

鄂西地区下寒武统牛蹄塘组页岩气保存条件研究

许露露, 周向辉, 陈威, 任志军, 温雅茹, 文剑航,
罗凡, 王亿, 谢通, 段轲, 杨浩

湖北省地质调查院

摘要 下寒武统牛蹄塘组是鄂西地区重要的页岩气勘探目的层系。利用鄂西地区调查井及野外露头资料,对牛蹄塘组岩石地层及沉积相特征、含气性特征及页岩气保存条件等进行了分析,并对页岩气成藏有利区进行了综合评价。研究表明:鄂西地区牛蹄塘组纵向上可以分为2段,其中下部的牛蹄塘组一段发育深水泥质陆棚相黑色碳质页岩,是主要的页岩气含气层段。纵向上,牛蹄塘组一段现场解吸气含量从顶到底逐渐增加,往下至岩家河组又急剧变小。平面上,含气性较好的地区主要位于黄陵背斜东南缘深水陆棚相区。指出页岩气富集成藏必须满足以下条件:深水陆棚相区,褶皱宽缓;距离区域性正断层超过5 km;岩心裂隙密度小且高角度裂隙不发育;顶底板封闭性良好,地层连续无沉积缺失; R_v 小于3.0%;埋深大于500 m。评价预测的有利区块主要分布在黄陵背斜东南缘,仙女山断裂以东、雾渡河断裂西南、通城河断裂以西的区域。

关键词 页岩气;含气性;保存条件;有利区评价;牛蹄塘组;鄂西

中图分类号:TE132.2 文献标识码:A

0 前言

中国南方地区下古生界广泛发育海相富有机质页岩,其中下寒武统牛蹄塘组是最具远景的页岩气勘探目的层之一。勘探实践证实南方地区牛蹄塘组形成于浅海陆棚的相对深水区域,富有机质页岩厚度大、TOC高,具备页岩气成藏的物质基础^[1-9]。前人对牛蹄塘组页岩的有机地球化学特征、储层物性、微观孔隙及沉积相分布等成藏地质条件进行过较多的研究^[10-17]。聂海宽等^[18]研究表明:四川盆地下寒武统牛蹄塘组富有机质页岩厚度大,有机碳含量普遍大于2%,孔隙类型以残余粒间孔和有机质孔为主。邱小松等^[19]研究认为:中扬子区牛蹄塘组沉积时期主要发育碳酸盐缓坡、浅水陆棚和深水陆棚沉积,其中泥页岩主要分布于深水陆棚。张君峰等^[20]研究认为鄂西宜昌地区牛蹄塘组与四川盆地筇竹寺组具有相同的沉积背景和物质组成,具备形成页岩气的沉积条件。

鄂西地区是中上扬子区牛蹄塘组页岩气勘探的重点区域,目前关于鄂西地区页岩气保存条件的研究较少^[21-24]。洪克岩等^[24]在研究鄂西咸丰区块时认为构造简单、埋深适中的向斜是有利构造单元,并提出封盖作用及构造作用差异是鄂西牛蹄塘组页岩气保存条件的核心影响因素。张君峰等^[20]、葛翔等^[25]研究认为:由于古老刚性隐伏基底的隆起时间晚且持续时间长,因此基底隆起之上的牛蹄塘组页岩深埋时间短、热演化程度较低,构造相对稳定,页岩气保存条件优越。翟刚毅等^[26]研究认为区域性的泥页岩盖层和后期的逆冲推覆构造为页岩气保存提供了良好条件。综上所述,前人对鄂西地区牛蹄塘组页岩气保存条件的研究尚不深入和全面,特别是在鄂西地区已钻地质调查井20余口,仅在黄陵背斜东南缘钻获页岩气显示,有关页岩气保存的地质问题还没有充分阐明。

本文以鄂西地区钻遇牛蹄塘组的16口钻井的含气性为依据,从构造样式、钻井与正断层之间的

收稿日期:2020-01-28;改回日期:2020-11-23;网络出版日期:2021-04-13

本文受湖北省自然资源厅科研项目“鄂西地区下古生界页岩气储层物性特征及差异富气机理研究”(编号:ZRZY2020KJ10),湖北省地质局科研项目“鄂西地区构造特征与页岩气保存条件研究”(编号:KJ2019-3)及湖北省自然资源厅地调项目“湖北省页岩气勘查区块评价优选”(编号:HBCZ-17060223-170397)联合资助

第一作者: 许露露,高级工程师,2015年毕业于中国地质大学(北京),主要从事页岩气地质调查及储层评价研究工作。通信地址:430034 湖北省武汉市硚口区古田五路9号;E-mail: xulu19850806@126.com

距离、裂隙发育特征、盖层宏观封闭性、热演化程度、埋深等6个因素对页岩气保存条件进行了分析,以期对鄂西地区牛蹄塘组页岩气下一步的勘探开发提供科学依据。

1 区域地质概况

鄂西地区横跨扬子地块与秦岭—大别造山带2个一级构造单元,主要处于扬子地块中北部,北部

以襄阳—广济断裂为界,南部与江南—雪峰推覆隆起带毗邻,西部与四川盆地相接,东部靠近荆门—当阳复向斜。研究区经历了印支期、燕山期和喜马拉雅期等多期复杂构造运动,地质构造极为复杂,不同构造层次及构造类型齐全。研究区中北部发育黄陵基底和神农架基底2种基底类型,出露地层齐全,包括从新元古代、古生代、中生代至新生代的地层(图1a)。

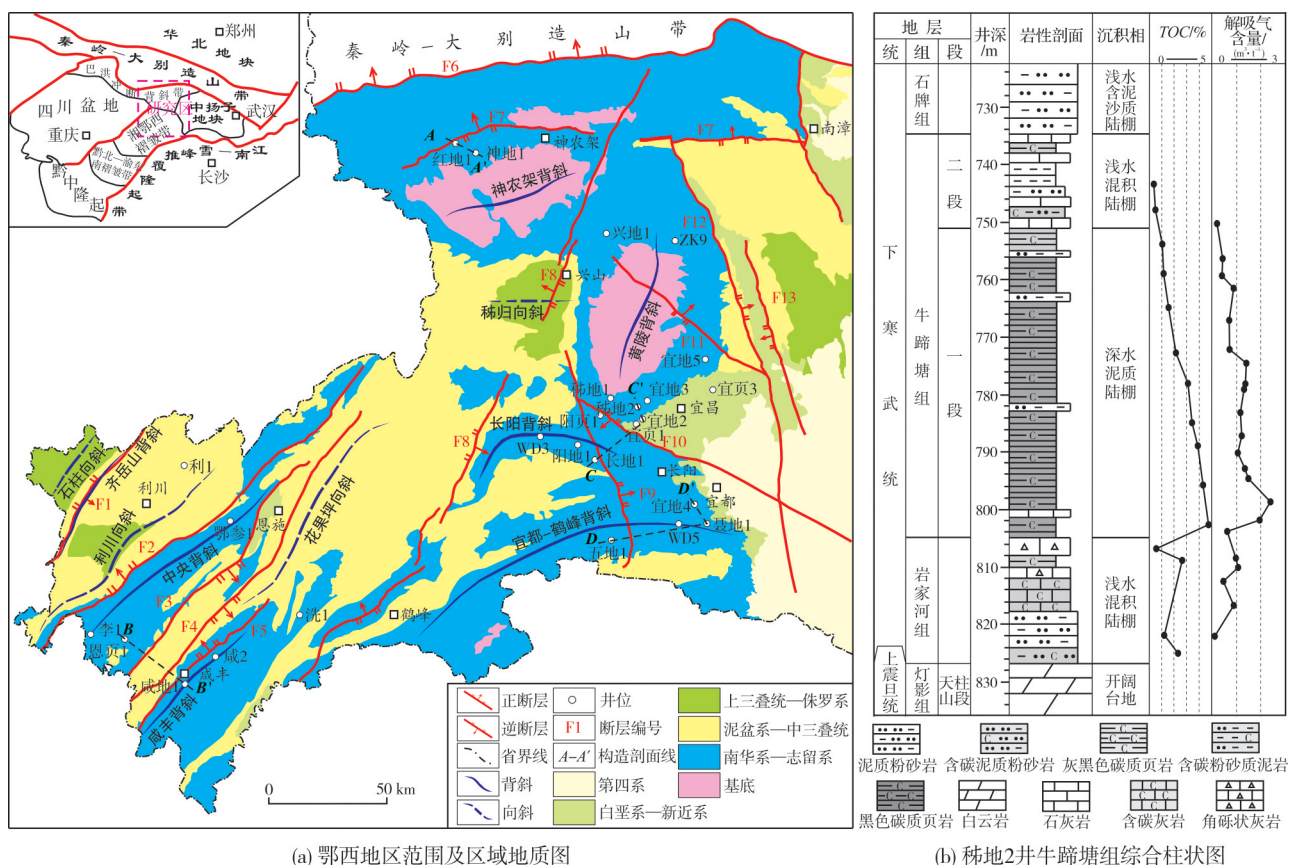


图1 鄂西地区地质图及牛蹄塘组综合柱状图
Fig. 1 Geological map and stratigraphic column of Niutitang Formation in the Western Hubei

本次研究的目的是层为下寒武统牛蹄塘组,其下伏岩家河组顶部发育角砾状灰岩夹灰黑色碳质页岩,岩家河组在鄂西地区平面上分布不稳定。牛蹄塘组纵向上根据岩性特征可以分为2段(图1b):下部牛蹄塘组一段(简称牛一段, E_{1n1})为深水泥质陆棚相沉积,以黑色碳质页岩为主,偶夹粉砂质泥岩,页岩碳质含量往上逐渐变少;上部牛蹄塘组二段(简称牛二段, E_{1n2})为浅水混积陆棚相沉积,岩性主要为石灰岩和碎屑岩的不等厚互层,页岩碳质含量

较低。牛蹄塘组上覆石牌组的岩性为深灰色泥质粉砂岩,在研究区分布稳定,是良好的区域性盖层。

2 页岩含气性

以秭地2井为例分析了牛蹄塘组及其下伏地层纵向上含气性的变化规律(图1b)。从顶部到底部,牛蹄塘组一段的现场解吸气含量(V_D)呈现逐渐增大的趋势,至下伏岩家河组含气量急剧降低。牛一段含气量为0.42~2.52 m^3/t ,平均值为1.22 m^3/t ,为牛蹄

塘组最重要的含气层段。统计了研究区 16 口井的现场解吸气含量(表 1)。解吸气含量的平均值分布在 0~2.05 m³/t 之间,变化范围较大,大部分钻井含气性不好。含气性较好的地区多分布在研究区黄陵背

斜东南缘—长阳背斜北翼,以及宜都—鹤峰背斜北翼局部地区,如黄陵背斜东南缘秭地 2 井的含气量为 1.22 m³/t,宜都—鹤峰背斜带北翼宜地 4 井的含气量为 1.55 m³/t。

表 1 鄂西地区牛蹄塘组一段富有机质页岩地质参数表

Table 1 Geological parameters of organic-rich shale of the Niutitang Member 1 in the Western Hubei

钻井	构造位置	与正断层距离/km	沉积相	牛一段底界深度/m	页岩厚度/m	TOC			R _o			解吸气含量		
						范围值/%	平均值/%	样品数	范围值/%	平均值/%	样品数	范围值/(m ³ ·t ⁻¹)	平均值/(m ³ ·t ⁻¹)	样品数
兴地 1	黄陵背斜北翼	14.0(距 F8)	水下隆起	550.1	1.6		1.20	1		1.92	1		0	1
宜地 3	黄陵背斜东南翼	30.0(距 F9)		837.0	4.0								0	1
神地 1	神农架背斜北翼	49.0(距 F8)	深水含泥沙质陆棚	1 366.0	258.5	0.20~5.75	2.06	107	2.92~3.55	3.16	5	0.01~0.48	0.10	58
红地 1	神农架背斜北翼	56.0(距 F8)		1 852.0	292.0		2.08	1		3.22	1		0.02	1
宜地 2	黄陵背斜东南翼	22.4(距 F9)	深水碳质泥质陆棚	1 728.0	77.0	0.52~5.96	2.26	29	2.25~2.35	2.31	3	0.10~3.65	1.54	29
宜页 1	黄陵背斜东南翼	19.5(距 F9)		1 872.0	87.0	0.98~7.40	3.65	29	2.26~2.37	2.35	29	0.58~5.48	2.05	29
秭地 1	黄陵背斜东南翼	13.3(距 F9)		358.4	105.1	0.53~8.72	3.14	17	1.43~1.79	1.61	6	0.001~0.57	0.15	20
秭地 2	黄陵背斜东南翼	23.2(距 F9)		804.9	50.7	0.41~5.02	2.61	10	2.05~2.59	2.34	10	0.42~2.52	1.22	16
阳页 1	黄陵背斜东南翼	7.9(距 F9)		3 070.0	134.0	1.00~5.20	2.20	280		2.70	1	0.14~2.26	1.05	27
阳地 1	长阳背斜核部	5.3(距 F9)		1 214.0	75.0		3.37	3					0.05	3
长地 1	长阳背斜核部	0.3(距 F9)		390.2	124.6	1.20~12.49	5.36	35	2.21~2.56	2.39	3	0.03~0.17	0.08	30
聂地 1	宜都—鹤峰背斜核部	31.5(距 F9)		754.0	95.0	1.46~14.44	6.88	33	2.61~2.72	2.64	3	0.03~0.15	0.08	20
宜地 4	宜都—鹤峰背斜北翼	28.0(距 F9)		1 334.0	58.0							0.06~3.13	1.55	12
恩页 1	中央背斜带东南翼	11.0(距 F3)		3 945.0	175.0	1.50~6.20	5.10	12				0.10~0.40	0.26	12
五地 1	宜都—鹤峰背斜南翼	8.4(距 F9)	深水碳质硅质岩陆棚	1 602.0	118.9		4.10	1		3.50	1		0.02	1
咸地 1	咸丰背斜带核部	1.6(距 F5)		1 406.0	>32.0								0	1

注: F3—恩施断裂;F5—咸丰断裂;F8—新华断裂;F9—仙女山断裂。

以研究区 16 口钻井和 7 个野外露头的岩性和厚度数据为基础,分析了鄂西地区牛蹄塘组一段的沉积相特征,以及钻井含气量与沉积相、构造位置的相关性(图 2)。可以看出含气性较好的钻井(宜页 1 井、宜地 4 井、宜地 2 井、秭地 2 井、阳页 1 井)均位于深水陆棚相区,而位于浅水陆棚相区水下隆起带的兴地 1 井、ZK9 井、宜地 3 井和宜地 5 井均未见气显示。

位于深水陆棚相区的钻井由于所处构造位置

的不同,含气量也具有较大的差异性。黄陵背斜东南缘钻井含气性普遍较好,而处在其他构造位置的钻井含气性均较差:如位于西部中央背斜带的恩页 1 井含气量仅为 0.26 m³/t,咸丰背斜带核部的咸地 1 井无显示;北部神农架背斜带的神地 1 井和红地 1 井含气量分别为 0.1 m³/t 和 0.02 m³/t;中部长阳背斜带核部的长地 1 井含气量仅为 0.08 m³/t,宜都—鹤峰背斜带核部的五地 1 井含气量仅为 0.02 m³/t。这说

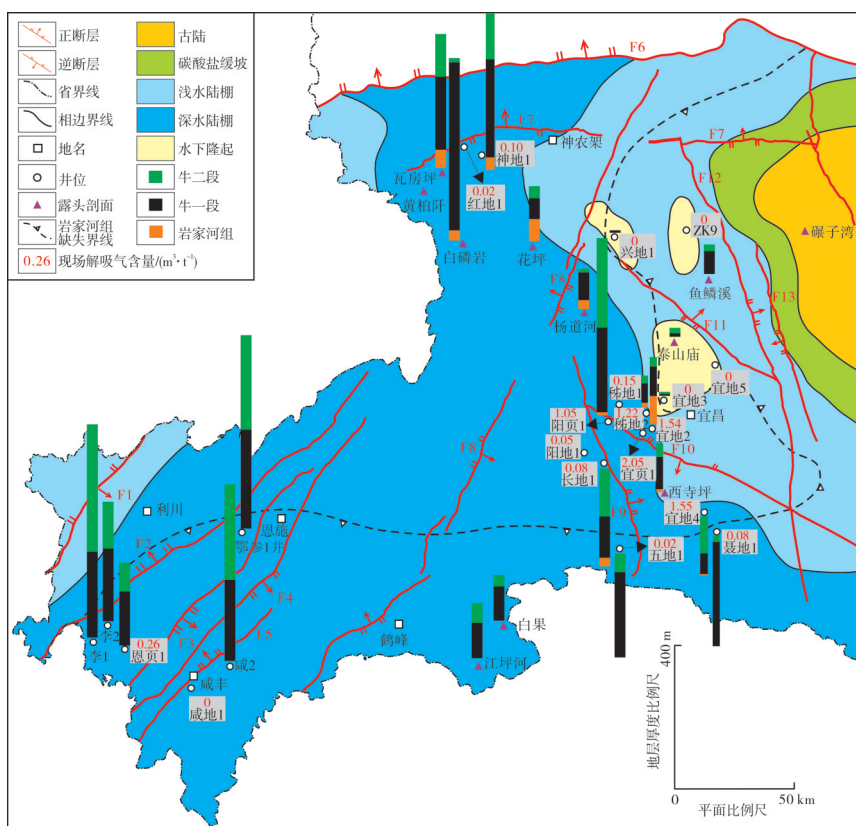


图2 鄂西地区牛蹄塘组一段沉积相与钻井现场解吸气含量分布图

Fig. 2 Sedimentary facies and the distribution of field canister desorption gas content of the Niutitang Member 1 in the Western Hubei

明需要从其他地质因素来阐明造成含气量差异性的原因。下文将从构造样式、钻井距离正断层远近、裂隙发育特征、盖层宏观封闭性、热演化程度及埋深等6个因素开展页岩气保存条件研究。

3 页岩气保存条件

3.1 构造样式

研究区经历了多期构造运动,构造特征较为复杂,因此,构造样式是研究区页岩气保存条件的重要因素。前人研究认为平缓宽阔的断背斜和较宽缓的向斜地层变形弱,属于稳定型构造,对页岩气保存有利;而复杂型构造变形强烈,地层产状变化大,断层发育、地层破碎,对页岩气保存不利^[21]。通天断层可断穿上部区域盖层,成为页岩气散失的通道,造成页岩气藏被破坏^[22]。另外,由于逆断层具有封堵作用,能阻止页岩气横向和纵向上的运移,因此逆冲断层下盘也有利于页岩气保存。本次研究选取了研究区4条构造剖面、10口地质调查井分析构造样式与钻井含气性的相关性(图3)。

剖面A—A'位于神农架宽缓背斜北缘,神地1井

和红地1井位于背斜北翼,逆冲断层阳日断裂(F7)下盘,因此从构造样式的角度来说有利于页岩气保存,但实际上钻井含气性较差(图3a)。剖面B—B'穿越西南部的中央背斜带和咸丰背斜带,恩页1井位于中央背斜带次级向斜带内,向斜形态宽缓,但含气性也较差,仅为0.26 m³/t,原因在于牛蹄塘组发育小规模隐伏断裂(图3b),断穿顶底板使得页岩气散失,从而导致含气量较低;咸地1井位于咸丰背斜带核部,距离咸丰断裂仅1.6 km,钻井含气性较差(图3b)。剖面C—C'穿越紧闭褶皱长阳背斜带和宽缓褶皱黄陵背斜东南缘,长地1井位于长阳背斜带核部,且距离仙女山断裂仅0.3 km,钻井含气性差;宜地2井和秭地2井位于黄陵背斜翼部,且处于逆冲断层天阳坪断裂的下盘,对页岩气具有较好的封堵性,因此钻井含气性良好(图3c)。剖面D—D'位于宜都—鹤峰背斜带内,五地1井位置距离仙女山断裂较近,钻井含气性差;聂地1井距离仙女山断裂较远,但钻井含气性较差;宜地4井位于背斜带内次级向斜核部,距离仙女山断裂较远,钻井含气性较好(图3d)。

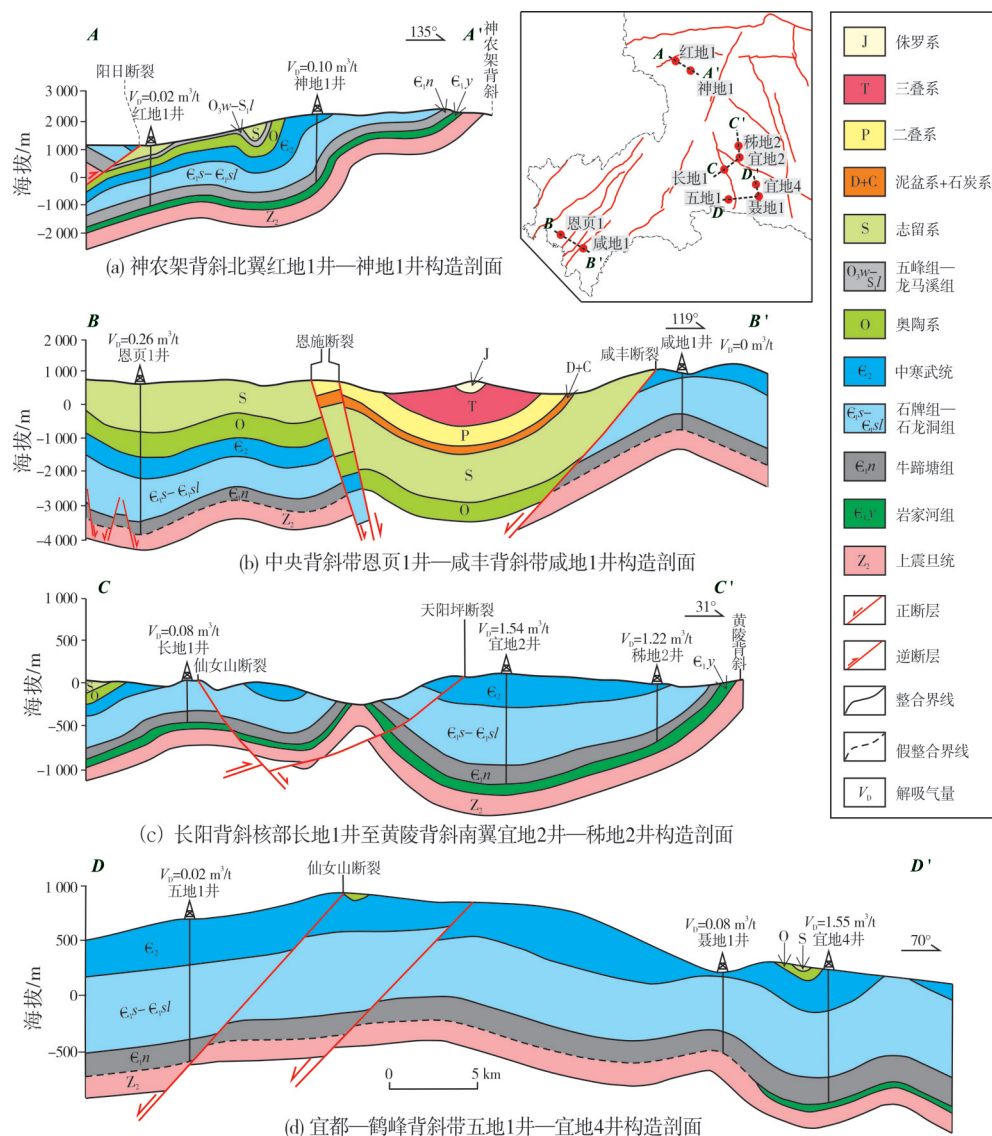


图3 鄂西地区牛蹄塘组构造样式剖面图

Fig. 3 Geological sections showing structural styles of Niutitang Formation in the Western Hubei

上述分析表明,通常情况下构造样式、钻井与区域正断层的距离这2个因素共同影响钻井含气量。含气性较好的井均位于宽缓褶皱、逆冲断层的下盘,并且远离区域正断层;含气性较差的井位于背斜核部或者距离区域正断层较近。但是,神农架宽缓背斜带神地1井和红地1井位于逆冲断层下盘,宜都—鹤峰背斜带聂地1井远离仙女山断裂,这3口井的构造位置相对有利,但含气性较差,因此需要从其他因素来分析其含气性较差的原因。

3.2 钻井与正断层距离

为了定量研究断层发育对钻井含气性的影响,

统计了位于深水陆棚相区9口钻井解吸气量和它们与仙女山断裂的距离之间的相关性。结果表明,解吸气含量与距离正断层远近呈明显的正相关性 ($R^2 = 0.6204$):钻井位置与断裂带距离越远,含气量越高;当与正断层距离小于5 km时,含气性明显较差(图4)。

除此之外,发现阳页1井、宜页1井及稀地1井偏离了趋势线,表明含气性还受到其他地质因素的综合影响。从表1可知,阳页1井牛一段底界埋深为3 070 m,埋深大于其他8口井;宜页1井埋深中等,TOC(平均值为3.65%)高于大多数钻井;稀地1井牛一段底界埋深过浅(仅358.4 m)。研究认为,地层埋深可能对页岩气保存有较大影响。

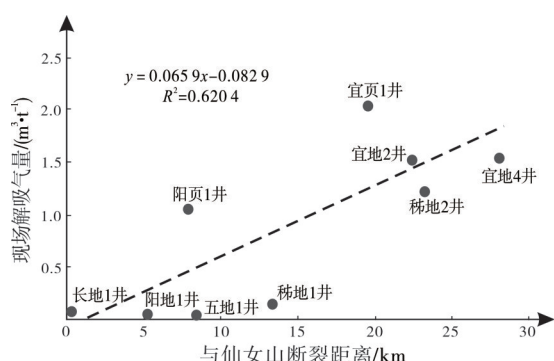


图4 鄂西地区牛蹄塘组一段钻井现场解吸气含量与仙女山断裂距离相关性分析

Fig. 4 Correlation between field canister desorption gas content and well-Xiannüshan fault distance of the Niutitang Member 1 in the Western Hubei

3.3 裂隙发育程度

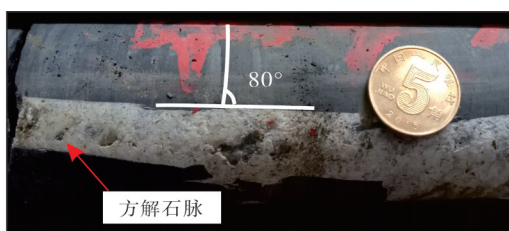
区域性大断裂由于多期次、长时间的活动,通

常微裂缝比较发育,且存在大气水下渗的影响,导致其附近区域的页岩气保存条件较差^[27]。对咸地1井、稀地1井和稀地2井的钻井岩心裂隙发育特征与含气性之间的相关性进行了分析(图5)。

咸地1井距离区域正断层咸丰断裂仅1.6 km,岩心照片显示断层角砾岩发育,见强烈揉皱(图5a);高角度裂隙发育,裂隙与层理面夹角约为80°,裂隙中充填方解石脉,宽约1 cm(图5b)。这说明咸地1井受到的构造破坏程度较大,裂隙的开启导致页岩封闭性降低,页岩气保存条件较差,因此钻井无气显示。稀地1井岩心裂隙局部发育,页岩封闭性一般,含气量较低,仅为0.15 m³/t(图5c)。稀地2井岩心非常完整,几乎未见到裂隙发育,说明稀地2井页岩封闭性较好,页岩气保存条件较好,含气量相对最高,为1.22 m³/t(图5d)。



(a) 角砾岩发育,见强烈揉皱。咸地1井1 082.5~1 082.6 m



(b) 高角度方解石脉发育,宽约1cm。咸地1井1 376.2~1 376.3 m



(c) 局部裂隙发育。稀地1井350.0~355.6 m



(d) 岩心完整,裂隙极少发育。稀地2井791.0~796.6 m

图5 鄂西地区牛蹄塘组一段裂隙发育特征岩心照片

Fig. 5 Core photos showing fracture characteristics of the Niutitang Member 1 in the Western Hubei

3.4 盖层宏观封闭性

盖层封闭性分宏观封闭性和微观封闭性。宏观封闭性是指目的层及顶底板岩性、厚度及横向分布的稳定性。微观封闭性包括地层的脆性矿物含量、孔隙度、渗透率和排驱压力等。前人的研究已表明,牛蹄塘组属于低孔低渗型,具有良好的微观封闭性^[12]。本文重点分析研究区牛蹄塘组一段的宏观封闭性(图6)。

目的层牛蹄塘组一段岩性以黑色碳质泥页岩为主,平均厚度可达133.9 m,区域分布稳定,在研究区北部和西南部厚度大,总体具备良好的自封闭性。牛蹄塘组一段的间接顶板石牌组岩性主要为泥质粉砂岩,岩性较为致密,平均厚度可达276.4 m,横向分布稳定,为发育良好的区域性盖层;直接顶板牛蹄塘组二段岩性为深灰色泥质粉砂岩与石灰岩互层,平均厚度为83.2 m,厚度较大,横向分布连续性好,封盖性好。间接底板灯影组平均厚度可达

221.7 m,区域上分布稳定,具备一定的封闭性能;直接底板岩家河组平均厚度仅17.2 m,封闭性能一般,而且岩家河组在区域上分布不稳定,在研究区中北部相对发育,而在东部及南部地区均不发育(图2)。位于中部黄陵背斜东南缘的秭地2井岩家河组厚度为12.6 m,与震旦系灯影组呈整合接触;南部鹤峰县走马镇白果村野外露头的牛蹄塘组一段与灯影组呈假整合接触关系,两者之间发育约10 cm厚的风化壳;东部聂地1井岩心显示牛蹄塘组一段与灯影组也呈假整合接触关系,岩家河组不发育。

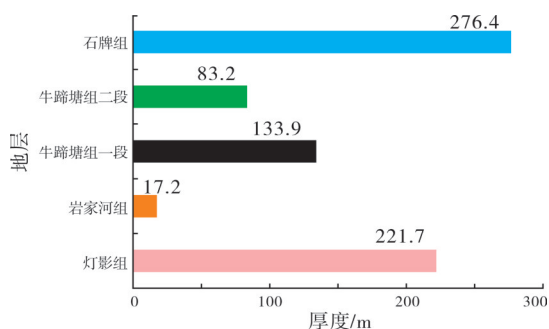


图6 鄂西地区牛蹄塘组一段及其顶底板厚度统计

Fig. 6 Thickness histogram of the Niutitang Member 1 and its roof and floor in the Western Hubei

综上所述,由于直接底板岩家河组厚度小且分布不稳定,因此牛蹄塘组一段的顶板封闭性好于底板封闭性。根据现有资料分析,推测研究区存在一条岩家河组沉积缺失的界线(如图2所示),在界线以南和以东地区,牛蹄塘组一段与灯影组呈假整合接触关系,

在该区域内的钻井受到不整合面的影响,生成的页岩气顺着不整合面运移,致使页岩气散失,钻井含气性较差。如聂地1井处于宜都—鹤峰背斜带,远离正断层仙女山断裂,虽然从构造位置上来看较为有利,但由于直接底板岩家河组沉积缺失,使得页岩气保存条件较差,聂地1井含气量仅为0.08 m³/t。

3.5 热演化程度

热演化程度升高会引起黏土矿物的转化。通常随着镜质组反射率(R_o)的增大,黏土矿物中具有较大比表面积的蒙脱石含量降低,伊蒙混层矿物含量也逐渐减少,最终全部转化为绿泥石,在此过程中黏土矿物比表面积和孔体积大大降低^[15],从而影响钻井含气量。

本文统计了研究区10口调查井解吸气含量与 R_o 的相关性(图7a)。分析表明:当 R_o 大于3%时,含气量均不高于0.1 m³/t;含气量大于1.0 m³/t的调查井 R_o 多分布在2.0%~2.5%。此外,通过分析神地1井和秭地2井牛蹄塘组一段的黏土矿物组成(图7b),认为神地1井牛一段 R_o 为3.16%,热演化程度高,造成页岩中蒙脱石含量低而绿泥石含量高,黏土矿物比表面积和孔体积较小,导致钻井含气性较差(解吸气含量平均值为0.1 m³/t)。而秭地2井牛一段 R_o 为2.34%,热演化程度适中,使得蒙脱石和伊蒙混层含量均较高而绿泥石含量较低,从而页岩黏土矿物比表面积和孔体积较大,钻井含气性较好(解吸气含量平均值为1.22 m³/t)。

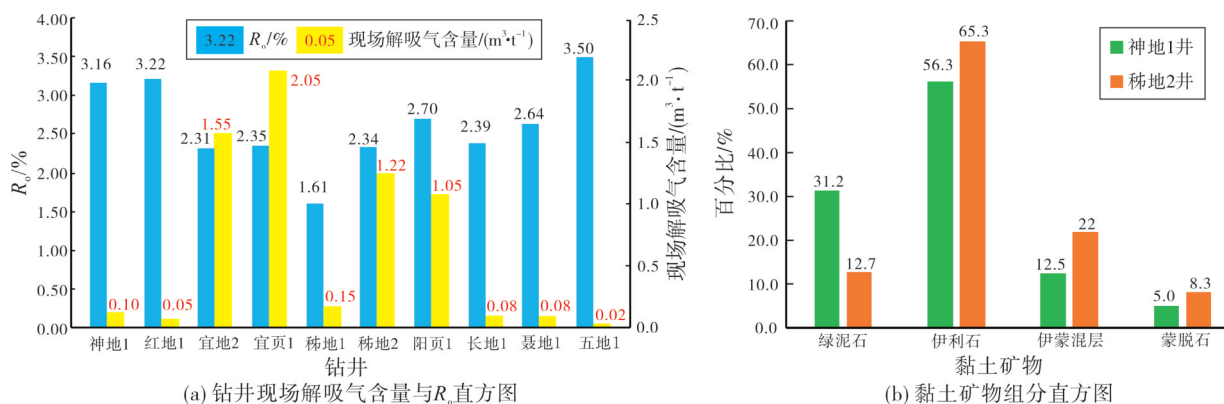


图7 鄂西地区牛蹄塘组一段热演化程度与现场解吸气含量的相关性分析

Fig. 7 Correlation analysis between the field canister desorption gas content and R_o of the Niutitang Member 1 in the Western Hubei

3.6 埋藏深度

本文统计了研究区黄陵背斜东南缘5口井共91个数据点的埋深与现场解吸气含量的相关性。统

计表明:页岩含气量与埋深存在明显的正相关性,随着埋深的增加,页岩含气量有逐渐增大的趋势。当埋深小于500 m时,含气量普遍小于1.0 m³/t;当埋深小于1 000 m时,含气量普遍小于2.5 m³/t;当埋深

小于1 500 m时,含气量普遍小于3.0 m³/t(图8a)。

分析表明埋深对气体组分也有较大的影响。在黄陵背斜东南缘的秭地1井和秭地2井,总体上随着埋深的增加,气体中甲烷含量有增加的趋势(图8b, 8c)。由于秭地2井埋深更大,平均甲烷含量较秭地1井要高。秭地1井在320 m以浅和以深的甲烷含量有显著差异:320 m以浅的甲烷含量的平均值为43%, 320 m以深的甲烷含量的平均值为81%。推测秭地1井深度320 m处可能为地下水自由交替带和阻滞带

的分界线,320 m以浅页岩气受到大气水的影响,混入空气中的氮气和二氧化碳,导致甲烷含量较低。

综上所述,根据构造样式、钻井与正断层距离、裂隙发育特征、盖层宏观封闭性、热演化程度及埋藏深度等6个方面的分析,提出鄂西地区牛蹄塘组页岩气富集保存必须满足的条件是:褶皱宽缓;钻井与正断层距离大于5 km,裂隙密度小且高角度裂隙不发育;顶底板封闭性良好,地层连续无沉积缺失; R_o 小于3.0%;埋藏深度大于500 m。

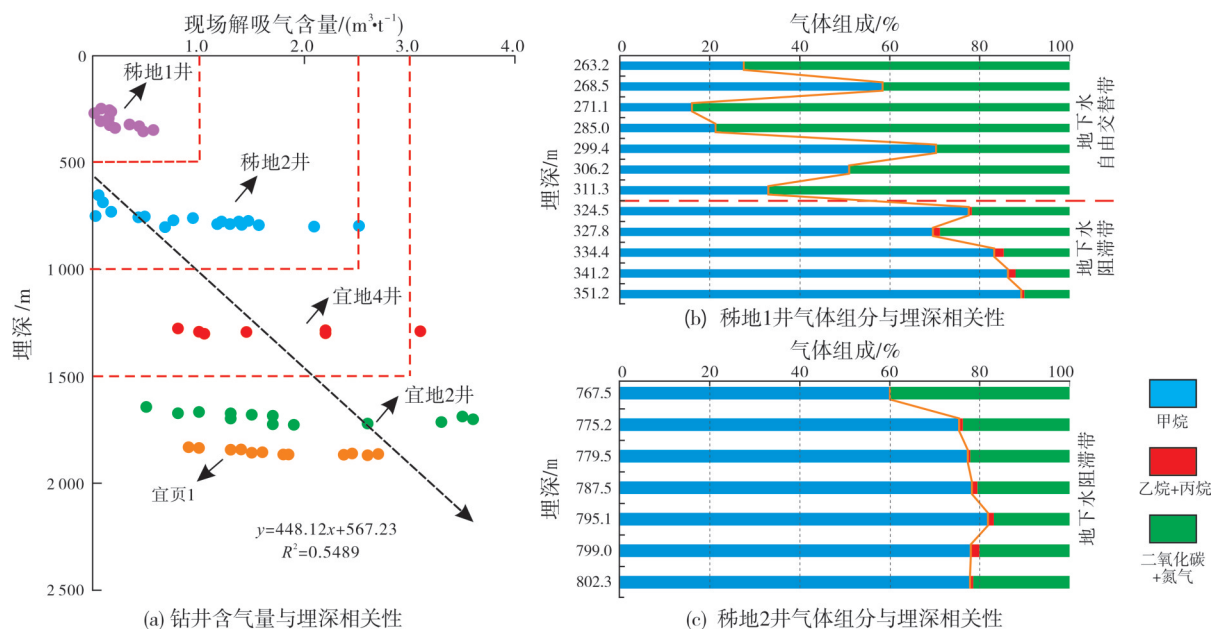


图8 鄂西地区黄陵背斜东南缘牛蹄塘组一段钻井深度与含气性的关系

Fig. 8 Relationship between drilling depth and gas-bearing property of the Niutitang Member 1 in the southeastern margin of Huangling anticline in the Western Hubei

4 页岩气有利区

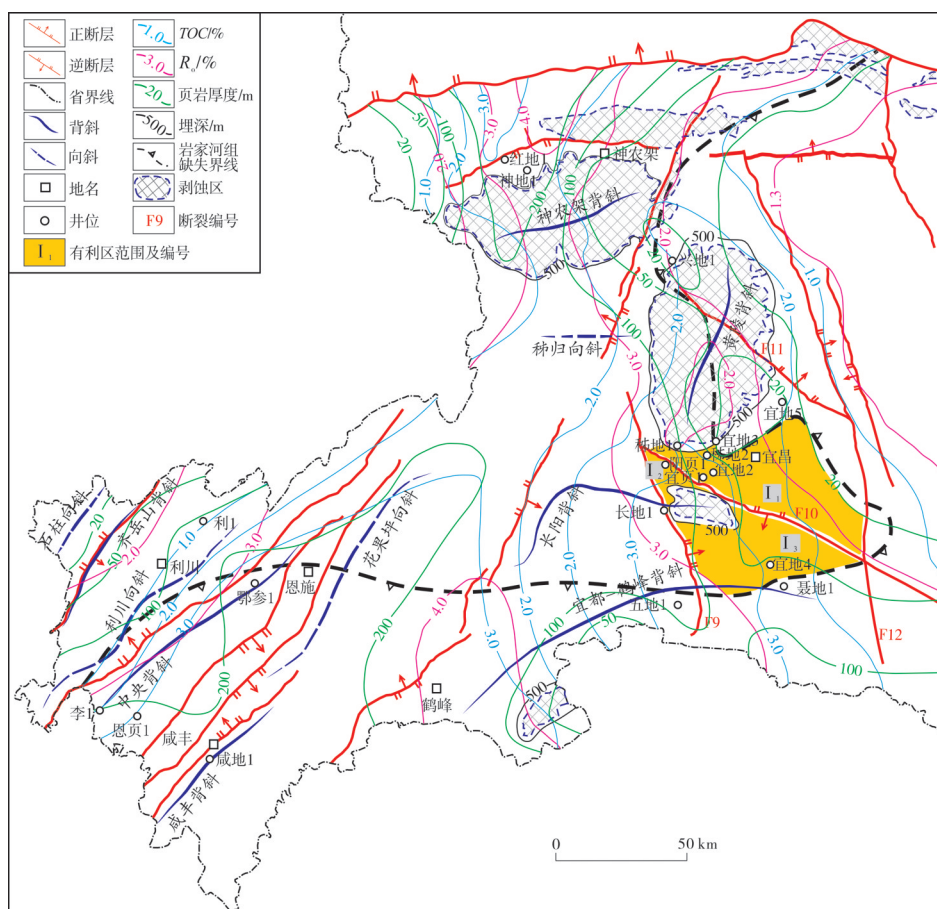
根据上述保存条件研究的结果,并依据自然资源部发布的《页岩气资源/储量计算与评价技术规范》(DZ/T 0254—2014)^[28]工作指南,以及鄂西地区页岩气勘探实践,建立了评价鄂西地区页岩气有利区的9个指标:①牛蹄塘组一段连续分布面积 ≥ 50 km²;②富有机质页岩厚度 > 20 m;③ $TOC \geq 1.0\%$;④解吸气含量 ≥ 1.0 m³/t;⑤构造样式为宽缓的褶皱带;⑥钻井与正断层距离 > 5 km,裂隙密度小且高角度裂隙不发育;⑦顶底板封闭性良好,地层连续无沉积缺失;⑧ R_o 分布在1.3%~3.0%之间;⑨页岩埋深 ≥ 500 m。

根据以上9个评价标准,确定了鄂西地区牛蹄塘组一段页岩气的有利区块。有利区共分为3个区块(图9): I₁区块位于天阳坪断裂(F10)东北、雾渡

河断裂(F11)西南、通城河断裂(F12)以西的秭地2—宜地2井区; I₂区块位于长阳背斜带以北、仙女山断裂(F9)东北、天阳坪断裂西南的页页1井区; I₃区块位于长阳背斜以南、仙女山断裂以东、天阳坪断裂西南的宜地4井区。

5 结论

(1)鄂西地区牛蹄塘组可以分为2段,其中牛一段发育深水泥质陆棚沉积,岩性为黑色碳质页岩,是主要的页岩气含气层段。牛一段解吸气含量从顶部到底部呈现逐渐增大的趋势,至下伏岩家河组含气量急剧降低。平面上含气性较好的地区主要位于黄陵背斜东南缘至长阳背斜北缘地区。含气性较好的井均位于深水陆棚相区,浅水陆棚相区水下隆起带含气性较差。



注：断裂编号名称见图1。

图9 鄂西地区牛蹄塘组一段页岩气有利区块评价

Fig. 9 Evaluation of shale gas favorable blocks of the Niutitang Member 1 in the Western Hubei

(2)页岩气保存条件研究表明：宽缓的褶皱带内、钻井与正断层距离大于5 km的构造样式属于构造稳定区，有利于页岩气保存；岩心破碎且高角度裂隙发育不利于页岩气的保存；牛一段顶板封闭性好于底板，岩家河组沉积缺失界线以南和以东地区，气体沿着不整合面运移散失，不利于页岩气保存；当 R_o 超过3.0%时，页岩黏土矿物中蒙脱石含量降低、绿泥石含量增高，导致孔体积和比表面积减小，不利于页岩气保存；解吸气含量及甲烷含量总体上随着埋深的增加而增加，当埋深小于500 m时，解吸气含量普遍小于 $1.0 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

(3)建立了鄂西地区牛蹄塘组一段页岩气有利区评价的9个指标，并优选出3个有利区：天阳坪断裂东北、雾渡河断裂西南—通城河断裂以西的秭地2井—宜地2井区；长阳背斜带以北、仙女山断裂北东、天阳坪断裂西南阳页1井区；长阳背斜以南、仙女山断裂以东、天阳坪断裂西南的宜地4井区。

参考文献

- [1] 张金川, 金之钧, 袁明生. 页岩气成藏机理和分布[J]. 天然气工业, 2004, 24(7): 15-18.
- [2] 王志刚. 涪陵页岩气勘探开发重大突破与启示[J]. 石油与天然气地质, 2015, 36(1): 1-6.
- [3] 黄金亮, 邹才能, 李建忠, 等. 川南下寒武统筇竹寺组页岩气形成条件及资源潜力[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1): 69-75.
- [4] 梁狄刚, 郭彤楼, 边立曾, 等. 中国南方海相生烃成藏研究的若干新进展(三): 南方四套区域性海相烃源岩的沉积相及发育的控制因素[J]. 海相油气地质, 2009, 14(2): 1-19.
- [5] 韩双彪, 张金川, 李玉喜, 等. 黔北地区下寒武统牛蹄塘组页岩气地质调查井位优选[J]. 天然气地球科学, 2013, 24(1): 182-187.
- [6] 邹才能, 杜金虎, 徐春春, 等. 四川盆地震旦系—寒武系特大型气田形成分布、资源潜力及勘探发现[J]. 石油勘探与开发, 2014, 41(3): 278-293.
- [7] 黄俨然, 肖正辉, 焦鹏, 等. 湘西北牛蹄塘组探井页岩气富集要素的对比和启示[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2018, 49(9): 2240-2248.
- [8] 张琳婷, 郭建华, 焦鹏, 等. 湘西北下寒武统牛蹄塘组页岩气藏形成条件与资源潜力[J]. 中南大学学报(自然科学版),

- 2014, 45(4): 1163-1173.
- [9] 李贤庆, 赵佩, 孙杰, 等. 川南地区下古生界页岩气成藏条件研究[J]. 煤炭学报, 2013, 38(5): 864-869.
- [10] 龙幼康. 中扬子地区下古生界页岩气的勘探潜力[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 344-348.
- [11] 王佳, 李小刚, 黄文明. 湘鄂西—渝东地区牛蹄塘组页岩气勘探前景评价[J]. 地质科技情报, 2014, 33(4): 98-103.
- [12] 姜生玲, 毛曼, 洪克岩, 等. 湘鄂西地区下寒武统牛蹄塘组页岩气聚集条件及含气性影响因素[J]. 海相油气地质, 2018, 23(1): 75-82.
- [13] 黄文明, 刘树根, 马文辛, 等. 川东南—鄂西渝东地区下古生界页岩气勘探前景[J]. 地质通报, 2011, 30(2/3): 364-371.
- [14] 梁峰, 朱炎铭, 马超, 等. 湘西北地区牛蹄塘组页岩气储层沉积展布及储集特征[J]. 煤炭学报, 2015, 40(12): 2884-2892.
- [15] 梁兴, 张廷山, 杨洋, 等. 滇黔北地区筇竹寺组高演化页岩气储层微观孔隙特征及其控制因素[J]. 天然气工业, 2014, 34(2): 18-26.
- [16] 焦鹏, 郭建华, 王玺凯, 等. 湘西北牛蹄塘组页岩气储层岩矿特征及意义[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2018, 49(6): 1447-1458.
- [17] 陈孝红, 危凯, 张保民, 等. 湖北宜昌寒武系水井沱组页岩气藏主控地质因素和富集模式[J]. 中国地质, 2018, 45(2): 207-226.
- [18] 聂海宽, 边瑞康, 张培先, 等. 川东南地区下古生界页岩储层微观类型与特征及其对含气量的影响[J]. 地学前缘, 2014, 21(4): 331-343.
- [19] 邱小松, 胡明毅, 胡忠贵. 中扬子地区下寒武统岩相古地理及页岩气成藏条件分析[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2014, 45(9): 3174-3185.
- [20] 张君峰, 许浩, 周志, 等. 鄂西宜昌地区页岩气成藏地质特征[J]. 石油学报, 2019, 40(8): 887-899.
- [21] 舒逸, 陆永潮, 包汉勇, 等. 四川盆地涪陵页岩气田3种典型页岩气保存类型[J]. 天然气工业, 2018, 38(3): 31-40.
- [22] 胡东风, 张汉荣, 倪楷, 等. 四川盆地东南缘海相页岩气保存条件及其主控因素[J]. 天然气工业, 2014, 34(6): 17-23.
- [23] 王濡岳, 丁文龙, 龚大建, 等. 黔北地区海相页岩气保存条件: 以贵州岑巩区块下寒武统牛蹄塘组为例[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(1): 45-55.
- [24] 洪克岩, 李博, 姜生玲, 等. 湘鄂西低勘探程度区构造解释及页岩气保存条件: 以夙凤咸丰区块为例[J]. 断块油气田, 2017, 24(6): 779-804.
- [25] 葛翔, 沈传波, 梅廉夫, 等. 低温热年代对黄陵隆起中新世代古地形的约束[J]. 大地构造与成矿学, 2016, 40(4): 654-662.
- [26] 翟刚毅, 王玉芳, 刘国恒, 等. 鄂西地区震旦系—寒武系页岩气成藏模式[J]. 地质力学学报, 2020, 26(5): 696-713.
- [27] 聂海宽, 包书景, 高波, 等. 四川盆地及其周缘下古生界页岩气保存条件研究[J]. 地学前缘, 2012, 19(3): 280-294.
- [28] 全国国土资源标准化技术委员会. 页岩气资源/储量计算与评价技术规范: DZ/T 0254—2014[S]. 北京: 中华人民共和国国土资源部, 2014.

编辑: 黄革萍

A study on shale gas preservational conditions of the Lower Cambrian Niutitang Formation in the Western Hubei

XU Lulu, ZHOU Xianghui, CHEN Wei, REN Zhijun, WEN Yaru, WEN Jianhang,

LUO Fan, WANG Yi, XIE Tong, DUAN Ke, YANG Jie

Abstract: The Lower Cambrian Niutitang Formation is an important shale gas exploration target in the Western Hubei. Based on the data of survey wells and outcrops in the Western Hubei, the rock formation, sedimentary facies, gas-bearing characteristics and shale gas preservational conditions of Niutitang Formation are analyzed, and the favorable areas for shale gas accumulation are comprehensively evaluated. The results show that the Niutitang Formation (E_1n) can be divided into 2 sections (E_{1n_1} and E_{1n_2}) vertically, and the lower part (E_{1n_1}) develops black carbonaceous shale of deep-water argillaceous shelf facies, which is the main shale gas bearing interval. Vertically, the field canister desorption gas content of the Niutitang Member 1 gradually increases from top to bottom, and decreases sharply down to the Yanjiahe Formation. On the plane, the area with good gas bearing property is mainly located in the deep-water shelf facies in the southeast margin of Huangling anticline. It is pointed out that the favorable area of riching in shale gas must meet the following conditions: deep water shelf facies; fold being gentle and wide; more than 5 km away from regional normal fault; low core fracture density and undeveloped high angle fractures; good sealing of roof and floor, continuous and no sedimentary loss in formation; R_o less than 3.0%; buried depth greater than 500 m. The favorable blocks are mainly located in the southeast margin of Huangling anticline, the area of east of Xiannüshan fault, southwest of Wuduhe fault and west of Tongchenghe fault.

Key words: shale gas; gas content; preservational conditions; favorable area evaluation; Niutitang Formation; Western Hubei

XU Lulu, First author: PhD, Senior Geologist, mainly engaged in shale gas survey and evaluation. Add: Hubei Geological Survey, No.9 Gutian 5th Rd., Wuhan, Hubei 430034, China