

渝东南下寒武统页岩裂缝成因类型及其应力控制机制

焦伟伟^{1,2,3)}, 岳锋^{1,2,3)}, 程礼军^{1,2,3)}

1) 国土资源部页岩气资源勘查重点实验室(重庆地质矿产研究院), 重庆, 400042; 2) 重庆市页岩气资源与勘查工程技术研究中心(重庆地质矿产研究院), 重庆, 400042; 3) 油气资源与探测国家重点实验室重庆页岩气研究中心, 重庆, 400042

渝东南地区位于四川盆地东南部外缘, 是上扬子板块的重要组成部分, 经历多期构造运动, 构造变形强烈, 褶皱、断裂发育, 受燕山期北西—南东向强烈挤压应力影响, 现今呈现北北东向山脉与小型山间盆地相间的地貌特征。渝东南地区广泛发育下古生界海相页岩, 主要包括下寒武统牛蹄塘组及上奥陶统五峰组—下志留统龙马溪组, 具有发育广、厚度大、埋深浅、有机质丰度高、裂缝发育等特点, 是研究区页岩气勘探的两套重点层位(张金川, 2008; 邹才能, 2010)。在重庆涪陵、彭水及黔江等地的勘探突破, 充分证明了五峰组—龙马溪组的勘探潜力; 而相比较而言, 下寒武统勘探程度和研究程度均较低, 现有的几口参数井显示含气性不理想, 页岩气赋存状况相对复杂, 生烃条件、储集空间特征、保存条件以及成藏富集规律等方面都需要深入研究(黄文明, 2011)。本文以对于页岩气赋存及开发都具有关键作用的裂缝为研究对象, 对其成因类型和应力控制机制进行讨论, 期望能为渝东南地区页岩气勘探开发提供一些参考。

1 裂缝成因类型

通过野外 1486 对测点、2 口井 160m 岩心及大量薄片和扫描电镜观察描述, 基于泥页岩裂缝的地质成因、力学性质、发育特征等, 将南方下古生界海相泥页岩页岩裂缝从成因上划分为构造裂缝、成岩缝和异常高压缝三大类(表 1)。构造裂缝根据其力学性质进一步分为张裂缝和剪裂缝; 剪裂缝根据其其与页岩层面的关系分为高角度穿层裂缝和低

角度滑脱裂缝; 成岩裂缝根据其其与页岩层面的关系分为页理缝和成岩收缩裂缝(表 1)。

表 1 研究区页岩裂缝成因分类方案

分类依据	地质成因	力学性质	与层面关系
裂缝类型	构造裂缝	剪裂缝	高角度穿层裂缝
			低角度滑脱裂缝
		张裂缝	
成岩裂缝			页理缝
			收缩缝
异常高压裂缝			

下寒武统页岩裂缝以高角度构造剪切缝最为发育, 表现为多期裂缝相互切割, 同组裂缝具有较好的等间距性, 裂缝开度小, 充填程度高; 低角度滑脱缝见于部分井段, 缝面常有擦痕或阶步。成岩缝中常见的是页理缝, 多表现为水平缝或低角度裂缝。异常高压缝是当异常高流体压力超过岩石破裂强度时形成的裂缝。根据渝东南地区沉积演化史、烃源岩有机碳含量和热演化程度结合前人关于沉积盆地超压形成机制分析认为, 深埋作用和烃类裂解增压作用可能是该地区产生超压的主要原因。

2 裂缝发育的应力控制机制

2.1 裂缝组系及切割关系

根据测区裂缝走向玫瑰花图, 下寒武统页岩中构造裂缝主要有三组, 分别为近 E—W 向、NE 向(走向 N30°E)和近 S—N。近 S—N 向一组裂缝在彭水测区发生 10°逆时针偏转, 表现为 NNE 向。西

注: 本文为国家 973 计划项目资助(编号 2012CB214705-05)。

收稿日期: 2015-02-02; 改回日期: 2015-02-28; 责任编辑: 费红彩。

作者简介: 焦伟伟, 女, 1981 年生, 博士, 高工, 地质资源与地质工程专业。Email: jiaoweiw-210@163.com。

阳测区近 E—W 向和近 S—N 向二组构造裂缝发育优势明显，而秀山测区近 E—W 向和 NE 向二组构造裂缝发育优势明显。

露头上裂缝平面切割关系显示：近 SN 向一组构造裂缝限制了近 E—W 向和 NE 向二组裂缝，表明其最先形成；同时，近 E—W 向一组构造裂缝限制了 NE 向一组构造裂缝扩张，表明近 E—W 向一组裂缝早于 NE 向一组裂缝形成，NE 向裂缝形成时间最晚。

2.2 裂缝发育的应力控制机制

根据 Anderson 断层模式，理论上期构造应力会形成一组共轭的剪切裂缝，且与最大主应力方向呈 30° 左右的夹角，认为三期主要的构造运动对应形成了三期构造裂缝，其中最强烈的南东-北西向的燕山期构造应力形成的近东西向裂缝最为发育，其次是近南北向的喜山期构造应力对应的北东向裂缝，北北东向的印支期构造应力相对较弱，对应形成的近南北向裂缝最不发育（图 1）。说明古构造应力场对于渝东南地区下寒武统页岩构造裂缝的形成、展布及发育程度等都具有非常显著地控制作用。这一点进一步通过应力场数值模拟和裂缝分布预测得到了证实，应力场对于天然裂缝的发育的控制作用具有“最大主应力方向控制了裂缝的延伸方向，差应力控制裂缝发育程度”的特点。

参 考 文 献 / References

黄文明, 刘树根, 马文辛, 等. 2011. 川东南—鄂西渝东地区下古生界页岩气勘探前景. 地质通报, 30(2-3): 364~371.
 张金川, 聂海宽, 徐波, 等. 2008. 四川盆地页岩气成藏地质条件. 天然

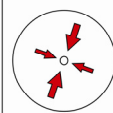
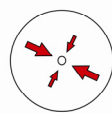
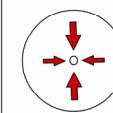
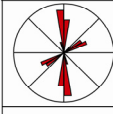
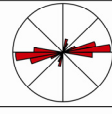
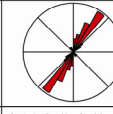
年代	印支期	燕山期	喜山期
构造应力场大小和方向	北北东向挤压	南东北西向挤压	近南北向挤压
			
	σ_1 方位 20°	σ_1 方位 116°	σ_1 方位 0°
	20MPa 左右	60MPa 左右	40MPa 左右
裂缝方位特点	第一期裂缝	第二期裂缝	第三期裂缝
			
	在北北东向挤压构造应力作用下, 主要发育一组近南北向剪切裂缝	在南东北西向强烈挤压构造应力作用下, 主要发育一组近东西向剪切裂缝, 该组剪切裂缝非常发育	在近南北向较强挤压构造应力作用下, 该组近南北向剪切裂缝发育程度小于近东西向构造裂缝, 但大于近南北向一组构造裂缝

图 1 渝东南下寒武统页岩构造裂缝发育应力控制机制示意图

3 结 论

- (1) 下寒武统牛蹄塘组页岩裂缝从地质成因上分为构造裂缝、成岩裂缝及异常高压裂缝三大类；
- (2) 三期主要的构造运动对应形成了三期构造裂缝，其中最强烈的南东-北西向的燕山期构造应力形成的近东西向裂缝最为发育；
- (3) 应力场对于天然裂缝的发育的控制作用具有“最大主应力方向控制了裂缝的延伸方向，差应力控制裂缝发育程度”的特点。

气工业, 28(2): 151~156.

邹才能, 董大忠, 王社教, 等. 2010. 中国页岩气形成机理、地质特征及资源潜力. 石油勘探与开发, 37(6): 641~653.