

# 贵州绥阳地区下寒武统牛蹄塘组页岩气地质特征及勘探方向

张志平<sup>1,2</sup>, 程礼军<sup>1,3</sup>, 曾春林<sup>4</sup>

(1 重庆地质矿产研究院; 2 国土资源部页岩气资源与勘查技术重点实验室)

(3 重庆市页岩气资源与勘查工程技术研究中心; 4 油气资源与探测国家重点实验室重庆页岩气研究中心)

**摘要** 贵州绥阳地区广泛发育下寒武统牛蹄塘组海相黑色碳质页岩。页岩的厚度在30~50m,埋藏深度小于3000m,具有较好的区域性封盖层,保存条件良好,是区内主要的页岩气目的层。页岩的有机质丰度TOC为1.5%~3.0%,成熟度 $R_o$ 为1.0%~3.5%。推测总含气量为0.3~1.2m<sup>3</sup>/t,地质资源量为639.5×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>,资源潜力较大。页岩气可在区内隆起的低部位等处富集成藏。综合页岩气的区域地质特征和保存条件,提出了绥阳地区东北部是今后页岩气的重点勘探区域。

**关键词** 早寒武世;牛蹄塘组;海相地层;页岩气;保存条件;勘探前景;贵州

中图分类号:TE122.2;TE132.2

文献标识码:A

## 1 引言

近年来,随着国内外页岩气勘探技术的不断提高,国内一些曾被长久忽视的具有页岩气潜力的区域被再次重视和勘查。贵州绥阳地区下寒武统牛蹄塘组黑色碳质页岩具有较好的页岩气资源条件。国内已有学者对绥阳寒武系页岩所处的上扬子区下古生界岩相古地理环境、气源岩的地质背景、成藏条件和勘探远景作了大量研究<sup>[1-5]</sup>,并对贵州地区牛蹄塘组页岩的地质特征及气潜力进行了一些调查研究<sup>[4-7]</sup>,明确了牛蹄塘组为页岩气资源潜力层系。

本次研究在对绥阳地区4条寒武系实测剖面(万寿场、扁桶山、永乐、团泽剖面)和2口寒武系页岩气参数井(绥1井和风1井)(位置见图1)样品测试分析的基础上,对研究区内的主要页岩气目的层位——下寒武统牛蹄塘组页岩,进行了有机地化特征、含气性以及储层物性和保存条件的细化研究,评价和提出了研究区牛蹄塘组页岩气的资源潜力和勘探方向。

## 2 区域地质背景

绥阳下寒武统牛蹄塘组页岩分布于贵州省北部绥阳一带,分布面积约1143 km<sup>2</sup>。该分布区构造上属

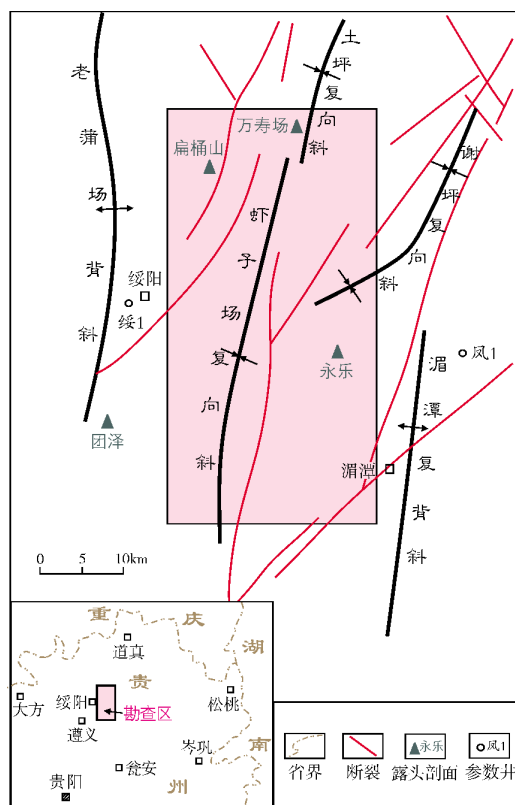


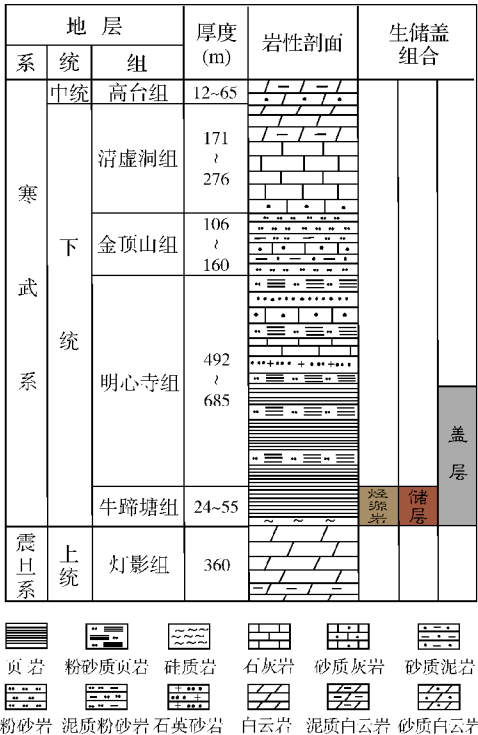
图1 绥阳研究区地理位置与构造分布示意图

收稿日期: 2014-10-21; 改回日期: 2015-06-11

本文受油气资源与探测国家重点实验室开放课题基金项目“渝东南下寒武统富有机质页岩裂缝及其应力控制机制”(编号:PRP/open-1310)资助  
张志平: 1983年生,工程师。2010年毕业于长江大学矿产普查与勘探专业。现从事非常规油气资源勘探研究工作。通讯地址: 400042 重庆市渝中区长江二路177-9号重庆地质矿产研究院; E-mail: 271644074@qq.com

于上扬子地台川黔南北向构造带的凤岗北北东向构造变形区,区内褶皱和断裂非常发育<sup>[1]</sup>(图1)。

区内地层归属于上扬子地层分区的黔北地层小区<sup>[1]</sup>,区域的沉积演化与扬子地台的构造演化具有一致性,在中元古代晚期—中生代志留纪经历了陆缘大洋地壳向大陆地壳转变的地质时期<sup>[1]</sup>。其中,早寒武世,随着海平面的上升,在中上扬子区形成缺氧环境,在外陆的滇北地区沉积了一套海相含碳质页岩。深埋的下寒武统是区内主要的油气生储盖组合层系<sup>[1-2,6]</sup>(图2)。



3 页岩发育特征

区内下寒武统牛蹄塘组主要由黑色碳质页岩组成,夹少量粉砂岩、粉砂质页岩,底部为黑色含磷硅质岩、硅质岩和磷块岩,产三叶虫和掘足类化石,厚度约24~55m。由于牛蹄塘组区域沉积中心位于研究区东南部,因而地层厚度由东南向西北方向逐渐减薄。在绥阳—湄潭一带,牛蹄塘组厚度主要在40~50m之间,是较好的页岩烃源岩富集区(图3)。

牛蹄塘组底界的埋藏深度,整体上呈由东南向西北呈增大的趋势,最大埋深3 000 m,埋藏深度明

显受褶皱分布的控制(图3)。在向斜区多出露三叠纪地层,同时向斜区地层倾角较大,所以埋深大;相反,在背斜区埋深则小。

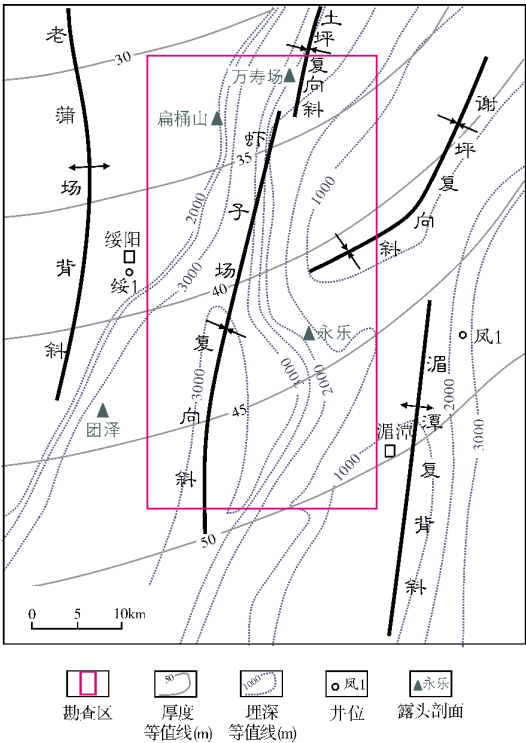


图3 绥阳地区牛蹄塘组页岩埋深与厚度分布图

4 页岩有机地化特征

区内牛蹄塘组黑色页岩中的有机质颗粒有多种形态,如不规则细粒状、长条状和尘点状,有时有机质颗粒中可见许多极小的黄铁矿散布。

牛蹄塘组页岩气样品中的有机碳含量(TOC)为1.5%~3.0%(图4)。受沉积特征影响,页岩的TOC由北向南有增高的趋势,在绥阳—湄潭一带TOC均在2%以上,只有少部分地区TOC低于1.5%(图4)。有机质成熟度在区内总体上反映了演化程度较高,沥青质反射率(R<sub>o</sub>)值在1.2%~2.0%之间,绥阳—湄潭一带R<sub>o</sub>为1.5%~2.0%(处于高成熟阶段<sup>[2]</sup>),其余地区R<sub>o</sub>普遍低于1.5%(图4)。

牛蹄塘组页岩的干酪根碳同位素(δ<sup>13</sup>C)值分布在-34.7‰~-29.6‰之间,此值较小,反映了牛蹄塘组干酪根类型主要为腐泥型(I型)<sup>[8]</sup>。通过对页岩岩石学特征的分析,其生源组合主要以腐泥组+藻类组占绝对优势,腐泥组+藻泥组的相对含量较高;

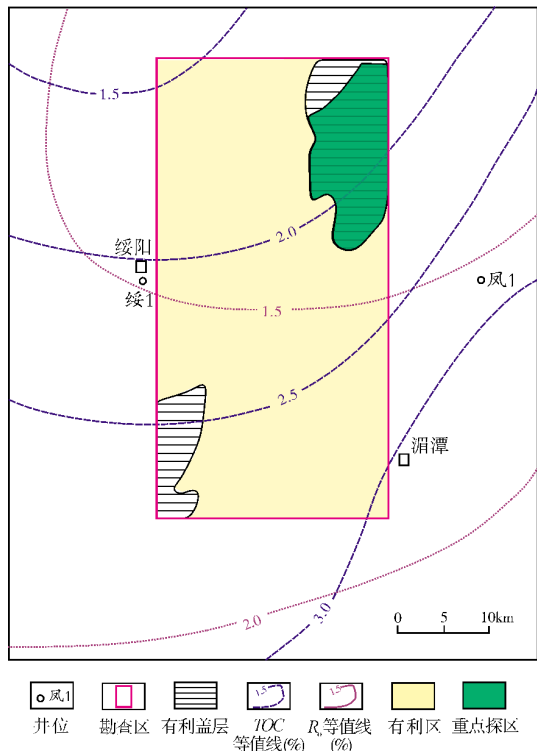


图4 缓阳地区牛蹄塘组页岩成熟度分布特征与有利探区预测

岩石内含一定量的碳沥青,含量一般在10%~20%。

5 储层物性和含气性

区内下寒武统牛蹄塘组页岩的孔渗性测定(表1)表明:孔隙度在1.3%~5.6%之间,平均为2.24%,孔隙度中等。渗透率分布在 (0.0022~0.0172)×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>之间,平均为0.0083×10<sup>-3</sup>μm<sup>2</sup>,渗透率极低。页岩孔隙以中孔隙为主,中孔的体积占到孔隙总体积的85.23%。

表1 缓阳地区牛蹄塘组页岩孔渗性参数表

孔渗特征参数	范围值	平均值
孔隙度(%)	1.3~5.6	2.24
渗透率(×10 <sup>-3</sup> μm <sup>2</sup> )	0.0022~0.0172	0.0083
孔隙平均直径(nm)	3.2~14.6	7.57
孔隙中值半径(nm)	1.6~8.5	3.73
微孔体积(<2nm)比例(%)	0~16.44	6.47
中孔体积(2~50nm)比例(%)	26.81~100	85.23
宏孔体积(>50nm)比例(%)	0~62	7.93

牛蹄塘组黑色页岩的矿物成分主要为碎屑矿物和黏土矿物,以及少量的黄铁矿和重晶石。其中,碎屑矿物含量44%~87%,平均为67.3%,成分主要为石英等脆性矿物,具有较好的可压性。黏土矿物主要为伊利石(平均含量58.4%)和伊蒙混层矿物(平均含量25.9%),以及少量的绿泥石和高岭石。伊蒙混层矿物中,蒙脱石平均占到19.4%。结合黏土矿物成分来看,区内页岩已到晚成岩阶段<sup>[9]</sup>。

据区域周边的岑页1井资料显示,贵州北部区域最大水平主应力方向为近东西向,区域地层压力系数为0.97,处于正常压力范围;地层压力梯度在0.026 5~0.027 5 MPa/m。

通过对区域周边的岑页1井(位于缓阳东南160 km的岑巩县羊桥乡)和乌罗锰矿的钻孔408(位于缓阳以东150 km的松桃县乌罗)等进行的牛蹄塘组富有机质页岩钻井岩心的含气量现场解吸(表2)可知,岑页1井页岩现场解吸的含气量较高,最高可达1.165 m<sup>3</sup>/t,钻孔408共解吸了7个样品,含气量最高为0.254 m<sup>3</sup>/t。

表2 缓阳周边钻井(孔)牛蹄塘组富有机质页岩含气量解吸记录表

井名	地层	岩性	取心段深度(m)	解吸量(ml)	损失量(ml)	质量(kg)	总量(m <sup>3</sup> /t)
岑页1井	牛蹄塘组	富有机质页岩	1441.71~1443.71	165	1114	1.290	0.986
			1455.45~1463.62	146	821	0.830	1.165
钻孔408	牛蹄塘组	泥页岩	616.90~617.35	262	260	2.534	0.206
			625.50~625.95	155	428	2.746	0.212
			629.00~629.50	179	489	3.606	0.185
			640.30~640.80	415	270	2.695	0.254

总体看来,缓阳地区富有机质页岩层段应具有一定的含气量,根据缓阳及周边已实施钻井的解吸数据推算,含气量在0.3~1.2 m<sup>3</sup>/t。

另外,根据美国的页岩气的勘探经验<sup>[10]</sup>,牛蹄塘组页岩层在缓阳勘查区应具有一定的勘探开发潜力。

## 6 保存条件

保存条件一直是困扰中国南方常规油气勘探的主要问题之一<sup>[11]</sup>。由于页岩气富集的特殊岩性特征以及成藏机理,故其对保存条件的要求较常规油气的要低。但在绥阳勘查区,由于早古生代地层的裸露程度较高,因此,对保存条件的分析就显得尤为重要。

### 6.1 封盖层分布特征的影响

黔北地区牛蹄塘组的上部覆盖有中—上寒武统甚至整个古生代的地层。受构造抬升和风化剥蚀作用影响,绥阳地区以下寒武统明心寺组泥页岩和金顶山组泥页岩等区域性残留层为主要盖层,分布面积广(达528.32 km<sup>2</sup>),厚度大,封盖能力强。

### 6.2 构造演化的影响

自古生代地层沉积以来,本区域内历经了多次构造活动,对区内页岩地层的保存条件产生了重大影响。

**加里东运动** 该运动期对研究区页岩气的保存影响较小。由于下伏的牛蹄塘组烃源岩尚处于成熟阶段,区域性的构造抬升导致烃源岩的生烃延迟,并为二次生烃创造了条件。

**海西—印支运动** 海西运动期,地壳沉降幅度小,未形成大的油气聚集与油藏破坏。印支运动早期,发生区域性海侵和地壳沉降,三叠系快速沉积,牛蹄塘组埋深增大,达到生烃门限。印支运动后期,地壳抬升,海水由西南方向退出,区域上结束了海相沉积历史。该期运动对牛蹄塘组的二次生烃起到了至关重要的作用,但对早古生代页岩的保存影响较小。

**燕山—喜马拉雅运动** 是影响页岩气保存的重要构造运动。构造褶皱致使晚古生代之后的地层大面积剥蚀,仅在虾子场复向斜中保留了三叠系及其以下地层。考虑到页岩气的吸附性特点,针对不同的目的层,那些褶皱构造宽缓、断裂相对不发育的地区仍具有较好的保存条件;而对于褶皱紧密、断裂发育的地区,保存条件无疑较差,因而勘探风险较大。

## 6.3 水文地质条件的影响

水文地质条件是油气保存条件的综合反映<sup>[12]</sup>。据区域周边钻井的地层水化学资料(涉及的地层达震旦系),方深1井(位于绥阳西南的毕节地区大方县)2 410 m处上震旦统灯影组地层水的矿化度很低,为3.981 g/L,Cl<sup>-</sup>含量也很低,只有0.26 g/L,水型为NaHCO<sub>3</sub>型,均表明为水文开启环境,保存条件差。绥阳地区绥1井娄山关组地层水矿化度在0.2~1.79 g/L,水型为Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>型(为水文开启—过渡环境),保存条件也较差。根据已有的地层水类型特征,勘查区内局部处于一个自由交替带范围,对页岩气的保存有一定影响。

## 7 有利探区预测

综合分析,贵州绥阳地区下寒武统牛蹄塘组富有机质黑色页岩具有以下有利条件:

(1)勘查区处于深水陆棚页岩微相带,整个绥阳地区均为下寒武统,其中牛蹄塘组页岩的有效厚度在30~50 m,埋深小于3 000 m,连续分布的有效面积大于30 km<sup>2</sup>,达到一定的分布规模。

(2)有机质类型主要为腐泥型(I型),TOC值普遍大于1.0%,局部地区超过3.0%,且TOC>2.0%的高有机质丰度的烃源岩分布范围较大。R<sub>o</sub>为1.0%~3.5%,未见小于1%的区域。

(3)牛蹄塘组页岩的含气量推测为0.3~1.2 m<sup>3</sup>/t。另据国土资源部油气战略研究中心《页岩气资源潜力评价与有利区优选方法》,采用概率体积法<sup>[13]</sup>计算,牛蹄塘组页岩气的地质资源量为639.52×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,可采资源量为125.47×10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>,资源潜力较大。

(4)勘查区的东北部为宽缓隆起区,具有较好的区域性封盖层,有利盖层面积约达528 km<sup>2</sup>,范围较大,保存条件好。

由此认为,整个绥阳地区均为下寒武统牛蹄塘组页岩气勘查的有利区域(图4),其中勘查区的东北部应是页岩气下一步的重点勘探方向。

### 参考文献

- [1] 四川油气区石油地质志编写组. 中国石油地质志(卷十):四川油气区[M]. 北京:石油工业出版社,1989:103-107.
- [2] 聂海宽,唐玄,边瑞康. 页岩气成藏控制因素及中国南方页岩气发育有利区预测[J]. 石油学报,2009,30(4): 486-490.

- [3] 牟传龙,周恩恩,梁薇,等. 中上扬子地区早古生代烃源岩沉积环境与油气勘探[J]. 地质学报, 2011, 25(3): 526-530.
- [4] 罗超,刘树根,孙玮,等. 上扬子区下寒武统牛蹄塘组页岩气基本特征研究——以贵州丹寨南皋剖面为例[J]. 天然气地球科学, 2014, 25(3): 453-470.
- [5] 曹涛涛,宋之光,王思波,等. 上扬子区古生界页岩的微观孔隙结构特征及其勘探启示[J]. 海相油气地质, 2015, 20(1): 71-77.
- [6] 杨瑞东,程伟,周汝贤. 贵州页岩气源岩特征及页岩气勘探远景分析[J]. 天然气地球科学, 2012, 23(2): 340-342.
- [7] 岳来群,康永尚,陈清礼,等. 贵州地区下寒武统牛蹄塘组页岩气潜力分析[J]. 新疆石油地质, 2013, 34(2): 123-125.
- [8] 孙赞东,贾承造,李相方,等. 非常规油气勘探与开发[M]. 北京:石油工业出版社, 2011: 872-878.
- [9] 张厚福,方朝亮,高先志,等. 石油地质学[M]. 北京:石油工业出版社, 1999: 108-112.
- [10] 李新景,吕宗刚,董大忠,等. 北美页岩气资源形成的地质条件[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 27-32.
- [11] 陈更生,董大忠,王世谦,等. 页岩气藏形成机理与富集规律初探[J]. 天然气工业, 2009, 29(5): 17-21.
- [12] 页岩气地质与勘探开发实践丛书编委会. 中国页岩气地质进展[M]. 北京:石油工业出版社, 2011: 59-63.
- [13] 张金川,林腊梅,李玉喜,等. 页岩气资源评价方法与技术: 概率体积法[J]. 地学前缘, 2012, 19(2): 184-191.

编辑:赵国宪

## Geological Characteristics and Exploration Prospect of Lower Cambrian Niutitang Shale Gas in Suiyang Area, Guizhou

Zhang Zhiping, Cheng Lijun, Zeng Chunlin

**Abstract:** Based on observation and analysis of samples from outcrops and wells, a set of 30~50m thick Lower Cambrian Niutitang carbonaceous black shale is deep buried in Suiyang area, in the north of Guizhou. Thick regional overlying cap make the shale good condition of gas preservation so it is a good target of shale gas prospect in Guizhou. The analysis result shows that TOC is in the range of 1.5%~3% and  $R_o$  changes in 1.0%~3.5% in the gas-bearing black shale. The total desorbed gas content of 0.3~1.2m<sup>3</sup>/t and the potential gas reserves of 639.5×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup> mean great resources potential in this area. It is indicated that shale gas can accumulate in the low positions of arches in this area. It is suggested that the best favorable prospecting area of shale gas is in the northeast of Suiyang area in the future.

**Key words:** Early Cambrian; Shale gas; Preservation condition; Exploration prospect; Guizhou

Zhang Zhiping: Geologic Engineer. Add: Chongqing Research Institute of Geology Mineral Products, 177-9 Changjiang Er Lu, Chongqing, 400042, China