

罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探 LDK02 孔冲洗液工艺

张云¹, 李晓东², 赵岩¹, 上官拴通¹, 刘现川¹, 杨风良¹, 张国斌¹

(1.河北省煤田地质局第二地质队,河北邢台 054001; 2.北京探矿工程研究所,北京 100083)

摘要:罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探 LDK02 孔钻遇地层主要为第四系松散层,其中,卵砾石层及砂层孔段易发生坍塌埋钻事故,粘土层孔段易缩径卡钻,导致钻探施工中孔壁极不稳定、极易引发孔内事故;现场使用卤水配制冲洗液,对冲洗液处理剂性能影响较大,导致配制的冲洗液胶体稳定性差、易沉淀分层、不能有效悬浮和携带岩粉。针对上述问题,对现场卤水进行了离子成分分析,选用抗盐性能好的处理剂配制卤水冲洗液,在 LDK02 孔现场应用,取得了良好效果,保证了钻探施工的顺利实施。

关键词:罗布泊盐湖;钾盐钻探;卤水冲洗液;卵砾石层;粘土层

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)09-0057-06

Drilling fluid for the potassium geological scientific drilling borehole LDK02 in deep Lop Nur Salt Lake

ZHANG Yun¹, LI Xiaodong², ZHAO Yan¹, SHANGGUAN Shuantong¹,
LIU Xianchuan¹, YANG Fengliang¹, ZHANG Guobin¹

(1.Hebei Coalfield Geology Bureau Second Geological Team, Xingtai Hebei 054001, China;
2.Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

Abstract: The formation encountered in drilling the potassium geological scientific drilling borehole LDK02 in deep Lop Nur Salt Lake was mainly the Quaternary loose overburden, where bit burial was prone to happen due to borehole collapse in gravel, and bit sticking due to borehole contraction in clay, resulting in the hole wall extremely unstable and accidents easy to occur during drilling. Brine used to prepare the drilling fluid on-site had a significant influence on the performance of the additives of the drilling fluid, resulting in many problems of the drilling fluid, such as poor colloidal stability, easy sedimentation and delamination, ineffectively carrying and removing cuttings. To deal with the above problems, the ionic composition analysis was carried out on the on-site brine, and the additives with good salt resistance was selected to make brine based drilling fluid, which was applied in drilling the borehole LDK02 with good results, ensuring the smooth implementation of the drilling work.

Key words: Lop Nur Salt Lake; potassium drilling; brine based drilling fluid; gravel layer; clay layer

1 项目概况

1.1 钻孔来源

钾盐是我国七大紧缺矿产之一,农业生产所使用的钾肥便来源于此。青海格尔木地区 and 新疆罗布泊盐湖地区是目前我国最主要钾肥产地,罗布泊盐

湖位于板块交界处,地理条件和地形构造比较特殊,为罗布泊盐湖地区钾盐资源的形成提供了良好条件,该地区卤水中蕴含大量的钾盐资源^[1]。

国投罗钾公司于 2009 年在罗布泊实施了第一口深部钾盐科学钻探工程(LDK01 孔),首次揭示罗

收稿日期:2019-02-18; 修回日期:2019-03-26 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.09.006

作者简介:张云,男,汉族,1986 年生,工程师,勘查技术与工程专业,从事钻探技术管理与施工相关工作,河北省邢台市桥东区北康庄河北煤田二队,375783817@qq.com。

引用格式:张云,李晓东,赵岩,等.罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探 LDK02 孔冲洗液工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(9):57-62.

ZHANG Yun, LI Xiaodong, ZHAO Yan, et al. Drilling fluid for the potassium geological scientific drilling borehole LDK02 in deep Lop Nur Salt Lake[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(9):57-62.

布泊盐湖地区深部赋存有低品位固体钾矿,同时发现深部碎屑岩地层含有富钾卤水^[2]。基于 LDK01 孔的研究发现,2017 年实施了第二口深部钾盐科学钻探工程(LDK02 孔),钻孔位于罗布泊钾盐现生产矿区的拉张断裂带中,该断裂带纵贯于罗钾矿区和生产区,宽 2~3 km,长约 50 km。

1.2 工区概况

罗布泊地区属典型大陆性干旱气候,年蒸发量高达 4696.9 mm,而年降雨量仅 38.5 mm,属于强烈蒸发区;年平均气温 12.4 ℃,最高气温可达到 44.3 ℃,平均湿度仅 35.7%;罗布泊地区的卤水属硫酸镁亚型,品位高于工业品位,具有单独开采价值,是我国仅次于青海察尔汗的超大型含钾卤水矿床^[3]。

1.3 地质概况

1.3.1 区域地质概况

罗布泊位于塔里木盆地最东端最低洼处,盆地内各大水系多流入该区域,形成盐分聚集。罗布泊地层构造处于塔里木板块东部、天山南麓与阿尔金山北麓交汇地带,自新生代以来,其形成演化主要受阿尔金及库鲁克塔格走滑断裂系统控制,罗布泊即产生于此断裂系统形成的近东西向拉张构造背景的箕状凹陷;东天山向南逆冲压制,使得该凹陷向北倾斜;同时受 NNE-SSW 向的主压应力作用,产生同向张性断层及地堑式断陷带,导致罗布泊地区形成了罗北凹地等较大的成盐凹地。

研究区地层主要为山前平原区的冲洪积成因的砂砾石、中粗砂,以及盆地内湖相沉积的粉细砂、亚砂土、泥岩及化学沉积物,其中山前平原区主要覆盖有全新统冲洪积及部分第三系地层,盆地主要覆盖为全新统^[4-5]。

1.3.2 矿区地层情况

根据本区以往已有勘查成果资料,LDK02 科探孔自上而下预计钻遇地层情况如下:

(1)第四系全新统(Q₁):岩性主要为石盐、石膏盐壳,地层厚度约 10 m。

(2)第四系上更新统(Q₃):岩性主要为钙芒硝、石盐、粉砂、粘土等,赋存有富钾卤水储层,地层厚度约为 100 m。

(3)第四系中更新统(Q₂):岩性主要为含粘土(粉砂、石膏)钙芒硝、粘土、石膏、石盐及钙芒硝等,赋存有富钾卤水储层,地层厚度约为 60 m。

(4)第四系下更新统(Q₁):岩性主要为沙、粉砂、粘土、粉砂质粘土、石膏、钙芒硝、石盐等,赋存有富钾卤水储层,地层厚度约为 610 m。

LDK02 科探孔预计钻遇地层分布情况如表 1 所示。

表 1 LDK02 孔钻遇地层分布

Table 1 Geology at LDK02

地质年代	地层分层	底界深度/m	分层厚度/m	主要岩性描述	风险提示
Q ₁	1	8.50	8.50	石盐、石膏(岩)	
	2	27.86	19.36	钙芒硝(岩)、石盐、粉砂	冲洗液漏失
	3	56.04	28.18	钙芒硝(岩)	
Q ₃	4	68.79	12.75	含石膏(或淤泥)的钙芒硝岩	
	5	92.50	23.71	含淤泥的钙芒硝夹粉砂泥岩	
	6	105.22	12.72	含粘土(粉砂、石膏)钙芒硝	
Q ₂	7	126.50	21.28	钙芒硝、石膏、粘土	
	8	150.00	23.50	石膏质粘土、含粉砂石盐、含粉砂钙芒硝	
Q ₁	9	234.74	84.74	粉砂粘土、石膏、泥质石膏	
	10	445.00	210.26	砂、粉砂粘土、石膏	坍塌
	11	590.00	145.00	粉砂粘土、钙芒硝	坍塌
	12	1200.00	610.00	粉砂粘土与蒸发岩(钙芒硝)互层	

1.4 施工方案

罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探 2 号孔(LDK02 孔)总体钻探施工方案如下:

(1)用 Ø133 mm 取心钻头取心钻至 500 m(视钻遇地层条件具体确定取心钻进深度),进行测井。

(2)根据地质录井、测井资料进行综合分析、研究,确定 200 m 以浅孔段、200~500 m 孔段抽水试验层段的具体起止深度。

(3)Ø444.5 mm 扩孔钻至 500 m,下入 Ø339.7 mm 套管(含滤水管),采用套管外伞式止水器止水、套管内同径止水的工艺,完成 200 m 以浅孔段、200~500 m 孔段抽水试验工作。

(4)换 Ø133 mm 钻头继续取心钻进,钻至 800 m,测井;换 Ø311 mm 钻头扩孔钻至 800 m,下入 Ø244.5 mm 套管(含滤水管);对 500~800 m 孔段进行抽水试验工作。

(5)换 Ø133 mm 钻头继续取心钻进至 1200 m,再换 Ø215.9 mm 钻头扩孔钻至 1200 m,采用托盘悬挂方式在 470~810 m 孔段下入 Ø177.8 mm 套管对 500~800 m 孔段进行止水,然后进行 800~1200 m 孔段抽水试验。

(6)工程完工后若决定不再留作生产孔,则用水

泥浆对该孔进行全孔段封闭。

1.5 钻孔结构

本孔采用 $\phi 133$ mm 取心钻进、分级扩孔、下入套管(含滤水管)护壁、逐层进行抽水试验的工作程序。根据钻进施工中所钻遇的不同地层岩性情况及孔壁稳定程度,所设计的钻孔结构见图 1。

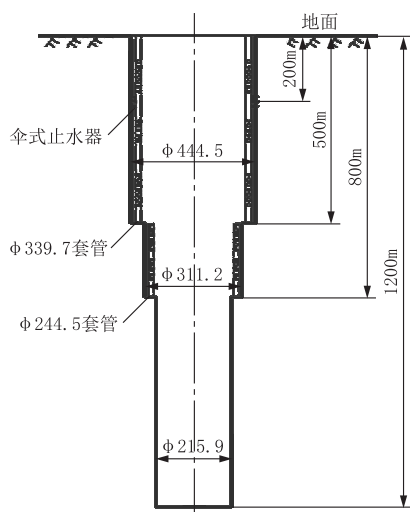


图 1 LDK02 孔钻孔结构

Fig.1 The structure of LDK02

2 现场施工存在的问题与分析

2.1 复杂地层孔壁失稳问题

据本区以往钻探资料表明,该科探孔所钻遇的地层主要为第四系松散层,钻进卵砾石层及砂层孔段(见图 2)时易坍塌埋钻,钻进粘土层孔段(见图 3)时易缩径卡钻,施工中孔壁稳定性差,极易引发孔内事故。

LDK01 孔曾在孔深 460~480 m 处多次发生孔壁坍塌埋钻事故,导致钻探施工无法正常进行,该孔段主要为松散粘土层夹有胶结性较差的砂岩,其岩心如图 4 所示。

2.2 冲洗液问题

现场使用卤水配制冲洗液,卤水中含有大量的离子(见表 2),尤其是高价阳离子,会影响处理剂发挥作用,导致配制的冲洗液胶体稳定性差,使用膨润土配制冲洗液易沉淀分层,不能有效悬浮携带和清除岩粉^[6]。

3 冲洗液工艺

钾盐钻探除合理的钻孔设计、钻进方法以外,其最关键的是选择合适的冲洗液,直接关系到孔内



图 2 卵砾石层及砂层孔段岩心(1175~1182 m)

Fig.2 Cores from gravel layers and sand layers (1175~1182m)

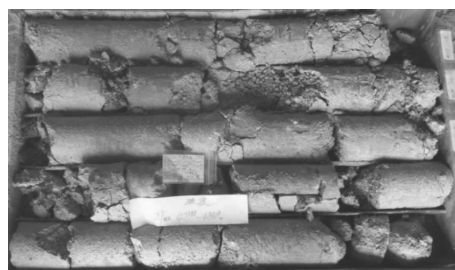


图 3 粘土层孔段岩心(480~485 m)

Fig.3 Cores from clay layers (480~485m)



图 4 LDK01 孔 460~480 m 孔段岩心

Fig.4 Cores from LDK01 (460~480m)

表 2 卤水中离子含量

Table 2 Ion contents of brine

离子名称	Na ⁺ / (g· L ⁻¹)	K ⁺ / (g· L ⁻¹)	Ca ²⁺ / (mg· L ⁻¹)	Mg ²⁺ / (g· L ⁻¹)	Cl ⁻ / (g· L ⁻¹)	SO ₄ ²⁻ / (g· L ⁻¹)
分析结果	78.18	14.85	168.30	34.16	190.02	60.26

安全、岩心的采取率和质量^[7-10]。

3.1 对冲洗液性能的要求

- (1)配制的卤水冲洗液应具有良好的胶体稳定性;
- (2)不污染矿层,且不影响矿层分析;
- (3)能够形成平衡地层压力的液柱压力,且范围可调;

(4)具有较低失水量及较好抑制性,能有效减少自由水进入粘土层,预防粘土水化造浆或膨胀缩径,避免粘附卡钻事故;

(5)具有较好的流变性能,能有效悬浮和携带岩屑;

(6)利于提高岩心采取率;

(7)配制简单,方便维护使用^[11-13]。

3.2 冲洗液选型

通过广泛调研和对比分析,选用北京探矿工程研究所研制的环保型卤水聚合物冲洗液,其配方如下:卤水+烧碱+纯碱+3%~5%膨润土+0.8%~1.5%抗盐共聚物(GTQ)+1%~2%抗盐降失水剂(GPNS)+1%~3%随钻堵漏剂(GPC)+0.2%~0.3%包被剂(GBJ)。

由于卤水配制冲洗液易产生泡沫,可适量加入消泡剂,以减少或消除泡沫;钻进时钻具扭矩较大时,可加入润滑剂,降低钻具回转阻力,调整冲洗液流变性能^[14-16]。

3.3 冲洗液体系中处理剂的作用

环保型卤水聚合物冲洗液所使用的主要处理剂及其作用见表3。

表3 主要处理剂及其作用

Table 3 Main additives and their functions

处理剂名称	代号	作用
膨润土		造浆材料,提高粘度和切力
抗盐共聚物	GTQ	提高粘度和切力,降低滤失量
抗盐降失水剂	GPNS	降低滤失量
随钻堵漏剂	GPC	封堵地层孔隙和裂隙,强化孔壁,防止渗漏
包被剂	GBBJ	包被、絮凝岩屑,强化有害固相沉淀

4 卤水冲洗液现场工艺及应用效果

4.1 冲洗液配制方法

首先在卤水中加入烧碱和纯碱进行处理;再加入膨润土,搅拌20~30 min,使其充分水化;再加入抗盐降失水剂和随钻堵漏剂,搅拌约5 min;加入抗盐共聚物,搅拌约15 min,使其分散均匀且不成团;最后加入包被剂,搅拌20 min左右。

4.2 冲洗液性能

4.2.1 现场冲洗液性能

以配方“卤水+0.5%纯碱+1%烧碱+3%膨润土+1.0%抗盐共聚物(GTQ)+1.5%抗盐降失水剂(GPNS)+1%随钻堵漏剂(GPC)+0.2%包被剂(GBBJ)”为例,其性能如表4所示,通过对现场卤水冲洗液性能进行监测,结果表明,卤水冲洗液可长时间保持稳定的性能,粘度适中,API滤失量较低,泥

皮薄而有韧性,且可根据实际需要调整冲洗液粘度和密度进行调整。

表4 现场冲洗液性能

Table 4 Properties of the drilling fluid

测试项目	漏斗粘度/ s	密度/ (g·cm ⁻³)	API滤失量/ mL	泥皮厚度/ mm
冲洗液性能	40	1.27	8	0.2~0.3

4.2.2 不同开次冲洗液性能

在不同开次施工过程中对冲洗液进行实时监测,具体性能如表5所示。

表5 不同开次的冲洗液性能

Table 5 Properties of the drilling fluid for different borehole sections

开次	井段/ m	钻进方式	漏斗粘 度/s	密度/ (g·cm ⁻³)	API滤失 量/mL	泥皮厚 度/mm
一 开	0~507	取心钻进	37~95	1.27~1.37	6~15	0.5~1.0
		扩孔钻进	55~120	1.37~1.45	15~40	1.0~2.0
二 开	0~808	取心钻进	50~70	1.36~1.38	8~14	0.5~1.0
		扩孔钻进	60~70	1.36~1.38	15~24	1.0~1.5
三 开	808~ 1200	取心钻进	45~60	1.36~1.38	15~20	1.0~1.5
		扩孔钻进	50~70	1.36~1.38	15~24	0.5~1.0

4.3 冲洗液维护

(1)冲洗液粘度尽量保持平稳,施工中根据地层变化及岩粉携带情况,通过调整抗盐共聚物加量对冲洗液粘度进行调整。

(2)包被剂为高分子聚合物,循环过程中消耗快,需要及时补充,以保证冲洗液能够较好地絮凝沉淀岩屑,为使包被剂能充分利用,可将包被剂提前配成溶液再加入冲洗液中。

(3)由于松散破碎地层较多,应根据所取出岩心状态判断地层情况,在较破碎地层应提高随钻堵漏剂的加量,避免冲洗液渗漏,同时可强化孔壁,提高孔壁稳定性。

(4)及时清理循环槽和沉淀池中沉淀的岩屑,防止沉淀的岩屑再次进入冲洗液中导致有害固相含量过高。

(5)钻进时应配备适当数量的冲洗液,防止冲洗液消耗过快,来不及补充,影响钻探施工的正常进行。

4.4 应用效果

(1)胶体稳定性好,抗盐侵能力强。使用卤水配制的冲洗液胶体性能稳定,在钻遇石盐、石膏、钙芒硝等溶解性地层,冲洗液仍能保持性能稳定。

(2)有效解决了松散破碎地层的坍塌、掉块问

题。该孔钻遇大段极易坍塌的砾石层、砂层及粉砂质粘土层(见图 5),松散破碎层较多,且强度低。使用卤水冲洗液有效保证了孔壁稳定,坍塌掉块现象明显减少,起下钻通畅。



图 5 松散破碎的卵砾石层及砂层孔段岩心

Fig.5 Cores from loose and broken gravel layers and sand layers

(3)抑制性强。该孔钻遇易吸水膨胀的泥岩地层(见图 6),卤水冲洗液有效抑制了泥岩地层吸水后的膨胀缩径,钻进及起下钻过程均比较通畅,无明显缩径现象。



图 6 易吸水膨胀的粘土层孔段岩心

Fig.6 Cores from water-swellaable clay layers

(4)流变性能良好。现场配制的卤水冲洗液流变性能良好,在满足悬浮携带岩屑的同时,又能保证岩屑较好地在地表沉降,减少有害固相含量,循环使

用周期长,有效减少了冲洗液排放。

(5)钻进效率高。由于卤水冲洗液具有良好的性能,在保证孔壁稳定的同时有效降低了摩阻。该区 LDK01 孔难以解决地层缩径及难以排除钻孔内的沉砂,无法继续施工,最终钻孔深度 781.50 m。LDK02 孔顺利完成地质任务,钻至完钻深度 1200 m,钻进效率明显高于此前施工的 LDK01 孔。

5 结论

罗布泊盐湖深部钾盐地质科学钻探施工中使用的环保型卤水聚合物冲洗液,有效解决了钻探过程中遇到的地层坍塌严重、卤水配浆胶体稳定性差等技术难题。LDK02 孔完钻孔深 1200 m,创造了该矿区孔深最深记录。

参考文献(References):

- [1] 惠争卜,宋先生,周赛芳.罗布泊盐湖钾盐矿床调查科研进展与开发现状[J].世界有色金属,2017(15):288-289.
HUI Zhengbu, SONG Xiansheng, ZHOU Saifang. Investigation and development of the status quo of the research of Saline Lake potash deposit in Lop Nur[J]. World Nonferrous Metal, 2017(15):288-289.
- [2] 宣之强,焦鹏程,王弭力,等.罗布泊罗北凹地科钾 1 井盐类矿物组合及找钾研究[J].盐湖研究,2013(4):16-20.
XUAN Zhiqiang, JIAO Pengcheng, WANG Mili, et al. Salt mineral assemblage and potassium prospecting of Well Kejia - 1 in Luobei depression, Lop Nur Area[J]. Journal of Salt Lake Research, 2013(4):16-20.
- [3] 吕凤琳,刘成林,焦鹏程,等.亚洲大陆内部盐湖沉积特征、阶段性演化及其控制因素探讨——基于罗布泊 LDK01 深孔岩心记录[J].岩石学报,2015,31(9):2770-2782.
LÜ Fenglin, LIU Chenglin, JIAO Pengcheng, et al. The discussion on sedimentary characteristics, phased evolution and controlling factors of saline lake in Asia Interior: Records from deep drill cores of LDK01 in Lop Nur, Xinjiang, Northwestern China[J]. Acta Petrologica Sinica, 2015,31(9):2770-2782.
- [4] 焦鹏程,刘成林,颜辉,等.新疆罗布泊盐湖深部钾盐找矿新进展[J].地质学报,2014,88(6):1011-1024.
JIAO Pengcheng, LIU Chenglin, YAN Hui, et al. New progress of potassium prospecting in deep salt lake of Lop Nur region in Xinjiang[J]. Acta Geologica Sinica, 2014,88(6):1011-1024.
- [5] 余冬梅,虎啸天,付江涛,等.岩盐物理力学性质及其工程稳定性应用现状及展望[J].盐湖研究,2013(3):65-72.
YU Dongmei, HU Xiaotian, FU Jiangtao, et al. Physical and mechanical propertise of rock salt and Its application in promoting engineering stability[J]. Journal of Salt Lake Research, 2013(3):65-72.
- [6] 李浩,唐中凡,刘传福,等.新疆罗布泊盐湖卤水资源综合开发研究[J].地球学报,2008,29(4):517-524.

- LI Hao, TANG Zhongfan, LIU Chuanfu, et al. Comprehensive exploitation and research of brine resources in the Lop Nur Salt Lake, Xinjiang[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2008, 29(4):517-524.
- [7] 胡继良,陶士先.深部地质钻探钻井液体系设计因素及其分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):17-21.
HU Jiliang, TAO Shixian. Design factors of drilling fluid system for deep geological drilling and the analysis[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(4):17-21.
- [8] 胡继良,陶士先,纪卫军.破碎地层孔壁稳定技术的探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(9):30-32,64.
HU Jiliang, TAO Shixian, JI Weijun. Discussion of borehole wall stability technology in broken formation and the practice[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(9):30-32,64.
- [9] 孙丙伦,陈师逊,陶士先.复杂地层深孔钻探泥浆护壁技术探讨与实践[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(5):13-15,24.
SUN Binglun, CHEN Shixun, TAO Shixian. Discussion and practice on wall protection with slurry in deep-hole drilling in complicated formation[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2008, 35(5):13-15,24.
- [10] 贾宏福,罗刚,付兆友,等.MBM-GTQ盐水冲洗液体系的研究与应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(12):23-27.
JIA Hongfu, LUO Gang, FU Zhaoyou, et al. Study on MBM-GTQ saltwater drilling fluid system and the application[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2015, 42(12):23-27.
- [11] 宫述林,赵光贞,栾元滇,等.钾盐矿床钻探工艺技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(7):25-28.
GONG Shulin, ZHAO Guangzhen, LUAN Yuandian, et al. Drilling technology in potassium deposit[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011, 38(7):25-28.
- [12] 王正浩,申立,宋仲科.卤水钻井液在青海钾盐矿层钻探中的应用研究[J].中国煤炭地质,2015(9):55-58.
WANG Zhenghao, SHEN Li, SONG Zhongke. Applied research of salt brine drilling fluid in Qinghai sylvinite strata drilling[J]. Coal Geology of China, 2015(9):55-58.
- [13] 黄卫东,付帆,胡继良,等.多功能复合剂在伊塘湖矿区ZK11-1孔的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(5):1-3.
HUANG Weidong, FU Fan, HU Jiliang, et al. Application of multifunctional complex additive in ZK11-1 Hole of Yitanghu Mine[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012, 39(5):1-3.
- [14] 纪卫军,张明德,赵长亮,等.青海省冷湖镇钾矿资源调查评价项目冲洗液技术研究及应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(1):54-57.
JI Weijun, ZHANG Mingde, ZHAO Changliang, et al. Research and application of flushing fluid technology for potassium ore resource investigation project of Lenghu Town in Qinghai[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016, 43(1):54-57.
- [15] 黄卫东,付帆,陶士先.多功能抗污染剂在老挝农波矿区南部钾盐钻探中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(3):21-24.
HUANG Weidong, FU Fan, TAO Shixian. Application of multifunctional antipollution agent for potash drilling in Laos[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014, 41(3):21-24.
- [16] 王正浩,申立.青海深层卤水钾盐钻探施工技术[J].中国井矿盐,2015(3):23-27.
WANG Zhenghao, SHEN Li. Struction technology of brine potash deep drilling in Qinghai[J]. China Well and Rock Salt, 2015(3):23-27.

(编辑 韩丽丽)