

土耳其贝帕扎里天然碱矿 水平对接井施工的钻井液技术实践

逢 磷,程志远,迟 波,王泽山

(东北煤田地质局 103 勘探队,辽宁 辽阳 111004)

摘 要:土耳其贝帕扎里(Beypazari)天然碱矿溶解采矿项目是目前为止世界最大规模的水平对接井工程,技术难度之高在国内外均属罕见,钻井工程的特殊性和复杂性决定了其钻井液技术工作的难度。对施工实践中采用的钻井液体系及各种情况应对措施等成功经验进行了总结,对将来其他同类型钻井工程的钻井液技术工作具有较大的借鉴意义。

关键词:土耳其贝帕扎里天然碱矿;水平对接井;钻井液;饱和盐水

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2007)S1-0169-05

1 项目概况

土耳其贝帕扎里(Beypazari)天然碱矿溶解采矿项目是由中国多家单位联合承揽的大型国际采矿工程,中国地质科学院勘探技术研究所和东北煤田地质局 103 勘探队在此项目中负责钻井工作。

本项目采矿方法为水平对接井。开采单位为井组开采(见图 1),即每个井组为一垂直井和一水平井经过水平对接连通后而组成。垂直井深 450 ~ 500 m,矿体以浅下入 $\varnothing 139.7$ mm 套管固井,水平井在水平段(矿体)以浅造斜井段及垂直井段下 $\varnothing 139.7$ mm 套管固井。水平井水平段在矿层中裸眼钻进并与垂直井同一矿层对接连通,两井井距 500 m,水平段长 300 m。井组连通后,一口井注入热水溶解矿体,另一口井通过压差流出达到设计浓度的卤水,即为一对井组竣工。

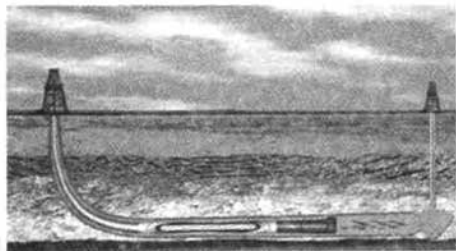


图 1 天然碱矿溶解采矿对接井组示意图

本项目工程共设计 30 对井组开采,总进尺约 4 万 m,是目前为止世界最大规模的对接井工程,技术难度之高在国内外均属罕见。工程在 2003 年施工

了一对试验井后,于 2005 年 6 月开始正式开工,至 2007 年 2 月全部完成并交付业主使用。该项目钻井工程是我国地勘行业第一个具备高技术附加值的国外工程项目,创下了井距、水平井段、施工速度等多个记录,为我国对接井技术实现了新的跨越,被评价为我国地勘单位承包外国重大工程项目的里程碑。

2 矿区地质简述

2.1 地层

2.1.1 始新统及以前地层

包括侏罗系、白垩系沉积地层,为角砾碎屑岩、厚层生物亮晶灰岩、硅质石灰岩。

2.1.2 Boyali(玻亚里组)地层

属上第三系河流冲积相,由火山碎屑岩、砂岩、泥砂岩、泥岩组成。该组在上部和下部各沉积有一层褐煤。

2.1.3 Hirka(河卡组)地层

贝帕扎里(Beypazari)天然碱矿产于该组地层。其组成有泥岩、粘土岩、油页岩、天然碱、石灰质页岩、白云石灰岩、泥砂岩,部分地段夹碎屑岩和凝灰岩。

2.1.4 Karadoruk(卡拉杜鲁克组)地层

由硅化石灰岩、黑硅石、凝灰岩、粘土岩和泥岩组成,厚约 150 m。该组地层下部和上部均为石灰岩层,中部为绿色粘土岩和层状黑硅石(角岩)。

收稿日期:2007-05-30

作者简介:逢磷(1971-),男(汉族),辽宁朝阳人,东北煤田地质局 103 勘探队副队长、总工程师、高级工程师,水文地质工程地质专业,从事钻井施工、技术管理工作,辽宁省辽阳市白塔区繁荣路 159 号。

2.1.5 Sariagil(沙里亚吉尔组)地层

主要由略呈绿色的灰粘土岩和层凝灰岩互层,部分地段夹有中厚层状石灰岩,厚度在 40~80 m。

2.1.6 Cakiloba(卡基鲁巴组)地层

由含黑硅石的石灰岩组成,其上部和下部分别为凝灰岩、粘土岩和泥灰岩互层,该组岩石有断裂构造,并有溶液洞穴特征。

2.1.7 Zaviye(扎维依组)地层

主要由石灰质、砂质泥岩和砂质凝灰岩组成,其中沉积有以透镜状形态产出的石膏矿。

2.2 构造

贝帕扎里盆地是中生代形成,第三纪中新世发展的走向近似东西方向的、其范围受到北部和南部生长断层限制的构造盆地。盆地分布有不对称背斜、向斜和单斜构造。褶皱构造一般分布在盆地北部,褶皱轴面倾向南东。盆地内主要断层为高倾斜的逆断层,这类断层倾斜的角度在 30°~70°之间。

2.3 水文地质

矿区范围内,天然碱矿层之上,主要分布有卡拉杜鲁克组和卡基鲁巴组含水层,这 2 组地层的水文岩石学特征如下。

卡拉杜鲁克组:由硅化石灰岩、黑硅石、凝灰岩、粘土岩和泥岩组成,硅化石灰岩、黑硅石中的裂隙、结构、构造面是该组的含水层,而凝灰岩、粘土岩和泥岩属隔水岩层。该组的含水层面距含矿段最近,与上矿段之间有大约 150 m 的凝灰岩、粘土岩、油页岩和泥岩的隔水层。

卡基鲁巴组:由含黑硅石的石灰岩组成,其上部和下部分别有凝灰岩、粘土岩和泥岩互层,该组岩石有裂隙构造,并有溶液洞穴特征。其中含黑硅石的石灰岩、裂隙和溶液洞穴是含水结构面,其上、下部的层凝灰岩、粘土岩和泥岩层为隔水岩层。

此外沙里亚吉尔组地层中部分地段分布的灰岩也是含水岩层。

据测算,卡拉杜鲁克组、卡基鲁巴组和沙里亚吉尔组地层每年地下水的补给量为 800 万 m³。但据含水岩层的分布特征,这些含水层之间是不连通的。

2.4 碱矿层特征

贝帕扎里天然碱矿贮存于河卡组底部一套油页岩、粘土岩及凝灰岩地层中,局部夹有少量藻层碎屑岩。含矿段厚度 70~100 m,矿体以透镜状形态产出,共有 33 层厚度在 0.4~2 m 的矿层,天然碱矿层总厚度在矿区边缘为 2.5 m,中心部位为 34 m。

按矿层在垂向上的分布规律,可分为上、下 2 个

矿段。

上部天然碱矿段展布面积 8 km²,含矿段厚度 40 m,共 17 个矿层,其中有 6 个主矿层,编号为 U1~U6。矿层厚度 8~20 m,平均矿层厚度 12 m。含矿系数 19.47%~87.5%,平均 49.13%。

下部天然碱矿段与上矿段之间有 20~25 m 的一套粘土岩、层凝灰岩、油页岩的隔层。下矿段展布面积 5.5 km²,含矿段厚度 40~60 m,共 16 个矿层,其中有 6 个主矿层,编号为 L1~L6。矿层厚度 3~15 m,平均厚度 7~8 m。含矿系数 7.68%~67.19%,平均 30.63%。

2.5 围岩特征

天然碱矿层的围岩主要为河卡组的油页岩类、粘土岩类、凝灰岩、白云石灰岩,其岩性特征如下。

2.5.1 油页岩类岩性特征

油页岩是天然碱矿层的主要围岩之一,油页岩主要矿物成分包括:方解石、石灰石、蛋白矿-β和α石英、钾长石、斜长石。

2.5.2 粘土岩类岩性特征

粘土岩类包括泥岩、粘土岩、白云质粘土岩。主要矿物成分包括:粘土矿(伊利石、蒙脱石)、石灰岩、方解石、方沸石、钾长石、斜长石、石英、蛋白矿-β和α石英。呈淡绿色,厚层状,中等固结度,含有部分草莓状黄铁矿。白云石呈全形自生晶形和微晶形式存在于粘土岩和泥岩中。

2.5.3 凝灰岩岩性特征

凝灰岩一般是呈白色厚薄不均的岩层,局部有破碎状,呈夹层状产出。主要矿物成分包括:沸石类矿物(方沸石、斜钙沸石、钠沸石和斜方沸石)、钾长石(高温型透长石、微斜长石、冰长石)、斜长石(钠长石、钙长石)、石英、粘土矿(蒙脱石、伊利石)。

2.5.4 白云石灰岩岩性特征

白云石灰岩呈灰色和白色薄层,微晶结构,部分被硅化。呈夹层状产出。

3 钻井液技术要求和施工难点

本项目钻井工程的特殊性和复杂性决定了其钻井液技术工作的难度,整体的钻井液技术方案是建立在钻井施工工艺对钻井液性能要求全面分析的基础上的。

图 2 是对土耳其贝帕扎里(Beypazarı)天然碱矿水平对接井工程的钻井液技术要求进行的“发散性分析图”,图中核心为钻井液,中间层为钻井工艺对象,外层为性能要求。在此图的基础上,施工中的核

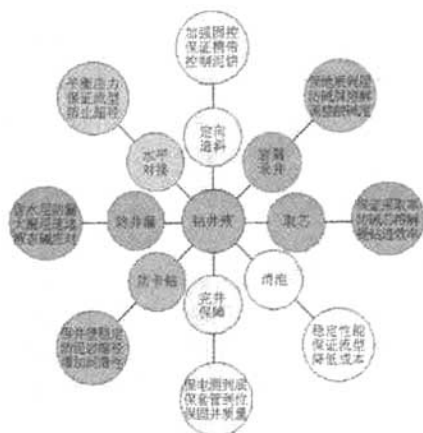


图2 钻井液技术要求与钻井施工工艺的发散对应图

心工作就是设计好适应的钻井液体系,保证图中所有的外层性能要求得以实现,并且在钻井的不同阶段可以较容易地进行针对性转换。同时还必须兼顾

经济效益问题,尽量降低钻井液成本。

4 体系方案和实践

土耳其贝帕扎里(Beypazari)天然碱矿水平对接井工程全面开工后,随着工程的进展和区域经验的逐步积累,为满足安全、优质、快速、高效钻井的需要,2005年8月,项目部组织有关专家和现场技术人员对钻井施工质量保证难点和易发生的井下复杂情况进行了全面、合理的评估。

在评估结论的基础上设计的钻井液体系类型及各种情况应对技术措施固定为以下几个主要方面,并形成标准化模式强制推广执行,取得了非常良好的效果。

4.1 钻井液体系类型及基本性能

选用加重、饱和~过饱和盐水、不分散、低固相、钾铵基两性离子聚合物钻井液体系,其基本性能指标要求见表1。

表1 钻井液基本性能表

密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	漏斗粘度 $/s$	API 中压 失水/mL	泥饼厚 度/mm	含砂量 $\%$	塑性粘度 $/(mPa \cdot s^{-1})$	pH 值	切力(初/终) $/Pa$	动切力 $/Pa$	NaCl 含量
1.1~1.3~1.8	30~60~80	5~8	0.5~1	<0.5~1	15~60~80	9~11	0.2~2/0.5~5	5~15~20	饱和~过饱和

4.2 钻井液转化及维护

4.2.1 一开基浆

为不分散低固相钾铵基两性离子聚合物淡水钻井液。

4.2.1.1 基浆准备

用 $4.3 kg/m^3$ 的火碱或 $7 kg/m^3$ 的纯碱除去配浆水中的钙、镁离子,按 $25 \sim 50 kg/m^3$ 的优质膨润土用量加 $0.02 kg/m^3$ 双功能聚合物(PHPA, CMC, NH_4 -HPAN, K-PAM 等)(增效膨润土、选择性絮凝)和 $0.3 \sim 1.5 kg/m^3$ 的纯碱的比例配成基浆。

4.2.1.2 钻井液的适时改造及维护措施

为防止石灰岩、硅化石灰岩井段渗透性强而形成厚泥饼,每钻井 100 m 补充 0.2%~0.5% 防塌降滤失剂,提高泥饼“饲养”质量,使其薄而坚韧,封堵地层微裂缝和孔隙。同时采用有机降粘剂调整钻井液流变性能。

为防止泥页岩段泥页岩水敏剥落、缩径及粘切过高形成厚泥饼而产生拔活塞现象,钻进中应随时监测钻井液性能,适当补充降滤失剂和有机降粘剂,使钻井液始终保持良好的流变性,以及时有效地清洗井壁粘附的岩屑,保证起下钻畅通。

为维持钻井液体积和降低钻井液粘度,以便于分离固相,要有控制地缓慢向体系中加水;同时要注

意加入页岩抑制剂 NH_4 -HPAN 控制泥页岩地层造浆。

经常性的清理循环罐中的沉砂。维持 pH 值在 7~9 之间。

如需要可采用双功能聚合物等和预水化膨润土浆提高粘度。

用好固控设备,保证化学絮凝的固相物质清除,维持低固相。

如需钻水泥塞前,用 $1.4 kg/m^3$ 的纯碱进行预处理,以保证钻井液性能并沉淀钙离子。

4.2.1.3 井漏

对于可能的井漏,在钻井过程中应采取预防为主方针。

石灰岩、硅化石灰岩裂隙发育,渗透性好,易形成虚饼缩径,起下钻井眼不畅通,容易造成承压能力差的井段憋堵漏失。因此钻井液必须选用合适的流变性能参数,既保证有一定的冲刷井壁能力,又有一定的造壁性,达到防漏的目的,必要时可加 1.5%~2% 的随钻堵漏剂,以降低钻井液密度。

采用近平衡钻井,减小压差是防止井漏的关键,根据地层压力系数,及时调整钻井液密度。

对于轻微的渗透性漏失,可采用降低排量穿过漏层或静止堵漏。

如出现漏失严重,无法继续进尺时,采用速凝水泥或桥堵技术。

4.2.2 见气侵反应后

采用不分散钾铵基两性离子聚合物淡水加重钻井液。

4.2.2.1 净化基浆,去除有害固相

要求待加重的钻井液中钻屑体积含量 $\geq 4\%$,劣膨比(劣质土与膨润土之比)接近 1:1。操作中必须配合彻底清洁钻井液循环罐。若待加重的钻井液的性能不符合要求时,又不能经济地处理到满足要求,应放掉部分或全部旧钻井液,另配新的加重钻井液。

4.2.2.2 加重程序

按每 1816 kg 重晶石配 0.91 kg 选择性絮凝剂(PPHA、PAC-141)的比例向旧浆中加入重晶石,直到密度符合要求。加入聚合物的作用主要有 3 个:一为絮凝和包被岩屑,二为增效膨润土,三为包被重晶石、减少粒子间的摩擦。由于重晶石对聚合物的吸附,在处理加重钻井液时聚合物的加入应高于非加重钻井液。

密度达到要求后,再以 $0.29 \sim 0.57 \text{ kg/m}^3$ 为单位,逐渐加入聚丙烯酸钾等药剂调节动切力、静切力和滤失量,直到性能符合要求。

4.2.2.3 维护

维护好不分散加重聚合物钻井液的技术关键是通过加强固控以尽可能地清除钻屑。要实现这一点就要做到:

(1) 有效地使用固控设备;

(2) 重视化学处理,使用选择性絮凝剂(PPHA、PAC-141)包被钻屑,抑制分散以便于清除。

维持钻井液体积时要避免过量加水,防止造成重晶石悬浮困难。

及时清理循环罐。维持劣膨比在 3:1 以下。

聚合物应预水化好后从钻井液槽中缓慢、按循环周均匀加入。防止出现体系不均。如能通过增加膨润土含量实现则钻井液较易维护。

4.2.3 进入碱层前转化成盐水钻井液

4.2.3.1 裸眼转化

进入碱层前,通过对转化前淡水钻井液性能的小型实验数据(该数据应及时准确积累),换算好转化后的盐水钻井液体积,配置好饱和盐水钻井液转换所需要量约 2/3 的预水化膨润土浆+聚合物处理剂的胶液。

按计算好的混合比例边混合胶液边放掉多余钻

井液。混合均匀后加盐至饱和的同时补充剩余 1/3 部分的预水化膨润土浆+聚合物处理剂的胶液,调整性能达到要求。

最后加入盐抑制剂 0.4% 左右,循环观察后按上述方法加重(预水化膨润土浆+聚合物处理剂的胶液+重晶石)至要求密度。

4.2.3.2 维护

配制维护中膨润土、各种药剂应先用纯碱处理水制成胶液后加入,盐与盐抑制剂、重晶石应后加。

严格控制钻井液中的膨润土含量,如因土含量过低而出现动切力偏低、携屑能力差、滤失量大、泥饼厚等情况可补充预水化膨润土浆。如因土含量增高引起粘度、切力上升时,可在加强固控后,加入饱和盐水或饱和盐水胶液并同时加重晶石加重以相对降低钻井液中的土含量。

保持护胶剂与降滤失剂在钻井液中的含量,日常准备胶液,均匀加入。

严格控制钻井液中的岩屑含量,维持劣膨比在 3:1 以下,振动筛尽可能用 60 目以上的筛布,保证除砂清洁器效果。

斜井段应加入润滑剂降低泥饼摩阻,防止粘卡。

如出现振动筛与钻具上出现盐重结晶、停泵后开泵泵压增高、碱层缩径等情况,应及时补充盐抑制剂。

钻遇易垮塌、裂隙发育地层,及时加入磺化沥青或酚醛树脂。

如遇携屑不好、动塑比过低时,除补充预水化膨润土浆外,可加入改性石棉处理。

工作中还要防止因钻井液加重引起的井漏,造成喷、漏共存的复杂情况。

维护以护胶为主、降粘为辅,同时使钻井液流变参数及滤失量达到钻井施工要求。操作中控制滤失量难度最大。

选用抗盐粘土有利于护胶,但其形成的泥饼质量较差。

使用时处理剂数量必须加足,才能保证钻井液性能稳定。

应特别注意盐层顶底板等泥岩段的卡钻情况。特有的复杂情况“盐卡”可采用淡水胶液解卡。

4.2.4 确保完井

(1) 完钻前 20 m,加入 0.5%~1.5% 的润滑剂,确保全井钻井液性能稳定、良好。

(2) 钻完进尺后,大排量充分循环洗井。

(3) 循环洗井后,短起下钻具 300 m 以上,下钻

到底开泵循环洗井 2 个循环周,此时不得调整钻井液性能。

4.2.5 设备保障

各井队需备用 80 m³ 循环罐,震动筛、除砂器、清洁器等固控设备运转良好,预水化池多个。

4.2.6 消泡

准确判断钻井液严重起泡现象是由以下 3 种可能的哪种原因引起的:气侵、盐溶解、加油包剂,调整钻井液性能,选择有效消泡剂。

5 施工体会

(1)大型集团式钻井施工项目,必须注意数据准确收集,及时积累地区经验,这一点十分重要。土耳其贝帕扎里(Beypazari)天然碱矿水平对接井工程的成功实施,很大程度上得益于充分重视基础技术数据的科学准确采集和积累。

(2)因饱和盐水钻井液的特殊性,在操作中更应该注意钻井液根本体系(分散、不分散)的有利性调整和经济性分析。

(3)关于钻井液药剂,国内主要大厂家的产品

在与国外产品的使用对比中无论质量和价格均有优势,但钻井液基础原料——钠基土粉的质量和土耳其生产的 KARAKAYA 品牌差距巨大。

(4)在钻井液性能指标控制良好的情况下,天然碱的溶解程度极其微弱,碱矿层井眼超径现象并不明显,碱矿层岩屑录井清晰,这一点和想象的有很大区别,本工程在施工中后期针对这一点对钻井液体系进行了相应的简化,进一步提高了效率,节约了成本。

参考文献:

- [1] 逢磷. 土耳其贝帕扎里(Beypazari)天然碱矿水平对接井工程钻井液设计[R]. 辽宁辽阳:东北煤田地质局 103 勘探队, 2005.
- [2] 贝帕扎里天然碱矿溶解采矿项目基础设计[R]. 湖南长沙:化工部长沙设计研究院, 2005.
- [3] 土耳其贝帕扎里(Beypazari)天然碱矿水平对接井工程完工总结[R]. 辽宁辽阳:东北煤田地质局 103 勘探队, 2007.
- [4] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 东营:石油大学出版社, 2001.
- [5] 徐同台,等. 深井泥浆[M]. 北京:石油工业出版社, 1994.
- [6] 蒋希文. 钻井事故与复杂问题[M]. 北京:石油工业出版社, 2001.

(上接第 168 页)

m 孔深,26 天顺利终孔。

鹰咀山矿区绳索取心钻进技术指标与该矿区历年普通双管钻进技术指标对比见表 8。

表 8 鹰咀山矿区绳索取心钻进与普通双管钻进技术指标对比表

时间	钻探方法	纯钻时间 /%	平均台月 效率/m	最高台月 效率/m	平均回次 进尺/m	最大回次 进尺/m	平均提钻 间隔/m	最大提钻 /间隔 m	事故率 /%	平均岩心 采取率/%
2006 年	绳索取心	53	377.7	495	1.53	3.0	19	73	14	92
历年	普通双管	42	242	334	0.9	2.8	0.9	2.8	73	78.5

从表 8 可以看出:绳索取心钻进的各项指标都有较大幅度的提高。

2006 年 7 月,我公司先后 3 台钻机进入该矿区施工,共施工 7 个钻孔,完成工作量 2577 m,实现产值 227 万,每个钻孔都穿过 2~3 层破碎带。采用低固相泥浆钻进,杜绝了钻杆内壁结垢;对水敏性地层及破碎不稳定地层起到了抑制作用。

5 结论

(1)此次试验的 KHm- PHP- 田菁粉超低固

相、极细分散冲洗液,起到了保护岩心、抑制水敏性地层、降低环空动压、防止钻杆结垢的作用。

(2)在破碎地层中钻进时,可适当提高 KHm、PHP 的浓度及粘土的含量,为防止钻杆结泥皮,可适当降低转速。

(3)若遇水敏性地层时,除适当调节泥浆性能外,应控制好水泵泵量,防止冲蚀孔壁而超径。

(4)应精心操作,尤其提下钻过程中,环空外压力绝对值较大,易抽塌孔壁。