

国内井矿盐钻井技术新进展

董正亮, 刘加杰, 王 鹏, 黄东杰

(四川盐业地质钻井大队, 四川 自贡 643000)

摘要:通过钻井技术实现地下盐类矿物的连续水溶开采是井矿盐资源最常用和经济有效的手段。我国井矿盐资源开发历史悠久,堪为人类钻井活动的起源,是近年来发展最快的原盐资源;由于盐类矿物的水溶性、流变性和赋存形式等特点,井矿盐钻井技术与油、气等资源的钻井开采有很大不同之处;在吸收了现代钻井技术(定向井和水平井等)和测井技术后,形成了独具特色的井矿盐防碰绕障、多分支井、带压钻进和精准对接连通等关键应用技术。

关键词:钻井工程;井矿盐;防碰绕障技术;多分支井技术;带压钻进技术;精准对接连通技术

中图分类号:P634 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2019)08-0067-06

Advances in drilling technology for borehole salt mining

DONG Zhengliang, LIU Jiajie, WANG Peng, HUANG Dongjie

(Sichuan Salt Geology Drilling Team, Zigong Sichuan 643000, China)

Abstract: Continuous solution mining of underground salt minerals through drilling technology is the most common and economical method for development of well and rock salt resources. The development of well and rock salt resources with boreholes in China has a long history, and it is the origin of human drilling activities. It is the fastest growing raw salt resource in recent years. Due to the characteristics of water solubility, rheology and modes of occurrence of salt minerals, drilling and mining technology for well and rock salt is very different from that for oil and gas resources. After absorbing modern drilling technology (directional wells and horizontal wells, etc.) and logging technology, the key application technologies such as anti-collision and bypassing, multi-branch wells, Under-pressure drilling, intersection drilling has been developed for well and rock salt mining.

Key words: drilling engineering; well and rock salt; anti-collision and bypassing; multi-branch wells; under-pressure drilling technology; intersection well drilling

0 引言

井矿盐是“井盐”和“矿盐”的总称,为成盐盆地水盐体系在适宜的地质条件和干旱的气候条件下,经蒸发浓缩作用形成的盐类矿产资源,前者为富含钠、钾、锂、溴等元素的液体矿产,后者为蒸发结晶形成的固体矿床(如石盐、钾盐和芒硝等)。井矿盐埋深差异性较大,根据成藏条件和区域特性,从数十米到 5000 余米不等,故一般采用钻井的矿产开拓方式。我国地下天然卤水的钻井开采历史悠久,但由于储量体量和开采连续性等原因,目前我国井矿盐资源的开发大多以固体盐类矿床的钻井水溶开采工艺技术为主。该工艺利用钻井的方法开拓地面与地

下可溶性盐类矿床的通道,以便于通过注入溶剂(水)溶解,改变可溶性盐类矿体原位性质,使其以流体的形式输送到地面,最终实现可溶性盐类资源的连续开采^[1]。

我国井矿盐钻井技术应用历史源远流长,2000 多年前人类历史上最早进行的钻井活动就是为了获取埋藏在地下的盐卤水(四川自贡),比国外最早开采卤水的俄罗斯要早 1000 多年;120 多年前的清光绪年间(约公元 1892 年),自贡大坟堡盐矿“发源井”加深钻至 870.12 m 发现石盐矿层,并采用“注水溶盐—提捞采卤”技术,开创了石盐矿钻井水溶开采之先河。彼时,中国钻井技术及盐类矿床的钻井水溶

收稿日期:2018-09-04; 修回日期:2019-04-12 DOI:10.12143/j.tkgc.2019.08.010

作者简介:董正亮,男,汉族,1985 年生,工程师,应用化学专业,硕士,主要从事井矿盐钻井与开发研究,四川省自贡市大安区盐都大道 8 号,516153693@qq.com。

引用格式:董正亮,刘加杰,王鹏,等.国内井矿盐钻井技术新进展[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(8):67-72.

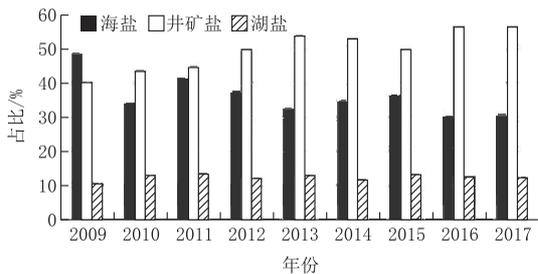
DONG Zhengwei, LIU Jiajie, WANG Peng, et al. Advances in drilling technology for borehole salt mining[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2019,46(8):67-72.

开采技术基本上与欧美国家同步。然而,鸦片战争后,这项开采技术逐渐落伍^[2]。新中国成立以来,随着油盐钾(煤)兼探,盐矿地质工作和石油化工战线寻找油气和钾盐的勘查工作不断深入,硕果累累,全国十多个省(直辖市、自治区)均探获石盐矿床,水溶钻井技术也获得长足进步。近20年来,随着供给端产能扩大的需求和定向井/水平井技术、测井技术的发展,井矿盐钻井技术得以迅速发展。

1 井矿盐资源特点

井矿盐作为蒸发沉积矿床,与石油天然气、金属及其他非金属矿有很大的不同之处:

(1)资源丰富,分布广泛。我国井矿盐类资源丰富,与海盐和湖盐构成我国3大原盐资源,随着井矿盐地质勘探不断深入,全国20余省级行政区均已探获盐矿资源,其产量提升也极为迅速,超过了海盐,跃居为我国产量最高的原盐资源^[3-6](如图1所示)。



注:2009—2014年数据来自文献^[4],2014—2017年数据援引自部分网络

图1 2009—2017年我国原盐各品种产量占比分布情况

Fig.1 Yield distribution of raw salt varieties from 2009 to 2017

(2)易溶于水,有采空区。与石油天然气离散式的孔隙分布不同,井矿盐一般是连续的层状分布,前者在内外压力作用下采出油气资源后,对地下压力系统影响相对性较小,而后者溶解采出后容易出现采空区。在井矿盐钻进过程中,既要充分考虑盐岩溶于水对钻井液性能的影响,又要考虑选择合理的井眼轨迹,以便于预留安全矿柱。

(3)上溶较快,有侧溶底角。由于盐类矿物溶解后溶液呈浓度垂直梯度分布,即上部浓度低,下部浓度高。由于不饱和程度更低,盐溶腔上部溶解速率明显快于侧溶和底溶速率^[7],在一般情况下,上溶速率约为侧溶的2倍,约为底溶的10倍左右。盐类矿物在不同方向上溶解速率不同,溶腔呈空心倒锥体

状,在溶腔底部形成侧向安息角,即为侧溶底角。侧溶底角的存在给盐类矿物带来了顶板过早暴露和下部矿物开采不充分的弊端。

(4)层状分布,埋深不一。我国盐层多以单层或多层的形态分布,只有少数的以盐丘的形态分布,且具有一定流动性,因此盐层矿体大体上呈现厚度不均,或异常加厚,或出现尖灭。由于成藏条件和区域特性,我国盐类矿物埋深差异性较大,用于钻井水溶开采的盐矿最浅仅百余米,如湖北应城和云南普洱等地;一般埋藏在1000~3000 m,鲜有超过3500 m的^[8]。

2 井矿盐钻井技术难点分析

基于上述井矿盐资源特点,结合盐类矿床地质特点和水溶开采工艺特点,与石油天然气钻井相比,在进入矿层前基本相似,进入矿层后由于盐层特殊性,主要存在以下技术难点。

2.1 近盐层漏失

在上部地层的钻井过程中,井矿盐与其他行业的钻井工艺和方法基本相同。当临近盐层矿体时,却常常出现漏失,小到不足5 m³/h渗漏,大至失返性漏失,甚至是喷漏同层。此类复杂情况,在地下连通性较好、顶板完整性差的老矿区表现尤为突出^[9]。随着各大矿区对产能提升和综合效益的要求,在老矿区新布井位,或通过多分支井技术对老井进行“挖潜”,在近盐层钻遇漏失层的可能性和复杂性也大大增加。

2.2 盐层精准定向相对较大

井矿盐在矿层的钻进首先要求根据钻井参数或氯根变化准确定位盐层,再根据相关地质资料,利用定向钻井技术使井眼轨迹最大程度地与待开采矿层重合,并沿着靶点井的方向推进,最终与其对接连通,实现水平对接连通采卤,提高矿层钻遇率。然而,随着井矿盐钻井向纵深发展,浅而厚的优质盐层越来越少,埋深较深、厚薄不均或薄互层盐矿体越来越成为新的井矿盐开发资源。这给井矿盐钻井,尤其是盐层识别、充分钻遇矿层和井组对接连通提出了更高的要求。盐层厚度、盐层倾角和地层倾角等因素使得钻井轨迹难以有效与盐层走向尽可能吻合,矿层钻遇率难以有效保证,同时盐层硬度较软且溶于水,也给定向钻井工具面的摆放增加了难度。随着井矿盐钻井效率的提高和盐矿山产能规模扩

大,对接井组的建井周期明显缩短,往往靶点井的溶腔尚未溶解发育完全,溶腔大小扩展有限,就需要对接连通,给对接连通提出了更高的要求。

2.3 盐层钻遇情况相对较复杂

石油天然气钻井过程中也常钻遇盐系地层(盐膏层),而且是异常难对付的一套地层,许多经验丰富的钻井队伍“折戟”盐膏层,如濮阳和克深区块的盐系地层。这主要是因为油气井钻遇盐系地层一般在 4000 m 以深,甚至更深,盐层的塑性表现明显,容易发生卡钻和挤毁套管等事故^[10],而盐井目前钻井深度鲜有超过 3500 m 的超深盐井。然而盐井盐系地层也有其相对复杂的情况,因为从钻井目的来讲,盐系地层之于油气井仅仅需要尽快穿越该地层,而之于盐井则是目的矿层,而且是要尽可能穿越矿层,耗时较长,有时钻遇老溶腔或钻至靶点不连通还需要重新定向对接钻井。长时间滞留盐层钻进,给井控、钻井液体系的稳定性、井眼轨迹的规则性以及钻具防腐等提出了更高的要求。

3 井矿盐钻井技术新进展

基于上述技术难点,得益于定向水平井技术和测井技术的高速发展,通过技术引进和吸收,开发出了具有盐井特色的防碰绕障、多分支井、带压钻进和精准对接连通等关键应用钻井新技术,形成了“盐井定向井对接连通技术”的核心技术体系,不仅有效地提升了钻井速率,还大大缩短了盐井对接井组的建井周期。

3.1 防碰绕障技术

通过布设加密井或建立新的对接连通井组等技术对老矿山剩余产能进行挖掘是各大矿山企业在应对工业用地紧张、新矿区减少的行业大背景下的一项重要举措。然而,由于盐类矿床溶于水且层状连续分布的特点,在老矿区地下形成较大溶腔,甚至是暗河,这些都是井矿盐钻井的“雷区”,一旦钻入,就会面临恶性漏失,甚至是喷漏同层。因此,在进行井眼轨迹设计时,应采取有效地防碰措施“绕开”这些障碍物(邻井、溶腔或复杂地层)。

该技术最早应用于油气田老矿区的加密井开发阶段,用以解决较小井距下的邻井防碰问题^[11]。2005 年郑茂全等在四川长宁双河长 5 井施工时,在国内首次应用绕障技术实现在深层巨厚岩盐层(矿体埋深 2500 m 左右,岩盐单层厚度 160~370 m)的

顺利对接^[12]。该矿区位于四川盆地南缘的长宁背斜构造,矿区地层倾角大,地质情况复杂,岩盐矿赋存于震旦系灯影组灯一段第二亚段,是世界上最古老的岩盐矿床之一。长 5 井为一口水平对接井,要求与 637.7 m 处的长 1 井实现对接连通,但需要绕开几乎同在同一条直线上的长 3 井及其溶腔(如图 2 所示)。绕障的方法主要有侧绕和底绕两种。考虑到从溶腔侧绕长 5 井井眼轨迹方位变化大,不利于井眼规则、圆滑,兼之考虑石盐底部溶解少的特点,故选择底绕方案。该井在 2431 m 进入石盐层,并按设计完成直井段和增斜井段,并下入 $\varnothing 177.8$ mm 套管于 2617.21 m 处固井。开水泥塞后即开始绕障对接施工,为了实现井眼从长 3 井溶腔下部绕障的预定方案,自井深 2622 m 开始利用倒桩钻具组合实施降斜钻进。降斜至井深 2712 m,井斜角将至 80.7° ,方位稳定,降斜率为 $(-0.13^\circ \sim -0.3^\circ)/\text{m}$,然后又增斜至井深 2831.26 m,井斜角为 94° ,降斜率为 $(0.2^\circ \sim 0.4^\circ)/\text{m}$,该位置在平面上正处于长 3 井溶腔下方,长 3 井溶腔底部垂深 2518.8 m,绕障井眼在垂深 2533.66 m,说明井眼已顺利绕过长 3 井,绕障水平推进段长 209.26 m,满足到靶点水平段长度 >150 m 的技术要求,绕障成功。

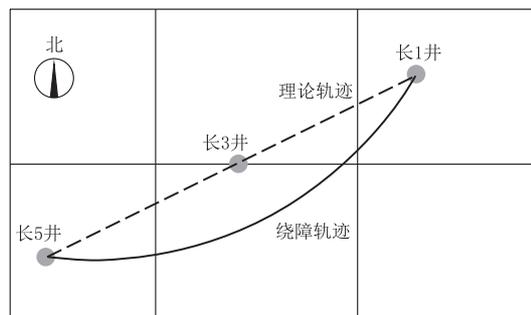


图 2 三维绕障技术水平投影示意图

Fig.2 Horizontal projection map of 3-D multi well by-pass drilling technology

3.2 多分支井连通技术

多分支井技术起源于 20 世纪 50 年代苏联的石油钻井行业,用以增加泄油面积,提高油气井产能^[14]。近年来,随着薄互层岩盐矿的开发和老井挖潜技术的发展,多分支井技术被引入到井矿盐钻井行业,并迅速成为一种低成本、高收益的钻井开采方法。从钻井工程的角度来看,多个分支共用一个井口和上部井段,可大大降低钻井成本,减少土地占用,利于环境保护;从开采盐岩矿层的角度来看,有

助于制定合理的开发方案,增加井眼与岩盐矿体的接触面积,以较低的成本有效开发多产层的岩盐矿藏^[15]。目前,多分支井技术已广泛地应用于老矿区的老井挖潜和新矿区的综合规划利用。

2016年,四川盐业地质钻井大队针对舞阳—桐柏隆起区南端吴城盆地北部构造的天然碱矿夹层多、矿层薄的特点,利用多分支井技术实现多层共采^[16](图3)。该工艺利用多分支井技术在水平井A建立3条分支,以“双连通一对流”的形式分别开采3个主力产层,可以实现多个矿层的同时开采,减少和优化总井组布置,节省征地费用;缩减钻井施工工序,节约建井工期进度;有效增加钻遇矿层长度,提高矿层钻遇率;注采能力明显提高。采用此法开采后,注采流量约220 m³/h,浓度近60 g/L,注采浓度提高约10%,注采流量增加4倍,折算后相当于多增加了一口井的注采能力。

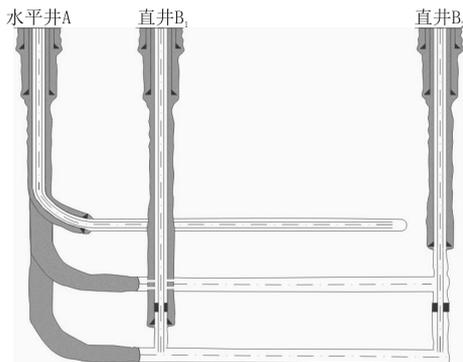


图3 多分支井技术在天然碱多层共采中的应用
Fig.3 Multi-branched well technology applied in multicore mining of natural alkali

3.3 带压钻进技术

老矿区在开采过程中,采空区塌陷等地质运动或压裂等增产措施,破坏了盐层顶板的完整度,溶蚀作用促进了地下连通性。因此,在老矿区施工新井眼或进行老井挖潜时,经常钻遇溶腔卤水,引发溢流或井涌等井控问题,虽然压力远小于高压油气井,但其压力变化较大,地层承压能力低,严重时,甚至出现涌漏同层^[17]。鉴于此,引入了石油天然气行业欠平衡钻井中的边喷边钻技术,即带压钻进技术的应用(见图4),旨在保护储层和提高钻速,在井矿盐行业中则主要是应对此类压力不大、压井较困难、连通性好的老矿区的钻井施工。该技术一般使用旋转防喷头配合常规防喷器组等井控装置在井口设备允许的压力条件下,实现“边喷边钻”。此外,由于未使用

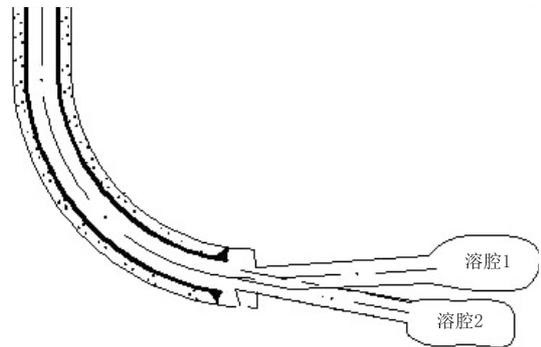


图4 带压钻进技术在岩盐老矿山挖潜中的应用
Fig.4 Under-pressure drilling technology applied in potential tapping of the old salt mines

可压缩的气体钻井介质,可以使用常规动力钻具和MWD测量工具,既适用于直井钻进,也适用于水平井或定向井钻进及其井组连通^[18]。

为进一步挖掘福川盐矿老矿区剩余产能,四川盐业地质钻井大队通过技术攻关,通过改进旋转防喷器克服钻井过程中井下复杂涌漏和裸眼段长等特殊情况,首次在井矿盐行业采用双靶点水平井技术新建一口挖潜井——福4井^[19]。该井在钻穿盐层底板,探明岩盐层埋深及厚度后,从盐层顶部侧钻,首先建立第一分支对接福201井管鞋附近老溶腔,对接连通后,钻头退回至合适位置,利用带压钻进技术,控制溶腔涌水情况,实施第二分支对接福302井管鞋附近老溶腔,实现3井连通采卤,达到提高矿区控盐量和生产能力的目的。

3.4 精准定位对接连通技术

水平井对接井组技术是目前可溶性盐水溶开采的最常用、也是最有效的开采技术。然而,由于盐类矿物的溶解特性(如溶解度较小的杂卤石)或建槽期紧张等问题,在实际施工过程中往往要面临小井眼(溶腔)靶点对接的技术难题。精准定位技术为解决此类问题提供了较为可行的办法。该技术利用磁性定位导向钻井实现井眼轨迹与小靶点精准对接,即在靶点井内放置磁感应装置,以接收来自施工井水平井井底旋转磁接头所传递的磁信号,经地面计算机软件解析,修正井眼轨迹并控制其向靶点钻进,最终对接连通。该技术适用于薄层矿的小溶腔、不建槽期或建槽期短的新溶腔的对接连通,大大提高了对接精准度,缩短了水平对接井组的建井周期(参见图5)。

自2010年起,精准定位对接技术先后在陕西、

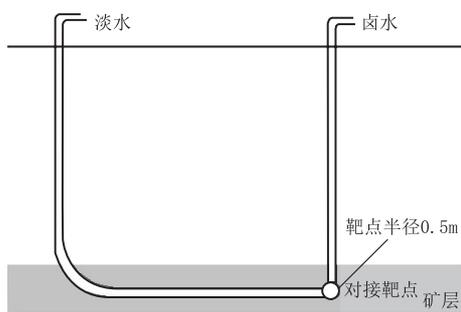


图 5 小溶腔精准对接连通技术在杂卤石矿开采中的应用
Fig.5 The horizontal well group which butted and connected precisely with small cavity applied in parallel mining

四川、湖北等区块成功应用,对接靶点井的溶腔最小半径仅 0.5 m。该技术没有积累误差,能直接引导钻头钻穿目标靶点,因此靶点井只需要短时间洗井即可直接进行对接,大大减少了建槽周期,同时也避免了前期淡卤无法处理的环保问题。2015 年,在四川南充盐盆广安大龙地区深部中、下三叠统杂卤石矿床施工国内第一口杂卤石水平对接井组时,采用美国 VM 公司 RMRS 精准定位仪,结合现场探索中形成的减小误差的方法进行靶点校正,找准对接点的真实空间三维位置^[20],与半径仅 0.5 m 的靶点井顺利连通。

3.5 盐层钻井液技术

在盐井钻井过程中,经常会钻遇卤水层,在盐层对接连通时更是要较长时间接触盐层和高浓度的卤水,其中盐层钻井对钻井液影响最大。盐层缩径甚至卡钻、钻井液污染和井径扩大是常见的复杂井下情况,具体表现为:因盐溶引起钻井液性能变坏,中深井段井径扩大,夹层井段接近钻头直径;钻至深层因盐层塑性流动造成缩径,起下钻易发生阻卡或卡钻;井温较高因盐重结晶引起起下钻阻卡;固井质量差,易挤毁套管等。

近年来,随着人们对盐系地层钻井液技术研究的不断深入,基本摸索出了一系列行之有效的盐层钻井液技术。一系列抗盐钻井液材料和配套钻井液体系被广泛使用;在浅井段通过补充盐水胶液,在厚盐层采用饱和盐水钻井液,防止井径扩大;针对中深井段盐层总厚度不足 100 m 的井,可采用适宜密度的欠饱和盐水钻井液体系,使盐溶解的井径扩大率和盐岩因塑性变形引起的缩径率相接近^[20];根据井深、井温和盐岩类别,使用盐结晶抑制剂抑制盐重结晶。

4 总结与展望

地质矿产钻井工程最早起源于井矿盐(卤水)钻井,发展于油气钻井,尤其是现代社会对油气资源依赖度极高更是促进油气钻井行业的蓬勃发展,涌现出了一系列体系化的新型理论与技术。作为现代地质矿产行业的井矿盐钻井技术,一方面既要大胆借鉴和吸收油气钻井的先进成果,另一方面要立足于后期钻井水开采开发井矿盐特有的钻井工程技术,如:

- (1) 基于提高矿层钻遇率的轨迹控制理论与技术;
- (2) 基于提高对接连通中靶率的定向钻井技术;
- (3) 基于改善顶板稳定性,提高盐井寿命的固完井技术;
- (4) 基于探明矿体形态、组分的现代测井技术;
- (5) 基于解决老矿区喷漏同层等复杂问题的低耗、高效方法。

总之,作为化工行业上游之一的井矿盐行业将进一步发挥其基础原料供应的作用,井矿盐钻井工程及其技术的发展将呈现广阔的发展前景。

参考文献(References):

- [1] 王清明. 钻井水溶开采与设计[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.
WANG Qingming. Drilling water-soluble mining and design [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2016.
- [2] 张德安. 中国制盐技术发展及展望[J]. 盐业与化工, 2016, 45(1): 7-14.
ZHANG Dean. Development and prospect of salt technology in China[J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2016, 45(1): 7-14.
- [3] 丁捷, 朱国梁. 2015 年中国盐业及两碱综述[J]. 盐业与化工, 2016, 45(9): 1-5.
DING Jie, ZHU Guoliang. Summary of chinese salt industry and two base industry in 2015[J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2016, 45(9): 1-5.
- [4] 曹焯, 邱国玉, 邹振东. 中国盐矿资源概况及其产业形势分析[J]. 无机盐工业, 2018, 50(3): 1-5.
CAO Ye, QIU guoyu, ZOU Zhendong. Analysis on salt mine resources and its industrial situation in China[J]. Inorganic Chemicals Industry, 2018, 50(3): 1-5.
- [5] 朱国梁, 丁捷. 中国盐业市场分析及趋势展望[J]. 盐业与化工, 2016, 45(2): 1-9.
ZHU Guoliang, DING Jie. Analysis and trend prospect of China national salt industry market[J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2016, 45(2): 1-9.
- [6] 王清明. 石盐矿床与勘查[M]. 北京: 化学工业出版社, 2007.
WANG Qingming. Halite deposits and exploration[M]. Bei-

- jing: Chemical Industry Press, 2007.
- [7] 王清明.盐类矿床水溶开采[M].北京:化学工业出版社,2003.
WANG Qingming. Salt deposit solution mining[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2003.
- [8] 蒋希文.钻井事故与复杂问题[M].北京:石油工业出版社,2000.
JIANG Xiwen. Drilling incidents and complex problems[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2000.
- [9] 杨欣.盐岩静—动溶溶蚀特性与水溶建腔流体输运机理研究[D].重庆:重庆大学,2015.
YANG Xin. Study on static dissolution-dynamic dissolution characteristics of rock salt and fluid transportation mechanism in solution mining cavern[D]. Chongqing: Chongqing University, 2015.
- [10] 刘保县,姜德义,刘新荣.岩盐溶腔顶板稳定性分析及其控制[J].重庆大学学报(自然科学版),2007,30(3):133-135.
LIU Baoxian, JIANG Deyi, LIU Xinrong. Stability analysis and control of rock salt cavern roof[J]. Journal of Chongqing University (Natural Science Edition), 2007, 30(3): 133-135.
- [11] 徐月庆.密井网三维绕障定向井设计理论研究[D].大庆:大庆石油学院,2008.
XU Yueqing. Research on three dimensional detouring obstacle directional well trajectory design theory [D]. Daqing: Daqing Petroleum Institute, 2008.
- [12] 郑茂全,陈光彬.绕障水平对接井在巨厚岩盐层开采中的应用[J].中国井矿盐,2005,36(4):25-28.
ZHENG Maoquan, CHEN Guangbin. Application of obstacle-avoiding horizontally butted wells in the exploitation of hugely thick rock salt stratum[J]. China Well and Rock Salt, 2005,36(4):25-28.
- [13] 张绍槐.多分支井钻井完井技术新进展[J].石油钻采工艺,2001,23(1):1-3.
ZHANG Shaohuai. New development on multi-lateral drilling and completion technologies[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2001,23(1):1-3.
- [14] 李文飞,周延军,陶林,等.煤层气鱼骨状分支水平井轨道优化设计方法研究[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(4):1-5.
LI Wenfei, ZHOU Yanjun, TAO Lin, et al. Study on optimization design of coal bed methane herring bone multi-branch horizontal[J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2011,38(4):1-5.
- [15] 张利平,季哲峰,付广群.多分支井的技术展望[J].国外油田工程,2001,17(11):36-37.
ZHANG Liping, JI Zhefeng, FU Guangqun. Prospect of multilateral well technology[J]. Foreign Oilfield Engineering, 2001,17(11):36-37.
- [16] 李刚.浅谈桐柏 SP17 井天然碱开采工艺[J].中国井矿盐,2017,48(6):19-22.
LI Gang. Trona mining process with Tongbo SP17 well[J]. China Well and Rock Salt, 2017,48(6),19-22.
- [17] 董正亮,刘加杰.浅谈盐矿山区老区钻遇喷漏同层问题及其解决思路[J].中国井矿盐,2017,48(6),14-15.
DONG Zhengliang, LIU Jiajie. The briefly discussion on the problem and solution of spray leakage of the same layer in old district drilling of salt mine mountain[J]. China Well and Rock Salt, 2017,48(6),14-15.
- [18] 陈雅溪,向兴华,于占江,等.国外边喷边钻技术发展[J].钻采工艺,2000,23(5):8-14.
CHEN Yaxi, XIANG Xinghua, YU Zhanjiang, et al. Foreign technology of flow drilling[J]. Drilling & Production Technology, 2000,23(5):8-14.
- [19] 李茜,黄东杰.双靶点水平井在福川地区的成功应用[J].中国井矿盐,2018,49(1),29-30.
LI Han, HUANG Dongjie. Success application of dual-target horizontal well in Fuchuan District[J]. China Well and Rock Salt, 2018,49(1),29-30.
- [20] 宋强,陈富强.小井眼三维精准对接技术[J].中国井矿盐,2015,46(4),26-27.
SONG Qiang, CHEN Fuqiang. Slim hole precision docking technology[J]. China Well and Rock Salt, 2015,46(4),26-27.

(编辑 韩丽丽)