

广西百色盆地构造—热演化初步研究

廖宗廷¹, 江兴歌^{1,2}, 李 冉¹, 陈跃昆¹

(1. 同济大学 海洋与地球科学学院, 上海 200092;

2. 中国石化 石油勘探开发研究院 无锡实验地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘要: 百色盆地是一个典型的第三纪走滑拉分盆地, 印度板块与欧亚板块碰撞造山造成右江断裂带先左行(距今 20~ 50 Ma)后右行(距今 20 Ma 以来)是盆地形成较确定的构造背景。盆地分田东、头塘和莲塘 3 个拗陷, 那笔和那葛 2 个隆起。拗陷形成于 NW 向左行左阶排列断列的重叠、错列处, 而隆起形成于 NW 向左行右阶排列断列的重叠、错列处。其构造演化分为六咀—洞均前拉盆期、那读—建都岭拉分期和建都岭末—第四系后拉分期 3 个主要构造阶段, 每个阶段具有明显不同的特征。通过盆地有机质镜质体反射率、磷灰石裂变径迹和流体包裹体综合研究表明, 百色盆地的热演化程度总体较低。仅那读组生油岩达到低熟, 极少数为成熟, 其它生油岩层未成熟。盆地热演化总的规律是: 从距今大约 55 Ma 开始, 古地温随着拗陷沉降和沉积而逐步增加, 并于距今大约 25~ 35 Ma 达到最大值。然后随着地壳缓慢抬升, 地层温度逐渐变冷。热演化程度低是控制百色盆地油气远景较差的主要原因。

关键词: 构造演化; 热演化; 百色盆地; 广西

中图分类号: TE121. 1

文献标识码: A

百色盆地的研究和油气勘探已经历了漫长的历史^[1]。尽管多年的勘探开发和地质研究证明该盆地是一个小而复杂的含油气盆地, 勘探方向也逐步明确, 但对盆地薄、小、散、多层叠加的岩性圈闭和地层圈闭, 仍缺乏有效的识别方法和配套的研究手段, 使得油气勘探目前仍处于井位难布的局面。其中的原因很多, 研究程度低是其主要的原因之一。对于盆地构造热演化前人虽然作过一些研究工作, 并普遍认为盆地的形成与右江断裂带有关^[2-5], 但具体的细节不清。构造单元的划分方案有 10 余种, 但真正从拉分盆地角度进行的划分还很少。为了推动对该盆地研究的进展, 同时促进其油气勘探取得新突破。本文试从走滑拉分盆地的角度对百色盆地的构造热演化作初步探讨。

1 地质概况

百色盆地位于广西壮族自治区西部, 百色市、田阳县和田东县境内, 盆地主体呈北西向展布, 长约 109 km, 宽 7~ 14 km, 第三系覆盖面积约 803 km²。盆地发育于中三叠统之上, 其沉积盖层自下而上可划分为下第三系古新统六咀组; 始新统洞均组、那读

组和百岗组; 渐新统伏平组和建都岭组; 上第三系长蛇岭组。其中那读组为盆地最重要的含油气层位^[4-6], 在整个盆地内分布最广、厚度最大和层位最稳定, 但岩性、岩相变化较大。主要特点是以盆地北部的南伍断层为界, 以北在仑圩、小塘一线以发育粒度粗、砂砾含量高、分选差的杂色砂岩、砂砾岩、砂岩和泥岩、粉砂岩的互层为主, 自北向南砾体尖灭较快, 反映近物源、高落差、坡度陡的冲积扇和扇三角洲的沉积特征; 以南广大地区以发育浅一半深湖相和三角洲相的暗色泥岩、钙质泥岩夹粉砂岩和泥灰岩、生物灰岩为主, 局部夹煤线或煤层, 连续沉积厚度较厚, 最厚可达 2 000 m。

2 构造背景

百色盆地位于华南西南部, 西临印度板块, 盆地的形成和构造演化主要与欧亚板块和印度板块间的相互作用密切相关^[3,7]。当印度向欧亚板块碰撞挤入时, 产生了两期极其重要的地壳运动^[8-10]。第一期(距今 20~ 50 Ma), 由于印度板块向欧亚板块的撞碰挤入, 东南亚块体被挤出, 其距离达 800~ 1 000 km, 南海也随红河断裂左旋活动而张开, 华南

西部处在左旋扭动的应力场状态下, 相关断裂带便发生左旋走滑, 形成走滑断层。第二期(距今 10~20 Ma), 随着印度板块的继续向北挤入和阿尔金山断裂带的开始活动^[3, 11], 华南沿着阿尔金山断裂带向东移动几百千米。在此背景下, 华南的应力场由左旋转变为右旋, 相关走滑断裂的走滑方向也同时发生改变, 即由左旋走滑转变为右旋走滑。

基于百色盆地所处大地构造位置, 印度板块与欧亚板块碰撞造山造成的走向滑移线场和逃逸构造使右江断裂带先左行走滑(距今 20~ 50 Ma)、然后右行走滑(距今 20 Ma 以来), 是形成百色盆地的重要原因, 这也是盆地形成的较为确切的构造背景。

3 盆地构造演化

3.1 盆地构造单元划分及形成机制

在综合利用前人研究成果基础上, 本文主要根据盆地形成的构造背景、盆地沉降和沉积史以及与其他断裂构造的关系, 结合盆地现今的构造面貌, 重新对百色盆地的构造单元进行了划分(图 1)。拉分盆地是与走滑断裂系相关的特殊沉降构造^[12- 15], 由于盆地在平面上往往呈菱形或近于菱形, 因此曾被称为菱形断陷^[14, 15]。迄今为止, 对走滑拉分盆地的成因和发育过程主要有多种不同的解释^[16- 18]。其

中右阶右行或左阶左行岩桥区的持续滑动是其主要的的原因之一^[15, 18]。通过综合研究, 我们发认为色盆地就主要在这样的机制下形成的。

由于百色盆地处于右江断裂带的弯曲部位, 这一部分分支断裂十分发育。因此在右江断裂带发生左行走滑时, 便首先在这些部位发生走滑拉分。同时, 在左行走滑应力作用下, 沿与 NW 向断裂大致平行的方向产生拉张作用力, 并在左行左阶排列断裂的重叠、错列处形成拗陷; 而在左行右阶排列断裂的重叠错列处形成推隆构造。田东拗陷、头塘拗陷和莲塘拗陷就形成于左行左阶排列的高祥断裂与那坡断裂、三今断裂与那陀断裂、那陀断裂与那怀断裂的重叠、错列处; 那笔隆起和那葛隆起则形成于左行右阶排列的三今断裂与那坡断裂、那陀断裂与五村断裂的重叠、错列处(图 1)。

3.2 构造演化

根据盆地的沉积建造和后期改造特征, 结合右江断裂带的演化特征, 我们认为百色盆地的演化主要经历 3 个主要时期, 即前拉分期、拉分期和后拉分期。

3.2.1 前拉分期(六咀一洞均期)

典型标志是形成六咀组红色粗碎屑岩和洞均组淡水灰岩。代表所在地区的地壳构造活动相对平稳, 气候炎热、干燥, 是右江断裂左行走滑前的产物。

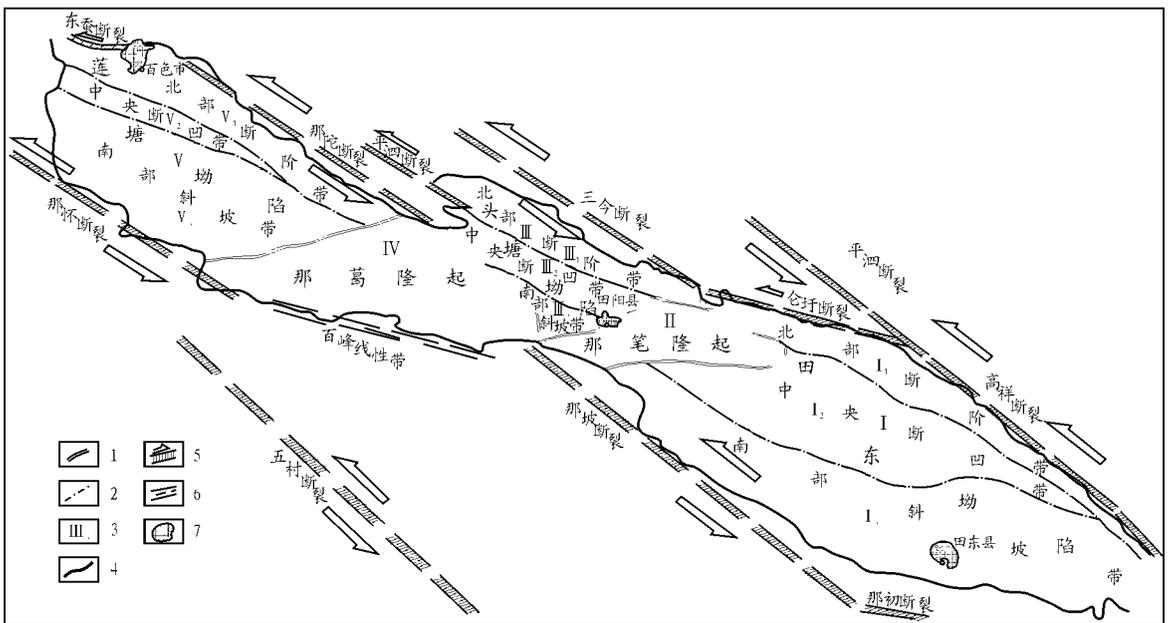


图 1 百色盆地构造单元划分图

- 1. 一级构造单元界线; 2. 二级构造单元界线; 3. 构造单元编号; 4. 盆地边界; 5. 走滑断裂及走滑方向; 6. 卫片解释线性带; 7. 城镇所在地
- . 田东拗陷; . 那笔隆起; . 头塘拗陷; . 那葛隆起; . 莲塘拗陷
- F1. 东蚕断裂; F2. 高祥断裂; F3. 三今断裂; F4. 仑圩断裂; F5. 平泗断裂; F6. 那陀断裂;
- F7. 那怀断裂; F8. 那坡断裂; F9. 那初断裂; F10. 五村断裂; F. 百峰线性带

Fig. 1 Schematic diagram showing the tectonic units of the Baise Basin

3.2.2 拉分期(那读期—建都岭期)

根据构造活动强度、基底伸展下沉幅度以及沉积相等,拉分期分成早期的断陷阶段(那读期)和晚期的坳陷阶段(百岗期—建都岭期)。断陷阶段的标志是盆地发生大幅度断陷,在近 4 Ma 年的时间内沉积了厚达 2 500 m 的地层;广泛发育梨式生长正断层;特征的沉积相是(半)深水湖相。坳陷阶段的标志是盆地由早期的快速断陷转为在沉积载荷下缓慢下降;长期充填使盆地不断变浅,特征沉积相是浅水湖相和沼泽相。这时大规模犁式生长断层活动基本结束。

3.2.3 后拉分期(建都岭末期—第四纪)

本阶段也称为“褶皱抬升期”^[3],以较强烈的挤压、构造反转和大规模剥蚀为主要特征。

百色盆地的构造演化模式见图 2。

4 热演化

4.1 有机质镜质体反射率 R_o

本次研究收集统计了田东坳陷和莲塘坳陷那读组和百岗组的镜质体反射率 R_o 数据,并探讨了两个坳陷 R_o (%) 随深度变化的情况(图 3)。

通过统计分析可以看出,盆地的热演化总体不高,田东坳陷的热演化高于莲塘坳陷。不同深度的热演化明显不同,深度越大,热演化程度越高。

根据有机质镜质反射率结果,并用采用 R_o 模拟有关方法^[19] 计算得到田东坳陷和莲塘坳陷第三系地层埋藏史和时温指数等值线图(图 4)。其基本特性是,田东坳陷和莲塘坳陷各层位地层达到最大古地温的时间分别为大约距今 25~ 30 Ma 和 30~ 35 Ma。之后地壳缓慢上升,地层温度逐渐变冷。田东坳陷比莲塘坳陷热演化程度高。

4.2 裂变径迹分析

本次研究共采集裂变径迹分析样品 5 件,经预处理,其中六坳剖面六坳组下部红色砂岩(N6- 5)、百 49- 26 井百岗组 3 段砂岩(N- 6) 2 个样品含有磷灰石。样品在美国华盛顿州立大学的反应堆进行辐照,并均采用外探测器方法进行测试。分析结果见表 1。

根据相关方法^[22, 33] 对时间- 热演化史的模拟结果表明(表 2),两个样品所经历的最大古地温分别为 86℃ 和 67℃,达到最大古地温时的时间为大约

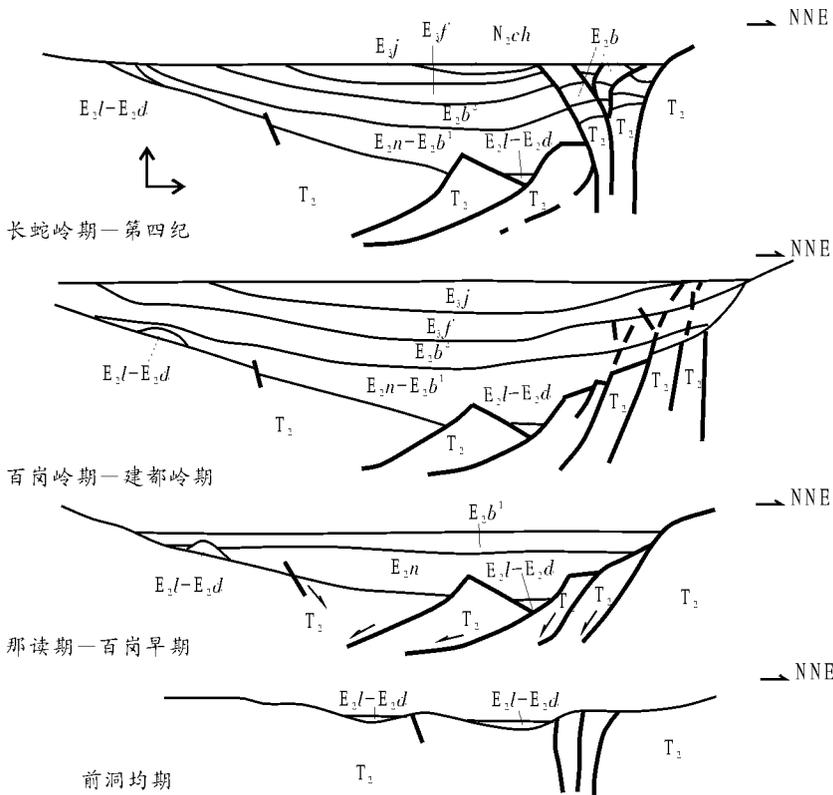


图 2 百色盆地构造演化示意图

T_2 , 中三叠统; E_2l . 六坳组; E_2d . 洞均组; E_2n . 那读组; E_2b . 百岗组; E_2b^1 . 百岗早期; E_2b^2 . 百岗晚期; E_3f . 伏平组; E_3j . 建都岭组; N_2ch . 长蛇岭组

Fig. 2 Schematic diagram showing the tectonic evolution of the Baise Basin

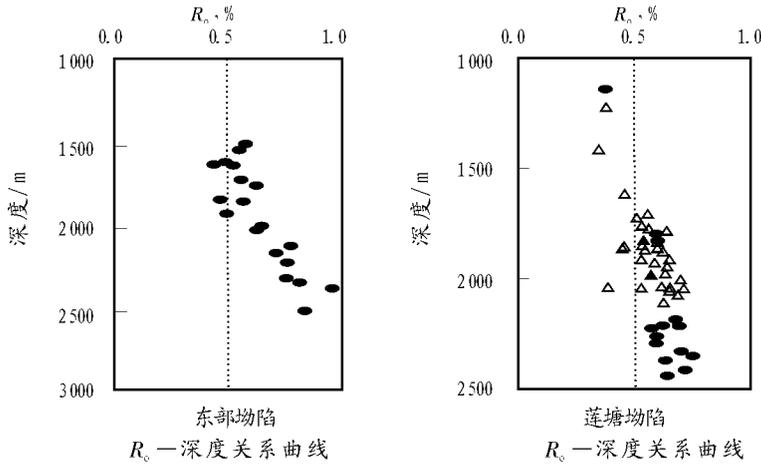


图 3 那读组烃源岩 R_o - 深度关系曲线

Fig. 3 Relationship between R_o and the depth of the Nadu Formation

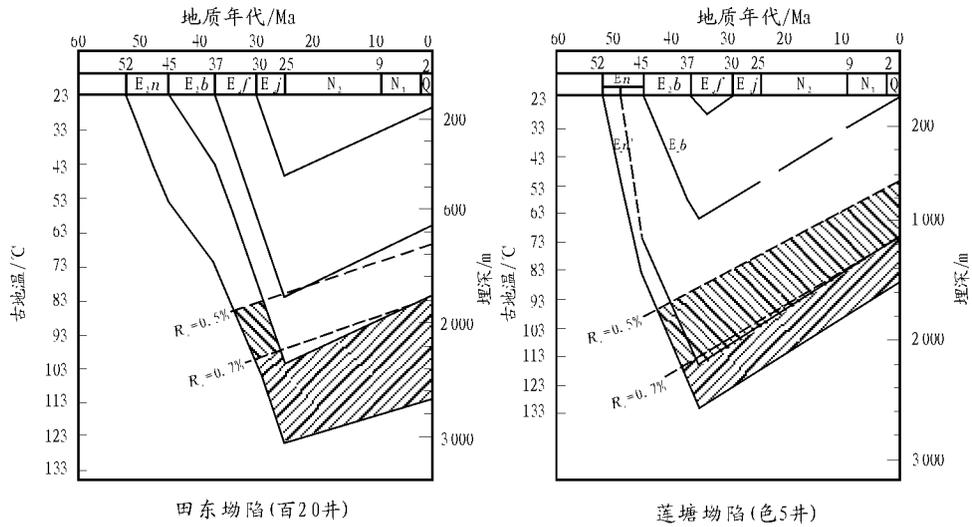


图 4 百色盆地第三系地层埋藏史及时温指示关系示意图

Fig. 4 Diagram showing the buried history of the Tertiary and the relation between temperature and time

表 1 裂变径迹分析测试结果汇总表

Table 1 Testing data of apatite fission tracks

样品号	辐照号	自发径迹密度/ (10^6 个· cm^{-2})	统计自发径迹数量	诱发径迹密度/ (10^6 个· cm^{-2})	统计诱发径迹数量	标准径迹密度/ (10^6 个· cm^{-2})	统计径迹数量	颗粒数量/ 个	$P(\chi^2)$, %	合并年龄/ Ma	平均年龄/ Ma	中值年龄/ Ma
N-6	239-12	1.027	232	3.519	795	4.529	4083	12	0.028	74.8 ± 46	87.3 ± 15.2	75 ± 13.2
N6-5	239-13	1.669	991	3.509	284	4.510	4083	39	0.092	121 ± 6	129 ± 7	124 ± 7

注: 1) $P(\chi^2)$ 是自由度为颗粒数量(v)时 χ^2 检验^[20] 的概率;

2) 裂变径迹计数和围限径迹长度的测量在放大 1562 倍的显微镜下进行。中值年龄的计算采用国际地质科学联合会地质年代学委员会建议的方法^[21]。

表 2 磷灰石裂变径迹数据所反映的热史信息

Table 2 Information of thermal history from apatite fission tracks

样品号	辐照号	最老的径迹年龄/ Ma	现在温度/ °C	最大埋藏模拟温度/ °C	最大埋深模拟时间/ Ma	对应的 R_o , %
N-6	239-12	96.6	40	86	30	0.49
N6-5	239-13	135	20	67	30	0.41

距今 30 Ma。

百 49- 26 井百岗组 3 段含油砂岩的磷灰石热模拟(图 5)显示,磷灰石自距今 42.5 Ma 左右开始沉积埋藏,经过约 12 Ma 的连续沉积,大约距今 30 Ma 达到埋藏最深点,此时地层温度最大为 86℃。此后经缓慢抬升,地层温度逐渐变冷,直到现在的井深位置。

六 咀剖面六 咀组下部红色砂岩磷灰石热模拟(图 6)显示,磷灰石接受沉积的时间为距今 55 Ma,大约距今 30 Ma 沉降至最低点,此时地层温度最大为 67℃,然后缓慢抬升直至地表。

5 结论

通过上述研究,本文有以下结论性认识。

1) 百色盆地是一个典型的第三纪走滑拉分盆地。印度板块与欧亚板块碰撞造山造成右江断裂带先左行后右行是盆地形成较确切的大地构造背景。

2) 根据构造背景、沉降和沉积史特征及与相关断裂的关系等,百色盆地可分田东、头塘和莲塘 3 个坳陷,那笔和那葛两个隆起,共 5 个构造单元。3 个坳陷形成于 NW 向左行左阶排列断裂的重叠、错列处,隆起形成于 NW 向左行右阶排列断裂的重叠、错列处。均与走滑拉分作用密切相关。

3) 盆地的构造演化分为六 咀一洞均前拉分期、那读一建都岭拉分期和建都岭末一第四系后拉分期 3 个主要构造阶段,每个阶段具有明显不同的特征。

4) 通过镜质体反射率 R_o 和磷灰石裂变径迹的综合分析表明,百色盆地的热演化程度总体较低,仅那读组生油岩进入低成熟,其它地层的生油岩大多数未成熟。盆地的油气远景较差,这应该是最主要的原因之一。

5) 百色盆地热史演化的规律是:大约从距今 55 Ma 开展接受沉积,大约距今 25~ 35 Ma 各时代地层埋藏达到最大深度,此时各地层达到的古地温也最高。此后随着地壳缓慢上升,各地层的温度逐渐

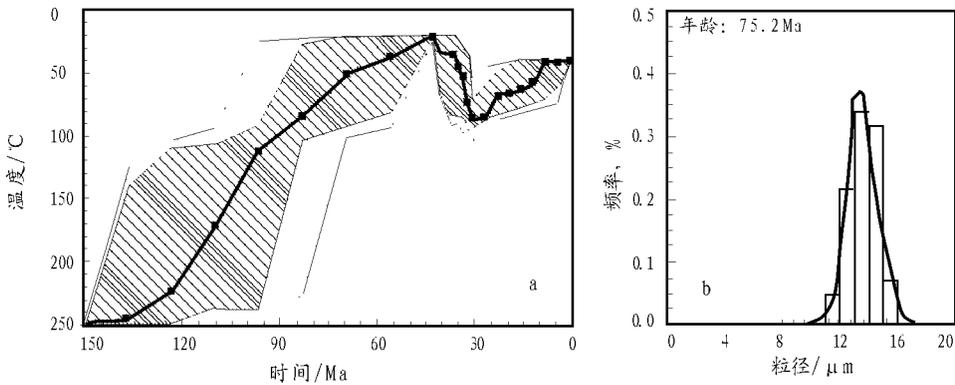


图 5 百岗组三段含油砂岩的磷灰石的热模拟图

a. 时间-温度史; b. 径迹长度分布

Fig. 5 Thermal history modelling from apatite fission tracks in the third member of the Baigang Formation

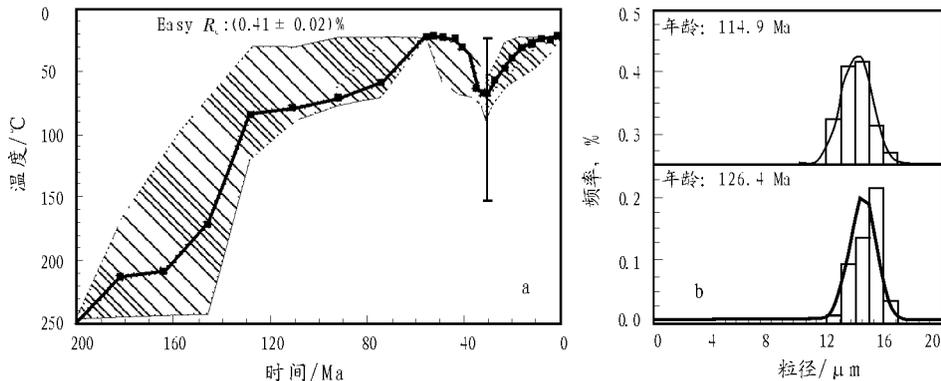


图 6 六 咀组下部红色砂岩的磷灰石热模拟图

a. 时间-温度史; b. 径迹长度分布

Fig. 6 Thermal history modelling from apatite fission tracks in the Lower Liuniu Formation

变冷直到现今的状态。

致谢: 本文得到中石化南方油气勘探分公司研究院黄绍甫副院长、蔡勋育高级工程师、韦全业高级工程师、梁显威工程师和卢一冰高工的大力支持和帮助, 在此一并致谢。

参考文献:

- 1 钟 铿, 潘其云. 广西石油天然气矿产发展史[J]. 广西地质, 1997, 10(4): 63~ 69
- 2 李载沃. 广西百色盆地构造特征与控油机制[J]. 广西石油地质与勘探, 1983, 13(1): 1~ 7
- 3 李载沃. 广西第三系盆地的形成机制和演化特征[J]. 广西油气, 2001, 4(1): 5~ 10
- 4 李云祥. 百色盆地构造特征和勘探目标选择探讨[J]. 广西石油地质与勘探, 1995, 33(1): 41~ 45
- 5 蔡勋育. 百色盆地构造样式及二级构造带模式[J]. 广西油气, 1999, 2(1): 6~ 10
- 6 阙慧娟. 百色盆地地下第三系烃源岩有机地化特征[J]. 广西石油地质与勘探, 1989, (2): 42~ 57
- 7 朱 夏. 中国东部板块内部盆地形成机制的初步探讨[J], 石油实验地质, 1979, 1(1), 1~ 8
- 8 Tapponnier P, Molnar P. Slip-line field theory and large scale continental tectonics[J]. Nature, 1976, 264: 319~ 324
- 9 Tapponnier P, Peltzer G, Le Dain A Y, et al. Propagating extrusion tectonics in Asia: new sights form simple experiment with plasticine[J], Geology, 1982, (10): 611~ 616
- 10 Tapponnier P, Peltzer G, Armijo R. 印度板块与亚洲大陆之间的碰撞机制[A]. 碰撞构造[M]. 北京: 地质出版社, 1990. 46~ 68
- 11 李海兵, Tapponnier P. 阿尔金走滑盆地的确定及其与山脉的关系[J], 科学通报, 2002, 47(1): 63~ 67

- 12 Golke M, Cloetingh S. Finite element modeling of pull-apart basin formation[J]. Tectonophysics, 1994, 240(1- 4): 45~ 57
- 13 Basile C, Brun J P. Transtensional faulting pattern ranging from pull-apart basins to transform continental margins: an experimental investigation[J]. Journal of Structure Geology, 1999, 21(1): 23~ 37
- 14 Roberts D. Pull-apart stepover structure in an asphalted road surface—a geological curiosity[J]. Journal of Structure Geology, 2000, 22(10): 1 469~ 1 472
- 15 McClay K, Dooley T. Analogue models of pull-apart basins[J]. Geology, 1995, 23: 711~ 714
- 16 Emmons R C. Strike-slip rupture pattern in sand models[J]. Tectonophysics, 1969, 7: 71~ 87
- 17 Mann P, Hempton M R. Development of pull-apart basins[J]. Journal of Geology, 1983, 91: 529~ 554
- 18 Dooley T, McClay K. Analog modeling of pull-apart basins[J]. AAPG, 1997, 81: 1 804~ 1 826
- 19 Sweeney J J, Burnham A K. Evolution of a simple model of vitrinite reflectance on chemical kinetics[J]. AAPG, 1990, 74: 1 559~ 1 571
- 20 Galbridge R F. The rodio plot: graphical assessment of spread in ages[J]. Nucl Tracks Radiat Meas, 1991, 17: 197~ 206
- 21 Hurford A J. Standardization of fission track dating calibration: recommendation by the Fission Track Working Group of the IUGS Subcommission on Geochronology[J]. Chem Geol, 1990, 80: 171~ 178
- 22 Lutz T M, Omar G. Inverse methods of modeling thermal histories from apatite fission track data[J]. Earth Planet Sci Lett, 1991, 104: 181~ 195
- 23 周祖翼, 廖宗廷, 杨凤丽等. 裂变径迹分析及其在沉积盆地研究中的应用[J]. 石油实验地质, 2001, 23(3): 332~ 337

RESEARCH ON THE TECTONIC-THERMAL EVOLUTION OF THE BAISE BASIN, GUANGXI PROVINCE

Liao Zongting¹, Jiang Xinge^{1,2}, Li Ran¹, Chen Yuekun¹

(1. School of Ocean and Earth Sciences, Tongji University, Shanghai 200092, China;

2. Wuxi Research Institute of Experiment Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: Baise basin is a typical strike-slip and pull-apart basin that was formed in the Tertiary Period. It is the tectonic background and main reason why the Baise Basin was formed. The collision of the India Plate and the Eurasian Plate made the Youjiang fracture belt left-handed strike slip (20– 50 Ma ago) first, then right-handed strike slip (20 Ma till now). The basin includes three depressions (the Tiandong Depression, the Toutang Depression and the Liantang Depression) and two uplifts (the Nabi Uplift and the Nage Uplift). The three depressions were formed in the places where the left stage stagger NW fractures turning left overlapped and arrayed, and the two uplifts were formed in the places where the left stage stagger NW fractures turning left overlapped and arrayed. The three main periods of tectonic evolution includes the Liuniu-Dongjun pull-apart period, the Nadi-jianduling pull-apart period, and the Late Jiandu-

ling-Quaternary ep+pull-apart period. Each period had its own apparently different characteristics. Although the scale of the basin is small, there are better oil source rocks and the conditions of reservoirs and cover rocks. The main problem about influencing oil-gas formation is that the degree of thermal evolution is lower. The thermal evolution of the Baise Basin was modelled based on vitrinite reflectance R_o , apatite fission tracks and fluid inclusions. The modelling results showed that the gradient of thermal evolution was lower. the Nadu Formation is the only oil-generating strata with low maturity. The oil-generating strata of the rest formations are not mature. The basic characteristics of thermal evolution in the basin were that paleotemperature increased with the subsidence and sedimentation of the Tiandong Depression from 55 Ma ago first, and achieved the highest during 25–30Ma ago, then decreased gradually with the slow lifting of the crust. The low thermal evolution of the basin is one of the most important factors resulting in poor prospective oil-gas.

Key words: tectonic evolution; thermal evolution; the Baise Basin; Guangxi province

(continued from page 17)

Abstract: The study of orogeny and coupled/decoupled basin development regarded orogeny and basin development as a whole and explored a uniform kinematic process and geodynamic mechanics between the both. The key of methodology for the study was to grasp, correctly and practically, inversion points and tangency-in points, the former representing obvious changes of tectonic patterns or styles, and the latter constituting a key link connecting basins with orogeny. For the inversion points, we should, first of all, understand the essential problems of orogeny and coupled/decoupled basin development in a given regional framework. In addition, the tectonic features of Chinese continent decided the difficulties and complexities of discerning inversion points, which supported, in turn, a wide platform for the study of tangency-in points. The tangency-in points might be decided by a poly-direction, poly-visual angle, poly-level and poly-aspect means, in which the orogenic types and structural styles should be the first important and necessary one. As the road one must take for the study of inversion points and tangency-in points, a combination of “normal succession” and “reversal succession” was emphasized, with stress on the study of “reversal succession”. Namely, regional evolution and basin development should be worked from the ancient to the present, and the oil-gas accumulation analysed from the young structural layers to the older ones. The paper introduced some experiences to compile some profiles, perpendicular to the regional tectonic strike, across both an orogen and neighbouring basins. With the inversion points and tangency-in points being embodied in the basin research, the alternation of basin generations as well as tectonic patterns and structural styles in each generation should be correctly distinguished, particularly, to distinguish the basin generations changed in the periods of main tectono-thermal events. The prerequisite for understanding basin generations was to constrain a geohistorical phase and to stipulate a basin definition. The advances in the study of inversion points and tangency-in points for orogeny and coupled/decoupled basin development must open up a new prospect of the basin research, and then draw a new inspiration in the oil-gas exploration of relict marine basins.

Key words: inversion point; tangency-in point; study of “reversal succession”; alternation of basin generations; orogeny and coupled/decoupled basin development