文章编号:1001-6112(2016)03-0382-07

伦坡拉盆地始新统牛堡组烃源岩成熟史

潘 磊'曹 强'刘一茗'李一腾'汪 岩'李智泉'

(1.中国石化 勘探分公司,成都 610041; 2.中国地质大学(武汉)资源学院,武汉 430074)

摘要: 伦坡拉盆地自下而上发育始新统牛堡组牛二中亚段、牛二上亚段及牛三下亚段3 套烃源岩。基于钻井测试资料、地震资料及 含烃流体包裹体测试分析 利用盆地模拟技术对伦坡拉盆地热史及牛堡组3 套烃源岩的成熟史进行了系统分析。研究表明 ,伦坡 拉盆地自始新统牛三段沉积以来直至渐新统丁青湖组三段沉积末期 ,古地温梯度总体表现为持续降低 ,变化介于 6.67~4 °C /hm , 为典型热盆特征 ,古地温梯度升高与区域构造隆升作用具有明显的相关性。牛二中及牛二上亚段的 2 套烃源岩成熟较早且热演 化程度高 ,分别于中一晚始新世(距今约 46.4~37.5 Ma)及早渐新世(距今约 36.6~33.5 Ma)进入生油门限 ,现今主体皆位于成熟 生油阶段(*R*。=0.7%~1.3%) 是该区主力烃源岩。西部蒋日阿错洼陷牛二中及牛二上亚段主力烃源岩现今热演化程度最高 ,生 供烃条件较中一东部江加错、爬错洼陷更为优越。 关键词: 热史; 成熟史; 烃源岩; 牛堡组; 始新统; 伦坡拉盆地

中图分类号: TE122.1 文献标识码: A

Maturity history of source rocks in the Eocene Niubao Formation , Lunpola Basin

Pan Lei¹, Cao Qiang², Liu Yiming², Li Yiteng², Wang Yan², Li Zhiquan²

(1. SINOPEC Exploration Company, Chengdu, Sichuan 610041, China;
2. Faculty of Resources, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: Three sets of source rocks developed upwards in the Eocene Niubao Formation in the Lunpola Basin , i.e. , the middle part of the second member of Niubao Formation ($E_2n_2^2$) , the upper part of the second member of Niubao Formation ($E_2n_2^1$) and the lower part of the third member of Niubao Formation ($E_2n_3^1$). Based on drilling , seismic and hydrocarbon fluid inclusion analyses , the thermal evolution history of the basin and the maturity history of source rocks in the Niubao Formation were systematically analyzed with basin simulation technology. From the E_2n_3 to the third member of the Oligocene Dingqinghu Formation , the paleogeothermal gradient in the Lunpola Basin consistently decreases from 66.7 to 40 °C/km , showing the characteristics of a typical heating basin. The growth of paleogeothermal gradient is clearly related to regional tectonic uplifting. The source rocks in the $E_2n_2^2$ and $E_2n_3^2$ became mature early and have a higher maturity. They entered oil generation thresholds during the middle–late Eocene (46.4–37.5 Ma) and early Oligocene (36.6–33.5 Ma) , respectively. At present , they are mature and generating oil ($R_0 = 0.7\% - 1.3\%$) , and serve as the main source rock in the study area. At present , the thermal evolution extent of $E_2n_2^2$ and $E_2n_2^2$ a

Keywords: thermal history; maturity history; source rock; Nibao Formation; Eocene; Lunpola Basin

伦坡拉盆地位于青藏高原北部腹地,大地构造 上位于班公湖—怒江大断裂带中段,呈狭长状沿班 公湖—怒江大断裂近东西向展布,南北分别以玛拉 炯—蓬错断裂与班公湖—怒江大断裂为界,分布范 围大致为 N31°50′-N32°05′,E89°30′-E91°40′。盆 地的东西长约 220 km,南北宽 15~20 km,面积约 为 0.36×10⁴ km^{2[1]} 油气勘探目的层系为始新统牛 堡组的陆相碎屑岩,是西藏地区众多新生代陆相盆

收稿日期: 2016-01-25;修订日期: 2016-04-05。

作者简介:潘磊(1984—),男,工程师,从事石油地质综合研究工作。E-mail: panl.ktnf@ sinopec.com。

通讯作者:曹强(1983—),男,博士,讲师,从事油气地化及成藏方面研究。E-mail:qcao@cug.edu.cn。

基金项目:中国石化重大勘探导向项目"西藏中石化探区油气勘探潜力评价与勘探部署建议"和中国石化勘探分公司横向协作项目 (G0800-14-KK-169)资助。

地中勘探程度最高、已知油气地质条件较好并获得工 业油气流的一个盆地^[2]。前人研究^[3-4]普遍认为, 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中央凹陷带蒋 日阿错洼陷及爬错洼陷;古地温梯度则低于今地温 梯度,但仍为异常高特征,普遍高于5.5℃/hm。主 力源岩牛堡组二段地温演化为四段式特征"迅速 增温一稳定调整一增温一降温",古地温梯度且高 地温场延续时间长,有利于伦坡拉盆地烃源岩成熟 演化与烃类生成^[3]。青藏高原隆升导致其地表温 度快速降低,独特地温场演化特征则导致了盆地内 牛堡组烃源岩成熟快、生烃门限浅,有利于油气生 成和排运^[5]。

受勘探历史、程度及资料等的限制,目前研究 区在牛堡组烃源岩热成熟演化方面尚存在薄弱之 处,已有研究主要集中于现今温度场特征和古温度 场演化的研究,烃源岩热演化史研究缺乏代表性、 整体性和宏观性,不同凹陷、不同层段烃源岩热成 熟演化历史的动态模拟重建及其差异性分析有待 进一步加强。此外,前人对于伦坡拉盆地古温度场 的研究成果主要基于盆地模拟计算结果,需要结合 其他方法进一步论证认识的可靠性。本文应用 BasinMod 软件重建伦坡拉盆地中央凹陷带不同次 洼烃源岩热成熟演化历史,其中结合含烃流体包裹 体测温数据估算了主成藏期的古地温梯度,用于约 束盆模法恢复的古地温梯度演化史,系统分析了牛 堡组烃源岩热成熟演化规律 不仅有助于本区主力 烃源岩层系的确定 而且可为后续生排烃史的恢复 及其与构造圈闭定型期的时间配置关系研究奠定 基础。

1 区域地质背景

伦坡拉盆地是一个具有走滑特征的断陷盆地, 形似豆荚状,中间低、南北两侧高,具有南北分带、 东西分块的构造特点。推测其原型盆地是受北东 向构造制约的拗陷性质湖盆 后在陆内汇聚作用的 构造背景下经过强烈改造作用控制形成现今残留 盆地^[6]。从现今构造单元划分看,伦坡拉盆地自 北向南可以划分为北部逆冲带、中央凹陷带、南部 冲断降起带 3 个构造带(图1)。盆地北缘表现为 由北向南逆冲 地层主要由牛堡组组成 ,且产状较 陡 岩性较粗;盆地南缘表现为向南尖灭或超覆 地 层主要由牛堡组及丁青湖组组成,且区域地层产状 向北倾^[7];中部为中央凹陷带,南北分别以伦坡 拉一长山正断层及红星梁正断层为边界,从西至 东,可细分为蒋日阿错、江加错及爬错3个洼陷,中 央凹陷带分布宽 且沉积厚度大 烃源岩较为发育 , 地层主要由牛堡组及丁青湖组组成,且平缓展 布^[8]。从构造演化特征上看,伦坡拉盆地经历了 拉张一断陷一挤压一隆起等多个阶段 特别是晚期 由于喜马拉雅运动影响导致盆地持续挤压隆升 遭 受了严重的破坏与剥蚀。从沉积充填特征来看 区 内第三系地层最大沉积厚度超过4000m^[6],自下



图 1 伦坡拉盆地构造区划及二维模拟测网分布

Fig.1 Major tectonic units of the Lunpola Basin showing well and cross section locations

而上依次为是始新统牛堡组(E₂n)、渐新统丁青湖 组(E₃d)、中新统(Ng)及第四系(Q),其中牛堡组 和丁青湖组各可细分为3个亚段^[9-10]。伦坡拉盆 地烃源岩主要为主断陷期形成的半深湖相牛堡组 二、三段和丁青湖组一段地层^[11],烃源岩母质来源 以细菌和藻类等低等水生生物输入为主,亦有高等 植物输入贡献,主要形成于具较高的盐度且缺氧还 原的湖相环境^[12]。

最新勘探表明,盆地内发育始新统牛二中亚段 ($E_2n_2^2$)、牛二上亚段($E_2n_2^3$)及牛三下亚段($E_2n_3^1$) 3 套烃源岩,有机质类型主要为 I 型或 II₁型,半深 湖一深湖相区以 I 型为主,浅湖相区为 II₁型,半深 湖一深湖相区以 I 型为主,浅湖相区为 II₁型^[13]。 实测镜质体反射率(R_0)介于 0.46% ~ 0.67%,最大 热解温度 T_{max} 在 427 ~ 438 °C 之间,显示烃源岩刚刚 进入早期生油阶段,有机质热演化程度不高^[12],考 虑到现有数据多来源于构造高部位钻井,推测盆地 中心烃源岩成熟度应更高。

2 成熟史模拟方法

本次采用美国 Platte River 公司研制的 Basin-Mod 数值模拟软件,基于钻井、测井、地震与有机地 化分析等资料,完成伦坡拉盆地中央凹陷带9口单 井(包括3口虚拟井)及3条近南北向主测线的热成 熟史模拟,包括:西部蒋日阿错洼陷选取了西伦1 井、西伦3井、虚拟1井及LN-52.5测线,中部江加 错洼陷选取了西伦2井、旺1井、虚拟2井及LN-72 测线,东部爬错洼陷选取了藏1井、旺2井、虚拟3 井及LN-84测线(图1)。选取的虚拟井及测线都 过主要生烃洼陷中心,以现有模拟探井的实测镜质 体反射率数据,作为热史及成熟度演化的收敛点进 行模拟结果的检验与校正。最终,对比分析不同洼 陷中3套主要烃源岩系热成熟演化历史的差异性, 从热演化程度的角度确定伦坡拉盆地主力烃源岩 的层系分布。

2.1 模型选取

合理并正确选择符合研究区地质背景的数学 模型尤为重要,其关系到最终模拟结果的可靠程 度。本次研究中不同模块所计算模型及验证方法 说明如下:(1)埋藏史中孔隙度及渗透率计算分别 采用联合流体流动压实模型^[14]和改进的 Kozeny-Carman 模型^[15] 模拟结果以实测孔隙度数据进行 约束修正;(2)盆地热流演化计算选取瞬时热流模 型^[16] 模拟结果以实测地温数据(包括 DST 和试 油温度数据)进行对比验证;(3)有机质成熟度计 算采用 Easy %*R*。模型^[17] 模拟结果以实测镜质体 反射率数据进行对比验证。

2.2 关键参数赋值过程

烃源岩热成熟史模拟涉及参数众多,参数选取 的有效性及准确性直接制约模拟的精度。本文主 要介绍对伦坡拉盆地热成熟演化具重要影响的几 种关键参数的赋值。

2.2.1 地层剥蚀厚度

地层剥蚀厚度是一维埋藏史、二维地层格架建 立的关键参数之一。伦坡拉盆地曾经历2期强烈 的构造运动 形成了T_g和T₅2个重要的不整合面, 但对盆地油气起重要作用的是牛堡组与丁青湖组 之间的T₅面。T₅面属于局部不整合面,主要发育 于盆地南部和西部地区,而至盆地沉积中心则逐渐 过渡为整合接触。本次研究利用地质对比法结合 单井泥岩声波时差法 综合恢复估算牛三段顶面不 整合剥蚀厚度值,剥蚀量较大区域主要分布在北部 逆冲带及南部冲断隆起带附近,剥蚀厚度一般为 400~600 m,中央凹陷带整体剥蚀程度较低,普遍 为100~200 m,具有中心小、四周大的特点。

2.2.2 岩性及烃源岩属性

岩性及烃源岩属性主要受控于沉积相类型,考 虑到钻井分布的不均一性,总体的赋值依据是在有 井的地区利用井上的岩性统计数据指定,在无井或 者少井的地区则结合沉积相的分布及相序规律来 指定。对于岩性参数来讲,首先基于大量钻井资料 统计全区不同沉积相所对应的砂泥岩百分比,同时 对比分析伦坡拉盆地各地层的沉积相平面展布图 及含砂率等值线图,综合设定不同沉积相的岩性组 成。对于烃源岩属性参数来讲,本次主要对区内 $E_2n_2^3 \cdot E_2n_3^1 3$ 套主力烃源岩进行统计赋值。 首先统计全区不同单井相所对应的有机碳含量 (TOC)、氢指数、 S_1+S_2 及有机质类型等参数,同时 考虑到现今的 TOC 等烃源岩属性参数是经过热成 熟作用后的残留值,最终设定地化参数的实际取值 要略大于统计值(表1)。

2.2.3 边界条件

边界条件参数主要包括古热流(HF)、古沉 积一水界面温度(SWIT)和古水深(PWD),其中古 热流参数最为关键,对模拟结果的影响程度最大。 依据雷清亮等^[7]和艾华国等^[9]对伦坡拉盆地构造 演化史的研究 伦坡拉盆地自始新世以来大致可分 为断陷期、拗陷期和构造抬升期。本次研究结合伦 坡拉盆地断陷期、拗陷期与热流值变化的对应关 系,并采用 BasinMod 提供的瞬态热流模型计算伦 坡拉盆地新生代地层底面热流。由于伦坡拉盆地

表 1 伦坡拉盆地不同沉积相岩性组成及烃源岩属性统计 Table 1 Lithologic and geochemical characteristics for different sedimentary facies in the Lunpola Basin

烃源岩) - 10 <u>10</u>		有机质	岩性组成/%	
	沉积相 有机恢含重/%		类型	砂	泥
牛三 下亚段	中深湖相	(0.23~3.52)/0.98(30)	$I - II_1$	8	91.02
	滨浅湖相	(0.14~1.8) /0.65(23)	II_1	21	78.35
	三角洲前缘	(0.26~1.25)/0.62(9)	II_2	30	69.38
牛二 上亚段	中深湖相	(0.15~2.67) /0.78(27)	II 1	15	84.22
	滨浅湖相	$(0.44 \sim 1.00) / 0.73(13)$	${\rm I\!I}_1 - {\rm I\!I}_2$	26	73.27
	三角洲平原	(0.34~0.79)/0.57(4)	II_2	75	24.43
牛二 中亚段	中深湖相	(0.22~1.33) /0.72(9)	II 1	11	88.28
	滨浅湖相	(0.30~1.38) /0.59(22)	II_2	18	81.41
	冲积扇	(0.30~0.48)/0.38(5)	Ⅱ ₂ – Ⅲ	45	54.62
		- · · · · - · · · - · · · · · · · · · ·			

注: 表中分式的意义为(最小值~最大值) /平均值(样品数)。

中央凹陷带由西向东可分为 3 个洼陷 不同洼陷边 界条件不可能完全相同 因而本次模拟定义了不同 的趋势值 采用插值的方法使边界条件的设置更为 合理(图2)。其中,现今热流值的确定主要基于区 内10 口钻井 DST 实测地温和砂泥岩含量资料,借用 一般岩石骨架热导率数据,求得伦坡拉盆地现今平 均热流值为69.86 mW/m²,且各洼陷的现今热流值 以蒋日阿错最高(77 mW/m²),江加错次之(70.27 mW/m²) 爬错最低(66.75 mW/m²)(表 2)。

由于伦坡拉盆地主要为陆相沉积,不同沉积环 境水深变化不大且整体偏小(0~30 m),古水深参 数主要参考了伦坡拉盆地古生物相带和地层充填 序列等资料进行估算的成果,半深湖、滨浅湖、三角 洲体系和河流一冲积平原水深分别定义为20~30, 10 0~5 m。古沉积一水界面温度参数主要采用软 件默认方案。

- 3 模拟结果与讨论
- 3.1 模拟精度检验

单井 R。模拟误差统计表明 ,模拟 R。与实测 R。 二者间最大相对误差 〔100×(实测值-模拟值) /实



Fig.2 Evolution curves of heat flows in different tectonic zones of the Central Sag in the Lunpola Basin

表 2	伦坡拉盆地中央凹陷带不同洼陷现今热流统计
-----	----------------------

Table 2Present heat flows calculated by 1D modeling
from 3 sags in the Central Sag , Lunpola Basin

:+ 1/2	小主共	现今热流/(mW•m ⁻²)			
注陷	代衣开	单井值	平均值		
遊口短舞	西伦1井	79.00	77.00		
将口凹垣	西伦3井	75.00	//.00		
	旺1井	69.00			
江加错	西伦2井	68.03	70.27		
	西伦 8 井	73.80			
	藏1井	64.12			
	西伦4井	62.88			
爬错	西伦5井	70.00	66.75		
	西伦6井	70.00			
	西伦7井	66.76			

测值)为18.89%,最小相对误差为0,近80%的*R*。 预测结果模拟误差低于10%(表3)。

3.2 热史及成熟史演化特征

热史模拟中不同岩性岩石热导率数据采用软件默认赋值模拟结果以实测地温值为校正依据,

表 3 伦坡拉盆地热史及成熟史模拟精度评价 Table 3 Verification of thermal and maturity modeling results in the Lunpola Basin

洼陷	模拟 共名	深度/ m	实测 R _o /	模拟 R。/	模拟 误差/%	
	714	752	0.59	0.52	10.24	
	藏1井	941	0.58	0.52	0.22	
		841	0.60	0.55	8.33	
		1 087	0.74	0.67	9.46	
		1 499	0.64	0.73	14.06	
лe		1 736	0.92	0.82	10.87	
10		2 235	1.14	1.06	7.02	
错		1 863	0.87	0.82	6.18	
		1 863	0.85	0.82	2.96	
	HF 2 #	1 864	0.88	0.83	5.90	
	PT 2 71	1 865	0.81	0.83	2.09	
		1 866	0.81	0.84	3.70	
		1 866	0.85	0.84	1.29	
		1 752	0.80	0.70	12.50	
		1 754	0.68	0.72	5.88	
		1 758	0.77	0.73	5.19	
		1 848	0.73	0.74	1.37	
۲ĩ		1 849	0.90	0.73	18.89	
λ		1 850	0.76	0.75	1.32	
加	旺1井	1 856	0.81	0.76	6.17	
		1 857	0.92	0.78	15.22	
错		1 948	0.86	0.78	9.30	
		1 952	0.83	0.79	4.82	
		1 982	0.84	0.80	4.76	
		1 983	0.80	0.80	0.00	
		1 984	0.84	0.81	3.57	
	西伦3井	1 689	0.91	0.92	1.10	
蒋日	西伦1井	840	0.70	0.63	10.00	
 阿错		1 450	0.91	0.81	10.99	

采用前述拟定的伦坡拉盆地中央凹陷不同地区热流 变化趋势方案(图 2) ,以江加错洼陷旺 1 井古地温梯 度演化史为例,综合分析伦坡拉盆地热史演化规律。 模拟结果显示(图 3) ,伦坡拉盆地自牛三段沉积以来 直至丁三段沉积末期,古地温梯度总体表现为持续 降低的规律,由 6.67 ℃/hm 降至 4 ℃/hm,期间仅 于牛三段沉积末期构造抬升剥蚀期(36~35 Ma) 古



图 3 伦坡拉盆地江加错洼陷旺 1 井古地温梯度演化史



表 4 伦坡拉盆地成熟史模拟结果统计



	洼陷	 井名	时间/Ma			现今
层位			生油 阶段	$R_{0} = 1.0\%$	湿气 阶段	成熟度/ R _o /%
	蒋日 阿措	西伦1井	18.5	-	_	0.47
		西伦3井	26.1	-	-	0.48
		虚拟4井	34.5	-	-	0.54
牛堡组		旺1井	31.2	-	-	0.73
三段	江加错	西伦2井	31.3	-	-	0.69
下亚段		虚拟5井	32.6	-	-	0.66
		藏1井	31.7	-	-	0.69
	爬错	旺2井	28.0	-	-	0.62
		虚拟 6 井	29.4	-	-	0.65
	蒋日 阿措	西伦1井	19.5	-	-	0.59
		西伦3井	36.0	-	-	0.60
		虚拟 4 井	36.6	-	-	0.66
牛堡组	江加错	旺1井	33.3	-	-	0.77
二段		西伦2井	32.5	-	-	0.74
上亚段		虚拟 5 井	33.8	-	-	0.83
	爬错	藏1井	33.5	-	-	0.73
		旺2井	29.0	-	-	0.65
		虚拟6井	30.9	-	-	0.68
	蒋日 阿措	西伦1井	43.9	-	-	0.74
		西伦3井	46.0	-	-	0.90
		虚拟4井	46.4	20	-	1.10
牛堡组	江加错	旺1井	36.6	17	-	1.05
二段		西伦2井	36.1	-	-	0.86
中亚段		虚拟5井	37.5	9	-	1.06
	爬错	藏1井	38.0	-	-	0.89
		旺2井	31.0	-	-	0.92
		虚拟 6 井	34.2	10	-	1.03
注"-"表示未进入该阶段。						

地温梯度有短暂升高(5.09~5.33 ℃/hm)。之后, 丁三段沉积末期构造抬升剥蚀期至今(23~0 Ma), 对应于喜马拉雅运动以来伦坡拉盆地的整体长期 挤压一抬升阶段,使之遭受了严重的破坏与剥蚀, 此阶段古地温梯度表现为持续的升高特征,从 4℃/hm升高至5.4℃/hm。总体上伦坡拉盆地自 成盆期以来至今古地温梯度一直处于较高的水平, 表现为热盆的特征。此外,结合含烃流体包裹体测 试分析成果,估算了旺1井主成藏期(25.5~ 20 Ma)内距今约25.3 Ma及23.3 Ma 2 个时期的古地





温梯度 ,分别为4.35 ℃ /hm和4.17 ℃ /hm ,与盆模法 计算的同期古地温梯度 4.21 ℃ /hm 和 4 ℃ /hm 较为 接近 ,亦验证了本次盆模法计算结果的可靠性。

成熟史模拟结果显示(表4和图45):(1)牛

二中亚段烃源岩埋深最大,进入生油窗最早,各生 烃洼陷中心部位普遍于中—晚始新世(距今约 46.4~37.5 Ma)开始成熟,于早—中中新世(距今 约20~9Ma)进入生烃高峰,现今仍处于生油窗内



 $(R_{\circ}$ 多介于 1.03%~1.1%); (2) 深洼处牛二上亚段 烃源岩大致于早渐新世(距今约 36.6~33.5 Ma) 开 始生油,于晚渐新世一早中新世(距今约 25~ 19 Ma)进入主生油带(R_{\circ} =0.7%~1.0%),之后成 熟度由于晚期构造抬升作用一直无明显增大,现今 R_{\circ} 主体位于 0.73%~0.83%; (3) 牛三下亚段烃源岩 进入生油窗最晚,大致于早一中渐新世(距今约 34.5~31.7 Ma)开始成熟,之后仅有中部江加错洼 陷中心处牛三下亚段烃源岩于早中新世(距今约 20~12 Ma)进入主生油带(R_{\circ} =0.7%~0.73%),演 化至今盆地主体上成熟度不高,仍处于早期生油阶 段(R_{\circ} =0.5%~0.7%)。

就区域上不同生烃洼陷内同一套烃源岩的成 熟度差异而言:(1) 牛二中亚段,西部蒋日阿错洼 陷进入生油门限早于中一东部江加错、爬错洼陷, 现今深洼内处于生油晚期($R_0 = 1.0\% \sim 1.3\%$); (2) 牛二上亚段,西部蒋日阿错洼陷进入生油门限 早于中一东部江加错、爬错洼陷,现今成熟度中部 最高,皆进入生油主带($R_0 = 0.7\% \sim 1.0\%$);(3) 牛 三下亚段烃源岩普遍于早一中渐新世进入生油门 限,现今成熟度中部爬错洼陷最高,主体位于早期 生油阶段($R_0 = 0.5\% \sim 0.7\%$)。

4 结论

(1) 伦坡拉盆地自始新统牛三段沉积以来直 至渐新统丁三段沉积末期,古地温梯度总体表现为持 续降低期间受到始新世末及渐新世末2次区域构造 隆升作用影响,古地温梯度有明显增加,表明古地 温梯度升高与构造抬升运动具有明显的相关性,古 地温梯度变化介于6.67~4℃/hm,为热盆特征。

(2) 盆地内牛二中及牛二上亚段 2 套烃源岩 成熟早,且区域上皆位于主生油带内(*R*。=0.7%~ 1.0%),应是主要的生供烃层系。而牛三下亚段烃 源岩进入生油门限晚且热演化程度较低(*R*。= 0.5%~0.7%),现今主体仍位于早期低熟生油阶 段,作为主力供烃层系的可能性较低。

(3) 盆地西部蒋日阿错洼陷生供烃条件较 中一东部江加错、爬错洼陷更为优越。具体表现为 西部蒋日阿错洼陷牛二中及牛二上亚段2套主力源 岩进入生油门限均早于中一东部江加错、爬错洼陷, 且现今热演化程度最高,应是主要的生供烃洼陷。

参考文献:

[1] 王剑,谭富文,李亚林,等.青藏高原重点沉积盆地油气资源
 潜力分析[M].北京:地质出版社 2004:19-22.

Wang Jian ,Tan Fuwen ,Li Yalin ,et al. The potential of the oil and gas resources in major sedimentary basins on the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau [M].Beijing: Geology Publishing House , 2004: 19-22.

[2] 刘家铎 周文 李勇 等.青藏地区油气资源潜力分析与评价[M].北京:地质出版社 2007:142-145.

Liu Jiaduo Zhou Wen ,Li Yong ,et al. Analysis and evaluation of oil and gas resources' latent capacity in Qingzang area [M].Beijing: Geology Publishing House 2007: 142-145.

- [3] 刘建,虞显和,杨俊红,等.西藏伦坡拉盆地地热史模拟[J]. 江汉石油学院学报 2001(S):19-21.
 Liu Jian Yu Xianhe ,Yang Junhong *et al.*Geothermal history simulation in Lunpola Basin (Tibet) [J].Journal of Jianghan Petroleum Institute 2001(S):19-21.
- [4] 袁彩萍 徐思煌.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 2000 22(2):156-160.
 Yuan Caiping Xu Sihuang.Characteristics of geotemperature field and maturity history of source rocks in Lunpola Basin Xizang (Tibe) [J].
 Experimental Petroleum Geology 2000 22(2):156-160.
- [5] 徐思煌 梅廉夫,邓四新.西藏伦坡拉盆地烃源岩生、排烃史 模拟[J].地球科学,1996,21(2):179-183.
 Xu Sihuang ,Mei Lianfu ,Deng Sixin.Simulation of hydrocarbon generation and expulsion history in Lunpola Basin of Xizang (Tibe) [J].Earth Science,1996,21(2):179-183.
- [6] 马立祥 涨二华, 鞠俊成,等. 西藏伦坡拉盆地下第三系沉积 体系域基本特征[J].地球科学,1996,21(2):174-178.
 Ma Lixiang Zhang Erhua Ju Juncheng et al.Basic characteristics of Paleogene deposition systems tract in Lunpola Basin, Xizang (Tibet) [J].Earth Science, 1996, 21(2):174-178.
- [7] 雷清亮,付孝悦,卢亚平.伦坡拉第三纪陆相盆地油气地质特 征分析[J].地球科学,1996 21(2):168-173.
 Lei Qingliang, Fu Xiaoyue, Lu Yaping. Petroleum geological features of Tertiary terrestrial Lunpola Basin, Xizang (Tibet) [J].
 Earth Science, 1996 21(2):168-173.
- [8] 罗本家、戴光亚、潘泽雄.班公湖一丁青缝合带老第三纪陆相 盆地含油前景[J].地球科学,1996 21(2):163-167. Luo Benjia, Dai Guangya, Pan Zexiong. Oil and gas potential in Paleogene terrestrial Bangonghu-Dingqing Suture Zone[J].Earth Science, 1996 21(2):163-167.
- [9] 艾华国,兰林英,朱宏全,等.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,1998,19(2):21-27.
 Ai Huaguo Lan Linying Zhu Hongquan ,et al. The forming mechanism and petroleum geology of Tertiary Lunpola Basin, Tibet [J].
 Acta Petrolei Sinica, 1998, 19(2):21-27.
- [10] 杜佰伟,谭富文,陈明.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 2004 24(4):46-54. Du Baiwei ,Tan Fuwen ,Chen Ming.Sedimentary features and petroleum geology of the Lunpola Basin Xizang[J].Sedimentary Geology and Tethyan Geology 2004 24(4):46-54.
- [11] 赵建成.西藏伦坡拉盆地构造特征研究[D].成都: 成都理工 大学 2011.

Zhao Jiancheng.A study on the structural characters of the Lunpola Basin in Tibet [D].Chengdu: Chengdu University of Technology, 2011.

(下转第394页)

Wang Zhenhua ,Chen Gang ,Li Shuhen ,et al. Application of NMR core experimental analysis in evaluation of low-porosity and low-permeability sandstone reservoirs [J].Petroleum Geology & Experiment 2014 ,36(6) : 773–779.

[9] 运华云 赵文杰 刘兵开 ,等.利用 T₂分布进行岩石孔隙结构 研究[J].测井技术 2002 28(1):18-21.

Yun Huayun Zhao Wenjie Liu Bingkaiet al. Researching rock pore structure with T_2 distribution [J].Well Logging Technology ,2002 , 28 (1) : 18–21.

- [10] 高敏 安秀荣 祗淑华 等.用核磁共振测井资料评价储层的 孔隙结构[J].测井技术 2000 26(3):188-193.
 Gao Min An Xiurong Zhi Shuihua et al.Evaluating porous structure of reservoir with MRIL data [J].Well Logging Technology, 2000 26(3):188-193.
- [11] 李天降 李子丰 赵彦超 等.核磁共振与压汞法的孔隙结构 一致性研究[J].天然气工业 2006 26(10):57-59.
 Li Tianjiang Li Zifeng Zhao Yanchao et al. Consistency study of pore structure of nuclear magnetic resonance and mercury intrusion

method [J].Natural Gas Industry 2006 26(10):57-59.

- [12] 李海波 朱巨义 郭和坤.核磁共振 T₂ 谱换算孔隙半径分布 方法研究[J].波谱学杂志 2008 25(2):273-278.
 Li Haibo Zhu Juyi Guo Hekun.Methods for calculating pore radius distribution in rock from NMR T₂spectra[J].Chinese Journal of Magnetic Resonance 2008 25(2):273-278.
- [13] 王胜. 用核磁共振分析岩石孔隙结构特征[J]. 新疆石油地 质 2009,30(6):768-770.

Wang Sheng. Analysis of Rock Pore Structural Characteristic by Nuclear Magnetic Resonance [J]. Xinjiang Petroleum Geology , 2009 30(6) : 768–770.

- [14] 赵文杰.利用核磁共振测井资料计算平均孔喉半径[J].油 气地质与采收率 2009,16(2):43-45.
 Zhao Wenjie.Calculation of the average pore throat radius using nuclear magnetic resonance logging data[J].Petroleum Geology and Recovery Efficiency 2009,16(2):43-45.
- [15] 郑可 徐怀民 陈建文 等.低渗储层可动流体核磁共振研究[J].

现代地质 2013 27(3):711-718.

Zheng Ke Xu Huaimin Chen Jianwen et al. Movable fluid study of low permeability reservoir with nuclear magnetic resonance technology [J]. Geoscience 2013 27(3):711-718.

- [16] 杨峰,宁正福,孔德涛,等.高压压汞法和氮气吸附法分析页 岩孔隙结构[J].天然气地球科学 2013 24(3):450-455.
 Yang Feng, Ning Zhengfu, Kong Detao, et al. Pore structure of shales from high pressure mercury injection and nitrogen adsorption method [J].Natural Gas Geoscience 2013 24(3):450-455.
- [17] 谢武仁 杨威 杨光 等.川中地区上三叠统须家河组砂岩储层 孔隙结构特征[J].天然气地球科学 2010 21(3):435-440. Xie Wuren ,Yang Wei ,Yang Guang et al.Pore structure features of sandstone reservoirs in the Upper Triassic Xujiahe Formation in the central part of Sichuan Basin [J].Natural Gas Geoscience 2010 21(3):435-440.
- [18] 张满郎,李熙喆,谢武仁.鄂尔多斯盆地山2段砂岩储层的 孔隙类型与孔隙结构[J].天然气地球科学,2008,19(4): 480-486.

Zhang Manlang Li Xizhe Xie Wuren.Pore types and pore texture of sandstone reservoir of 2nd Member of Shanxi Formation ,Ordos Basin[J].Natural Gas Geoscience 2008 ,19(4):480-486.

- [19] 赵志魁 张金亮,赵占银.松辽盆地南部坳陷湖盆沉积相和 储层研究[M].北京:石油工业出版社 2009. Zhao Zhikui Zhang Jinliang Zhao Zhanyin.The lacustrine sedimentary facies and reservoir research of southern Songliao depression Basin [M].Beijing: Petroleum Industry Press 2009.
- [20] 侯启军.深盆油藏:松辽盆地扶杨油层油藏形成与分布[M].
 北京:石油工业出版社 2010.
 Hou Qijun.Formation and distribution of Fuyang deep basin reser-
- voir in Songliao Basin [M].Beijing: Petroleum Industry Press 2010. [21] 宋立忠 ,李本才 ,王芳.松辽盆地南部扶余油层低渗透油藏 形成机制[J].岩性油气藏 2007 ,19(2):57-61. Song Lizhong Li Bencai ,Wang Fang.Reservoir-forming mechanism of low-permeability reservoir of Fuyu Formation in southern Songliao Basin [J].Lithologic Reservoirs 2007 ,19(2):57-61.

(编辑 黄 娟)

(上接第388页)

- [12] 孙涛,王成善,李亚林,等.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 2012 A1(6):530-537. Sun Tao, Wang Chengshan,Li Yalin,et al. Characteristics and significance of sedimentary organic matter in the Paleogene of Lunpola Basin, Central Tibet [J]. Geochemica, 2012, 41(6): 530-537.
- [13] 顾忆 邵志兵 叶德燎 等.西藏伦坡拉盆地烃源岩特征及资源条件[J].石油实验地质,1999 21(4):340-345 335.
 Gu Yi Shao Zhibing ,Ye Deliao ,et al. Characteristics of source rocks and resource prospect in the Lunpola Basin ,Tibet[J].Experimental Petroleum Geology,1999 21(4):340-345 335.
- [14] Bethke C M.A numerical model of compaction-driven ground-

water flow and heat transfer and its application to the paleohydrology of intracratonic sedimentary basins [J]. Journal of GeophysicalResearch ,1985 90(8):6817-6828.

- [15] Ungerer P ,Burrus J ,Doligez B ,et al. Basin evaluation by integrated two-dimensional modeling of heat transfer fluid flow ,hydrocarbon generation ,and migration [J]. AAPG Bulletin ,1990 , 74(3): 309-335.
- [16] Jessop A M. Thermal geophysics [M]. Amsterdam: Elsevier, 1990: 305–306.
- [17] Sweeney J J ,Burnham A K.Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics [J].AAPG Bulletin ,1990 ,74(10): 1559-1570.

(编辑 徐文明)