

· 能源与矿产资源 ·

西藏尼玛盆地沥青显示带的发现及油源对比

徐博¹, 伊海生^{1*}, 伍新和²

XU Bo¹, YI Haisheng^{1*}, WU Xinhe²

1. 成都理工大学沉积地质研究院, 四川成都 610059;

2. 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京 100083

1. Institute of Sedimentary Geology, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China;

2. Oil and Gas Survey Center, China Geological Survey, Beijing 100083, China

摘要:在西藏尼玛盆地东部赛布错凹陷发现呈东西向展布的沥青显示带,表明该区具有一定的油气勘探前景。为明确该沥青的地球化学特征及具体来源,对尼玛盆地采集的沥青样品进行了饱和烃气相色谱质谱分析,取得以下认识:该沥青处于成熟阶段;高碳数正构烷烃($>nC_{25}$)含量高, $\Sigma(\leq nC_{21})/\Sigma(\geq nC_{22})$ 、 $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$ 比值较小,藿烷 $\alpha\alpha\alpha-20RC_{29}$ 优势较明显,说明在有机质的来源上陆源高等植物更占优势。将沥青样品与康嘎勒出露的牛堡组暗色岩系生物标志化合物特征进行对比分析,结果表明二者具有良好的亲缘关系,证实了尼玛盆地为自生自储的陆相含油气盆地。

关键词:尼玛盆地;沥青;生物标志化合物;油源对比

中图分类号:P618.13 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2021)09-1476-08

Xu B, Yi H S, Wu X H. Discovery of bitumen display in Nima Basin of Tibet and analysis of oil source. *Geological Bulletin of China*, 2021, 40(9): 1476-1483

Abstract: An EW-trending oil and gas display belt with 80 km length was discovered in the Saibuya depression of eastern Nima Basin, which indicating satisfactory prospect of oil and gas. Analysis of saturated hydrocarbons by gas chromatography-mass spectrometry was carried out to determine the geochemical characteristics and specific sources of the bitumen. The results show that the bitumen is in the mature stage and has not suffered significant biodegradation. It is characterized by high carbon number alkanes ($>nC_{25}$), lower $\Sigma(\leq nC_{21})/\Sigma(\geq nC_{22})$ and $(nC_{21}+nC_{22})/(nC_{28}+nC_{29})$, with obvious advantage of hopane $\alpha\alpha\alpha-20RC_{29}$, which reveal the superior input of organic materials with terrigenous higher plants. The analysis of bituminous samples and comparison with the dark rock biomarkers of the Niubao Formation outcropped in Kangale show that they have a good genetic relationship, which confirms that the Nima Basin is a self-generating and self-storing continental petroliferous basin.

Key words: Nima Basin; bitumen; biomarkers; oil-source correlation

天然沥青记录了油气成因与来源信息,其产出特征对沉积盆地油气形成和分布具有重要的指示意义^[1]。西藏地区石油地质调查与勘探工作始于20世纪50年代,以伦坡拉盆地为工作重点,取得勘

探突破,获得工业油流^[2-5]。蒋忠惕等^[6]在2006年野外地质调查过程中于尼玛县措罗镇发现了沥青显示,表明尼玛盆地是一个含油气盆地。随着调查的深入,伊海生等^①在2016年于尼玛盆地东部查昂

收稿日期:2019-12-21; 修订日期:2020-04-14

资助项目:国家自然科学基金项目《藏北羌塘盆地早中侏罗世过渡期缺氧事件沉积与碳同位素异常研究》(批准号:41572089)和中国地质调查局项目《尼玛盆地南部坳陷沉积、构造调查》(编号:DN0018)

作者简介:徐博(1995-),男,硕士,从事沉积学与古地理研究。E-mail:bw1633@163.com

*通信作者:伊海生(1959-),男,教授,博士生导师,从事沉积学与古地理研究。E-mail:yhs@cdu.edu.cn

巴—衣桑勒一带发现长约 80 km、呈东西向展布的沥青显示带,表明尼玛盆地东部经历了大规模的油气生成、运移的过程,成为继伦坡拉盆地之后的又一个油气勘探目标。然而,关于尼玛盆地油气的来源,是来自尼玛盆地发育的古近系牛堡组暗色泥页岩的陆相地层,还是来自尼玛盆地基底的三叠系、侏罗系海相地层,一直存在争议。本文选取以陆相烃源岩为代表的伦坡拉盆地爬爬、伦坡日油页岩和以海相烃源岩为代表的羌塘盆地毕洛错油页岩进行饱和烃气相色谱对比分析,并与康嘎勒地区的暗色岩系进行生物标志化合物对比分析,探索尼玛盆地的烃源岩层位,为尼玛盆地油气资源评价和勘探提供有利依据。

1 地质背景

尼玛盆地坐落于西藏中部,属于班公湖—怒江缝合带中段,盆地呈东西向展布,东接伦坡拉盆地和班戈错盆地,西邻洞错—中仓盆地,南部紧邻改则—色林错逆冲推覆带,北部以木嘎岗日推覆带为界,是发育在侏罗系—白垩系海相地层之上的古近系—新近系陆相裂谷盆地^[7-11](图 1)。尼玛盆地新生代主要发育古近系牛堡组和新近系丁青湖组 2 套地层,沉积厚度超 4000 m^[12]。牛堡组($E_{1-2}n$)为一套深水湖相泥岩、页岩、含油气碳酸盐岩和细—粗碎屑岩的岩石组合,丁青湖组(E_3d)主要为一套深湖相细碎屑岩,以灰色泥岩、页岩为主,夹粉砂岩、细砂岩及少许凝灰岩。关于尼玛盆地陆相地层的时代归属一直存在较大争议^[13]。1997 年,《西藏自治区岩石地层》将这套红色—灰紫色砾岩、砂岩、粉砂岩,局部夹泥岩的地层划归为上白垩统竟柱山组(K_2j)^[14]。而王波明等^[15-17]对地层中存在的孢粉、鱼类化石等古生物组合及岩性组合特征进行研究,认为该套陆相地层的时代为古近纪始新世—渐新世,而非晚白垩世。成都理工大学经野外勘察,结合《1:20 万帕多错幅地质图》进行区域地层对比分

析,以及介形虫化石鉴定结果^[18],将该套地层改订为牛堡组($E_{1-2}n$)。

2 沥青的分布及产状

沥青显示带位于尼玛盆地东部赛布错坳陷,西起查昂巴,东至衣桑勒,东西长约 80 km,沥青产于黑灰色泥页岩与泥灰岩互层的泥晶灰岩、泥质灰岩晶洞和裂隙中,赋存的层位为牛堡组。

西藏以往发现的沥青多以裂缝、晶洞、溶蚀孔隙、节理、缝合线等方式充填^[19]。尼玛盆地发现的固体沥青(尤其康嘎勒北部沥青点)直接顺层分布于灰岩层中,岩层厚度约 1.8 m。沥青主要有 2 种产状:一种是呈脉状、树枝状充填于围岩的细小不规则裂缝、缝合线(图 2-a)或方解石脉中,沥青在灰岩裂隙表面呈薄层状、片状分布,在较大的裂隙中沥青呈半充满状,裂隙沥青脉宽度最大可达 6 mm,新鲜面油气味明显;另一种赋存于灰岩、泥灰岩粗大晶体的晶洞中,晶洞大小不一,粒径为 0.5~3 cm,以 2 cm 居多(图 2-b),沥青呈块状富集,断口发亮呈贝壳状,具沥青质—玻璃质光泽,比重小,呈脆性,污手,有油气味。

3 沥青有机地球化学特征

本次在尼玛盆地选取 5 件代表性沥青样品,进行系统的有机地球化学分析测试,测试工作由中国石油华北油田勘探开发研究院完成。

3.1 沥青族组成特征

有机地球化学分析结果(表 1)显示,氯仿沥青“*A*”含量为 $621 \times 10^{-6} \sim 1655 \times 10^{-6}$,平均为 1020×10^{-6} ;从族组分看,饱和烃的含量为 40.92%~65.86%,平均为 54.43%;芳烃为 11.19%~16.95%,平均为 14.41%;沥青质+非烃为 22.90%~42.85%,平均为 31.15%;饱和芳烃与烃比值为 2.41~5.89,平均为 3.91;非烃与沥青质的比值为 3.64~10.99,平均为 6.81,具有高饱和烃、低非烃和沥青质及高饱芳比的特征。

表 1 尼玛地区沥青族组成统计

Table 1 Group components statistics of bitumen in the Nima area

地区	样品编号	沥青(A)/10 ⁻⁶	饱和烃/%	芳烃/%	非烃/%	沥青质/%	饱和烃/芳烃	非烃/沥青质	非烃+沥青质
字康勒	D1-28	1655	40.92	16.95	33.05	9.08	2.41	3.64	42.13
字康勒	D1-58	989	43.72	13.43	35.28	7.57	3.26	4.66	42.85
康嘎勒	D2-25(1)	621	60.04	15.06	22.48	2.42	3.99	9.29	24.90
康嘎勒	D2-25(2)	1017	61.64	15.46	20.99	1.91	3.99	10.99	22.90
康嘎勒	D2-25(3)	861	65.86	11.19	19.41	3.54	5.89	5.48	22.95

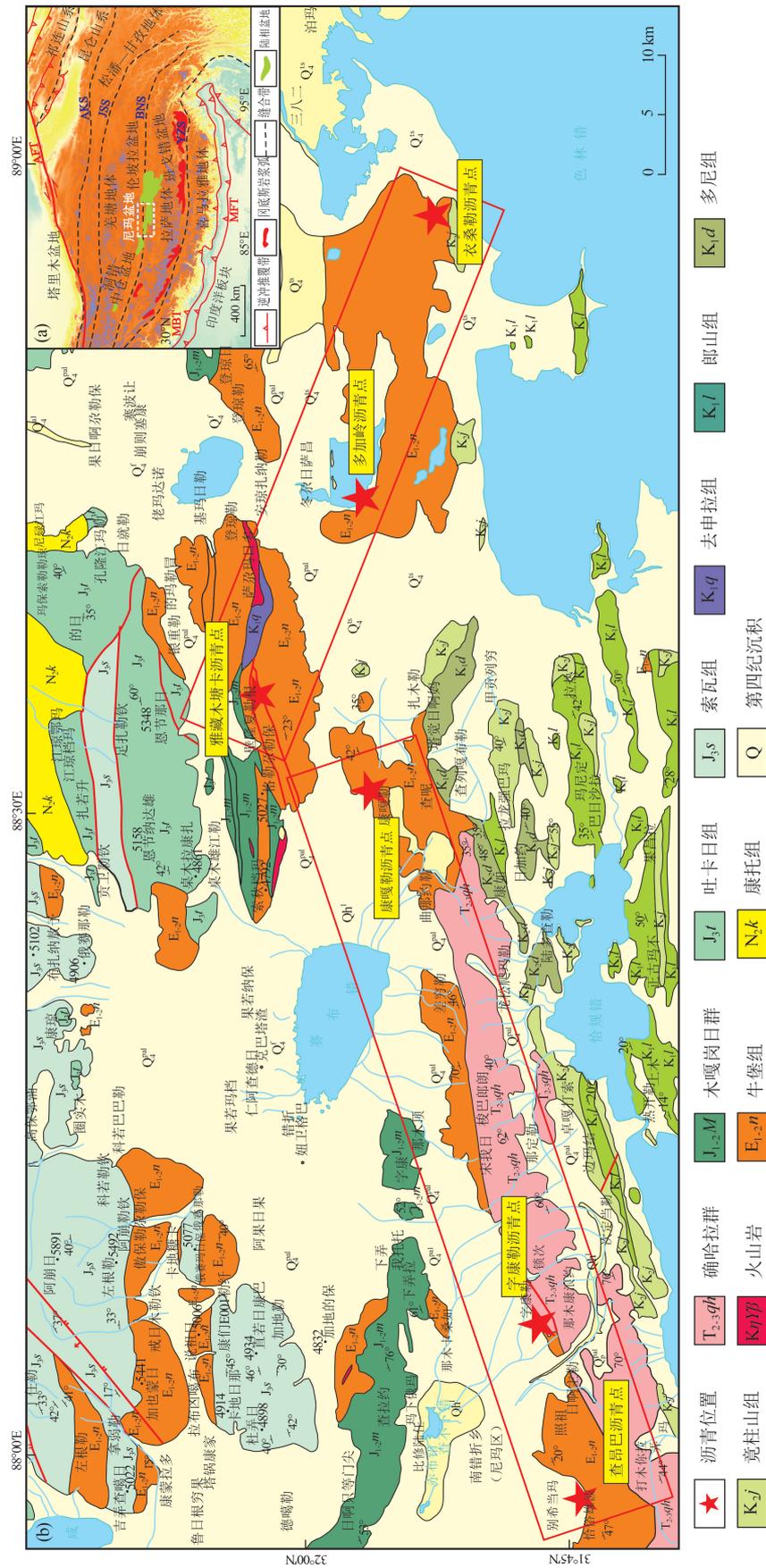


图1 尼玛盆地大地构造位置(a)和赛布措陷地质简图(b)
Fig. 1 Tectonic location map of Nima Basin (a) and simplified geological map in the Sebuco depression, Nima Basin (b)

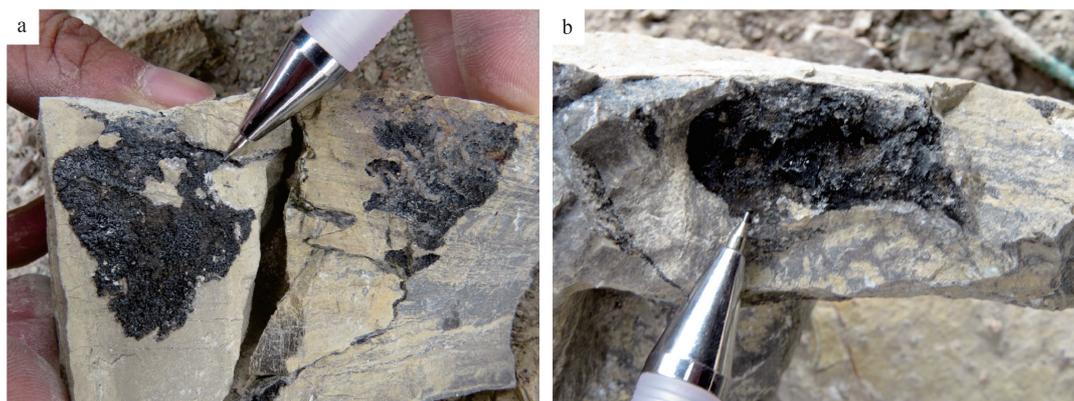


图2 尼玛盆地沥青宏观特征

Fig. 2 Outcrops of pitches in Nima Basin

a—裂隙沥青, D1-58, 采样地: 康嘎勒; b—晶洞沥青, D2-25, 采样地: 字康勒

3.2 饱和烃气相色谱分布特征

正构烷烃主要来源于动物和植物的类脂化合物,如浮游生物的脂肪酸、细菌体和陆生植物的类脂物,一定程度上能保留母质沉积时原有的结构特征,不仅能反映母源输入的差异,而且对沉积环境也有一定的指示意义^[20]。一般认为,低碳数(小于 nC_{20})正构烷烃起源于藻类和细菌,为低等水生生物化学作用的产物,而高碳数(以大于 nC_{25} 为主)正构烷烃多源于高等植物,主要为陆生植物生化作用的产物^[21]。气相色谱分析结果(表2)显示,饱和烃碳数分布范围为 $nC_{12} \sim nC_{35}$,呈前低后高双峰型分布,个别样品呈单峰型(图3-a~e),主峰碳数为 $nC_{25} \sim nC_{29}$,具有轻微的奇碳优势,低碳数正构烷烃的相对含量较低。轻重烷烃 $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$ 值也是判别有机质母缘的常用参数,小于 C_{21} 来源于水生生物,大于 C_{22} 来源于高等植物,该比值越小,表明高等植物贡献较大,反之说明水生植物占优势^[22]。分析的沥青样品的 $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$ 值在 0.11~0.45

之间,平均值为 0.29; $(nC_{21} + nC_{22})/(nC_{28} + nC_{29})$ 值为 0.09~1.03,平均值为 0.478,这 2 个比值较小,可能与母质输入或生物降解作用有关。沥青样 *OEP* 和 *CPI* 值分别在 1.03~1.18 和 1.11~1.25 之间,具轻微奇偶优势。

沥青样品检测出丰富的类异戊二烯烃(图3)。姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)是指示古环境的标志产物^[23]。对生油窗内的岩石和原油样品而言,姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph)的分布特征可以反映源岩的沉积环境,Pr/Ph < 0.5 时,为强还原性沉积环境,Pr/Ph 值为 0.5~1.0 时,为还原环境,Pr/Ph 值为 1.0~2.0 时,为弱还原-弱氧化环境,Pr/Ph > 2.0 时,为氧化环境^[24-26]。分析样品的 Pr/Ph 值在 1.29~1.70 之间(表2),指示了弱还原-弱氧化沉积环境。Pr/ nC_{17} 与 Ph/ nC_{18} 相关图常用于判别母质类型及生物降解程度^[27]。测试的沥青样品 *OEP* 与 *CPI* 判断成熟度图显示处于成熟阶段(图4),测试的沥青样品的 Pr/ nC_{17} 值介于 0.42~1.08 之间,平均值为 0.608; Ph/ nC_{18}

表2 尼玛沥青饱和烃气相色谱特征

Table 2 Characteristic of gas chromatograms of saturated hydrocarbons of bitumen in the Nima area

地区	样品编号	主峰碳	C_{21}^-/C_{22}^+	C_{21+22}/C_{28+29}	Pr/Ph	Pr/ nC_{17}	Ph/ nC_{18}	<i>CPI</i>	<i>OEP</i>
字康勒	D1-28	C_{27}	0.20	0.30	1.29	0.53	0.52	1.25	1.18
字康勒	D1-58	C_{29}	0.11	0.09	1.57	0.43	0.38	1.14	1.18
康嘎勒	D2-25(1)	C_{29}	0.32	0.29	1.70	0.42	0.35	1.11	1.09
康嘎勒	D2-25(2)	C_{25}	0.39	0.68	1.45	1.08	0.76	1.13	1.10
康嘎勒	D2-25(3)	C_{25}	0.45	1.03	1.49	0.58	0.34	1.11	1.03

注: *CPI*—碳优势指数; *OEP*—奇偶优势

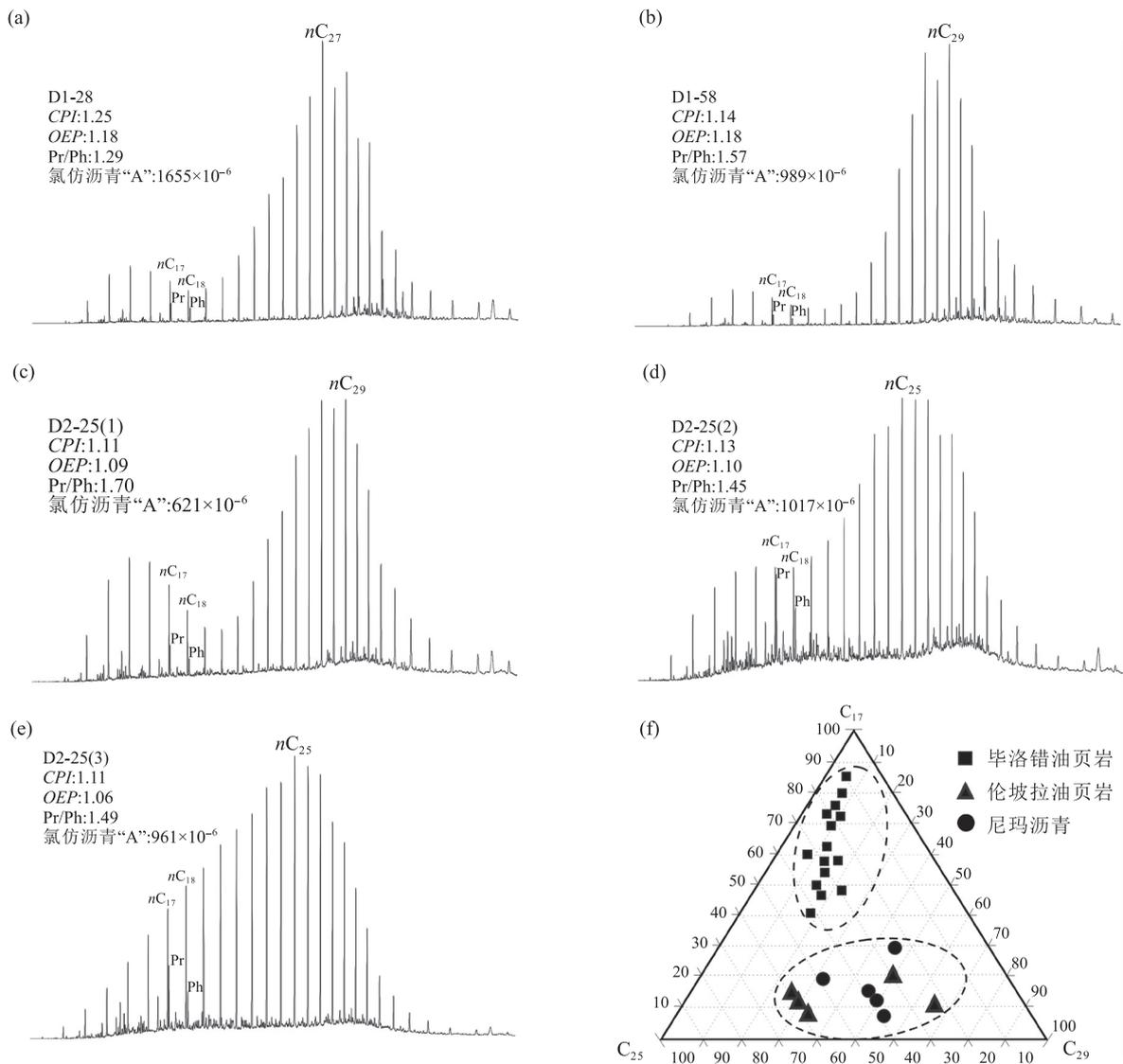


图3 尼玛盆地沥青饱和烃气相色谱图

Fig. 3 Gas chromatogram of saturated hydrocarbons of bitumen in Nima Basin

a~e—沥青饱和烃气相色谱图; f—沥青饱和烃主碳数三角投影图

值介于 0.34~0.76 之间, 平均值 0.47。Pr/ nC_{17} 与 Ph/ nC_{18} 关系图(图 5) 显示, 沥青样品有机质为混合来源。综合分析认为, 尼玛盆地康嘎勒、字康勒的沥青处于成熟阶段, 反映了母质主要来源于弱还原-弱氧化混合相沉积环境。

3.3 甾类、萜类化合物特征

沥青样品呈现三环萜烷含量低、伽马蜡烷异常丰富、 C_{30} 重排藿烷含量很低的特点(图 6)。Ts/Tm 值为 0.62~0.74, 平均值 0.68; C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷值为 0.04~0.31, 平均值 0.17; C_{29} Ts/ C_{29} 降藿烷值为 0.21~0.30, 平均值 0.23。伽马蜡烷含量高常指示强

还原超盐环境, 可能与水体分层有关^[28-29]。尼玛盆地沥青样品的伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值为 0.64~0.85, 平均值 0.72, 指示沉积环境水体盐度较低。

规则甾烷及其重排甾烷(C_{27} 、 C_{28} 和 C_{29}) 丰度特征在质量谱图 $m/z=217$ 上最典型(图 6-a)。一般认为, C_{27} 甾烷主要来源于浮游动物, C_{28} 甾烷主要来源于浮游植物, C_{29} 甾烷则在陆源植物中富集^[20]。 $C_{27} \sim C_{29}$ 规则甾烷呈“V”字形分布特征, 即 C_{29} 甾烷 > C_{27} 甾烷 > C_{28} 甾烷, 说明母源中有一定比例的高等植物输入。规则甾烷中, $\alpha\alpha\alpha-20RC_{27}/C_{29}$ 值往往作为低等水生生物有机质输入与高等陆源植物输

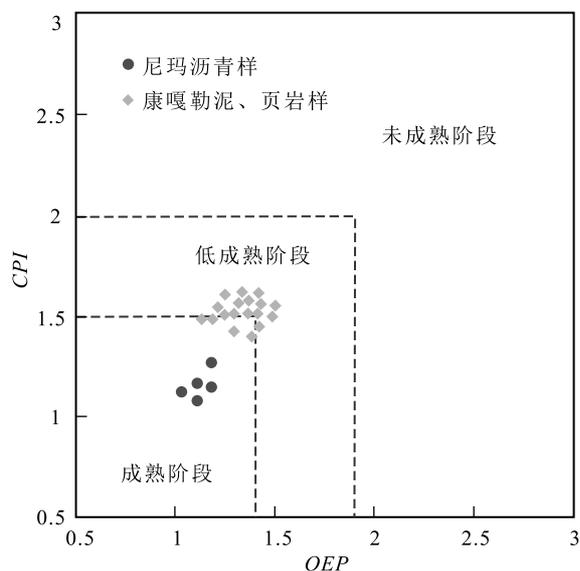


图 4 尼玛盆地沥青 OEP 与 CPI 成熟度判断图
Fig. 4 Oil maturity discriminant diagram of the relationship between OEP and CPI in Nima Basin

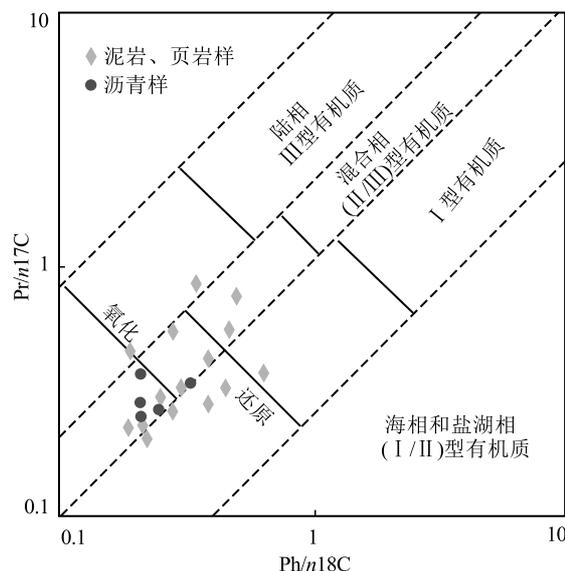


图 5 尼玛盆地沥青与泥岩、页岩 Pr/nC₁₇ 与 Ph/nC₁₈ 关系图
Fig. 5 Relationship between Pr/nC₁₇ and Ph/nC₁₈ of the bitumen in Nima Basin

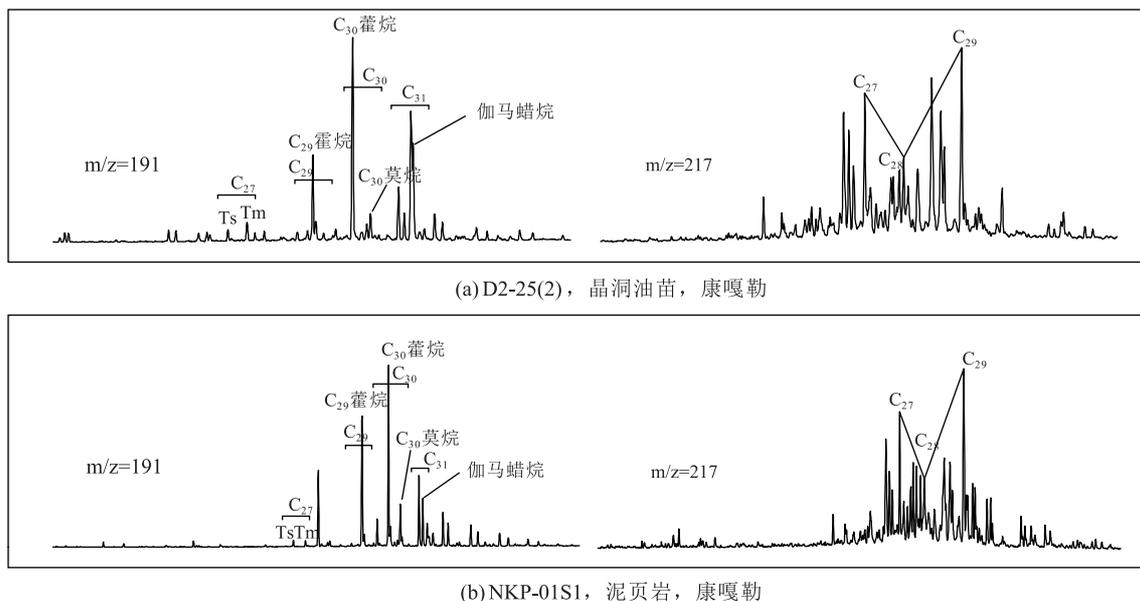


图 6 尼玛盆地沥青(a)与泥页岩甾烷、萜烷特征(b)对比

Fig. 6 Steranes and terpanes characteristics between the bitumen(a) and source rock(b) in Nima Basin
a—沥青甾烷、萜烷特征; b—泥页岩甾烷、萜烷特征

人对油气形成的相对贡献值的反映,其变化范围为 0.58~0.67,平均值为 0.62, $\alpha\alpha\alpha-20RC_{29}$ 优势较明显,说明母质来源陆源高等植物供给占优势。

4 油源的对比及分析

一般认为,短链正构烷烃 $nC_{15} \sim nC_{19}$ 主要来自

海洋藻类的类脂物(藻类、浮游生物和细菌输入); nC_{21} 、 nC_{23} 和 nC_{25} 主要是来源于沉水植物的烷烃; nC_{27} 、 nC_{29} 和 nC_{31} 主要是来源于陆生高等植物的烷烃^[19]。为了分辨沥青具体是来源于陆相地层还是海相地层,本次选取以海相油页岩为代表的羌塘盆地毕洛错曲色组油页岩和以陆相丁青湖组油页岩

为代表的伦坡拉盆地伦坡日、爬爬丁青湖组油页岩进行对比分析。伦坡拉盆地陆相油页岩样图谱上呈单峰式分布,正构烷烃分布范围较广;碳数分布范围为 $nC_{12} \sim nC_{29}$, 主碳数为 nC_{25} , 轻重烃 $\Sigma(nC_{21}^-)/\Sigma(nC_{22}^+)$ 值为 $0.08 \sim 0.54$, 以重烃组分占优势,湖盆内各种水生植物和藻类等为油页岩的形成提供了主要的有机母质来源^[30];而羌塘盆地比洛错油页岩色谱图碳数分布范围为 $nC_{13} \sim nC_{35}$, 多呈单峰分布形式,主峰碳为 nC_{16} 或 nC_{17} , 不具有明显的奇偶优势,轻重烃 $\Sigma(nC_{21}^-)/\Sigma(nC_{22}^+)$ 值为 $0.73 \sim 4.28$, 在有机母质来源上藻类占绝对优势^[31]。将采集的沥青样品与伦坡日、爬爬油页岩^[30] 和毕洛错油页岩^[31] 以代表海洋藻类的 nC_{17} 、代表水生植物的 nC_{25} , 以及代表陆源高等植物的 nC_{29} 三类烷烃进行三角投影(图 3-f), 沥青样品的投点区域更趋近于陆相丁青湖组油页岩区域。由此推论,该沥青来自于尼玛盆地发育的陆相地层。

尼玛盆地出露的具有良好生烃潜力的陆相地层以牛堡组最佳,将沥青与康嘎勒地区出露的牛堡组中发育烃源岩的有机地球化学特征^[32] 进行对比。烃源岩饱和烃气相色谱峰型完整,碳数分布范围为 $nC_{12} \sim nC_{33}$, $\Sigma C_{21}/\Sigma C_{22}$ 值处于 $0.29 \sim 4.92$ 之间,平均值为 1.2 ; $(nC_{21} + nC_{22})/(nC_{28} + nC_{29})$ 变化范围在 $0.52 \sim 2.12$ 之间,平均值为 1.29 ; CPI 和 OEP 关系图(图 4)表明,烃源岩样处于低成熟-成熟阶段;Pr/Ph 值低,Pr/nC17、Ph/nC18 值低,Pr/nC17 与 Ph/nC18 关系图(图 5)显示,烃源岩样品与沥青样同处于混合型及藻类区域,反映有机质母质来源为混合型,藻类贡献具有一定优势。烃源岩甾烷、萜烷生物标志化合物特征也与沥青样品相似,具有三环萜烷、 C_{30} 重排藿烷含量低、伽马蜡烷含量较高的特点(图 6-b)。Ts/Tm 值为 $0.08 \sim 0.56$, 平均值为 0.42 ; C_{30} 重排藿烷/ C_{30} 藿烷值在 $0.04 \sim 0.18$ 之间,平均值为 0.08 ; C_{29} Ts/ C_{29} 降藿烷值在 $0.09 \sim 0.31$ 之间,平均值为 0.21 ;伽马蜡烷/ C_{30} 藿烷值为 $0.23 \sim 0.58$ (表 3),指示沉积水体环境盐度较低。 $C_{27} \sim C_{29}$ 规则甾烷亦呈“V”字形分布特征,其中 $\alpha\alpha\alpha-20RC_{27}/C_{29}$ 值介于 $0.51 \sim 0.82$ 之间,平均值为 0.65 , $\alpha\alpha\alpha-20RC_{29}$ 占优,说明高等陆源植物输入比低等水生生物有机质输入对油气形成的相对贡献值更大。甾烷、萜烷分布特征显示,其烃源岩发育于较高盐度、弱还原的沉积环境,沥青样品与牛堡组烃源岩反映

表 3 尼玛沥青萜甾烷数据统计

Table 3 Statistical table of sterane and sterane compounds of the bitumen in Nima area

地区	样品编号	Ts/Tm	C_{30} RAH/	C_{29} Ts/	伽马蜡烷/
			C_{30} H	C_{29} H	C_{30} H
字康勒	D1-28	0.08	0.04	0.12	0.34
字康勒	D1-58	0.49	0.08	0.09	0.23
康嘎勒	D2-25(1)	0.53	0.05	0.31	0.42
康嘎勒	D2-25(2)	0.56	0.18	0.24	0.31
康嘎勒	D2-25(3)	0.44	0.05	0.29	0.58

注: $C_{27}H_{46}$ 三降藿烷有 2 个主要异构体,即 $17\alpha-22,29,30$ 三降藿烷(Tm), $18\alpha-22,29,30$ 三降藿烷(Ts)

的可比性,体现了沉积环境与有机质来源上的亲缘关系,说明牛堡组烃源岩是油源岩,沥青与同层的牛堡组烃源岩形成自生自储的关系。

5 结 论

(1) 尼玛盆地康嘎勒、字康勒地区发现的沥青属于成熟阶段,具有高饱和烃、低非烃和沥青质及高饱芳比的特征。

(2) 沥青高碳数正构烷烃($>nC_{25}$)含量高, $\Sigma(\leq nC_{21})/\Sigma(\geq nC_{22})$ 、 $(nC_{21} + nC_{22})/(nC_{28} + nC_{29})$ 值较小,藿烷 $\alpha\alpha\alpha-20RC_{29}$ 优势较明显,揭示有机质母质为混合来源,陆源高等植物输入占优势。

(3) 通过生物标志化合物对比,认为康嘎勒、字康勒一带发现的沥青来源于陆相地层,牛堡组暗色岩系岩是其油源岩,证实尼玛盆地是一个自生自储的陆相含油气盆地。

致谢: 野外工作得到成都理工大学地球科学学院蔡占虎、袁桃、张帅、李高杰、陈云及沉积地质研究院夏国清、田康志、杜春阳、汤海磊的热心帮助,在此表示衷心的感谢。

参考文献

- [1] Jacob H. Disperse solid bitumens as an indicator for migration and maturity in prospecting for oil and gas[J]. Erdol and Kohle-Erdgas, 1985, 38: 364-366.
- [2] 雷清亮,付孝悦. 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, 1996, (2): 168-173.
- [3] 李英烈,伍新和,汪锐,等. 西藏伦坡拉盆地旺 2 井钻获油气发现[J]. 中国地质, 2019, 46(3): 662-663.
- [4] 潘磊,王均杰,李旭文,等. 西藏伦坡拉盆地中央凹陷带走滑断层特征及其对油气成藏的影响[J]. 沉积与特提斯地质, 2019, 30(2): 27-34.

- [5] 汪锐, 伍新和, 夏响华, 等. 应用盆地模拟技术评价西藏伦坡拉盆地油气资源潜力[J]. 地质力学学报, 2020, 26(1): 88-99.
- [6] 蒋忠扬, 张家强, 王德杰. 西藏尼玛地区油气显示的发现及其意义[J]. 地质通报, 2006, 25(Z2): 185-189.
- [7] 秦臻, 杨志军, 唐力, 等. 西藏冈底斯带查隆花岗岩地球化学特征、锆石 U-Pb 年龄及其成矿意义[J]. 地质通报, 2019, 38(2/3): 231-241.
- [8] 卢占武, 张雪梅, 李文辉, 等. 拉萨地体南部多金属矿集区构造样式——来自深地震反射剖面的证据[J]. 地质通报, 2019, 38(10): 1595-1602.
- [9] 薛万文, 田永革, 韩晓龙, 等. 西藏班公湖-怒江成矿带西段钠木钦金多金属矿地质特征及成因[J]. 地质与资源, 2019, (3): 266-271.
- [10] 李泽瑜, 刘函, 段瑶瑶, 等. 西藏昂仁县扯假错渐新统日贡拉组地层沉积相及沉积演化特征[J]. 沉积与特提斯地质, 2019, 39(1): 34-43.
- [11] 刘海永, 曾庆高, 王雨, 等. 西藏拉果错蛇绿混杂岩岩石学、锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 地质通报, 2020, 39(2/3): 164-176.
- [12] 孙涛, 王成善, 李亚林, 等. 西藏中部尼玛盆地页岩气地质特征及资源潜力[J]. 中国矿业, 2013, 22(1): 72-75.
- [13] 马孝达. 西藏中部若干地层问题讨论[J]. 地质通报, 2003, 22(9): 695-698.
- [14] 西藏自治区地质矿产局. 西藏自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- [15] 唐华, 徐琳, 罗绍强, 等. 西藏尼木地区双壳类化石的发现及其对相关地层的厘定[J]. 中国地质, 2020, 47(3): 879-880.
- [16] 王波明, 周家声, 闻涛, 等. 西藏尼玛盆地陆相地层归属及其油气意义[J]. 天然气技术, 2009, (4): 26-29, 83.
- [17] Kapp P, Decelles P G, Gehrels G E, et al. Geological records of the Lhasa-Qiangtang and Indo-Asian collisions in the Nima area of central Tibet[J]. Geological Society of America Bulletin, 2007, 119(7/8): 917-933.
- [18] 李英烈, 伍新和, 汪锐. 西藏尼玛盆地发现多种化石: 地层划分新证据[J]. 中国地质, 2018, 45(6): 230-231.
- [19] 赵政章, 李永铁, 叶和飞, 等. 青藏高原羌塘盆地石油地质[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- [20] Ficken K J, Li B, Swain D L, et al. An nalkane proxy for the sedimentary input of submerged/floating freshwater aquatic macrophytes[J]. Org. Geochem., 2000, 31(7/8): 745-749.
- [21] Huang W Y, Meinschein W G. Sterols as ecological indicators[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1979, 43(5): 739-745.
- [22] 徐志星, 刘洋, 张武, 等. 西湖凹陷平湖斜坡带原油地球化学特征及油源探讨[J]. 中国石油大学胜利学院学报, 2019, (2): 10-15.
- [23] 苗建宇, 周立发, 张宏福, 等. 新疆北部中二叠统烃源岩地球化学特征与沉积环境[J]. 地质学报, 2004, 78(4): 534-541.
- [24] Hao F, Zhou X, Zhu Y, et al. Mechanisms of petroleum accumulation in the Bozhong sub-basin, Bohai Bay Basin, China. Part 1: Origin and occurrence of crude oils[J]. Marine and Petroleum Geology, 2009, 26(8): 1528-1542.
- [25] 田德瑞, 吴奎, 张如才, 等. 渤海湾盆地辽西凸起北段锦州 20 油田原油地球化学特征及油源对比[J]. 石油实验地质, 2018, 40(3): 112-119.
- [26] 董君妍, 陈世加, 邹贤利, 等. 鄂尔多斯盆地吴起—高桥地区延长组重排类藿烷分布特征及成因探讨[J]. 石油实验地质, 2017, 39(6): 834-841.
- [27] Peters K E, Walters C C, Moldowan J M. The biomarker guide volume I: Biomarkers and isotopes in the environment and human history[M]. University of Cambridge, 2005: 1-471.
- [28] 傅家谟, 盛国英, 许家有, 等. 应用生物标志化合物参数判识古沉积环境[J]. 地球化学, 1991, (1): 3-14.
- [29] Damste J S S, Kenig F, Koopmans M P. Evidence for gammacerane as an indicator of water column stratification[J]. Geochimica Et Cosmochimica Acta, 1995, 59(9): 1895-1900.
- [30] 杜佰伟, 谢尚克, 董宇, 等. 伦坡拉盆地渐新统丁青湖组油页岩特征及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2016, (3): 671-680.
- [31] 季长军. 南羌塘坳陷油藏带生物标志化合物特征及油源对比研究[D]. 成都理工大学博士学位论文, 2015.
- [32] 李鑫. 西藏尼玛盆地上白垩统竟柱山组沉积相分析及烃源岩评价[D]. 成都理工大学硕士学位论文, 2018.
- ①伊海生等. 尼玛盆地南部坳陷沉积构造调查. 成都理工大学, 2016.