

土耳其卡赞碱矿对接井水溶开采技术创新综述

刘汪威, 涂运中, 刘海翔, 张新刚, 林修阔

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:土耳其卡赞碱矿钻井项目主要利用高精度中靶技术使定向水平井与垂直井在碱层中对接后进行水溶开采的方法。该项目通过长期大量的钻井工作,在已有的钻井技术与地质条件基础上,改进完善了与地层相适应的钻井技术,建立了矿区三维地质模型,设计应用了水平分支对接井,优化了钻井轨迹设计,建立起非矿层与矿层的基准物探测井响应曲线,探索出矿区地层致斜机理及相应钻井防斜措施,研究并应用了各种井底钻具组合与设备,采用了提高水平钻井轨迹控制精度的技术方法。上述多种水溶采矿钻井技术创新措施的应用,提高了矿山规划能力、降低了施工成本、提高了资源回采率、缩短了施工工期、降低了劳动强度、提高了钻进效率、减少了施工用地以及对环境的破坏。可为天然碱矿及可溶性矿产的整体矿山规划,以及钻井水溶采矿技术的提高提供借鉴。

关键词:天然碱矿;水溶开采;对接井;定向钻探技术;水平分支井;三维地质模型;防斜措施;井底钻具组合;钻井轨迹控制;技术创新;土耳其卡赞碱矿

中图分类号:P634.7;TD87 文献标识码:A 文章编号:1672-7428(2020)08-0014-10

Review on innovative techniques for solution mining with intersected well sets at Kazan Trona Mine in Turkey

LIU Wangwei, TU Yunzhong, LIU Haixiang, ZHANG Xingang, LIN Xiukuo

(Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: Solution mining of Kazan Trona Mine in Turkey is realized by the intersected well set, which is formed by drilling of one horizontal well to intersect one or more vertical wells with help of the high accuracy target-hitting guidance system. On the basis of the previous long-term experience, the existing drilling techniques and geological characteristics of the mine, a series of innovative drilling techniques have been developed for the purpose of better exploiting the mine, including the strata-specific drilling techniques, the 3D geological model for the mine, the design and application of intersected wells with horizontal branches, the optimization of the horizontal well trajectory design, the setting up of the standard geophysical logging response curves for the ore and non-ore ledges, the deviation control methods based on the study on the formation deflecting mechanism, proper combination of various BHAs, the technique to improve control of the horizontal drilling trajectory, etc. A lot of benefits have been achieved by the application of these techniques, such as the improvement of the planned productivity of the mine, reduced well construction cost, enhanced recovery of the trona resources, decreased construction period, raised drilling efficiency, and minimum impact on environment. The innovative techniques can be referred as a guide for the planning of trona or other soluble mines, and for the construction of intersected well sets.

Key words: trona mine; solution mining; intersected well set; directional drilling technology; horizontal branch well; 3D geological modelling; deviation control method; BHA; drilling trajectory control; innovative techniques; Kazan Trona Mine in Turkey

0 引言

目前天然碱矿的开采主要采用钻井水溶采矿的

方法。该方法利用天然碱矿床易溶于水的特点,通过钻井注入淡水,溶解地下矿床中的有益组分,成为

收稿日期:2020-05-19; 修回日期:2020-07-09 DOI:10.12143/j.tkgc.2020.08.004

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“土耳其卡赞-贝帕扎里天然碱矿探采方法技术合作”(编号:DD2019090602)

作者简介:刘汪威,男,汉族,1982年生,高级工程师,地质工程专业,主要从事受控定向钻进连通井相关科研与设计工作,河北省廊坊市金光道77号,liuww88@qq.com。

引用格式:刘汪威,涂运中,刘海翔,等.土耳其卡赞碱矿对接井水溶开采技术创新综述[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(8):14-23.

LIU Wangwei, TU Yunzhong, LIU Haixiang, et al. Review on innovative techniques for solution mining with intersected well sets at Kazan Trona Mine in Turkey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(8):14-23.

溶液返出地面,通过管道输送到工厂进行加工^[1-2]。

定向钻井技术在布置井位时可避开地表不利地形开采其地下矿产。水溶采矿法具有节约土地资源、环境破坏小、开采成本低、设备和工艺简单、劳动条件好等优点,特别适用于埋藏较深、厚度较薄或品位较低的可溶性固体矿产,已在国内外一系列工程项目中得到了成功应用^[3-5]。

土耳其卡赞(Kazan)碱矿主要采用的是 1 口水平定向对接井利用高精度中靶技术与 2 口垂直井在碱层中对接后进行水溶开采的方法。通过长期大量的钻井工作,在已有的钻井技术与地质条件基础上,应用了多种水溶采矿创新技术措施。

1 矿山概况

土耳其卡赞碱矿位于首都安卡拉市西北 35 km,矿床南北长 4.5 km,东西宽 3.7 km,面积约 9.8 km²。矿区内地质条件复杂,地层具有较强的自然致斜特性。矿区地下水丰富,钻井过程中容易发生涌水。

矿区内从地表到目的层有新近纪和始新世 2 个沉积年代的地层,其中新近系地层可分为河流碎屑岩和湖相碎屑岩。始新统地层可划分为 Akpinar、Sarikaya、Fethiye、Asmalidere 与 Incirlik 地层。天然碱矿矿体赋存于始新统下层的 Incirlik 地层中,埋深在 600~700 m,含矿段厚度为 60~100 m,从上至下分布有 Bed10、Bed Y、Bed X、Bed9~Bed1 等 12 个碱层,每层厚度 0.5~20 m 不等,可采资源量丰富,具有极大的开发利用价值。其中,碱层平均厚度最大的为 Bed3 碱层,厚度为 10~25 m,为水溶开采的首采层。

该碱矿已成功完成试采、一、二、三期钻井项目,合计约 100 余组天然碱对接井,目前正在实施四期钻井项目^[6-11]。该项目在已有的钻井技术与地质条件基础上,通过长期大量的钻井工作,积累了丰富经验,应用了一系列天然碱对接井水溶采矿技术创新措施。

2 三维地质模型创新措施

2.1 三维地质模型的建立

早期设计主要是通过二点一线连接,不能真实反映多层天然碱矿层顶底板变化规律,容易产生丢矿、穿顶底板等事故,通过在矿区布局适当的勘探井和勘

探生产两用井,利用新获得的地质勘探数据,补充矿区现有地质勘探数据库,建立起矿区地质数据库。

利用现代计算机技术,采用有效筛选法,在大量钻井的地质资料基础上,通过分析研究矿区现有地质资料快速筛选出有用资料,合理布局地质勘探井,建立起矿区各种三维地质模型^[12]。

2.1.1 水文地质模型

通过历史水文数据及含水层参数,查明地表水和地下水资源的特征,矿山与地下水之间的联系,为矿井设计提供解决方案。该矿区含有 3 个独立地下含水层,从上至下,分为浅层弱含水层、中部含水层、深部含水层,矿区水文地质模型见图 1。

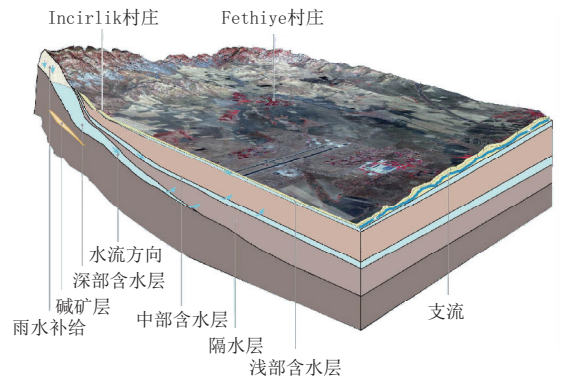


图 1 卡赞碱矿水文地质模型

Fig.1 Hydrogeological model of Kazan Trona Mine

该区内深部含水层系统主要沿西侧脊突带进行补给,地下水流向为东西向,有一个向上的地下水梯度,对中、浅层含水层进行降梯度回灌。与深部含水层系统相似,中部含水层的渗流方向为东西向,也有一个向上的地下水梯度和充电浅系统。

2.1.2 断层分布模型

通过三维地震勘探结果,解析出主断层、次生断层、褶皱、破碎带等分布数据,并对影响主矿层 Bed3 碱层的断层活动进行解释与分析,建立起断层分布模型。

该模型对矿山开采的井网布置至关重要。在井位布置中,应尽量避免已知断层,可降低对溶采通道的影响,能避免出现生产溶剂注入钻井时,渗入断层裂隙、破碎带或深部地层中而无法返出的情况。

2.1.3 主矿层地质模型

模型建立的范围及各参数如下:

(1) Y 坐标范围值(东西方向)为: 455000 ~ 464000 m;

(2) X 坐标范围值(南北方向)为: 4439000 ~

4446000 m;

(3)网度大小:5 m×5 m;

(4)建模计算方法:最小曲率法;

(5)建模计算参与数据:地层数据、矿层数据、含水层数据、断层分布数据。

2.2 三维地质模型的应用

2.2.1 有助于钻井轨迹设计^[13-17]

未掌握地质建模方法前,只能按甲方设计进行钻井作业。在地质复杂区域,由于甲方设计变更不及时,导致盲目钻进、反复找矿、堵井后复打等一系列问题,增加了大量的工作量。采用地质建模方法后,可及时更新地层数据,钻井施工前进行钻井轨迹的更新设计,指导后续的钻井工作,能减少不必要的工作量,钻井结构设计见图2。

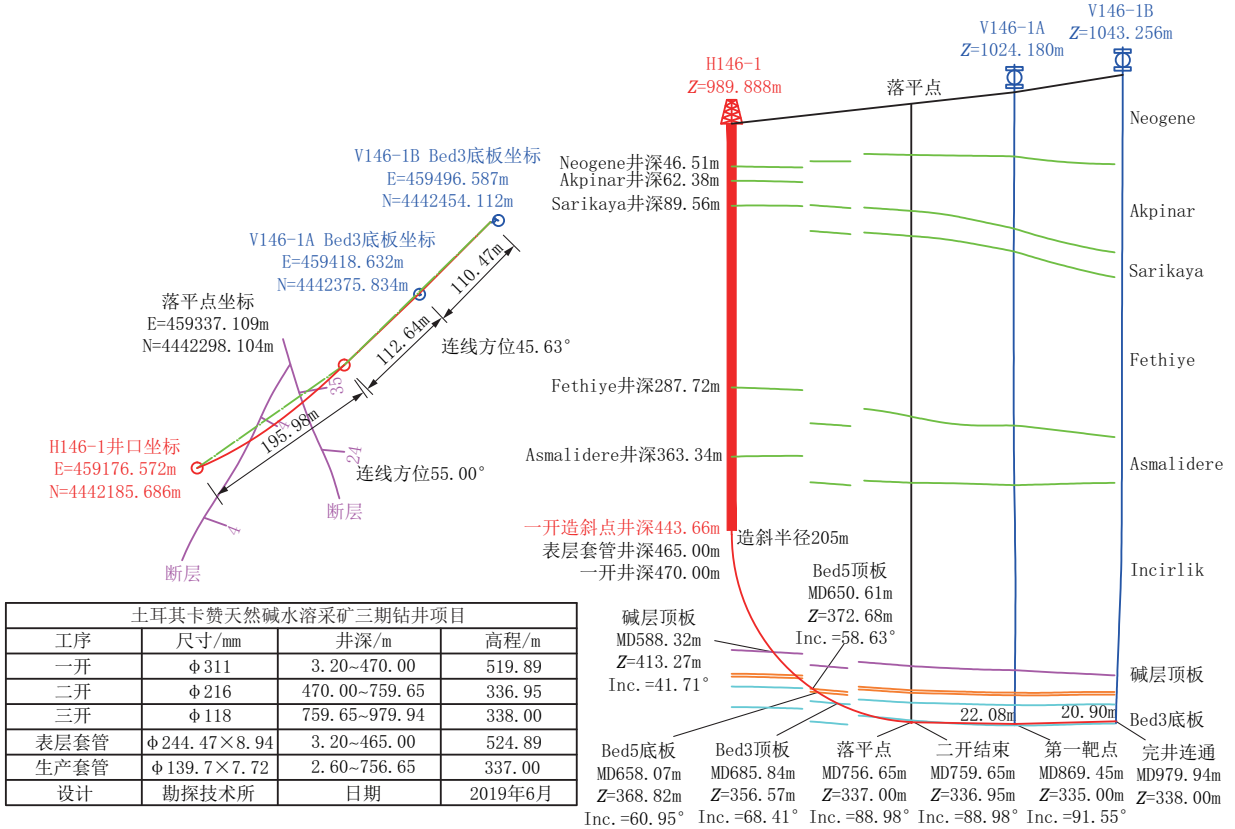


图2 水平井钻井结构设计
Fig.2 Horizontal well structure design

2.2.2 有助于减少报废钻井

通过在垂直井中进行钻探取心和电测井取得地层资料,根据所取得的资料及时更新矿区三维地质模型,推测出周围矿层的赋存情况,指导后续钻井工作,能减少钻井报废风险。例如在施工V002-2A井时,取心数据和物探测井结果显示,该井未发现主矿层Bed3,而原设计该层厚度为4.67m。针对此特殊情况,立即暂停周围钻井的施工安排,及时将该井数据更新到三维地质模型中,根据最新的地质模型取消南部边缘部分井组,减少了大量损失,见图3。

2.2.3 有助于钻井设计变更

通过已完井的取心与电测井结果分析,对周边的矿层赋存情况进行更新,可以此判断出原设计的

水平井位置是否合适、是否需要重新布置,首采矿层是否存在、是否需要改变。

例如,P031井组的原设计是将垂直井V031A和V031B作为2个靶点在Bed3碱层中进行连通。由于附近断层发育,导致地层不稳定,2口垂直井的地层数据显示,原设计的首采矿层Bed3碱层只在垂直井V031A中出现,垂直井V031B中并未出现,导致水平井H031无法按照原设计在Bed3碱层中钻进。经过多次技术讨论,综合考虑技术风险和钻井成本,最终采用将首采矿层变更为Bed5碱层的方案:采用套管锻铣开窗技术将垂直井V031A封闭在套管中的Bed5碱层暴露出来,水平井H031在Bed5碱层中将2个靶点连通,见图4。

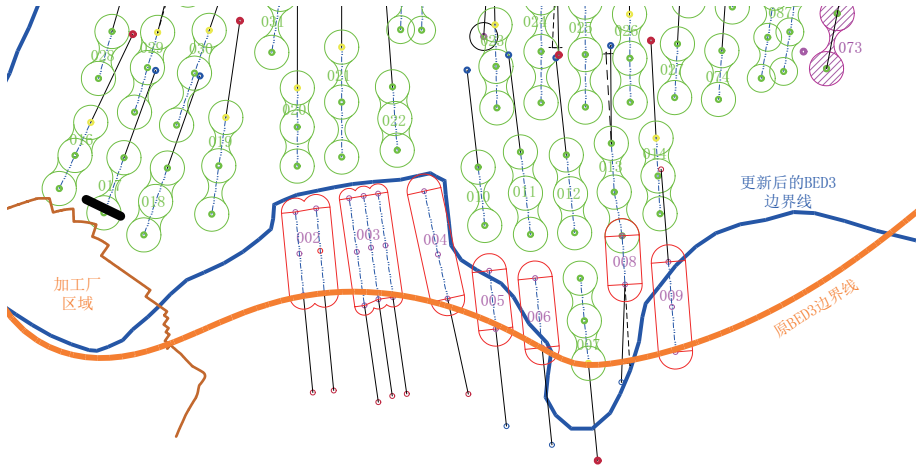


图 3 更新地质模型有助于减少报废井

Fig.3 Updated geological model to reduce abandoned wells

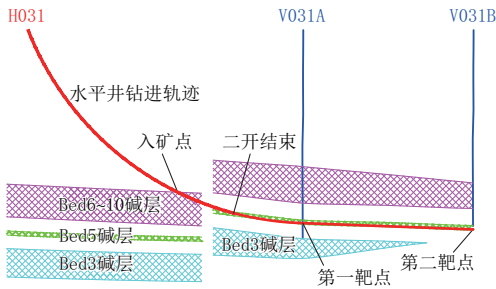


图 4 设计变更后的 P031 井组连通示意

Fig.4 Schematic of P031 well set connection after design alteration

3 布井设计创新措施

3.1 地质图件的绘制

通过搜集整理矿区的地质数据、岩心化验数据、水文数据等资料,按照国际技术标准及地质表达习惯,绘制如下地质图件,有助于矿山整体布井设计。

(1)矿层底板等深线图:反映矿层的高程变化规律,为钻井井位布置提供依据,将井组轴线平行于等深线布置,有利于水平井在碱层中水平钻进;

(2)矿层等厚线图:反映矿层厚度变化,矿层分布面积和边界矿层范围,并提供基础的井位布置,可避免在薄矿层附近布置井位;

(3)碱矿石品位分布图:通过对钻井的岩心分析,说明矿石的化学成分在空间上的变化,可以避免在品位低或含盐量高的区域布置井位;

(4)含水层等深线图:通过勘探井和水文地质井的分析,说明含水层位置的变化,有利于为每口钻井设计出合理的套管深度;

(5)断层分布图:通过三维地震勘探结果,说明主断层、次生断层、褶皱、破碎带等分布情况,有利于

避开断层布置井位。

3.2 多井组分支井溶采方案^[18]

该碱矿的开采中,设计出一种多井组分支井溶采方案,采用一口水平井分支对接 4 口垂直井(见图 5)。该方案采用了水平分支井的特点,取得了较好的效果。

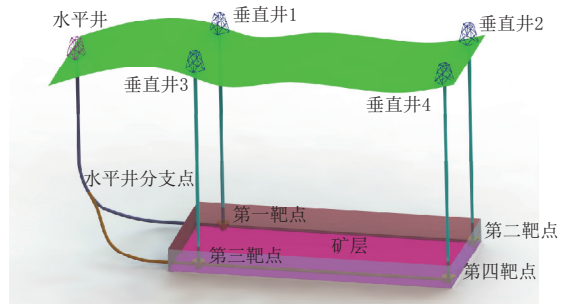


图 5 多井组分支井示意

Fig.5 Schematic of multi-branch intersected well set

其具有如下几大优点:

- (1)可有效控制某一区域的矿产资源;
- (2)大大降低了施工成本;
- (3)提高了矿层的回采率;
- (4)减少了施工工期;
- (5)降低劳动强度(减少搬家次数);
- (6)减少了施工场地,降低对环境的破坏。

3.3 对接井分层同时开采方案

探索出对接井分层同时开采方案,可以在开采 Bed3 碱层的同时,实现对 Bed2 碱层的开采,以提高矿山的资源利用率。

在原设计井组中,水平井 H001 连通 Bed3 碱层

之后,采用分支侧钻的方式开采 Bed2 碱层。水平井组所采用的参数与原设计基本一致,水平井造斜距离 200 m,两垂直井距离在 75~100 m,开采 Bed2

的分支点距离 V001A 垂直井为 70~80 m,见图 6^[18]。该方案达到了提高回采率的效果,且具有钻井工作量少、工期较短及投资费用较低的优点。

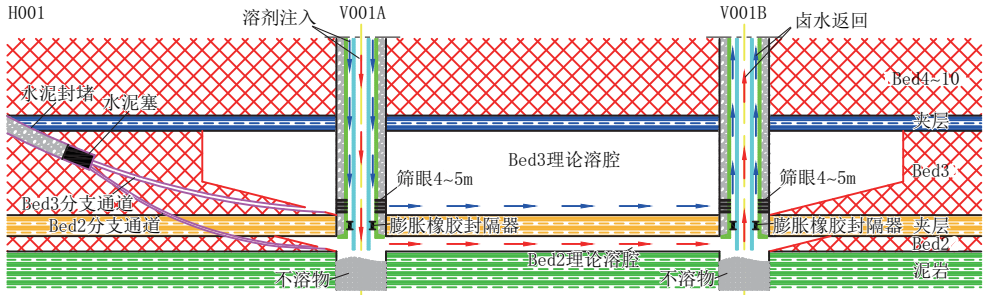


图 6 井组分层同时开采示意

Fig.6 Schematic of simultaneous mining of multiple trona layers with one intersected well set

4 定向轨迹控制创新措施

4.1 探索出矿区地层致斜特性

该矿地质条件较为复杂,图 7 为 Bed3 碱层底板等高线图。主要特征有地层倾角大,达到了 $10^{\circ} \sim 16^{\circ}$;其次是软硬互层,深度 0~200 m 范围为以 Neogene、Akpınar、Sarıkaya 地层为主的较软的粘土岩、泥岩与较硬的硬质泥灰岩互层,深度 200~400 m 范围为 Fethiye 地层以硬质泥灰岩为主,深度 400 m 至矿层范围为 Asmalidere 地层以较软的棕色泥岩为主。

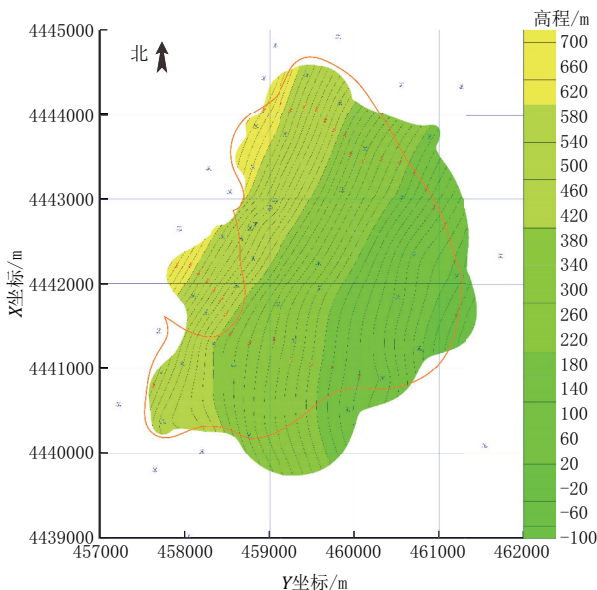


图 7 Bed3 碱层底板等高线分布

Fig.7 Contour map of the floor of the Bed3 trona layer

在钻井施工中,由于地层软硬互层和倾角大,导致地层具有较强的自然致斜特性,增加了钻井井斜

的控制难度。以 V108-2A 井为例,一开完钻时,电测井结果显示,钻孔最大井斜角达到了 5.2° ,孔底偏移距离达到了 17.6 m。钻井技术合同中规定垂直井在终孔时井斜必须控制在半径为 6 m 的平面靶圈范围内。因此,该井斜结果导致只能采用水泥填井,重新分支进行一开纠斜的补救措施,增加了工期和重复工作量。若全部垂直井采用纠斜钻具施工的方案,需投入大量设备和人员,增加施工成本。

4.2 实施多种井斜控制措施

钻井施工中,对钻具结构和钻井参数进行了研究与实验对比,主要实施了以下几种措施进行井斜控制:

(1)通过研究发现,已完井的钻井偏斜方位均在 $300^{\circ} \sim 330^{\circ}$ 区间内,正好与地层倾斜方向相反,即钻井时钻头垂直于地层方向偏移。根据地层的这一自然致斜特性,在布置井位时,不将其放置在设计靶点处,而是从设计靶点沿着 $120^{\circ} \sim 140^{\circ}$ 方向移动一定的距离(需根据井场地形条件和设计钻井深度综合考虑具体的偏移量),钻进时轨迹会由于地层的自然致斜而偏向设计靶点。

(2)在最容易导致井斜的软硬地层交界位置,进行吊打的形式,轻压钻进。

(3)司钻需严格控制钻进速度,匀速钻进,切勿因出现软地层而提高钻速。

(4)在靠近钻头的位置,增加一定数量的钻铤,使整个钻具组合更好地保持垂直;增大钻铤的尺寸,以减小环空间隙,起到扶正器的作用。

例如,垂直井 V148-1B 在钻井施工前,将井口位置相对于设计靶点往 130° 方向挪动了 10.28 m,

通过调整钻具组合和钻井参数,一开孔底偏移距离降低到了 5.81 m,且偏移方向正对设计靶点位置,后续二开钻进则无需采取任何纠斜措施即可顺利进入靶圈范围内,见图 8。通过采取上述措施,在钻井施工中,能大幅降低纠斜施工工作量、减轻工作强度、提高施工效率、缩短工期、降低成本。

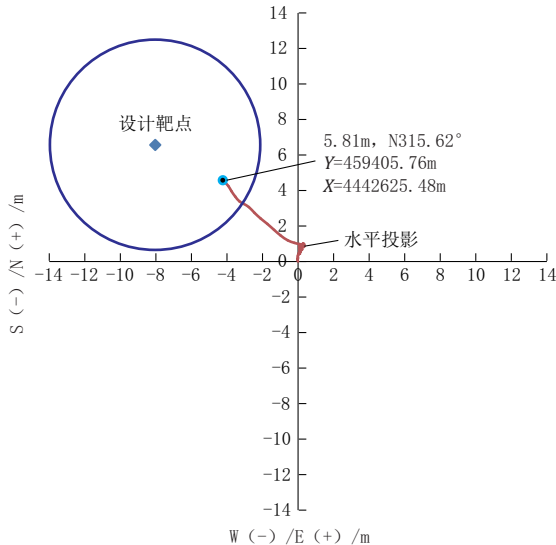


图 8 V148-1B 井井斜控制效果

Fig.8 Deviation control for V148-1B

5 取心技术创新措施

技术合同中对钻井取心的岩心采取率要求,在含矿层应大于 95%(长度和直径都达到),非矿层应大于 90%。而项目前期施工中采取的单管烧结取心方法时常不能达到合同技术要求。

因此,通过设备更新,采用了双管单动取心技术,并对取心操作进行了严格的规定,满足了合同技术要求,具体措施如下:

(1)钻具组合: $\text{O}140$ mm 取心钻头 + $\text{O}127/108$ mm 双壁取心钻杆 + $\text{O}121$ mm 钻铤 $\times 6$ 根 + $\text{O}73$ mm 钻杆;

(2)下钻前,检查取心工具、取心钻头,及各部分丝扣完好,组装时必须上紧;

(3)上下钻台时,采取必要保护措施包裹好钻头,防止碰坏钻头胎体;

(4)下钻时,操作要平稳,控制速度,不得猛放、猛刹,严防顿钻;

(5)取心钻进前,保持井眼通畅无阻,无垮塌沉屑,井底无金属异物;

(6)取心钻进中,要求送钻均匀、平稳,防止溜

钻,钻压 < 30 kN,中途不得停泵、提钻,发现严重憋钻或进尺突然变慢时,应立即割心起钻;

(7)起钻时,操作要平稳,不得猛提、猛拉,不准使用转盘卸扣;

(8)岩心从岩心管取出时应小心操作,须清洗干净,然后置于岩心箱内;

(9)岩心入箱摆置必须保持其原来次序,各回次岩心由分隔挡板分开,摆放时减小对岩心的破坏;

(10)经检查无误后,对岩心进行编号,在岩心和岩心箱上作必要的标记,岩心自然干燥后要密封。

6 物探测井创新措施

通过矿区内取心钻井数据,分别对岩屑录井、岩心录井结果与物探测井曲线解释结果进行对比研究,分别建立起非矿层段与矿层段的基准物探测井响应曲线。下面以 V140-1A 井为例,简要说明其对比情况。

6.1 非矿层段

根据本项目岩屑、岩心录井技术操作规程,在一开井段每钻进 2 m 捞取一次岩屑样品,二开井段至开始取心前每钻进 1 m 捞取一次岩屑样品,经清洗、晾干等标准流程后进行描述。钻至设计深度后,下入通井管清除井壁上附着的岩屑后,进行裸眼测井。通过测井,获得自然伽马、电阻率、自然电位和侧向电阻率等测井曲线,经过分析研究可发现有几处明显的地层分界点,岩屑录井与物探测井曲线解释结果对比情况见表 1。

通过对比依据地质录井判别的地质分界点和依据物探测井曲线中判别的地质分界点,可以发现两者之间判层的结果,深度上误差在 5 m 以内,具有较好的相关性。

6.2 矿层段

根据钻井设计,在二开钻进至最上部碱层顶板以上 15 m 时,开始起钻更换取心钻具,采取岩心样品,并按照技术规范,清洗干净、划红黑线,并按要求摆放在岩心盒内,随后进行岩心录井。该取心井在碱层段的平均岩心采取率在 96% 以上,符合技术合同规定。

取心完成后,起钻更换全面钻进钻具扩孔至 Bed3 碱层底板以下 15 m 处完钻。随后进行二开裸眼物探测井,并进行测井解释,判断碱层分布情况,见图 9。

表1 V140-1A井非矿层段岩屑录井与物探测井对比

Table 1 Comparison of cuttings logging and physical logging results for the non-trona interval of V140-1A

序号	地层	岩屑录井结果		物探测井结果	
		深度范围/m	主要岩性	特征点/m	特性描述
1	Neogene	0~110	棕黄色泥岩、绿色泥灰岩和白色凝灰岩	113	API值较大,电阻率曲线有显著变化
2	Akpınar	110~232	浅绿色粘土岩,泥岩及少量泥灰岩	230	API值较低,变化较小,侧向电阻率明显降低
3	Sarıkaya	232~258	浅棕色、棕色粘土岩与泥岩互层	257	API值偏高,电阻率曲线有明显拐点
4	Fethiye	258~442	深绿色、绿色、棕绿色泥灰岩	442	API值明显升高,电阻率曲线有一个交叉点
5	Asmalıdere	442~510	棕色白云质泥岩,底部为碎屑岩楔	512	API值有多处明显的低值,电阻率明显偏高
6	İncirlik	510~	顶部为油页岩、白云质泥岩互层		未钻穿该地层

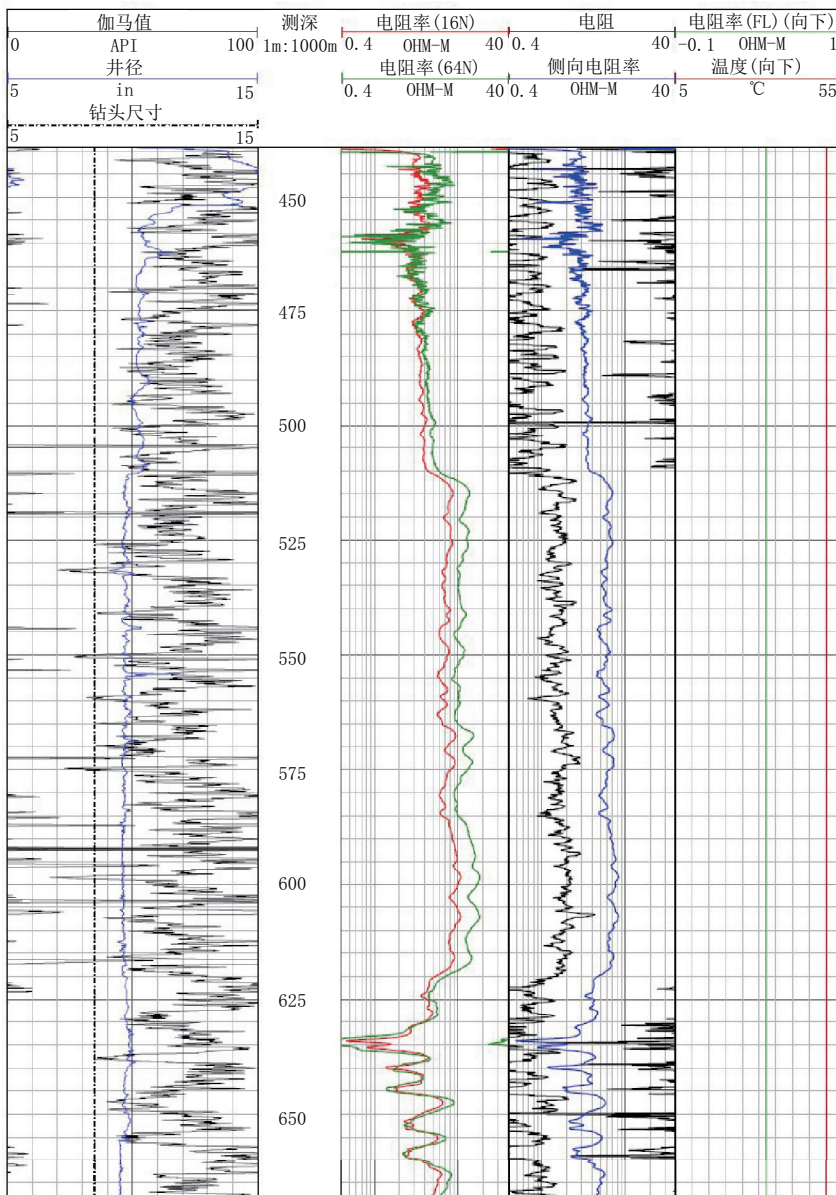


图9 V140-1A井二开裸眼测井曲线(部分)

Fig.9 Partial open hole log for the second drilling section of V140-1A

对于碱层,物探测井是以自然伽马和井径曲线为主进行判断。一般而言,碱层品位越高,自然伽马API值越低,井径扩大率越大。而对于2个碱层之

间的夹层,则具有较高的API值及较低的井径扩大率。因此,对于碱层,主要以自然伽马和井径曲线为主,结合电阻率曲线进行判层。

V140-1A 井在取得岩心录井和物探测井数据并进行碱层判层后获得的结果见表 2。在岩心采取

率较高的情况下,地质录井与物探测井数据具有极好的一致性,对于主要碱层,其深度差异在 0.5 m 以内。

表 2 V140-1A 井碱层对比

Table 2 Correlation of irona layers at V140-1A

序号	碱层	设计		地质录井		物探测井	
		井深/m	厚度/m	井深/m	厚度/m	井深/m	厚度/m
1	Bed9			683.87~687.22	3.35	684.70~688.20	3.50
2	Bed8	672.35~709.74	37.39	693.60~697.35	3.75	694.20~698.30	4.10
3	Bed7			701.17~703.67	2.50	702.10~704.70	2.60
4	Bed6			710.08~712.18	2.10	711.05~713.20	2.15
5	Bed5	715.74~718.08	2.34	718.80~722.05	3.25	719.95~723.20	3.25
6	Bed4	724.05~724.57	0.52	727.55~728.55	1.00	728.70~729.70	1.00
7	Bed3	729.50~748.49	18.99	732.90~753.35	20.45	733.00~753.55	20.55
8	Bed2			757.72~762.22	4.50	758.90~763.20	4.30
9	Bed1			766.98~767.58	0.60	768.00~768.70	0.70

综上所述,通过岩屑、岩心与物探测井的数据对比可以发现,二者在非矿段和矿段均具有非常好的一致性。因此,在此研究的基础上,建立起该矿区基准物探测井响应曲线,从而在后期的施工作业过程中,可以逐步减少取心作业规模,降低工人劳动强度,可以仅依靠物探测井就取得准确可靠的地质资料,同时也可建立更准确的矿区地质模型提供依据,从而进一步优化矿区的开采方案。

7 对接中靶技术创新措施

高精度定向钻井中靶导向系统是定向钻进对接连通关键技术的至关重要仪器,它的性能和中靶精度关系着水平井对接连通时是否能成功。我所于 2009 年研制成功了具有自主知识产权的高精度磁中靶引导系统,打破了国外的技术垄断,又于 2015 年成功研究了高温磁中靶系统。

该研究项目通过科技成果转化,形成了产业主导品牌——“慧磁”钻井中靶导向系统^[20-27]。该项目中 100 余井组全部采用了自我研发的中靶系统,在靶区半径仅有 0.3 m、矿层腔高只有 1.2 m 的条件下,定向水平对接井均实现一次对接成功的效果,大大降低了整个项目的施工成本,并促使了科研成果的高效转化应用。

8 钻井完井技术创新措施

在钻井施工中,垂直井在生产套管固井候凝 48 h 完成扫塞操作后,需在目的矿层的裸眼井段进行扩孔作业,目的是提高水平井对接施工一次中靶的

成功率。

传统方法是采用扩孔钻头进行扩孔,但扩孔钻头在使用过程中易出现断裂现象,甚至会出现一次下井操作便报废的情况;有时会出现扩孔钻头伸缩臂无法张开,导致扩孔效果不理想。这不仅提高了钻井成本,也增大了水平井的连通难度。

该矿区的天然碱矿层具有硬度低、小夹层互层多、易溶解等特性。创新性使用较大弯度的螺杆钻具来代替扩孔钻头进行扩孔作业,通过转盘驱动螺杆钻具转动,使钻头既自转、又公转,同时弯接头产生偏心作用,在目的矿层的裸眼井段来回滑动,通过钻头来回撞击井壁处矿层与泥浆循环溶解矿层的作用,在 $\varnothing 177.8 \text{ mm} \times 8.05 \text{ mm}$ 的生产套管中,扩孔段的直径达到了 300 mm 左右,取得了较好的扩孔效果,其扩孔示意图见图 10。

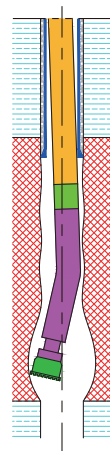


图 10 螺杆钻具扩孔示意

Fig.10 Schematic of under-reaming with PDM

9 结论与建议

土耳其卡赞碱矿项目在已有的钻井技术与地质条件基础上,通过长期大量的钻井工作,积累了丰富经验,应用了三维地质模型、分支井、井斜控制措施、双管单动取心技术、物探测井响应曲线、钻井中靶导向系统、螺杆钻扩孔作业等多种钻井技术创新措施,取得了较好的应用效果。

(1)通过获得的相关地质勘探数据,及时更新矿区地质勘探数据库,建立起水文、断层、矿层、矿石品位等三维地质模型,可有效提高矿山的规划能力。

(2)通过及时更新三维地质模型,推测周围矿层赋存情况,可优化钻井轨迹设计,助力钻井设计变更工作,降低无矿井报废风险。

(3)设计多种形式的分支井溶采方案,可有效控制某一区域的矿产资源,具有降低施工成本、提高矿层回采率、缩短施工工期、降低劳动强度、减少施工场地、减少环境破坏等优点。

(4)矿区内地质条件复杂,具有地层倾角大、软硬互层等特点,通过探索矿区地层致斜特性,对钻具结构和钻井参数进行对比研究,实施多种井斜控制措施,可大幅降低纠斜施工工作量,减轻工作强度、提高施工效率、缩短工期、降低成本。

(5)单管烧结取心技术易出现岩心采取率不稳定的情况,采取率不能达到合同技术规定,通过设备更新,采用双管单动取心技术,并对取心操作进行严格规定,岩心采取率可达到95%以上。

(6)通过对矿区内岩屑录井、岩心录井结果与物探测井曲线解释结果进行对比研究,可建立起非矿层与矿层的基准物探测井响应曲线,可大量减少取心作业规模,降低劳动强度,能仅依靠物探测井结果获得可靠的地质资料。

(7)“慧磁”钻井中靶导向系统,是定向钻进对接连通的关键设备。项目全面采用自我研发的中靶系统,既能降低施工成本,又能促使科研成果的高效转化应用。

(8)针对扩孔钻头易出故障的问题,根据矿层硬度低、小夹层多、易溶解等特性,创新性使用大弯度螺杆钻具进行扩孔作业,取得了较好的扩孔效果。

水平井在水平段施工时,经常出现托压现象,导致钻进速度降低,造成进尺缓慢甚至加上整个钻具的重力都无法钻进的问题。建议在项目后续实施中加强对该问题的研究,可以从更改钻具组合、增加顶

驱装置、复合钻进、优化钻井轨迹等方面着手进行试验研究。

参考文献 (References):

- [1] 王清明. 钻井水溶开采技术的发展与展望[J]. 盐业史研究, 2001(1):40-43.
WANG Qingming. Development and prospect of well solution mining technology[J]. Salt Industry History Research, 2001(1):40-43.
- [2] 洪常久. 水平对接井技术在天然碱矿中的应用[J]. 煤炭技术, 2008,27(6):142-143.
HONG Changjiu. Application of level docking wells in nature alkaline mine[J]. Coal Technology, 2008,27(6):142-143.
- [3] 李友辉, 李立明. 湖南澧县芒硝矿采卤井建井施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007,34(11):30-34.
LI Youhui, LI Liming. Construction technology of brine extraction well of glauber mine in Li County of Hunan Province [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(11):30-34.
- [4] 樊传忠. 盐矿水平对接井开采的几个关键问题[J]. 中国井矿盐, 2015,45(5):13-16,46.
FAN Chuanzhong. Essential issues of horizontal butted well mining [J]. China Well and Rock Salt, 2015,45(5):13-16,46.
- [5] 蒋太平, 李果民, 丁红卫. 四川省宣汉县钾盐普查 ZK001 参数井钻井施工技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2018,45(7):25-29.
JIANG Taiping, LI Guomin, DING Hongwei. Drilling construction technology of ZK001 Parameter Well for potassium salt survey in Xuanhan County of Sichuan Province[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2018,45(7):25-29.
- [6] 向军文, 胡汉月, 刘志强. 土耳其天然碱矿 30 对对接井钻井工程[J]. 中国井矿盐, 2007,38(5):25-28.
XIANG Junwen, HU Hanyue, LIU Zhiqiang. Well drilling in 30 pairs of butted wells in a trona mine in Turkey[J]. China Well and Rock Salt, 2007,38(5):25-28.
- [7] 林修阔, 刘汪威, 向军文. 采卤对接井技术在 XL3-7 井的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007,34(9):39-40.
LIN Xiukuo, LIU Wangwei, XIANG Junwen. Application of technology of connected brine wells in XL3-7 Well[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2007,34(9):39-40.
- [8] 向军文. 定向钻进控制预测技术[J]. 地质与勘探, 2010,46(6):1123-11126.
XIANG Junwen. Prediction technology for directional drilling control[J]. Geology and Prospecting, 2010,46(6):1123-11126.
- [9] 刘志强. 土耳其天然碱矿对接井技术应用[J]. 中国井矿盐, 2011,42(5):12-16.
LIU Zhiqiang. Application of docking well technology in Turkey natural alkaline mine[J]. China Well and Rock Salt, 2011,42(5):12-16.
- [10] 宫如刚, 曹福德, 曹文忠, 等. 土耳其贝帕扎里天然碱矿水平对接井施工工艺[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011,38(7):19

- 21.
- GONG Rugang, CAO Fude, CAO Wenzhong, et al. Technology of horizontal butted well construction in Beypazari Natural Alkali Mine of Turkey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(7):19—21.
- [11] 隆东,林修阔,王升,等.多靶点长距离水平对接连通井施工工艺[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2016,43(9):56—60.
- LONG Dong, LIN Xiukuo, WANG Sheng, et al. Multi-target and long distance horizontal intersected wells construction technology[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2016,43(9):56—60.
- [12] 向昆明,刘汪威,陈剑焱,等.三维地质建模在土耳其天然碱对接井设计中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(10):2—6.
- XIANG Kunming, LIU Wangwei, CHEN Jianyao, et al. Application of 3D geological modeling in Turkey trona solution mining project design[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(10):2—6.
- [13] 向军文.对接连通井及定向钻井轨迹设计[J].科技创新导报,2010(27):88,90.
- XIANG Junwen. Intersected well and directional well path design[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2010(27):88,90.
- [14] 刘海翔,刘汪威,陈剑焱,等.土耳其贝帕扎里采集卤盐井三期工程井组布置的优化设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(11):9—11.
- LIU Haixiang, LIU Wangwei, CHEN Jianyao, et al. Design optimization of well unite layout at Beypazari Trona Solution Mining Project (Phase III) [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(11):9—11.
- [15] 向军文.定向对接连通井轨迹设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(5):11—14.
- XIANG Junwen. Intersected well path design[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(5):11—14.
- [16] 刘汪威,林修阔,张新刚,等.特殊地质条件下定向对接复杂井组的工艺设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):13—16.
- LIU Wangwei, LIN Xiukuo, ZHANG Xingang, et al. Process design of complex connection well units in special geological conditions[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(4):13—16.
- [17] 刘汪威,刘海翔,涂运中,等.天然碱矿综合钻井水溶开采工艺设计[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(12):1—6.
- LIU Wangwei, LIU Haixiang, TU Yunzhong, et al. Comprehensive borehole solution mining design for trona mines [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(12):1—6.
- [18] 刘汪威,张正元,林修阔,等.土耳其卡赞碱矿对接井分层同时开采设计方案探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(8):57—63.
- LIU Wangwei, ZHANG Zhengyuan, LIN Xiukuo, et al. Design for simultaneous mining of multiple trona layers with an intersected well set at Kazan Soda Trona Mine in Turkey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(8):57—63.
- [19] 林修阔,陈剑焱,刘汪威,等.双通道平行井在采卤对接井中的首次应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(2):12—14,18.
- LIN Xiukuo, CHEN Jianyao, LIU Wangwei, et al. First application of double channel parallel wells in connected brine wells[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(2):12—14,18.
- [20] 胡汉月,陈庆寿.RMRS在水平井钻进中靶作业中的应用[J].地质与勘探,2008,44(6):89—92.
- HU Hanyue, CHEN Qingshou. RMRS application on target-hitting of horizontal drilling [J]. Geology and Prospecting, 2008,44(6):89—92.
- [21] 胡汉月,向军文,刘海翔,等.SmartMag定向中靶系统工业试验研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2010,37(4):6—10.
- HU Hanyue, XIANG Junwen, LIU Haixiang, et al. Industrial test research on SmartMag target-hitting guidance system[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(4):6—10.
- [22] 向军文,胡汉月.国产定向对接井精确中靶技术在盐矿中的应用[J].中国井矿盐,2010,41(5):16—18.
- XIANG Junwen, HU Hanyue. The application of accurate target technology of domestic directional butted-wells in salt mine[J]. China Well and Rock Salt, 2010,41(5):16—18.
- [23] 陈剑焱,胡汉月.SmartMag定向钻进高精度中靶系统及其应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):10—12.
- CHEN Jianyao, HU Hanyue. Experience on application of SmartMag high precision drilling guidance system[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(4):10—12.
- [24] 隆东,张新刚,岳刚,等.H024井施工工艺及精确中靶技术措施[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(3):5—8,12.
- LONG Dong, ZHANG Xingang, YUE Gang, et al. Construction technology of Well H024U and the technical measures of accurate target hitting [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(3):5—8,12.
- [25] 商敬秋,武程亮,刘汪威,等.无建槽直井的定向中靶作业[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(1):13—16.
- SHANG Jingqiu, WU Chengliang, LIU Wangwei, et al. Oriented target-hitting operation for vertical well without cavity building[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(1):13—16.
- [26] 胡汉月.对接中靶区建槽若干问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(7):20—23.
- HU Hanyue. Discussion of cavity development in the target area of intersection well pair [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2014,41(7):20—23.
- [27] 贺德军,栗俊,何建文.磁定位测量技术在定向对接井施工的应用探析[J].中国井矿盐,2015,46(1):14—18.
- HE Dejun, SU Jun, HE Jianwen. Application and analysis of the magnetic positioning technology in the directional butted well drilling[J]. China Well and Rock Salt, 2015,46(1):14—18.