

文章编号: 1001 - 6112(2005)01 - 0028 - 04

# 楚雄盆地构造 - 热演化与古地温场研究

王国力<sup>1</sup>, 蔡立国<sup>2</sup>, 汪集<sup>3</sup>, 施小斌<sup>3</sup>

(1. 中国石化股份有限公司 科技开发部, 北京 100029; 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; 3. 中国科学院 地质与地球物理研究所, 北京 100029)

**摘要:** 楚雄盆地的古地温场演化与构造 - 热活动及构造变格事件相一致。晚三叠世盆地热流值大体与弧后前陆盆地的热流一致, 古地温及地温梯度相对较低。侏罗纪至早白垩世的地温及地温梯度相对于晚三叠世表现出平缓的降低, 接近正常的克拉通盆地的热流值分布范围。晚第三纪以来盆地受陆内走滑活动及深部断裂导致岩浆的侵入与热液活动的影响, 地温急剧上升, 热流增大, 现今楚雄盆地为一高热流区就是后期构造 - 热事件影响的结果。

**关键词:** 构造 - 热演化; 古地温场; 楚雄盆地

中图分类号: TE121.1

文献标识码: A

## 1 盆地有机质演化与地温场特点

镜质体反射率 ( $R_o$ ) 的大小反映沉积地层中有有机质成熟度, 总体上  $R_o$  值是地层埋深的函数<sup>[1]</sup>。随着深度的增加,  $R_o$  值相应增大, 两者呈正相关, 因此,  $R_o$  - 深度曲线特点是盆地古地温场变化的地质记录, 不同形态的曲线形态反映盆地形成、演化过程中地温场的变化状况。

剖面上, 楚雄盆地的  $R_o$  - 深度曲线表现为复杂的曲线形态(图 1)。西部祥云地区  $R_o$  随着深度在上三叠统与侏罗 - 白垩系之间出现明显的转折。从上三叠统  $R_o$  值多数大于 2.0% 的陡直线段急剧减少到 0.920% (白垩纪) ~ 1.3% (侏罗纪), 反映出在晚三叠世之后盆地古地温场出现明显的下降过程, 与楚雄盆地从晚三叠世的弧后前陆盆地转变为侏罗 - 早白垩世的陆内克拉通化盆地的叠加相一致<sup>[2]</sup>。虽然曲线上、下两部分均表现为陡直段, 反映出盆地内  $R_o$  随深度增大, 其变化率小, 尤其是上三叠统内  $R_o$  变化梯度仅为  $0.02 \times 10^{-2} \%$  / m, 这种特点除反映出盆地演化过程沉积充填物的快速埋藏及较低的地温梯度外, 更重要的是反映出盆地后期演化过程中曾出现有较强的热扰动, 这一点正好是盆地在第三纪以来的走滑剪切及广泛碱性岩脉侵入活

动的结果。冯家河剖面中晚白垩世马头山组晶洞沥青  $R_o$  值达 7.052%, 虽然沥青的演化程度并不反映该组的演化程度, 但反映在马头山组沉积之后, 曾出现较强的地温场升温, 导致有机质的进一步成熟的结果。因此, 祥云地区  $R_o$  - 深度曲线至少反映盆地演化存在多期叠加改造过程。

盆地东部一平浪地区存在类似的情况(图 1), 但在纵向表现出较明显的规律性,  $R_o$  - 深度曲线为一陡直线段。剖面底部  $R_o$  值明显增加是受冲断活动的影响所致(样品采自冲断层下盘)。由于浅部无反射率资料控制, 向上的变化, 尤其是后期的改造无法恢复, 但剖面上由深至浅反射率梯度值变化极小(平均仅为  $0.041 \times 10^{-2} \%$  / m), 除反映早期较低的地温梯度及低地温场外, 也说明后期在较高地温场作用下, 有机质发生了均一化的过程。而且东部地  $R_o$  值明显小于西部地区(绝大多数均低于 2.0%), 显示出东部的构造 - 热活动强度小于西部。

盆地南部峨山塔甸一带上三叠统有机质演化程度随深度迅速加大, 平均变化率可达  $1.0 \times 10^{-2} \%$  / m 以上(图 1), 除说明古地温场曾存在较强的热源外也反映了热传递过程中热力衰减较快, 与盆地南部经受构造 - 热影响较大, 后期剥蚀量也较大有密切关系。这也可能反映盆地南部在晚三叠世的构造活动更为强烈, 应是墨江洋盆最终闭合事件的构造 -

收稿日期: 2004 - 10 - 20; 修订日期: 2004 - 12 - 28。

作者简介: 王国力(1965 - ), 男, 内蒙古人, 博士, 高级工程师, 主要从事石油地质综合研究与科研项目管理工作。

基金项目: 中石化科技项目(P04040)。

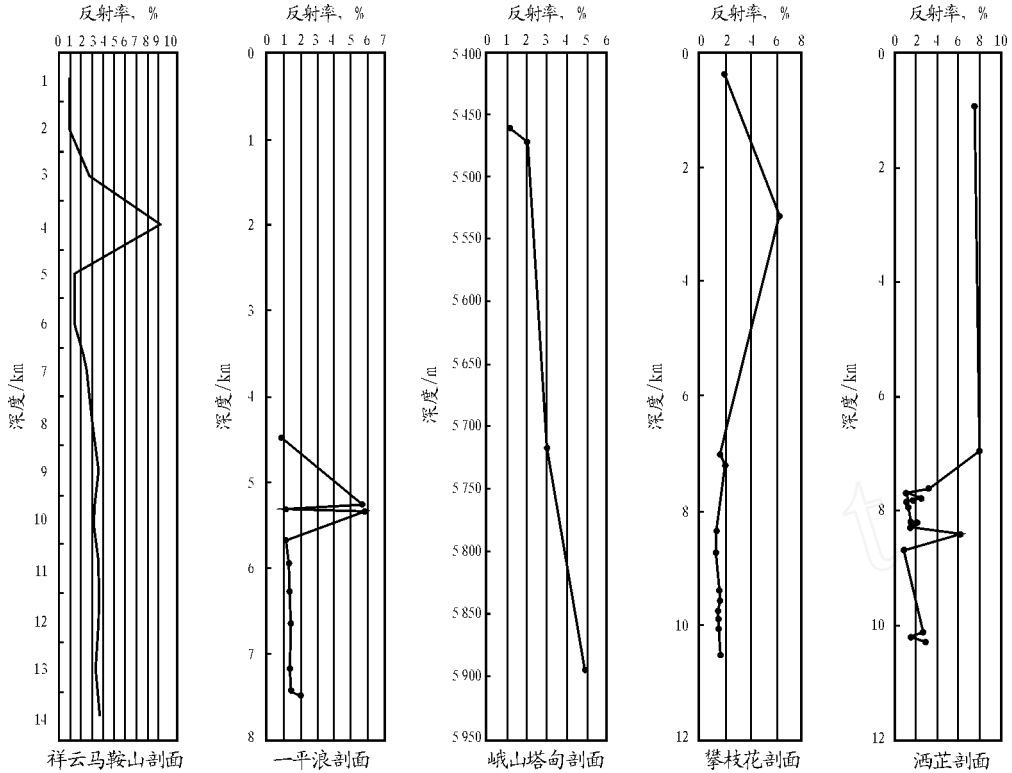


图 1 楚雄盆地反射率  $R_0$  - 深度曲线图

Fig. 1 Some  $R_0$ -depth diagrams for the Chuxiang Basin

热活动的地质记录。

盆地北部攀枝花、永仁地区与东、西部相似， $R_0$  - 深度曲线也表现出较大的曲线斜率段(图 1)，尤其在上三叠统内  $R_0$  变化率平均为  $0.018 \times 10^{-2} \% / m$ ，说明上三叠统内有机质在后期受到较大的热扰动，与其他地区一样被均一化了。在浅部晚白垩世的马头山组泥质岩中镜质体反射率可达 2.083%，显示出较高的成熟度，这种现象暗示着在马头山组沉积之后，盆地内有着较大的构造 - 热变动。因此该区的  $R_0$  - 深度曲线结构反映了盆地后期构造叠加的影响。

## 2 盆地构造 - 热活动的变化趋势

平面上镜质体反射率在盆地内的分布特点是西、南部高，东、北部低的变化趋势。盆地西部受到的构造 - 热变动较大，镜质体反射率可达 2.5% 左右，尤其是上三叠统平均达 3.25%，说明该区经受过较高的古地温作用，与西部地区在印支期发育岛弧造山带，构造 - 热活动强度较大有密切关系。相对而言，盆地东、北部同期地层  $R_0$  值相对较低，虽然后期都经历了较高的地温场叠加，但总体反映为所受古地温较西部弱，因此， $R_0$  值平均在 1.49% ~

1.44% 之间，这与该区在晚三叠世处于弧后前陆盆地向稳定地区过渡的斜坡位置有关。在这种构造部位上，构造 - 热变动相对较小，古地温场较稳定，因此，其古地温场逐渐偏离弧后前陆盆地而趋向于稳定地块的较低地温场、较小的地热流值的特点。在这种背景下，东部有机质演化程度相对降低是其必然的结果。显然盆地东、北部应是有机质延缓成熟、保存的有利地区。

值得注意的是盆地东部的元谋、洒芷一带上三叠统的镜质体反射率虽总体由深至浅减弱，但在纵向上  $R_0$  值呈波动变化，规律性不明显(图 1)，加之镜质体反射率平均达 2.11%，远大于一平浪及攀枝花地区的同层位地层，这种特殊现象应是后期构造 - 热活动改造的反映。盆地东部早白垩世晚期和晚白垩世初，受自东向西的褶皱 - 冲断活动影响，“元谋凸起”整体发生向西的推覆。构造岩片重叠作用造成层间剪切及摩擦生热，产生构造 - 热扰动，导致软弱层中的有机质成熟度跃迁变化，因此  $R_0$  - 深度曲线出现随深度大、小交替的现象。野外观察常见层间滑脱与叠瓦构造在剖面内发育，证实了这种作用的存在。显然，剖面上  $R_0$  - 深度曲线的变化反映构造 - 热扰动对有机质成熟度的重大影响。因此洒芷剖面上三叠统有机质  $R_0$  值的变化并不反映当

时的地温场特征,而是后期构造-热叠加的结果。一平浪金鸡山一带普家村组底部与元古界的冲断、叠覆导致局部有机质演化程度增大也是这种原因造成的。楚雄盆地内的构造-热扰动现象相当普遍,在  $R_0$  值分析中应注意区别。

### 3 楚雄盆地古地温场反演

从构造演化史分析,楚雄盆地自晚三叠世以来由弧后前陆盆地逐渐演化为稳定克拉通盆地,并经过多次叠加改造,因此盆地地温场的变更相当明显。新生代以来受印度板块与亚洲大陆碰撞及青藏地区隆升的影响,尤其在第三纪时受到岩浆热事件的影响,盆地内发育陆内走滑和碱性岩脉的侵入,相应的热流值和地温梯度增高。楚雄盆地现今大地热流实测值为  $70 \sim 83 \text{ mW} / \text{m}^2$ ,平均  $76 \text{ mW} / \text{m}^2$ ;地温梯度值  $25 \sim 32 \text{ } / \text{km}$ ,反映出一个较高温度场的“热”盆,也是后期叠加的结果。因此,楚雄盆地经历了前期的低热流值和第三纪以来的高热流值两个大的热演化阶段。然而,由于盆地发展经历了复杂的构造演化,这必然在总体变化中叠加新的热源,使盆地内部的热体制复杂化。在这里以地层中实测镜质体反射率数据为基础,结合盆地构造-热演化特点,对盆地热体制和古地温作初步的分析。

#### 3.1 反演思路及和流程

盆地古地热特征和有机质的成熟过程涉及古地温场的动态变化及古地热源的多期叠加过程<sup>[3,4]</sup>。通过提取地质温度计上记录的热信息是研究盆地古地温场变化的主要手段之一,利用实测的镜质体反射率剖面数据进行热史的随机反演来求取研究区的热史演变规律,是一有效的方法。但由于地质问题的复杂性和多解性,最终只能给出盆地热史变化的范围。反演的基本思路及流程如下:

1) 热史是用多项式进行拟合,其系数构成参数空间。一组系数便唯一地规定了一条热史剖面。

2) 应用一种优化方法——模拟退后法,在参数空间寻找一组系数,根据它给出的热史,结合样品的埋藏、抬升过程,计算样品的温度史,依据现今普遍接受的 easy  $R_0$  模型,可得到理论的  $R_0$  剖面。

3) 利用实测的  $R_0$  值和理论的  $R_0$  值,计算目标函数,若目标落于可接受的范围,表明理论  $R_0$  值和实测值拟合得很好,便接受这组参数,即认为这组参数所规定的热史是可以接受的;否则返回到第二步,重新寻找系数。

4) 若已获得 50 条热史曲线,计算即可结束,其

热史曲线所构成的热流值变化范围,可反映研究区的热史演变趋势;否则返回到第二步,继续计算。

#### 3.2 计算结果

图 2,3,4 分别为祥云、一平浪、攀枝花 3 个剖面的热史反演计算结果图。根据 50 根曲线的组合可

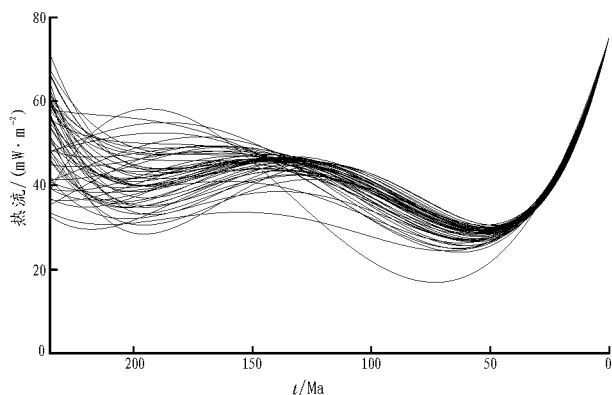


图 2 楚雄盆地祥云地区古热流模拟结果

Fig. 2 Modelling results of Paleo-heat flow in Xiangyun area of the Chuxiong Basin

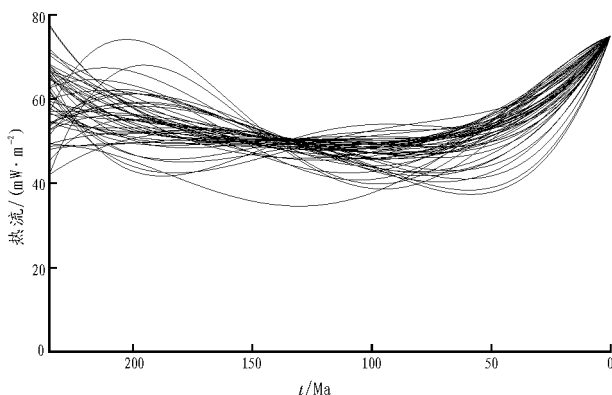


图 3 楚雄盆地禄丰一平浪地区古热流模拟结果

Fig. 3 Modelling results of Paleo-heat flow in Lufeng-Yi Pinglang area of the Chuxiong Basin

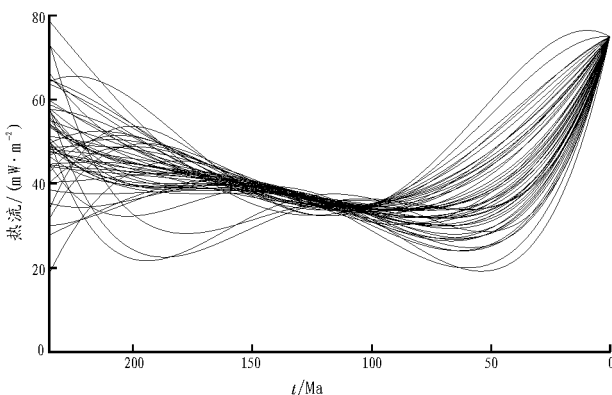


图 4 楚雄盆地攀枝花地区古热流模拟结果

Fig. 4 Modelling results of Paleo-heat flow in Panzhihua area of the Chuxiong Basin

以看出各个剖面热流的变化趋势。祥云地区,具波状起伏的特点,热流分别在 235 Ma(晚三叠世开始)和 137 Ma 时出现峰值大小分别为约  $50 \text{ mW/m}^2$  和  $45 \text{ mW/m}^2$ ;一平浪地区热流变化比较平稳,从晚三叠世开始热流值近  $55 \text{ mW/m}^2$ ,随后略有下降并稳定在  $50 \text{ mW/m}^2$ ,到 75 Ma 开始上升至现今的  $75 \text{ mW/m}^2$ ;攀枝花地区的热史变化与一平浪地区有些类似,只是热流值偏低一些。这 3 条曲线有一个共同的特点,是在晚三叠世开始和第三纪(约 65 Ma)热流开始上升的 2 个阶段内的拟合曲线较为分散,这可能与盆地发生挠曲和后期走滑剪切的热扰动期间热流值变化较大有关。

#### 4 楚雄盆地古地温场与构造-热活动分析

从构造演化史分析,楚雄盆地自晚三叠世以来由弧后前陆盆地逐渐演化为稳定克拉通盆地,并经过多次叠加改造,因此盆地地温场的变更相当明显。新生代以来受印度板块与亚洲大陆碰撞及青藏地区隆升的影响,尤其在第三纪时受到岩浆热事件的影响,盆地内发育陆内走滑和碱性岩脉的侵入,相应的热流值和地温梯度增高。楚雄盆地现今大地热流实测值为  $70 \sim 83 \text{ mW/m}^2$ ,平均  $76 \text{ mW/m}^2$ ;地温梯度值  $25 \sim 32 \text{ }^\circ\text{C/km}$ ,反映出—个较高温度的“热”盆,是后期叠加的结果。

数值模拟结果表明,盆地发展早期古热流值在  $40 \sim 50 \text{ mW/m}^2$  之间。从盆地埋藏史分析表明,从晚三叠世到早白垩世之前沉积充填作用基本为连续进行,在这一过程中,西部的祥云地区沉积厚度约 11 000 m,一平浪地区约 5 500 m;攀枝花地区约 7 300 m。根据给定的热流值,按正演方法模拟计算可得到侏罗纪末期上三叠统底部的  $R_0$  值:祥云区约为 2.5%;一平浪区约为 0.7%,攀枝花区约 0.82%。如果把正演时间延续至现今,上三叠统底部的  $R_0$  值增大有限。上三叠统经历的最高古地温在  $220 \sim 320 \text{ }^\circ\text{C}$  之间,根据各个剖面的最大埋深,如果假定有机质成熟作用全归结为埋藏增温的结果,则经历的最大地温梯度分别为  $28 \text{ }^\circ\text{C/km}$ ,  $40 \text{ }^\circ\text{C/km}$ ,  $28 \text{ }^\circ\text{C/km}$ ,相应的大地热流值将为  $70 \sim 85 \text{ mW/m}^2$ ,  $100 \sim 120 \text{ mW/m}^2$ ,  $70 \sim 85 \text{ mW/m}^2$ ,这样高的热流值和地温梯度在作为“冷盆”期的晚三叠世—早白垩世阶段是不可能有的。基于现今楚雄盆

地是一个“热盆”的事实和对盆地构造演化史的认识,可以认为在晚三叠世—早白垩世之间楚雄盆地的热流值与地温梯度将低于现今的  $76 \text{ mW/m}^2$  与  $25 \text{ }^\circ\text{C/km}$ ,在此以后热值则明显增加。后者与第三纪碱性岩浆事件导致有机质的成熟度迅速增加,以致部分过成熟有关。因此,晚期构造-热事件对于盆地的烃类保存是一个致命的弱点。

第三纪的构造-热事件以盆地内成带出露的碱性浅成岩体为代表。根据岩体的化学成分和矿物组合,反映它们是强烈混染地壳成分的上地幔岩石部分熔融岩浆分异结晶之产物。盆地内上白垩统马头山组含铜矿层的发育也与该期活动有关。它们是盆地内大规模走滑导致深部岩浆沿断裂上侵,造成盆地范围内地温场急剧上升的结果。根据有关的花岗岩相图,判断这些黑云母粗面斑岩和二长斑岩的起源温度不低于  $600 \text{ }^\circ\text{C}$ 。根据滇西、滇中地区大地电磁测深的结果,在地表下 18km 处发育—低阻层,推断为地壳发生部分熔融所致。由此推断碱性浅成岩体的起源深度为 20km 左右,相应的平均地温梯度不小于  $30 \text{ }^\circ\text{C/km}$ ,不低于现今的地温梯度,相应的热流值不小于  $75 \text{ mW/m}^2$ 。

总之,第三纪时期的构造-热事件对盆地有机质的成熟度影响较为强烈,它使盆地的温度达最大值也使得全盆地的有机质成熟度得以同步增长。因此地层中实测的  $R_0$  值反映出主要的是这一期的热活动。热活动结果使盆地地层剖面中全部有机质受到整体性的“高温加热”,导致其  $R_0$  同时增加,这就是造成剖面中  $R_0$  梯度值减小的根本原因。因此盆地内地层中小的  $R_0$  梯度值至少反映出 2 个事实,即盆地前期的低热流和盆地后期的突然增温。而这种变化也与盆地的演化、叠加过程相一致。

#### 参考文献:

- 1 周中毅. 沉积盆地古地温测定方法及其应用[M]. 广州:广东科技出版社,1993. 1~11
- 2 蔡立国. 楚雄弧后前陆盆地形成与充填特征[M]. 北京:石油工业出版社,2002. 118~125
- 3 吴冲龙,李星,刘刚等. 盆地地热场模拟的若干问题探讨[J]. 石油实验地质,1999,21(1):1~7
- 4 郑朝阳,罗秋霞,郭迪孝. 应用计算机模型恢复盆地的热演化[J]. 石油实验地质,1991,13(4):380~389

## STUDY ON DEEP BASIN GAS IN THE WESTERN SICHUAN DEPRESSION, THE SICHUAN BASIN

Chen Zhaoguo<sup>1,2</sup>

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China;

2. Southwest Petroleum Branch, SINOPEC, Chengdu, Sichuan 610081, China)

**Abstract** : Natural gas in deep basin reservoirs is one type of tight sandstone gas pools, and its exploration strategy is wholly different from normal reservoirs due to its special characteristics and mechanism of gas accumulation. Is there any deep basin gas in tight clastics of continental facies in the Western Sichuan Depression? There were much different arguments about that. The gas accumulation mechanism and gas reservoir characteristics in the Western Sichuan Depression were compared with those of deep basin gas reservoirs in North American. It was considered that typical characteristics of deep basin gas had not been discovered in the Upper Triassic reservoirs. The gas accumulation mechanism of the Western Sichuan Depression is different from those of deep basin gas reservoirs. The complex gas accumulation model of "normal accumulation in the early stage and modification in the late" was suggested.

**Key words** : deep basin gas; gas reservoir characteristics; gas accumulation mechanism; the Western Sichuan Depression; the Sichuan Basin

---

(continued from page 31)

## PALEO-GEOTHERMAL FIELD AND TECTONIC-THERMAL EVOLUTION IN THE CHUXIONG BASIN OF CHINA

Wang Guoli<sup>1</sup>, Cai Ligu<sup>2</sup>, Wang Jiyang<sup>3</sup>, Shi Xiaobing<sup>3</sup>

(1. Science Technology and Development Dept., SINOPEC, Beijing 100029, China;

2. Wuxi Research Institute of Experimental Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi, Jiangsu 214151, China;

3. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

**Abstract** : The evolution of geothermal field and tectonic-thermal activities were all consistent with tectonic events in the Chuxiong Basin. The heat flow values of the basin in the Late Triassic was similar to that of retro-arc basins in the world, but the thermal field and thermal gradient were slightly lower. The thermal gradient and thermal current were gradually weakening in the Jurassic and the Early Cretaceous as compared with those in the Late Triassic in the basin, which were close to the values of thermal flow in cratonic basins. The thermal gradient and thermal flow were rapidly raised in the Cenozoic as intra-continent strike-slip activities and magmatic injection happening along deep faults. The formation of high thermal field in the basin was the result of tectonic-heat activities.

**Key words** : tectonic-thermal evolution; Paleo-geothermal field; the Chuxiong Basin