

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2014.02.011

# 北美 TMS 页岩油地质评价及勘探有利区预测

陈晓智<sup>1</sup> 陈桂华<sup>1</sup> 肖钢<sup>1</sup> 祝彦庆<sup>2</sup> 胡晓兰<sup>3</sup> 祝彦贺<sup>1</sup>

(1 中海油研究总院, 北京 100027; 2 中国石油大庆油田公司采油六厂, 黑龙江省大庆市 163114; 3 中国华电工程(集团)有限公司油气开发分公司, 北京 100035)

**摘要:** 北美页岩油气的商业开发已引起全球各国的高度关注, 中国能源企业也将目光投向海外市场, 因此, 及时掌握海外页岩油气区块地质特征及资源潜力意义重大。对于资料不够丰富、要求快速评价出勘探有利区的海外页岩油气区块来讲, 页岩的资源条件和开采条件是最基础的评价内容。对北美 X 地区 TMS (Tuscaloosa Marine Shale) 页岩油资源条件和开采条件分析表明, TMS 页岩具有页岩厚度大、有机碳含量高、有机质处于生油高峰阶段、页岩埋深和黏土矿物含量适中、页岩储层顶底板保存条件较好等特点, 具有很好的页岩油勘探潜力。利用多层次模糊综合评判法优选 TMS 页岩油有利区, 其勘探选区可分为 5 类, I 类区综合评价系数大于 0.75, 为极有利区, 主要分布在研究区的中部; 25 个地理区块中, V 区块页岩油勘探潜力最大, P1 区块页岩油勘探潜力丰度最高。

**关键词:** 北美; TMS 页岩; 页岩油; 页岩气; 地质评价; 有利区预测

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

## Geological Evaluation Prediction of Favorable Exploration Zones of TMS Shale Oil in North America

Chen Xiaozhi<sup>1</sup>, Chen Guihua<sup>1</sup>, Xiao Gang<sup>1</sup>, Zhu Yanqing<sup>2</sup>, Hu Xiaolan<sup>3</sup>, Zhu Yanhe<sup>1</sup>

(1 CNOOC Research Institute, Beijing 100027; 2 No.6 Oil Production Plant of PetroChina Daqing Oilfield Company Limited, Daqing City, Heilongjiang Province 163114; 3 Petroleum Development Branch, China Huadian Engineering Company Limited, Petroleum Development Branch, Beijing 100035)

**Abstract:** Commercial development of shale oil and gas in North America has drawn great attention from the world. China's energy companies also eye overseas shale oil and gas market. Therefore, it is of great importance to learning the geological characteristics and resources potential of overseas shale oil and gas blocks. The shale oil and gas reserves and production conditions are the basic contents for assessment if overseas blocks in the favorable exploration zone are brought under rapid appraisal without enough related data. The analysis of TMS (Tuscaloosa Marine Shale) shale oil resources in X area of North America indicates that TMS shale has a number of characteristics, such as large thickness of shale rock, high content of organic carbon, organic matter under the sourcing peak stage, appropriate buried depth of shale rock, appropriate content of clay minerals, the top and bottom of shale reservoir kept desirably, and a great exploration potential for shale oil. Using the multi-layered fuzzy judgment method, the favorable shale oil exploration area can be divided into five types. The first-class area, with the comprehensive evaluation factor higher than 0.75, is the most favorable zone, which is distributed mainly in the central part of the study region. Of the 25 small geographic blocks, Block V is the most potential block for shale oil exploration. The P1 block is the highest in potential abundance for shale oil exploration.

**Key Words:** North America, TMS shale, shale oil, shale gas, geological evaluation, prediction of favorable area

基金项目: 中国海洋石油总公司京直地区青年科技与管理创新研究课题“多层次模糊综合评判法在海外页岩油气区块有利区优选中的应用”(JZTW2012KJ16)。

第一作者简介: 陈晓智, 男, 硕士, 2011年毕业于中国地质大学(北京), 工程师, 主要从事非常规油气地质与开发方面的研究工作。

E-mail: chenxzh4@cnooc.com.cn

收稿日期: 2013-05-29; 修改日期: 2014-02-15

页岩油气作为常规油气资源的重要接替能源，越来越受到世界各国的高度重视<sup>[1,2]</sup>。自从美国爆发页岩气革命并改变全球能源产业格局之后，欧洲的德国、法国、英国、波兰、奥地利、瑞典，亚洲的中国、印度，大洋洲的澳大利亚、新西兰，南美洲的阿根廷、智利等国家或地区都充分认识到页岩气资源的价值与前景，开始了页岩气基础理论、资源评价、工业化开采等研究<sup>[3-8]</sup>。

我国页岩气可采资源量约为  $25 \times 10^{12} \text{m}^3$ （不含青藏区）<sup>[9]</sup>，但在页岩油气领域的研究与勘探开发利用上还处于初级阶段<sup>[10-14]</sup>。近年，在与国外公司合作开发国内页岩油气资源的同时，国有能源企业均加大了海外页岩油气市场的开发力度，因此，随着全球能

源格局的变化以及我国能源需求的不断增长，认识并掌握海外页岩油气区块地质特征及资源潜力对中国油企的海外市场扩张具有非常重要的指导意义。

### 1 地质背景

北美 X 地区位于墨西哥湾北部陆架边缘带附近，面积约为  $1800 \text{km}^2$ （图 1a）。TMS（Tuscaloosa Marine Shale）页岩为晚白垩世水进体系域产物，沉积于盆地斜坡的深水陆棚环境，为中 Tuscaloosa 地层下部的一套海相黑色页岩（图 1b）。整个 Tuscaloosa 群为一套以下 Tuscaloosa 致密砂岩或致密石灰岩、中 Tuscaloosa 页岩及上 Tuscaloosa 砂岩构成的沉积组合序列（图 1c）。

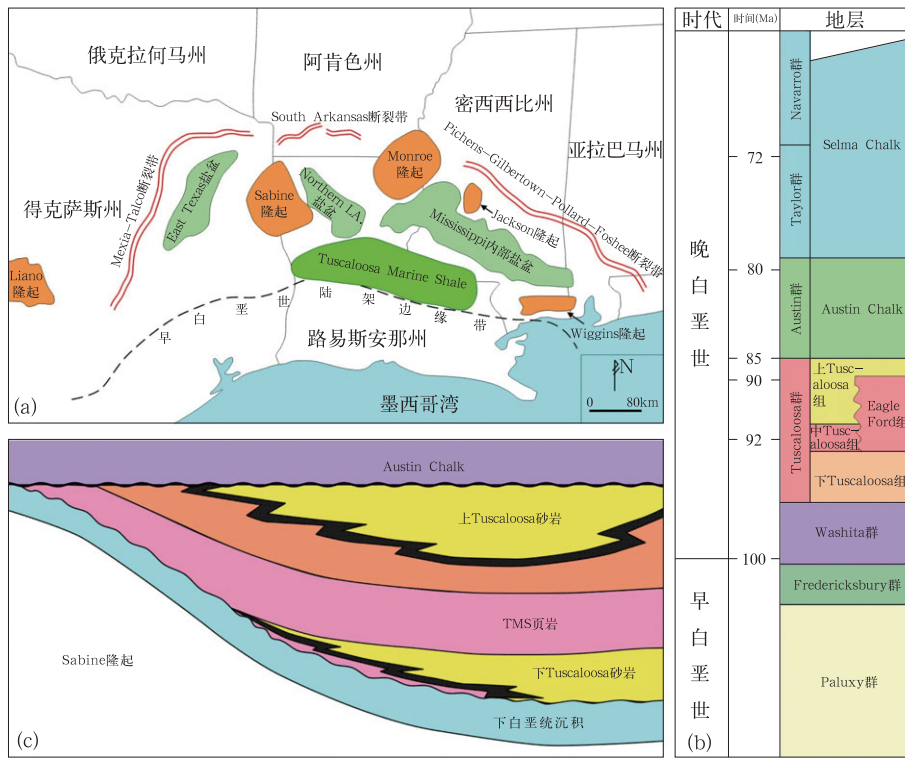


图 1 北美 X 地区综合地质图

Fig.1 Geological map of X area in North America

(a) TMS 页岩沉积构造位置；(b) 地层柱状图；(c) Tuscaloosa 群沉积序列模式图

### 2 页岩油地质条件

页岩气具有生气的唯一性、储气的多样性、富气的变化性和供气的改造性等明显区别于常规天然气的地质成藏特点<sup>[15]</sup>。页岩油是以游离、吸附及溶解态等多种方式赋存于有效生烃泥页岩地层中的非气态烃类<sup>[16]</sup>，与页岩气相似，其研究的地质理论基础都是泥页岩裂缝性油气藏<sup>[17,18]</sup>，评价对象均是页岩储层本

身。而影响页岩储层特性的参数有很多，但对于资料不够丰富、且要求快速评价勘探有利区的海外页岩油气区块来讲，页岩的资源条件和开采条件是最为基础和最主要的评价内容<sup>[19]</sup>。

#### 2.1 资源条件

##### 2.1.1 页岩厚度

页岩是页岩气生成和赋存的载体，一定的页岩厚

度能够提供足够的有机质和充足的储集空间，同时，富含有机质的泥页岩厚度越大，就越能保证页岩气资源量和压裂改造条件。因此，一定的页岩厚度是影响页岩气富集成藏及形成较高产能的重要因素。美国五大含页岩气系统页岩厚度为 30~300ft，其中单井产气量较高的 Barnett 页岩和 Lewis 页岩的平均厚度均在 100ft 以上<sup>[20]</sup>。TMS 页岩厚度范围为 5~250ft，大多分布在 50~150ft 之间，在研究区中部厚度较大，大于 200ft（图 2）。

### 2.1.2 有机碳含量

有机碳含量是页岩生气的物质基础，它不仅在一

定程度上控制着页岩的弹性和裂缝的发育程度，更重要的是控制着页岩的含气量<sup>[21,22]</sup>。有机质具有多微孔特点，在其生烃演化过程中不断产生大量微孔隙和微裂缝<sup>[23]</sup>，为页岩气的吸附提供更多的比表面空间。对美国 Antrim 页岩和 Barnett 页岩的有机碳含量与吸附含气量关系分析发现，两者呈明显的正相关关系<sup>[21,24]</sup>，表明页岩的有机碳含量是影响含气量的决定性因素。Burnaman（2009）认为能够生成页岩气的页岩有机碳含量至少应为 2.0%<sup>[25]</sup>。TMS 页岩有机碳含量在 1.05%~5.70% 之间，大多大于 2.0%，具有较好的页岩油气生成潜力（图 3）。

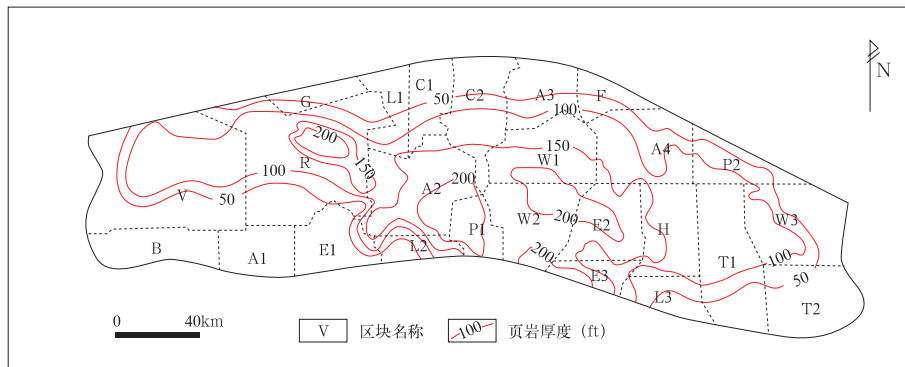


图 2 TMS 页岩厚度分布图  
Fig.2 Thickness distribution of TMS

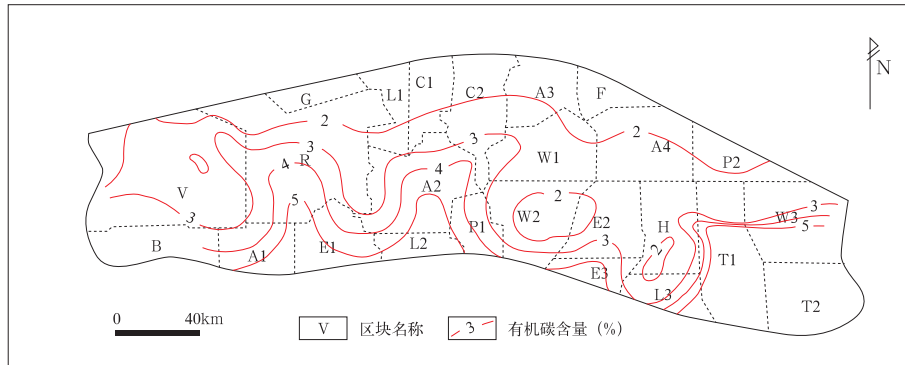


图 3 TMS 页岩有机碳含量分布图  
Fig.3 Organic carbon content distribution of TMS

### 2.1.3 有机质成熟度

目前已经进入商业性开发的页岩气藏，绝大部分都是热解成因或热裂解成因类型，生物成因类型页岩气藏开采较少<sup>[26]</sup>。根据页岩油气窗的阶段划分发现<sup>[27]</sup>，当有机质成熟度 ( $R_o$ ) 处于 0.7%~1.1% 之间时，有机质处于热解油窗，为页岩油富集阶段；当  $R_o$  大于 1.1% 时，有机质处于热解气窗，为页岩气富集阶段。

TMS 页岩的  $R_o$  在 0.64%~1.46% 之间（图 4），兼顾有机质页岩油窗和页岩气窗的演化分段性，认为

TMS 页岩具有很好的页岩油气潜力，且以生成页岩油为主。

### 2.1.4 含油（气）性

通过电阻率测井曲线可以分析页岩层段的含油气性。大量的 Bakken 页岩岩心及测井综合分析表明，当页岩层段电阻率值大于  $35\Omega \cdot m$  时，即可从实验室岩心上观察到原油产生的现象<sup>[28]</sup>；但对美国 Nesson 背斜西侧某井 Bakken 页岩地层的电阻率研究发现，Member 上段和下段页岩的电阻率分别为  $7\Omega \cdot m$  和

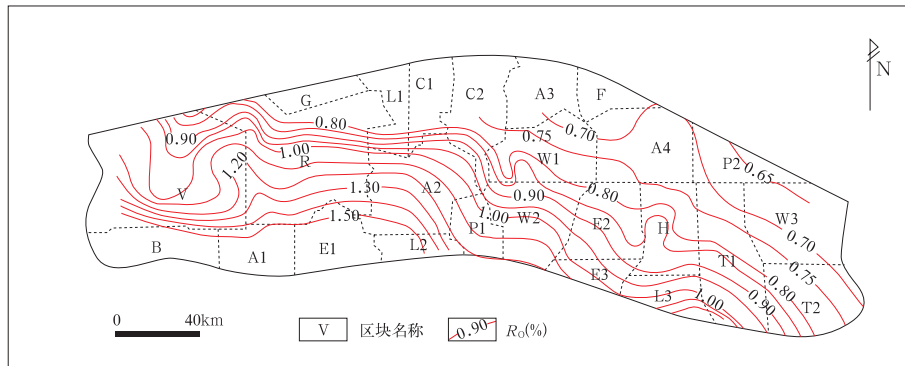


图4 TMS页岩R<sub>o</sub>分布图

Fig.4 Organic matter maturity distribution of TMS

9Ω·m，且均产油；Member 中段夹层的电阻率为 3.4~4.7Ω·m，未见原油产生。

TMS 页岩的电阻率测井曲线值在 2.5~8Ω·m 之间（图 5），在研究区中部电阻率值较大，平均为 7Ω·m，在研究区西部和东部电阻率值较小，基本小于 5Ω·m；综合测井解释及试油结果显示，电阻率值大于 5Ω·m 时均产页岩油或含油。

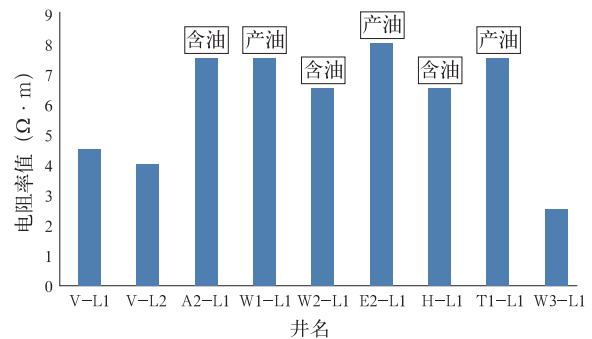


图5 TMS页岩段测井电阻率值分布图

Fig.5 Resistivity logging distribution of TMS

## 2.2 开采条件

### 2.2.1 页岩埋深

页岩油气资源的开发强调经济性，埋深为一个非常重要的参数。美国目前获得商业性气产量的开发深度一般小于 10000ft，过深则其开采技术成本过高，经济性差；单井产气量较高的 Barnett 页岩和 Lewis 页岩埋藏深度均在 3300~10000ft 之间<sup>[29]</sup>。但随着钻完井技术的不断提高及成本降低等措施，在 12000ft 左右的页岩或致密夹层中也发现有页岩油气显示。TMS 页岩埋藏较深，范围为 9000~18000ft，埋深从研究区北部向南部逐渐加深（图 6），整体为一个向南倾的单斜构造。

### 2.2.2 储层脆性度

页岩气藏多为低渗气藏，页岩气的产出依赖于天然裂缝或通过水平井压裂改造页岩储层形成的人造裂缝。因此，黏土矿物的存在会影响页岩储层的脆性度，从而影响天然裂缝的生成以及形成人造裂缝的能力<sup>[30]</sup>。一般认为易于页岩储层进行压裂改造的黏土矿物含量应小于 30%~40%。TMS 页岩中黏土矿物含量为 28.4%~41.5%，基本在 30%~40% 之间（图 7），表明研究区页岩储层脆性度较高，有利于后期的水平

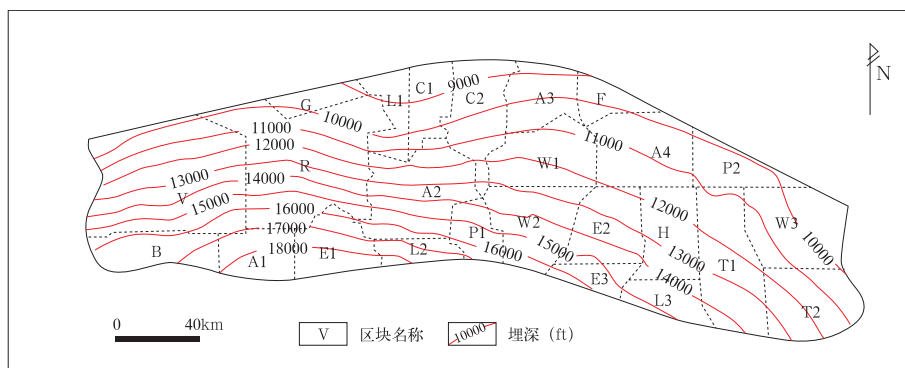


图6 TMS页岩埋深分布图

Fig.6 Buried depth distribution of TMS

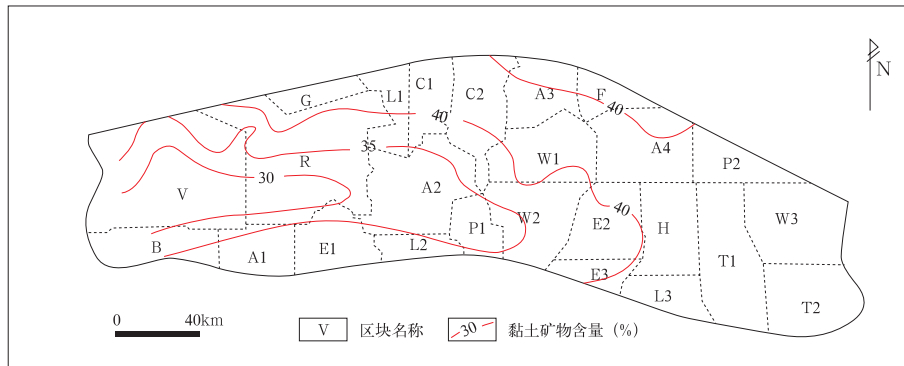


图 7 TMS 页岩黏土矿物含量分布图

Fig.7 Clay mineral content distribution of TMS

井压裂改造。

### 2.2.3 顶底板保存条件

页岩气储层的顶底板岩性、厚度及分布规律对页岩气的聚集与散失起到决定性作用。沉积厚度大、岩性致密的岩石类型具有较大的排驱压力，可以成为有效的屏蔽层，阻止页岩气的逸散，利于页岩气的富集。此外，由于页岩油气资源的开采离不开水平井压裂技术，页岩储层顶底板岩层的致密程度和厚度可以保证垂向压裂缝得到有效控制，避免压穿富含水的砂岩层或石灰岩层，影响页岩气的产出。

TMS 页岩直接底板岩性主要为泥岩或泥页岩、致密砂岩和致密石灰岩 3 种类型。泥岩或泥页岩层致密程度高，岩层不易压开，可有效控制垂向压裂缝高度；相对来讲，致密砂岩和致密石灰岩排驱压力小，较易压开裂缝，且石灰岩中多含裂缝、孔洞等含水的储集空间，一旦压开，容易造成水淹，影响页岩油气的产出。研究区 TMS 页岩底板以泥岩或泥页岩为主，致密砂岩和致密石灰岩在研究区西部有少许分布。因此，TMS 页岩顶底板保存条件很好。

## 3 有利区预测

针对页岩油气富集影响因素多样、优选勘探开发有利区控制指标众多、层次关系复杂的特点，选取多层次模糊综合评判法来进行页岩油气勘探选区的评价<sup>[31,32]</sup>。

多层次模糊综合评判法是层次分析法与模糊数学方法的一种综合决策方法，它是以单层次评价为核心，先构成若干个评价小组的单层次评价子集，再以评价小组的评价子集为新的节点，进行更高层次的评价。该方法主要通过以下 4 个步骤建立评价模型：

确定评价对象的因素集  $U$ ，使  $U = \{U_1, U_2, \dots, U_n\}$  ( $n$  为评价对象个数)；确定评价对象的评价集  $V$ ，

使  $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$  ( $n$  为评价对象个数)；建立单因素的评判矩阵  $R$ ，使  $R = (r_{ij})_{n \times m}$ ，其中  $i$  和  $j$  为因子排序位次， $n$  为矩阵列数， $m$  为矩阵行数， $r_{ij}$  表示  $U_i$  隶属于  $V_j$  的程度；建立多层次的综合评判模型，首先将各因素单独作用时的评价参数进行归一化处理，得到单因素  $U_i$  权重，然后按照模糊交换原理进行合成运算，得到每一个评价参数对于最终评价结果的权重。按照多层次模糊综合评判模型计算综合评价系数，该评价系数反映了页岩油气资源条件和开采条件的综合潜力，其值在 0~1 之间，值越大，表明该评价区域越有利。评价中可以借助 GIS 软件简化和科学化评判过程，客观地指出一个含油气区块或研究区内勘探区的优劣级别，最终确定勘探优选区。

根据综合评价系数，北美 X 地区页岩油气勘探区可分为 5 类（图 8）：第 1 类为极有利区，其综合评价系数大于 0.75。该区主要位于研究区中部 P1、A2、W1、E3 区，研究区西部 V 区北侧以及研究区东部 T1 区和 W3 区西侧，平面上呈孤立分布状。该区页岩厚度大、有机质丰度高、有机质处于生油高峰阶段、埋深和黏土矿物含量适中、底板保存条件相对较好，是页岩油气勘探的最优选区。第 2 类为有利区，其综合评价系数介于 0.65 至 0.75 之间。该区在平面上呈东西向条带状分布，其各项评价参数相对类区较差。第 3 类为中等有利区，其综合评价系数介于 0.55 至 0.65 之间。第 4 类为不利区，其综合评价系数介于 0.45 至 0.55 之间。第 5 类为极不利区，其综合评价系数在 0.45 以下。第 4 类和第 5 类区主要分布在研究区的边缘，各项评价参数最差或没有达到评价标准下限。

对研究区 25 个区块的页岩油气勘探优选潜力分析表明（表 1），区块勘探潜力（5 类区评价系数综



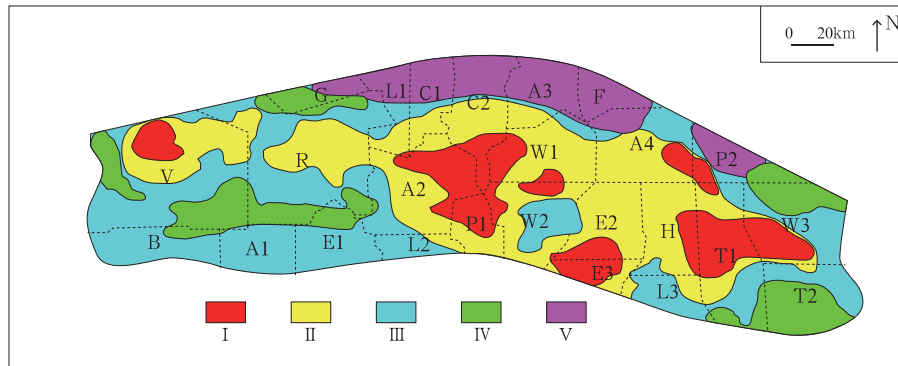


图8 TMS页岩油气勘探选区综合评价分区图

Fig.8 Division of zones for comprehensive evaluation of TMS exploration

表1 北美X地区25个区块页岩油气勘探潜力排序

Table 1 Ranking of 25 blocks in X area of North America in terms of shale oil exploration potential

按区块勘探潜力排序			按区块潜力丰度排序		
排序	区块	评价系数总和	排序	区块	评价系数平均值
1	V	202.575	1	P1	0.767440
2	R	187.315	2	E3	0.732816
3	A2	125.368	3	E2	0.725252
4	T1	112.988	4	A2	0.712318
5	W3	92.108	5	W1	0.698774
6	A4	87.429	6	H	0.689592
7	W1	86.648	7	W2	0.675461
8	W2	86.459	8	T1	0.664635
9	E2	77.602	9	A4	0.624493
10	H	71.028	10	V	0.610166
11	C2	70.746	11	C2	0.609879
12	T2	62.438	12	W3	0.605974
13	B	52.794	13	L3	0.605288
14	E1	44.936	14	R	0.600369
15	A3	42.489	15	L2	0.582487
16	A1	39.046	16	B	0.580154
17	P1	38.372	17	A1	0.557800
18	P2	37.462	18	E1	0.548000
19	L3	35.712	19	C1	0.543154
20	C1	35.305	20	L1	0.539966
21	L1	31.318	21	T2	0.533658
22	E3	27.847	22	P2	0.499493
23	L2	22.717	23	A3	0.494058
24	F	20.228	24	G	0.482600
25	G	19.304	25	F	0.412816

合叠加)为  $V>R>A2\dots\dots L2>F>G$ ; 区块勘探潜力丰度(5类区评价系数平均值,相当于面积丰度)为  $P1>E3>E2\dots\dots A3>G>F$ 。

## 4 结论

(1) 随着国际能源格局的变化以及我国能源需求的不断增加,认识并掌握海外页岩油气区块地质特征及资源潜力意义重大。对于资料不够丰富、要求快速评价出勘探有利区的海外页岩油气区块来讲,页岩的资源条件和开采条件是最基础的评价内容。

(2) 通过对北美 X 地区 TMS 页岩油的资源条件和开采条件两个主控因素,页岩厚度、有机碳含量、有机质成熟度、含油气性、页岩埋深、储层脆性度和顶底板保存条件 7 个关键指标分析,TMS 页岩具有页岩厚度大、有机碳含量高、有机质处于生油高峰阶段、埋深和黏土矿物含量适中以及页岩储层顶底板保存条件相对较好的特点,具有很好的页岩油勘探潜力。

(3) 利用多层次模糊综合评判法优选页岩油有利区发现,TMS 页岩油勘探区可以分为 5 类,其中第 I 类区综合评价系数大于 0.75,为极有利区;对研究区 25 个小区块页岩油勘探潜力分析表明,V 区块勘探潜力最大,P1 区块勘探潜力丰度最高。

## 参考文献

- [1] 邹才能,杨智,崔景伟,等.页岩油形成机制、地质特征及发展对策[J].石油勘探与开发,2013,40(1):14-26.  
Zou Caineng, Yang Zhi, Cui Jingwei, et al. Formation mechanism, geological characteristics and development strategy of nonmarine shale oil in China[J]. Petroleum Exploration and Development, 2013,40(1):14-26.
- [2] 潘仁芳,黄晓松.页岩气及国内勘探前景展望[J].中国石油勘探,2009,14(3):1-6.  
Pan Renfang, Huang Xiaosong. Shale gas and its exploration prospects in China[J]. China Petroleum Exploration, 2009,14(3):1-6.
- [3] 张所续.世界页岩气勘探开发现状及我国页岩气发展展望[J].中国矿业,2013,22(3):1-4.  
Zhang Suoxu. The exploration and development situation of world shale gas and development of China's shale gas outlook [J]. China Mining Magazine, 2013,22(3):1-4.
- [4] 肖钢,唐颖.页岩气及其勘探开发[M].北京:高等教育出版社,2012.  
Xiao Gang, Tang Ying. Shale gas and Its exploration and development[M]. Beijing: Higher Education Press, 2012.
- [5] 孟庆峰,侯贵廷.阿巴拉契亚盆地 Marcellus 页岩气藏地质特征及启示[J].中国石油勘探,2012,17(1):67-73.  
Meng Qingfeng, Hou Guiting. Characteristics and implications of marcellus shale gas reservoir, Appalachian basin[J]. China Petroleum Exploration, 2012,17(1):67-73.
- [6] 胡文瑞,鲍敬伟.探索中国式的页岩气发展之路[J].天然气工业,2013,33(1):1-7.  
Hu Wenrui, Bao Jingwei. To explore the way of Chinese style shale gas development [J]. Natural Gas Industry, 2013,33(1):1-7.
- [7] 昌燕,刘人和,拜文华,等.鄂尔多斯盆地南部三叠系油页岩地质特征及富集规律[J].中国石油勘探,2012,17(2):74-78.  
Chang Yan, Liu Renhe, Bai Wenhua, et al. Geologic Characteristic and Regular Pattern of Triassic Oil Shale South of Ordos Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2012,17(2):74-78.
- [8] 葛明娜,张金川,毛俊莉,等.辽河坳陷东部凸起上古生界页岩气资源潜力评价[J].天然气工业,2012,32(9):28-32.  
Ge Mingna, Zhagn Jinchuan, Mao Junli, et al. Evaluation on Neopaleozoic shale gas resource potential in the Eastern Salient of the Liaohe Depression[J]. Natural Gas Industry, 2012,32(9):28-32.
- [9] 岳婷,胡社荣,彭纪超,等.页岩气勘探开发过程中的若干环境和生态问题[J].中国矿业,2013,22(3):12-16.  
Yue Ting, Hu Sherong, Peng Jichao, et al. Environmental and ecological problems in the process of shale gas exploration and development[J]. China Mining Magazine, 2013,22(3):12-16.
- [10] 邹才能,董大忠,杨桦,等.中国页岩气形成条件及勘探实践[J].天然气工业,2011,31(12):26-39.  
Zou Caineng, Dong Dazhong, Yang Hua, et al. Conditions of shale gas accumulation and exploration practices in China[J]. Natural Gas Industry, 2011, 31(12):26-39.
- [11] 陈宗清.四川盆地寒武统九老洞组页岩气勘探[J].中国石油勘探,2012,17(5):71-78.  
Chen Zongqing. Shale Gas Exploration in Jiulaodong Formation of Lower Cambrian, Sichuan Basin[J]. China Petroleum Exploration, 2012,17(5):71-78.
- [12] 贾承造,郑民,张永峰.中国非常规油气资源与勘探开发前景[J].石油勘探与开发,2012,39(2):129-136.  
Jia Chengzao, Zheng Min, Zhang Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012,39(2):129-136.
- [13] 翟光明,何文渊,王世洪.中国页岩气实现产业化发展需重视的几个问题[J].天然气工业,2012,32(2):1-4.  
Zhai Guangming, He Wenyuan, Wang Shihong. A few issues to be highlighted in the industrialization of shale gas in China[J]. Natural Gas Industry, 2012,32(2):1-4.
- [14] 王道富,高世葵,董大忠,等.中国页岩气资源勘探开发挑战初论[J].天然气工业,2013,33(1):8-17.  
Wang Daofu, Gao Shikui, Dong Dazhong, et al. A primary discussion on challenges for exploration and development

- of shale gas resources in China[J]. *Natural Gas Industry*, 2013,33(1):8-17.
- [15] 陈桂华, 祝彦贺, 徐强. 页岩气成藏的四性特征及对下扬子地区页岩气勘探的启示[J]. *中国石油勘探*, 2012,17(5):63-70.  
Chen Guihua, Zhu Yanhe, Xu Qiang. Four Characteristics of shale gas play and enlightenment to shale gas exploration in Lower Yangtze area[J]. *China Petroleum Exploration*, 2012,17(5):63-70.
- [16] 张金川, 林腊梅, 李玉喜, 等. 页岩油分类与评价[J]. *地学前缘*, 2012,19(5):321-331.  
Zhang Jinchuan, Lin Lamei, Li Yuxin, *et al.* Classification and evaluation of shale oil[J]. *Earth Science Frontiers*, 2012,19(5):321-331.
- [17] 梁超, 姜在兴, 郭岭, 等. 陆棚相黑色泥岩发育特征、沉积演化及页岩气勘探前景——以瓮安永和剖面牛蹄塘组为例[J]. *大庆石油学院学报*, 2011,35(6):27-35.  
Liang Chao, Jiang Zaixing, Guo Ling, *et al.* Characteristics of black shale, sedimentary evolution and shale gas exploration prospect of shelf face taking Weng'an Yonghe profile Niutitang group as an example[J]. *Journal of Daqing Petroleum Institute*, 2011,35(6):27-35.
- [18] 杨懿婷, 张金川, 王香增, 等. 陆相页岩气的泥页岩评价——以延长下寺湾区上三叠统延长组长7段为例[J]. *东北石油大学学报*, 2012,36(4):10-19.  
Yang Yiting, Zhang Jinchuan, Wang Xiangzeng, *et al.* Source rock evaluation of continental shale gas: a case study of Chang 7 of Mesozoic Yanchang Formation in XiaSiwan area of Yanchang [J]. *Journal of Northeast Petroleum University*, 2012,36(4):10-19.
- [19] 陈桂华, 肖钢, 徐强, 等. 页岩油气地质评价方法和流程[J]. *天然气工业*, 2012,32(12):1-5.  
Chen Guihua, Xiao Gang, Xu Qiang, *et al.* A method and workflow for shale oil and gas geological evaluation[J]. *Natural Gas Industry*, 2012,32(12):1-5.
- [20] 杨振恒, 李志明, 沈宝剑, 等. 页岩气成藏条件及我国黔南坳陷页岩气勘探前景浅析[J]. *中国石油勘探*, 2009,14(3):24-29.  
Yang Zhenheng, Li Zhiming, Shen Baojian, *et al.* Shale gas accumulation conditions and exploration prospect in Southern Guizhou depression[J]. *China Petroleum Exploration*, 2009,14(3):24-29.
- [21] 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):484-491.  
Nie Haiquan, Tang Xuan, Bian Ruikang. Controlling factors for shale gas accumulation and prediction of potential development area in shale gas reservoir of South China[J]. *ACTA Petroelum Sinica*, 2009,30(4):484-491.
- [22] 李玉喜, 乔德武, 姜文利, 等. 页岩气含气量和页岩气地质评价综述[J]. *地质通报*, 2011,30(2-3):308-317.  
Li Yuxi, Qiao Dewu, Jiang Wenli, *et al.* Gas content of gas-bearing shale and its geological evaluation summary[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011,30(2-3):308-317.
- [23] Ross D J K, Bustin R M. Shale gas potential of the Lower Jurassic Gordondale Member, northeastern British Columbia, Canada[J]. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 2007,55(3):51-75.
- [24] 樊明珠, 王树华. 高变质煤区的煤层气可采性[J]. *石油勘探与开发*, 1997,24(2):87-91.  
Fan Mingzhu, Wang Shuhua. Producibility of coalbed methane in high rank coals[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 1997,24(2):87-91.
- [25] Burnaman M D, Xia Wenwu, Shelton J. Shale gas play screening and evaluation criteria[J]. *China Petroleum Exploration*, 2009,14(3):51-64.
- [26] 范柏江, 师良, 庞雄奇. 页岩气成藏特点及勘探选区条件[J]. *油气地质与采收率*, 2011,18(6):9-14.  
Fan Baijiang, Shi Liang, Pang Xiongqi. Accumulation characteristics and exploration screening of shale[J]. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 2011,18(6):9-14.
- [27] 卢双舫, 黄文彪, 陈方文, 等. 页岩油气资源分级评价标准探讨[J]. *石油勘探与开发*, 2012,39(2):249-256.  
Lu Shuangfang, Huang Wenhui, Chen Fangwen, *et al.* Classification and evaluation criteria of shale oil and gas resources: Discussion and application[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012,39(2):249-256.
- [28] Kreis, L K, Costa A. Hydrocarbon potential of the Bakken and Torquay formations, southeastern Saskatchewan; in Summary of Investigations[M]. Volume 1, Saskatchewan Geological Survey, Sask. Industry Resources, 2005, Pp:A-10.
- [29] Curtis J B. Fractured shale-gas systems [J]. *AAPG Bulletin*, 2002,86(11):1921-1938.
- [30] Hank Zhao, Natalie B Givens, Brad Curtis. Thermal maturity of the Barnett shale determined from well log analysis[J]. *AAPG Bulletin*, 2007, 91(4):535-549.
- [31] 张晓伟, 刘人和. 层次分析法在油页岩选区评价中的应用[J]. *中国石油勘探*, 2011,16(4):82-86.  
Zhang Xiaowei, Liu Renhe. AHP application to oil shale target areas selection and evaluation[J]. *China Petroleum Exploration*, 2011,16(4):82-86.
- [32] 陈晓智, 汤达祯, 许浩, 等. 低、中煤阶煤层气地质选区评价体系[J]. *吉林大学学报: 地球科学版*, 2012,42(增刊2):115-120.  
Chen Xiaozhi, Tang Dazhen, Xu Hao, *et al.* Geological evaluation system of potential coalbed methane exploration and development blocks with low and medium coal ranks [J]. *Journal of Jilin University: Earth Science Edition*, 2012,42(S2):115-120.