

褶皱变形区正负向构造单元页岩气差异富集特征

张梦琳¹⁾, 李郭琴¹⁾, 寇一龙¹⁾, 李柯¹⁾, 陈佳¹⁾, 徐剑良¹⁾,
何嘉¹⁾, 梁霄¹⁾, 樊骐铨²⁾

1) 中国石油集团川庆钻探工程有限公司地质勘探开发研究院, 成都, 610051;

2) 中国石油西南油气田分公司四川长宁天然气开发有限责任公司, 成都, 610000

关键词: 褶皱变形区; 正负向构造; 页岩气; 差异富集

四川盆地是中国西南地区一个具有多方位逆冲推覆构造背景的叠合型盆地。四川盆地南缘在多次的构造叠加和改造作用下, 地层的褶皱变形、破裂程度和抬升剥蚀程度均有较大差别, 同一构造褶皱程度在局部应力场的影响下会呈现出一定的差异。研究区位于四川盆地南缘的褶皱变形区, 自西向东依次发育有天宫堂构造、双龙—罗场向斜、建武向斜、高木顶构造等多个正负向构造, 其构造形态、埋藏深度、断裂发育情况等具有较大差异性。结合区域地质资料及勘探实践初步研究认为, 盆缘构造挤压作用较弱的宽缓向斜有利于页岩气的富集与保存, 其次为强构造作用形成的不对称箱状背斜构造; 强逆冲作用形成的深埋藏潜伏负向构造则不利于页岩气的富集与保存, 而受大型断裂控制的复杂型构造仍待进一步研究。

1 区域地质特征

四川盆地南缘与大娄山构造带接壤, 但其盆山界线尚不明确(冯动军等, 2021)。盆—山过渡带区域, 地表条件复杂, 前陆盆地盆—山系统中没有典型的山前陡变带, 有较高的山地和深切的沟谷, 大娄山构造带为 NEE—NE 走向, 长约 250 km, 宽约 80 km, 分布在长宁(双龙—罗场向斜、建武向斜)和宁西(天宫堂构造)地区之间, 海拔高度在 600~1400 m 之间, 到了盆内泸州则逐渐减小到 400 m 左右。研究区受北东向多期次叠加应力场及喜马拉雅晚期北西向应力场控制, 造成北西向基底卷入式及北东向滑脱派生的构造带发育(梁志凯等, 2022)。

研究区主力页岩气开发层段为五峰组—龙马溪组底部, 优质页岩厚度 30~40 m, 页岩储层总有机碳含量介于 3.5%~4.6%, 有机质类型主要是 I 型(腐泥型)和 II₁ 型(腐殖腐泥型), 热演化程度局部较高, R_o 平均为 3.0%~3.8%, 富含笔石、放射虫等, 具有良好的烃源。

2 正负向构造单元特征

作为典型正向构造的天宫堂构造位于四川盆地西南缘, 主体远离控盆断裂, 受多期强隆升改造, 结构整体较复杂, 为一不对称的箱状断背斜(图 1a)。构造主体无大型断裂发育, 变形弱, 目的层埋深 3000~4000 m, 构造整体呈北东翼陡(地层倾角为 35°~45°)、南西翼缓(地层倾角小于 10°)的特征, 其中北东翼被近平行天宫堂构造主轴线的宫①号断裂切割(张梦琳等, 2022)。

受强构造变形作用的双龙向斜、罗场向斜均为北东向向斜, 埋藏深度基本在 3500 m 以上, 最深可达 5000 m, 构造主体被多条东北向一级、二级断裂切割(图 1b)。双龙向斜内部夹多个断块, 整体构造断裂延伸长度不一, 主干断裂延伸长度可达 30 km 以上。

建武向斜为一近东西向的宽缓向斜, 构造挤压较弱, 五峰组—龙马溪组埋深介于 2000~3200 m, 发育大量褶皱断裂, 向斜周边主要发育北东东—南西西向大型断裂, 向上断至二叠系或三叠系; 北东东—南西西向和北西向次级断裂主要发育于向斜内部(图 1b), 次级断裂断距通常在 20~100 m 之间, 一般限定在志留系中。

区内构造作用较强的高木顶构造位于长宁背斜的东侧, 平面上呈短轴状背斜, 长轴近东西走向,

向西与长宁背斜前翼的次级推覆背斜相连,核部地层出露上三叠统须家河组。属于川东南中隆高陡构造区长恒坝构造群,为一轴向近东西向的箱状构造,轴部出露三叠系中统雷口坡组灰岩地层。由南东至北西,主体区块形态呈3向斜夹2背斜;背斜南翼陡、宽度窄,背斜北翼形态宽缓,倾角较小(图1c、d)。区内断裂相对较发育,规模较大断裂对构造形态起着重要的控制作用。平面上断裂走向与构造轴向基本一致。

3 差异富集特征

综合分析研究区受力改造强弱、构造样式与断裂发育程度等特征,造成了页岩气富集成藏也具有明显的不同。

天宫堂构造受后期强隆升作用改造,保存条件主要受地层倾角陡缓程度与宫①号断裂的影响,早期富集型超压页岩气藏逐步调整为高压—常压页岩气藏,区内位于构造不同部位井的压力系数、总含气量、含气饱和度和测试产量等均存在较大差异。北鼻突地层较为平缓,过Y205井志留系倾角5°以内,构造变形较弱,5 km内无大型断裂发育,仍处于高压系统,具有良好的油气聚集和保存条件,试气获 $21.51 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 工业气流。南西翼斜坡带整体地层倾角基本在10°以内,距离一级断裂8 km以上,超压—高压系统,已钻的Y203井总含气量 $5.4 \text{ m}^3/\text{t}$,含气饱和度81%,测试获气 $36.26 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。构造核部,由于近宫①号断裂,气藏存在逸散,超压系统被破坏,4 km以内区域,压力系数过渡为常压,总含气量 $5 \text{ m}^3/\text{t}$ 以内,该区域不仅保存条件受到一定破坏导致气体逸散,且因近一级断裂,天然裂缝发育程度高,易发生井漏、卡钻等工程复杂,同时给后期压裂带来了严重影响。该区Y208井岩心整体较破碎,直改平钻进多遇卡钻、井漏等问题,经多次侧钻仍无法解决;Y207井经压裂改造与天然裂缝相组合形成了复杂的人工缝网,沟通了宫①号断裂,形成了气体逸散通道,该井开井无压力、测试100 d暂未获气(图1a)。初步研究认为地层埋藏—构造演化、地层倾角、背斜形态、断裂发育情况等是天宫堂构造页岩气富集成藏的主控因素。

双龙—罗场向斜构造变形及隆升改造作用强,形成具有复杂构造区“强改造、过成熟”的页岩气地质特征(梁兴等,2021)。位于罗场向斜的N231

井,埋深较深4600 m以上,井两侧约5 km距离发育断距350 m以上一级断裂;N219井位于双龙向斜南西翼,埋深4000 m,井周5 km范围内未见一级断裂;N218井位于罗场向斜南西翼,埋深3585 m,井周断裂较发育;三口井储层均呈现了超低含气性、超低电阻特征。两向斜古埋深和现今埋深均较大,过高的热成熟度不利于页岩气富集,该区多发育形成于喜马拉雅中晚期的北东向一级断裂,为油气散失提供了通道,破坏了页岩储层含气性。

建武向斜主体远离剥蚀区及控盆断裂,主体变形较弱、地层平缓、埋深适中,为页岩气的富集保存提供了良好的条件。建武向斜目前已投产400余口井,井均EUR $1.13 \times 10^9 \text{ m}^3$ 。经勘探实践证明,含气饱和度与正负向构造呈现良好的正相关,二、三级断裂下盘潜伏向斜区多钻遇低阻低产井;北部低压力系数区,储层物性、含气性较好,但因压力系数过低开井压力整体较低,产能较不稳定;I类连续储层变薄区域及近二级断裂破碎带产能明显下降;断裂欠发育、埋深2000~3500 m缓斜坡带多见EUR $1.2 \times 10^9 \text{ m}^3$ 以上高产井。建武向斜主体地层变形弱、构造稳定型较强,埋深适中,发育良好的顶底板,周边基本无页岩气层出露,页岩气仅通过部分二级断裂发生一定程度的逸散,总体而言该区页岩气保存条件良好,更易于页岩气富集(图1b)。

高木顶构造为典型的复杂型构造,区内发育较多一级断裂,对构造形态起到控制作用,该区目前勘探程度极低。在高木顶背斜北翼的N242井,呈现高TOC,中高孔隙度、低电阻、中等含气性特征,压力系数2.03,目前测试未见工业气流(图1c、d)。N240井位于一级断裂下盘,距离一级断裂4.3 km,该断裂形成于晚燕山期,黔中古隆起地区强烈楔入大娄山一带,受四川盆地刚性基底的阻挡,该区发生近南北向挤压褶皱变形事件,破坏了断裂附近页岩储层含气性,导致N240井含气饱和度降低(图1c)。由于该构造井控较少,认识程度较低,初步认为构造改造对该区页岩气富集起到至关重要的作用,仍需进一步深化研究。

参 考 文 献 / References

- 冯动军,胡宗全,李双建,杜伟,师源. 2021. 川东盆缘带龙马溪组关键保存要素对页岩气富集的控制作用. 地质论评, 67(1): 144~158.
- 梁兴,单长安,张朝,徐政语,徐进宾,王维旭,张介辉,徐云俊. 2021. 昭通太阳背斜山地浅层页岩气“三维封存体系”富集成藏模式. 地

质学报, 95(11): 3380~3399.

梁志凯, 姜振学, 吴伟, 郭婕, 王孟, 刘冬冬, 聂舟, 薛子鑫. 2022. 川南长宁地区不同构造单元五峰组—龙马溪组流体包裹体特征及其地质意义. 中南大学学报(自然科学版), 53(9): 3652~3665.

张梦琳, 李郭琴, 何嘉, 衡德. 2022. 川西南缘天官堂构造奥陶系五峰组—志留系龙马溪组页岩气富集主控因素. 岩性油气藏, 34(2):

141~151.

ZHANG Menglin, LI Guoqin, KOU Yilong, LI Ke, CHEN Jia, XU Jianliang, HE Jia, LIANG Xiao, FAN Qicheng:

Differential enrichment of shale gas in anticline and syncline tectonic units in fold deformation area

Keywords: Fold deformation zone; anticline and syncline structure; shale gas; differential enrichment

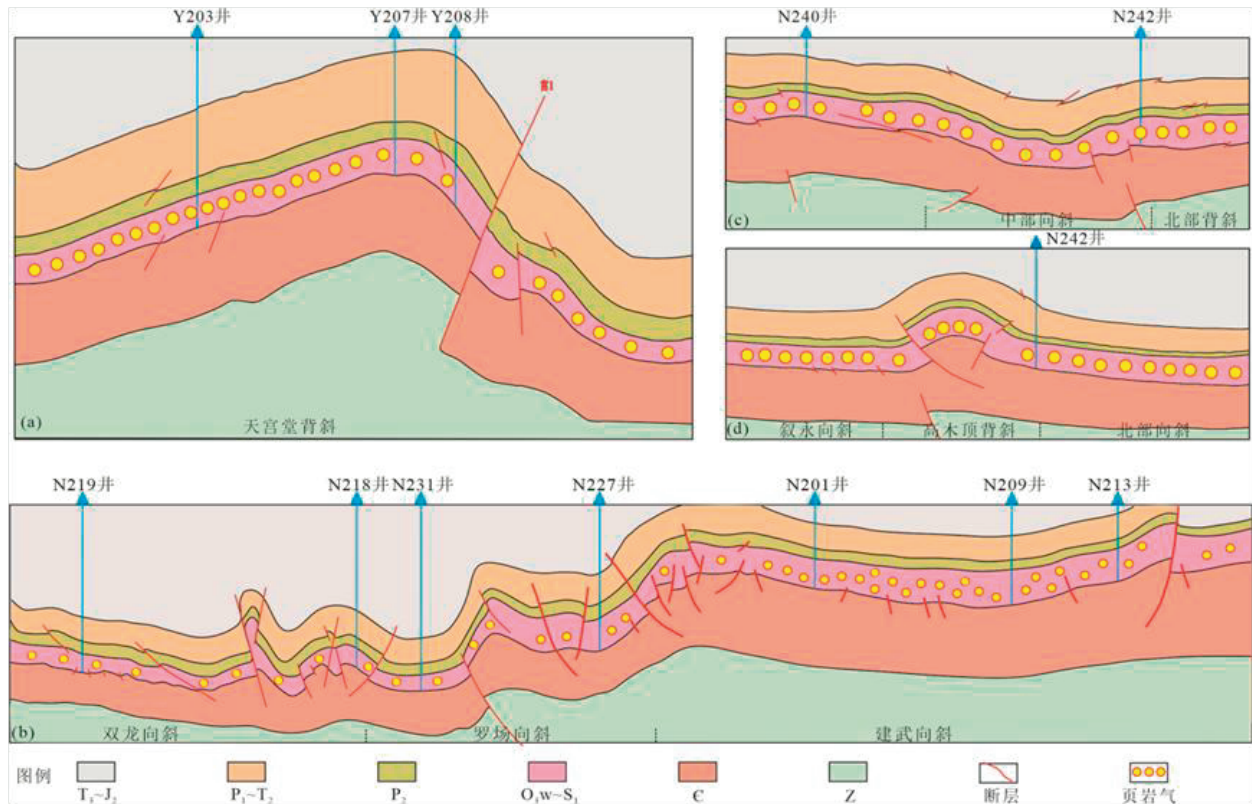


图1 四川盆地南缘正负向构造单元页岩气富集特征图