

## 川渝页岩油气藏效益开发难点与解决方案

川渝地区页岩气藏在区块效益开发层面有下面一些难点：

- 区块建产、稳产和资源控制动用的最大化
- 提高水平井的单井（单级）产能和累产
- 生产井产能损失
- 生产井的动态生产表现评价

1. 区块建产、稳产和资源控制动用的最大化 -- 解决方案：水平井合理井距确定

- 水平井合理井距是区块开发中二个最大化（既相互关联又相互制约）的基础：
  - 单井有效控制油气储积体积的最大化 → 单级/单井产能和累产的最大化
  - 区块油气资源动用的最大化
- 页岩油气/致密油气资源开发的一大特定是油气井产量递减快，为达到区块建产和稳产，需要不断的钻新井。除了资金、人力物力资源之外，在什么地方钻井以及如何布井是最大的挑战，这在川渝地区尤为突出。以长宁区块（500km<sup>2</sup>）为例，如果在2021年达到年产50亿方气的产能，稳产5年，就需要钻400-700口水平井（根据美国页岩气盆地Barnett和Haynesville的典型递减分别估算）。迄今为止的水平井+多级分段压裂的结果表明，300-400m的井距过大，达不到油气资源动用的最大化。而且，长宁区块若用400m井距打出所需井数是不大可能的，所以需要解决什么是合理井距的问题。

2. 提高单井（单级）产能和累产 - 解决方案：水平井井眼轨迹优化与钻遇率

应用地质综合研究及现有井的储层改造效果分析评价，进行水力压裂模拟设计，以充分改造龙马溪底部+五峰组优质页岩层段，同时兼顾缝网在垂向上的覆盖程度，达到单井控制有效储积体最大化、提高单井产能和累产的目的，作为水平井的最佳着陆位置/井眼轨迹的依据：

- 传统钻遇率：以地质甜点为主要目标的层位
- 改造钻遇率：以单级/单井的最优改造效果（产能和累产的最大化）为目标的层位

### 3. 生产井产能损失 – 解决方案：现有井的产能恢复与增加（水平井再次改造）

表现与原因：

- 与井区（区块）典型递减相比：递减类型异常、递减率异常（快）
- 地质、工程原因（地质甜点、井眼轨迹、钻遇率）
- 水平井储层改造不充分
  - 未压开井段
  - 分段的合理性与间距（早期间距普遍偏大）
  - 射孔与完井方式
  - 压裂工艺（段内多级转向等）

### 水平井再次改造

- 优势：
  - 可采剩余储量风险小
  - 前期储层改造经验
  - 成本投入与新增/恢复产能比低（如不需要新的地面建设）
- 难点：
  - 水平井再次改造选井
  - 井筒状态与工程风险

- 再次改造的工艺、设备、工具、材料、施工

#### 4. 生产井的动态生产表现评价 – 认识解决上面几个难点的重要基础之一

- 储层改造设计认识的几个阶段

- 设计 - 基于静态数据：岩性，储层岩石的可压性，地应力分布，主应力间的应力差，水平井筒走向与主应力方向的关系，地层的垂向变化和横向展布，天然裂缝的产状和发育程度，天然裂缝对人工裂缝开启和发育的影响，设计者的设计理念，工具，材料，设备；主要工具为水力压裂设计模拟软件；静态结果
- 压裂施工后评估 – 实际施工数据和施工过程：施工参数，泵注程序，施工曲线，停泵后压降分析，反排放喷，微地震监测；主要用水力压裂设计模拟软件进行拟合；主要结果是压裂施工是否成功
- 人工裂缝的中长期有效性 – 井表现的动态生产分析：中长期储层改造效果应该反映在油气井的中长期生产表现上，利用油气井在弹性驱动生产期间（一年到三年）自然递减（压力递减，或者产量递减、或者产量、压力同时递减）的数据可以用来作中长期储层改造效果分析

#### 方案的系统解决工作方法：地质工程一体化

地质：广义的地质，涵盖了在油气勘探开发（上游）过程中与地球科学（Earth Science）相关及外延学科，包括地质、地球物理、油藏地质、油藏描述、油层物理、地质力学、油藏工程、采油气工程等。在地质工程一体化中更重要的意义是：在现有可利用的地质资料和数据的基础上，认识并尽可能定量地描述油气藏，形成对油气藏的评价方法并进行综合评价，获取并提供评价参数，使其能够指导工程实践。

工程：在油气藏/油气层的地质综合认识及评价的指导下，运用最适当的工程技术、设备、工

具、材料、工艺等，以达到安全、高效（降低综合成本、提高总体效益）的建井和投产、取得单井产能和累产的最大化和区块的整体效益开发

**地质工程一体化**：从建井到区块开发每个环节的前期（设计）、中期（实施）、后期（评估）与地质双向交流，做到实时（real-time）和适时（right-time）优化工程参数，预测和规避风险，诊断突发事件的原因和提供解决事件意见和方法。同时录取和提供新的资料和数据（包括中长期生产过程），对已有的认识和评价在一轮又一轮的地质 ↔ 工程循环中得到证实、修正、填缺补漏，让现有的认识和评价得到更新，拓宽、加深、细化（甚至重新认识），从而更好的指导工程实践，实现平台（井组）、井区、区块的优化开发。