藏北羌塘盆地井下布曲组含油白云岩地球化学 特征及其意义

王忠伟^{1,2,3},王 剑³,付修根³,陈文彬³,卫红伟³,宋春彦³ WANG Zhongwei^{1,2,3}, WANG Jian³, FU Xiugen³, CHEN Wenbin³, WEI Hongwei³, SONG Chunyan³

1.中国地质大学(武汉)地球科学学院,湖北武汉430074;

2.中国地质科学院,北京100037;

3.中国地质调查局成都地质调查中心沉积地质研究室,四川成都 610081

1. School of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, Hubei, China;

2. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

3. Sedimentary Geology Research, Chengdu Center of China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China

摘要: 羌资11、12 井是羌塘盆地揭示隆鄂尼--昂达尔错古油藏展布规律的资料井。对这2 口钻井揭示的含油岩层进行取样分析,结合前人该区石油地质调查报告中羌资2 井布曲组、夏里组及曲色组烃源岩的分析数据,从类异戊二烯烃、甾烷、萜烷等系列生物标志化合物参数方面进行油-岩对比研究。研究表明, 羌资11、12 井揭示的原油为同一种类型, 但11 井原油生物降解程度强于12 井。各原油的母质主要来源于低等水生生物和藻类; 各原油的母质形成于还原-弱还原、盐度值不高的咸水环境。 原油中类异戊二烯烃、萜烷、甾烷等生物标志化合物参数与羌资2 井布曲组泥晶灰岩与夏里组和曲色组烃源岩之间具有较好的亲缘性。结合南羌塘地区烃源岩有机碳资料, 油源可能主要来自于曲色组, 混入了部分夏里组及布曲组的油源, 具有混源的特征。该研究结果对下一步油气勘探具有一定的指导意义。

关键词:生物标志化合物;含油白云岩;布曲组;油-岩对比;羌塘盆地
中图分类号:P618.13 文献标志码:A 文章编号:1671-2552(2017)04-0591-10

Wang Z W, Wang J, Fu X G, Chen W B, Wei H W, Song C Y. Geochemical features of oil-bearing samples from the well in Buqu Formation in the Qiangtang Basin, northern Tibet, and their implications. *Geological Bulletin of China*, 2017, 36 (4):591–600

Abstract: The Qiangzi-11 and 12 wells are the data well to reveal the distribution regularities of Longeni-Angdaerco palaeo-oil reservoirs. Together with the hydrocarbon source rock data of Buqu Formation, Xiali Formation, and Quse Formation from Qiangzi-2 well, the authors analyzed the oil-rock correlations based on the biomarker parameters composed of isoprenoid, steranes, and terpanes. The property of crude oil from Qiangzi-11 and 12 wells is of the same type. However, the biodegradation degree from Qiangzi-11 well is higher than that from Qiangzi-12. The biomarker parameters reveal that the organic matter mainly originated from algae. The crude oil was formed under weak reduction-reduction conditions and in a slightly salty water environment. The biomarkers of crude oil, composed of isoprenoid, terpane, and sterane, are closely related to those of the Buqu Formation in Qiangzi-2 well, and also show good correlation with those of the Xiali Formation and Quse Formation in Qiangzi-2 well. Combined with the TOC data

收稿日期:2016-10-18;修订日期:2017-03-15

资助项目:国家自然科学基金项目《羌塘盆地海相油页岩:沉积环境、古气候及源区》(批准号:41172098)和中国地质调查局项目《羌塘盆 地金星湖一隆鄂尼地区油气资源调查》(编号:DD20160159)

作者简介:王忠伟(1990-),男,在读博士生,从事沉积地质与能源地质研究。E-mail: wzwcdg@sina.com

通讯作者:付修根(1976-),男,博士,研究员,从事油气地球化学及沉积大地构造学研究。E-mail: fuxiugen@126.com

of the hydrocarbon source rock in south Qiangtang Basin, the authors hold that the crude oil of the Longeni-Angdaerco palaeo-oil reservoir was mainly from the source rocks of Quse Formation, and partly from the Xiali and Buqu Formations, suggesting a mixture of sources. The result of this study may have some guidance significance for further oil-gas exploration.

Key words: biomarker; oil-bearing dolomite; Buqu Formation; oil- rock correlation; Qiangtang Basin

差塘盆地位于青藏高原腹地,地理坐标位于北 纬32°~35°、东经83°~95°之间,面积约22×10⁴km²,构 造上位于油气资源极其丰富的特提斯构造域东段^[1-2], 沉积构造演化特征和石油地质条件与特提斯构造 域西段的波斯湾盆地具有相似性。该盆地油气赋 存条件与勘探前景一直受到世界的瞩目^[3]。

隆鄂尼-昂达尔错白云岩古油藏带位于南羌塘 盆地的北部,可划分为次一级的隆鄂尼-扎仁古油 藏带和巴尔扎---晓嘎晓那--巴格底加日---日尕尔保 古油藏带。东西向延伸近100km,南北宽约20km (图1-B),该古油藏带主要赋存于中侏罗统布曲组 白云岩中,属于自生自储型古油藏。含油白云岩 以中-细晶颗粒白云岩(似砂糖状结构)和藻纹层状 白云岩为主,其孔隙度达5%~15%[15]。含油白云岩 荧光颜色以黄绿色-黄色、淡蓝色,少量呈橙黄色 和淡绿色,荧光强度中等-高,反映了该古油藏具 有多期成藏的特点¹⁶。古油藏的发现表明,南羌塘 盆地在地史时期发生过大规模的油气运移及成 藏,对该区油气勘探具有重要的指示意义。前人 对该地区布曲组地表样品进行过大量的研究,主 要集中在烃源岩和储层评价、白云岩成因、油源对 比等方面[6-9]。然而对井下样品却鲜有涉及[10-11],尤 其是井下含油白云岩,几乎属于研究"空白区"。

2014年,成都地质调查中心在古油藏带东缘开 展实施了羌资11、12两口资料井,钻遇的地层为布 曲组。钻井的开孔位置位于研究区东南部的巴尔 扎-晓嘎晓那-巴格底加日-日尕尔保古油藏带 上。笔者在钻井编录的过程中,在羌资11井589~ 600m 段和羌资12井0~120m 段分别发现厚度大于 11m和100m的含油白云岩段。本文对钻井中含油 白云岩段进行了研究,结合前人在该区石油地质填 图及羌资2井等烃源岩的资料,通过对生物标志化 合物所反映的母质类型、形成环境、成熟度研究进 行油-岩对比。

1 区域地质背景及钻井基本特征

羌塘盆地位于藏北"无人区",其南北边界分别 为班公湖-怒江缝合带和可可西里-金沙江缝合带, 盆地从北到南可进一步划分为北羌塘坳陷、中央隆 起带、南羌塘坳陷3个次级构造单元^[3,12](图1-A),呈 现出两坳一隆的构造格局。在近几年的勘探过程 中,已经明确侏罗系是羌塘盆地发育最广、厚度最 大的海相地层,是勘探最重要的目的层^[13]。

羌塘盆地侏罗系发育多套烃源岩^[14],包括分布 于南羌塘坳陷中的曲色组和色哇组黑色泥页岩、布 曲组泥晶灰岩、夏里组泥岩、索瓦组泥晶灰岩等,同 时南羌塘盆地也具有良好的区域性盖层和储层系 统,包括夏里组的膏岩层和布曲组的砂糖状白云 岩、礁灰岩等。虽然南羌塘地区新生代构造活动比 较强烈,致使古油藏出露地表,对其有一定的破坏 作用,但构造活动也可能形成新的圈闭,对古油藏 起一定的保护作用。2015年新一轮地震资料表明, 在该古油藏出露地带下伏仍具有完整的构造(未发 表资料)。该套白云岩可能控制了南羌塘盆地油气 的分布规律,是该区油气勘探取得突破的重要目的 层位^[15]。

差资11井、12井位于西藏自治区双湖县雅曲 乡,构造位置属于中央隆起带南缘,位于昂达尔错 西边,是全取芯的石油地质资料井。井口坐标分别 为北纬32°44′54.69′′、东经89°29′20.40′′和北纬32° 44′18′′、东经89°32′16′′(图1-B)。钻遇的地层均为 布曲组,岩性主要为浅灰色、深灰色微晶灰岩,灰黑 色泥晶灰岩、灰色-浅灰色粉晶灰岩、灰白色灰质白 云岩、深灰色介壳灰岩、浅灰色砂屑灰岩、浅灰色礁 灰岩、深灰色藻灰岩、灰黑色砂糖状含油白云岩 等。井深分别为600m和600.1m。

2 样品采集与分析方法

样品采自井下含油白云岩段,为了便于对比, 笔者分别从羌资11井589~600m井段和羌资12井 0~120m井段中分别选取了4件灰黑色含油白云岩 样品(图2-A、B、D)。为了对原油进一步对比分析, 从羌资11井370~398m井段选取了4件含油灰岩样 品(图2-C)。另外,笔者还收集了该区1:5万石油 地质填图中夏里组、曲色组及羌资2井布曲组烃源 岩的资料进行油-岩对比分析。



图 1 昂达尔错地区地质简图及其钻孔位置(据参考文献①修改) Fig. 1 Simplified geological map of the Angdaerco area and the well positions J_b-布曲组;J_x-夏里组;J_s-索瓦组;J_s%q-莎巧木组;E_n-那丁错组;Nk¹-康托组

样品有机地球化学测试全部在中国石油天然 气股份有限公司华北油田分公司勘探开发研究院 生油实验室完成。样品粉碎至80目进行索氏抽提 72h,沥青质通过石油醚沉淀,族组分提取用硅胶、 氧化铝色层柱,通过正己烷、苯、无水己醇冲洗,最 终得到饱和烃、芳烃和非烃。GC分析采用美国 HP-6890气相色谱仪,进样温度290℃、检测器温度 300℃、容器为HP-5型的石英弹性毛细管柱(25m×

表1 羌资11、12井样品氯仿沥青"A"及族组分含量 Table 1 The concentrations of chloroform bitumen "A" and group composition in the sample from Well Qiangzi-11 and 12

样品号	北 迩/m	<u>11.</u> jul-	氯仿沥青	族组分/%					
	开(木/Ⅲ	石庄	"A"/%	饱和烃	芳烃	非烃	沥青质	非烃+沥青质	
14QZ11W-1	591	含油白云岩	0.0017	42.86	11.11	39.68	6.35	46.03	
14QZ11W-2	593.95	含油白云岩	0.0004	37.52	12.48	43.75	6.25	50.00	
14QZ11W-3	596.55	含油白云岩	0.0009	37.93	10.34	44.82	6.91	51.73	
14QZ11W-4	598.81	含油白云岩	0.0007	30.43	13.04	47.82	8.71	56.53	
14QZ12W-1	23	含油白云岩	0.0013	45.45	11.36	38.64	4.55	43.19	
14QZ12W-2	34.5	含油白云岩	0.0012	46.34	17.07	31.71	4.88	36.59	
14QZ12W-3	58.5	含油白云岩	0.0017	64.41	18.64	11.86	5.09	16.95	
14QZ12W-4	71	含油白云岩	0.0009	65.51	17.24	10.34	6.91	17.25	
14QZ11W-5	370.22	含油灰岩	0.011	46.02	34.66	14.77	4.55	19.32	
14QZ11W-6	377.56	含油灰岩	0.007	46.99	31.33	18.07	3.61	21.68	
14QZ11W-7	384.83	含油灰岩	0.0051	40.98	22.95	26.23	9.84	36.07	
14QZ11W-8	396.78	含油灰岩	0.0024	39.58	18.75	35.42	6.25	41.67	



图 2 羌资 11、12 井部分样品的岩心照片 Fig. 2 The core photographs in the samples from Well Qiangzi-11 and 12

0.32mm×0.17μm),载气为氮气。初温60℃,且保持 恒温5min,升温速率为4℃/min,终温至290℃且保 持恒温40min。GC-MS分析采用MAI95S色谱-质谱联用仪,离子源温度180℃,电子能量70eV。 HP-5型石英弹性毛细管柱(50m×0.32mm× 0.17μm),保持80℃恒温5min后以8℃/min升温 至120℃,再以2℃/min升温至300℃且保持恒温 21min。

3 分析结果

3.1 族组分及正异构烷烃特征

从研究区差资11井、12井获得的含油白云岩和 含油灰岩样品原油族组分含量变化范围较大。其 中, 差资11井含油白云岩样品饱和烃含量为30.4%~ 42.9%, 平均为37.2%, 芳烃含量为10.3%~13.0%, 平 均含量11.7%, 饱和烃与芳烃的比值为2.3~3.9, 平均 值为3.2; 非烃+沥青质含量为46.0%~56.5%, 平均含 量为51.1%; 含油灰岩样品饱和烃含量为39.6%~ 47.0%,平均为43.4%;芳烃含量为18.8%~34.7%,平 均含量为26.9%,饱和烃与芳烃的比值为1.3~2.1,平 均值为1.7;非烃+沥青质含量为19.3%~41.7%,平均 含量为29.7%;而羌资12并含油白云岩样品饱和烃 含量为45.5%~65.5%,平均为55.4%;芳烃含量为 11.4%~18.6%,平均含量为16.1%,饱和烃与芳烃的 比值为2.7~4.0,平均值为3.5;非烃+沥青质含量为 17%~43.2%,平均含量为28.5%。总体而言,羌资12 并含油白云岩饱和烃平均含量>羌资11并含油灰 岩>羌资11并含油白云岩。

从研究区12个原油样品的GC色谱图可以看出,正构烷烃碳数分布较完整,从nC₁₃~nC₃₇均有分布,主峰碳以C₁₇和C₂₅为主,主要呈现2种不同的峰型:①前高后低的单峰型(图3),主峰碳多为nC₁₇、 nC₁₈、nC₁₉、nC₂₁(表2),低碳数正构烷烃的含量较高, 主要见于样品14QZ11W-3、14QZ12W-2、 14QZ12W-3、14QZ12W-4和所有含油灰岩样品 中;②前低后高的单峰型(图3),主峰碳多为nC25



图 3 羌资 11、12 井部分样品饱和烃色谱和萜烷、甾烷质量色谱图(m/z191、m/z217) Fig. 3 The saturated hydrocarbon chromatogram, terpane and sterane mass chromatogram (m/z191, m/z217) in the samples from Well Qiangzi-11 and 12

(表2),高碳数正构烷烃的含量较高,主要见于样品 14QZ11W-1、14QZ11W-2、14QZ11W-4 和 14QZ12W-1中。

研究区含油白云岩样品具有较低的轻重烃 ΣC_{21} / ΣC_{22} ⁺值,主要分布在0.55~1.23之间,平均 值为0.73,且仅有1件样品大于1.0,显示重烃组 分占一定的优势。相比而言,灰岩样品则具有较 高的 ΣC_{21} / ΣC_{22} ⁺值,主要分布在1.11~3.98之间, 平均值为1.81(表2),显示轻烃组分占明显的优 势。所有样品均具有较高的(C_{21} + C_{22})/(C_{28} + C_{29}) 值,为1.21~2.70,平均值为1.87;*OEP*值分布在 0.93~1.03之间,平均值为0.99,无明显的奇偶碳数 分布优势(表2)。

3.2 类异戊二烯型烷烃特征

研究区 12个原油样品中均检测出较丰富的类 异戊二烯烃(图3),其中以姥鲛烷(Pr)和植烷(Ph) 最丰富。含油白云岩样品 Pr/Ph 值变化范围较小, 介于0.55~0.78之间(表2),平均值为0.67,表现出植 烷含量相对占优势的特征; Pr/nC₁₇值为0.31~0.72 (表2),平均值为0.50; Pr/nC₁₈值为0.39~0.98,平均 值为0.70。相比而言,灰岩样品 Pr/Ph 值总体略高, 为0.78~0.90,平均值为0.85; 而 Pr/nC₁₇和 Pr/nC₁₈值 总体较低,分别为0.34~0.47(平均值0.38)和0.42~ 0.63(平均值0.49)(表2)。

alkanes in the samples from Well Qiangzi–11 and 12								
Table 2 The analytical results of n-alkanes and isoprenoid								
表2 芜资11、12开样品止构烷烃与类异戊二烯烃分析结果								

样品号	井深/m	岩性	主峰碳	C_{21}^{-}/C_{22}^{+}	Pr/Ph	Pr/nC_{17}	Ph/nC_{18}	CPI	OEP
14QZ11W-1	591	含油白云岩	nC25	0.58	0.58	0.61	0.98	1.27	1.02
14QZ11W-2	593.95	含油白云岩	nC25	0.55	0.67	0.72	0.92	1.11	0.97
14QZ11W-3	596.55	含油白云岩	nC21	1.23	0.55	0.56	0.96	1.12	0.93
14QZ11W-4	598.81	含油白云岩	nC25	0.63	0.71	0.69	0.96	1.06	0.96
14QZ12W-1	23	含油白云岩	nC25	0.61	0.74	0.42	0.53	1.04	0.97
14QZ12W-2	34.5	含油白云岩	nC18	0.68	0.78	0.32	0.39	1.04	1.03
14QZ12W-3	58.5	含油白云岩	nC18	0.74	0.68	0.31	0.43	1.02	1.01
14QZ12W-4	71	含油白云岩	nC19	0.82	0.64	0.39	0.43	1.06	1.03
14QZ11W-5	370.22	含油灰岩	nC17	1.22	0.87	0.36	0.42	1.05	1.01
14QZ11W-6	377.55	含油灰岩	nC17	1.34	0.8	0.39	0.5	1.06	1
14QZ11W-7	384.83	含油灰岩	nC17	1.52	0.9	0.34	0.43	0.97	0.97
14QZ11W-8	396.78	含油灰岩	nC17	1.69	0.87	0.47	0.63	0.98	0.95

3.3 甾萜类化合物特征

研究区所有样品中均检测出丰富的五环三萜 烷类化合物(霍烷系列)、较丰富的三环萜烷及少量 的四环萜烷类化合物(图3),其相对丰度为五环三 萜烷>三环萜烷>四环萜烷。其中五环三萜烷碳数 分布范围为 C_{27} ~ C_{35} ,但以 C_{30} 霍烷相对含量最高,其 次为 C_{31} 升霍烷和 C_{29} 降霍烷,而 $T_{5}(18\alpha-22, 29, 30)$ 三降藿烷)、 $Tm(17\alpha-22, 29, 30)$ 三降藿烷)相对含 量较低,但14QZ11(T)-06样品中未检测出五升藿 烷;三环萜烷碳数 C_{19} ~ C_{30} 均有分布,其中以 C_{23} 三环 萜烷相对含量最高。另外,样品中均检出较高含量 的伽马蜡烷;未检出代表典型陆源供应的奥利烷、 羽扇烷等非藿烷类化合物。

另外,样品中甾烷类化合物均分布完整,检出 物主要为规则甾烷(C_{27} ~ C_{29}),其次为重排甾烷 (C_{27} 、 C_{29})、孕甾烷和升孕甾烷(C_{21} ~ C_{22}), C_{28} 重排甾 烷含量少未检测出。规则甾烷 C_{27} ~ C_{29} - C_{29} 在GC-MS图上主要呈不对称"V"型分布,少量呈"L"型 (图3), Σ (C_{27} + C_{28})> Σ C₂₉, Σ C₂₇/ Σ C₂₉值介于0.63~ 0.92之间,平均值为0.78。重排甾烷 Σ C₂₇/规则甾 烷 Σ C₂₇值低,介于0.08~0.15之间,平均值为0.10 (表3)。

表 3 羌资 11、12 井样品萜烷、甾烷分析结果 Table 3 The analytical results of terpane and sterane in the samples from Well Qiangzi-11 and 12

样品号 井深/m	+资/	/m A	В	С	D	Е	F	G	Н	I ·	规则甾烷		
	7千 (木/III										C ₂₇	C ₂₈	C ₂₉
14QZ11W-1	591	0.41	0.41	0.38	0.57	0.35	0.22	0.59	0.06	0.90	0.34	0.29	0.37
14QZ11W-2	593.9	0.43	0.38	0.36	0.57	0.27	0.28	0.59	0.11	1.07	0.39	0.25	0.36
14QZ11W-3	596.6	0.43	0.39	0.37	0.57	0.27	0.28	0.60	0.10	1.00	0.37	0.26	0.37
14QZ11W-4	598.8	0.41	0.39	0.36	0.57	0.29	0.25	0.60	0.09	1.02	0.37	0.26	0.37
14QZ12W-1	23	0.95	0.38	0.36	0.55	0.27	0.30	0.59	0.12	1.12	0.40	0.25	0.36
14QZ12W-2	34.5	0.43	0.39	0.36	0.55	0.30	0.38	0.59	0.14	1.09	0.39	0.24	0.36
14QZ12W-3	58.5	0.49	0.38	0.35	0.57	0.20	0.20	0.59	0.19	1.10	0.39	0.26	0.35
14QZ12W-4	71	0.41	0.40	0.36	0.53	0.27	0.33	0.59	0.10	1.02	0.37	0.26	0.37
14QZ11W-5	370.2	0.48	0.41	0.39	0.56	0.29	0.41	0.58	0.30	1.03	0.39	0.24	0.37
14QZ11W-6	377.6	0.41	0.43	0.39	0.58	0.23	0.33	0.59	0.25	1.08	0.39	0.25	0.36
14QZ11W-7	384.8	0.46	0.39	0.37	0.57	0.23	0.48	0.60	0.43	1.00	0.38	0.24	0.38
14QZ11W-8	396.8	0.45	0.40	0.36	0.57	0.26	0.42	0.60	0.18	1.10	0.39	0.25	0.36

注:A=Ts/(Ts+Tm);B=C₂₉甾烷20S/(20S+20R);C=C₂₉甾烷ββ/(αα+ββ);D=C₃₂藿烷22S/(22S+22R);E=伽马蜡烷/αβ-C₃₀ 藿烷;F=三环萜烷/藿烷;G=C₃₁升藿烷22S/(22S+22R);H=孕甾烷/C₂₉-ααα-20R甾烷;I=ααα-20R甾烷C₂₇/C₂₉

597

4 讨 论

4.1 原油生物降解程度

原油的生物降解程度决定了生物标志化合物 在油源对比中的可信度^[16]。Peters 等^[17]对原油中不 同烃类抗生物降解能力进行对比,划分了10个等 级:卟啉>芳烃甾烷>重排甾烷>藿烷(无25-降藿 烷)>甾烷>藿烷(有25-降藿烷)>异戊二烯烃>正构 烷烃。研究表明,随着生物降解程度的增加,族组 分中饱和烃含量降低,非烃和沥青质含量增加,目 色谱图基线抬升越来越明显¹⁸。本文原油样品中虽 然正构烷烃碳数分布均较完整,但羌资11与12井 原油样品相比具有以下特征:饱和烃含量低,非烃 及沥青质含量总体较高(表1),色谱图基线抬升明 显(图3)。基于前人研究成果18,笔者认为,样品生 物降解程度11并含油白云岩>11并含油灰岩>12并 含油白云岩。考虑到样品中正构烷烃碳数分布较 完整,认为该区类异戊二烯烃、萜烷、甾烷类化合物 在进行油-岩对比时是可信的,但正构烷烃碳数分 布特征用于油-岩对比时可能具有一定的干扰性, 需谨慎使用。

4.2 原油母质来源及形成环境

考虑到研究区原油发生了一定的生物降解作 用,故本文尽量避免使用正构烷烃等参数分析原油 的母质来源、形成环境、油源等。

在分析母质来源时,三环萜烷通常与孢子体、 角质体(高等植物)等关系密切^[19]。研究区含油样品 三环萜烷与藿烷的比值均较低,为0.20~0.48,平均 值为0.32,说明原油的母质可能来源于低等藻类。 四环萜烷通常被认为是陆源有机质输入的标志物, 但在古老的海相碳酸盐岩烃源岩中也发现了四环 萜烷类化合物,证实了四环萜烷同样可能来自于低 等生物^[20]。原油样品中虽然检测出少量的四环萜 烷,但不能确定是否有陆源有机质的输入。另外, 样品中均未检出代表典型陆源有机质输入的奥利 烷、羽扇烷等非藿烷类,故陆源有机质供应与否仍 需进一步研究。

规则甾烷是判断母质输入的另一个重要指标, 其相对组成反映了母质来源的组成。通常情况下, C₂₇和C₂₈代表了低等生物(藻类)来源,C₂₉代表了陆 源有机质或藻类的输入^[21-22]。研究区含油样品C₂₇、 C₂₈、C₂₉规则甾类化合物含量分别为34%~40%、24%~ 29%、35%~38%,主要呈不对称"V"型和"L"型(图 3)。原油样品中仅有1件样品C29>C27,4件样品的 C27、C29大致相等,其余样品具有C27>C29的特征,表 明这些原油母质可能以水生生物为主,特别是藻类 的贡献作用大。综合萜烷、甾烷类化合物参数表 明,低等水生生物和藻类为原油的形成提供了主要 的母质来源,高等植物贡献与否仍需进一步探讨。

类异戊二烯烃广泛分布于富有机质岩石和原 油中,性质稳定,在长期地质历史过程中可以较完 好地保存下来[23]。其中姥鲛烷、植烷及其比值可作 为沉积环境及其盐度判别的重要标志,姥鲛烷通常 形成于较氧化的环境,而植烷则形成于较还原的环 境[24-25]。Peter等[19]认为,高Pr/Ph值(>3.0)往往代表 陆源有机质输入的氧化环境,而低Pr/Ph值(<1)则 反映了典型的缺氧环境,但对于介于1.0~3.0之间的 比值,若没有进一步的证据,不能将其作为古环境 判别的标志。研究区所有原油样品的Pr/Ph值均小 于1.0,介于0.55~0.90之间,平均值为0.73,反映了 一种还原-弱还原的淡化咸水环境。另外,在Pr/ Ph-Pr/nC₁₇-Ph/nC₁₈三角图解(图4)中,羌资12井 中含油白云岩及羌资11井含油灰岩样品均落入淡 化海水的沉积环境,但羌资11井含油白云岩样品却 落入正常海水的环境,可能与羌资11井含油白云岩 样品遭受生物降解程度强,导致Pr/nC17和Ph/nC18 值偏高有关。

伽马蜡烷是一种 C₃₀三萜烷,常作为高盐度海相 和非海相沉积环境的标志^[19]。在研究区所有原油样 品中均检测出了一定含量的伽马蜡烷,但含量较低 (图 3),伽马蜡烷与αβC₃₀藿烷的比值为0.20~ 0.35,平均值为0.27,该比值远高于淡水成因(0.04~ 0.06)的原油比值,但低于盐湖成因的比值(0.27~ 1.00)^[26],反映了原油形成时水体具有一定的盐度, 但盐度值并不高。研究表明,重排甾烷在缺氧强还 原条件下形成受到逆制,其含量往往较低^[27]。研究 区原油样品重排甾烷 C₂₇/规则甾烷 C₂₇值较低,为 0.08~0.24,平均值为0.12,比强还原条件下重排甾烷 C₂₇/规则甾烷 C₂₇值略高,进一步反映了原油形成时 可能为一种还原-弱还原的沉积环境。

4.3 原油的成熟度

原油的成熟度是研究油源的一个重要标志,许 多油源对比参数是否有效与原油的成熟度有重要 的联系。如正构烷烃分布特征仅适用于低-中等成



日本 光贝11、12) 古面中面 F1/III F1/IIC₁₇ F1/I/IC₁₈ 分布图解 Fig. 4 Pr/Ph-Pr/nC₁₇-Ph/ nC₁₈ diagram of oil-bearing



熟度、生物降解程度不明显的原油。岩石中甾烷、 萜烷等生物标志化合物在有机质演化和成岩作用 过程中往往会发生"异构化反应",如甾烷的ααα 型向αββ型、藿烷的ββ型向βα型和αβ型转 换,侧链上R型向R+S型转换等^[11]。因此常用不同





构型化合物的相对丰度来判断原油的成熟度.如C₂₀ 甾烷 α β β /(C₂₉ 甾烷($\alpha \alpha \alpha + \alpha \beta \beta$))、C₂₉ 甾烷 20S/(C29甾烷(20S+20R))、C31藿烷22S/C31藿烷(22S+ 22R)、C₂ 藿烷 22S/C₂ 藿烷 (22S+22R)等^[28]。羌资 11、 12 井原油样品中C₂₉甾烷 α β β /(C₂₉甾烷($\alpha \alpha \alpha +$ α β β))和 C₂₉ 甾烷 20S/(C₂₉ 甾烷(20S+20R))值 分别为0.35~0.39和0.38~0.43(表3),均未达到相 应生油高峰的平衡值(0.67~0.71和0.52~0.55)^[29]。 通过 C_{22} 甾烷 $\alpha \beta \beta / (C_{22}$ 甾烷($\alpha \alpha \alpha + \alpha \beta \beta$))与 C29 甾烷 20S/(C29 甾烷(20S+20R))参数的交汇综合 分析可知(图5),该地区井下原油样品处于中等成 熟阶段。另外,原油样品中C₃₁ 藿烷 22S/C₃₁ 藿烷 (22S+22R)值为0.58~0.60; C32 藿烷22S/C32 藿烷 (22S+22R)值为0.53~0.58;上述参数的值接近或达 到其平衡值(0.57~0.60)[29],即演化程度导致的异构 化作用达到平衡。综合上述参数,研究区原油达到 中等成熟阶段,为中等成熟型原油。

4.4 油-岩对比分析及油气勘探意义

关于南羌塘地区隆鄂尼-昂达尔错古油藏带的 油源问题,一直是羌塘盆地油气勘探研究的难点问 题之一。前人对古油藏带的油源进行过一定的研 究^[1,4,8-9,30],其认识也各不一致。王成善等^{[11}通过原油 的单体C同位素及生物标志化合物研究表明,隆鄂 尼古油藏油源来自于毕洛错油页岩;赵政璋等^{[11}]</sup>



 图 6 研究区附近布曲组、夏里组及曲色组烃源岩与含油样 品生物标志化合物对比(烃源岩各参数为其平均值)
 Fig. 6 Comparison of biomarkers between the Buqu
 Formation, Xiali Formation and Quse Formation hydrocarbon source rocks and oil-bearing samples in the study area

为,隆鄂尼地区古油藏油源来自于夏里组烃源岩; 付修根等¹⁸¹认为,扎仁地区油源具有混合来源的特征,主要来自于夏里组烃源岩,可能也存在毕洛错 油页岩的混入;陈文彬等¹⁰¹认为,扎仁地区油源来 自于夏里组烃源岩;季长军等¹³⁰¹通过对羌D2井中 含油白云岩分析,把原油分成2类,第一类可能来 自于曲色组和布曲组烃源岩,第二类可能来源于 夏里组。

本文通过对研究区差资11、12井含油白云岩样 品类异戊二烯烃、萜烷、甾烷等化合物进行系统的 分析,并与羌资2井深灰色泥晶灰岩四(部分样品)、 研究区附近曲色组[31-32]、夏里组烃源岩[8]样品的12个 生物标志化合物参数进行对比分析,发现其与布曲 组泥晶灰岩具有近乎完美的可对比性,与夏里组 泥页岩的甾烷、萜烷参数之间具有良好的可对比 性,而与曲色组油页岩之间具有较好的可对比性 (图6)。考虑到整个南羌塘地区布曲组和夏里组烃 源岩有机碳含量偏低(<0.5%)^[6,8,11,33-37],可能不具备 形成大规模古油藏带的条件,其生物标志化合物之 间拟合度高可能与布曲组灰岩中混有原油和夏里组 提供部分油源有关。尽管南羌塘南缘地区曲色组黑 色岩系有机碳含量低138,但在北缘地区却发现发育于 泻湖环境的高有机碳含量曲色组黑色页岩[31-32],该套 烃源岩具备形成大型油气藏的潜力。曲色组黑色 页岩生物标志化合物与原油之间存在一定的差异, 这可能与混入了部分夏里组油源有关。基于以上 认识,笔者认为研究区油源较复杂,可能主要来自 于北缘的曲色组黑色页岩,同时混入了部分夏里组 及布曲组的油源。中央隆起带南缘与古油藏带北 缘之间可能存在潜在油气藏,这被近年来的勘探 所证实。通过本次油源对比研究,认为羌塘盆地 中央隆起带南缘存在推覆构造13,这些推覆构造覆 盖了含油白云岩,在部分暴露区,形成暴露的古油 藏,而覆盖区则可能具有较好的油气勘探潜力,结 合地震资料落实的圈闭构造,可作为下一步油气勘 探的目标。

5 结 论

(1) 羌资 11、12 井钻取的原油为同一种类型,但 生物降解程度存在差异,11 井含油白云岩中原油生 物降解程度强于 12 井,表现为族组成饱和烃含量 低,非烃及沥青质含量高,色谱图基线抬升明显,峰 型表现为以前低后高单峰型为主、主峰碳数为高碳数(nC25)的特征。

(2)各原油样品中三环萜烷与藿烷比值低,为 0.20~0.48,甾烷以C₂₇ >C₂₉为主,表明原油的母质主 要来源于低等水生生物和藻类。各原油样品中Pr/Ph 值为0.55~0.90,γ-蜡烷含量较低,γ-蜡烷/αβ-C₃₀藿烷值为0.20~0.35,反映了母质形成于还原-弱 还原且盐度不高的咸水环境。

(3)各原油的C₂₉甾烷αββ/(C₂₉甾烷
(ααα+αββ))、C₂₉甾烷20S/(C₂₉甾烷(20S+20R))、C₃₁藿烷22S/C₃₁藿烷(22S+22R)、C₃₂藿烷
22S/C₃₂藿烷(22S+22R)等参数略低于或达到生油高峰的平衡值,反映了原油为成熟油,但成熟度不高,处于中等成熟阶段。

(3)各原油中类异戊二烯烃、萜烷、甾烷等12个 生物标志化合物参数与羌资2井布曲组泥晶灰岩具 有非常好的对比性,而与夏里组和曲色组之间对比 性稍差。结合南羌塘地区烃源岩有机碳资料分析, 油源可能主要来自于曲色组,混入了部分夏里组及 布曲组的油源,具有混源的特征。

致谢:样品分析测试得到华北油田勘探开发研 究院马顺平高级工程师的大力支持,在此表示诚挚 的谢意。

参考文献

- [1]王成善, 伊海生, 刘池洋, 等. 西藏羌塘盆地古油藏发现及其意义[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(2): 139-143.
- [2]黄汲清, 陈炳蔚. 中国及邻区特提斯海的演化[M]. 北京: 地质出版 社, 1987: 36-47.
- [3]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: 1-88.
- [4]付修根,廖忠礼,刘建清,等.南羌塘盆地扎仁地区中侏罗统布曲 组沉积环境特征及其对油气地质条件的控制作用[J].中国地质, 2007,34(4):599-605.
- [5]赵正璋, 李永铁, 叶和飞, 等. 羌塘盆地南部海相侏罗系古油藏例 析[J]. 海相油气地质, 2002, 7(3): 34-36.
- [6]陈文彬, 廖忠礼, 刘建清, 等. 西藏羌塘盆地扎仁地区白云岩油苗 地球化学特征[J]. 新疆石油地质, 2008, 29(2): 214-218.
- [7]杜佰伟, 陈明, 李忠雄, 等. 羌塘盆地扎仁地区中侏罗统布曲组烃 源岩评价[J]. 新疆石油地质, 2010, 31(1): 40-43.
- [8]刘建清,杨平,陈文彬,等. 羌塘盆地中央隆起带南侧隆额尼-昂 昂达尔错布曲组古油藏白云岩特征及成因机制[J]. 地学前缘, 2010, 17(1): 311-321.
- [9]付修根, 廖忠礼, 王剑, 等. 藏北南羌塘盆地扎仁地区油苗地球化 学特征及意义[J]. 沉积学报, 2008, 26(4): 697-704.

- [10]李忠雄,王剑,汪正江,等.藏北羌塘盆地羌资2井中侏罗统布曲 组碳酸盐岩岩石学及储集物性特征[J].地球学报,2009,30(5): 590-598.
- [11]李忠雄,何江林,杜佰伟,等.羌塘盆地羌资2井布曲组碳酸盐岩 生物标志物特征及意义[J].石油实验地质,2010,32(2):175-185.
- [12]和钟铧,李才,杨的明,等.西藏羌塘盆地的构造沉积特征及演化[J].长春科技大学学报,2000,30(4):347-352.
- [13]王剑,丁俊,王成善,等.青藏高原油气资源战略选区调查与评价[M].北京:地质出版社,2009:227-270.
- [14]丁文龙,李超,苏爱国,等.西藏羌塘盆地中生界海相烃源岩综合 地球化学剖面研究及有利生烃区预测[J].岩石学报,2000,27(3): 878-896.
- [15]李忠雄, 杜佰伟, 汪正江, 等. 藏北羌塘盆地中侏罗统石油地质特征[]. 石油学报, 2008, 29(6): 797-803.
- [16]包建平,朱翠山.生物降解作用对辽河盆地原油甾萜烷成熟度参数的影响[J].中国科学(D辑),2008,38(增刊Ⅱ):38-46.
- [17]Peters K E, Fraser T H, Amris W, et al. Geochemistry of crude oils form eastern Indonesia[J]. AAPG Bulletin, 1999, 83(12): 1927– 1942.
- [18]国朋飞,何生,朱生奎,等.利用三环萜烷对比泌阳凹陷生物降解 油油源[J].石油实验地质,2015,37(1):80-87.
- [19]Peters K E, Walters C C, Moldowan J M. The biomarker guide, biomarkers and isotopes in petroleum exploration and earth history[M]. Cambridge University Press, 2005: 1–704.
- [20]范璞. 塔里木油气地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 1990.
- [21]Summons R E, Volkman J K, Boreham C J. Dinosterane and other steroidal hydrocarbons of dinoflagellate origin in sediments and petroleum[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1987, 51(11): 3075–3082.
- [22]Volkman J K. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter[J]. Organic Geochemistry, 1986, 9(2):83–99.
- [23]刘全有,刘文汇,孟仟祥,等.塔里木盆地侏罗系煤岩热模拟生物标志化合物特征研究[J]. 沉积学报, 2004, 22(4): 724-728.
- [24]王铁冠. 生物标志物地球化学研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版 社, 1990.
- [25]范善发,周中毅,潘长春,等.塔里木盆地下古生界生物标志物分

布与沉积环境的关系[J]. 石油与天然气地质, 1991, 12(2): 169-176.

- [26]段毅, 吴保祥, 张辉, 等. 鄂尔多斯盆地西峰油田原油地球化学特征及成因[J]. 地质学报, 2006, 80(2): 301-310.
- [27] 聂志阳, 黄清华, 席党鹏, 等. 松辽盆地松科 1 井烃源岩生物标志 化合物特征[J]. 地学前缘, 2014, 21(2): 265-274.
- [28]Mackenzie A S, Brassell S C, Eglinton G, et al. Chemical fossilsthe geological fate of steroids[J]. Science, 1982, 217(4559): 491– 504.
- [29]Moldowan J M, Albercht P, Philip R P, et al. Biological markers in sediments and petroleum[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1992: 268– 280.
- [30]季长军, 伊海生, 陈志勇, 等. 西藏羌塘盆地羌D2井原油类型及 勘探意义[J]. 石油学报, 2013, 34(6): 1070-1076.
- [31]林金辉, 尹海生, 李勇, 等. 藏北高原双湖地区中侏罗统海相油页 岩生物标志化合物分布特征及其意义[J]. 沉积学报, 2001, 19(2): 287-292.
- [32]Zeng Y H, Fu X G, Zeng S Q, et al. Organic geochemical characteristics of the Bilong Co oil shale (China): implications for paleoenvironment and petroleum prospects[J]. Oil Shale, 2011, 28(3):398– 414.
- [33]陈文彬,廖忠礼,刘建清,等.羌塘盆地扎仁地区中上侏罗统烃源 岩生物标志物特征[J].油气地质与采收率,2008,15(5):17-20.
- [34]南征兵,张艳玲,李永铁,等.羌塘盆地中侏罗统布曲组烃源岩评价[J].油气地质与采收率,2012,19(3):15-18.
- [35]伍新和,张丽,王成善,等.西藏羌塘盆地中生界海相烃源岩特征[]].石油与天然气地质,2008,29(3):348-354.
- [36]陈文彬, 廖忠礼, 刘建清, 等. 西藏南羌塘盆地侏罗系烃源岩地球 化学特征[]]. 现代地质, 2010, 24(4): 654-661.
- [37]肖睿, 祝有海, 王平康, 等. 藏北羌塘盆地 QK-1 井中侏罗统烃 源岩地球化学特征[J]. 现代地质, 2015, 29(1): 163-170.
- [38]Fu X. G, Wang J, Chen W. B, et al. Elemental geochemistry of the early Jurassic black shales in the Qiangtang Basin, eastern Tethys: constraints for palaeoenvironment conditions[J]. Geological Journal, 2016, 51(3): 443–454.
- ①吉林省地质调查院.中华人民共和国区域地质调查报告(1:25万 昂达尔错幅).中国地质调查局,2003.