

文章编号: 1001-6112(2009)01-0031-05

# 川东南地区下古生界地震相特征及意义

施泽进<sup>1</sup>, 田亚铭<sup>1</sup>, 韩小俊<sup>1</sup>, 王长城<sup>1</sup>, 高林<sup>1,2</sup>

(1. 成都理工大学 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都 610059;

2. 中国石油化工股份有限公司 勘探南方分公司, 成都 610041)

**摘要:**越来越多的地震方法被引入用来解决地质问题, 却忽略了传统地震相分析这一与地质因素联系最为直接的方法。通过川东南地区下古生界地震相研究, 在该地区识别了前积地震相、丘状地震相、透镜状、梭状、波状及弱变振幅、眉状等典型地震体, 平面上进行地震相组合之后, 结合区域地质资料及单井沉积相分析, 可以指导沉积相精细研究, 预测有利储集体分布区带, 指导储集层预测研究, 该方法对于那些勘探程度不高的地区意义尤为重要。

**关键词:**地震相; 地震相组合; 沉积相; 储层预测; 下古生界; 川东南

**中图分类号:** TE122.24

**文献标识码:** A

## THE SEISMIC FACIES STUDY OF THE LOWER PALEOZOIC AND ITS GEOLOGICAL SIGNIFICANCE IN THE SOUTHEAST MARGIN OF SICHUAN BASIN

Shi Zejin<sup>1</sup>, Tian Yaming<sup>1</sup>, Han Xiaojun<sup>1</sup>, Wang Changcheng<sup>1</sup>, Gao Lin<sup>1,2</sup>

(1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China; 2. Southern Exploration Branch Company, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610041, China)

**Abstract:** Through the seismic method to resolve the geology problem, more and more new way is advanced, however, the traditional seismic facies analysis technique, which has directness contact with the geology factors, is neglected. Based on the seismic facies analysis in the southeast margin of Sichuan basin, the prograding structure seismic facies, slump andenticular seismic facies, wave seismic facies and varied amplitudes seismic facies are identified. Using the seismic facies assemblage analysis method, combined with geological data and the sedimentary facies analysis of single drill, to study the sedimentary facies and reservoir prediction research, is very easy, and is quite adapt to carry out in the relatively lowdegree exploration areas of lacking drill bores.

**Key words:** seismic facies; seismic facies assemblage; sedimentary facies; reservoir prediction; Lower Paleozoic; the southeast margin of Sichuan Basin

川东南探区位于四川盆地川东高陡构造带和川南中低缓构造带(包括綦江区块、赤水外围区块), 总面积约 8 000 km<sup>2</sup>。20 世纪 60 至 90 年代, 滇黔桂石油勘探局和四川石油勘探局先后在川东南、川东赤水、合江、綦江、永川等地区进行石油勘探, 仅有少部分井钻达下古生界志留系、奥陶系, 但普遍遭遇强烈井喷、井涌、气浸、气测异常等显示。然而, 至今为止, 川东南地区上震旦统灯影组一下二叠统气藏的勘探, 却并未取得重大突破, 究其原

因, 在于川东南地区下古生界有利储层分布范围不清, 难以有效识别。随着川东北普光地区海相地层的突破, 进行川东南地区下古生界研究, 寻找有利储层分布范围具有重大意义。但该区钻井少, 如何有效地进行沉积相研究, 识别该区有利储集相分布呢?

由区域地质资料、野外露头及丁山 1 井测井和岩心资料所建立的沉积相模式可知, 川东南地区 Z—P 层系处于上扬子克拉通盆地台地及陆棚沉积

收稿日期: 2008-03-06; 修订日期: 2008-12-23。

作者简介: 施泽进(1965—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 矿产普查与勘探、构造地质学专业。E-mail: szj@cdu.edu.cn。

基金项目: 国家自然科学基金委员会与中国石油化工股份有限公司联合基金资助项目(40739903)。

相区,主要勘探目的层中不同程度发育有各种储集体,如滩、生物礁、障壁岛(或砂坝)、塌积体、溶蚀孔洞(洞穴)、白云岩化等。这些有利储集体或相带,为地震相尤其是储层地震相分析提供了重要依据。因此,利用该区大量二维或三维地震测线资料,通过地震相分析,结合已有的钻井资料,可以有效地识别沉积相及有利相带分布范围,对油气勘探具有重要的实际意义。

## 1 地震相研究现状及方法

地震相是沉积相宏观特征的地震反射响应,代表了产生其反射沉积物的一定岩性组合、层理和沉积特征<sup>[1~4]</sup>。当前,油气勘探已逐渐由构造油气藏勘探转向以复杂油气藏勘探为主。随着地层采集数据的增加,大量地震资料被引入,许多新的寻找隐蔽油气藏方法被采用,如三维可视化技术、相干技术、高分辨率反演方法、地震属性分析方法等<sup>[5~7]</sup>。这些方法技术在预测储层及油气勘探中起到了一定作用,但通过依靠高精尖数学方法处理的地震反演及储层预测等技术来解释复杂地质问题的同时,由于忽略了与地质特征联系最为紧密的地震反射波组结构的解释与分析,在实际应用中效果并不明显。在关注这些新的地震方法引入地震资料分析的同时,传统地震分析方法却没有什么发展和得到很好的应用,这不能不说是地震解释的一个遗憾<sup>[8,9]</sup>。

本文在分析川东南地区区域地质特征基础上,通过地震剖面测线资料逐条分析对比,抓住典型地震相响应特征,在每条测线上把诸如各种前积、侧积、超覆等地震信息进行详细标注,并对此信息在平面纵横向上进行矢量图组合和平面成图,进行地震相综合解释研究,圈定局部地震异常,进而结合单井及区域地质资料分析研究沉积相,预测有利储集体相带,从而指导油气勘探部署。

## 2 典型地震相响应特征及解释

通过川东南地区大量地震测线资料逐一分析对比,主要发现了前积地震相、丘状地震相、透镜状、梭状、波状、弱变振幅及眉状等地震相(图 1),各地震相反射特征及可能的沉积相解释如表 1 所示。

### 2.1 前积地震相

倾斜反射结构是其主要特征。沿沉积体倾向及斜切方向均能见到前积结构,沿走向在台盆地区就不如三角洲前缘相那样呈典型的丘状,而是长条状或宽缓的似丘状。这类地震相通常出现在克拉

通盆地各类台地缓坡地带或陆棚区陡坡带,随着坡带不断发育,携带沉积物的水流向前(盆地方向)推进(前积)而形成高能沉积体,其排列方向可指示物源方向。川东南地区主要发育有叠瓦状、斜交型、S型或S—斜交复合型前积地震相(图 1a,b,c),各种不同前积结构类型反映了具有不同沉积能量、构造沉降速率、沉积物供给速率、水深和海平面位置的组合。勘探实践已经证明,这是一类反映有利油气富集的储层地震相。在C、S、P<sub>1</sub>各储层段多见叠瓦状地震相,其次为斜交型地震相,局部出现S型或S—斜交复合型地震相。

### 2.2 丘状地震相

该地震相单元以同相轴底平顶凸、四面下倾呈丘状几何形态为典型特征,其内部结构表现为空白、双向下超或杂乱,上覆层反射连续性较好,频率增高,呈超覆披盖结构(图 1a,d,e)。其形成与沉积作用直接相关,也有的是滑塌作用所致。由于各勘探目的层形成时沉积背景的差异,不同层位丘状地震相所代表的地质属性不同,如茅口组、石牛栏组碳酸盐岩层位丘状地震相多为碳酸盐岩岩隆建

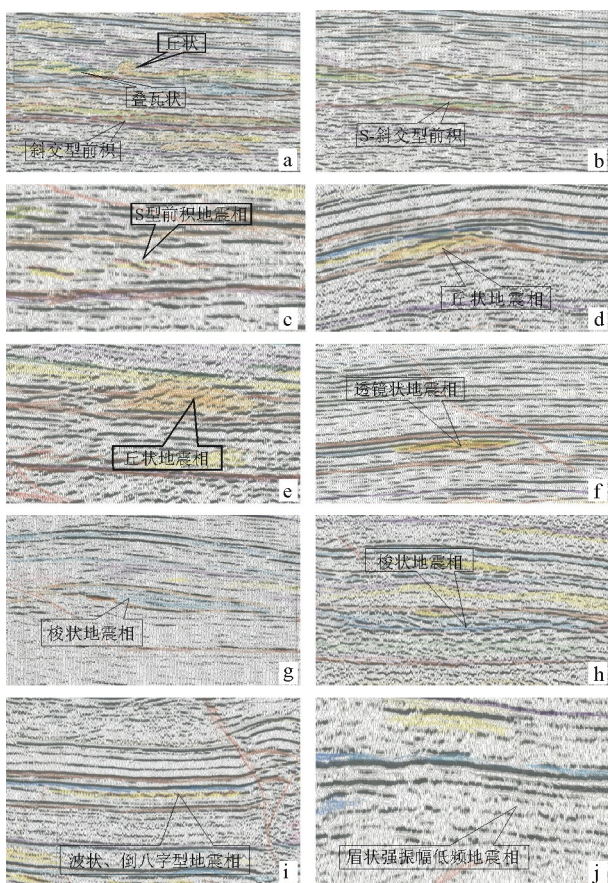


图 1 川东南地区下古生界地震相反射特征

Fig. 1 Seismic facies characteristic of the Lower Paleozoic in the southeast margin of Sichuan Basin

表 1 川东南地区地震相特征及沉积解释

Table 1 Seismic facies characteristic and its explain in the southeast of Sichuan Basin

序号	地震相类型		地质属性		反射特征	层位	分布地区	储集条件评价
1	前 积 相	叠瓦状型	碳 酸 盐 岩 隆	滩、 礁、 礁滩	倾斜反射、低角度叠瓦状	C—P <sub>1</sub>	川东南东北部 少;东部及西南部 多	有利
		斜交型			倾斜反射、平行斜交状			
		S 型			反 S 形倾斜反射			
		S—斜交型			反 S 型与斜交反射复合			
2	丘状型		障壁岛		丘状外形内部空白、上层超覆披盖	S <sub>1</sub> —P <sub>1</sub>	川东南东、中部	有利
					丘状外形、内部强弱变振幅、杂乱、上层披盖	ε	川东南南部、东中部	
3	梭状型		层间剥离构造		梭状外形、内部亚平行、变振幅、断续	ε <sub>2</sub>	川东南全区	有利
					梭状外形、内部强振幅、波状、似前积			不利
4	波状型		古侵蚀面(溶蚀型)		弱变振幅、断续波状、倒八字形	P <sub>1</sub> 顶部	川东南东部	有利
5	弱变振幅带		裂缝带		弱变振幅不连续	ε <sub>2-3</sub>	川东南东部、东北部	较有利
6	眉状强振幅低频		白云岩化		眉状强振幅低频	S <sub>1</sub> sh	川东南西南部	有利

造,而在碎屑岩与碳酸盐岩混积的寒武系层位中丘状地震相则主要为障壁岛。

### 2.3 透镜状及梭状地震相

该两类地震相都具有同相轴上拱下凹、中间厚、向两侧变薄尖灭的几何外形,但其形成机制及规模却不相同。

透镜状地震相为规模小的局部地震异常,本区不多见(若出现,一般在一些构造顶部)。如茅口组构造顶部的透镜状地震相(图 1f),具上凸下凹的透镜状几何外形,边界同向轴呈中强变振幅,内部弱变振幅,是由于受强烈构造变形、裂缝发育、速度降低、底部同相轴发生下拉影响所致。此外,透镜状地震反射异常也可因地层含有油气,速度降低等因素所致,因此应综合地质背景谨慎分析地质含义。

梭状地震相的特点是边界反射同相轴呈上拱下凹,向两侧尖灭,一般规模大,常在断褶构造带旁成串出现。

该区依据内部反射结构不同划分为两大类:一类内部反射呈亚平行断续弱—中强度变振幅结构,局部由于膏盐层滑脱而形成似前积及波状柔褶现象,这类地震相层间裂缝十分发育(图 1g);另一类内部反射为强变振幅,发育有膏盐层的波状柔褶及似前积滑脱结构,膏盐层厚(图 1h),易于堵塞裂缝,不利于形成连通的裂缝网络,对油气运移储集不利,勘探意义不大。

### 2.4 波状地震相

地震反射波以同相轴呈波状或“倒八”字形,振幅弱变或中强、不连续等反射为典型特征。倒“八”字形反射特征在该区是地层遭受风化侵蚀后所呈现的地震相。构造运动使碳酸盐岩地层抬升暴露地表,遭受风化、淋滤、侵蚀,形成粗糙的地震反射面,在古地形的低洼处可形成落水洞,造成地震反射的不连续。如图 1i 茅口组顶部侵蚀面的波状及倒“八”字形地震相即为风化壳储层的地震响应。例如塔里木盆地已在风化壳(溶蚀型)储层中获得了巨大的石油地质储量,如轮南油田、塔河油田,因此,波状地震相对本区的油气勘探意义重大。

此外,该区还发育有眉状强振幅低频地震相及强、弱变振幅强干涉地震相等,如石牛栏组上部出现眉状强振幅低频地震相(图 1j),明显不同于该层正常地震相特征。区域上石牛栏组上部为 1~2 个相位中频、中强振幅连续、较连续反射,该异常为白云岩化的地震响应。此外,各层断褶构造带及其两侧形成强、弱变振幅、强干涉带,平面上成线形展布,显然是断褶破碎带的地震相,推测该地区裂缝发育。

## 3 地震相平面分布及沉积相研究

逐条对地震剖面典型地震体进行识别之后,根据研究需要,可以在测线网平面分布图上,进行目

的层典型地震体平面组合成图。图 2 是川东南地区下志留统石牛栏组地震相分布图,该区整体地震反射以空白或弱—中强变振幅、亚平行结构为主,推测属碳酸盐浅海陆棚—台地相沉积背景。在中部地区地震剖面上具近北北西向成条带状的强、弱变振幅断续反射,与构造解释的断裂发育部位基本一致,为构造变形引起的裂缝发育带,并且该区天堂坝一带受构造运动影响,为局部高点,地震剖面解释多见丘状局部地震反射异常,其内部反射空白或成断续变振幅,分析为生物礁相反射异常。在西南部,前积地震相发育,该区靠近物源,具有一定坡度,物质供应充足,进行地震资料前积现象矢量组合分析认为物源可能来自西南面及南面。此外,该区零星分布的眉状及波状地震反射异常,分别为成岩期局部白云岩化岩性变化与暴露岩溶影响所致。该区东北部地震反射异常较少见。

通常研究地震相与沉积相关系时总是把这二者关系先确定下来,然后直接进行转化,但是这种直接转换的方法忽略了地震相在空间上的展布关系,使得不同的地震相之间缺乏有机联系,用孤立的地震解释来研究沉积相无法达到精细分析沉积

相的目的。但依据地震相在平面上的分布,通过湖盆沉积模式并结合实测剖面 and 钻井资料,在有井的地方以井为主导,在无井的地方以地震相分析结合沉积模式为主要依据进行沉积相研究所作的沉积相图,是仅以较少的钻井和依据露头资料进行沉积相研究所无法比拟的<sup>[10]</sup>。

图 3 是川东南地区下志留统石牛栏组,依靠露头剖面 and 工区钻井,结合地震相分析结果的沉积相平面分布图。由于东北部地区地震反射异常少见,因此根据该区周缘野外露头研究为前三角洲相粉砂岩、粉砂质泥岩沉积;往南野外岩性观察为粉砂岩、薄层灰岩与泥、页岩不等厚沉积。该区地震相异常少,空白或弱变振幅、亚平行结构,反映碳酸盐缓坡—盆地相沉积,因间断受北部前三角洲相沉积影响夹碎屑岩沉积,沉积走向为近东西向;至复兴场—三江一带,野外剖面显示主要以泥灰岩为主,夹有砂屑灰岩,鲕粒灰岩,丘状地震相反射异常增多,成东西向分布,解释为零星分布的礁滩相,其分布受构造运动形成的局部高点所控制,因此结合岩性分析该带为碳酸盐深水缓坡—斜坡相;到西门—下龙庙—轿子山—丁山 1 井一带,西南部前积结构

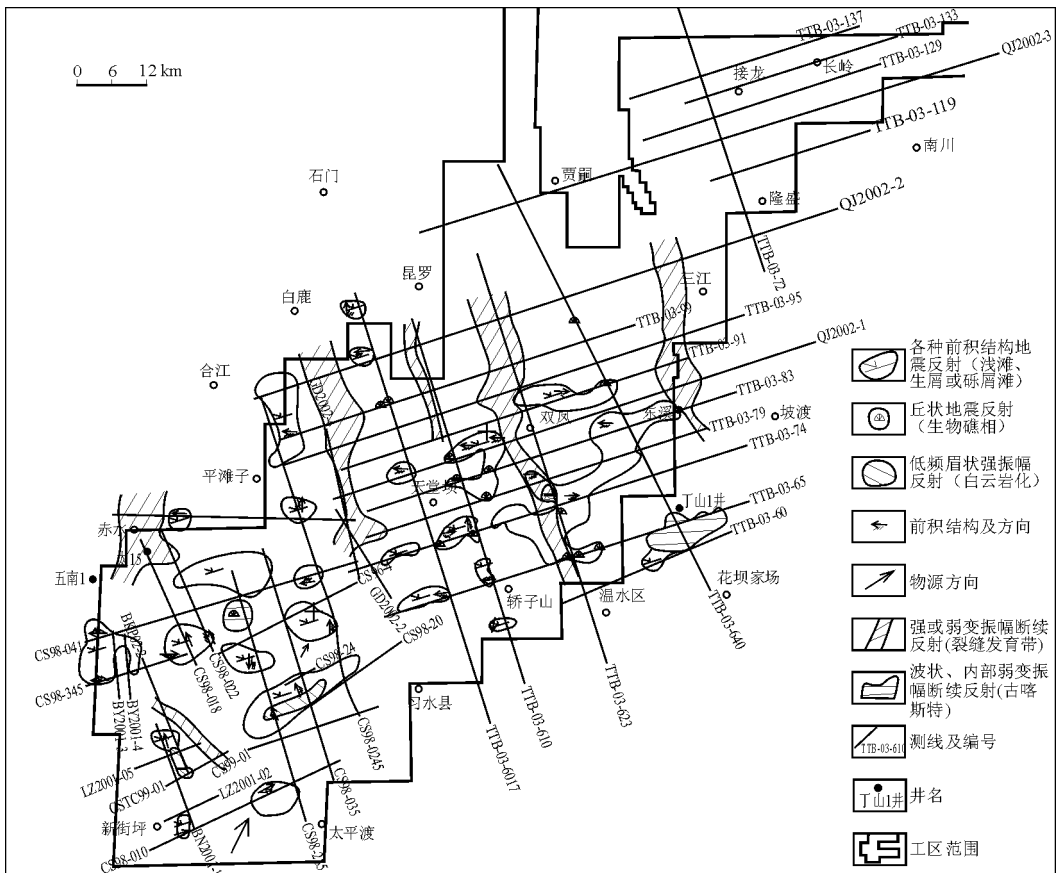


图 2 川东南地区下志留统石牛栏组地震相分布

Fig. 2 The Lower Silurian Shiniulan Formation seismic facies in the southeast margin of Sichuan Basin

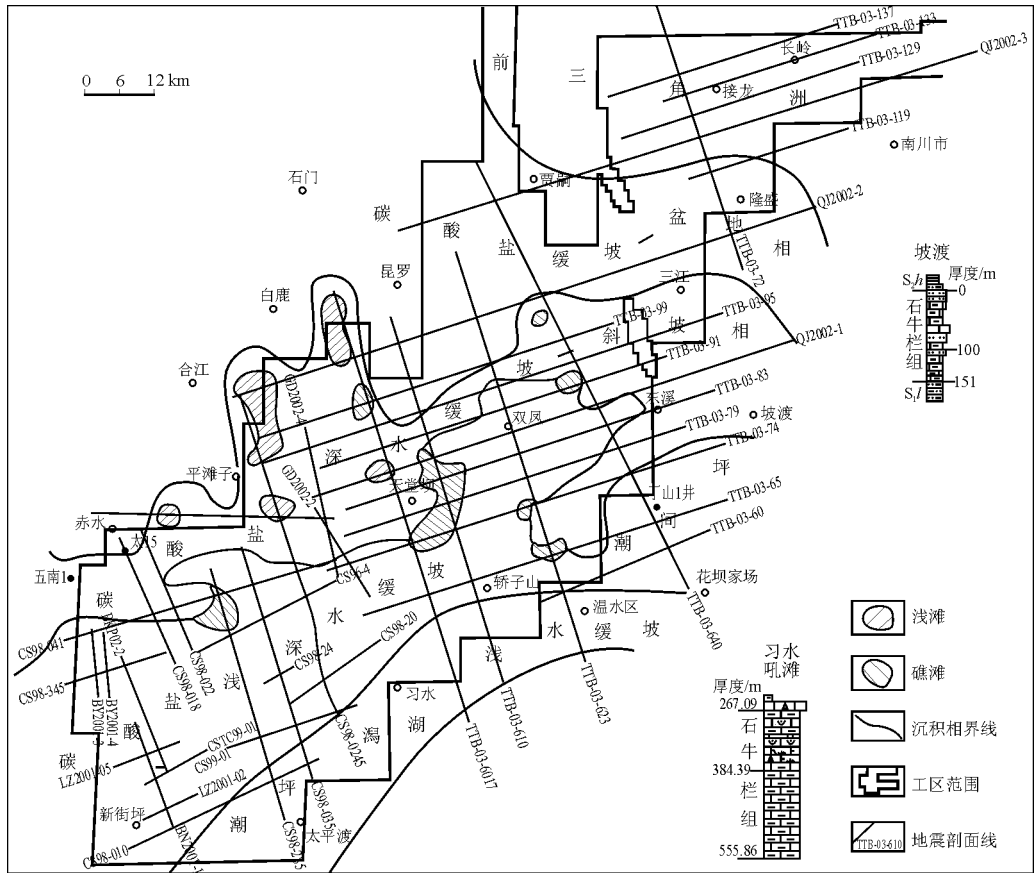


图 3 川东南地区下志留统石牛栏组沉积相分布

Fig. 3 The Lower Silurian Shiniulan Formation sedimentary facies in the southeast margin of Sichuan Basin

地震反射异常增多,局部少量分布有丘状反射异常,并且该区唯一的钻井丁山 1 井岩屑显示主要为泥质条带灰岩、生物屑灰岩和少量泥灰岩,综合分析,该带为碳酸盐缓坡—潮坪相沉积。东南部地震测线稀疏,反射异常少见,但偶见低频眉状强振幅反射,而习水、二郎、吼滩等野外露头剖面显示岩性主要为厚度不等的颗粒灰岩、灰岩、白云质灰岩、灰质白云岩为主并且夹有粉砂岩,该异常为白云岩化作用引起,结合沉积模式及地震异常体特征,该区为潮坪潟湖—浅水缓坡相沉积,但靠陆源较近,因波浪作用夹杂碎屑岩沉积。该图较清楚地预测了碳酸盐深水缓坡—斜坡相及潮坪台地边缘相的分布范围,指明了零星分布的浅滩及礁滩相,是该勘探阶段仅依靠钻井和周边野外露头资料所无法预测的,可以有效地指导勘探。

### 4 结束语

在川东南地区,利用大量的地震测线资料,识别出前积地震相、丘状地震相、透镜状、梭状、波状、弱变振幅及眉状等典型地震体,进行了地震相组合研究,结合测井及区域地质沉积相研究结果,可以

进行沉积相的较精细研究。该方法在钻井较少、勘探程度较低的地区,结合层序地层、储层等的研究结果,可以有效地预测有利储层的分布区带,为下一步勘探指明目标。但是,地震相的研究也有缺陷,地震相—沉积相分析也存在一些不足,如受地震资料品质及处理因素影响,有些地震相不能真实反映地下实际情况,有些干扰会被当作特殊的地震反射,另外还有偏移造成的假象,也会影响地震相分析判断的精度。如何让地震剖面更好地反映地质特征,使得地震相分析更为准确是值得探讨的问题。在地震分析的基础上,通过一些特殊处理,能有效地帮助识别地震相,比如使用主振幅处理剖面来帮助分析地震相,效果也很好。此外,还可以借助诸如地震反演剖面、属性剖面等特殊处理剖面来帮助识别沉积相。

研究表明,不能仅用简单地地震相分类来与沉积相挂钩,必须用地震相组合的方法,结合沉积相模式进行研究,多学科联合,地震相分析才能提供丰富的与地质含义直接相关的信息,从而指导油气勘探。

由于该盆地地温梯度较高,  $T_3$  反射层以下的烃源岩现今  $R_o$  均超过 1%, 已进入生油或生气阶段, 因此在地质演化史上可能存在多个含油气系统及相应的“关键时刻”。该盆地具有较大的勘探空间, 资源潜力很大, 在勘探部署时应深浅兼顾, 开阔思路。

琼东南盆地古热流值也比较高,  $T_3$  反射层以下的烃源岩现今也已成熟, 存在多套有利的储盖组合, 且具备多期成藏的地质条件, 应具有较大的勘探潜力。珠江口盆地主要以古近系文昌、恩平组烃源岩为主, 油气成藏时间相对较早。

## 4 结论

1) 盆地高温异常与气田分布具有明显的伴生关系, 该现象可能与油气藏形成过程中地下热流体活动及油气层的隔热作用有关。

2) 由于地层超压作用对镜质体反射率增加有抑制作用, 在用 Easy $R_o$  法计算镜质体反射率及进行热史恢复时应考虑超压作用对结果的影响。

3) 对于高地温梯度背景下的快速沉降、快速沉积类型的盆地, 超压抑制作用可以扩展生烃窗口的范围, 对油气勘探有利。

致谢: 本文曾得到中国科学院地质与地球物理研究所汪集暘院士, 中国海洋石油总公司龚再升教授、杨甲明教授的指导和帮助, 杨晓兰博士协助完成了图件的清绘工作, 在此深表感谢!

### 参考文献:

1 McGee H W, Meyer H J, Pringle T R. Shallow Geothermal Anomalies Overlying Deeper Oil and Gas Deposit in Rocky

Mountain Region[J]. AAPG Bulletin, 1989, 73(5): 576~597

2 Daniel P Bodner, John M Sharp. Temperature Variations in South Texas Subsurface[J]. AAPG Bulletin, 1988, 72(1): 21~32

3 McConnell C L. Salinity and Temperature Anomalies over Structure Oil Fields, Carter County, Oklahoma[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(5): 781~787

4 Rodnlkova. Geodynamical and Petroleum formation in the sedimentary basin of Southeast Asia[J]. International Geology Review, 1986: 435~443

5 张启明, 胡忠良. 莺—琼盆地高温高压环境及油气运移机制[J]. 中国海上油气(地质), 1992, 6(1): 1~10

6 龚再升, 李思田, 谢泰俊等. 南海北部大陆边缘盆地分析与油气聚集[M]. 北京: 科学出版社, 1997. 251~298

7 Meyer H J, McGee H W. Anomalies in the Rock Mountain Region[J]. AAPG Bulletin, 1985, 69(6): 933~945

8 郭小文, 何生. 珠江口盆地白云凹陷烃源岩热史及成熟史模拟[J]. 石油实验地质, 2007, 29(4): 420~425

9 朱俊章, 施和生, 舒誉等. 珠江口盆地烃源岩有机显微组分特征与生烃潜力分析[J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 301~306

10 刘宝明. 南海北部陆缘晚期油气成藏机理及动力学过程[J]. 石油实验地质, 2007, 29(5): 441~445

11 程本合. 南海北部大陆边缘盆地热演化史及其与油气关系[D]: [学位论文]. 北京: 中科院地质与地球物理研究所, 2001. 46~56

12 冯常茂, 吴冲龙. 沉积盆地深部地层超压指标转化及评价方法: 以湘黔鄂渝交接区为例[J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 414~419

13 Sweeney Jerry, Burnham Alan K. Evaluation of a Simple Model of Vitrinite Reflectance Based on Chemical Kinetics[J]. AAPG Bulletin, 1990, 74(10): 856~867

14 赵文智, 何登法, 李伟等. 含油气系统的内涵与描述方法[A]. 见: 中国石油学会石油地质专业委员会主编. 中国含油气系统的应用与进展[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 8~24

(编辑 徐文明)

(下接第 35 页)

### 参考文献:

1 李庆忠. 近代河流沉积与地震地层学解释[J]. 石油物探, 1994, 33(2): 26~41

2 吴因业, 顾家裕. 油气层序地层学[M]. 北京: 石油工业出版社, 2002

3 吴因业, 顾家裕, 施和生等. 从层序地层学到地震沉积学: 全国第 5 届油气层序地层学大会综述[J]. 石油实验地质, 2008, 30(3): 217~220

4 刘震. 储层地震地层学[M]. 北京: 地质出版社, 1997

5 程浪洪. 塔里木盆地轮古西地区多地震属性储层综合预测[J]. 油气地质与采收率, 2007, 14(3): 78~80, 124

6 焦志峰, 杨占龙. 地震信息多参数综合分析 with 岩性圈闭评价[J]. 石油实验地质, 2008, 30(4): 408~413

7 彭传圣, 常国贞. 试论地震约束反演的不稳定性[J]. 油气地质与采收率, 2002, 9(2): 96~98

8 Payton C E. 地震地层学[M]. 牛毓荃等译. 北京: 石油工业出版社, 1980

9 王永刚, 宋若徽. 层序地层学在地层内部结构分析中的应用[J]. 石油物探, 1997, 36(增刊): 33~40

10 韩小俊, 施泽进, 郑天发. 地震地层及地震相分析在川东南复杂储层识别中的应用[J]. 成都理工大学学报, 2006, 33(2): 193~197

(编辑 徐文明)