

文章编号: 1001-6112(2010)02-0181-05

藏北羌塘坳陷中西部地区 布曲组碳酸盐岩烃源岩分布特征

陈明, 王剑, 谭富文, 杜佰伟

(中国地质调查局 成都地质矿产研究所, 成都 610082)

摘要: 依据典型剖面实测和辅助对比剖面观测, 结合大量系统样品的测试分析, 认为羌塘盆地北羌塘坳陷中侏罗统布曲组主要是一套厚度巨大的半局限潟湖相泥晶灰岩、泥质灰岩和潮坪相颗粒灰岩、膏盐岩、泥页岩等组成。碳酸盐岩生油岩主要为潟湖相暗色泥晶灰岩、泥质灰岩及泥灰岩。生油层在纵向上主要产于布曲组下段和上段; 横向上具有从坳陷内部到坳陷边缘生油岩厚度逐渐减薄、有机碳含量变差的特点。布曲组生油层的分布特征明显受沉积相和海平面升降变化的控制。该分布特征的研究对评价盆地布曲组生油前景, 寻找主要生油坳陷等都具有重要意义。

关键词: 碳酸盐岩; 烃源岩; 布曲组; 中侏罗统; 北羌塘坳陷; 羌塘盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

THE DISTRIBUTED CHARACTERISTIC OF MIDDLE JURASSIC BUQU FORMATION CARBONATE SOURCE ROCK IN MIDWEST AREA OF NORTH QIANGTANG DEPRESSION

Chen Ming, Wang Jian, Tan Fuwen, Du Baiwei

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu, Sichuan 610082, China)

Abstract: According to the typical section measured and the auxiliary correlation section observation, as well as massive system samples data analysis, we thought that the Middle Jurassic Buqu Formation in the North Qiangtang Depression is mainly composed of a set of thickness huge semi-restricted lagoon facies micrite, marl and the tidal flat grain limestone, the gypsolith, the mudstone and so on. The carbonate source rocks mainly is the lagoon facies dark color micrite and the marl. The source bed in on longitudinal mainly delivers its lower segment and the upside; on crosswise from the depression interior to the depression edge, source rock thickness attenuates gradually and the organic carbon content variations characteristic. The source bed distribution characteristic of the Buqu Formation is controlled by the sedimentary facies and the sea level fluctuation change obviously. Its distributed characteristic have the vital significance to appraise uncooked oil prospect and seek the main uncooked oil depression.

Key words: carbonate; source rocks; Buqu Formation; Middle Jurassic, North Qiangtang Depression; Qiangtang Basin

羌塘盆地是我国目前尚未正式开展大规模油气勘探的新区。羌塘盆地面积大, 沉积体厚度大, 生油层丰富, 油气圈闭条件好, 是我国陆上新区最具勘探前景的含油气盆地。中生代羌塘盆地发育有上三叠统肖茶卡组、下侏罗统曲色组、中侏罗统色哇组、布曲组、夏里组和上侏罗统索瓦组等多套生油岩地层, 其中中侏罗统布曲组碳酸盐岩生油岩是盆地中生界最主要海相生油层之一^[1-7]。笔者

实测并系统采样分析了北羌塘坳陷野牛沟剖面, 同时观测了那底岗日剖面、向阳湖—长蛇山剖面等, 通过对这些剖面的油气调查及数据分析, 基本可以揭示北羌塘坳陷布曲组生油岩的分布特征, 并可以为该区下一步的油气地质工作提供资料依据。

1 基本地质概况

羌塘盆地位于青藏高原腹地, 夹持于金沙江缝

收稿日期: 2009-06-22; 修订日期: 2010-03-01。

作者简介: 陈明(1963—), 男, 研究员, 主要从事青藏高原沉积盆地分析与油气地质。E-mail: cdcming@163.com。

基金项目: 国家自然科学基金项目(40972087)“羌塘盆地中生代沉积超覆序列及相关事件沉积学研究”和全国油气资源战略选区调查与评价项目(2009GYXQ01)“青藏高原重点盆地油气资源战略调查与选区”。

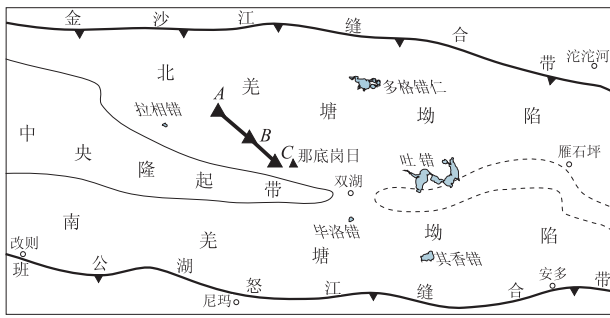


图 1 羌塘盆地构造单元划分及研究区位置示意

A. 野牛沟剖面; B. 向阳湖南—长蛇山剖面; C. 那底岗日剖面

Fig. 1 Tectonic unit division and research area position of the Qiangtang Basin

合带与班公湖—怒江缝合带之间,盆地内可划分为北羌塘拗陷、中央隆起带和南羌塘拗陷 3 个构造单元,而研究区则位于北羌塘拗陷的中西部地区(图 1)。羌塘盆地是在前寒武纪变质结晶基底和古生代褶皱基底之上发展起来的中生代盆地,中生代时期的北羌塘拗陷从下到上充填有下三叠统康鲁组碎屑岩夹灰岩,中三叠统康南组碎屑岩和灰岩,上三叠统肖茶卡组砂泥岩、含煤泥页岩、灰岩和那底岗日组火山岩^[8-10],中下侏罗统雀莫错组碎屑岩夹灰岩,中侏罗统布曲组碳酸盐岩和夏里组碎屑岩,上侏罗统索瓦组碳酸盐岩、上侏罗—下白垩统雪山组紫红色碎屑岩。

中侏罗统布曲组以一套台地相碳酸盐岩沉积为主,纵向上可划分为下、中、上段,各段特征如下:

下段:总体岩性岩相在平面上无明显变化,主要为潟湖相低能沉积的深灰色、灰黑色泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩、含生物泥晶灰岩、核形石灰岩夹少量灰色生物灰岩、含砂屑泥晶灰岩,见少量水平层理,产保存完好的小个体双壳类化石。

中段:该段沉积体的岩性岩相在平面上变化较大,野牛沟地区主要为潮下浅滩相浅灰色、灰白色鲕粒灰岩、砂屑灰岩、砾屑灰岩夹核形石灰岩、白云质鲕粒灰岩及少量泥晶灰岩(图 2);向阳湖南—长蛇山地区和那底岗日地区由潮间潮上带灰色泥晶灰岩、砂屑灰岩、泥质灰岩、白云质灰岩、藻白云岩、膏盐岩及灰绿色泥页岩等组成(图 3),发育水平层理、鸟眼构造、窗孔构造,产双壳、植物孢粉等化石。该段在平面上从北(拗陷内部的野牛沟地区)到南(拗陷边缘的那底岗日地区)具有颗粒灰岩减少、膏盐岩和白云岩增多的趋势;纵向上具有海平面逐渐变浅的充填特征,即在向阳湖南—长蛇山地区和那底岗日地区从下到上具有由潮间坪泥晶灰岩、砂屑灰岩、鲕粒灰岩演变为潮上坪泥质灰岩、膏盐岩及

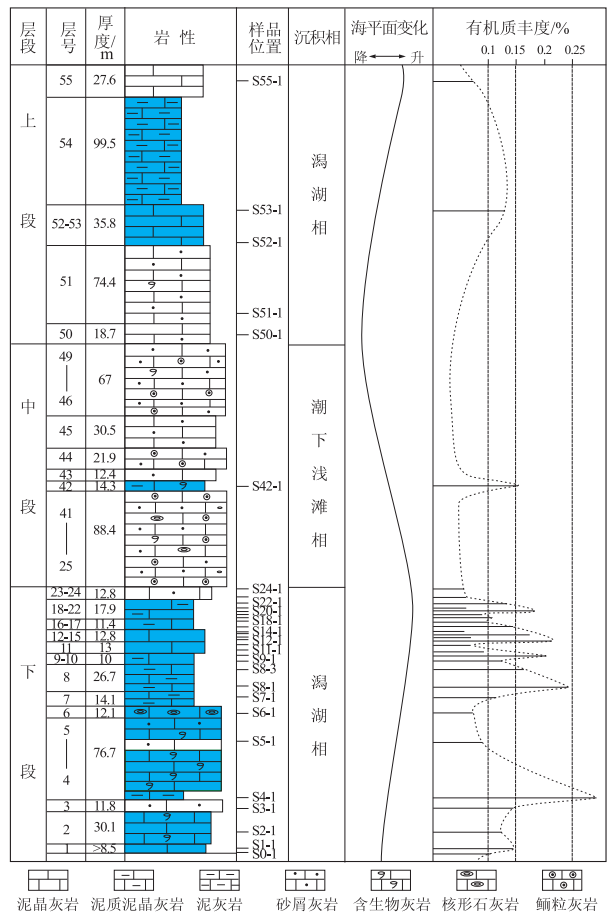


图 2 北羌塘拗陷野牛沟剖面中侏罗统布曲组生油岩分布特征

Fig. 2 Distribution characteristic of Middle Jurassic Buqu Formation source rock in the Yeniugou Section, the North Qiangtang Depression

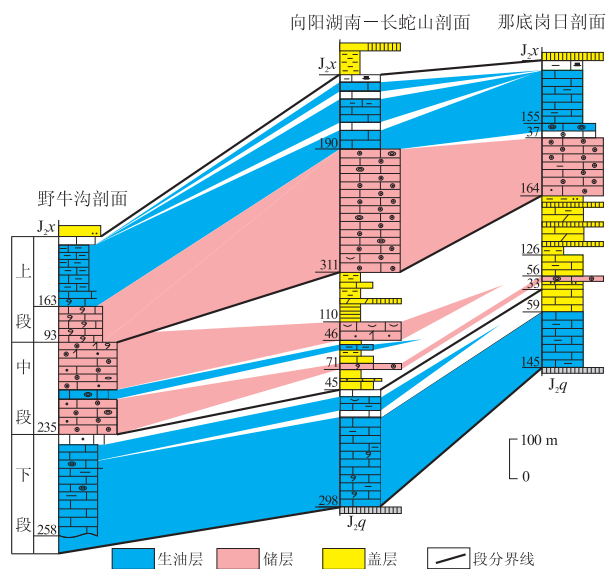


图 3 北羌塘拗陷中侏罗统布曲组生油岩时空分布图中数字为厚度,单位为 m。

Fig. 3 Spatial and temporal distribution of the Middle Jurassic Buqu Formation source rock in the North Qiangtang Depression

泥页岩的变浅沉积序列。

上段:该段沉积体的岩相在平面上有所变化,野牛沟地区主要为潟湖相灰色含生物砂屑泥晶灰岩、深灰色泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩、泥灰岩(图2);向阳湖南—长蛇山地区 and 那底岗日地区为潮下坪浅灰色、灰色鲕粒灰岩、含核形石灰岩和潟湖相深灰色泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩(图3),见粒序层理、斜层理、水平层理,产腕足、双壳等化石。该段在平面上从北到南具有颗粒灰岩增多的特点;纵向上具有变深充填序列,即野牛沟地区由含生物泥晶灰岩演变为泥质灰岩、泥灰岩的变深序列,向阳湖南—长蛇山地区 and 那底岗日地区由潮下颗粒灰岩演变为潟湖相泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩的变深序列。

上述充填特征显示,同一海平面控制下的不同地区,在海平面升降变化过程中,其沉积相和充填物质成分有所不同,即在海平面下降时期(中段),坳陷内部发育潮下浅滩相颗粒灰岩,坳陷边缘则发育潮间潮上带膏泥岩及白云岩,并见暴露标志;海平面上升时期(上段),坳陷内部快速进入潟湖相低能泥晶灰岩、泥质灰岩沉积,而坳陷边缘则由潮坪滩相颗粒灰岩演变为潟湖相泥晶灰岩沉积。

2 典型剖面烃源层特征分析

通过野牛沟剖面野外实测发现,布曲组碳酸盐岩生油岩主要为暗色泥晶灰岩、泥质灰岩、泥灰岩、含核形石泥晶灰岩等。纵向上主要分布于布曲组下段和上段(图2),外观上下段生油层灰岩的颜色较上段暗、厚度更大、质量更好。下段生油层岩性主要为灰黑色、深灰色泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩和含核形石灰岩;中段生油岩主要以夹层形式产出于浅滩相浅灰色颗粒灰岩储层之中,岩性为深灰色泥晶灰岩、含生物泥晶灰岩;上段生油层岩性主要为灰色、深灰色泥晶灰岩、泥质泥晶灰岩及泥灰岩。

剖面系统样品测试分析(表1)(图2)显示,布曲组下段27件泥晶灰岩样品的有机碳含量为0.05%~0.29%,参照前人^[1-3,11-13]对羌塘盆地地表风化样品的各种评价标准,本文拟选取碳酸盐岩有机碳下限0.1%为评价标准,结果显示27件样品中达标16件,达标率为60%。达标样品平均有机碳含量为0.159%;氯仿沥青“A”为 $(6.3\sim 29.4)\times 10^{-6}$,平均 12.95×10^{-6} (本区样品的有机碳含量、氯仿沥青“A”、生烃潜量等偏低原因,可能是由于地表样品长期风化所致。因为羌塘盆地3口浅钻获取的地下样品生油岩参数都较地表高);控制生油岩厚度为245 m。由于中段生油岩以夹层形式出现于

颗粒灰岩中以及上段地层覆盖较强,因此导致样品较少,两段的达标泥晶灰岩生油岩的样品各有1件,有机碳含量分别为0.15%和0.13%,控制生油岩厚度分别为14 m和135 m。

成都地质矿产研究所在1995年承担中石油《西藏地区羌塘盆地玛尔盖茶卡—角木日—朗木凳石油天然气路线地质调查工程》项目期间实测了该剖面并系统取样分析,下段26件样品中25件达标,达标率为96%,达标样品有机碳含量为0.1%~0.33%,平均为0.158%;氯仿沥青“A”为 $(7\sim 22)\times 10^{-6}$,平均为 12.75×10^{-6} ;生烃潜量 S_1+S_2 为0.03~0.116 mg/g,平均0.054 mg/g。表明该段碳酸盐岩几乎可以全作为生油岩。该剖面中段和上段的达标样品各有1件,有机碳含量分别为0.27%和0.12%,生烃潜量平均值分别为0.091 mg/g和0.075 mg/g。

从上述特征看出,布曲组生油岩主要分布于其上下两段,且下段生油层的外观颜色、生油层厚度、有机碳含量均较上段好,为布曲组的主要生烃层段。

3 烃源岩时空分布特征

在典型剖面实测和大量数据分析基础上,笔者对向阳湖南—长蛇山剖面 and 那底岗日剖面的布曲组灰岩生油岩进行了平面追踪调查,其特征如下:

向阳湖南—长蛇山剖面布曲组生油岩层也主要产出其下段和上段。其中下段生油岩主要为灰、深灰色薄—厚层状泥晶灰岩夹泥质灰岩、核形石灰岩、含生物碎屑泥晶灰岩;生油岩有机碳含量0.1%~0.18%,平均为0.13%;氯仿沥青“A”为 $(5\sim 11)\times 10^{-6}$,平均为 8.25×10^{-6} ;生烃潜量 S_1+S_2 为0.02~0.04 mg/g,平均为0.03 mg/g;控制生油岩厚度为244 m。中段主要为潮上坪杂色泥岩、膏盐岩夹少量深灰色泥晶灰岩、泥灰岩,而泥灰岩生油岩的有机碳含量为0.12%~0.2%,平均为0.16%;氯仿沥青“A”为 13×10^{-6} ;控制生油岩厚度为27 m。上段主要为灰—深灰色薄—中层状泥晶灰岩、泥灰岩,有机碳含量为0.1%~0.14%,平均为0.125%;氯仿沥青“A”为 $(4\sim 58)\times 10^{-6}$,平均为 31×10^{-6} ,生烃潜量 S_1+S_2 为0.02~0.59 mg/g,平均为0.14 mg/g;控制生油岩厚度为119 m。

那底岗日剖面的布曲组下段生油岩主要为深灰色、灰色夹灰黑色薄—厚层状泥质泥晶灰岩、泥晶灰岩夹泥灰岩,从下到上颜色具变浅趋势,即下部以深灰色、灰黑色为主,上部以灰色、深灰色为主;有机碳含量为0.12%~0.14%,平均为0.13%,氯

表 1 北羌塘坳陷野牛沟剖面生油岩有机碳分析数据

Table 1 Analysis data of source rock organic carbon in the Yeniougou Section, the North Qiangtang Depression

层段	样品 编号	岩性	TOC/%	氯仿沥 青“A”/ 10^{-6}	样品 编号	岩性	TOC/%	氯仿沥 青“A”/ 10^{-6}	生烃潜量 (S_1+S_2)/ ($\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$)
下 段	S0-1	泥晶灰岩	0.10		* YP2-S2	泥晶灰岩	0.19		0.064
	S1-1	泥晶灰岩	0.14		* YP3-S3	泥晶灰岩	0.13		0.056
	S2-1	泥晶灰岩	0.12		* YP4-S4	泥晶灰岩	0.15	10	0.061
	S3-1	泥晶灰岩	0.14		* YP5-S6	泥晶灰岩	0.12		0.054
	S4-1	泥质灰岩	0.29	7.7	* YP6-S7	泥晶灰岩	0.12		0.037
	S5-1	泥晶灰岩	0.09		* YP7-S8	泥晶灰岩	0.17	7	0.070
	S6-1	核形灰岩	0.07		* YP8-S9	泥晶灰岩	0.32		0.104
	S7-1	泥质灰岩	0.11		* YP9-S11	泥晶灰岩	0.12		0.034
	S8-1	泥质灰岩	0.24	8.4	* YP10-S12	泥晶灰岩	0.21		0.050
	S8-3	泥晶灰岩	0.16		* YP11-S13	泥晶灰岩	0.12		0.049
	S9-1	泥晶灰岩	0.12		* YP12-S14	泥晶灰岩	0.11		0.033
	S10-1	泥晶灰岩	0.20		* YP13-S15	泥晶灰岩	0.11		0.082
	S11-1	泥晶灰岩	0.09		* YP14-S16	泥晶灰岩	0.15	12	0.043
	S11-2	泥晶灰岩	0.06		* YP15-S17	泥晶灰岩	0.13		0.037
	S12-1	泥晶灰岩	0.21	29.4	* YP16-S18	泥晶灰岩	0.13		0.036
	S13-1	泥晶灰岩	0.07		* YP17-S20	泥晶灰岩	0.16		0.030
	S14-1	泥晶灰岩	0.17	6.3	* YP18-S21	泥晶灰岩	0.10		0.039
	S15-1	泥晶灰岩	0.05		* YP20-S22	泥晶灰岩	0.17		0.039
	S16-1	泥质灰岩	0.14		* YP21-S24	泥晶灰岩	0.13		0.051
	S17-1	泥晶灰岩	0.09		* YP22-S25	泥晶灰岩	0.12		0.041
	S18-1	泥晶灰岩	0.10		* YP23-S26	泥晶灰岩	0.10		0.048
	S19-1	泥晶灰岩	0.09		* YP24-S27	泥晶灰岩	0.33		0.116
	S20-1	泥质灰岩	0.18		* YP25-S29	泥晶灰岩	0.15	22	0.056
	S21-1	泥晶灰岩	0.06		* YP28-S30	泥晶灰岩	0.29		0.083
S22-1	泥晶灰岩	0.13		* YP29-S31	泥晶灰岩	0.11		0.044	
S23-1	泥晶灰岩	0.06		* YP30-S32	泥晶灰岩	0.08		0.034	
中 段	S42-1	泥晶灰岩	0.15		* YP37-S33	泥晶灰岩	0.08		0.054
					* YP38-S34	泥晶灰岩	0.06		0.055
					* YP41-S35	泥晶灰岩	0.27		0.165
上 段	S53-1	泥晶灰岩	0.13		* YP45-S36	泥晶灰岩	0.09		0.044
	S55-1	泥晶灰岩	0.08		* YP47-S37	泥晶灰岩	0.12	125	0.061

注：* 为成都地质矿产研究所于 1995 年对该剖面的实测及取样分析测试数据。

仿沥青“A”为 $(6 \sim 17) \times 10^{-6}$ ，平均为 9.7×10^{-6} ；控制生油岩厚度为 145 m。该剖面中段主要为潮上坪的膏泥岩和浅灰色泥晶灰岩、泥晶白云岩、钙质泥岩夹鲕粒灰岩，几乎不含生油岩。上段主要为深灰色夹灰黑色薄—中层状泥质泥晶灰岩、泥灰岩，其内常夹有泥岩和碳质泥岩生油岩，碳酸盐岩生油岩有机碳含量为 0.11%~0.15%，平均为 0.12%；氯仿沥青“A”为 $(3 \sim 9) \times 10^{-6}$ ，平均为 6.4×10^{-6} ；生烃潜量 S_1+S_2 为 0.027 mg/g；控制碳酸盐岩生油岩厚度为 144 m。

通过 3 条剖面的生油岩产出层段、各段生油岩厚度、有机碳含量等对比分析，发现北羌塘坳陷中西部地区的碳酸盐岩生油岩，在纵向上主要分布于布曲组下段和上段(图 3)，且以下段生油岩颜色更暗、厚度更大、有机碳含量更高，为布曲组的最主要生烃层段。在平面上(图 3)具有从坳陷内部(野牛沟剖面)到坳陷边缘(那底岗日

剖面)生油岩厚度逐渐变薄、浅色非生油层灰岩夹层有所增加、各剖面有机碳平均含量降低等特点。生油层的纵横向变化特征与沉积相和海平面升降变化关系密切，纵向上各剖面生油层段主要产出于潟湖相环境中；平面上显示在海平面上升和潟湖相向海岸迁移过程中生油岩则不断向海岸超覆(如布曲组上段下部的生油层逐渐从野牛沟剖面向那底岗日剖面超覆)，在海平面下降过程中则不断向坳陷内部退缩(如布曲组下段上部的生油层逐渐从那底岗日剖面向野牛沟剖面退缩)，这种海平面升降变化和沉积相迁移导致了生油岩厚度从坳陷内部到坳陷边缘逐渐减薄。

4 结论及意义

1) 北羌塘坳陷中侏罗统布曲组碳酸盐岩生油岩在纵向上主要产出于其上下两段，横向上具有从坳陷内部到坳陷边缘厚度减薄、有机碳含量降低等

特点。

2)生油层的纵横向分布受沉积相和海平面升降变化的控制明显。生油层主要产出于潟湖相环境中,且随海平面升降变化而不断迁移,这种迁移导致了生油岩厚度随之变化。

3)通过北羌塘坳陷地区布曲组生油岩的时空分布特征等分析,对认识整个盆地布曲组生油岩分布特征、寻找主要生油坳陷等具有重要的实际意义。

4)通过生油岩厚度、有机碳含量等变化特征及控制因素分析,对评价盆地布曲组油气资源潜力,估算该层位资源量,确定主要生烃层段等都具有重要意义。

参考文献:

[1] 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,2007:78-79,113-115.

[2] 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,2004:158-160,178-181.

[3] 赵政璋,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,2001:174-175,348-351.

[4] 罗建宁,谢渊,王小龙,等. 羌塘盆地石油地质条件与初步评价[J]. 沉积与特提斯地质,2003,23(1):1-12.

[5] 秦建中. 青藏高原羌塘盆地油气资源潜力分析[J]. 石油实验地质,2006,28(6):566-573.

[6] 南征兵,李永铁,郭祖军. 羌塘盆地油气显示及油源对比[J]. 石油实验地质,2008,30(5):503-507.

[7] 费宝生,刘建礼,陆艳芬. 羌塘盆地油气勘探前景展望[J]. 海相油气地质,2006,11(4):13-21.

[8] 王剑,付修根,陈文西,等. 北羌塘沃若山地区火山岩年代学及区域地球化学对比:对晚三叠世火山-沉积事件的启示[J]. 中国科学 D辑:地球科学,2008,38(1):33-43.

[9] 王剑,汪正江,陈文西,等. 藏北北羌塘盆地那底岗日组时代归属的新证据[J]. 地质通报,2007,26(4):404-409.

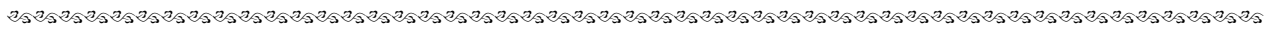
[10] 付修根,王剑,汪正江,等. 藏北羌塘盆地菊花山地区火山岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地球化学特征[J]. 地质论评,2008,54(2):232-242.

[11] 赵政璋,李永铁,叶和飞,等. 青藏高原海相烃源岩层的油气生成[M]. 北京:科学出版社,2000:211.

[12] 杜佰伟,陈明. 羌塘盆地上侏罗统索瓦组烃源岩分布特征及远景分析[J]. 石油实验地质,2008,30(2):174-178.

[13] 罗建宁,雍永源,贾宝江,等. 羌塘盆地西区综合地质工程研究报告[R]. [保存单位不祥],1997:241.

(编辑 黄娟)



(上接第 180 页)

[13] 梅博文,刘希江. 我国原油中异戊间二烯烷烃的分布及其与地质环境的关系[J]. 石油与天然气地质,1980,1(2):99-115.

[14] 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.

[15] POWELL T G, MCKIRDY D M. Relationship between ratio of pristine to phytane, crude oil composition and geological environments in Australia [J]. Nature, 1973, (243): 37-39.

[16] SEIFERT W K, MOLDOWAN J M. Paleoreconstruction by biological markers[J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1981,45:783-794.

[17] 范善发,周中毅,潘长春,等. 塔里木盆地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.

[18] 张水昌. 南海相地层中生物标志物:细菌和藻类生物的贡献[M]. 北京:石油工业出版社,1993.

[19] 范璞. 塔里木油气地球化学[M]. 北京:科学出版社,1990.

[20] VENKATESAN M I. Tetrahymanol: its widespread occurrence and geochemical significance [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta,1989,53(11):3095-3101.

[21] SINNINGHE DAMSTE J S, KENIG F, KOOPMANS M P, et al. Evidence for gammacerane as an indicator of water column stratification [J]. Geochimica et Cosmochimica Ac-

ta. 1995,59(9):1895-1900.

[22] 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.

[23] VOLKMAN J K. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter [J]. Organic Geochemistry, 1986,9(2):83-99.

[24] 段毅,吴保祥,郑国东,等. 沉积物的单体异构和环烷烃碳同位素研究[J]. 科学通报,2004,49(2):199-202.

[25] MACKENZIE A S, BRASSELL S C, EGLINTON G, et al. Chemical fossils - the geological fate of steroids [J]. Science,1982,217(4559):491-504.

[26] MOLDOWAN J M, ALBRECHT P, PHILIP R P, et al. Biological markers in sediments and petroleum[M]. New Jersey: Prentice Hall, 1992:268-280.

[27] 陈建平,黄第藩. 酒东盆地油气生成和运移[M]. 北京:石油工业出版社,1995.

[28] 陈文彬,廖忠礼,付修根,等. 北羌塘盆地布曲组烃源岩生物标志物特征及意义[J]. 沉积学报,2007,25(5):808-814.

[29] 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):17-19.

(编辑 黄娟)