

西藏伦坡拉盆地古近系页岩油资源潜力初探

陈珊¹⁾, 刘博²⁾, 刘旭锋¹⁾, 刘治博³⁾

1) 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083; 2) 中国地质大学(北京), 北京 100083;
3) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037

摘要: 本文在西藏伦坡拉盆地蒋日阿错凹陷西北部古近系牛堡组和丁青湖组实测剖面的基础上, 通过对烃源岩有机质丰度、有机质类型、有机质成熟度及生标化合物等进行分析, 认为牛堡组和丁青湖组烃源岩有机质丰度中等, 有机碳含量 TOC 在 0.91%~5.53% 之间, 氯仿沥青“A”在 0.03%~0.63% 之间, 有机质类型主要为 I 型, T_{\max} 平均值为 428℃, 烃源岩处于未成熟-低成熟阶段。综合分析认为, 研究区牛堡组是古近系最有利的烃源岩层段, 与国内外典型页岩层各项指标对比, 牛堡组具备页岩油形成的基本地质条件, 但成熟度略低, 推断位于蒋日阿错凹陷沉积中心的牛堡组烃源岩厚度更大、成熟度更高, 页岩油潜力更大。

关键词: 牛堡组; 页岩油; 伦坡拉; 西藏

中图分类号: P534.61; P618.12 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2017.05.22

A Preliminary Study of the Paleogene Shale Oil Potential in Lunpola Basin, Tibet

CHEN Shan¹⁾, LIU Bo²⁾, LIU Xu-feng¹⁾, LIU Zhi-bo³⁾

1) *Oil & Gas Survey, China Geological Survey, Beijing 100083;* 2) *China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083;*
3) *Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037*

Abstract: Based on the measured profile of the Paleogene Niubao Formation and Dingqinghu Formation in northwestern Jiangriacuo sag, northwest Lunpola Basin, Tibet, the authors analyzed the organic matter abundance, types and maturity of the source rocks. The Niubao Formation and Dingqinghu Formation were characterized by high organic matter abundance with the TOC values ranging from 0.91% to 5.53% and the chloroform “A” ranging from 0.03% to 0.63%. The organic matter is of type I, with average T_{\max} being 428℃, which suggests that the source rock is at the early stage of oil generation, and the Niubao Formation is better than the Dingqinghu Formation in this aspect. The results indicate that the Niubao Formation in the work area is the most favorable source rock. A comparison with typical shale layers in China and abroad shows that it possesses the basic geological condition of generating shale oil although the maturity is slightly lower. It is inferred that the higher maturity the deposition center of Jiangriacuo sag is the greater the shale oil potential would be.

Key words: Niubao Formation; shale oil; Lunpola; Tibet

页岩油是一种源储一体、连续型分布的大面积石油资源, 是未来可能的接替能源。随着美国页岩油的成功开采, 我国也开始积极探索页岩油的勘探开发。2012—2013年, 国土资源部系统开展了我国页岩油资源潜力调查工作, 结果显示, 我国页岩油地质资源潜力约为 402 亿吨, 可采资源潜力达 37 亿

吨(国土资源部油气资源战略研究中心, 2013), 主要分布在松辽盆地、渤海湾盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地和三塘湖盆地(武晓玲等, 2013; 柳波等, 2014)。该五大页岩油区富有机质泥页岩地层分布范围广、层系多, 页岩油资源丰富。

西藏伦坡拉盆地古近系牛堡组和丁青湖组也

本文由中国地质调查局二级项目(编号: DD20160026; DD20160202)资助。

收稿日期: 2017-06-27; 改回日期: 2017-07-27。责任编辑: 闫立娟。

第一作者简介: 陈珊, 女, 1983年生。工程师。长期从事地震资料解释、油气储层预测评价和页岩油富集主控因素研究。通讯地址: 100083, 北京市海淀区北四环中路奥运大厦。电话: 010-64697587。E-mail: chenshan_000@126.com。

发育类似的泥页岩层系,但尚未开展过页岩油形成条件的相关研究。本文以伦坡拉盆地西北缘蒋日阿错地区野外实测剖面为基础,挑选古近系牛堡组和丁青湖组泥页岩样品进行测试分析,结合前人对伦坡拉盆地构造、沉积的研究,从页岩油形成的基本地质条件方面,初步探讨伦坡拉盆地是否具有页岩油潜力。

伦坡拉盆地位于西藏自治区中部班戈县境内,海拔 4 600 余 m,在西藏地区已知盆地中油气地质条件最好、勘探程度最高(雷清亮等, 1996; 谢尚克等, 2014)。伦坡拉盆地是在西藏中部班公湖—怒江缝合带上发育起来的一个新生代陆相沉积盆地,其西侧为尼玛盆地,北部为伦北盆地,南部为班戈盆地。前人研究认为,与西藏的海相沉积盆地相比,该陆相沉积盆地具有有机质丰度高、有机质类型好等特点,总体处于生油高峰期,具有很好的烃源条件及油气勘探前景(顾忆等, 1999; 孙涛等, 2012; 范小军等, 2015; 孙玮等, 2015); 在伦坡日、蒋日阿错

及爬错地区的丁青湖组还可见大量出露较好的油页岩(李亚林等, 2010; 谢尚克等, 2014; 杜佰伟等, 2016)。

伦坡拉盆地呈近东西向狭长分布,东西长约 220 km,南北宽 15~20 km,面积约 3 600 km²(艾华国等, 1998)。伦坡拉盆地发育在燕山褶皱带的基础上,其基底为古生界的地层和中生界海相碳酸盐岩、碎屑岩、基性火山岩及火山碎屑岩等,具有走滑特征,中间低、南北高,北部沉积幅度大、厚度大,向南呈斜坡状,呈不对称的箕状,具有南北分带、东西分块的构造格局(雷清亮等, 1996; 谢尚克等, 2014)。由北向南可划分为 3 个 II 级构造单元,即北部推覆构造带、中央坳陷带和南部斜坡带(孙玮等, 2015)。中央坳陷带被近南北向的断裂又分为 3 个次一级构造单元,即蒋日阿错凹陷、江家错凹陷和爬错凹陷(图 1)。本次研究区为伦坡拉盆地西北缘的蒋日阿错地区,构造上位于蒋日阿错凹陷及逆冲推覆带地区。

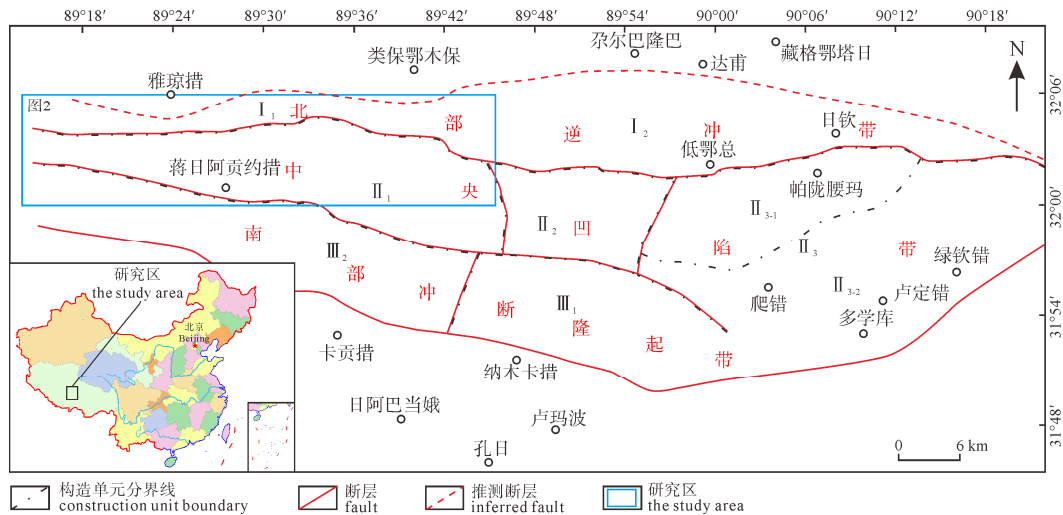


图 1 伦坡拉盆地构造位置及构造单元划分图

Fig. 1 Structural location and tectonic unit division of Lunpola basin

I₁-鄂加卒逆冲褶皱带; I₂-达玉山逆掩推覆带; II₁-蒋日阿错凹陷; II₂-江加错凹陷; II₃-爬错凹陷; II_{3.1}-北部深次洼; II_{3.2}-东南斜坡; III₁-伦坡拉—长山褶皱隆起带; III₂-蒋日阿错南冲断褶皱带

I₁-Ejiazu thrust fold belt; I₂-Dayushan overthrust belt; II₁-Jiangriacuo sag; II₂-Jiangjiacuo sag; II₃-Pacuo sag; II_{3.1}-northern deep subsag; II_{3.2}-southeastern slope; III₁-Lunpola-Changshan fold and uplift zone; III₂-Jiangriacuo southern thrust fold belt

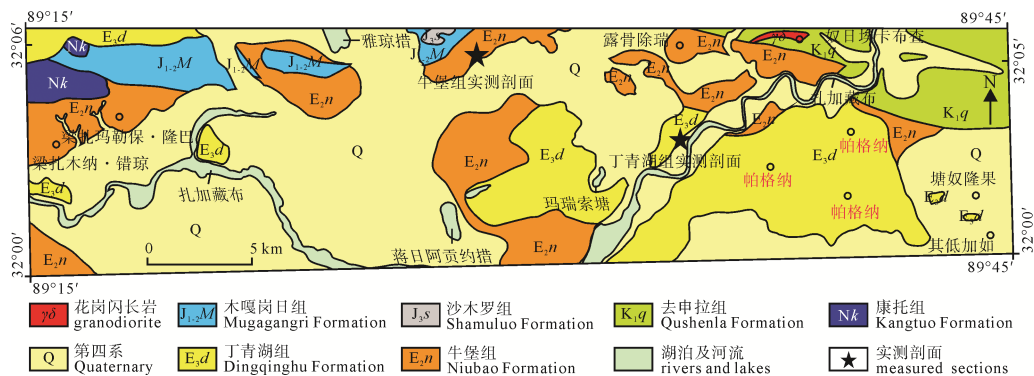


图 2 研究区地质图(实测)

Fig. 2 Geological map of the study area

1 盆地地层发育及沉积特征

从沉积充填特征来看,盆地内第三系地层最大沉积厚度超过 4 000 m,自下而上依次发育始新统牛堡组(E_{2n})、渐新统丁青湖组(E_{3d})、中新统(Ng)及第四系(Q)(马立祥等,1996;潘磊等,2016)。

古近系的牛堡组和丁青湖组是盆地内最重要的两套烃源岩地层。本次研究挑选牛堡组和丁青湖组地层出露相对较好的地方,共开展 2 条剖面的实测工作(图 2),剖面位于伦坡拉盆地西北缘蒋日阿错地区,坐标分别为 32°5'20.7"N、89°28'45.3"E,32°3'44.1"N、89°35'47.7"E。

实测剖面显示,牛堡组出露地层厚度为 730.5 m,其中深色泥页岩累计厚度约 410 m。剖面下部为灰黑色泥岩、灰色粉砂质泥岩、泥质粉砂岩夹中细砂岩,偶见含砾粗砂岩。上部为灰黑色泥岩、粉砂质泥岩逐渐过渡到灰褐色中细砂岩透镜体与灰色粉砂岩互层,向上砂岩含量增高(图 3)。通过与前人沉积相研究成果(孙玮等,2015)进行对比,认为研究区剖面的牛堡组基本对应牛二段上亚段及牛三段,牛一段未出露。

丁青湖组剖面厚度为 284.16 m,其中深色泥页岩累计厚度超过 200 m。剖面下部以紫红色、灰绿

色砂岩与泥岩、粉砂质泥岩构成多个韵律旋回。上部为灰黑色、黑色粉砂岩与泥岩构成多个韵律旋回,偶夹席状细砂岩(图 4),丁青湖组剖面底部与下伏牛堡组呈断层接触。通过与盆地内钻井揭示地层沉积特征(杜佰伟等,2016)进行对比,认为剖面的丁青湖组基本对应丁一段,丁二三段未出露。

根据前人研究成果(马鹏飞等,2013),伦坡拉盆地经历了两个不同的沉降阶段。初始的快速沉降开始于始新世,在三角洲和滨浅湖环境中沉积了牛堡组地层,牛二三段沉积时期最大沉积和沉降中心主要位于盆地中部蒋日阿错凹陷西南部,厚度 2 700~3 000 m,向东、向南逐渐变薄(杜佰伟等,2004)。

牛堡组沉积末期,构造运动性质发生变化,盆地西南部开始抬升,东南部开始下降,沉降中心向北东方向迁移,范围变小,在盆地东南部形成了新的沉降中心,并在滨浅湖-半深湖环境下沉积了丁青湖组地层,主要分布于达玉山以南、盆地中东部地区,最大沉积厚度约 850 m(邓虎成等,2008)。从盆地南北向的构造剖面示意图(图 5)来看,牛堡组地层在盆地内基本全区分布,且横向上较连续,盆地中心厚度最大,其分布范围和沉积厚度均远大于丁青湖组。

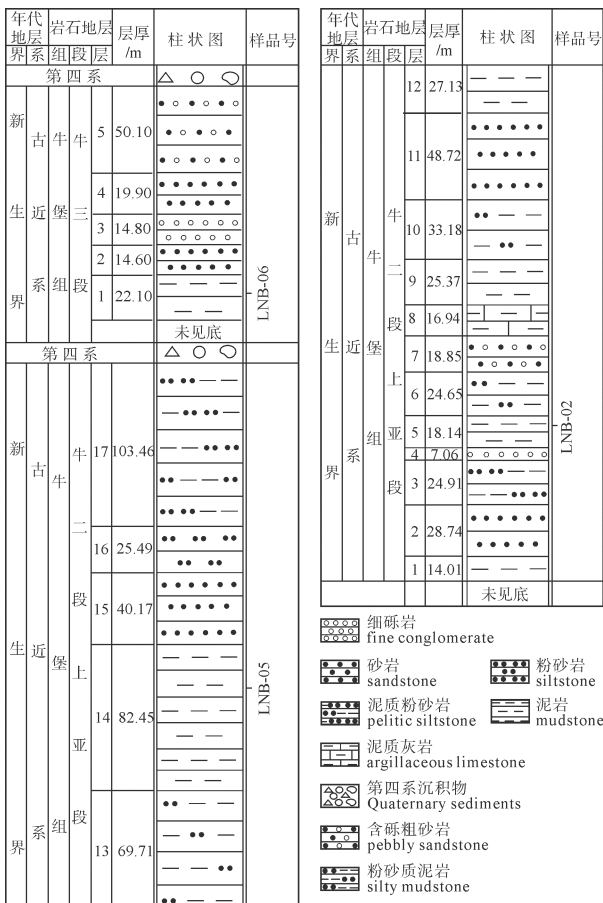


图 3 牛堡组实测地层柱状图

Fig. 3 Stratigraphic columnar section of Niubao Formation

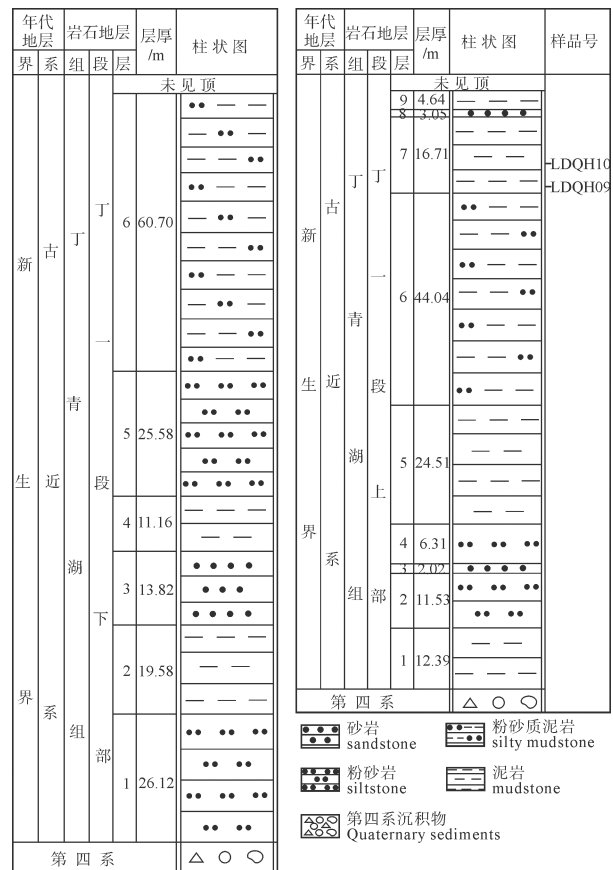


图 4 丁青湖组实测地层柱状图

Fig. 4 Stratigraphic columnar section of Dingqinghu Formation

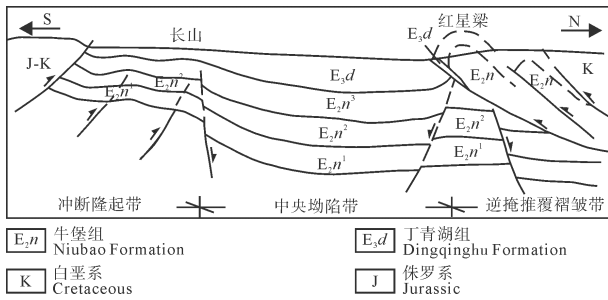


图5 伦坡拉盆地东部长山—红星梁剖面构造示意图
(据艾华国等, 1998)

Fig. 5 Structural section of Changshan-Hongxingliang in eastern Lunpola Basin (after Ai et al., 1998)

2 烃源岩有机质特征

本次野外样品全部在实测剖面上采集, 共采集泥页岩样品 10 件, 其中牛堡组 6 块, 丁青湖组 4 块, 样品在剖面上的位置见图 3。按行业标准对样品进行了有机碳、氯仿沥青“A”、族组分、岩石热解、干酪根镜下鉴定、干酪根元素、饱和烃色谱及质谱等有机地化指标进行了系统的分析测试。

2.1 有机质丰度

有机质丰度是评价烃源岩生烃潜力最基本的指标, 一般根据有机碳含量(TOC)来分析。牛堡组样品残余有机碳含量在 0.91%~5.53%之间, 平均值为 2.25%; 丁青湖组残余有机碳含量在 1.0%~1.18%之间, 平均值为 1.09%, 两套烃源岩均达到优质烃源岩 TOC 的标准。

牛堡组样品氯仿沥青“A”的含量为 0.03%~0.41%, 平均值为 0.2%; 残留烃 S_1 含量为 0.05%~0.85%, 平均值为 0.45%; 生烃潜量(S_1+S_2)为 0.53~22.56 mg/g, 平均值为 10.44 mg/g(表 1)。可见牛堡组烃源岩样品含油率不高, 但有一定的生烃潜

力, 属于较差-中等烃源岩。

丁青湖组样品氯仿沥青“A”含量为 0.19%~0.63%, 平均值为 0.41%; 残留烃 S_1 含量为 0.04%; 生烃潜量(S_1+S_2)为 0.49~0.64 mg/g, 平均值为 0.57 mg/g(表 1)。丁青湖组烃源岩样品含油率极低, 生烃潜力也较小, 属于差烃源岩。

2.2 有机质类型

不同来源、不同组成的有机质具有不同的生烃潜力, 形成不同的产物, 因此要评价烃源岩的生烃能力还必须了解有机质的类型。伦坡拉盆地牛堡组和丁青湖组烃源岩具备一定丰度的有机质, 但能否生成油气, 还与有机质类型有关。

2.2.1 干酪根在显微镜下的特征

干酪根显微镜鉴定是划分烃源岩有机质类型最常用的方法之一。蒋日阿错地区牛堡组和丁青湖组烃源岩样品干酪根显微组分组成特点均以具有较好生烃能力的腐泥组为主, 含量为 73%~92%, 壳质组含量为 4%~24%, 反映了有机质的来源主要为水生生物, 以及少量陆源高等植物有机质; 具有中等生烃能力的镜质组含量为 1%~2%; 不具生烃能力的惰质组含量为 1%~3%(表 2), 类型指数 80.8~90.5, 为 I 型干酪根, 有机质类型较好。

2.2.2 生物标志化合物

(1) 类异戊二烯

姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)是最重要的类异戊二烯烃化合物, 其比值是常用的古环境氧化还原状态指标。傅家谟等(1991)对我国陆相沉积盆地的生标参数总结分析, 认为当 $Pr/Ph < 1$, 说明为还原环境。牛堡组和丁青湖组烃源岩样品 Pr/Ph 比值为 0.06~0.22(表 3), 指示了较强的还原环境, 有利于有机质的富集。姥鲛烷与相邻正构烷烃之比 Pr/nC_{17}

表 1 丁青湖组与牛堡组基础地球化学参数

Table 1 Geochemical data of source rocks from Dingqinghu Formation and Niubao Formation

样品编号	TOC/%	氯仿沥青“A”/%	饱和烃/%	芳烃/%	非烃/%	沥青质/%	S_0 /(mg/g)	S_1 /(mg/g)	S_2 /(mg/g)
LDQH09	1.18	0.631 6	16.23	6.95	67.02	9.80	0.007 7	0.035 5	0.457 6
LDQH10	1.00	0.194 1	21.13	8.54	61.79	8.54	0.007 2	0.038 8	0.604 1
LNB02	5.53	0.408 8	17.64	11.22	65.93	5.21	0.012 0	0.845 3	21.709 6
LNB05	0.91	0.026 1	34.93	16.27	43.54	5.26	0.006 9	0.048 7	0.484 8
LNB06	2.61	0.170 3	22.61	11.61	58.04	7.74	0.011 7	0.460 8	7.779 7

表 2 丁青湖组与牛堡组干酪根显微组分鉴定表

Table 2 Macerals analyses of kerogen from the hydrocarbon source rocks in Niubao Formation and Dingqinghu Formation

样品编号	岩性	显微组分				类型
		腐泥组/%	壳质组/%	镜质组/%	惰质组/%	
LDQH09	泥页岩	92	4	1	3	I
LDQH10	泥页岩	91	5	2	2	I
LNB02	泥页岩	89	8	2	1	I
LNB05	泥页岩	85	13	1	1	I
LNB06	泥页岩	73	24	1	2	I

表 3 丁青湖组和牛堡组部分生物标志化合物参数

Table 3 Selected biomarker parameters of the extractable organic matter from Dingqinghu Formation and Niubao Formation

样品编号	主峰碳	Pr/nC ₁₇	Ph/nC ₁₈	Pr/Ph	OEP	CPI	$\sum nC_{21}-/\sum nC_{22}+$	C ₂₁ +C ₂₂ /C ₂₈ +C ₂₉
LDQH09	nC ₃₀	0.71	8.09	0.09	1.11	1.60	0.68	0.94
LDQH10	nC ₃₀	0.90	12.57	0.07	1.02	1.55	0.46	1.05
LNB02	nC ₃₀	0.80	13.23	0.12	0.40	0.80	0.54	2.10
LNB05	nC ₃₀	0.94	5.25	0.22	0.35	0.75	0.33	1.74
LNB06	nC ₃₀	0.88	20.99	0.06	0.57	0.84	0.31	0.69

样品编号	C ₂₇ 甾烷%	C ₂₈ 甾烷%	C ₂₉ 甾烷%	C ₂₉ 20S/(20S+20R)	C ₂₉ αβ/(αα+ββ)	伽马蜡烷/C ₃₁ 藿烷	Ts/(Ts+Tm)	C ₃₁ 22S/(22S+22R)
LDQH09	26.48	42.53	30.99	0.06	0.17	0.77	0.22	0.26
LDQH10	18.86	48.38	32.76	0.09	0.16	1.28	0.18	0.19
LNB02	10.77	49.53	39.70	0.12	0.22	6.76	0.17	0.11
LNB05	11.52	39.55	48.93	0.10	0.11	3.62	0.13	0.12
LNB06	16.55	36.15	47.30	0.09	0.16	7.81	0.25	0.17

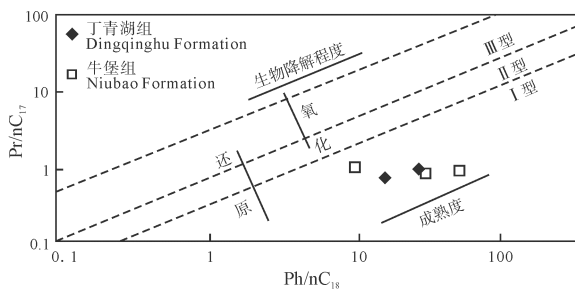


图 6 Pr/nC₁₇与 Ph/nC₁₈关系图

Fig. 6 Plot of pristane/nC₁₇ versus phytane/nC₁₈ ratios from gas chromatography

与植烷与相邻正构烷烃之比 Ph/nC₁₈ 的相关图也可用来判别有机质类型。图 6 显示牛堡组和丁青湖组烃源岩有机质以 I 型为主, 烃源岩沉积时为较强的还原环境。

(2)甾类化合物

甾烷也是反映生物有机质输入最常用的参数, 可根据烃源岩抽提物中甾烷的 C₂₇、C₂₈、C₂₉ 的相对含量来确定有机质的类型。不同生物有机质 C₂₇、C₂₈ 和 C₂₉ 甾醇含量不同: 水生浮游动物 C₂₇ 甾醇占优势, C₂₈ 和 C₂₉ 甾醇的含量较低; 水生浮游植物 C₂₈ 甾醇占优势, C₂₇ 和 C₂₉ 甾醇的含量较低; 陆源生物 C₂₉ 甾醇占优势, C₂₇ 和 C₂₈ 甾醇的含量较低(魏建设等, 2011; 孙涛等, 2012)。

从牛堡组和丁青湖组样品 C₂₇、C₂₈、C₂₉ 甾烷的相对含量来看(表 3), C₂₈ 含量略高于 C₂₉ 的含量, C₂₇ 含量最低, 因此可以推断研究区烃源岩有机质主要来自水生浮游植物, 混有一定比例的陆源生物。从规则甾烷碳数相对组成三角图也可以看到(图 7), 样品主要分布在藻类为主的 VII 区和陆生植物为主的 V 区, 说明了烃源岩有机质的混合来源。

综上所述, 研究区牛堡组和丁青湖组烃源岩沉积环境为强还原环境, 有机质类型较好, 主要来自水生浮游植物, 混有一定比例的陆生植物。

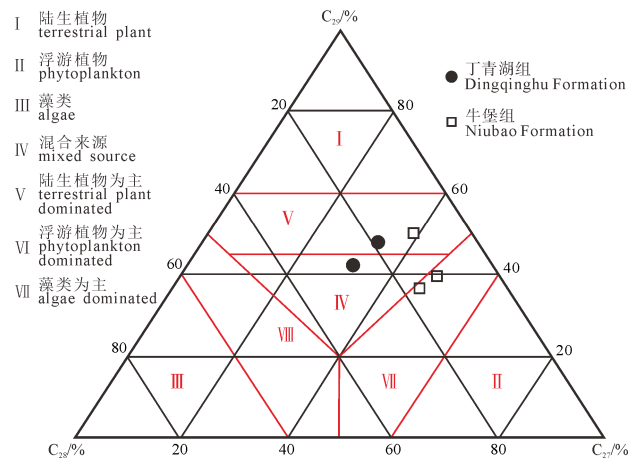


图 7 牛堡组及丁青湖组烃源岩甾烷碳数三角分布图
Fig. 7 Steroid carbon number of source rocks of Niubao Formation and Dingqinghu Formation

2.3 有机质成熟度

(1)热解峰温 T_{max}

牛堡组和丁青湖组样品 T_{max} 值为 423~434℃, 平均值为 428℃, 反映有机质处于未成熟-低成熟阶段。氯仿沥青“A”和残留烃 S₁ 的值较低(表 1), 也说明成熟度较低。

(2)正构烷烃

牛堡组和丁青湖组烃源岩样品饱和和烃色谱图呈双峰分布(图 8), 主峰碳为 nC₃₀, 碳数分布在 nC₁₄~n₃₅ 之间, 碳优势指数 CPI 值介于 0.75~1.6 之间, 奇偶优势 OEP 值介于 0.35~1.11 之间, 指示高碳数的正构烷烃有弱的奇碳数优势, 中间碳数的正构烷烃无偶优势, 显示烃源岩处于低成熟阶段。

(3)甾类化合物

C₂₉aaa20S/aaa(20S+20R)和 C₂₉αβ/(αα+ββ) 是常用的甾烷成熟度参数。一般认为, 生油门限两参数值约为 0.25。牛堡组和丁青湖组样品的 C₂₉aaa20S/aaa(20S+20R)比值为 0.06~0.12, 低于平衡值 0.25, C₂₉αβ/(αα+ββ)比值在 0.11~0.22, 略低

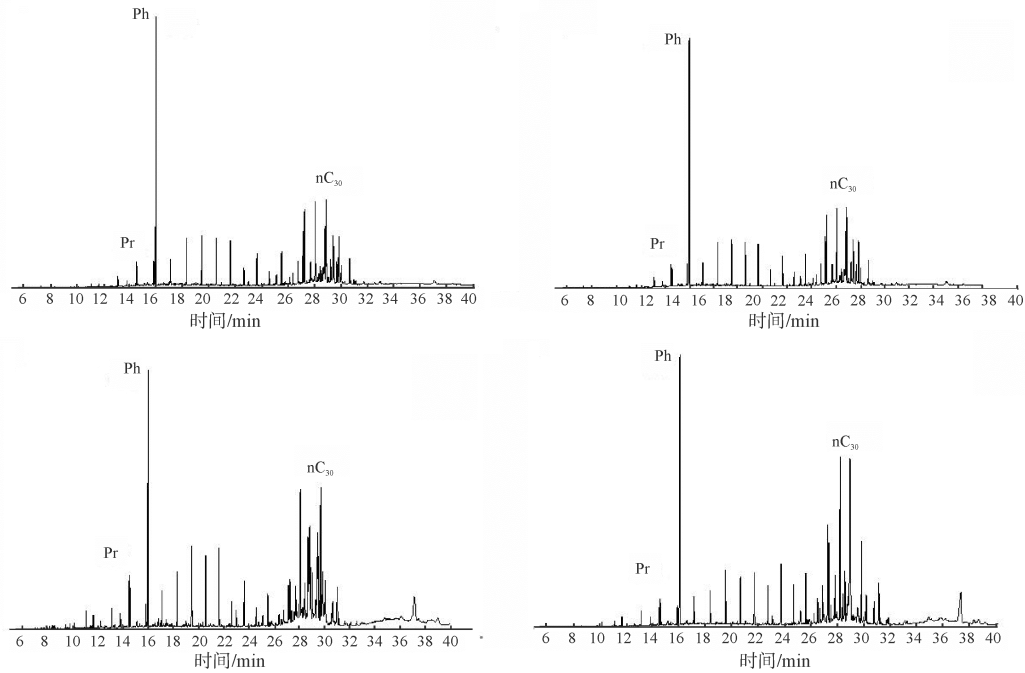


图8 丁青湖组与牛堡组部分样品色谱图

Fig. 8 Gas chromatograms of the saturated fraction of samples from Dingqinghu Formation and Niubao Formation

表4 伦坡拉盆地牛堡组与国内外重要页岩有机地化参数对比

Table 4 Comparison of key geologic parameters of Niubao Formation shale layer in Lunpola Basin with domestic and foreign shale layers

地区或盆地	层位	埋藏深度/m	厚度/m	TOC/%	有机质类型
阿巴拉契亚	泥盆系	1 220~2 600	15.3~91	3~12	I、II ₁
北路易斯安那州盐盆	侏罗系	3 048~4 267		4	I、II ₁
富特沃斯	密西西比系	1 981~2 591	15~60	3~13	II ₁
威利斯顿	上泥盆一下密西西比系	1 500	5~30	11.3	I、II
德克萨斯州西南	上白垩系	3 503	30~90	1~7	II ₁
密执安	泥盆系	183~730	21~37	0.3~24	I
尤因塔盆地	古近系始新统	1 000~3 000	15~130	2~5	I、II
松辽盆地	上白垩系青山口组	1 500~2 750	15~80	0.13~4.26	I、II
渤海湾盆地	古近系始新统一渐新统	1 500~4 500	400~1 500	1~6	I、II ₁
伦坡拉盆地	古近系始新统牛堡组	200~3 000	5~30	0.91~5.53	I

于平衡值 0.25, 表明样品成熟度较低。

(4) 萘类化合物

22S/(22S+22R)(C₃₁ 藿烷)值也可作为成熟度的参数。22S/(22S+22R)(C₃₁ 藿烷)值在生油窗内从 0~0.6 之间变化, 当在 0.57~0.62 范围(平衡值)内, 表明已经达到或超过油气生成的主要阶段。牛堡组和丁青湖组样品 22S/(22S+22R)(C₃₁ 藿烷)值为 0.11~0.26(表 3), 低于平衡值, 反映了样品的成熟度较低。

各项指标均反映研究区牛堡组和丁青湖组烃源岩成熟度较低。

3 页岩油潜力初步评价

张金川等(2012)根据中国页岩油基本地质条件和地球化学特征等, 提出了中国页岩油的综合选取

参考标准, 主要包括泥页岩厚度(单层>10 m, 连续厚度>20 m)、埋深(<4 500 m)、TOC(>1%)、成熟度(≥0.5)、脆性矿物含量(>30%)及含油率(>0.15%)等几个方面。

由于本次研究样品有限, 未进行矿物组成和含油率方面的测试分析研究, 因此暂用“四度”(泥页岩厚度、埋藏深度、有机质丰度和成熟度)的标准初步评价页岩油潜力。研究区牛堡组地层单层泥页岩厚度约 5~30 m, TOC 平均值为 2.25%, 氯仿沥青“A”平均为 0.2%, 残留烃 S₁ 平均为 0.45%, T_{max} 平均为 428℃, 各项指标均说明牛堡组烃源岩基本达到页岩生油条件, 处于未成熟-低成熟阶段。

与国内外重要页岩产层的各项基本地质参数进行对比(表 4), 可以看到, 伦坡拉盆地牛堡组烃源岩具备形成页岩油的基本条件。

伦坡拉盆地经历了拉张—断陷—挤压—隆起等多个阶段,特别是在喜山运动以后,盆地长时间处于挤压、抬升的演化阶段,使得盆地长期遭受剥蚀(杜佰伟等,2016),因此牛堡组和丁青湖组的埋藏深度不大。但伦坡拉盆地具有典型热盆的特点,现今地温场具有高热流、高地温梯度特征,今地温梯度多为 5.0~7.0℃/hm,高地温中心区主体位于蒋日阿错凹陷及爬错凹陷;古地温梯度低于今地温梯度,但仍为异常高特征,普遍高于 5.5℃/hm(袁彩萍等,2000;刘建等,2001;潘磊等,2016)。高古地温梯度有利于埋藏较浅的烃源岩成熟演化及生成烃类。

牛堡组沉积时期蒋日阿错凹陷西南部是沉积沉降中心,牛堡组地层在沉积中心最厚,向其它方向逐渐减薄,在盆地内分布较稳定。本次研究区位于蒋日阿错凹陷的西北部,因此推断位于蒋日阿错凹陷沉积中心的牛堡组地层厚度更大,成熟度更高,将具有更大的页岩油潜力。

4 结论

(1)伦坡拉盆地蒋日阿错地区牛堡组和丁青湖组样品有机碳含量为 0.84%~5.53%,氯仿沥青“A”0.03%~0.4%,有机质丰度中等,有机质类型为 I 型,最大热解温度 T_{max} 为 423~434℃,有机质热演化程度不太高,处于未成熟-低成熟阶段,其中,牛堡组生烃潜力好于丁青湖组。

(2)生物标志物分析认为伦坡拉盆地烃源岩有机质主要来源于水生生物和部分高等植物,沉积时为缺氧的还原环境,有利于有机质的富集。

(3)伦坡拉盆地蒋日阿错凹陷西北部牛堡组烃源岩具备页岩油形成的基本地质条件,但有机质成熟度略低,推断位于凹陷沉积中心的牛堡组烃源岩厚度更大、成熟度更高,页岩油潜力可能更大。同时,有必要深入开展泥页岩储集空间和地层压力方面的研究,进一步评价伦坡拉盆地的页岩油资源潜力。

Acknowledgements:

This study was supported by China Geological Survey (Nos. DD20160026 and DD20160202).

参考文献:

- 艾华国,兰林英,朱宏权,张克银,曾涛. 1998. 伦坡拉第三纪盆地的形成机理和石油地质特征[J]. 石油学报, 19(2): 21-26.
- 邓虎成,周文,丘东洲. 2008. 西藏伦坡拉盆地油砂资源潜力分析[J]. 桂林工学院学报, 28(2): 167-173.
- 杜佰伟,谭富文,陈明. 2004. 西藏伦坡拉盆地沉积特征分析及油气地质分析[J]. 沉积与特提斯地质, 24(4): 46-54.
- 杜佰伟,谢尚克,董宇,彭清华,郑博. 2016. 伦坡拉盆地渐新

- 统丁青湖组页岩特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 46(3): 671-680.
- 范小军,潘磊,李凤,李吉选,厚东琳,郝景宇. 2015. 西藏伦坡拉盆地古近系油藏成藏机理及有利区带预测[J]. 石油与天然气地质, 36(3): 362-369.
- 傅家谟,盛国英,许家友,贾荣芬,范善发,彭平安. 1991. 应用生物标志化合物参数判别古沉积环境[J]. 地球化学, 3(1): 1-12.
- 顾忆,邵志兵,叶德焯,张小英,卢亚平. 1999. 西藏伦坡拉盆地烃源岩特征及资源条件[J]. 石油实验地质, 21(4): 341-345.
- 国土资源部油气资源战略研究中心. 2013. “页岩气资源潜力调查评价及有利区优选”项目成果报告[R]. 北京: 国土资源部油气资源战略研究中心.
- 雷清亮,付孝悦,卢亚平. 1996. 伦坡拉第三纪陆相盆地油气地质特征分析[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 21(2): 168-173.
- 李亚林,王成善,朱利东,王立成,杨文光. 2010. 西藏尼玛盆地油页岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 29(12): 1872-1874.
- 刘建,虞显和,杨俊红,刘明生. 2001. 西藏伦坡拉盆地地热史模拟[J]. 江汉石油学院学报, 23(增刊): 19-21.
- 柳波,吕延防,冉清昌,戴春雷,李梅,王猛. 2014. 松辽盆地北部青山口组页岩油形成地质条件及勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 35(2): 280-285.
- 马立祥,张二华,鞠俊成,雷清亮,邹家健. 1996. 西藏伦坡拉盆地第三系沉积体系域基本特征[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 21(2): 174-178.
- 马鹏飞,王立成,冉波. 2013. 青藏高原中部新生代伦坡拉盆地沉降史分析[J]. 岩石学报, 29(3): 990-999.
- 潘磊,曹强,刘一茗,李一腾,汪岩,李智泉. 2016. 伦坡拉盆地始新统牛堡组烃源岩成熟史[J]. 石油实验地质, 38(3): 382-388.
- 孙涛,王成善,李亚林,魏玉帅. 2012. 西藏中部伦坡拉盆地古近系沉积有机质特征及意义[J]. 地球化学, 41(6): 530-537.
- 孙玮,李智武,肖秋苟,王兴建,王晨霞. 2015. 西藏伦坡拉盆地北缘中深层古近系牛堡组油气成藏分析[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 42(4): 419-426.
- 魏建设,陆金财,陈高潮,李金超. 2011. 内蒙古西部额济纳旗及邻区二叠系理汗哈达组烃源岩生物标志化合物的特征及意义[J]. 地质通报, 30(6): 904-910.
- 武晓玲,高波,叶欣,边瑞康,聂海宽,卢福长. 2013. 中国东部断陷盆地页岩油成藏条件与勘探潜力[J]. 石油与天然气地质, 34(4): 455-462.
- 谢尚克,杜佰伟,王剑,董宇. 2014. 西藏伦坡拉盆地丁青湖组油页岩地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 33(3): 503-510.
- 袁彩萍,徐思煌. 2000. 西藏伦坡拉盆地地温场特征及烃源岩热演化史[J]. 石油实验地质, 22(2): 156-160.
- 张金川,林腊梅,李玉喜,唐玄,朱亮亮,邢雅文,姜生玲,荆铁亚,杨升宇. 2012. 页岩油分类与评价[J]. 地学前缘, 19(5): 322-331.

References:

- AI Hua-guo, LAN Lin-ying, ZHU Hong-quan, ZHANG Ke-yin, ZENG Tao. 1998. The forming mechanism and petroleum ge-

- ology of tertiary in Lunpola basin, Tibet[J]. *Acta Petro Sinica*, 19(2): 21-26(in Chinese with English abstract).
- DENG Hu-cheng, ZHOU Wen, QIU Dong-zhou. 2008. Oil sand resource latent capacity in Lunpola basin, Tibet[J]. *Journal of Guilin University of Technology*, 28(2): 167-173(in Chinese with English abstract).
- DU Bai-wei, TAN Fu-wen, CHEN Ming. 2004. Sedimentary features and petroleum geology of the Lunpola Basin, Xizang[J]. *Sedimentary Geology and Tethyan Geology*, 24(4): 46-54(in Chinese with English abstract).
- DU Bai-wei, XIE Shang-ke, DONG Yu, PENG Qing-hua, ZHENG Bo. 2016. Characteristics of oil shale of oligocene Dingqinghu formation and its geological significance, Lunpola Basin[J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 46(3): 671-680(in Chinese with English abstract).
- FAN Xiao-jun, PAN Lei, LI Feng, LI Ji-xuan, HOU Dong-lin, HAO Jing-yu. 2015. Hydrocarbon accumulation mechanism and play fairways of the Paleogene in Lunpola Basin, Tibet[J]. *Oil & Gas Geology*, 36(3): 362-369(in Chinese with English abstract).
- FU Jia-mo, SHENG Guo-ying, XU Jia-you, JIA Rong-fen, FAN Shan-fa, PENG Ping-an. 1991. Application of biomarker compounds in assessment of paleoenvironments of Chinese terrestrial sediments[J]. *Geochimica*, 3(1): 1-12(in Chinese with English abstract).
- GU Yi, SHAO Zhi-bing, YE De-liao, ZHANG Xiao-ying, LU Ya-ping. 1999. Kinetic characteristics of hydrocarbon generation on the Paleozoic coal in the east margin of the Ordos basin[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 21(4): 341-345(in Chinese with English abstract).
- Strategic Research Center for Oil & Gas Resources, M L R. 2013. Report of Investigation and evaluation of shale gas resource potential and optimization of favorable area[R]. Beijing: Strategic Research Center for OIL&Gas Resources, M L R(in Chinese).
- LEI Qing-liang, FU Xiao-yue, LU Ya-ping. 1996. Petroleum geological features of tertiary terrestrial Lunpola basin, Xizang (Tibet)[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 21(2): 168-173(in Chinese with English abstract).
- LI Ya-lin, WANG Cheng-shan, ZHU Li-dong, WANG Li-cheng, YANG Wen-guang. 2010. Discovery of oil shale in the Nima basin, Tibet, China and its significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 29(12): 1872-1874(in Chinese with English abstract).
- LIU Jian, YU Xian-he, YANG Jun-hong, LIU Ming-sheng. 2001. Geothermal history simulation in Lunpola Basin (Tibet)[J]. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 23(S): 19-21(in Chinese with English abstract).
- LIU Bo, LÜ Yan-fang, RAN Qing-chang, DAI Chun-lei, LI Mei, WANG Meng. 2014. Geological conditions and exploration potential of shale oil in Qingshankou Formation, Northern Songliao Basin[J]. *Oil & Gas Geology*, 35(2): 280-285(in Chinese with English abstract).
- MA Li-xiang, ZHANG Er-hua, JU Jun-cheng, LEI Qing-liang, ZOU Jia-jian. 1996. Basic characteristics of Paleogene deposition systems tract in Lunpola basin, Xizang(Tibet)[J]. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 21(2): 174-178(in Chinese with English abstract).
- MA Peng-fei, WANG Li-cheng, RAN Bo. 2013. Subsidence analysis of the Cenozoic Lunpola basin, central Qinghai-Tibetan Plateau[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 29(3): 990-999(in Chinese with English abstract).
- PAN Lei, CAO Qiang, LIU Yi-ming, LI Yi-teng, WANG Yan, LI Zhi-quan. 2016. Maturity history of source rocks in the Eocene Niubao Formation, Lunpola Basin[J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 38(3): 382-388(in Chinese with English abstract).
- SUN Tao, WANG Cheng-shan, LI Ya-lin, WEI Yu-shuai. 2012. Characteristics and significance of sedimentary organic matter in the Paleogene of Lunpola basin, central Tibet[J]. *Geochimica*, 41(6): 530-537(in Chinese with English abstract).
- SUN Wei, LI Zhi-wu, XIAO Qiu-gou, WANG Xing-jian, WANG Chen-xia. 2015. Analysis of petroleum accumulation of Paleogene Niubao Formation in middle-deep underground on north margin of Lunpola Basin, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 42(4): 419-426(in Chinese with English abstract).
- WEI Jian-she, LU Jin-cai, CHEN Gao-chao, LI Jin-chao. 2011. Biomarker characteristics of Permian Maihanhada Formation hydrocarbon source rocks in Ejin Banner and its vicinities, western Inner Mongolia, and their significance[J]. *Geological Bulletin of China*, 30(6): 904-910(in Chinese with English abstract).
- WU Xiao-ling, GAO Bo, YE Xin, BIAN Rui-kang, NIE Hai-kuan, LU Fu-chang. 2013. Shale oil accumulation conditions and exploration potential of faulted basins in the east of China[J]. *Oil & Gas Geology*, 34(4): 455-462(in Chinese with English abstract).
- XIE Shang-ke, DU Bai-wei, WANG Jian, DONG Yu. 2014. Geochemical characteristics of oil shale member of Dingqinghu Formation in Lunpola Basin of Tibet and their geological implications[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 33(3): 503-510(in Chinese with English abstract).
- YUAN Cai-ping, XU Si-huang. 2000. Characteristics of geotemperature field and maturity history of source rocks in Lunpola Basin, Xizang(Tibet)[J]. *Experimental Petroleum Geology*, 22(2): 156-160(in Chinese with English abstract).
- ZHANG Jin-chuan, LIN La-mei, LI Yu-xi, TANG Xuan, ZHU Liang-liang, XING Ya-wen, JIANG Sheng-ling, JIN Tie-ya, YANG Sheng-yu. 2012. Classification and evaluation of shale oil[J]. *Earth Science Frontiers*, 19(5): 322-331(in Chinese with English abstract).