

境外某钾镁盐矿钻井液试验与实践

张成亚,夏柏如

(中国地质大学(北京),北京 100083)

摘要:介绍了境外某钾镁盐矿地层岩性及其特殊性,通过 20 余组钻井液现场配方试验和使用,分析了不同钻井液对不同含盐地层的溶蚀原因,经配方改进和优化,总结出了石盐层、钾石盐层、光卤石层等可溶性岩盐地层的钻井液适宜性配方,保证了该矿区含盐地层钻探护孔和取心质量,提出了钻井液改进方向。

关键词:钾镁盐矿;钻井液;钻井;取心

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)12-0016-03

Test of Drilling Fluid in a K-Mg Salt Deposit and the Practice/ZHANG Cheng-ya, XIA Bo-ru (China University of Geoscience, Beijing 100083, China)

Abstract: The paper introduced the strata lithology and particularity of a K-Mg salt deposit. According to the results for more than 20 experiments and applications, dissolution causes of different drilling fluids in different saline strata were analyzed. With improvement and optimization, the suitable formulas for drilling fluid were summarized for halite layer, sylvine layer, carnallite layer and some other dissolubility halite strata.

Key words: K-Mg salt deposit; drilling fluid; well drilling; coring

钾盐是我国境内的紧缺资源,每年进口量约 300~400 万 t,约占国内消耗量的 80%。为了寻求境外资源的保证,经国家计委批准,云南省计委立项,由云南地矿勘查总公司(集团)承担了境外某钾镁盐矿的详细勘查任务。要求控制首采储量 1 亿 t,工业储量 2 亿 t,远景储量 100~300 亿 t。

钻井液技术是盐矿层钻探成败的关键技术,氯化钾、氯化钠钻探护孔在国内也有不少成功的先例,但光卤石(钾镁盐矿)钻探护孔尚无经验可循。承揽勘查任务后,公司工程技术人员对钾镁盐矿钻井液作了室内、现场等系列研究试验与实践,为钻探不同地层确定了较为合理的钻井液配方,保证了项目的实施。本文对该项目钻井液技术作简要介绍。

1 地层简述

矿区地层按时代从新到老简述如下。

(1)第四系、上第三系地层(Q—N₂)。岩性为冲积和残坡积物,由粉砂、卵、砾石和粘土组成,松散状,砾石直径 1~5 cm。该层位为孔隙含水层,地表水丰富,富水性中等,单位涌水量 0.06~1.26 L/(s·m)。岩石可钻性三~四级,层厚 10~75 m。

(2)白垩系西桑奔组地层(K₂cb)。由棕红色钙质泥岩、紫红色粉砂岩等组成,裂隙发育,被石盐、石

膏和光卤石等物质充填,该层位富水性弱,为弱含水层。泥岩属水敏性层,其岩石可钻性约四级,层厚 10~170 m,最厚可达 300 m。

(3)塔贡组地层(K₂tn)。上段(K₂tn³)为紫红色泥岩,夹薄层透镜状、脉状石盐岩和硬石膏;中段(K₂tn²)为紫红色、砖红色泥岩,裂隙中有石盐和光卤石脉,顶部的石盐岩夹钾镁盐透镜体;下段(K₂tn¹)上部为钾镁盐层(以光卤石为主,含钾石盐、水氯镁石、溢晶石层及薄层石膏),下部为灰白色的石盐岩夹白色硬石膏。塔贡组总厚度大于 700 m。

2 矿层物质组分

根据项目地质勘查设计中提供的以往资料显示,该钾镁盐矿区矿石类型分为 6 大类:光卤石类、钾石盐类、石盐岩类、石膏岩类、水氯镁石岩类等,成钾矿物主要为光卤石(KCl·MgCl₂·6H₂O)、钾石盐(KCl),其钻进特点是水敏性极强。

3 钻探冲洗液试验与实践

3.1 钻孔结构

矿区首批钻孔设计 7 孔,钻探工作量 3100 m,孔深 300~700 m,钻孔结构根据矿区地层情况和勘查设计要求确定,典型钻孔结构如下:(1)第三系、

收稿日期:2007-03-18

作者简介:张成亚(1963-),男(汉族),云南建水人,中国地质大学(北京)在读博士,云南省地质工程勘察总公司总工程师,探矿工程专业,从事钻井工程、地质矿产勘查等技术管理工作,云南省昆明市东风路东凤巷 87 号,Leapg888@vip.sina.com。

第四系地层,孔深 0 ~ 75 m 孔段,用 Ø150 mm 口径开孔,下入 Ø146 mm 套管,并用水泥止水;(2)西桑奔组地层,孔深 50 ~ 200 m 孔段,用 Ø130 mm 口径钻进,钻至含盐层顶板下入 Ø127 mm 套管,管子底部封水泥止水;(3)塔贡组地层,采用 HQ 绳索取心钻具钻进至终孔。

3.2 钻井液配方室内设计及现场试用情况

第四系、上第三系及白垩系西桑奔组地层采用 PHP 低固相钻井液,配方为:粘土 40 kg,PHP 0.3 kg, Na₂CO₃ 2.0 kg,NaOH 0.5 kg,FeCl₂ 13 kg,见表 1 中 1 号配方。塔贡组盐岩地层采用无固相饱和和盐水钻井液或低固相饱和和盐水钻井液,见表 1 中 2、3 号配方。

从试验矿样浸泡试验的结果看,浸泡 72 h 的溶蚀率仅 1%,之后未发生溶蚀现象,但经过 ZK1 孔试

用,第四系、上第三系及西桑奔组地层钻探使用 1 号钻进液适宜性好,塔贡组上段石盐岩和硬石膏层使用 2、3 号钻井液能满足护孔和取心要求,但塔贡组下段(钾镁盐层)使用 2、3 号钻井液都不能满足护孔和取心的要求,孔深 186.96 ~ 203.46 m 段矿层长度采取率约 69%,但磨损、溶蚀严重,质量采取率仅为 50% ~ 55%,远不能满足设计要求,详见表 2。

表 1 室内配方表(每 m³ 钻井液加量)

配方编号	膨润土/kg	纯碱 /kg	PHP /kg	Na - CMC /kg	铁铬盐 /kg	食盐 /kg	KCl /kg	火碱 /kg	矿心溶蚀率 /%
1	40	2	0.3	8	13			0.5	
2				20	15	330	15	2.5	1
3	40	2		25	20	330	15	3	1

注:试验地点:楚雄;水温 17 °C;气温 25 °C。

表 2 161 ~ 203.46 m 孔段用饱和 NaCl 钻井液钻进取心情况表

孔段 /m	矿层名称	钻井液编号	进尺 /m	岩矿心长度 /m	采取率 /%	钻头直径 /mm	矿心直径 /mm	取心方法	备注
161 ~ 186.96	石盐层	2	25.96	24.00	92.4	64.5	64.1	S95 双管	无溶蚀
186.96 ~ 192.52	钾石盐层	2	5.56	4.37	78.6	64.5	62.5		无溶蚀
192.52 ~ 193.63	光卤石层	2	1.11	0	0	64.5		S95 双管	溶蚀严重
193.63 ~ 194.72	光卤石层	2	1.09	0	0	64.5		S95 双管	溶蚀严重
194.72 ~ 195.61	光卤石层	2	0.89	0.50	56	64.5	44	无泵钻具	溶蚀严重
195.61 ~ 196.41	光卤石层	3	0.8	0.71	89	64.5	52	无泵钻具	溶蚀严重
196.41 ~ 197.26	光卤石层	3	0.85	0.75	88	64.5	56	无泵钻具	溶蚀严重
197.26 ~ 198.75	光卤石层	3	1.5	1.35	90	64.5	55	无泵钻具	溶蚀严重
198.75 ~ 200.36	光卤石层	3	1.6	1.45	90	64.5	56	无泵钻具	溶蚀严重
200.36 ~ 201.86	光卤石层	3	1.5	1.4	93	64.5	56	无泵钻具	溶蚀严重
201.86 ~ 203.46	光卤石层	3	1.6	1.45	90	64.5	55	无泵钻具	溶蚀严重

3.3 配方改进优化与实践

3.3.1 矿心溶蚀原因分析

根据 NaCl、KCl、MgCl₂·6H₂O 等物质的化学特性研究分析,以上 3 种物质易溶于水,并且在水中完全电离;碱土金属镁元素的最外层电子数为 2,次外层电子数为 8,在化学反应中很容易失去最外层的两 2 个电子形成 +2 价阳离子,而 Mg²⁺、K⁺、Na⁺ 等阳离子交换次序逐步递减。

根据岩、矿样分析结果,矿区矿层物质构成与海水中的化学物质构成相近,从不同浓缩程度海水成分的资料可知,当海水中不同化学物质浓度达 13% ~ 15% 时,石膏(CaSO₄)开始出现沉淀,当溶液浓度为 27.3% ~ 28% 时,食盐(NaCl)开始结晶;溶液浓度为 33% ~ 34% 时,钾石盐(KCl)开始结晶;溶液浓度为 34.5% ~ 35% 时,光卤石开始析出;溶液浓度达 37% ~ 37.5% 时为共结点,水氯镁石开始析出。

从以上分析可知,在 ZK1 孔 161 ~ 186.96 m 孔段,以石盐层为主,用饱和 NaCl 盐水钻井液有效抑

制了 NaCl 的溶解,取心和护孔满足要求。而孔深 186.96 ~ 192.52 m 以钾石盐层为主,尽管 NaCl 的溶解得到控制,但 KCl 的溶蚀比较严重;孔深 192.52 ~ 203.46 m 以光卤石层为主,KCl、MgCl₂·6H₂O 的溶解、溶蚀十分严重,质量采取率仅 50% ~ 55%,远不能满足护孔、取心的要求。

所以有效护孔并穿过光卤石地层和钾石盐、石盐层,必须有效控制 MgCl₂ 的溶解。

3.3.2 钻井液配方优化试验与实践

从上述分析可知,矿区岩矿层钻探施工水敏性地层矿物质以 NaCl、KCl、MgCl₂·6H₂O 为主,NaCl 的溶解度约为 36%,KCl 的溶解度约为 34%,MgCl₂ 的溶解度约为 54.3%。

通过在施工现场的多次溶解性试验,钻井液配方试验为矿区钻井液确定提供了可靠性依据(见表 3、4),经初步试验使用,可得出如下结论。

(1)饱和 NaCl 钻井液不能消除 KCl、MgCl₂ 的溶蚀,饱和 KCl 钻井液不能抑制 MgCl₂ 的溶蚀。

(2) 钻井液中 $MgCl_2$ 的浓度越低, 岩矿心(光卤石)的溶蚀速度越快, 反之则越慢。只有当钻井液中 $MgCl_2$ 的溶解达到饱和时, 才能消除石盐、钾石盐和光卤石的溶解、溶蚀, 现场试验当 1000 mL 水中加入 2500 g $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 时溶解即达到平衡。配制后的体积为 2500 mL, 液体密度为 1.39 ~ 1.40 kg/L。即现场配制 $1m^3$ 饱和 $MgCl_2$ 溶液需 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$ 约 1000 kg, $MgCl_2$ 约含 440 kg(由于环境气候等因素影响, 溶解度值与理论有较大差异)。

(3) 用柴油作钻井液: 由于柴油主要由 C-H 化合物组成, 包括了烷烃、环烷烃、烯烃、炔烃及芳香烃等, 这些成分不能同 KCl、NaCl、光卤石发生化学反应, 所以可以避免原矿物质的溶蚀。

(4) 用乳化钻井液: 当柴油: 水 = (75 ~ 80): (25 ~ 20) 时用硬脂酸钙作乳化剂, 乳化效果良好, 性能稳定且可有效抑制该矿区矿物质的溶蚀。

3.3.3 钻井液配方确定

通过现场综合试验, 钻井液配方确定如下。

(1) 非水敏性地层采用低固相泥浆, 即表 1 中的 1 号配方。

(2) 含 NaCl 地层采用泡和盐水泥浆, 即表 1 中的 2 号配方。

(3) 含 KCl、光卤石地层可采用以下 3 种配方。

① 柴油不加处理剂: 密度约 0.82 kg/L, 漏斗粘度约 20 s; 使用 48 h 以后由于柴油中混杂岩屑, 密度约为 0.98 ~ 0.99 kg/L, 漏斗粘度 35 s。

② 饱和 $MgCl_2$ 无固相钻井液: 表 3 中的 18 号配方, 钻井液性能为: 塑性粘度 $\eta_p = 31 \text{ mPa} \cdot \text{s}$ 、动切力 $\tau_d = 0.32 \text{ Pa}$, 漏斗粘度 39 s。

③ 乳化钻井液: 见表 4 中的 25 号配方。

4 几点体会和改进方向

通过矿区 ZK1 号孔和首批钻孔计 3100 m 钻探工作量的实践, 为钾镁盐矿钻井液使用获取了有益的经验体会。

(1) 根据地层岩矿特性, 分层使用不同类型的钻井液, 有利于降低成本, 提高效率, 保证质量; 在含光卤石地层中用柴油或饱和 $MgCl_2$ 无固相钻井液是解决孔壁溶蚀和岩矿心溶蚀的有效方法。孔深 300 m 以内的孔用柴油作钻井液效果较好, 但随着孔深增加排渣效果欠佳, 孔深超过 300 m 的钻孔, 最好采用饱和 $MgCl_2$ 钻井液。

(2) 无论采用柴油还是饱和 $MgCl_2$ 钻井液, 套管固井、止水质量是钻井液正常使用的关键, 也是护

表 3 钻井液配方试验表(每 m^3 钻井液加量)

编号	$MgCl_2$	NaCl	KCl	CMC	粘土	浸泡样品		溶蚀率/%
						初始重/g	24 h 重/g	
1	115	160	80		30.2	12.2	60	
2	125	360	80	20	30	73.2	31.5	56.9
3	200	360	80	20	30	47.5	36.4	23.6
4	266	360	80	20	30	62.3	51.5	17.3
5	350	360	80	20	30	57.6	51.4	10.8
6	115	160	15	20	30	37.4	13	65.2
7	125	160	15	20	30	48.5	19.9	59
8	200	160	15	20	30	36.3	24.1	33.6
9	266	160	15	20	30	62.7	49.2	21.5
10	350	160	15	20	30	54.5	46.2	15.2
11	115	16	340	20	30	72.4	34.4	52.5
12	125	16	340	20	30	68.3	36.6	46.4
13	200	16	340	20	30	44.8	36.5	18.6
14	266	16	340	20	30	52.6	46	12.5
15	350	16	340	20	30	47.2	41.2	8.5
16	440			40		85	85	0
17	440			30		64.5	64.5	0
18	440			25		47	47	0
19	440			15		80.5	80.5	0

备注: 浸泡液体为 200 mL; 浸泡为静态 24 h。

表 4 钻井液配方试验表(每 m^3 钻井液加量)

编号	0 号柴油 /mL	水 /mL	硬脂酸钙 /g	十二烷基磺酸钠/g	浸泡样品		溶蚀率 /%
					初始重 /g	24 h 重 /g	
20	750	250		50	63.2	38.6	38.9
21	750	250		100	54.3	35.2	35.2
22	750	250	10		44.5	10.5	76
23	600	400	10		53.6	8.4	84.3
24	750	250	42		60	58.5	2.5
25	750	250	50		35	34.5	1.4
26	1000		0	0	67.4	67.4	0

孔、取心的技术保证。必须确保止水可靠, 换用钻井液前, 必须将浆池和钻孔内的泥浆和积水置换完毕。

(3) 孔深较深时使用饱和 $MgCl_2$ 钻井液, 由于其切力、粘度较高将导致泵压较高, 应进一步优化配方, 改善其性能。

(4) 进一步试验研究乳化液的配方, 特别是不同乳化剂乳化效果综合试验, 为钾镁盐矿钻井液选择开辟新的途径。

(5) 钾镁盐矿钻井液配制成本较高, 灌装和运输较方便的地区, 应对钻井液进行回收, 重复使用。

参考文献:

- [1] 曾祥熹, 陈志超. 钻孔护壁堵漏原理[M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [2] 武汉地质学院. 钻探工艺学(中册)[M]. 北京: 地质出版社, 1979.
- [3] 董敬芳. 无机化学(上册)[M]. 北京: 化学工业出版社, 1999.