

# 深部煤层气开发关键技术在三塘湖盆地的适应性研究

仲 劼<sup>1</sup> 甄怀宾<sup>2</sup> 史永祥<sup>3</sup>

1.新疆亚新煤层气投资开发(集团)有限责任公司 新疆 维吾尔自治区 830000

2.怀柔实验室新疆研究院 新疆 维吾尔自治区 830000

3.新疆亚新煤层气勘探开发有限责任公司 新疆 维吾尔自治区 830000

**【摘要】**：本文结合盆地深部煤层低煤阶、高倾角、高含气饱和度、特低渗的核心地质特征，系统研究钻井、储层改造、排采等关键开发技术的适应性，通过现场试验与数据对比，优化技术参数，形成适配盆地地质条件的深部煤层气开发技术体系。研究表明，优化后的二开结构L型定向井钻井技术可有效提高煤层钻遇率，降低钻井成本；大排量体积压裂技术结合适配的压裂液与支撑剂，能显著改善储层渗流能力；五段双控排采技术可实现气井平稳降压、高效产气。研究成果解决了盆地深部煤层气开发技术适配性不足的难题，提升了开发效率与经济性，为同类低煤阶深部煤层气藏开发提供技术参考与实践支撑。

**【关键词】**：深部煤层气；开发关键技术；三塘湖盆地；适应性；低煤阶

DOI:10.12417/3041-0630.26.06.076

我国深部煤层气资源丰富，埋深2000m及以深的资源量超40万亿m<sup>3</sup>，可采资源量超10万亿m<sup>3</sup>，是未来油气增储上产、保障国家能源安全的重要接替资源。本文结合三塘湖盆地深部煤层地质特征，重点研究钻井、储层改造、排采三大核心关键技术的适应性，通过现场试验验证技术优化效果，形成适配盆地深部煤层气开发的技术方案，为盆地深部煤层气规模化开发提供技术支撑。

3~7m<sup>3</sup>/t，含气饱和度平均78.12%，个别样品超过100%，总体含气饱和度高，有利于煤层气解吸与产出，但受储层低渗影响，气体运移难度大。

## 1 新疆三塘湖盆地深部煤层地质特征

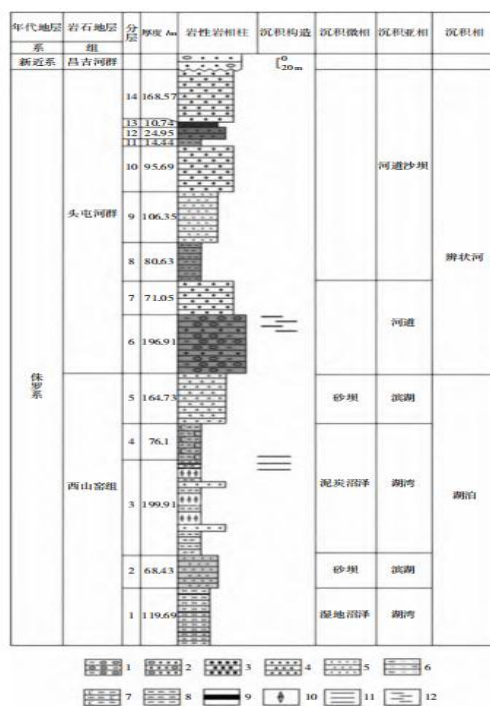
三塘湖盆地位于新疆东北部，是一个典型的内陆山间盆地，盆地内煤层主要发育于侏罗系西山窑组，深部煤层埋深普遍大于1500m，核心开发区域集中在马朗凹陷、西峡沟地区等，其地质特征与浅部煤层差异显著，直接影响开发技术的选择与适配性。

### 1.1 煤层赋存特征

盆地深部煤层以低煤阶为主，镜质组反射率小于0.65%，煤岩类型主要为长焰煤、气煤，煤体结构相对完整，但脆性较弱，易破碎。煤层厚度分布不均，单层厚度1.5~8.2m，平均厚度4.8m，煤层层数多，多为3~8层，纵向分布集中，单层连续性较好，但横向变化较大。煤层倾角较大，普遍为30°~65°，部分区域可达70°以上，给钻井轨迹控制和储层改造带来较大难度。

### 1.2 储层物性特征

深部煤层储层孔隙度为3.2%~8.5%，平均5.8%，渗透率普遍低于0.1mD，属于特低渗储层，储层连通性差，天然裂缝发育程度中等，裂缝走向多与区域构造线一致，且多为闭合裂缝，需通过人工改造才能形成有效渗流通道。煤层含气量介于



- 1—第四系冲、洪堆积物；2—砾岩；3—含砾粗砂岩；4—中砂岩；
- 5—细砂岩；6—粉砂岩；7—钙质粉砂岩；8—泥岩；9—煤层；
- 10—菱铁矿；11—平行交错层理；12—交错层理

图1 三塘湖盆地剖面岩性岩相柱状图

### 1.3 其他地质特征

深部地层地应力较高，水平地应力与垂直地应力比值为1.2~1.8，易导致钻井过程中井壁坍塌、卡钻等事故。地层温度随埋深增加而升高，埋深1500~2500m范围内，地层温度为45~85℃，高温环境会影响压裂液性能与排采效果。地层水矿化度差异较大，马朗凹陷、西峡沟地区地层水矿化度在2241~5657mg/L之间，水型以Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>型、NaHCO<sub>3</sub>型为主，对钻井液、压裂液的耐温耐盐性能提出较高要求。此外，盆地部分区域存在采空区，易导致钻井液漏失，影响钻井成孔率。

## 2 深部煤层气开发关键技术适应性分析

### 2.1 钻井技术适应性分析

钻井技术的核心需求是提高煤层钻遇率、降低钻井成本、减少储层伤害，同时适应高倾角、高应力、易漏失的地质条件。三塘湖盆地深部煤层气开发初期主要采用常规三开直井钻井技术，通过现场应用发现，该技术存在明显适配性不足问题。常规三开直井钻井技术在高倾角煤层区域，钻井轨迹难以控制，煤层钻遇率仅为65%~75%，部分井段因轨迹偏移导致错过主力煤层，影响后期产能。同时，三开结构钻井周期长，单井钻井周期可达45~60天，钻井成本偏高；钻井过程中，由于地应力高、煤层易破碎，井壁坍塌、卡钻等事故发生率较高，发生率达18%~25%，不仅延长钻井周期，还会造成储层二次伤害。

针对上述问题，结合盆地地质特征，优化采用二开结构L型定向井钻井技术，并配套低伤害钻井液体系。优化后的钻井技术优势显著：一是二开结构简化了井身结构，将常规三开改为二开，单井钻井周期缩短至30~40天，钻井成本降低15%~20%；二是L型定向井轨迹可灵活调整，能够适应高倾角煤层的赋存特点，通过精准的地质导向控制，煤层钻遇率提升至88%~95%，有效保障主力煤层钻遇；三是配套研发的低固相、无固相高效低伤害钻井液体系，耐温可达90℃，耐盐可达8000mg/L，能够适应盆地高温、中高矿化度地层条件，同时减少钻井液对煤层储层的伤害，储层伤害率降低至10%以下。此外，采用固井“穿鞋带帽”工艺，有效解决了采空区钻井液漏失问题，提高了钻井成孔率。

### 2.2 储层改造技术适应性分析

储层改造是深部特低渗煤层气开发的关键环节，核心目的是打破储层致密性，形成有效渗流通道，提高煤层气解吸与运移能力。三塘湖盆地深部煤层气开发初期采用常规水力压裂技术，主要存在改造效果差、裂缝延伸不足、支撑剂嵌入严重等适配性问题。

结合盆地深部煤层低煤阶、特低渗、高应力的特征，优化采用大排量体积压裂技术，配套适配的压裂液与支撑剂体系，具体优化措施如下：一是优化压裂施工参数，采用“大排量、

大液量、大砂量”的施工思路，排量提升至10~15m<sup>3</sup>/min，液量提升至1500~2500m<sup>3</sup>，砂量提升至80~120m<sup>3</sup>，通过高排量、高液量造缝，打破储层致密性，形成大规模立体裂缝网络，裂缝长度延伸至150~220m；二是优化压裂液体系，采用MEC压裂液体系，该体系耐温可达90℃，破胶率达95%以上，残留液少，能够有效减少储层伤害，同时具有良好的携砂能力与抗滤失能力，适应盆地高温、中高矿化度地层条件；三是优化支撑剂体系，采用超低密度高强度支撑剂，替代常规石英砂，支撑剂强度提升30%以上，有效减少高应力下的破碎与嵌入，裂缝导流能力提升至25~40mD·m，保障改造效果的长效性；四是针对多煤层、高倾角特点，采用投球分层、速钻桥塞分层等工艺，实现同井多层快速压裂改造，充分动用多套主力煤层资源。

### 2.3 排采技术适应性分析

排采技术的核心是实现储层平稳降压，促进煤层气解吸、运移与产出，同时减少煤粉产出、杆管偏磨等问题，保障气井长期稳定生产。三塘湖盆地深部煤层气排采初期采用常规排采技术，存在降压速度不合理、煤粉产出量大、杆管偏磨严重等适配性问题。

针对上述问题，结合盆地深部煤层气藏特征，优化采用五段双控排采技术，配套防腐防偏磨与煤粉防控措施，具体优化如下：一是采用“五段双控”排采模式，将排采过程分为排水降压段、气水同产段、产气稳定段、产量递减段、稳定收尾段，严格控制各阶段降压速度，初期降压速度控制在0.05~0.1MPa/d，气水同产段控制在0.1~0.15MPa/d，实现储层平稳降压，减少煤粉产出，同时加快煤层气解吸与运移；二是配套排采防腐防偏磨技术，采用缓蚀剂防腐技术结合三维杆柱力学优化设计，减少杆管偏磨，检泵周期延长至12~18个月，降低排采成本；三是采用合层排采分层产能测试技术，明确各煤层产能差异，针对性调整排采参数，实现多煤层均衡动用；四是应用煤层气自动化排采管理系统，提高排采精度，实现逐级平稳降压连续排采，保障气井稳定高产。

## 3 现场试验与效果分析

为验证优化后深部煤层气开发关键技术的适应性与有效性，在三塘湖盆地马朗凹陷深部煤层气开发试验区选取5口试验井，采用优化后的钻井、储层改造、排采技术进行现场试验，同时选取5口相邻井作为对比井，采用常规开发技术，对比分析各项技术指标与产能效果，试验结果如下。

### 3.1 钻井技术试验效果

试验井采用二开结构L型定向井钻井技术与低伤害钻井液体系，对比井采用常规三开直井钻井技术与常规钻井液体系，各项钻井指标对比见表1。

表1 各项钻井指标对比

| 指标类型       | 试验井<br>(n=5) | 对比井<br>(n=5) | 提升/降低幅度  |
|------------|--------------|--------------|----------|
| 钻井周期(天)    | 35.2         | 52.6         | 降低 33.1% |
| 煤层钻遇率(%)   | 91.3         | 70.5         | 提升 29.5% |
| 钻井事故发生率(%) | 7.8          | 21.2         | 降低 63.2% |
| 单井钻井成本(万元) | 892          | 1050         | 降低 15.1% |
| 储层伤害率(%)   | 8.5          | 18.7         | 降低 54.5% |

由表1可知,优化后的钻井技术在三塘湖盆地深部煤层中适应性良好,钻井周期大幅缩短,煤层钻遇率显著提升,钻井事故发生率与储层伤害率大幅降低,钻井成本有效控制,完全适配盆地高倾角、高应力、易漏失的地质条件。

### 3.2 储层改造技术试验效果

试验井采用大排量体积压裂技术,配套 MEC 压裂液与超低密度高强度支撑剂,对比井采用常规水力压裂技术,各项改造指标与产能效果对比见表2。

表2 各项改造指标与产能效果对比

| 指标类型                                   | 试验井<br>(n=5) | 对比井<br>(n=5) | 提升幅度   |
|--|--------------|--------------|--------|
| 人工裂缝长度(m)                              | 186.5        | 102.3        | 82.3%  |
| 裂缝导流能力(mD·m)                           | 32.8         | 8.6          | 281.4% |
| 压裂液破胶率(%)                              | 95.7         | 82.3         | 16.3%  |
| 初期日产气量( $\times 10^4$ m <sup>3</sup> ) | 1.72         | 0.58         | 196.6% |
| 稳定日产气量( $\times 10^4$ m <sup>3</sup> ) | 1.15         | 0.32         | 259.4% |

由表2可知,优化后的储层改造技术能够有效适配三塘湖盆地深部特低渗煤层特征,人工裂缝长度与导流能力大幅提升,压裂液破胶效果良好,储层改造效果显著,试验井初期与稳定日产气量均较对比井提升1.5倍以上,充分证明了该技术的适应性与有效性。

### 3.3 排采技术试验效果

试验井采用五段双控排采技术,配套防腐防偏磨与煤粉防

控措施,对比井采用常规排采技术,各项排采指标对比见表3。

表3 各项排采指标对比

| 指标类型        | 试验井<br>(n=5) | 对比井<br>(n=5) | 提升/降低幅度   |
|-------------|--------------|--------------|-----------|
| 检泵周期(个月)    | 15.3         | 4.8          | 提升 218.8% |
| 煤粉产出量(kg/d) | 1.2          | 4.7          | 降低 74.5%  |
| 停井次数(次/年)   | 1.2          | 4.5          | 降低 73.3%  |
| 排采效率(%)     | 89.5         | 67.8         | 提升 32.0%  |
| 气井稳产期(年)    | 3.8          | 1.6          | 提升 137.5% |

由表3可知,优化后的排采技术能够有效适配三塘湖盆地深部煤层气排采需求,检泵周期大幅延长,煤粉产出量与停井次数显著减少,排采效率与气井稳产期大幅提升,有效解决了常规排采技术存在的诸多问题,保障了气井长期稳定高效生产。

## 4 结论

新疆三塘湖盆地深部煤层具有低煤阶、高倾角、多煤层、高含气饱和度、特低渗、高应力的核心地质特征,常规深部煤层气开发技术适配性不足,存在钻井效率低、储层改造效果差、排采稳定性差等问题。优化后的二开结构L型定向井钻井技术,配套低伤害钻井液体系与固井“穿鞋带帽”工艺,能够有效适应盆地高倾角、高应力、易漏失的地质条件,显著提高煤层钻遇率、降低钻井成本与储层伤害。大排量体积压裂技术结合 MEC 压裂液与超低密度高强度支撑剂,采用分层压裂工艺,能够有效打破深部特低渗煤层的致密性,形成大规模立体裂缝网络,大幅提升储层改造效果与产气能力。五段双控排采技术配套防腐防偏磨、煤粉防控措施与自动化排采管理系统,能够实现储层平稳降压,减少煤粉产出与杆管偏磨,延长检泵周期,保障气井长期稳定高效生产。现场试验表明,优化后的深部煤层气开发关键技术体系在三塘湖盆地适应性良好,试验井单井稳定日产气量较常规技术提升2.5倍以上,钻井成本降低15%以上,排采效率提升32%以上,有效解决了盆地深部煤层气开发技术适配性不足的难题。

## 参考文献:

[1] 陶树,张守仁,毕彩芹,等.中国“十四五”深部煤层气勘探开发新进展与前景展望[J/OL].煤炭学报,1-27[2026-03-03].  
 [2] 仇鹏,陈河青,杨兆彪,等.准噶尔盆地深部煤层气勘探开发进展及前景展望[J/OL].煤炭学报,1-17[2026-03-03].  
 [3] 胡海光.深部煤层气开发关键技术研究现状与发展方向[J].广东石油化工学院学报,2025,35(04):38-42.  
 [4] 李斌.鄂尔多斯盆地东缘深部煤层气高效开发实践与认识[J].钻采工艺,2025,48(03):119-126+242.  
 [5] 代由进,徐凤银,王峰,等.深部煤层气勘探开发项目经济评价及投资决策流程[J].煤炭科学技术,2025,53(03):47-59.