

# 美国页岩油地质特征与开发因素研究

郭正良（中国石化集团国际石油勘探开发有限公司美国公司，北京 100083）

**摘要：**页岩油的勘探开发逐步进入了全球各大石油公司的视野，页岩油的开发成功与否将会对原油价格有着重要影响。目前，美国的页岩油开发已经进入了成熟的商业化开发阶段，而我国的页岩油开发还处于起步阶段。由于我国的页岩油开发面临很多难点，因此开发成本高，开发难度大，开发技术要求高，为了进一步降低开发难度和开发成本，本文针对页岩油的勘探开发影响因素进行了分析，有利于在后期的开发过程中进行借鉴，因此对页岩油的后期开发有一定的指导意义。

**关键词：**页岩油；勘探开发；影响因素；开发成本

页岩油的勘探开发逐步进入了全球各大石油公司的视野，页岩油的开发成功与否将会对原油价格有着重要影响。目前，美国的页岩油开发已经进入了成熟的商业化开发阶段，而我国的页岩油开发还处于起步阶段。本文在调研美国页岩油勘探开发现状的基础上，对其某区块页岩油开发现状进行了系统分析，为以后我国的页岩油勘探开发提供帮助和参考。

## 1 区域地质特征

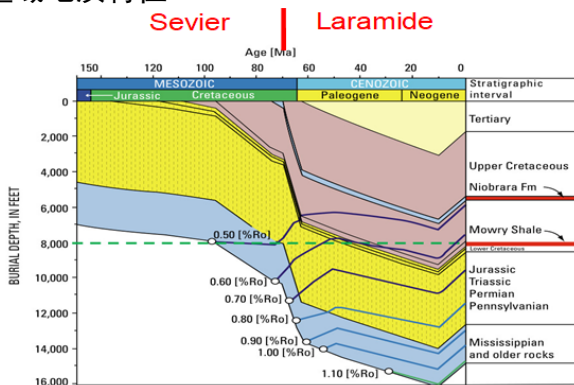


图1 PRB盆地地层埋藏史图

盆地内主要充填了白垩纪和第三纪岩石，其中也填充了一些古生代以及中生代早期岩石。从古生代到中生代，盆地属于板块内稳定台地，沉积了陆表海环境的碳酸盐岩和碎屑岩。盆地轴部偏西，东翼地层平缓。

PRB盆地中烃源岩主要包含Niobrara和Mowry层。其中，Niobrara层TOC：2%~4%；有机质主要为II型，少量II-III混合型，RO：0.6%~1.2%，处于低成熟—成熟生油阶段。Mowry有机质主要为偏生油的海相II型干酪根，向西有少量的III型陆相干酪根增加，从西到东，TOC增加，平均3%。Tmax：343~473℃/454℃；RO：0.6%~1.5%。

干酪根类型：海相II型为主，少量II-III混合型。TOC：0.58%~6.85%，平均2.98%，主要分布在2%~4%。成熟度：Tmax：435~456℃/442℃；RO：0.6%~1.1%。So（含油饱和度）So：20~60%，高值段>40%。厚度：厚度200~550ft。BBench为0~200ft，CBench为0~80ft。孔隙度和渗透率：常规破碎岩心孔隙度5.37%~9.35%，

平均6.65%；渗透率纳达西级别519nD。矿物组成：以碳酸盐矿物为主，7.6%~72.1%/44.1%；石英+长石等脆性矿物15.0%~53.0%/31.0%；粘土矿物6.7%~49.1%/24.9%。粘土矿物组成：以伊利石/云母和伊/蒙混层为主；伊利石/云母23.83%~84.21%/54.21%；伊/蒙混层0%~45.22%/32.41%。

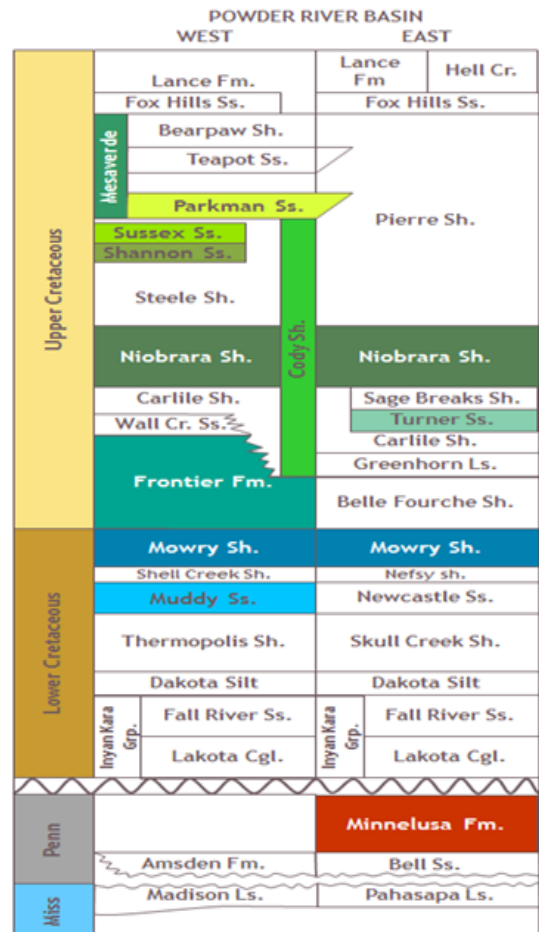


图2 Niobrara页岩油柱状剖面图

干酪根类型：主要为II-III混合型，少量III型。TOC：0.19%~4.58%，平均2.60%，主要分布在2%~4%。成熟度：Tmax：343~473℃/454℃；RO：0.6%~1.5%。断裂及裂缝分布：天然裂缝较多，但基本被充填。孔隙度和渗透率：常规破碎岩心孔隙度3.57%~13.58%，平均7.06%；渗透率纳达西级别606nD。矿物组成：以脆性

矿物为主, 39.1%~88.8%/71.9%; 其次为粘土矿物 6.5%~60.6%/21.0%; 碳酸盐矿物较少 0.3%~32.8%/7.1%。粘土矿物组成: 以伊利石和伊 / 蒙混层为主; 伊利石 37.07%; 伊 / 蒙混层 46.39%。

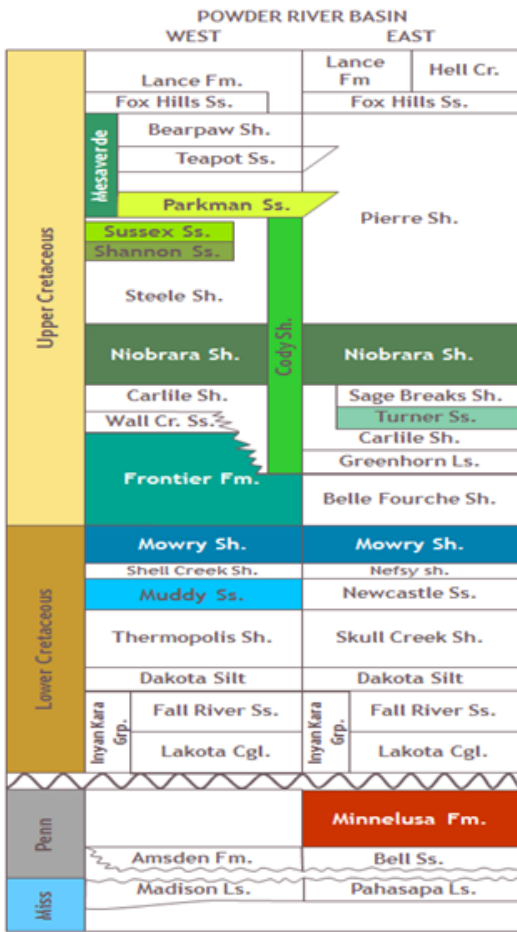


图 3 Mowry 页岩油柱状剖面图

## 2 页岩油的钻完井与地面工程

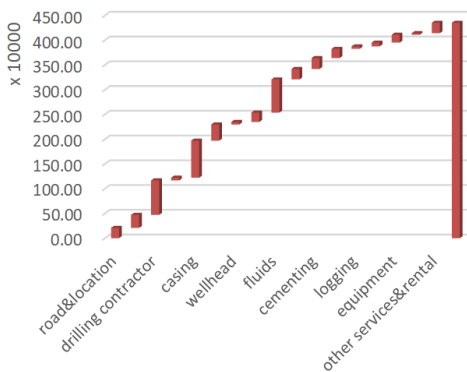


图 4 某页岩油钻井成本图

在页岩油气的开发中, 水平井水平段在油层的延伸长度和方向是决定水平井产能的关键因素, 正常情况下, 水平段长度就是一个土地单元的长度, 即 5000 英尺, 为了发挥水平井高效、高产的优势, 增加泄油面积, 降低桶油成本, 各区快不断尝试加长水平段长度和双分支井技术。

PDC 钻头性能提升提高了机械转速, 使造斜段 + 水平段“一趟钻”成为常态。PDC 钻头定制设计, 切削复

合片制造工艺提升(滤钻)-切削齿性能提高(热稳定性, 抗冲击性, 耐磨性, 自锐功能), PDC 锥形齿, PDC 滚动齿的出现。

组合式设计(PDC+ 牙轮, PDC+ 孕镶金刚石柱齿, 固定齿+锥形齿)以满足需要(导向性, 稳定性, 研磨性) 钻柱+钻具+钻头一体化设计平台(SLB IDEAS)

旋转导向(RSS)+近钻头地质导向技术(LWD)的全面使用提高了井眼质量, 保证了造斜段和水平段轨迹的稳定性, 为后续下套管和完井作业的顺利实施提供了保障。大扭矩顶驱(30000-50000 ft-lb), 为长水平段井提供足够的动力。

水平段下套管/尾管漂浮工具。水力震荡器(AGITATOR SYSTEM): 减少井下摩阻、提高钻压传递、提高滑动和转动钻井转速、延长钻头寿命。水力脉冲加压器, 克服了长水平段井施加钻压难的问题。钻井自动化的提升, 包括钻柱处理系统, 自动送钻系统的实现。钻机行走的实现, 满足了丛式井组(Pad drilling)需要, 液压自走式, 导轨式(30ft/hr)。钻机小型化, 更少更轻的模块组件, 快速拆卸, 自己组装, 更少的运载车次(50%), 提高了远距离井场间搬迁效率。理想配置: AC-VFD, 2000 马力/双燃料, 7500psi 循环系统, 360 度自走, 模块化快速搬迁。NOMAC 钻井公司主要服务于 MLJV 区块, 该公司的 PEAKERIG 钻机, 自动化程度高、移动性好, 具有双向移动系统, 有远程控制猫道和远程控制 BOP 悬挂系统。

## 3 结论

页岩油将成为石油行业持续稳定发展的重要支撑, 对于页岩油的开发, 各大石油公司都有自己的技术, 同时各地区的页岩油开发也面临不同的难题。美国的页岩油开发最早进入商业化, 但是其面临的难题较少, 而我国的页岩油开发遇到较多的瓶颈, 因此目前还没有进入商业化发的阶段。本文从页岩油的地质特征入手, 对影响其开发的因素进行了研究分析, 最后对页岩油钻完井技术进行了介绍, 进而寻求降低开发成本的关键措施, 也为我国今后页岩油的开发指明了一定方向。

### 参考文献:

- [1] 周庆凡, 金之钧, 等. 美国页岩油勘探开发现状与前景展望 [J]. 石油与天然气地质, 2019, 13(4): 469-477.
- [2] 白国平, 邱海华, 邓舟舟, 等. 美国页岩油资源分布特征与主控因素研究 [J]. 石油实验地质, 2020, 42: 524-532.
- [3] 王敏生, 光新军, 耿黎东. 页岩油高效开发钻井完井关键技术与发展方向 [J]. 石油钻探技术, 2019, 47(5): 1-10.
- [4] 杨国丰, 周庆凡, 卢雪梅. 页岩油勘探开发成本研究 [J]. 中国石油勘探, 2019, 42: 524-532.
- [5] 姜杉钰, 王金, 孙乃达. 美国页岩油上游产业发展进程和经验启示 [J]. 中国矿业, 2020, 47(5): 1-10.