

文章编号: 1001-1986(2010)06-0017-05

黔西滇东典型矿区含煤地层热演化史分析

陶 树¹, 汤达祯¹, 秦 勇², 许 浩¹, 李 松¹, 蔡佳丽¹

(1. 中国地质大学海相储层演化与油气富集机理教育部重点实验室, 能源学院, 北京 100083;

2. 中国矿业大学资源与地球科学学院, 江苏 徐州 221116)

摘要: 在系统研究黔西滇东地区构造特征、含煤地层发育及受热背景等基础上, 运用 BasinMod 盆地模拟技术, 探讨了格目底向斜及恩洪盆地含煤地层的埋藏史、热演化史, 揭示出含煤地层成熟演化的阶段性。研究表明: 黔西滇东地区煤变质作用主要受该区的沉积埋藏、岩浆热液和构造运动等多种因素控制, 煤变质作用很不均匀; 含煤地层被分割于众多独立次级向斜单元, 总体上具有向斜控气的构造特征; 格目底向斜晚二叠世煤现今处于焦煤—瘦煤阶段, 镜质体反射率达 1.7% 左右, 恩洪盆地则为气煤—肥煤阶段, 镜质体反射率约 1.0%。

关键词: 黔西滇东; 含煤地层; 盆地模拟; 热演化; 向斜控气

中图分类号: P618.11 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-1986.2010.06.004

Analysis on thermal history of coal strata of typical mining areas in western Guizhou and eastern Yunnan

TAO Shu¹, TANG Dazhen¹, QIN Yong², XU Hao¹, LI Song¹, CAI Jiali¹

(1. Key Laboratory of Marine Reservoir Evolution and Hydrocarbon Accumulation Mechanism, Ministry of Education, School of Energy Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Institute of Mineral Resources and Geoscience, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221116, China)

Abstract: Based on the systematic study on tectonic characteristics, coal-bearing strata development and heating background in western Guizhou and eastern Yunnan, this paper uses basin modeling technology to expound the burial history and heat evolution history and to reveal the episodic of the maturation and evolution of coal-bearing strata in Gemudi syncline and Enhong basin. The results show that the coal metamorphism is mainly controlled by deposition depth, magmatic hydrothermal fluids, tectonics and some other factors. Thus, the coal metamorphism is very uneven. The coal-bearing strata are separated into a number of independent sub-syncline units, which have a structural feature of syncline-controlled gas. It is in coking coal-lean coal phase of the late Permian coal in Gemudi syncline, of which R_o is about 1.7%, whereas, it is in gas coal-fat coal phase in Enhong basin, of which R_o is about 1.0%.

Key words: western Guizhou and eastern Yunnan; coal-bearing strata; basin modeling; thermal evolution; syncline-controlled gas

黔西、滇东地区系指贵州水城、盘县、六枝、威宁及云南宣威、曲靖、富源、师宗、沾益等地, 面积 $2.58 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。主要含煤层气盆地的总资源量达 $2.2 \times 10^{12} \sim 2.75 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 具有非常巨大的开发前景。随着国际能源短缺问题的日益紧张, 以及我国对煤层气资源勘探与开发力度的加大, 黔西滇东地区的煤层气资源倍受关注^[1-2]。

关于黔西滇东晚二叠世含煤地层的研究, 以往主

要集中在沉积、构造演化特征和煤层气储集物性及有利目标区的预测方面^[1-7], 而对于含煤地层成熟演化方面的研究还是空白。本次研究在综合分析研究区基础地质背景基础上, 利用 BasinMod 盆地模拟技术^[8], 拟探讨格目底向斜及恩洪盆地含煤地层的埋藏史、热演化史, 以揭示含煤地层成熟演化的阶段性, 为进一步探讨煤层气藏的形成及演化提供参考。

收稿日期: 2010-01-12

基金项目: 国家自然科学基金重点项目(40730422); 大型油气田及煤层气开发国家科技重大专项(2008ZX05034-001); 油气沉积地质教育部创新团队项目(IRT0864); 中央高校基本科研业务费专项资金项目(2009PY19)

作者简介: 陶 树(1981—), 男, 安徽合肥人, 博士研究生, 从事能源地质、煤层气地质与开发研究工作。

1 区域构造特征及聚煤环境演化

黔西滇东地区属黔西、滇东、川南晚二叠世上扬子聚煤沉积盆地的一部分^[9]，其聚煤环境的形成与早二叠世后期发生的东吴运动和康滇古陆裂谷带的扩张密切相关，形成了面积达数十万平方公里的原始聚煤盆地，但历经后期的燕山运动和喜马拉雅运动的改造，分解成北面四川盆地和南面众多山间断陷盆地、坳陷盆地。

东吴运动时期，上扬子盆地整体处于一个海退沉积旋回，使上扬子盆地整体抬升成陆，沉积地层遭受不同程度的风化剥蚀与淋滤残积作用，形成了广阔的残积平原，为聚煤环境的形成提供了有利的地形条件。早二叠世晚期，大量的玄武岩浆溢流喷发和同源的辉绿岩床、岩墙的侵入，堆积成连绵起伏的玄武岩山地，构建了正向的构造因素和地形条件。而紫云裂陷槽和罗平裂陷槽，作为负向构造活动中心与康滇古陆一起互相对立，互相制约，共同控制了聚煤盆地的形成、发展和充填的全部过程。燕山运动以来，白垩纪以前的地层和聚煤期形成的煤系，均遭到褶皱和断裂的强烈改造。含煤地层被分割于众多独立次级向斜单元，总体上具有向斜控气的构造特征(图 1)。

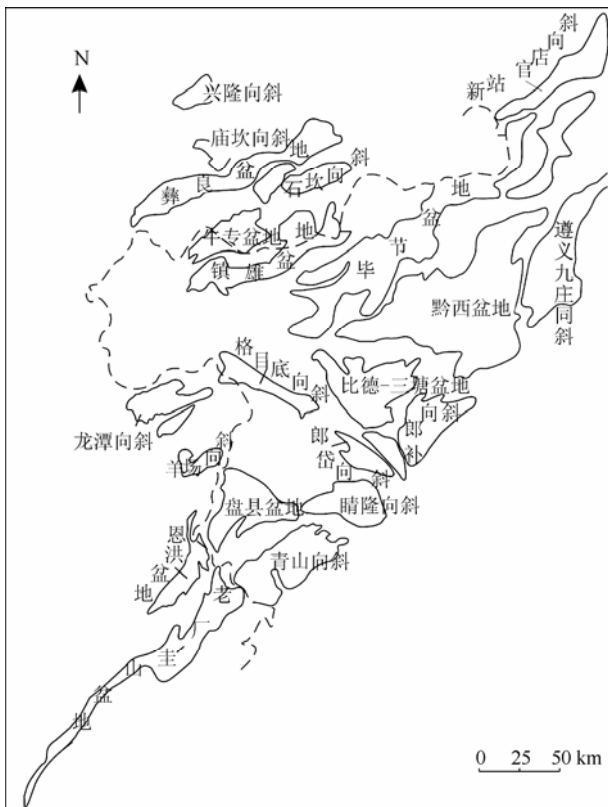


图 1 黔西滇东煤层气盆地分布图^[2]

Fig. 1 Distribution of coal bed gas basins in western Guizhou and eastern Yunnan

2 黔西滇东古受热史

黔西滇东区域上煤质差别很大，煤变质作用很不均匀，整体上具有 NE-SW 向高中间低的特点(图 2)，这主要是由于该区煤层与含煤地层在区域性地壳沉降过程中经受的地热和上覆盖层压力的影响不均一所致。综合分析，黔西滇东地区煤变质作用主要受该区的沉积埋藏、岩浆热液和构造运动等多种因素共同控制。

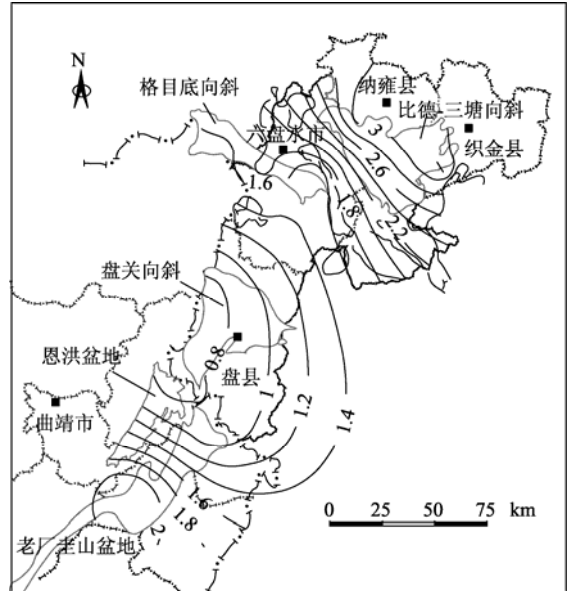


图 2 黔西滇东二叠系煤镜质体反射率等值线图

Fig. 2 R_o isoline of Permian coal in western Guizhou and eastern Yunnan

2.1 埋深变质作用

随着含煤地层埋藏深度的增加，煤层所受上覆地层压力增大，温度增高，煤变质程度自然增高。由图 3、图 4 可知，贵州二叠纪含煤地层最大埋藏温度随古埋深的增大而增高，二者具有较好的正相关性。

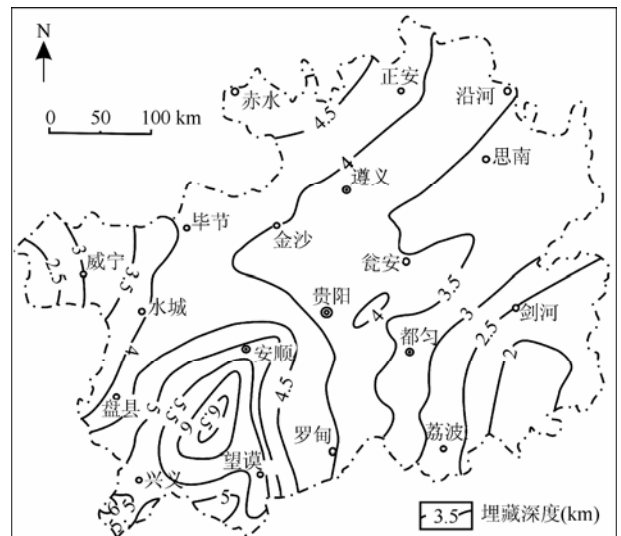


图 3 贵州上二叠统地层古埋藏深度等值线图^[10]

Fig. 3 Paleoburial depth isoline of Upper Permian strata in Guizhou

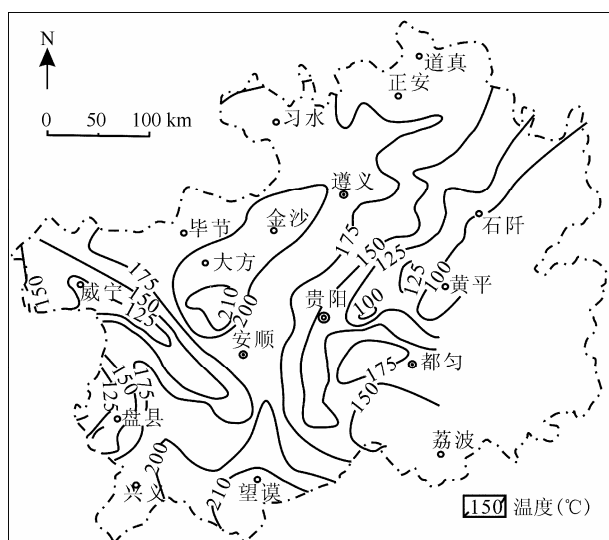


图 4 贵州晚二叠世最大埋藏温度等值线图^[10]

Fig. 4 Maximum burial temperature isoline of Late Permian in Guizhou

2.2 岩浆热液作用

黔西滇东现今地温梯度为 $2.0 \sim 2.5$ $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$, 如以 2.5 $^{\circ}\text{C}/\text{hm}$ 的地温梯度来计算, 贵州二叠纪煤层在达到最大古埋深时, 最大埋藏温度也达不到相应值(图 3、图 4)。以盘县地区为例, 该地区上二叠统地层古埋深在 $4 \sim 4.5$ km, 其对应的古地温也只能达到 $100 \sim 112.5$ $^{\circ}\text{C}$, 而由图 4 可知, 盘县地区晚二叠世最大埋藏温度可以达到 $125 \sim 150$ $^{\circ}\text{C}$ 。所以, 黔西滇东二叠纪煤在经受正常的埋深变质作用的同时, 叠加了区域岩浆热变质作用。

关于贵州等地的区域岩浆热液变质作用, 前人也做过相关论证。比如从中温、中低温内生金属矿床入手研究, 认为贵州北部、中部、南部的无烟煤区, 虽未见到大量的火成岩出露, 可能仍有隐伏的火成岩体, 岩浆热液是影响煤变质、形成煤种分带的主导因素; 根据重力异常预测出桐梓、黔西、兴仁、紫云和罗甸等地存在多处隐伏岩体; 并根据热液矿床同位素分析资料, 判明这一地区的热液属岩浆热液, 其活动具有多期性^[11-12]。

2.3 构造运动作用

岩浆热液活动的主要动力为构造运动。构造活动的发生往往伴随着热事件, 各时代古地温场的变化与构造运动关系密切。而盆地构造热事件的发生时期、强度和影响范围对烃源岩的演化程度及成藏时期有重要的控制作用^[13-15]。在黔西滇东地区, 华力西运动晚期及印支运动和燕山运动期间, 构造活动强度很大, 造成与之相应时期地层的古地温梯度明显增高。

处于不同地质构造单元的聚煤区, 因构造活动的相对强弱不同, 导致煤层受热演化程度不同。如滇东宣威煤田、恩洪煤田和圭山煤田处于相对稳定的构造单元, 它们靠近牛首山古陆, 属于早古生代长期

隆起区, 于晋宁运动和澄江运动期褶皱回返, 暴露地表, 利于基底和地壳深部热能的散发。晚古生代又接受沉积, 含煤地层薄, 古地温梯度值小, 煤变质程度为低-中变质的烟煤。而相对活动单元包括昭通以北的镇雄煤田和盐津含煤区等, 该区自晋宁运动回返之后, 早、晚古生代与中生代一直处于活动沉降状态, 经过较高的温度、较大的压力和漫长的历史, 使得该地区晚二叠世的煤形成高变质的贫煤和无烟煤。

3 典型区块含煤地层热演化史恢复

热演化史恢复采用 BasinMod-1D 盆地模拟分析软件完成。地层分层及厚度数据参考实钻地层数据及各区区域地质志, 古地温数据在参考前人研究成果的基础上, 结合区域热史资料, 确定了地质时期古地温梯度。有机成熟度计算采用 LLNL 动力学模型, 数值模拟过程中采用实测镜质体反射率、流体包裹体均一化温度数据进行约束, 以保证重建的地层埋藏-有机质热演化史符合实际地质过程。

3.1 格目底向斜

3.1.1 地质概况

格目底向斜面积 612 km^2 , 位于六盘水断陷带的西北部, 向斜北边界为垭都—紫云断裂, 南边以公鸡山背斜为界, 呈 NWW 走向的长条带状, 长约 70 km, 宽 $7 \sim 21$ km。格目底向斜构造十分复杂, 应力场表现有挤压、拉张、平推等性质, 各部位的受力大小和方向均有不同。向斜出露的地层主要有上二叠统玄武岩、龙潭组含煤地层、三叠系、侏罗系、第四系。向斜边缘带二叠系上覆地层基本被剥蚀, 残留第四系覆盖物。

3.1.2 成熟演化史

由图 5 可知, 上二叠统煤于晚二叠世末期进入低成熟期, 古地温为 95 $^{\circ}\text{C}$, 对应长焰煤—气煤阶段, 镜质体反射率为 $0.5\% \sim 0.7\%$; 到早三叠世早期进入成熟早期, 古地温为 115 $^{\circ}\text{C}$, 对应气煤—肥煤阶段, 镜质体反射率为 $0.7\% \sim 1\%$; 早侏罗世末期进入成熟后期, 古地温为 145 $^{\circ}\text{C}$, 对应肥煤—焦煤阶段, 镜质体反射率为 $1\% \sim 1.3\%$; 至晚侏罗世早期进入高成熟期, 古地温为 165 $^{\circ}\text{C}$, 对应焦煤—瘦煤阶段, 镜质体反射率达 1.7% 左右(图 5)。

通过测试分析, 格目底向斜镜质体反射率为 $1.56\% \sim 1.68\%$, 煤级以焦煤为主; 钻孔取样测得包裹体均一温度 $113 \sim 160$ $^{\circ}\text{C}$, 与模拟结果基本一致, 见表 1 和表 2。

3.2 恩洪盆地

3.2.1 地质概况

恩洪盆地面积 620 km^2 , 位于扬子陆块西南部,

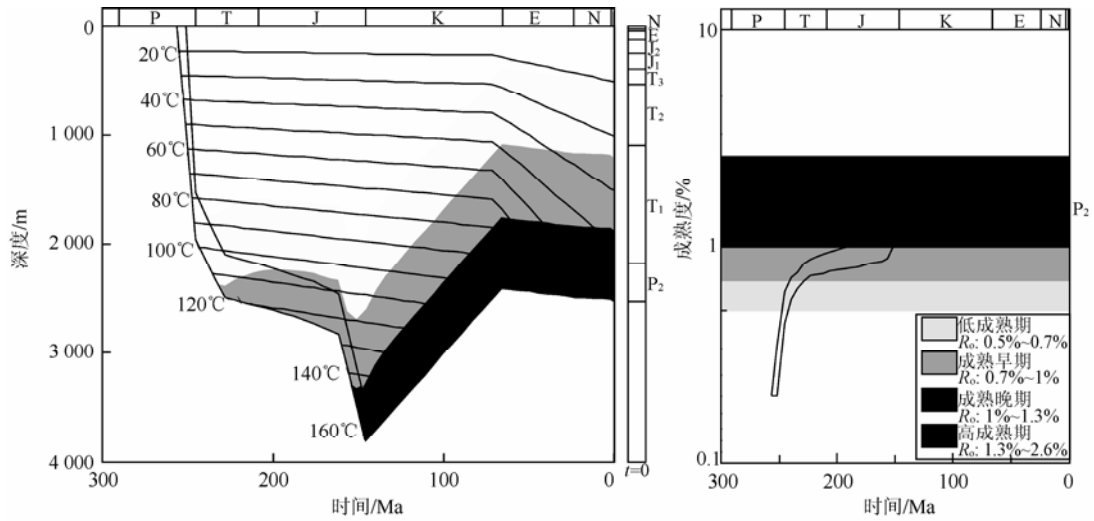


图 5 格目底向斜晚二叠世煤成熟演化史

Fig. 5 Mature evolution history of Late Permian coal in Gemudi syncline

表 1 格目底向斜煤样镜质体反射率 R_o

Table 1 R_o values of vitrinite in Gemudi syncline

| 样品编号 | 取样位置 | 层位 | 岩性 | R_o /% |
|------|------|------------------|------|----------|
| ZC-1 | 贵州水城 | P ₂ l | 煤 | 1.68 |
| ZC-3 | 贵州水城 | P ₂ l | 煤 | 1.66 |
| M6-1 | 贵州水城 | P ₂ l | 煤 | 1.56 |
| M6-2 | 贵州水城 | P ₂ l | 煤 | 1.61 |
| M6-3 | 贵州水城 | P ₂ l | 碳质页岩 | 1.68 |

表 2 格目底纸厂钻孔取样包裹体均一温度

Table 2 Homogenization temperature of drilling samples in Gemudi syncline

| 层位 | 岩性 | 赋存矿物 产状 | 包裹体 类型 | 均一相态 | 均一温度 /℃ |
|------------------|-----|------------|-----------|------|------------|
| P ₂ l | 粉砂岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 120 |
| P ₂ l | 粉砂岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 117 |
| P ₂ l | 粉砂岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 113 |
| P ₂ l | 粉砂岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 123 |
| P ₂ l | 粉砂岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 155 |
| P ₂ l | 粉砂岩 | 石英碎屑 | 原生 | 液相 | 160 |
| P ₂ l | 粉砂岩 | 石英碎屑 | 原生 | 液相 | 146 |

滇太平洋构造系与特提斯构造系的交接复合带，整体处于扬子板块西部边缘的滇东台褶带、曲靖台褶束的富源凹陷中。区域上，盆地受板块挤压作用，构造线比较紧密，断裂、褶曲密集展布，构成复向斜。恩洪盆地出露的地层主要有上二叠统玄武岩、宣威组含煤地层、三叠系、侏罗系、第四系，以二叠系、三叠系广泛分布。

3.2.2 成熟演化史

本区上二叠统煤于晚二叠世末期进入低熟期，古地温为 85℃，对应长焰煤—气煤阶段，镜质体反射率为 0.5%~0.7%；在中三叠世末进入成熟早期，古地温为 110℃，对应气煤—肥煤阶段，镜质体反射率为 0.7%~1%。但在侏罗纪末期，由于构造抬升作用，煤层停止演化，现今镜质体反射率达 1.0%左右(图 6)。

恩洪盆地实测煤样镜质体反射率为 0.69%~

0.96%，煤质演化达肥煤阶段，与模拟结果基本一致(表 3)。钻孔取样测得包裹体均一温度 81~192℃，分为两期，一期的温度范围为 82~110℃，相当于晚二叠世的古地温，与模拟结果一致，另一期为 145~192℃，这一期温度较高，推测是来自下古生界的流体被晚二叠世地层捕获所致(表 4)。

表 3 恩洪盆地煤样镜质体反射率 R_o

Table 3 R_o values of vitrinite in Enhong basin

| 样品编号 | 取样位置 | 层位 | 岩性 | R_o /% |
|-------|------|------------------|------|----------|
| M13-1 | 云南富源 | P ₂ x | 劣质煤 | 0.69 |
| M13-2 | 云南富源 | P ₂ x | 劣质煤 | 0.71 |
| M13-3 | 云南富源 | P ₂ x | 煤 | 0.76 |
| M13-4 | 云南富源 | P ₂ x | 碳质页岩 | 0.86 |
| M13-5 | 云南富源 | P ₂ x | 煤 | 0.86 |
| M13-6 | 云南富源 | P ₂ x | 煤 | 0.88 |
| M13-7 | 云南富源 | P ₂ x | 碳质页岩 | 0.89 |
| M13-8 | 云南富源 | P ₂ x | 碳质页岩 | 0.91 |
| M13-9 | 云南富源 | P ₂ x | 碳质页岩 | 0.96 |

4 结 论

a. 黔西滇东二叠纪含煤地层被分割于众多独立次级向斜单元，总体上具有向斜控气的构造特征。该区地层的古热史主要受该区的沉积埋藏、岩浆热液和构造运动等多种因素控制，导致区域上煤变质程度很不均一。

b. 通过对格目底向斜晚二叠世煤层热演化史的反演可知，格目底向斜煤层现今处于中—高演化阶段。上二叠统煤层于晚二叠世末期进入低成熟期；于早三叠世早期进入成熟早期；于早侏罗世末期进入成熟后期；至晚侏罗世早期进入高成熟期，此时古地温为 165℃，对应焦煤—瘦煤阶段，镜质体反射率达 1.7%左右。

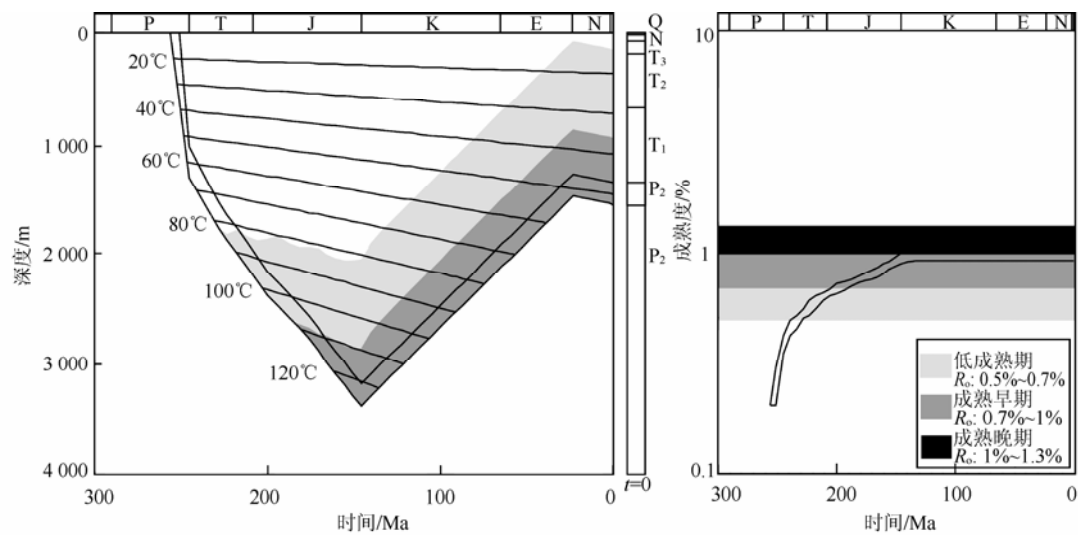


图 6 恩洪盆地晚二叠世煤成熟演化史

Fig. 6 Mature evolution history of Late Permian coal in Enhong basin

表 4 恩洪盆地钻孔取样测得包裹体均一温度

Table 4 Homogenization temperature of drilling samples in Enhong basin

| 取样位置 | 层位 | 岩性 | 赋存矿物产状 | 包裹体类型 | 均一相态 | 均一温度/ |
|--------|------------------|-----|--------|-------|------|-------|
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 粉砂岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 192 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 粉砂岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 108 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 粉砂岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 176 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 粉砂岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 108 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 粉砂岩 | 方解石胶结物 | 原生 | 液相 | 110 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 灰岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 105 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 灰岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 81 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 灰岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 83 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 灰岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 82 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 灰岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 95 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 灰岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 88 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 底砾岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 147 |
| 恩洪营上钻井 | P ₂ x | 底砾岩 | 方解石脉 | 原生 | 液相 | 145 |

c. 恩洪盆地煤层古埋深较浅，煤变质程度低，处于中-低演化阶段。上二叠统煤层于晚二叠世末期进入低成熟期；于中三叠世末进入成熟早期，此时，古地温为 110℃，对应气煤—肥煤阶段，镜质体反射率约为 1.0%。

参考文献

[1] 顾成亮. 滇东、黔西地区煤层气地质特征及远景评价[J]. 煤田地质与勘探, 2009, 37(4): 43-46.
[2] 桂宝林, 王朝栋. 滇东—黔西地区煤层气构造特征[J]. 云南地质, 2000, 19(4): 321-351.
[3] 邵龙义, 张鹏飞, 陈代钊, 等. 滇东黔西晚二叠世早期辨状河三角洲沉积体系及其聚煤特征[J]. 沉积学报, 1994, 12(4): 132-138.
[4] 顾成亮, 桂宝林. 滇东—黔西地区晚二叠世煤层割理研究及其在煤层气勘探中的意义[J]. 云南地质, 2000, 19(4): 352-362.
[5] 顾成亮. 滇东—黔西地区晚二叠世煤岩及煤层气储层物性分析[J]. 贵州地质, 2001, 18(3): 163-167.
[6] 桂宝林. 滇东黔西煤层气选区及勘探目标评价[J]. 云南地质,

2004, 23(4): 410-420.
[7] 陶树, 汤达祯, 周传祯, 等. 川东南—黔中及其周边地区下组合烃源岩元素地球化学特征及沉积环境意义[J]. 中国地质, 2009, 36(2): 397-403.
[8] 陶树, 汤达祯, 许浩, 等. 中、上扬子区寒武—志留系高过成熟烃源岩热演化史分析[J]. 自然科学进展, 2009, 19(10): 1126-1133.
[9] 贵州省地质矿产局煤田地质研究队. 贵州晚二叠世煤田地质研究[M]. 贵州: 贵州人民出版社, 1990: 128-143.
[10] 王小川. 黔西南滇东晚二叠世含煤地层沉积环境与聚煤规律[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1996.
[11] 王竹泉. 华南晚二叠世煤田形成条件及分布规律[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1980.
[12] 杨起, 潘治贵, 翁成敏, 等. 华北石炭二叠纪煤变质特征地质因素探讨[M]. 北京: 地质出版社, 1988.
[13] SACHSENHOFER R F, PRIVALOV V A, ZHYKALYAK M V, et al. The donets Basin(Ukraine/Russia): coalification and thermal history [J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 49(I): 33-55.
[14] 任战利, 肖晖, 刘丽, 等. 沁水盆地中生代构造热事件发生时期的确定[J]. 石油勘探与开发, 2005, 32(1): 43-47.
[15] 陶树, 汤达祯, 李凤, 等. 黔中隆起北缘金沙岩孔古油藏特征及成藏期次厘定[J]. 中国矿业大学学报, 2009, 38(4): 576-581.