。主剂植物胶与辅剂聚丙烯酰胺、辅剂LP的综合作用下,交联形成具有空间网状结构的钻井液体系,在孔壁形成致密的有一定韧度的薄膜,部分钻井液进入孔壁裂隙,以其空间网状结构和粘弹性,利用其胶结性、润滑性、强阻水性的性能,有效地防止了孔壁坍塌、水化膨胀及钻井液漏失等问题,保证了钻进过程安全顺利的进行,提高了钻探效率,降低了钻探成本。

为了充分发挥无固相聚合物钻井液的功用,高分子添加剂在配合前应进行等比例预溶解,保证高分子添加剂在水溶液中充分的分散性,保证钻井液配合时各添加剂有良好的接触反应条件。同时,泥浆池要配备强力搅拌装置,打散由于高分子链、网造成对其他添加剂的包裹,保证钻井液各组分的均匀混合,最大限度地发挥钻井液的各项性能。

参考文献:

- [1] 王平全,周世良. 钻井液处理剂及其作用原理[M]. 北京:石油工业出版社,2003.
- [2] 李世忠. 钻探工艺学(钻孔冲洗与护壁堵漏)[M]. 北京:地质出版社,1989.
- [3] 胡郁乐,张绍和. 钻探事故预防与处理知识问答[M]. 湖南:中南大学出版社,2010.
- [4] 李振学,张社明. PAA无固相冲洗液的研究与应用[J]. 黄金地质,2003,9(2).
- [5] 王从新,徐宝东,赵一军. 无固相冲洗液在复杂地层钻进中的应用[J]. 黄金地质,2003,9(3).
- [6] 王政敏. PAA高分子聚合物冲洗液在复杂地层钻探中的应用[J]. 地质与勘探,2001,37(4).
- [7] 邢运涛,巫相辉,胡春跃,等. SK-KP冲洗液在河北承德超深孔中的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5).
- [8] 牛文琳,陈礼仪. 植物胶无粘土冲洗液的流变性研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2006,33(1).
- [9] 占样烈,徐力生,李月良,等. 植物胶冲洗液特殊功能及其作用机理的分析与探讨[J]. 勘察科学技术,2009,(2).

勘探技术研究所荣获国家发明专利一项

本刊讯 中国地质科学院勘探技术研究研究的"地下热能源钻井连通井开采方法"日前荣获国家知识产权局授予的国家发明专利,专利号ZL 200910148389.3。该发明提供一种地下热能源钻井连通井开采方法,钻井至少一口常规直井作为目标井到达规定的井深,井下技术套管固井;再在相距一定距离处钻另一口定向水平对接井,定向水平对接井依次包括竖直段、造斜段和水平段,所述水平段与各个目标井底部对接连通,或所述水平段到达目标井井底目标区时采用压裂技术与各个目标井底部对接连通。目标井底采用钻头扩孔或井底爆破进行井底扩腔,优选目标井径大于200 mm。

该发明涉及地下热能源开采开发领域,利用地下热岩热

交换就可对注水进行加温,目的在于克服现有技术的不足之处,提供一种直接通过钻井方法,使两(或多)孔(井)组连通,向一井(或多井)注水,经过钻井通道,常温水在地下通过与地下热资源进行热交换,另一井(或多井)就可产出高温热水,具有不受地形地貌及岩层有无裂隙的优点,适用于有无热水型或地压型的地热田,特别适用于干热地热源的开发利用,可用于城市、农村冬季地热取暖、工厂减排节能、地热发电、地热开采,节约用煤,大大地减少环境污染,有利于环保型能源的开发利用。

(郑庆辉 供稿)