

# 套管锻铣开窗技术在土耳其贝帕扎里碱矿中的应用

林修阔, 刘汪威, 陈晓林, 刘志强, 隆 东

(中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

**摘要:**土耳其贝帕扎里碱矿在矿区边缘的碱层出现埋深起伏大、厚度变化大、易尖灭、易涌水等情况,这些特殊的地质情况导致水溶开采钻井过程中同一组井的套管最终下入到了不同的层位,或是原先下入的矿层不稳定,易坍塌。为了解决以上问题而引入了套管锻铣开窗技术。该技术可以将老井眼中已被套管封闭的上部碱层暴露出来形成新的采矿通道,从而提高矿区采收率。先后在 14 口老井眼中完成了套管锻铣作业,均达到了预期效果。本文介绍了套管锻铣器的工作原理,并以 H066 井组为例,详细阐述了套管锻铣开窗工艺技术。工程实践表明,套管锻铣开窗技术对于换层开采、钻井处理事故、事故井恢复性生产等方面具有一定的效果,具有减少钻井工期、降低施工成本、延长老井使用寿命、提高矿藏产量等优点,有广阔的应用前景。

**关键词:**天然碱矿;水溶开采;钻井;套管锻铣器;套管开窗技术;土耳其贝帕扎里碱矿

**中图分类号:**P634.7;TD87 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2020)08-0050-07

## Application of casing section-milling technology in Bey pazari Trona Mine in Turkey

LIN Xiukuo, LIU Wangwei, CHEN Xiaolin, LIU Zhiqiang, LONG Dong

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

**Abstract:** The Bey pazari Trona Mine in Turkey has the characteristics of varying buried depth and thickness and proneness to pinch out, and water kicks occurs frequently while drilling at the edge of the mining area, which leads to different casing setting positions in the vertical wells of the same solution mining well set, or the mining trona layer where casing has been set is unstable and needs to be changed. In order to solve these problems, the section-milling technology was introduced and applied to expose the previously isolated trona bed and form a new mining passage. A total of 14 wells were drilled by applying this technology on the project, and all achieved satisfied results. In the paper, the section-milling process is illustrated by taking the drilling of the H066 well set as an example. Comparing with drilling a new well, it reduces greatly the construction period and saves drilling costs. Field use demonstrated that the technology is beneficial in changing the mining layer, treatment of downhole incidents, and provides many advantages such as less drilling time, less drilling cost, extension of the service life of old wells, increasing of resource recovery; therefore it has a broad application prospect.

**Key words:** trona mine; solution mining; well drilling; casing section-milling; casing window milling technology; Bey pazari Trona Mine in Turkey

由于土耳其贝帕扎里碱矿五期工程所在矿区为边缘矿区,矿层存在埋深起伏大、厚度变化大、易尖灭、易涌水等问题,这些特殊的地质情况导致水溶开采钻井过程中同一组井的套管最终下入到了不同的层位,或是原先下入的矿层不稳定,易坍塌。为了将

钻孔中已被套管封闭的上部碱层暴露出来形成新的采矿通道,因此引入了套管锻铣开窗技术。

### 1 套管锻铣开窗技术

套管锻铣开窗技术,也称套管全方位开窗,是采

**收稿日期:**2020-05-13; **修回日期:**2020-07-09 **DOI:**10.12143/j.tkgc.2020.08.009

**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:**林修阔,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施工工作,河北省廊坊市金光道 77 号,120444975@qq.com。

**引用格式:**林修阔,刘汪威,陈晓林,等.套管锻铣开窗技术在土耳其贝帕扎里碱矿中的应用[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(8):50-56.  
LIN Xiukuo, LIU Wangwei, CHEN Xiaolin, et al. Application of casing section-milling technology in Bey pazari Trona Mine in Turkey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(8):50-56.

用套管锻铣工具将套管从预计位置截断,然后将套管磨铣一段(一般 5~20 m)的一项技术<sup>[1]</sup>。

套管锻铣开窗技术是处理钻井事故及老井定向侧钻换井底、换层、开采死矿区的一项特殊钻井技术,进入 20 世纪 90 年代以来该技术从设计、钻井工艺、井下工具、随钻监测和井壁稳定及轨迹控制等方面取得了一定的进展,形成了一些成熟的技术,尤其是调整老矿藏开发层系上,挖掘开发死矿区,解决了具有开发价值的加深井、变形和事故井恢复生产的难题,成为钻井处理事故、老油田变形或事故井恢复性生产和原油增产的重要措施之一。

从 90 年代初期,我国各油田开始研究和应用侧钻技术,采用侧钻技术能够减少调整井施工,节省征地、道路建设、采油及地面工程等费用,具有广阔的应用前景。侧钻技术主要应用在以下几种井况:井下技术状况差(套管变形或损坏、井下落物);采油井不出油或低产井;老井油层互窜或油层高含水;调整井网挖掘剩余油,增加可采储量;老井加深,开发或勘探深层系油藏。

国内各老油田和其他矿产经过较长时间的开发生产,由于套管变形或损坏、井下落物事故不易处理,以及地下水锥或气锥等多种原因的影响,陆续有部分井已不能维持正常生产,造成产量逐年下降,严重威胁到正常生产。为了降低钻井综合成本,特别是有效地利用现有井眼,发挥老井潜力,国内油田加强了小井眼开窗侧钻技术的研究与应用。经过几年来的不断发展,这一技术已日趋成熟和完善。开窗侧钻技术就是利用老井井眼对矿藏进行再开发挖潜,并充分利用老井原有的一些采输设备,使原井的生产潜力得以充分发挥的新技术新工艺,从而延长老井使用寿命,提高矿藏产量,同时还可利用老井的井眼大幅度降低施工成本,缩短施工周期,提高综合经济效益。因而开窗侧钻二次开发老井的油气资源及矿产资源等,在今后数年仍具有广阔的应用前景。

## 2 项目概况

土耳其贝帕扎里(Beypazari)天然碱矿位于 Beypazari 晚第三纪盆地,盆地的底板是由古生代至始新世的变质岩、酸性深成岩、火山岩组成。

该碱矿的沉积形态大致受区域地质构造的影响(断层和褶皱)。碱矿中心受坎塞维(Kanliceviz)断层影响分成 2 个区域,分别称为西部爱尔迈玻利矿

区(Elmabeli)和东部阿利塞基矿区(Ariseki)。在阿利塞基矿区内有 4 条横切矿床的断层,将矿区划分为 5 个矿块。

该矿区地层依次为札维依(Zaviy)、卡基鲁巴(Cakiloba)、沙里亚吉尔(Saragil)、卡拉杜鲁克(Karadoruk)、河卡(Hirka)和玻亚利(Boyalı)地层,依次简称为 Tz、Tc、Ts、Tk、Th 与 Tb。

碱层位于主要由粘土层和沥青质页岩组成的河卡地层中,埋深在 250~430 m。在纵向上分为 2 个矿组,每个矿组含 6~7 个单碱层,上部矿组划分为 U1~U6 共 6 个单碱层,累计碱层厚度 11~21 m;下部矿组划分为 L1、L2-1、L2-2、L3~L6 共 7 个单碱层,累计碱层厚度 6~16 m。共计 13 个单碱层。矿组之间为厚度 20~25 m 含粘土的淡化层。

2003 年,贝帕扎里天然碱矿成功施工了第一组天然碱试采对接井,截至 2019 年年底,该碱矿已完成了一~五期钻井项目,合计约 100 余个天然碱溶采对接井组,目前正在实施六期钻井项目<sup>[2-9]</sup>。目前所采用的钻井井身结构参数如表 1 所示。

表 1 钻井井身结构参数

Table 1 Well structure parameters

井身结构	井径/mm	套管/mm
导孔	444.5	API-J55-Ø406.4×7-BTC-R2 导管
一开	346	API-J55-Ø273×8.89-BTC-R2/R1 表层套管
二开/ 取心+扩孔	241/ 140+241	API-P110-Ø177.8×10.36-BTC-R2/ R1 技术套管
三开	152	API-J55-Ø101.6×5.74-R2 中心管

## 3 存在的问题及套管锻铣开窗技术的引入

### 3.1 矿区存在的问题

随着 10 余年的开采,钻井井组布置的位置也由矿区中部逐渐迁移到了矿区边缘,而矿区边缘的碱层具有埋深起伏大、厚度变化大、易尖灭、易涌水等特点,由此给钻井的设计与施工带来了新的困难。

### 3.2 套管锻铣开窗技术的引入

引入套管锻铣开窗技术,具体原因有以下 3 方面。

#### 3.2.1 碱层品位较差

在五期项目的施工过程中,部分井组将下部矿组的 L3 碱层或 L5 碱层定为首采矿层,而这 2 层矿为假矿层。

所谓假矿层存在 2 种形式,一种是指在根据电

测井数据的结果解读为可开采碱层,实际上该碱层的品位偏低,含有大量的不可溶物,极易造成溶采通道的坍塌与阻塞,该情况在后续施工的钻井中通过取心结果得以验证。例如在 H066 井组的施工中就出现了此种情况,在水平井施工过程中,连通垂直井 V066A 时由于压力释放造成井底周围地层坍塌而憋泵和卡钻,采用解卡措施通过该区域后,成功连通了垂直井 V066B,但仍存在此种现象,且形成的溶采通道无法长时间维持,不能形成稳定的生产,在投入生产后便很快出现通道堵塞,经过数次修井后,仍然无法正常生产,因此只能放弃该层矿。

另一种形式则更稳定一些,如 H074 井组,该井组顺利地完成了垂直井 V074A 与 V074B 两井的连通,形成了稳定通道,但在开采 1 个月后,卤水浓度仍不达标,因此也只能放弃该层矿。

在这种情况下,如果要开采上部相对稳定且较厚的 U5 碱层或 U6 碱层,有 2 种方案:一种方案是重新钻进 2 口垂直井,将首采矿层定为 U5 碱层或 U6 碱层,该方案成本较高,且工期较长,不宜采用;另一种方案是利用已有的垂直井,采用套管锻铣开窗技术将 U5 碱层或 U6 碱层暴露出来,该方案具有工期短、成本低等优点。

### 3.2.2 碱层出现尖灭

在一组井的施工过程中,A、B 2 口垂直井并不是同时施工完成,在边缘矿区的某些井组中易出现首采矿层在垂直井 B 中存在,生产套管下入至 L5 碱层中;而在垂直井 A 中未发现首采矿层,L5 碱层出现了尖灭的情况,此时生产套管只能下入至上部矿组的 U6 碱层中。该井组已无法按照原设计继续施工,只能进行设计变更,采用套管锻铣开窗技术,将垂直井 B 中已封闭的上部 U6 碱层重新暴露出来,进而实现采矿通道,其钻井剖面示意如图 1 所示。

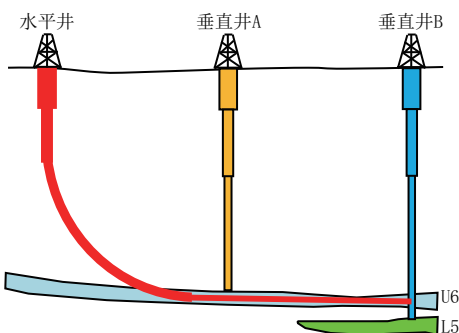


图 1 尖灭碱层中钻井剖面示意

Fig.1 Well drilling profile for the pinch-out trona layer

### 3.2.3 碱层起伏较大

在一组井中,2 口垂直井 A、B 均已完井,且同时拥有相同的首采矿层,但是该碱层可能会出现在两井中的高差相差太大、厚度较薄的情况。在水平井对接施工时,会出现钻具顶角偏大,钻井轨迹极难控制在碱层中,且中靶作业难以一次对接成功等困难。该种情况下宜进行设计变更,改为开采上部较厚的且相对稳定的碱层,需在 2 口垂直井中采用套管锻铣开窗技术,将已封闭的上部碱层重新暴露出来,其钻井剖面示意如图 2 所示。

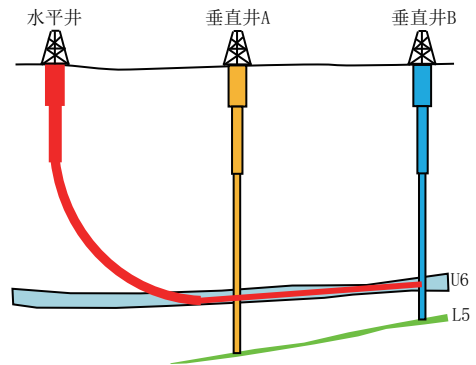


图 2 大起伏碱层中钻井剖面示意

Fig.2 Well drilling profile for trona layers with large dip angles

### 3.3 套管锻铣开窗技术的应用范围

目前在天然碱矿钻井溶采中,套管锻铣开窗技术可以应用于以下几个方面:(1)套管腐蚀、错位或变形,无法大修的井;(2)套管内有落物(如油管断卡等),无法打捞的井;(3)碱层正好被断层断掉,无法达到地质目的的井;(4)老井更新、为提高采收率而更换开采层的井。

## 4 套管开窗工具的选择

根据目前项目使用的设备与钻具情况,和所需解决的问题,现场有如下设备可供选择:

### 4.1 斜向器

斜向器用于套管开窗方向定位,主要由上接头、送入杆、扶正盘、导斜体、壳体、防转卡瓦、防掉卡瓦、下丝堵等组成,结构如图 3 所示。

### 4.2 套管铣锥

铣锥用于套管开窗时磨铣局部套管,结构见 4。

以上 2 种器具需配合使用,主要用于套管开窗作业。其方法是将斜向器下入套管指定位置中,使用仪器把斜面定位在所需朝向,然后使用磨铣钻头及套管铣锥进行开窗及修整作业,形成可靠稳定的

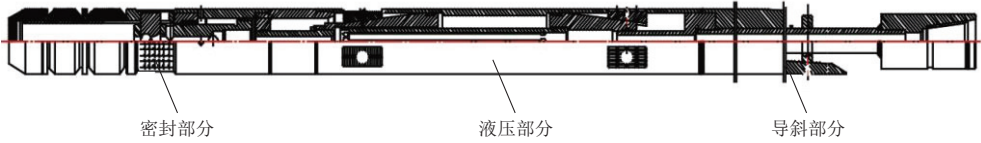


图 3 斜向器结构示意图

Fig.3 Schematic of the whipstock structure

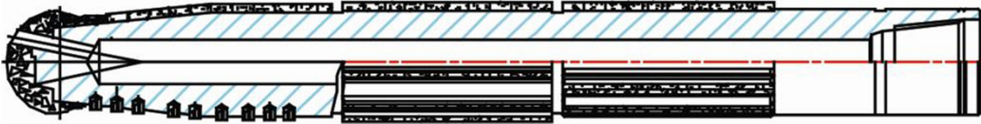


图 4 铣锥结构示意图

Fig.4 Schematic of the tapered mill structure

窗口,以便后续的定向分支作业。上述 2 种器具适用于水平井的侧钻分支作业,可在直井段套管中定向开窗,再进行后续的造斜段施工,该方法可节省水平井在直井段的施工工期与成本,在以往的钻井中取得了较好的效果。在本项目中,考虑到矿区边缘处矿层埋深较浅,多数水平井造斜空间受限,二开造斜段无法满足要求,需要在一开井段中提前造斜,此时需要在一开和二开 2 层套管上开窗,施工难度大,

不宜采用上述 2 种器具进行套管开窗作业。

### 4.3 套管锻铣器

锻铣器用于锻铣掉某一区段内的全部套管,由上接头、弹簧、防掉销、弹簧压圈、刀体套筒、活塞、销轴、刀体部件、孔用 U 形圈、扶正接头部件等零件组成,结构如图 5 所示。锻铣器本体外径为 150 mm,三翼三刀,刀具完全张开尺寸为  $\varnothing 210$  mm,接头外径为 121 mm,扣型为 NC38。

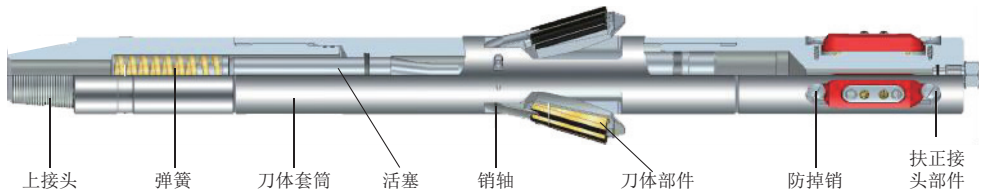


图 5 锻铣器结构示意图

Fig.5 Schematic of the section mill structure

该器具可以用来锻铣掉所需暴露的目的矿层处的套管,为“慧磁”中靶系统<sup>[10-14]</sup>提供一个干净的磁环境,相比新建一口井,可节省大量时间、人力、物力和财力,且其施工操作简单,仅需锻铣掉一层套管即可,因此最终选择了套管锻铣器进行开窗作业。

中靶系统不受影响的无磁环境范围宜在 3~5 m,因此需要锻铣的套管长度宜控制在 3~5 m 范围内。

### 5.1 施工设备及器具

实施锻铣施工的钻机为我所自行研发的 SDC-1500 型车载钻机(见图 6),所用锻铣器为 TDX178 型锻铣器(见图 7)。

## 5 锻铣施工实例

以 H066 井组(包括 V066A 和 V066B 2 口直井)为例,如前所述,该井组首采矿层 L5 碱层是假矿层,在 3 次修井之后,仍然无法维持生产,后期甚至只要注入清水,通道便已堵塞。在这种情况下,只能换层开采,采用套管锻铣开窗技术将上部相对稳定且较厚的 U6 碱层暴露出来便于连通。为了顺利连通,需给“慧磁”中靶系统开辟出一段测量区间,营造出相对纯净的磁环境,为后续的中靶作业打好基础。由于 U6 碱层厚度在 0.8~1.5 m 内,而“慧磁”



图 6 SDC1500 型车载钻机现场施工照片

Fig.6 SDC1500 truck-mounted drill rig at site



图7 TDX178型锻铣器现场照片  
Fig.7 Site photo of the section mill

## 5.2 套管锻铣开窗施工过程<sup>[15-20]</sup>

### 5.2.1 锻铣器入井前的准备

锻铣器入井前需先使用通井管通井,以保证套管内壁光滑无结晶碱,锻铣器可顺利下到所需开窗位置,且通井并深需至少超过开窗位置 20 m,留下足够深的“口袋”以储存锻铣过程中产生的未能被泥浆带出的铁屑。通井钻具组合为:  $\text{O}152\text{ mm}$  三牙轮钻头 +  $\text{O}150\text{ mm}$  通井管 +  $\text{O}140\text{ mm}$  钻杆。将开窗位置清理干净,并将井内循环干净,提出通井钻具,配置好高粘高切泥浆,准备下入锻铣器进行开窗锻铣作业。

锻铣器入井前还需在地表测试锻铣刀具是否能随着泵压变化而自由地张开与收回。经过试验发现,开始时当泵压达到  $1\sim 2\text{ MPa}$  时,刀具便可张开至最大尺寸,在停泵泄掉泵压之后,刀具自由回落,可随着钻具提升回到锻铣器本体内顺利提升。锻铣的钻具组合为:  $\text{O}152\text{ mm}$  扶正器 +  $\text{O}150\text{ mm}$  锻铣器 +  $\text{O}140\text{ mm}$  钻杆。

### 5.2.2 锻铣器入井

锻铣器入井时先用细铁丝或胶带将刀具固定住,以免在下放过程中自由张开,伤到刀刃,影响使用效果。在下放过程中需匀速下放,禁止猛拉猛刹,导致刀具提前张开。

### 5.2.3 锻铣开窗

锻铣器下到预定位置后,先开动钻机开始旋转(低速)且固定好钻具位置,此时钻机的液压压力在  $8\text{ MPa}$  左右,且很平稳,然后先小泵量开泵,一边观察钻机扭矩情况,一边增加泥浆泵的排量,为了顺利排出切削产生的铁屑及保持刀具向外扩张的扩张力,结合现场 350 型泥浆泵性能,最终泵压维持在  $4$

$\sim 5\text{ MPa}$  时可以满足工作需要。

判断套管是否被磨开主要依靠钻机的扭矩变化。在未磨开套管时,钻机的液压压力在  $11\sim 13\text{ MPa}$  之间,当套管被完全磨开后,钻具处于空转状态,钻机的液压压力与未开泵空转的压力相当。判断套管被磨开后,停止钻具转动,下放钻具,此时应有钻压产生,加至  $50\sim 80\text{ kN}$  即可,以免将刀具压断,此时表明刀具已经张开,“骑”在了被磨开的套管上,然后继续保持泵量缓慢上提钻具,此时钻具应会遇阻,上提阻力  $\geq 50\text{ kN}$  即可,可以进行后续的锻铣作业。在 V066A 井施工过程中,历时  $1.5\text{ h}$  将套管磨开。

### 5.2.4 开窗成功后继续锻铣

判断套管磨开后,可以开始加压钻进,钻压可以根据进尺速度进行调节,控制在  $10\sim 60\text{ kN}$  之间即可,不宜过大,以免压断刀具轴承,造成“落鱼”。根据刀具所用的硬质合金好坏及新旧程度,以及现场所需锻铣的 P110 套管,锻铣进尺的正常速度在  $200\sim 450\text{ mm/h}$  之间,如果进尺速度  $< 100\text{ mm/h}$ ,则效率太低,应提钻检查并更换刀具,在换刀具的过程中,需要清除刀具窗口内残留的切削套管所产生的铁屑,以保证刀具可以顺利回收,避免卡钻。在 V066A 井施工过程中,钻压维持在  $10\sim 40\text{ kN}$ ,进尺速度维持在  $350\sim 450\text{ mm/h}$ ,使用效果良好。

### 5.2.5 完成锻铣后提出钻具

套管锻铣完成  $3\sim 5\text{ m}$  的区间后,使用高粘高切泥浆将残余的铁屑尽量循环出井底,之后关泵停止循环钻井液,在泄掉泵压后,缓慢上提钻具时,需随时观察钻压指重计,若突然发生变化,应立即停止提钻,以防钻具卡死。在 V066A 井中,共完成了  $3\text{ m}$  套管锻铣的工作量,随后对套管锻铣效果进行井径测量。电测井数据结果显示(见图 8),在 U6 碱层位置处,井径有明显的增大(黄色曲线为井径曲线),表明该位置处的套管已被锻铣掉,U6 碱层显露了出来,达到了预期目的。

### 5.2.6 检验锻铣效果

套管锻铣开窗作业完成后,上提钻具至地表,检查发现经过锻铣作业后的刀体部件具有明显的磨损情况(见图 9)。

通过实际操作发现,需要根据磁场环境是否正常来确定套管锻铣长度。电测井结果发现,锻铣的前 2 口井只需锻铣  $3\text{ m}$  的套管即可保证正常的磁场

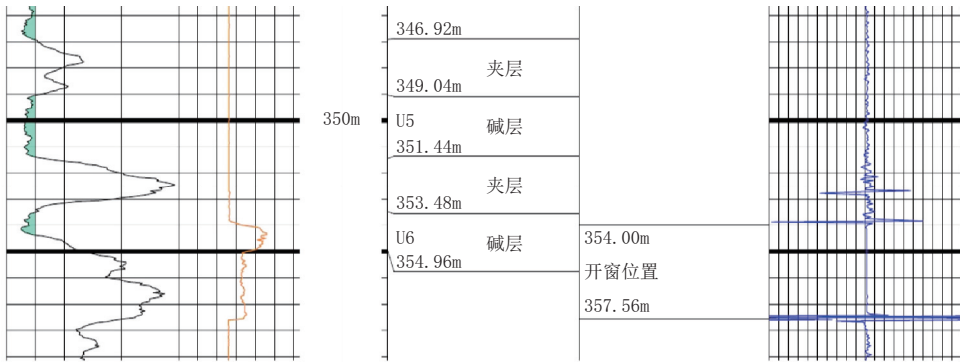


图 8 套管锻铣后的电测井结果

Fig.8 Caliperlogging results after casing section-milling



图 9 套管锻铣后的刀体磨损情况

Fig.9 Worn milling cutters after casing section-milling

环境,随后的 2 口井则需要增加到 4.5~5 m 才能保证正常的磁场环境。由此推测可能是锻铣器在使用过程中产生了磁化,造成锻铣后的套管也产生了磁化,导致需要增加套管锻铣长度来减小磁场的影响,而相应增加了工作量和钻具损耗。因此,在后续钻井的锻铣中将套管锻铣长度确定在 5 m 左右。

## 6 应用效果

在土耳其贝帕扎里碱矿五期及增补项目中,总共成功实施了 14 口钻井的套管锻铣工作,每口井平均锻铣时间 12 h,每口井从搬家入场到完成离场平均时间仅为 5 d,相比完成一口新井平均所需的 25 d,节省了大量的时间,减轻了工人的劳动强度,节省了生产成本,因此取得了很好的锻铣效果。通过较短工期便顺利完成了所需开采碱层的暴露工作,较完成一口新井,大大减少了建井周期与建井成本,获得了业主的积极肯定。在今后处理类似问题的钻井提供了优良可靠的解决方法。

## 7 结论与建议

套管锻铣开窗技术在土耳其贝帕扎里碱矿五期及增补项目中,取得了较好的应用效果,得出了以下

几点结论:

(1)在碱层出现品位差、尖灭、起伏大等情况时,导致无法按照原设计继续施工,需要对钻井进行设计变更,此时采用套管锻铣开窗技术,将已封闭的上部碱层重新暴露出来以达到换层开采的目的,该方法具有工期短、成本低等优点;

(2)在钻井中,电力驱动钻机使用套管锻铣器是一种简单、易行、可靠且经济实用的器具,相对于完成 1 口新井,使用该器具所需的成本和工期都要低得多,对于换层开采、老井的重新利用,是一种利器;

(3)套管锻铣开窗技术可以应用于钻井处理事故、老油田套管变形、事故井恢复性生产、原油增产等领域,能够减少钻井工期,节省征地与道路建设,降低施工成本,延长老井使用寿命,提高矿藏产量,具有广阔的应用前景。

同时,对套管锻铣开窗技术的应用提出以下几点建议:

(1)在使用套管锻铣器过程中发现影响锻铣速度的主要原因是刀具的完好程度、刀具中孕镶的硬质合金块质量以及刀具的出刃程度,这些会极大地影响锻铣速度,需要在施工中选择适宜的刀具;

(2)通过实际操作发现,需要根据磁场环境是否正常来确定套管锻铣长度,建议在钻井锻铣中将套管锻铣长度确定在 5 m 左右,以确保“慧磁”中靶系统正常工作;

(3)为了每次作业结束能顺利收回刀具,建议在锻铣器出井后,将其空腔内锻铣出的铁屑清理干净,并及时清理保养锻铣器,包括对于易磨损的锻铣器本体及时进行修补,对于提供回弹力的弹簧和提供密封的活塞密封圈及时更换,以保证下次作业时正常使用。

## 参考文献(References):

- [1] 金铸,杨福喜,顾勇,等.套管锻铣工艺技术在 大修施工中的应用[J].硅谷,2011(13):48,70.  
JIN Zhu, YANG Fuxi, GU Yong, et al. The application of casing milling technique in well workover[J]. Silicon Valley, 2011(13):48,70.
- [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] 官如刚,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 Bepazari Natural Alkali Mine of Turkey[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(7):19-21.
- [4] 向昆明,刘汪威,陈剑奎,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.
- [5] 刘海翔,刘汪威,陈剑奎,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 Bepazari Trona Solution Mining Project (Phase III)[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2010,37(11):9-11.
- [6] 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.
- [7] 林修阔,陈剑奎,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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 陈剑奎,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.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 吴敬涛,王振光.定向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 knowledge of sidetracking horizontal well in directional well through casing window[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1997(1):1-3.
- [16] 冯志明,王秀亭.南 1-斜 1 井套管锻铣技术[J].石油钻探技术,1997(2):21-23.  
FENG Zhiming, WANG Xiuting. Casing forging and milling technology of Nan 1 Xie 1 Well[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1997(2):21-23.
- [17] 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 milling technology[J]. Oil-Gasfield Surface Engineering, 2004,23(4):61.
- [18] 徐声驰,刘欣,高学然,等.利用工程录井参数指导 U 型井施工[J].录井工程,2010,21(1):35-38.  
XU Shengchi, LIU Xin, GAO Xueran, et al. Using engineering mud logging parameters to guide U well construction[J]. Mud Logging Engineering, 2010,21(1):35-38.
- [19] 李益平.塔河油田 TK665CH 井卡拉沙依组锻铣侧钻水平井技术[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(4):31-34.  
LI Yiping. Horizontal well sidetracking by milling in Kalashayi Formation of Tahe Oilfield[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2012,39(4):31-34.
- [20] 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. Casing milling technique in Well S90CX[J]. West-China Exploration Engineering, 2013,25(7):83-85.