

# 湘鄂西地区下古生界页岩气保存条件

李海,白云山,王保忠,张国涛

(中国地质调查局武汉地质调查中心,湖北武汉430205)

**摘要:**湘鄂西地区泥页岩具有发育层位多、分布面积广、沉积厚度大和热演化程度高等特点,具备形成页岩气的物质基础,但保存条件成为制约其富集成藏的关键。以湘鄂西地区下古生界下寒武统和上奥陶统一下志留统2套页岩层系为研究对象,从地层抬升剥蚀强度、断层和裂缝组合、盖层发育特征、流体封闭性4个方面分析了页岩气的保存条件。结果表明,复向斜地区受构造活动改造弱,黑色页岩埋深较大,盖层分布连续,断裂不发育,流体封闭性强;而复背斜地区受构造活动改造强,盖层不完整或缺失,黑色页岩埋藏浅,甚至暴露地表,断裂发育,流体封闭性弱。利川复向斜南部、花果坪复向斜中北部和桑植—石门复向斜中部的页岩气保存条件较好,可作为下一步勘探的有利目标区。

**关键词:**页岩气 保存条件 下古生界 抬升剥蚀强度 流体封闭性 湘鄂西地区

**中图分类号:**TE112.26

**文献标识码:**A

**文章编号:**1009-9603(2014)06-0022-04

湘鄂西地区下古生界广泛发育富有机质的海相泥页岩,“全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”研究成果<sup>①</sup>显示该区蕴藏巨大的页岩气资源,现已优选出湖北鹤峰、来凤—咸丰和湖南桑植、龙山、永顺、保靖6个勘查潜力区。前人系统研究了湘鄂西地区的油气静态保存条件,并结合动态成藏观点探讨了流体活动、封存箱时空演变和地质结构特征与油气保存的关系,一致认为构造作用是油气能否最终保存聚集的主导因素<sup>[1-8]</sup>。但以往的研究多从常规油气勘探角度出发,富有机质泥页岩常被视作烃源层或盖层,针对具有“源储一体”特征的泥页岩层的油气保存条件涉及较少。因此,笔者以湘鄂西地区下古生界下寒武统和上奥陶统一下志留统2套黑色页岩为研究对象,从地层抬升剥蚀强度、断层和裂缝组合、盖层发育特征和流体封闭性4个方面入手,分析了下古生界页岩气的保存条件,期为研究区页岩气的下一步勘探部署提供参考。

## 1 区域地质概况

湘鄂西地区处于中扬子地区西部,东以天阳坪断裂为界与江汉平原区分隔,西北以齐岳山断裂为界与川东褶皱带相接,南以保靖—慈利断裂为界与

江南隆起隔开;地理位置处于两省交界过渡带,包括现在行政区划上的湖北省西部和湖南省西北部,总面积约为 $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。受多期造山运动的影响,研究区地形复杂、山高谷深,发育以北东向为主的隔槽式褶皱单元<sup>[9]</sup>,由西北向东南依次为利川复向斜、中央复背斜、花果坪复向斜、宜都—鹤峰复背斜和桑植—石门复向斜(图1)。地层以古生界和中生界为主,普遍缺失新生界,除泥盆系和石炭系之外,从震旦系到侏罗系地表均有出露,其中下寒武统水井沱组(牛蹄塘组)和下志留统龙马溪组分布广泛,是页岩气富集的有利层位。

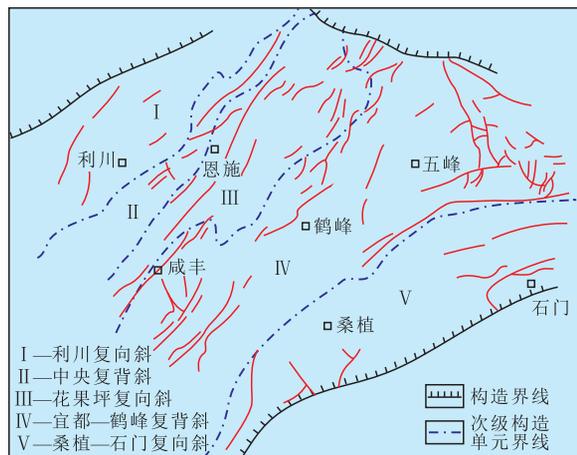


图1 湘鄂西地区构造单元划分

收稿日期:2014-09-11。

作者简介:李海,男,助理工程师,硕士,从事油气成藏机理和页岩气地质评价研究。联系电话:13477098048, E-mail: lihai6248592@163.com。

基金项目:中国地质调查局“武陵—湘鄂西页岩气资源调查评价”(12120114049801)。

①李玉喜,乔德武,姜文利.全国页岩气资源潜力调查评价及有利区优选.国土资源部油气资源战略研究中心,2013.

## 2 地层抬升剥蚀强度

富有机质页岩由于发育多样的微型孔—裂隙系统,具有较强的吸附特性,在一定程度上能够抵抗构造运动的影响,但是在构造变形强烈、地层剥蚀严重的地区,页岩气藏还是遭受巨大的影响,甚至被完全破坏。主要表现在2个方面:①含气页岩的上覆地层减薄或完全被剥离,导致纵向上的封堵条件变差;②由于地层相对开启,流体(包括地层水和游离气)发生迁移,含气页岩层压力降低,吸附气逐渐解吸甚至散失。

老井复查结果显示,位于花果坪复向斜河涝子构造轴部的河2井和利川复向斜鱼皮泽构造轴部的鱼1井均在龙马溪组页岩层见到良好的气测显示<sup>①</sup>。近年江汉油田又在花果坪复向斜新塘向斜轴部钻探第1口页岩气参数井——河页1井,并在五峰组—龙马溪组见到厚度为26 m的良好页岩气显示<sup>[10]</sup>,这都表明复向斜中向斜地带的页岩气埋藏和保存条件更好,具有良好的勘探前景。但位于中央复背斜和宜都—鹤峰复背斜上的二十几口井,在下古生界2套富有机质页岩中均未见到页岩气显示,仅宜3井和咸2井在震旦系中见到少量可燃气体<sup>[11]</sup>。因此,受多期构造运动的影响,湘鄂西地区经历了多次的抬升剥蚀,由于所处的构造部位不同,页岩气保存条件存在明显的差异:在隆升幅度大、构造破坏强烈的中央复背斜和宜都—鹤峰复背斜地区,其轴部普遍出露志留系和寒武系,富有机质页岩的上覆保存条件变差甚至缺失;而在相邻宽缓、开阔的复向斜中,地表多残留三叠系,局部分布侏罗系,富有机质页岩上覆保存条件完整。

## 3 断层和裂缝组合

美国页岩气的勘探开发实践证明,页岩气富集高产区内断裂体系发育较少,且高产井多远离断层分布。但这并不意味着断裂体系的发育不利于页岩气的保存,近年来的研究表明适当规模断裂体系的存在可以有效改造页岩的储渗条件,有利于页岩气的富集保存和产出<sup>[12-13]</sup>。因此,断层和裂缝对于页岩气保存具有二重性,取决于二者的性质、发育期次、规模及其与富有机质泥页岩之间的配置关系。

从湘鄂西地区断裂构造平面分布特征(图1,图2)可见,研究区断层数量多、分布广、规律性强,主要集中在复背斜构造单元内,尤其是在东部构造方

向转变的部位。例如在宜都—鹤峰复背斜的构造东端,发育各种断层132条,部署的11口探井测试均以产水为主,仅见少量可燃气体,说明油气藏多已遭破坏<sup>[11]</sup>。与此相反,复向斜地区内的油气显示好于复背斜地区。分析认为,复背斜轴部属于应力集中区,多发育应力调节的张性断裂,随着后期地层抬升,断面压力逐渐降低,封闭能力下降;同时,密集的断裂网络体系使得地表水更容易与地层沟通,发生交替溶蚀作用,进一步降低了油气封存能力,导致油气最终的破坏与散失。而复向斜地区受构造活动影响和地层抬升幅度小,长期持续沉降可能产生异常高压,从而诱发微裂缝的发育,改善储集空间,同时研究区内压性和压扭性断层可作为边界封堵条件,防止气体的侧向散失,断层和裂缝在空间上的有效组合在一定程度上对页岩气的保存具有积极作用。

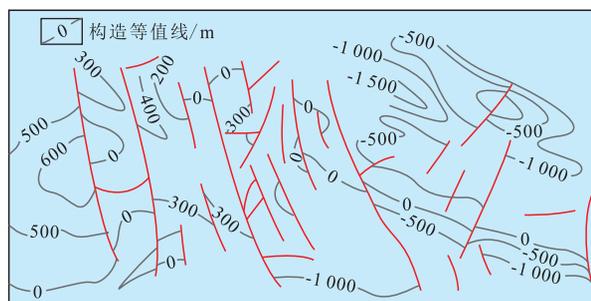


图2 湘鄂西宜都地区断裂构造平面分布特征

## 4 盖层发育特征

页岩气藏集生、储、盖“三位一体”,从理论上而言页岩层本身就构成了一个相对封闭的保存系统,并且由于页岩气吸附机理的存在,即使受到一定强度地质作用的影响和破坏,也能保留一定量的天然气富集。但是,对于构造运动期次多、强度大、变形复杂的湘鄂西地区来说,对页岩气盖层条件的研究不容忽视。研究区以往的勘探效果也证实,目的层盖层缺失的探井见油气显示最少,目的层盖层完好的探井见油气显示最多,甚至目的层盖层未剥蚀殆尽的探井仍有较高的油气显示率<sup>[14]</sup>。借鉴常规油气盖层的研究思路,按照盖层与富气页岩层的位置关系,可将盖层分为直接盖层和上覆盖层2类。直接盖层是富气页岩段(层)之上能够直接封堵气体向上逸散的岩层。作为页岩气层上部最直接的保护层,直接盖层在很大程度上决定了页岩最终的含

①包书景,聂海宽,高波,等.川东南和鄂西渝东地区页岩气资源战略调查与选区.中国石化石油勘探开发研究院,2011.

气性。湘鄂西地区2套黑色页岩的直接盖层为富气页岩段(层)之上的“贫碳”页岩(一般为灰绿色页岩、粉砂质页岩)以及灰岩、泥灰岩。上覆盖层是富气页岩层系之上能够封堵气体向上逸散的岩层。作为页岩气层上部一种间接的保护层,虽然不能起到直接封堵作用,但一般都具有分布面积广、受构造破坏影响小的特征,可以有效扩大富气页岩区在平面上的分布范围。湘鄂西地区2套黑色页岩的上覆盖层为黑色页岩层系之上的泥岩、灰岩和膏盐岩,特别是一些分布面积广、塑性强的膏盐岩(或泥岩)成为研究区的优质区域盖层。

通过路线地质调查和钻井资料复查证实,研究区中寒武统膏盐岩分布广泛(图3a),主要集中在花果坪复向斜以西,厚度最大可达600 m,往东南方向逐渐减薄,并在鹤峰复背斜高部位出露变成膏溶角砾岩,直至桑植—石门一线以东完全消失。此外,二叠系的有效盖层在复向斜区大多连片分布,甚至在中央复背斜以西出现中三叠统一侏罗系盖层(图3b),但在鹤峰复背斜、中央复背斜及桑植复向斜的南部都少见上古生界盖层。

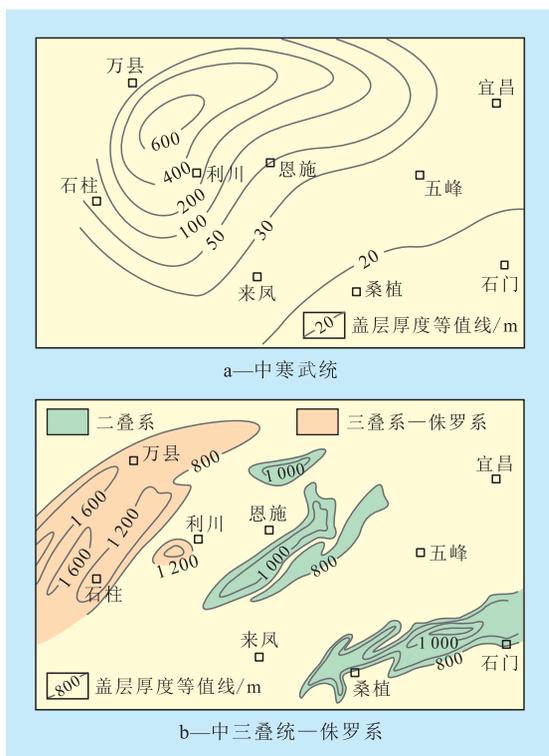


图3 湘鄂西地区黑色页岩上覆盖层平面分布特征

总体而言,在地层组合完整的情况下,湘鄂西地区2套黑色页岩层的直接盖层和上覆盖层都发育良好,但由于后期构造改造的影响,盖层体系(包括直接盖层和上覆盖层)在平面上表现为西北好、东南弱且向斜完好、背斜缺失的特征。

## 5 流体封闭性

随着沉积盆地的演化,流体产生并流动,其自身的活动和演化不仅构成了盆地动力学演化的重要内容,还主导了盆地中的物质演变和能量再分配。地层水作为最广泛存在的一种地质流体,直接参与了沉积物的成岩、后生、成油和成矿等过程,其自身的性质往往是多种地质作用的结果和记录,具有良好的指示意义<sup>[15-17]</sup>。因此,通过分析地层水所保留的受保存条件影响的一些特征,可以研究油气保存条件是否完好,进而确定流体封闭性(表1)。根据水文地质单元的开启程度,在纵向上可以划分为自由交替带、交替阻滞带和交替停止带<sup>[18]</sup>。

表1 湘鄂西地区地层水化学特征

构造单元	层位	井号	矿化度/ (g·L <sup>-1</sup> )	变质系数	水型	垂向分带
石柱复向斜	S	建28	33.10	0.52	CaCl <sub>2</sub>	交替停止
	C	新场2	52.74	0.73	CaCl <sub>2</sub>	交替停止
	P	龙4	130.457	1.21	CaCl <sub>2</sub>	交替停止
中央复背斜	ε	茶1	2.70	31.9	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	自由交替
	ε	果1	3.36	30.54	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	自由交替
	ε	李2	3.78	28.79	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	自由交替
花果坪复向斜	S	河页1	3.9~7.3		NaHCO <sub>3</sub>	交替阻滞
	S	河2	1.80	9.91	NaHCO <sub>3</sub>	自由交替
	ε	洗1	8.87	4.09	NaHCO <sub>3</sub>	交替阻滞
鹤峰复背斜	ε	咸1	2.13	25.57	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	自由交替
	Z	咸2	13.59	19.25	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	自由交替
	ε	茅2	1.91	7.28	NaHCO <sub>3</sub>	自由交替
	Z	宜3	7.63	2.17	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	交替阻滞

湘鄂西地区2套黑色页岩的地层水矿化度总体偏低,总矿化度值大多小于14 g/L,而变质系数多大于5,最高可达31.9,为Sulin成因分类<sup>[19]</sup>中的Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>型和NaHCO<sub>3</sub>型,基本处于自由交替带和交替阻滞带,并未显示出良好的流体封闭性。虽然勘探实践证实中扬子区域内储层的含油气显示级别与地层水性质密切相关(图4),但以往常规油气探井多位于背斜构造,收集的老井资料在一定程度上不能完全反应不同构造单元内的流体封闭条件。因此,在前人研究的基础上深入分析认为,由于断层和盖层等物性边界的封存,以及后期地表水淋滤改造,研究区原本完整的地层水系统多被分割为相互独立的封存箱,造成了地层水性质在平面上和纵向上都显示出明显的差异性:在花果坪复向斜、桑植—石门复向斜中受抬升剥蚀影响小、上覆盖层完整并且

远离断裂活动频繁的地区具有较好的地层水性质,流体封闭条件没有受到巨大破坏,具有较好的页岩气保存条件,特别是花果坪复向斜内的河页1井和利页1井都在志留系中见到良好的天然气显示;而在复背斜构造区域,由于构造活动强烈导致富有机质页岩接近或出露地表,加之断层的沟通作用引起地表水与地下水的强烈交替,原始地层水性质普遍发生改变,流体封闭条件变差甚至完全缺失,页岩气后期保存受到不利影响。如中央复背斜南部、宜都—鹤峰复背斜中部大部分地区寒武系广泛出露,为受渗入水影响区,甚至震旦系气藏的保存条件也遭到破坏,处于交替阻滞带或自由交替带;但在远离构造高点的低幅构造单元内,如果发育较好的保存体系则也是页岩气富集的有利区。

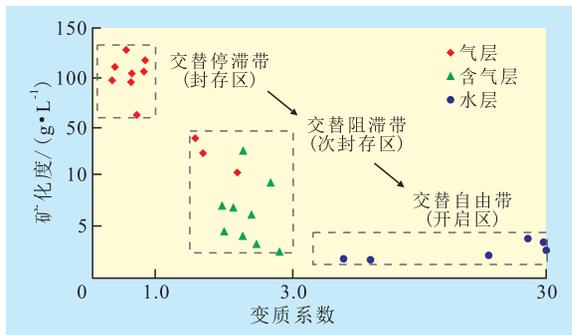


图4 湘鄂西地区地层水化学性质与产层含气性关系

综上所述,湘鄂西地区流体封闭性在整体上呈现出由新地层到老地层、自东南向西北逐渐变好的趋势,高陡背斜之间的向斜腹地具有明显较好的流体封闭性,尤其是在川东南缘的石柱复向斜内,石炭系—二叠系地层水矿化度均大于30 g/L,变质系数小于1.5,为Sulin分类中的CaCl<sub>2</sub>型,显示出良好的流体封闭性。此外,前人研究进一步指出中央背斜以北的向斜区域属于地下水低势汇流带,水流缓慢,有利于油气后期汇聚成藏<sup>[2]</sup>。

## 6 结论

湘鄂西地区经历了复杂多期的构造演化,后期的改造和破坏程度是制约页岩气保存的关键。研究表明,复向斜地区受构造活动改造弱,黑色页岩埋藏深度较大,盖层分布连续,断裂不发育,流体封闭性强;而复背斜地区受构造活动改造强,地层普遍遭受剥蚀,盖层不完整或缺失,黑色页岩埋藏浅,甚至暴露地表,断裂发育,流体封闭性弱。考虑湘鄂西地区页岩气勘探的实际情况,认为在现有页岩气探井缺少的情况下,盖层是页岩气保存条件

研究的重点,尤其是2套黑色页岩层系之上的区域性盖层,对页岩气的富集成藏和资源丰度具有重要意义。通过对湘鄂西地区页岩气的地层抬升剥蚀强度、断层和裂缝组合、盖层发育特征和流体封闭性的分析,认为利川复向斜南部、花果坪复向斜中北部和桑植—石门复向斜中部的页岩气保存条件较好,可作为下一步勘探的有利目标区。

### 参考文献:

- [1] 肖朝辉.中扬子区海相油气保存条件研究[D].成都:成都理工大学,2010.
- [2] 王威,胡晓凤,宋焕荣,等.江汉平原震旦系储层古水动力场演化及其与油气运聚的关系[J].油气地质与采收率,2009,16(6):24-28.
- [3] 冯爱国,张建平,石元会,等.中扬子地区涪陵区块海相页岩气层特征[J].特种油气藏,2013,20(6):15-19.
- [4] 苏勇.湘鄂西区块构造演化及其对油气聚集的控制作用[D].北京:中国科学院研究生院,2007.
- [5] 吴敏.湘鄂西地区中生代构造演化及其对油气保存条件的影响[D].武汉:中国地质大学(武汉),2009.
- [6] 胡晓凤,丁青.鄂西渝东志留系流体封存箱的演化与天然气成藏[J].海相油气地质,2011,16(3):38-43.
- [7] 沃玉进,汪新伟.中、上扬子地区地质结构类型与海相层系油气保存意义[J].石油与天然气地质,2009,30(2):177-187.
- [8] 汤济广,梅廉夫,周旭,等.扬子陆块差异构造变形对海相地层成烃演化的控制[J].天然气工业,2011,31(10):36-41.
- [9] 马力,陈焕疆,甘克文,等.中国南方大地构造和海相油气地质[M].北京:地质出版社,2004.
- [10] 石元会.湘鄂西地区河页1井页岩气录井显示解释评价[J].江汉石油职工大学学报,2013,26(4):10-12.
- [11] 应维华.保存条件对湘鄂西地区天然气藏形成的作用[J].天然气工业,1984,5(1):27-29.
- [12] 葛忠伟,樊莉.页岩气研究中应注意的问题[J].油气地质与采收率,2013,20(6):19-22.
- [13] 李建青,高玉巧,花彩霞,等.北美页岩气勘探经验对建立中国南方海相页岩气选区评价体系的启示[J].油气地质与采收率,2014,21(4):23-27,32.
- [14] 周雁.湘鄂地区钻探效果分析及勘探方向[J].石油勘探与开发,1999,26(1):36-39.
- [15] 计曙东,王学军,刘玉华,等.东濮凹陷胡状集—庆祖集油田地层水特征及其石油地质意义[J].油气地质与采收率,2013,20(5):43-47.
- [16] 李晓燕.东营凹陷地层水成因类型及其与油气运移方向的关系[J].油气地质与采收率,2012,19(3):18-21.
- [17] 银燕.东营凹陷地层水水化学纵向分带性与成岩耗水系统划分[J].油气地质与采收率,2011,18(3):32-35.
- [18] 楼章华,朱蓉.中国南方海相地层水文地质地球化学特征与油气保存条件[J].石油与天然气地质,2006,27(5):584-592.
- [19] Sulin B A.Oilfield water in water system [M].Moscow: Geology Science Press, 1946.