

川东北地区通南巴构造带裂缝储层的形成与天然气充注

张元春, 邹华耀, 李平平, 匡大庆

中国石油大学(北京); 油气资源与探测国家重点实验室, 北京 102249

摘要 裂缝型气藏是川东北地区重要的勘探目标之一, 但对裂缝储层的发育特征和气藏的充注历史研究相对薄弱。本文利用岩心和成像测井分析裂缝特征, 并结合流体包裹体测试技术确定通南巴构造带裂缝型气藏天然气充注时间。研究表明: ① 裂缝型储层主要分布在飞三段(T_{1f^3})的鲕粒灰岩和嘉二段(T_{1j^2})的砂屑灰岩中, 以高角度缝和垂直缝为主; ② 裂缝走向与邻近断裂走向一致, 受中燕山运动以来大巴山构造北东—南西向推覆挤压作用, 大致形成于晚侏罗世; ③ 流体包裹体测温揭示天然气充注时间为晚侏罗世(160~148Ma); ④ 裂缝发育时间与烃源岩生气高峰相匹配是控制通南巴构造带天然气充注时间的关键因素。

关键词 裂缝储层; 天然气来源; 充注历史; 通南巴构造带

中图分类号 TE122

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2010)15-0053-05

Fracture Development and Accumulation History of Fractured Reservoirs in Tongnanba Belt, Northeastern Sichuan Basin

ZHANG Yuanchun, ZOU Huayao, LI Pingping, KUANG Daqing

State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing 102249, China

Abstract The fractured reservoirs are one of the most important prospecting targets in northeastern Sichuan Basin. However, the development features of fractures and the filling history of these fracture reservoirs were not well studied. This paper mainly analyzes the fracture characteristics by image logging and determines the charging time of gas reservoirs in Tongnanba structure belt by fluid inclusion measurements. The main conclusions can be summarized as follows. Firstly, the fractured reservoirs are mostly distributed in ooid limestone and grey dolarenite, respectively, in T_{1j^2} and T_{1f^3} formations, and dominate by high-angle or vertical fractures. Secondly, the trend of fractures is consistent with that of neighboring faults due to the northeast-southwest compression stress due to Daba Mountain structure and medium-late Yanshan Movement, which indicates that fractures might be formed in the era of late Jurassic. Thirdly, the gas charging time is about late Jurassic (160~148Ma) as confirmed by fluid inclusion measurements. Fourthly, it is the most important factor for the gas filling time that the development time of fractured formation matches with the gas-generating peak of the source rock in Tongnanba structure belt.

Keywords fractured reservoir; gas origin; filling history; Tongnanba structure belt

0 引言

通南巴(通江—南江—巴中)构造位于四川盆地东北缘, 介于米仓山造山带和大巴山造山带构造叠合区, 北侧为秦岭造山带南缘的米仓山冲断构造带, 东北侧为大巴山弧形推覆构造带, 南邻川中平缓构造带, 构造带走向由南向北呈北东

至北北东向, 为一大型背斜^[1-3](图1)。目前测试工业天然气流层位主要位于嘉陵江组二段(T_{1j^2})灰色砂屑白云岩和飞仙关组三段(T_{1f^3})鲕粒灰岩段, 以裂缝型储层为主, 其中 HB1 井 T_{1j^2} 4486~4500m 测试产气 $6.26 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, T_{1f^3} 4970.0~4984.0m 段测试产气 $29.6 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$; HB2 井 T_{1f^3} 5105~5112m 酸化压裂

收稿日期: 2010-05-17

基金项目: 国家自然科学基金项目(40772089)

作者简介: 张元春, 博士研究生, 研究方向为油气藏成藏机制, 电子信箱: z_yuanchun@yahoo.com.cn; 邹华耀(通信作者), 教授, 研究方向为油气藏成藏机制及富集规律, 电子信箱: huayaozou@cup.edu.cn

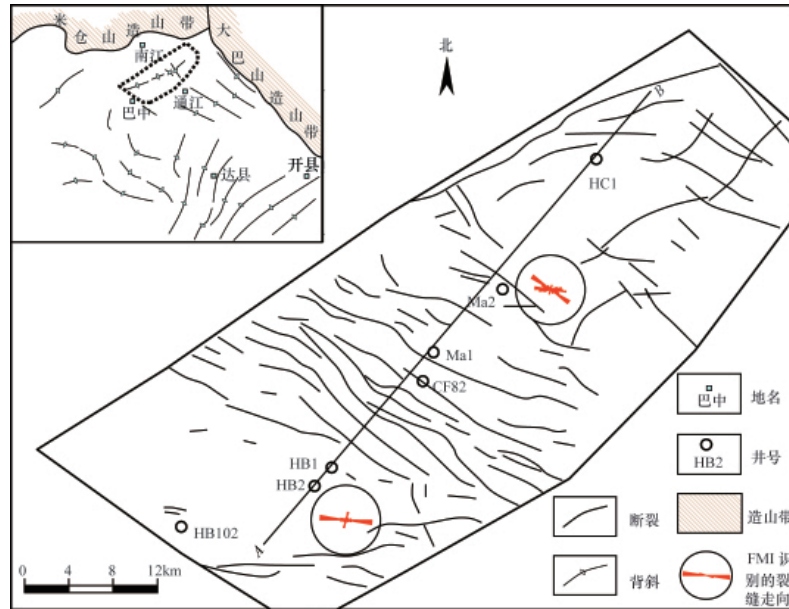


图 1 川东北地区通南巴构造带位置与 T_1f^4 底面断裂分布

Fig. 1 Location and faults distribution on the bottom of the fourth member of T_1f^4 in Tongnanba Belt, Northeast Sichuan Basin

后产气高达 $204 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$, 表现出了良好的勘探前景。但是, 关于该区储层裂缝的形成及其天然气的来源、充注历史和成藏过程与控制因素, 还没有开展系统的研究。本文基于测井资料裂缝解释、天然气藏地球化学资料, 探讨了该区储层裂缝的形成、天然气来源、充注历史及其控制因素。研究成果对该区天然气勘探有一定参考价值。

1 区域构造特征

通南巴构造演化受米仓山隆起和大巴山构造带的共同作用。上二叠统沉积之前, 该区为稳定碳酸盐岩台地环境, 整体地层厚度稳定, 变形程度弱。中三叠世末印支运动结束了海相沉积, 进入陆相湖盆发育阶段; 早侏罗世(印支运动晚期—燕山运动早期), 受秦岭造山带影响, 米仓山开始隆升, 产生近南北向构造挤压应力, 开始形成北东东向通南巴大型褶皱; 中侏罗世(燕山运动中期), 米仓山—大巴山复合阶段^[2], 北东东向断裂被北西向断裂切割明显(图 1), 反映大巴

山构造带对通南巴构造带的影响晚于米仓山隆起, 大约在中侏罗世末期; 晚侏罗世至今(燕山运动晚期—喜马拉雅期), 南北向构造应力减弱, 受大巴山构造带北西向推覆挤压作用, 通南巴构造从北东到南西, 褶皱幅度减小, 断裂走向从北西向北西西偏转, 反映越靠近大巴山山前受北东—南西向构造应力作用影响越大。此外, 由于通南巴构造并不位于大巴山弧形构造带纯挤压部位, 除了北西向和北西西向挤压应力外, 还有一个沿北西向的剪切作用^[4]。现今飞四段(T_1f^4)底面北西—南东向断裂密度明显大于北东—南西向断裂密度, 揭示了晚侏罗世至今, 研究区主要受大巴山构造带北东—南西向区域应力场作用。

2 储层裂缝的发育特征与形成

通南巴构造裂缝型储层主要分布在 T_1f^3 的鲕粒灰岩和 T_1j^2 的砂屑白云岩中, 储层厚度较薄, 在 10~30m 之间(图 2)。利用成像测井识别裂缝, 结果表明 HB2 井 T_1f^3 裂缝以高角度

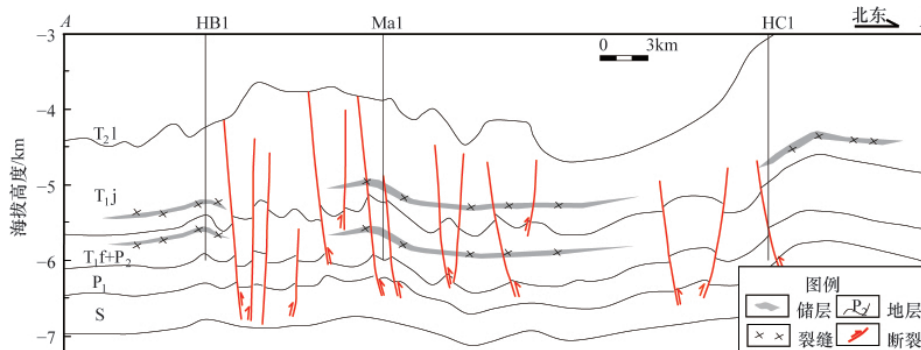


图 2 通南巴构造带裂缝储层分布示意图(剖面 AB 位置见图 1)

Fig. 2 Schematic diagram of fractured reservoirs in Tongnanba Belt (section AB location seeing Fig. 1)

缝和垂直缝为主(图3),近东西向走向,倾向南;裂缝纵向延伸长,65%以上裂缝长度大于1m,主要在1~5m之间,个别裂缝长度近9m;说明不仅层内发育裂缝,还有裂缝沟通上下岩层,裂缝发育规模较大^[5]。Ma2井 $T_{if}^3 \sim T_{if}^4$ 裂缝较发育,以中高角度裂缝为主,北西向走向,倾向有两组,一组向北倾,一组向南西倾。 T_{ij}^2 裂缝发育,以高角度缝和垂直缝为主,倾角在

66°~89°之间,近东西向走向,倾向有两组,一组向南倾,一组向北倾。该区裂缝走向与邻近断裂走向基本一致(图1),主要受燕山运动中期大巴山构造带北东—南西向构造挤压作用,产生了北西向逆冲断裂和裂缝;大约到晚侏罗世,北东—南西向构造挤压应力加强,发育了大量北西—南东断裂和裂缝,形成了具有储集意义的裂缝型储层^[2,4,6]。

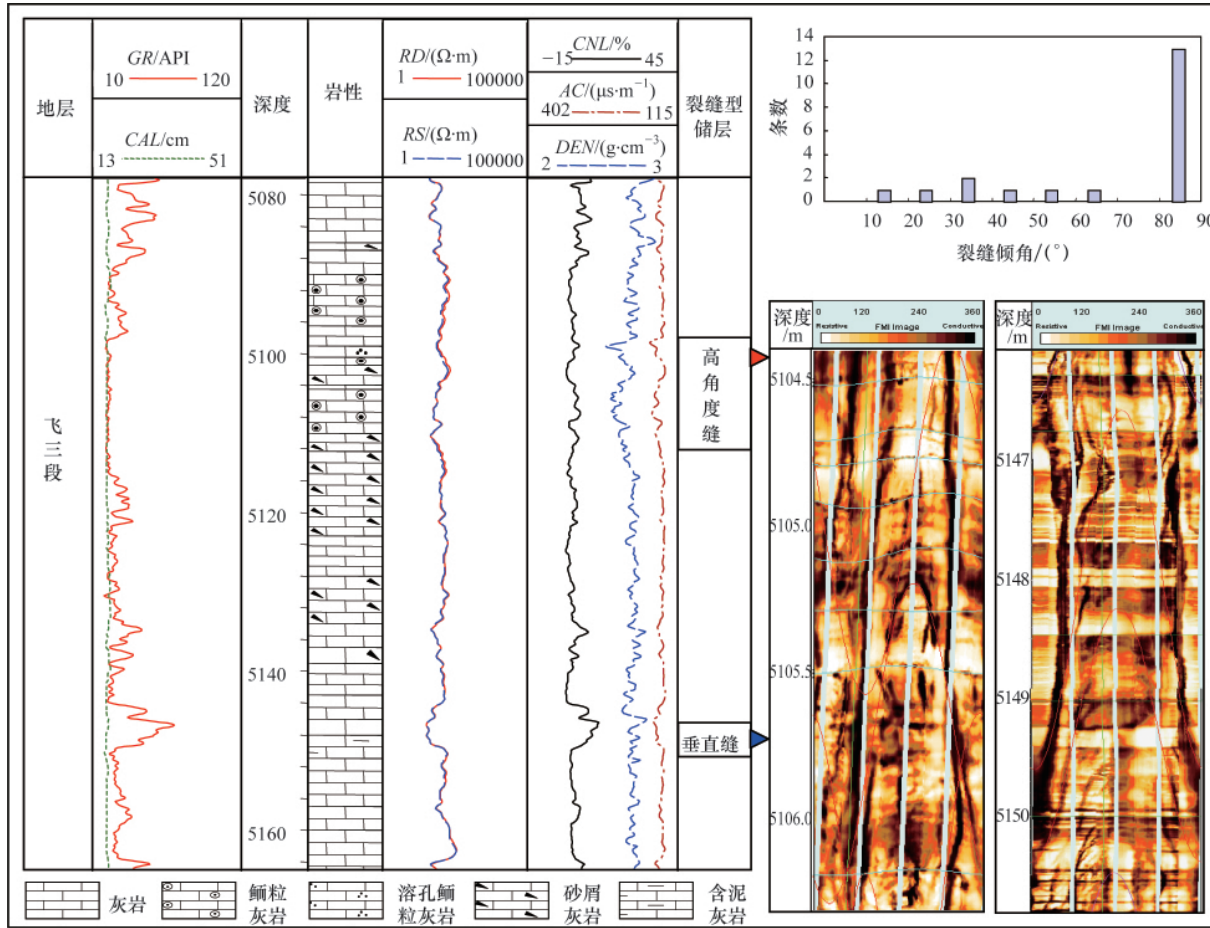


图3 HB2井 T_{if}^3 裂缝发育特征
Fig. 3 Characteristics of fracture in T_{if}^3 , HB2 Well

3 天然气的来源与充注历史

现今气藏中天然气组分以烃类气体为主,甲烷物质的量含量 C_1 在 87.03%~97.66%, 乙烷物质的量含量 C_2 在 0.01%~1.36%之间,丙烷的物质的量含量 C_3 在 0.1%以下,基本不含 H_2S 和 CO_2 。由 $\ln(C_1/C_2)$ 与 $\ln(C_2/C_3)$ 的关系图(图4)可知,通南巴构造 T_{if}^3 和 T_{ij}^2 天然气与普光气田 T_{if} 和长兴组(P_{2ch})原油裂解气差异明显^[6],主要为干酪根初次裂解气。

本文通过测定与纯气包裹体伴生的同期盐水包裹体的均一温度,结合埋藏史,确定了烃类充注时间。测试仪器:THMS600G型冷热台,英国 Linkam 公司,测量误差为 $\pm 0.1^\circ C$; BX51显微镜,日本 Olympus 公司,配 100 倍长焦距工作镜头。观测发现流体包裹体主要以纯天然气单一相包裹体、含烃盐水两相包裹体、盐水两相包裹体为主。比较普光气田 T_{if} 和

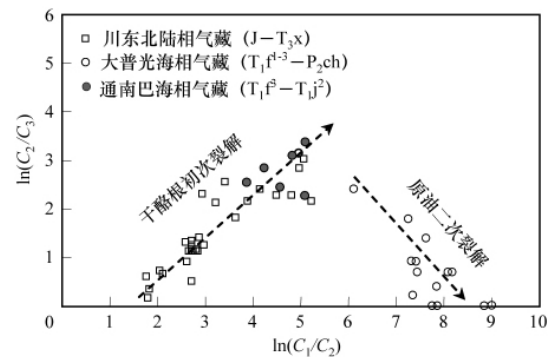


图4 通南巴构造天然气 $\ln(C_1/C_2)$ 、 $\ln(C_2/C_3)$ 比值分布和成因分类
Fig. 4 $\ln(C_1/C_2)$ versus $\ln(C_2/C_3)$ for gas pools in Tongnanba Belt and their gas origin analysis

P₂ch 岩心观察的大量固体沥青和镜下观察到的大量沥青包裹体,可揭示古原油充注过程^[6-8]。通南巴构造带裂缝型储层中,岩心观察裂缝中无沥青充填,镜下观察也未发现大量沥

青包裹体,因此推断其主要是天然气直接充注。纯气包裹体伴生的盐水包裹体均一温度主峰在 145~165℃,天然气充注时间大约为晚侏罗世(160~148Ma)(图 5)。

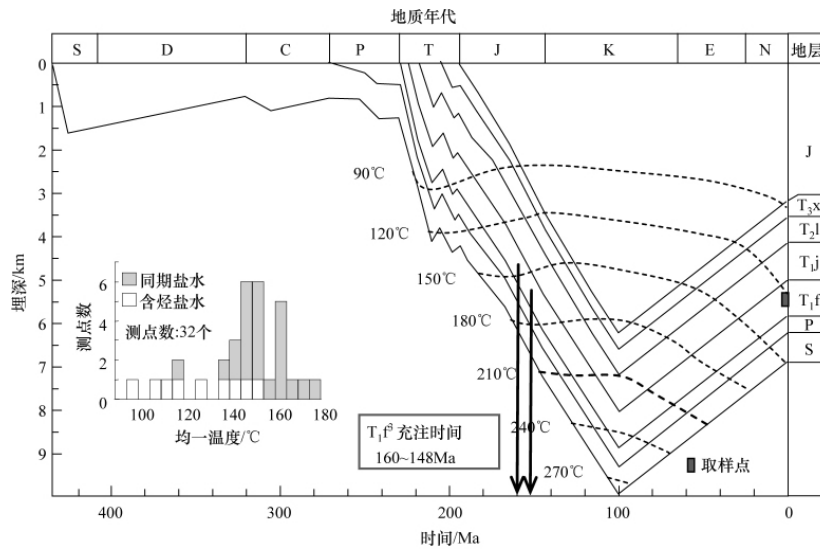


图 5 HB102 井 T₁f 天然气充注期次与时间

Fig. 5 Period and time of hydrocarbon filling in T₁f, HB102 Well

4 天然气成藏过程分析

通南巴构造带主力烃源岩是上二叠统龙潭组泥岩,有机质类型表现为偏油型^[1,6-8]。热史、埋藏史恢复的烃源岩生烃史表明(图 6),晚三叠世(约 220~200Ma)龙潭组泥岩达到生烃

门限(镜质体反射率 $R_o=0.5\%$)进入生油期;早侏罗世(约 190~175Ma)达到生油高峰($R_o=0.75\%$);晚侏罗世至早白垩世(约 155~140Ma)达到生气高峰($R_o=1.75\%$);早白垩世末期随着构造抬升,烃源岩的生烃作用结束。

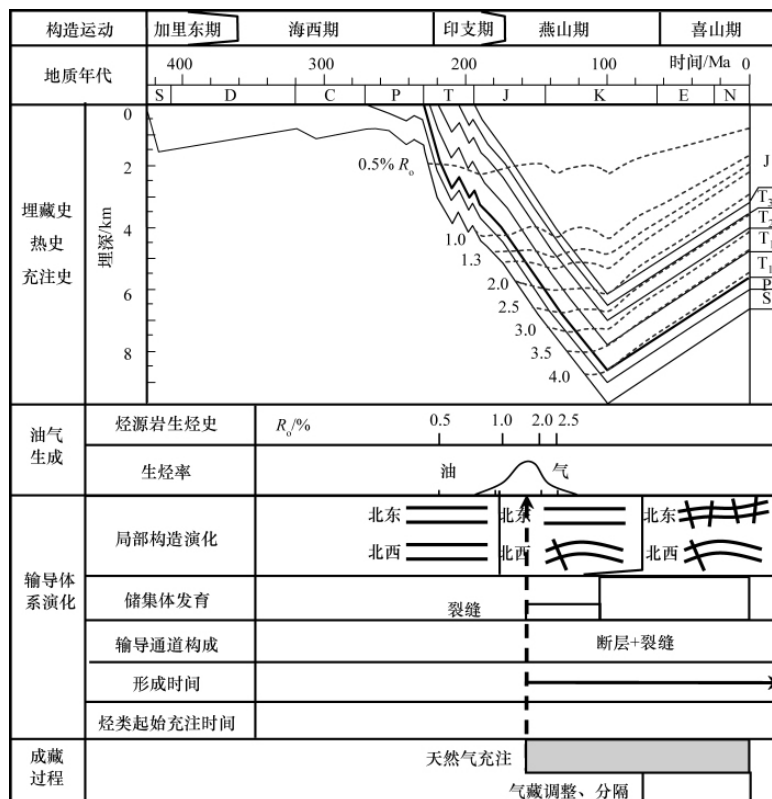


图 6 河坝气藏烃源岩生烃史与输导体系发育演化配置关系及其成藏过程

Fig. 6 Diagram showing match between hydrocarbon generation history and fluid flow conduit system and gas migration and accumulation history in Heba gas pool

通南巴构造带气藏储层主要是 T_{1f}^3 和 T_{1j}^2 裂缝性储层, 输导体系由断层—裂缝性储层构成^[7]。晚印支—早燕山烃源岩进入生油高峰时, 主要受米仓山隆起南北向挤压应力作用, 通南巴背斜雏型已形成, 发育小规模断裂。但由于 T_{1f}^3 和 T_{1j}^2 垂向距离源岩较远, 小规模断裂不足以沟通烃源岩和储层, 更为关键的是该时期构造挤压相对较弱, 还未能形成具有储集意义的裂缝性储层。直到燕山运动晚期, 受大巴山构造带挤压推覆作用明显增强, 多期构造挤压形成北西向和北西西向断裂的同时, 产生了大量裂缝, 具备了一定的储集性能, 此时断裂输导能力增强, 恰逢上二叠统龙潭组烃源岩生气阶段, 以天然气充注为主, 因此, 裂缝型气藏天然气组分主要是干酪根裂解气, 裂缝内也未见沥青存在。这与充填的方解石裂缝中观察到大量纯气包裹体一致。可见, 裂缝型储层形成与烃源岩裂解气生成高峰期匹配, 是控制通南巴构造气藏形成的关键因素。

5 结论

通南巴构造带裂缝主要分布在 T_{1f}^3 的鲕粒灰岩和 T_{1j}^2 的砂屑灰岩中, 裂缝发育主要受大巴山构造带北东—南西向构造挤压应力作用, 形成于晚侏罗世。储层以高角度缝和垂直缝为主, 北西、北西西走向, 与邻近断层走向基本一致。

裂缝型储层形成时间与烃源岩生气高峰相匹配控制了天然气充注时间, 现今气藏天然气以烃类气体为主, 为干酪根初次裂解气。流体包裹体测试表明天然气充注时间约为晚侏罗世 (160~148Ma), 证实与构造演化分析的裂缝形成时间相一致。

参考文献 (References)

[1] 龙胜祥, 郭彤楼, 刘彬, 等. 通江—南江—巴中构造河坝飞仙关组三段、

嘉陵江组二段气藏形成特征研究[J]. 地质学报, 2008, 82(3): 338-346.

Long Shengxiang, Guo Tonglou, Liu Bin, et al. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(3): 338-346.

[2] 沈传波, 梅廉夫, 徐振平, 等. 四川盆地复合盆山体系的结构构造和演化[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(3): 288-299.

Shen Chuanbo, Mei Lianfu, Xu Zhenping, et al. *Geotectonica Et Metallogenia*, 2007, 31(3): 288-299.

[3] 段金宝, 黄仁春, 程胜辉, 等. 川东北通南巴构造嘉二段储层特征与主控因素[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(5): 207-210.

Duan Jinbao, Huang Renchun, Chen Shenghui, et al. *Journal of Oil and Gas Technology*, 2008, 30(5): 207-210.

[4] 姜复东, 苏培东, 秦启荣. 通南巴地区主要构造成因模式探讨[J]. 断块油气田, 2005, 15(30): 14-17.

Jiang Fudong, Su Peidong, Qin Qirong. *Fault-Block Oil & Gas Field*, 2005, 15(30): 14-17.

[5] 曾联波. 低渗透砂岩储层裂缝的形成与分布[M]. 北京: 科学出版社, 2007. Zeng Lianbo. Formation and distribution of fractures in low permeability sandstone reservoirs[M]. Beijing: Science Press, 2007.

[6] 李平平. 川东北海相碳酸盐岩层系油气输导体系与富集机制 [D]. 北京: 中国石油大学(北京)地球科学学院, 2009.

Li Pingping. Conduit system and petroleum accumulation mechanism of marine carbonate strata in northeast of Sichuan Basin [D]. Beijing: College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing, 2009.

[7] 朱扬明, 王积宝, 郝芳, 等. 川东宣汉地区天然气地球化学特征及成因[J]. 地质科学, 2008, 43(3): 518-532.

Zhu Yangming, Wang Jibao, Hao Fang, et al. *Chinese Journal of Geology*, 2008, 43(3): 518-532.

[8] Zou H, Hao F, Zhu Y, et al. Source rocks for the giant Puguang gas field, Sichuan basin: Implication for petroleum exploration in marine sequences in South China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 2008, 82(3): 477-486.

(责任编辑 刘志远)

·学术动态·

“第 37 届国际高效液相色谱和相关技术会议 及仪器展览会”征稿



中国化学会将于 2011 年 10 月 9—13 日在辽宁省大连市举办“第 37 届国际高效液相色谱和相关技术会议及仪器展览会”。

征文内容包括如下方面: 分离科学原理; 理论模型; 数据分析; 液相分离技术的研究进展; 塔技术和固定相; 整体柱和小颗粒; 超压和高温色谱法; 微型分离和微全分析系统; 微流控; 芯片和纳米技术; 微型检测; 电分离技术; 毛细管电泳; 样品制备方法; 联用分离; LC-MS、CE-MS、LC-NMR、和其他联用技术; 多维分离技术; 仪器仪表及检测方法; 在生命科学和药物发现中的应用; 代谢组学; 蛋白质组学; 糖组学; 生物标志物的发现和验证; 临床、法医和毒理分析; 医药分离和分析; 药物滥用和兴奋剂分析; 天然产物分析; 中医分析; 其他方面的应用; 食品安全; 环境与农业分析; 手性分离; 聚合物分析; 寡核苷酸分离。

征文截止时间: 2011 年 8 月。

联系方式: 大连市中山路 457 号 (116023), 侯晓莉; 电话: 0411-84379520; 传真: 0411-84379559; 电子信箱: hplc_dalian@dicp.ac.cn。

会议网址: <http://www.hplc2011.dicp.ac.cn>。