

# 土耳其贝帕扎里矿区边缘对接井施工中的 问题分析与处理

隆 东, 涂运中, 林修阔, 刘汪威, 刘志强, 胡汉月

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**土耳其贝帕扎里天然碱矿是土耳其现已发现的 2 个天然碱矿之一, 现今采矿区域到达矿区边缘, 为了在规范条件下最大程度提高资源回采率, 需在矿区边缘布置对接井组对矿区边缘的矿产进行水溶开采。矿区边缘地质条件复杂, 多条褶皱带和断裂带位于本文研究区域。在前期钻井施工过程中, 发现此区域有明显的地质异常情况, 如首采层的尖灭、呈 V 形变化、倾角大且不规则变化等。针对贝帕扎里矿区边缘对接井组施工中出现的几个典型异常问题, 采用了套管锻铣技术、方位伽马配合定向钻进及“慧磁”中靶系统、增加勘探井布井密度等技术措施, 有效地解决了出现的问题。

**关键词:**天然碱矿; 水溶开采; 对接井; 矿区边缘; 复杂地质条件; 套管锻铣技术; 方位伽马; “慧磁”中靶系统; 土耳其贝帕扎里碱矿

**中图分类号:** P634.7; TD87      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1672-7428(2020)08-0035-08

## Analysis and solutions for the problems in drilling of horizontal intersected well sets at the boundary of Bepazari Trona Mine in Turkey

LONG Dong, TU Yunzhong, LIN Xiukuo, LIU Wangwei, LIU Zhiqiang, HU Hanyue

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

**Abstract:** Bepazari Trona Mine is one of the two trona mines discovered in Turkey. Now the solution mining area has reached the boundary of the mining area. In order to maximize the recovery of trona resources under the standard conditions, it is necessary to arrange horizontal intersected well sets at the boundary of the mining area to mine the trona out. The geological conditions at the boundary of the mining area are complex with many folding and fault zones located in the study area of this paper. In the early drilling period, it is found that there are obvious geological anomalies in this area, such as pinching out, V-shape, or irregular and high dip angles of the primary mining layer. In view of these typical abnormal problems in drilling of intersected well sets at the boundary of the mining area, several technical measures, such as the casing section milling technology, directional drilling with azimuthal gamma tools and SmartMag target-hitting systems, increasing the number of the exploration wells are adopted and all the problems have been resolved efficiently through these measures.

**Key words:** trona mine; solution mining; intersected well set; boundary of mining area; complex geological conditions; casing section milling; azimuthal gamma; SmartMag target-hitting system; Bepazari Trona Mine in Turkey

### 1 存在的问题

土耳其贝帕扎里(Bepazari)天然碱矿区(见图

1)地层依次为札维依(Zaviy)、卡基鲁巴(Cakiloba)、沙里亚吉尔(Saragil)、卡拉杜鲁克(Karadoruk)、河

收稿日期:2020-06-10; 修回日期:2020-07-10      DOI:10.12143/j.tkgc.2020.08.007

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:隆东,男,汉族,1984年生,高级工程师,勘查技术与工程专业,从事定向钻进施工及技术研究工作,河北省廊坊市金光道77号,ldyiet@hotmail.com。

引用格式:隆东,涂运中,林修阔,等.土耳其贝帕扎里矿区边缘对接井施工中的问题分析与处理[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(8):35-42.  
LONG Dong, TU Yunzhong, LIN Xiukuo, et al. Analysis and solutions for the problems in drilling of horizontal intersected well sets at the boundary of Bepazari Trona Mine in Turkey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020, 47(8):35-42.

卡(Hirka)和玻亚利(Boyalı)地层,依次简称为 Tz、Tc、Ts、Tk、Th。

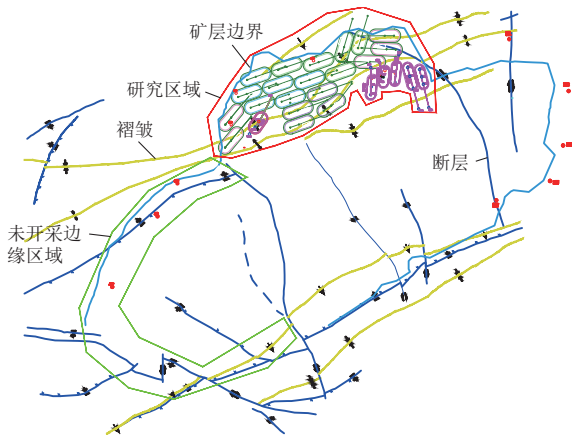


图1 贝帕扎里矿区开采区域  
Fig.1 Bepazari solution mining area

碱矿层位于主要由粘土层和含沥青的页岩组成的河卡地层中,埋深在 250~430 m 之间。在纵向上碱矿层分为 2 个矿组,每个矿组含 6~7 个主矿层,上部矿组划分为 U1~U6 共 6 个单碱层,累计矿层厚度为 11~21 m;下部矿组划分为 L1、L2-1、L2-2、L3~L6 共 7 个单碱层,累计矿层厚度为 6~16 m。共 13 个单碱层。2 个矿组之间为 20~25 m 厚的含粘土淡化层<sup>[1-2]</sup>。

矿区最先在矿层变化稳定的中心区域布井开采,经过 10 余年的水溶开采,为了在规范条件下实现产量最大化,从矿区中心向矿区边缘布井逐步开采。现采矿区域为矿区边缘,即本文研究区域(见图 2),矿区边缘地质条件复杂,多条褶皱带和断裂带位于此区域,在施工过程中此区域出现明显的地质异常情况。虽然前期在矿层边缘布置了多口勘探井,对矿区做了一定的研究,但是勘探井数量有限,不能预测到矿区每个设计井位的情况。特别是在矿区边缘复杂的地质条件下,根据有限的勘探井得到的信息及常规的预测分析已经无法准确判断此区域地层的情况,设计井组也只是依据既有的信息和原则布置。通过此区域部分已施工完井组中的直井资料,整理分析出最新的地层参数,发现了一系列新的问题:设计井组首采层的尖灭,首采层倾角呈 V 形变化,首采层倾角过大且不规则变化,设计井口位置偏离连线。这些问题的分析与解决成为合理布置矿区边缘后期溶采井组,高效采出矿区边缘矿物的关键。

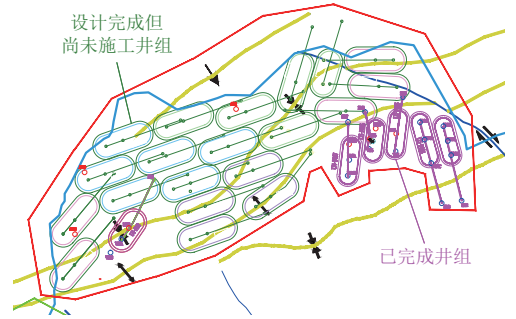


图2 贝帕扎里矿区边缘研究区域  
Fig.2 Study area at the boundary of the Bepazari solution mining area

## 2 问题的分析

### 2.1 首采层尖灭

根据早期勘探井取得的地层信息对计划施工区域进行了布井,这样的布井原则和方式对首采层分布相对稳定区域的井组是适用的。但是在矿区边缘复杂地质条件区域,在施工完部分井组的直井后,出现了设计首采层尖灭的问题,例如井组 P057 和 P128。

根据已有地质资料,P057 的原设计首采层为 U6 碱层,钻进完 V057B 后,经过电测结果分析发现确实存在 U6 碱层(见图 3),按原设计将套管下至 U6 碱层完井;但在施工完 V057A 后,经过电测结果分析,发现 U6 碱层出现了尖灭缺失现象,为实现正常溶采,通过分析与设计变更,将套管下至 U5 碱层,U5 碱层变更为新的首采层。

根据以往地质资料,P128 的原设计首采层为 U5 碱层,钻进完 V128B 后经电测结果分析发现确实存在 U5 碱层(见图 4),按原设计将套管下至 U5 碱层完井;但是在施工完 V128A 后,经电测结果分析,发现 U5 碱层出现了尖灭缺失现象,为实现正常溶采,通过分析与设计变更,将套管下至 U4 碱层,U4 碱层变更为新的首采层(参见图 5)。首采层的尖灭造成同一井组 2 个直井的套管下深层位不同,从而导致水平井不能在同一矿层连通 2 个直井形成溶采通道。从图 2 可以看出,2 个井组均处在褶皱带之间,矿区边缘地层易产生尖灭的情况是造成此问题的主要原因。

### 2.2 首采层呈 V 形变化

在矿区边缘,出现了首采层呈 V 形变化的现象,例如 P053、P054 与 P128 井组。此问题的典型特征为:施工完设计井组中的 2 个直井后,发现首采

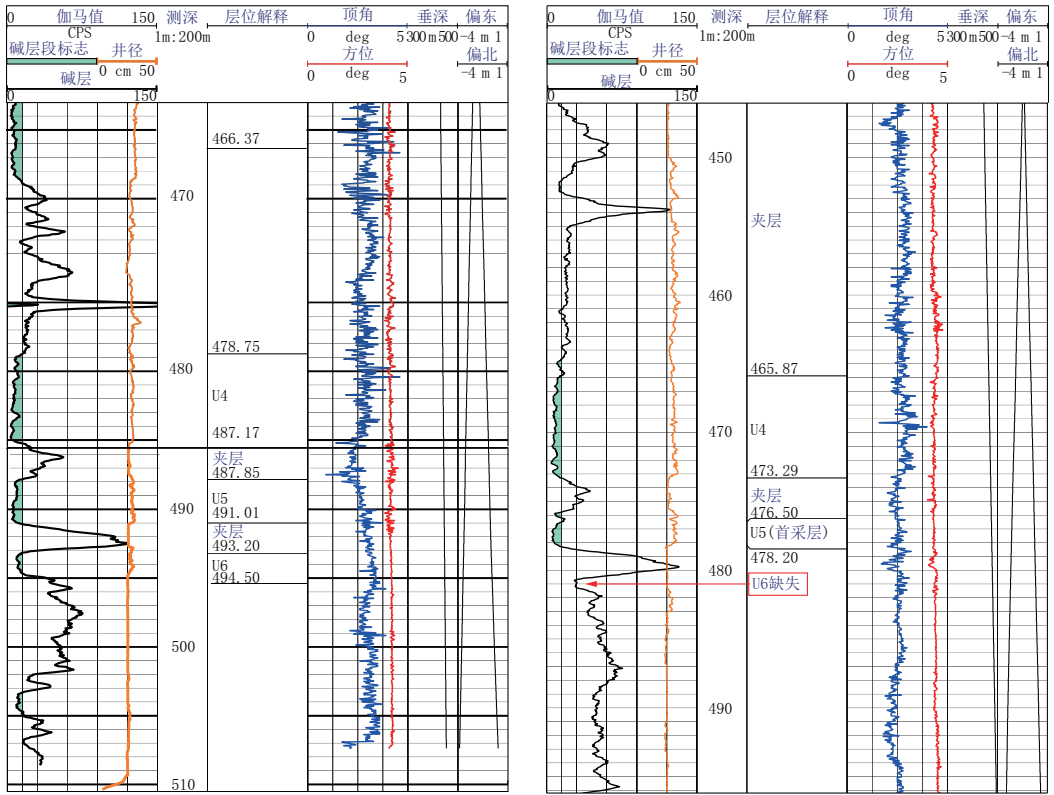


图 3 垂直井 V057B 和 V057A 测井结果

Fig.3 Geophysical logging results of vertical wells V057B and V057A

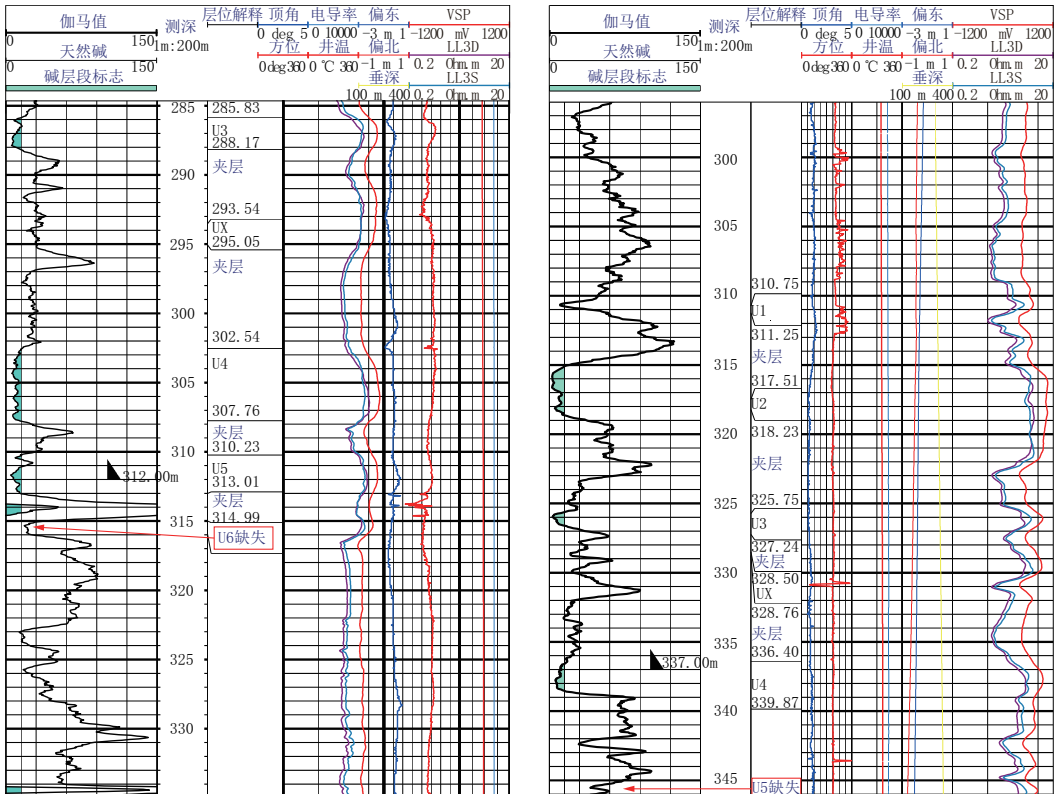


图 4 垂直井 V128B 和 V128A 测井结果

Fig.4 Geophysical logging results of vertical wells V128B and V128A

层在钻井连线剖面上倾角过大,超出了水平井施工能力。

经过分析与探讨,理想的解决方案是将水平井从西南侧更改到东北侧,这样矿层便变为下倾,为了不影响采矿量,在原设计落平点增加一口直井作为新的第二靶井,把原设计第二靶井变为落平点井,利用新布置的水平井连通3个靶井作为溶采通道。在施工完落平点直井后却发现矿层并不像预料中一样从原第二靶井到第一靶井延续到落平点井呈连续下

倾,而是呈V形变化(见图5)。由于螺杆马达的造斜率有限及顶角不能急剧变化,水平井的水平段轨迹在呈V形变化的碱层中钻进时,不能始终保持在碱层中行进,易穿出矿层底板,且出矿段位于V形的底部,极易造成溶采通道非矿段产生的不溶物积聚,导致溶采通道的堵塞。从图2可以发现,三个井组均处于矿区边缘褶皱带附近,且P053和P054附近有断层存在,矿区边缘地层易产生较大起伏呈V形变化的情况是造成此问题的主要原因。

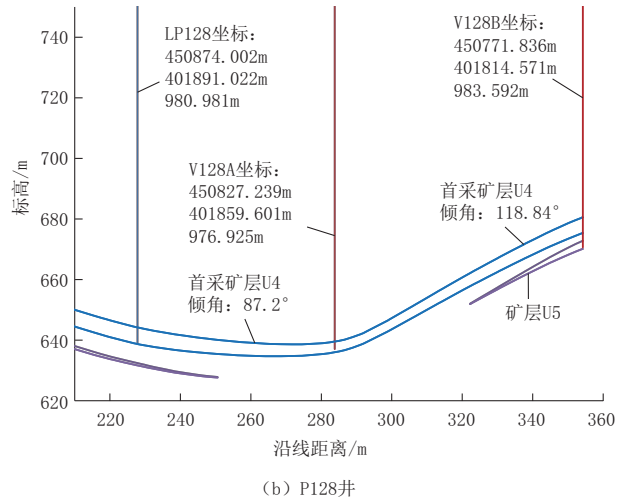
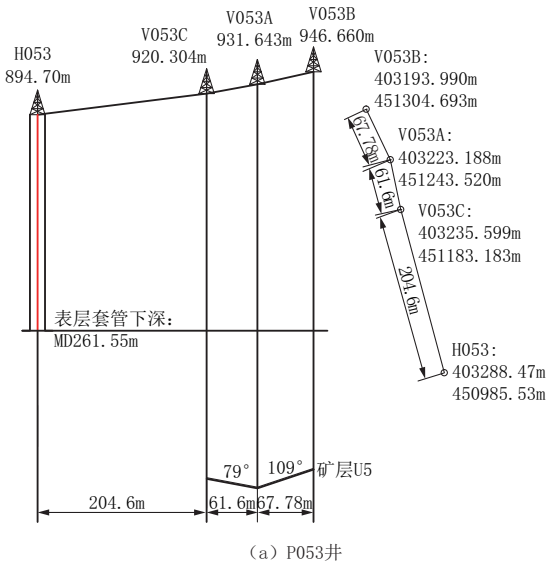


图5 井组首采层呈V形变化示意

Fig.5 Diagram of V-shaped primary mining layer

### 2.3 首采层倾角大且不规则变化

在施工完 P053 和 P054 井组后,发现原设计矿层倾角上倾大,无法施工水平井,对附近井组的设计做出了变更,将原设计水平井井位从西南侧更改到东北侧,施工完设计井组直井后却发现井组的首采层倾角大(见图6)。从图中可以看出,此区域井组落平点至两直井间等高线密集,说明两直井间(距离 < 75 m)主矿层标高高差大(50 m 左右),即矿层倾角大。虽然水平井井位变更后,施工首采层倾角变为下倾,但是在施工设计井组水平井过程中发现,矿层不仅倾角大,而且不是预测中的规则下倾,而是呈不规则起伏变化,如果按常规施工方法施工水平井将造成水平井在施工过程中多段轨迹穿出首采层;由于矿层倾角大,且出矿段在循环过程中会产生不溶物,不溶物由于重力作用,易聚集在第二靶井底部,造成循环通道堵塞。

### 2.4 井口位置偏离连线

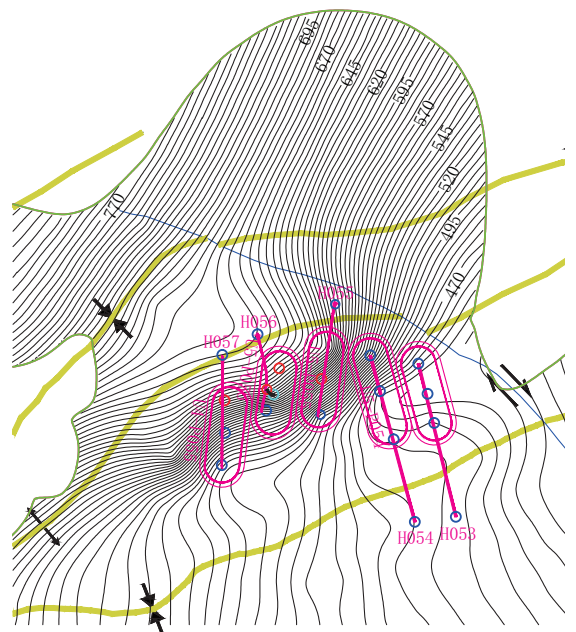


图6 首采层在矿区边缘等高线(单位:m)

Fig.6 Contour of the primary mining layer at the boundary of the mining area



矿区边缘地质条件复杂,地表受其影响产生隆起和下沉,沟壑交错。当设计溶腔确定后,各井组水平井落平点位置及直井孔底位置也随之确定。通过地形图及现场测量发现有些井口位置位于悬崖边或其他复杂地形处,无法布置井场。为了满足正常溶采要求,必须改变井口位置,但改变井口位置后,井口位置偏离连线,给水平井施工及直井施工带来困难。当水平井井位偏离连线时,需要在二开定向钻进时纠正偏离的方位角,使轨迹回到连线方向,增大了造斜率和工作量,且井眼变得不规则,增大了套管下入难度;当直井井位偏离连线时,需要进行直井井眼轨迹纠偏,使井底钻达设计溶腔靶区,增加了直井的施工难度和成本。

### 3 问题的解决

#### 3.1 针对首采层尖灭的处理方案

##### 3.1.1 针对直井的处理方案

针对首采层尖灭的问题,首先通过测井资料确定新的首采层,对直井的处理有 3 种方案:

第一方案:放弃套管下入过深的靶井,重新施工一口直井,将套管下入新的首采层完井作为新的靶井;

第二方案:采用射孔技术在新的首采层段对套管进行射孔,暴露新的首采层;

第三方案:通过锻铣首采层段套管,暴露新的首采层。

第一方案理论上可行,但损失较大,成本太高;第二方案简便可行,但在当地不容易找到专业射孔公司,从国外引进成本太高。通过分析比较,创新地提出了第三方案,引入了套管锻铣方法,利用伽马测井在套管内重新测定新的首采层的顶底板深度,从而确定锻铣的起始深度。下入锻铣器具对指定深度段的套管进行锻铣。锻铣工具主要由上接头、调压总成、活塞总成、弹簧、本体、刀片总成、限位扶正套和下扶正短节等部件组成,其工作原理如下:当套管锻铣器下放到预定位置时,先启动转盘后开泵,此时泥浆流经活塞上的喷嘴产生压力并推动活塞下行,进而推动锻铣刀片外张,最终切割套管。当套管切断后,锻铣刀片(简称铣刀)逐渐外张并达到最大限定位置,此时可加压进行套管锻铣施工。施工完成后,活塞在复位弹簧的作用下复位,铣刀靠自重和外力收回到刀槽内,最后停转盘并进行起钻作业<sup>[3-6]</sup>。

完成锻铣指定段的套管后,暴露出新的首采层,然后通过伽马和井径测井,确定新的首采层成功暴露。

##### 3.1.2 针对水平井的处理方案

暴露出新的首采层后,需在其中连通 2 个靶井建立溶采通道,针对水平井分 2 种情况处理。

###### 3.1.2.1 新的水平井

第一方案:当 2 个直井间矿层起伏不大,水平井还未施工,则直接在设计水平井井位钻进水平井,连通 2 个靶井。此时需要注意的是,矿区边缘的首采层埋深与含水层底部(表层套管底部位置)距离过小,即造斜半径太小,在施工时,为了满足二开定向钻进和安装套管的要求,在一开钻进最后 30~50 m 提前定向钻进至设计深度,使一开井底预先达到一定井斜角,为二开定向钻进达到设计要求做好铺垫,保证二开结束时轨迹以正确姿态落入首采层,从而在三开顺利连通靶点。

第二方案:改变首采层后,施工水平井三开时发现 2 个直井间矿层起伏大,且首采层厚度不足以满足钻井轨迹的变化,钻井轨迹频繁穿出矿层。此时,需要再次改变首采层,新的首采层须满足在不规则起伏状态下,钻井轨迹不穿出矿层(见图 7)。此时,需要首先通过套管锻铣开窗改造 2 个直井暴露出满足条件的新首采层。

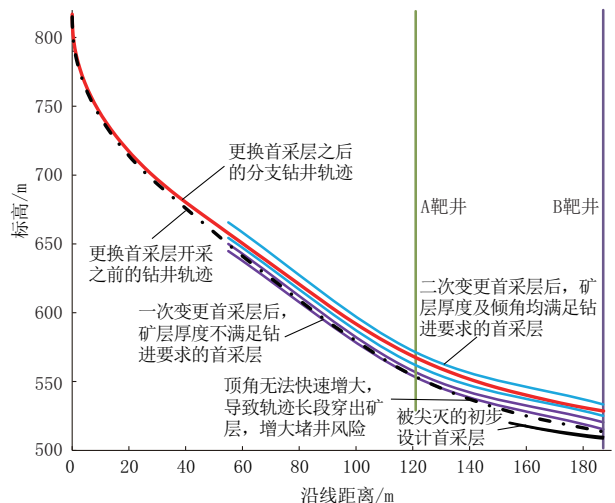


图 7 更换首采层开采示意

Fig.7 Change of the primary mining layer

###### 3.1.2.2 已有的水平井

第一方案:在原水平井中,采用套管开窗的方式,从原套管设计深度位置,开窗并侧钻分支出新的井眼,再下入技术套管固井并在新的首采层中水平钻进连通 2 个靶井。

第二方案:在原水平井井位附近新开一个水平井,连通2个靶井。

在首次施工时,为了满足二开定向钻进和安装套管的要求,在一开钻进最后30~50 m已经提前造斜。另外,新的首采层埋深比原首采层更浅,为满足二开造斜施工要求,套管开窗位置必须在表层套管段,这就需要同时磨穿表层套管和技术套管2层套管开窗,施工难度大,周期长,且不可预见风险大;其次,原技术套管为API-177.8 mm-J55套管,开窗并定向钻进到新的首采层后还需下入更小尺寸的套管固井,套管强度降低。通过分析比较,第二方案优于第一方案,且更为简单快捷,同时能保持原井身结构和套管强度,且保证溶采后期井身结构完整,实现长期稳定溶采。

### 3.2 针对首采层呈V形变化的处理方案

针对矿层呈V形变化的问题,首先在原设计落平点增加一口勘探井,获取新增控制点的矿层数据,进一步更新井组区域矿层的走向,再将此井改造为生产井。对此问题有3种情况和相应处理方案:

第一方案:变更原首采层至更厚的储层作为新的首采层。更厚的首采层能保证钻井轨迹在通过第一靶井后增井斜过程中不易穿出矿层,不易造成溶采过程中通道堵塞。首先利用锻铣工具对直井生产套管进行锻铣,暴露出新选定的矿层作为首采层,然后利用定向钻进在新的首采层中连通落平点井和2个靶井。

第二方案:对于原第一与第二靶井间矿层上倾角 $>10^\circ$ 的矿层,在原主矿层连通落平点井和第一靶井,第二靶井采用单井循环溶采或者设计其作为附近其他井组的靶井之一(见图8)。

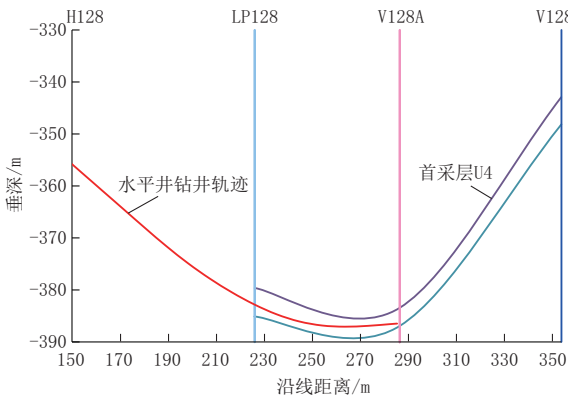


图8 处理原第一与第二靶井间矿层上倾角 $>10^\circ$ 的V形首采层示意

Fig.8 Design for the V-shaped primary mining layer with the dip angle greater than 10 degrees

第三方案:对于原第一与第二靶井间矿层上倾角 $<10^\circ$ 的矿层采用侧钻分支井技术。石油钻井进行侧钻通常有2种方式:水泥架桥侧钻和使用斜向器侧钻<sup>[8]</sup>。在这种情况下的分支井施工,宜采用水泥架桥侧钻分支方式,利用侧钻分支井技术分别连通V形首采层的2段(见图9)。首先采用定向钻进连通第一靶井及第二靶井;连通后将钻具上提至设计分支点,分支钻进连通落平点井并继续沿首采层钻进连通第一靶井,最后下入生产套管固井完井。

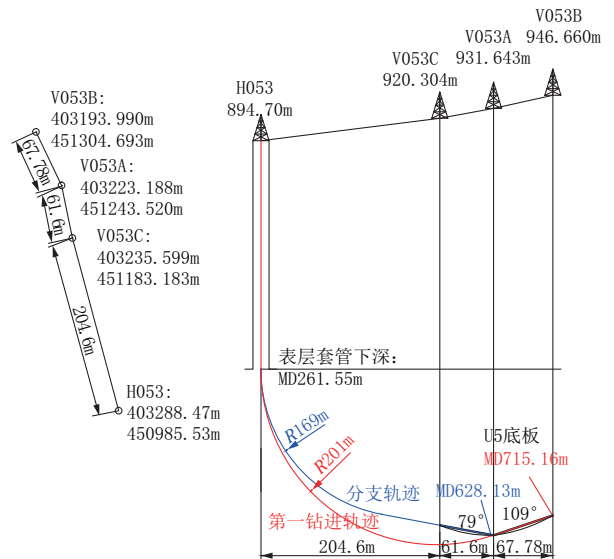


图9 分支钻进处理V形首采层问题示意

Fig.9 Side tracking for the V-shaped primary mining layer

### 3.3 针对首采层倾角大且不规则变化的处理方案

在水平井设计时,使用三维地质建模软件生成首采层模型,预测首采层的延伸趋势<sup>[7-8]</sup>,在施工过程中使用常规MWD仪器控制钻进轨迹。然而,在水平井施工完成后,根据电测结果分析发现,水平井轨迹有多段处于矿层外(见图10)。为查明首采层的位置,在原设计水平井落平点处增加一口勘探井,若落平点已有勘探井,则在已有靶井之间增加一口勘探井(见图11),再根据勘探井数据更新地质模型。随后根据更新的模型再设计新的水平井钻井轨迹,然而新轨迹仍然无法保证其一直在首采层中。这说明矿区边缘地质条件复杂,矿层走势难以预测。

针对这一问题,在采取上述措施的基础上,创新性地引入了方位伽马仪器辅助水平井钻井轨迹控制。该仪器能连续测量不同方位扇区的地层自然放射性,从而得到2、4、8或16个扇区的自然伽马值,通过处理可以得到方位伽马成像,从而实现地质导

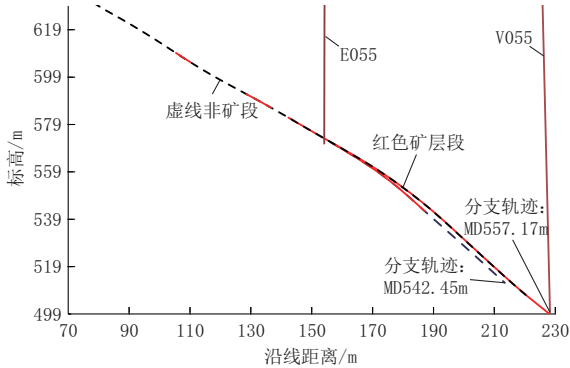


图 10 矿层倾角大且不规则变化导致钻进轨迹出矿

Fig.10 Drilling track penetrating the primary mining layer due to irregular and high dip angles

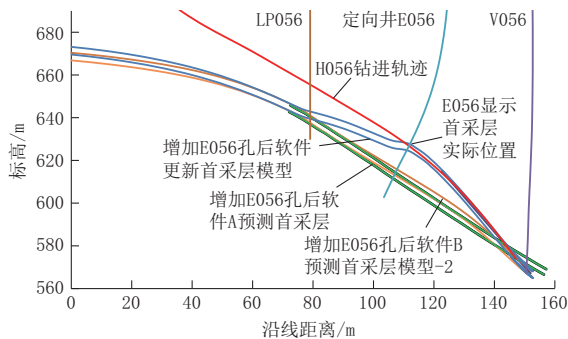


图 11 定向钻进勘探井并使井底回归设计溶腔靶区并获取矿层数据

Fig.11 Directional drilling to bring the hole bottom back to the designed cavern area and acquiring the trona layer data

向与地层边界识别,来判断钻头在碱层中的位置。与传统自然伽马仪器相比,方位伽马仪器既可测量钻头的几何参数如顶角、方位角、工具面角等,又能测量方位伽马地质参数,从而及时判断钻头是否在矿层中钻进,还能分析出钻头是靠近矿层顶板还是底板,为现场工程师判断钻头在矿层中的位置,及时调整钻井轨迹提供了重要依据<sup>[9-10]</sup>。

方位伽马仪器的引入,很好地解决了首采层倾角大且不规则变化的问题,能大幅度提高矿层钻遇率和采收率;加上“慧磁”中靶系统的使用,保证了在直井无建槽情况下的精确中靶,减少了重复施工<sup>[11-14]</sup>,降低了分支再出矿的风险,提高了施工效率,降低了修井率。

### 3.4 针对井口位置偏离连线的处理方案

矿区边缘复杂的地质条件导致地表起伏变化,使得设计井口位置需要变更的问题,分为 2 种情况。第一,针对直井(勘探井)井位变化,由于矿区边缘地层条件复杂,原设计第一靶井与第二靶井之间矿层并不像地质模型软件预测的趋势,而是起伏变化大,

需在 2 个靶井之间加布 1 口直井(勘探井),后期将此井作为溶采生产井使用。溶腔设计限定了直井井底位置,此时由于地表受地质条件的影响,无法正常布置直井(勘探井),只能改变井口位置,再使用定向钻进计算软件,计算出井口偏离井底的距离,采用造斜率小且平滑的轨迹,设计出最佳造斜点,采用定向钻进使直井(勘探井)井底回到设计溶腔靶区。

第二,水平井井位变化导致水平井偏离原设计井组连线,方位发生偏移。水平井分为三开次钻进,一开直井段,二开造斜段,三开水平段。为了保证顺利连通靶井,必须保证钻进轨迹以正确的姿态,即合适的顶角和方位落入首采层中。一开直井段无法大段造斜,需在二开钻进过程中摆正钻进轨迹方位,二开造斜段主要任务是增井斜,由于井位的偏移造成方位偏移,造斜段初期需使用大造斜率螺杆钻具,在满足增井斜的同时调整方位角回到连线方向,从而以正确的姿态落入首采层,如 P056 井组。

## 4 矿区边缘复杂地质条件下对接井施工技术措施

通过分析贝帕扎里矿区边缘复杂地质条件下对接井施工过程中出现的异常问题,并提出可行性解决方案,可以总结出在开采矿区边缘复杂地质条件下的矿产时,对接井施工的关键技术措施如下:

(1)结合已有数据及资料,对问题进行正确分析和判断,将问题归类,针对不同类型问题,制定合适的解决方案<sup>[15]</sup>;

(2)引进已有成熟设备及技术,如套管锻铣开窗、套管斜向器开窗等,对老井进行改造,在比较施工难易程度及施工成本的基础上选用最合适的方案,建立新的长期稳定的溶采通道;

(3)在地质条件复杂的矿区边缘区域,增加勘探井布井密度,采集矿层数据,结合地质模型软件,及时更新矿层模型,指导对接井施工;

(4)联合使用 MWD、方位伽马及“慧磁”中靶系统,提前知晓伽马值变化及钻进轨迹前进趋势,及时调整钻进轨迹,大幅度提高矿层钻遇率和采收率,精确连通靶点,降低修井率;

(5)采用定向钻进纠正井口位置偏移产生的方位偏移,使直井井底回归设计溶腔靶区,使水平井在二开调整好方位,以正确的姿态落入首采层,保证井组顺利连通。

## 5 结语

土耳其贝帕扎里矿区边缘钻进施工过程中出现的问题是可溶性矿产矿区边缘钻井施工中的典型问题,针对不同问题提出的解决方案以及总结出的矿区边缘复杂地质条件下对接井施工技术措施,能对土耳其工程后期施工及世界上其他地方类似的可溶性矿产开采工程的井位布置、溶腔设计、钻井施工及开采提供技术参考,能大幅提高施工效率及采矿生产效率,降低修井率,能为施工方及业主节约大量成本。

## 参考文献(References):

[1] 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.

[2] 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.

[3] 吴敬涛,王振光.定向井开窗侧钻水平井的实践与认识[J].石油钻探技术,1997(1):1-3.  
WU Jingtao, WANG Zhenguang. Practice and experience of window milling in directional well for horizontal well sidetracking[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1997(1):1-3.

[4] 崔延召,崔香明,李涛.S90CX井锻铣开窗技术[J].西部探矿工程,2013,25(7):83-85.  
CUI Yanzhao, CUI Xiangming, LI Tao. Well S90CX section milling technology[J]. West-China Exploration Engineering, 2013,25(7):83-85.

[5] 吴墨染,饶开波,董超,等.套管锻铣工艺在大港油田的应用[J].长江大学学报(自然科学版)石油/农学中旬刊,2014(11):70-72.  
WU Moran, RAO Kaibo, DONG Chao, et al. Casing section milling application in Dagang Oilfield[J]. Journal of Yangtze University (Natural Science Edition), 2014(11):70-72.

[6] 杨凤春,许军富.套管锻铣技术[J].油气田地面工程,2004,23(4):61.  
YANG Fengchun, XU Junfu. Casing section milling technology[J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2004,23(4):61.

[7] 向昆明,刘汪威,陈剑垚,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.

[8] 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.

[9] 唐海全,肖红兵,李翠,等.基于随钻测井的地层界面识别方法[J].天然气勘探与开发,2016,39(4):8-12.  
TANG Haiquan, XIAO Hongbing, LI Cui, et al. Identification method of formation interface based on logging while drilling[J]. Natural Gas Exploration and Development, 2016,39(4):8-12.

[10] 杜志强,郝以岭,张国龙,等.方位伽马随钻测井在冀东油田水平井地质导向中的应用[J].录井工程,2008,19(1):18-21.  
DU Zhiqiang, HAO Yiling, ZHANG Guolong, et al. The application of the azimuth gamma logging while drilling for the geosteering in the horizontal wells in Jidong Oilfield[J]. Mud Logging Engineering, 2008,19(1):18-21.

[11] 陈剑垚,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.

[12] 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.

[13] 胡汉月.对接井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.

[14] 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.

[15] 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.