

# 定向井绕障技术在盐矿山老井挖潜的实施探索

罗声波

四川省非金属(盐业)地质调查研究所 四川 自贡 643000

**摘要:** 随着盐矿资源需求的增长及长期开采,盐矿山老井面临诸多问题,如开采难度增大,部分老井因障碍物限制,剩余资源难以有效开采,因此老井挖潜成为保障盐矿供应与提升资源利用率的关键。本研究旨在探索定向井绕障技术在盐矿山老井挖潜中的应用可行性与有效性。通过深入剖析老井详细地质与开采资料,运用定向井绕障技术精确定位障碍物,结合盐层特性及开采要求,利用专业软件精心设计绕障井眼轨迹。

**关键词:** 定向井绕障技术;盐矿山;老井挖潜;技术实施

引言:盐矿在化工、食品、制药等行业应用广泛,随着全球经济发展,其需求稳步增长。但历经多年高强度开采,众多盐矿山老井问题频出,如盐层坍塌、产量递减,复杂障碍物封堵可采资源,传统开采方式难以为继。此时,老井挖潜工作迫在眉睫,其可以提升资源利用率、降低成本,保障资源稳定供应。定向井绕障技术在石油天然气领域成果显著,有望解决老井难题,不过目前其在盐矿山的应用研究不足,深入探索定向井绕障技术极具现实意义。

## 1 盐矿山老井地质特点

### 1.1 地层结构

盐矿山老井地质状况复杂,对开采作业影响深远,盐层主体由石盐组成,伴含少量钾、镁盐矿物,历经长期溶蚀,盐层力学强度降低,厚度分布呈现不均匀状态,部分区域因过度开采而变薄,甚至出现缺失情况。此外,盐层埋深差异较大,埋深较大的盐层易发生变形。在围岩方面,顶板多为泥岩、页岩或粉砂岩,泥岩和页岩可塑性良好,但强度偏低;而粉砂岩脆性较大。在开采过程中,此类特性易引发顶板事故。

### 1.2 地质构造

盐矿山地质构造复杂,其中断层类型丰富,包含正断层、逆断层以及平移断层,此类断层在矿区内分布毫无规律,规模也大小悬殊,断层破坏地层的完整性与连续性,致使盐层发生错动现象,要求重新规划开采方案,断层破碎带容易引发各类安全事故,同时改变地下流体的分布状况,进而对开采工艺和卤水质量产生影响。褶皱以背斜和向斜最为常见,其规模大小以及枢纽产状各不相同,背斜顶部的盐层由于受到张力作用,容易出现裂隙,进而引发渗漏问题,导致顶板事故,向斜区域盐层相对富集,但开采时需要根据地层的起伏特征精心设计开采方案。节理在老井地层中广泛发育,其产

状、密度以及张开度在不同区域有所差异,并且与构造应力密切相关,节理破坏岩石整体性,增加开采过程中的风险,对盐矿的溶解以及开采效果产生影响<sup>[1]</sup>。

## 2 定向井绕障技术原理与关键要素

### 2.1 定向井轨迹控制原理

井斜角,即井眼轴线与铅垂线的夹角,单位为度,在定向井绕障作业中,井斜角变化决定井眼倾斜程度,起始直井段,为保证井眼垂直向下钻进,为后续造斜段奠定稳定基础,井斜角通常严格控制在极小范围,通常不超过 $0.5^\circ$ 。进入造斜段,依据障碍物位置和目标盐矿体空间位置,需逐步将井斜角增大到特定角度,如 $30^\circ$ - $60^\circ$ ,使井眼偏离初始垂直方向,实现绕障目的。方位角,以正北方向为基准,顺时针旋转至井眼轴线在水平面上投影线的角度,方位角决定井眼在水平面上的走向。实际操作时,应依据盐矿地质构造、障碍物分布以及目标盐矿体方位,精准设定方位角,如当目标盐矿体位于井口东北方向,则需调整方位角,引导井眼朝该方向钻进;调整方位角过程中,对控制精度要求很高,误差应控制在 $\pm 1^\circ$ 以内,确保井眼能准确指向目标。

### 2.2 绕障设计关键点

为保证井眼在绕障过程中与障碍物无碰撞风险,需确定合理安全距离,水平方向方面,安全距离常规设定在1-3m范围,具体数值依障碍物特性与开采设备精度而定,如针对坚硬难破碎的大型岩石块等障碍物,安全距离设为3m;而对于如坍塌泥岩区域这种相对较软的障碍物,安全距离可设为1.5m。垂直方向上,安全距离一般在0.8-2m。井眼曲率变化若过大,钻进时摩阻与扭矩出现增大,易引发钻具损坏或卡钻事故,因此应尽可能使绕障轨迹保持平滑。通常,将井眼曲率变化率控制在每30m不超 $2^\circ$ - $3^\circ$ 较为合适,如在盐矿山绕障设计中,经轨迹优化,将井眼曲率变化率控制在每30米 $2.5^\circ$ 以内,有效降低

钻进风险<sup>[2]</sup>。

### 2.3 盐矿山特殊条件适应性

在盐矿山深部开采作业中，高温环境是常见的挑战，高温对钻井液性能、井下工具以及测量仪器均会产生负面影响。以钻井液为例，高温会致使其黏度降低、切力减小，进而削弱携带岩屑与稳定井壁的能力，高温作用于井下工具，会改变材料性能，如橡胶密封件老化、金属材料强度降低等情况，将影响工具正常运作；对于测量仪器，高温可能导致电子元件性能不稳定，使测量数据出现偏差。为应对此类问题，需选用耐高温的钻井液体系，如有机盐钻井液，其抗温能力可达180-200℃。同时添加高温稳定剂，维持钻井液在高温环境下的性能稳定。针对井下工具，应采用耐高温材料制造，如使用耐温达150℃以上的橡胶材料制作密封件，并应定期对井下工具进行检查与维护，确保其在高温环境中的可靠性。对于测量仪器，需采取隔热、散热措施，如在仪器外部安装隔热罩，并配备散热装置，以保证仪器在高温环境下正常工作，将测量数据误差控制在±5%以内。

## 3 定向井绕障技术实施流程

### 3.1 老井数据收集与评估

#### 3.1.1 数据收集

收集老井所在区域地层分层数据，涵盖各层岩性、厚度、埋深等信息，查阅以往地质勘探报告、测井资料获取，如老井所在区域地层由上至下是：表土层，厚度约5-10m；砂岩，厚度20-30m，埋深10m-40m；盐层，厚度50-80m，埋深40-120m等。精准记录每层顶底深度，误差控制在±0.5m以内。明确老井周边断层、褶皱等地质构造信息，利用地震勘探资料分析断层位置、产状（走向、倾向、倾角）以及褶皱形态、规模等，如老井附近正断层，走向为北东30°，倾向南东，倾角60°，延伸长度约500m。详细了解地质构造，为绕障设计避开复杂构造区域提供依据。获取盐层及围岩岩石力学参数，如抗压强度、抗剪强度、弹性模量等，通过实验室对岩芯样本测试得到，盐层抗压强度为10-20MPa，围岩砂岩抗压强度为30-50MPa，弹性模量为10-30GPa，岩石力学参数对评估井壁稳定性、选择合适钻进工艺极为重要<sup>[3]</sup>。

#### 3.1.2 数据评估

依据地质与工程数据，辨识老井内的障碍物，如废弃套管、坍塌岩石段、变形井壁等，并对其加以分类，依照障碍物大小、形状、所处位置及性质等要素，将其划分为高风险、中风险和低风险三类。举例而言，直径较大且处于关键开采区域的废弃套管，归为高风险障碍物；局部小范围的岩石坍塌，属于中风险障碍物；部分

轻微的井壁变形，则列为低风险障碍物。针对不同类型障碍物，构建风险评估指标体系，考量障碍物对绕障施工的影响程度，如对井眼轨迹的干扰程度、对钻进过程的阻碍作用、引发井下事故的可能性等因素，赋予相应权重，运用层次分析法（AHP）等手段展开风险量化评估。高风险障碍物的风险值设定在0.8-1.0区间，中风险障碍物为0.4-0.7，低风险障碍物为0.1-0.3，借助风险评估，为绕障方案设计提供具有针对性的决策依据。

### 3.2 绕障方案设计

基于对老井数据的评估，综合考量地面设施布局、周边环境及地下地质构造等因素，确定井口位置，如为防止新井与老井相互干扰，并为施工设备作业提供便利，新井口与老井口需保持30-50m的水平距离。根据障碍物位置和目标盐矿体分布情况，确定造斜点深度与靶点坐标，当障碍物处于地下500-600m深度，造斜点设置在障碍物上方50-100m处，如在450m深度开启造斜。靶点依据目标盐矿体的最优开采位置设定，其水平坐标误差控制在±2m以内，垂直坐标误差控制在±1m以内，以保证能精准进入目标盐矿体。结合造斜点与靶点，对井眼轨迹进行初步规划，轨迹包含直井段、造斜段、稳斜段以及降斜段，直井段应保证垂直钻进，将井斜角控制在0.5°以内。造斜段依据障碍物与靶点的空间关系确定造斜率，一般造斜率为每30m2°-4°，如在200m的造斜段内，将井斜角从0.5°增加至15°-25°。稳斜段则维持井斜角和方位角稳定，为进入靶点做好准备<sup>[4]</sup>。

### 3.3 现场施工技术

#### 3.3.1 钻井设备调试

正式开钻前，需全面调试所有设备，检查钻机提升系统、旋转系统、泥浆循环系统等运行状况。以泥浆泵为例，要对其进行压力测试，确保能在15-25MPa额定工作压力范围内稳定运行。调试时，将压力逐步提升至额定值，并保持30-60min，期间密切观察泵体与管路有无泄漏、异常振动等问题。同时，校准随钻测量（MWD）、随钻测井（LWD）等仪器，保证测量数据准确。测量仪器误差须控制在规定范围，如井斜角测量误差不超±0.2°，方位角测量误差不超±1°。

#### 3.3.2 钻进过程控制

利用MWD系统实时监测螺杆钻具工具面角，依据设计井眼轨迹，精准调整工具面方向，如增大井斜角，需将工具面调至恰当角度，通常与设计造斜方向偏差控制在±5°范围内。操作人员借助地面控制系统，调控泥浆泵流量与压力，以此改变螺杆钻具旋转方向与角度，达成工具面精确调整。钻进时遵循设计造斜率，通过把控螺

杆钻具弯角、钻压及转速等参数,保证造斜率稳定于设计区间,如设计造斜率为每30m<sup>3</sup>°,钻进中依据实际测量的井斜角变化,及时调节钻压与转速。若实际造斜率低于设计值,适度增加钻压,但应注意钻压不宜过高,防止钻具损坏或井眼轨迹失控,般钻压控制在10-20kN,转速控制在60-80r/min。

### 3.3.3 复杂情况处理

在钻进过程中,密切关注泥浆池的液位变化、泥浆返出量等参数,当发现泥浆池液位下降,且泥浆返出量明显减少时,判断可能发生井漏,如泥浆池液位在短时间内下降超过0.5m<sup>3</sup>,同时泥浆返出量较正常情况减少30%以上,可初步确定为井漏。根据井漏的严重程度,采取相应的处理方法。对于轻微井漏,可通过调整泥浆性能,如增加泥浆的黏度和切力,提高泥浆的堵漏能力。一般将泥浆黏度提高至50-60s(马氏漏斗黏度),切力提高至3-5Pa。对于中、重度井漏,可采用注入堵漏材料的方法,如注入水泥浆、纤维堵漏剂等。在注入堵漏材料前,需准确计算堵漏材料的用量和注入压力,确保堵漏效果,如根据井漏位置和漏失量,计算出需要注入的水泥浆量为5-10m<sup>3</sup>,注入压力控制在8-12MPa。

### 3.4 完井实施

采用射孔完井时,固井前彻底清洗井眼,清除井壁泥饼与岩屑,确保水泥浆与井壁良好胶结。水泥浆配方依地层特性与施工要求设计,鉴于盐矿山高温高压环境,应选用耐高温、高强度水泥浆体系,其养护7天后抗压强度需达15-20MPa,以此在长期开采中有效支撑套管并封隔地层。固井过程中,严格控制水泥浆排量与压力,确保其均匀注入套管与井壁间环形空间,水泥浆排量控制在1.5-2.5m<sup>3</sup>/min,注入压力依井深与地层压力调整,其处于15-30MPa之间,保证水泥浆充满环空,防

止窜槽等固井质量问题。依据开采工艺与生产要求,挑选合适完井管柱,完井管柱须具备良好的耐腐蚀性与密封性,以适应盐矿山卤水腐蚀环境,如卤水中氯离子含量较高时,选用耐氯腐蚀不锈钢材质管柱;管柱尺寸据井筒直径与生产流量确定,油管外径为73-139.7mm,满足不同产量需求。下入管柱时,严格把控下放速度,避免管柱碰撞井壁致损;下放速度一般控制在10-30m/min,同时密切关注管柱下放深度与悬重变化,确保管柱准确下放至设计位置<sup>[5]</sup>。

结束语:综上所述,定向井绕障技术为盐矿山老井挖潜注入新动力,通过精准分析老井复杂地质条件,从数据收集评估、方案设计、施工把控到完井评估,构成完整流程。实践中,创新调整技术参数和工艺,合理规划轨迹,严格控制参数、监测轨迹,保障施工,该技术在提高产量与回收率的同时,提升效益。未来应加强研发创新,融合多学科知识助力行业可持续发展。

### 参考文献

- [1]曹刚,白璐,马洪亮,等.大井丛多层系立体开发钻井一体化设计技术在HQ802建产区的研究与应用[J].石化技术,2023,30(9):32-33,3.
- [2]谭现锋,张强,赵长亮,战启帅,李生海.侧钻绕障技术在干热岩HDR-1井中的应用[J].钻探工程,2023,50(3):83-91.
- [3]陈富强,宋强,宋斌.大位移绕障技术在老矿山挖潜中的应用[J].中国井矿盐,2023,54(4):21-23.
- [4]张琦.套管开窗侧钻水平井技术在云平三井的应用[J].中国井矿盐,2022,53(6):25-27.
- [5]马凤春,吴涛,刘强,李昱,梅华,王靖茹,崔海栋,李阳洁,唐丽.毛管压力理论与地质建模在定向井部署中的融合应用——以柴达木盆地英东油田下盘油藏为例[J].断块油气田,2024,31(3):487-493.