

济阳拗陷石炭—二叠系热演化与生烃阶段

李荣西

廖永胜

(中国科学院地球化学研究所, 贵阳) (胜利石油管理局地质科学研究所, 山东东营)

周义

(长安大学地球科学系, 西安)

摘要 在对胜利油气区济阳拗陷地质构造和沉积埋藏史分析的基础上, 选择典型钻井岩芯, 通过系统分析研究其镜质体反射率剖面特征, 运用热动力学原理经线性回归确定出本区上古生界、中生界和新生界的古地温梯度, 其分别为 $3.49 \sim 3.92$ $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 、 $4.33 \sim 4.67$ $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 和 3.76 $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。中生代本区出现的高热异常与燕山期岩浆活动板底垫托作用有关。同时确定出印支运动和燕山运动抬升之前, 石炭—二叠系烃源岩的成熟度分别为 $R^{\circ} = 0.52\% \sim 0.58\%$ 和 $R^{\circ} = 0.90\% \sim 1.11\%$, 它们分别已进入生烃门限和生气阶段, 但生烃产物不同程度地遭受构造抬升作用的破坏, 这对正确评价本区石炭—二叠系油气资源具有十分重要的意义。

关键词 古地温梯度 热演化 烃源岩 石炭—二叠系 济阳拗陷

济阳拗陷位于渤海湾盆地的东南部, 是胜利油气区最大的一个拗陷。地球物理和钻井资料揭示, 晚古生代石炭—二叠纪煤系地层在济阳拗陷分布广、埋藏深(最深达 5 000 m 左右), 厚度大(平均约 600 m), 有机岩石学和生烃评价研究表明, 晚古生代煤系地层中煤和暗色泥岩(包括炭质泥岩)是一套良好的烃源岩, 具有较大的生气潜力和一定的生油能力(李荣西, 1998; 向奎等, 1996; 王秉海等, 1992)。与整个渤海湾盆地一样, 济阳拗陷晚古生代煤系烃源岩生烃热演化过程因后期构造抬升和剥蚀作用而变得比较复杂。目前虽然有较多的关于本套烃源岩镜质体反射率和成熟度的研究, 但还未有对其热演化史系统的研究成果和报导。虽然人们非常关心这套煤系烃源岩的“二次生烃”作用, 但基本上都是从现代地温状况去推测几亿年来的地温特征(蒋有录等, 1997)^①。济阳拗陷现今地温梯度为 $29 \sim 37$ $^{\circ}\text{C}/\text{km}$, 在过去漫长的地史时期是否也是如此, 迄今未见相关报导。

1 烃源岩的埋藏与抬升史

区域地质研究表明, 本区石炭—二叠系沉积后经历了以下 3 次大的区域性抬升与埋藏作用:

(1)(前)印支期埋藏与抬升作用: 石炭—二叠纪烃源岩主要分布在上石炭统太原组和下二叠统山西组, 在其上还连续沉积了下二叠统的下石盒子组、上二叠统上石盒子组和石千峰组等巨厚的陆相碎屑岩沉积。

济阳拗陷中生代沉积发育特征主要受基底断裂构造控制, 目前还未发现三叠纪地层, 仅在相邻的临清拗陷东部发现了早、中三叠世陆相红色泥砂质沉积岩系。一般认为, 华北地区三叠纪地层是普遍沉积的, 在渤海湾盆地一带早、中三叠世普遍缺失的原因不是沉积缺失, 而是剥蚀缺失(王秉海等, 1992; 王鸿祯等, 1980)。晚三叠世的印支运动使本区抬升隆起, 沉积间断, 而且使原有沉积地层遭受不同程度的剥蚀。

(2)燕山期埋藏与抬升作用: 这一时期虽然是华北地区整体抬升剥蚀期, 但在济阳拗陷的一些凹陷里普遍沉积了早、中侏罗世的泥砂质含煤岩系(坊子组 J_{1+2f} , 三台组 J_{2s})。在燕山运动影响下, 晚侏罗世—早白垩世时发生强烈断陷运动, 断裂及岩浆活动强烈, 沉积了一套厚度较大的中基性火山岩及陆相碎屑岩建造, 之后整体抬升隆起。

(3)新生代埋藏与抬升作用: 自新生代(孔店组

注: 国家自然科学基金(49672131)和中国博士后科学基金资助

改回日期: 2000-9-25; 责任编辑: 宫月萱

第一作者: 李荣西, 男, 1966年生, 博士, 从事油气地质与地球化学研究, 邮编: 550002

①胜利石油管理局地质科学院, 1995. 济阳、临清拗陷天然气形成条件及勘探目标研究(内部资料)

沉积早期)以来,济阳拗陷进入一个较长期的快速沉降阶段,石炭-二叠纪烃源岩被持续埋藏,直到早第三纪晚期(相当于东营组沉积晚期),曾一度抬升降起,据东营凹陷磷灰石裂变径迹分析表明,在20~30 Ma间有一个明显的冷却史(郭随平等,1996),这是由于东营组沉积末期抬升剥蚀引起的。晚第三纪至第四纪本区为连续的稳定沉降阶段。

2 镜质体反射率剖面

选择位于济阳拗陷北部义135井、义155井保存较齐全的钻井岩芯样品,系统地进行了测量,图1是镜质体反射率(R°)对深度(H)所做的关系图,从图中投点分布规律及趋势可以看出,投点轨迹为一指数函数曲线,说明镜质体反射率(R°)与深度(H)之间为一指数函数关系,可以表示为:

$$R^\circ = a \cdot b^H \quad (1)$$

式中 a 为一常数,它对应于 $H=0$ 时的反射率 R° , b 为热响应因子,是反映 R° 随深度的变化速度

表1 义135井和义155井镜质体反射率对数与深度线性回归直线方程及有关参数

Table 1 Regression equation and parameters for vitrinite reflectance profile of the well Yi 135 and Yi 155

井号(图号)	层位	线段	$a/\%$	$b/\% \cdot m^{-1}$	煤化梯度($\ln d$) $\% \cdot km^{-1}$	相关系数/ r	直线方程 $\ln R^\circ = \ln a + H \ln b$
义135井 (图2)	新生界	A	0.1913	1.00024	0.24	0.9765	$= 0.00024H - 1.654$
	中生界	B	0.212	1.00034	0.34	0.9756	$= 0.00034H - 1.5512$
	晚古生界	C	0.2972	1.00030	0.30	0.9347	$= 0.0003H - 1.2133$
义155井 (图3)	新生界	A	0.1440	1.00026	0.26	0.9938	$= 0.00026H - 1.9315$
	中生界	B	0.2045	1.00033	0.33	0.9857	$= 0.00033H - 1.5874$
	晚古生界	C	0.2023	1.00031	0.31	0.9875	$= 0.00031H - 1.5978$

注: 线段分别为所对应图中的线段; a 、 b 参数意义同正文式(1)中的 a 、 b ; H —埋深, 单位: m; R° —镜质体反射率, 单位: %

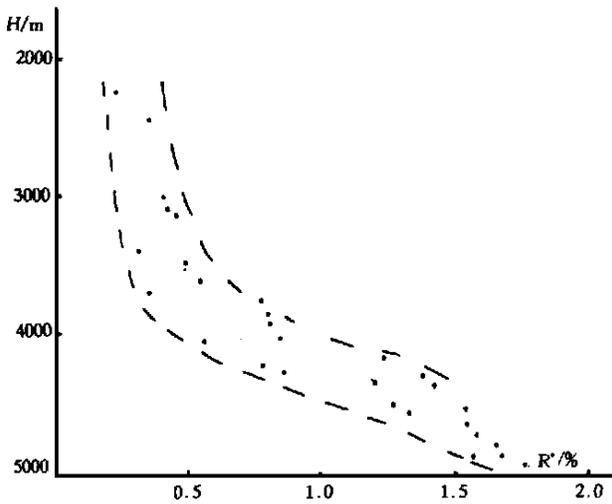


图1 义135井、义155井镜质体反射率与埋深关系图

Fig. 1 Plot of vitrinite reflectance the depth of Yi 135 and Yi 155 well

(%/m)的一个参数,也是反映盆地沉降速率的一个指标,其对数($\ln b$)即相当于煤化梯度。将(1)式进行对数变换,得到下式:

$$\ln R^\circ = \ln a + H \ln b \quad (2)$$

(2)式表示镜质体反射率(R°)的对数 $\ln R^\circ$ 与深度(H)之间为一直线方程关系式。

图2和图3分别是义135井和义155井镜质体反射率对数 R° 与深度的关系剖面图,从中可以看出,义135井和义155井的镜质体反射率剖面均呈水平错开的3条线段,在图中分别用A、B、C表示,其分别代表新生界、中生界和上古生界3套地层镜质体反射率随深度变化的情况。3条线段之间水平错开,揭示了新生界与中生界、中生界与上古生界之间存在着不整合面,中生代和晚古生代地层遭受过不同程度的剥蚀作用。从回归分析参数计算结果看(表1), R° 的对数 $\ln R^\circ$ 与埋深(H)之间呈良好的线性相关关系,相关系数一般多在0.98左右。

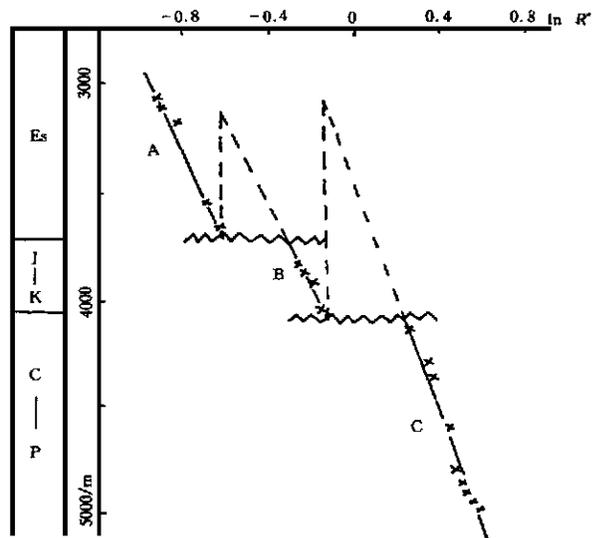


图2 义135井镜质体反射率剖面图

Fig. 2 Vitrinite reflectance profile of Yi 135 well

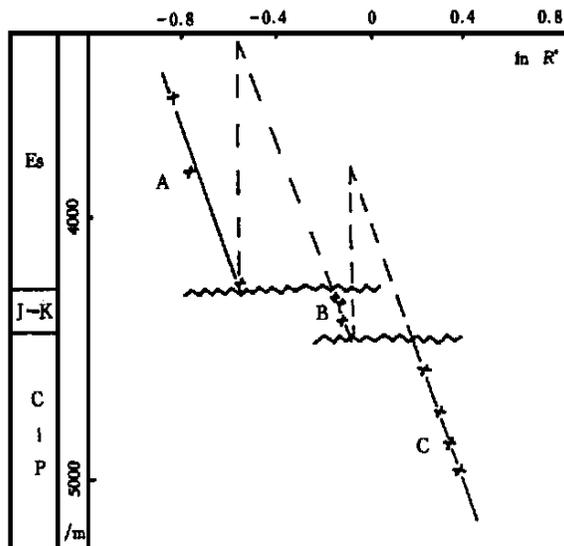


图 3 义 155 井镜质体反射率剖面图

Fig. 3 Vitrinite reflectance profile of Yi 155 well

3 古地温梯度

3.1 镜质体反射率(R°)与古地温梯度

镜质体反射率是用来确定古地温常用的一种有机质温度计, 一般认为镜质体反射率记录了其经历的最高温度(t)。Barker(1998)曾专门研究过镜质体反射率与古地温之间的关系, 通过对 600 多个镜质体反射率(R°)值和对应的其经历的最大温度 t 统计分析, 得出如下关系:

$$\ln R^\circ = 0.0078t - 1.2 \quad (3)$$

上式中 R° 为镜质体反射率; t 为有机质经历的最高温度; Barker 认为(3)式是普遍性的, 是一个较好的绝对地质温度计, 其应用一般不会出现明显的误差, 出现偏差的原因可能有: ① R° 测量不准; ② 风化露头样品不适合分析; ③ $R^\circ < 0.4\%$ 时可靠性较差, 本文测量的样品和数据都可排除这 3 个因素的影响。

应用 Barker(1998)式(3), 通过镜质体反射率计算了其对应的古地温, 结果见表 2 和表 3。

根据表 2 和表 3 数据, 通过古地温与深度之间线性回归统计分析, 得出了不同时期的古地温梯度(表 4)。

3.2 煤化梯度与古地温梯度

从煤化梯度($\ln b$)也能反映出古地温梯度。煤化梯度(也称之为碳化梯度)是表示埋深每增加一公里时 R° 增加的程度, 它不仅取决于煤阶, 更重要的

是取决于煤化作用时的地温梯度(Stach, 1990), 因而它也是一个反映古地温状况的重要指标。例如: 德国鲁尔盆地属次华力西带前渊盆地, 其埋深受热时间与北阿尔卑斯前渊磨拉石盆地基本相似, 而

表 2 义 135 井镜质体反射率随深度变化特征

Table 2 Variations of vitrinite reflectance with depth of Yi 135 well

层位	深度/m	岩性	$R^\circ/\%$	$\ln R^\circ$	$t/^\circ\text{C}$
Es ₁	3018	泥岩(岩屑)	0.40	-0.92	36.4
Es ₁	3120	泥灰岩(岩屑)	0.41	-0.89	39.5
Es ₂	3188	泥灰岩(岩屑)	0.43	-0.84	45.6
Es ₃	3549	泥灰岩(岩屑)	0.47	-0.76	57.0
Es ₃	3782	泥灰岩(岩屑)	0.48	-0.73	59.7
J-K*	3890	碳质泥岩(岩屑)	0.80	-0.223	125.2
J-K	3925	碳质泥岩(岩屑)	0.81	-0.211	126.8
J-K	3928	泥岩(含煤屑)	1.50	0.405	205.8
J-K	3945	泥岩(含煤)	0.82	-0.198	128.4
J-K	4058	泥岩(岩屑)	0.85	-0.163	133.0
P _{2sh}	4150	泥岩(岩屑)	1.30	0.26	187.5
P _{2sh}	4282	泥岩(岩屑)	1.40	0.34	197.0
P _{2sh}	4333	泥岩(岩心)	1.45	0.37	201.4
P _{2s}	4646	泥岩(岩屑)	1.52	0.42	207.5
P _{1x}	4847	泥岩(岩心)	1.54	0.43	209.2
P _{1x}	4891	泥岩(岩心)	1.59	0.46	213.3
P _{1x}	4895	炭质泥岩(岩心)	1.66	0.51	218.8
P _{1s}	4950	炭质泥岩(岩心)	1.68	0.52	220.4
P _{1s}	4954	煤(岩屑)	1.77	0.57	227.0

* 经岩石学研究表明, 该样受岩浆作用影响, 反射率异常, 作图时未用; t —用下文中公式(3)求得的有机质经历的最高温度

表 3 义 155 井镜质体反射率随深度变化特征

Table 3 Variations of Vitrinite reflectance with depth of Yi 155 well

层位	深度/m	岩性	$R^\circ/\%$	$\ln R^\circ$	$t/^\circ\text{C}$
Es ₂	3546	粉砂质泥岩(岩屑)	0.43	-0.84	46.15
Es ₃	3284	泥岩(岩屑)	0.46	-0.78	53.85
Es ₄	4279	泥岩(岩屑)	0.54	-0.62	74.36
J-K	4300	泥岩(岩屑)	0.83	-0.18	130.77
J-K	4305	炭质泥岩(岩屑)	0.84	-0.17	132.05
J-K	4316	炭质泥岩(岩屑)	0.86	-0.15	134.62
J-K*	4354	炭质泥岩(岩屑)	2.29*	0.83	260.07
P _{2sh}	4586	泥岩(岩屑)	1.24	0.22	182.05
P _{1x}	4782	泥岩(岩屑)	1.32	0.28	189.74
P _{1s}	4824	泥岩(岩屑)	1.38	0.32	194.84
C _{3t}	4970	泥岩(岩屑)	1.45	0.35	198.72

注: 说明同表 2

前者的煤化梯度(0.5~1.0)%/km 却比后者(0.03~0.09)%/km 高出一个数量级, 其主要原因就是鲁尔盆地古地温梯度高达 6.0~8.0 °C/100m, 而磨拉石盆地只有 1.5~2.3 °C/100m (Stach, 1990)。我国鄂尔多斯盆地三叠系有机质煤化梯度为 0.36 %/km, 其三叠纪时的古地温梯度达 5.7

℃/100m(赵孟为, 1996)。从表 4 计算结果可知, 济阳拗陷石炭-二叠系有机质煤化梯度为(0.30 ~ 0.31)%/km, 侏罗-白垩系为(0.33 ~ 0.34)%/km, 这一数值与德国鲁尔盆地和我国鄂尔多斯盆地在一个数量级上, 标志其古地温梯度应该相近。从分析结果看, 济阳拗陷侏罗-白垩系的古地温梯度较高(4.33 ~ 4.67 ℃/100m), 但比德国鲁尔盆地和鄂尔多斯盆地低, 从三者煤化梯度大小对比看, 与这一结果也完全相符。

济阳拗陷不同地史时期其古地温梯度亦不同,

表 4 济阳拗陷古地温梯度计算结果

Table 4 The paleogeothermal gradient of the Jiyang depression

井号	时代	古地温梯度 ℃/100m	煤化梯度(lnb) %·km ⁻¹	回归方程 T=f(H)	相关系数 r
义 135	新生代	3.75	0.24	= 0.0375H - 73.747	0.92
	中生代	4.33	0.34	= 0.0433H - 40.181	0.98
	晚古生代	3.49	0.30	= 0.0349H + 45.814	0.93
义 155	新生代	3.76	0.26	= 0.0376H - 87.73	0.99
	中生代	4.67	0.33	= 0.0467H - 68.002	0.96
	晚古生代	3.92	0.31	= 0.0392H - 43.639	0.98

4 石炭-二叠系煤系烃源岩热演化与油气资源前景分析

Dow (1977)曾设计了一种在镜质体反射率剖面上通过做图来确定抬升剥蚀之前镜质体反射率的方法, 该方法长期以来为大家所用。但是 Dow 的方法忽略了镜质体初始反射率值 $R^0 = 0.2\%$, 该值是在受热作用影响之前, 镜质体就具有的最低反射率。按 Dow 的方法确定的镜质体反射率仅是由于受热降解作用导致的反射率 (R^c), 那么在某一热演化阶段真正的镜质体反射率 (R^i) 应为:

$$R^i = R^D + R^c \quad (4)$$

R^D 为镜质体反射率在未受热作用影响时的初始反射率值, 一般认为其值为 0.2% ; R^c 为因受热作用而导致的镜质体反射率。

由于镜质体反射率只能因受热作用而增高, 不

能因冷却而降低, 所以任一热演化阶段的镜质体反射率值 R^i 都不小于 0.2% 。

根据以上原理和方法, 用义 135 井和义 155 井镜质体反射率剖面确定的石炭-二叠系烃源岩在三叠纪末抬升剥蚀之前和晚侏罗纪一早白垩世抬升剥蚀之前的成熟度分别为 $R^0 = 0.56\% \sim 0.58\%$ 和 $R^0 = 0.90\% \sim 1.11\%$ (表 5)。

由区域地质和钻井资料分析可知, 石炭-二叠系烃源岩主要分布在太原组和山西组中, 其上还覆盖有平均厚度达 500 ~ 800 m 的上二叠统的陆相碎屑岩沉积地层(王秉海等, 1992)。根据剥蚀厚度和目前的残余厚度确定的石炭-二叠系烃源岩在三叠纪末抬升剥蚀前和晚侏罗一早白垩世抬升剥蚀之前的埋藏深度分别为: 义 135 井为 1 750 m 和 2 700 m, 义 155 井为 1 300 m 和 3 200 m。依此, 根据不同时期的煤化梯度计算的石炭-二叠系烃源岩原始成熟

表 5 石炭-二叠系烃源岩原始成熟度

Table 5 The original maturity of the Permo-Carboniferous source rocks

方法	Dow (1977) 做图法				煤化梯度计算方法					
	三叠纪末抬升之前		晚侏罗世—早白垩世抬升之前		三叠纪末抬升之前			晚侏罗世—早白垩世抬升之前		
参数	$R^c / \%$	$R^i / \%$	$R^c / \%$	$R^i / \%$	埋深/m	煤化梯度 %·km ⁻¹	$R^i / \%$	埋深/m	煤化梯度 %·km ⁻¹	$R^i / \%$
义 135 井	0.35	0.58	0.91	1.11	1750	0.30	0.53	2700	0.34	0.92
义 155 井	0.36	0.56	0.70	0.90	1300	0.31	0.52	3200	0.33	1.06

注: R^c 为热降解作用造成的镜质体反射率; R^i 为某一热演化阶段时的镜质体反射率, 即烃源岩的原始成熟度

度见表 5, 与前一方法确定的结果基本一致。

构造抬升作用一方面会使烃源岩生烃作用中断, 另一方面会使已经形成的烃类产物遭受破坏。有机岩石学及生烃特征综合研究表明(李荣西等, 1998; 向奎等, 1996; 吴朝东等, 1999), 石炭-二叠纪烃源岩生烃门限不高于 $R^{\circ} = 0.56\%$, 当 $R^{\circ} = 0.76\%$ 时生油达高峰, $R^{\circ} = 0.99\%$ 时生油明显降低, 转而以生气为主。结合前面恢复的原始成熟度可知, 石炭-二叠纪煤源岩在晚三叠世未抬升之前即达成熟阶段, 开始生烃, 在晚侏罗世—早白垩世未抬升之前生油高峰已过, 进入生气阶段。这两次构造抬升事件使当时的生烃产物不同程度的遭受破坏, 这一点在正确评价本区石炭-二叠纪油气资源时必须考虑到。

5 讨论与结论

济阳拗陷中生代时的古地温梯度明显高于晚古生代和新生代古地温梯度以及现代地温梯度。什么原因致使该区中生代时出现了高热异常?

(1) 济阳拗陷石炭-二叠纪镜质体反射率普遍较高, 一般 R° 都在 2.0% 左右, 局部高达 4.0% 。表明其变质程度很高, 一般达干气阶段。

(2) 胜利油气区地温梯度在凸起区明显高于凹陷区, 如在临清拗陷东部的堂邑凸起的莘 3 井, 平均地温梯度为 $3.22\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$, 而在禹城洼陷中心的禹参 2 井, 地温梯度最低, 只有 $2.59\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$; 而在陈家庄凸起一般为 $3.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (蒋有录等, 1997; 王秉海等, 1992)。

以上说明胜利油气区地温特征不仅受控于沉积埋藏作用, 而且受控于构造。与构造运动伴随的热事件促使石炭-二叠纪烃源岩发生高变质作用, 这一热事件就是燕山期岩浆活动。

燕山运动在华北地区, 特别是阴山—燕山一带最为强烈, 其特点是大规模的中基性火山岩浆喷发活动和酸性岩浆侵入 (γ_5) 以及断裂构造运动 (聂宋筌, 1985)。岩浆做为直接热源, 使济阳拗陷中生代时具有较高的古地温梯度, 从而造成石炭-二叠纪煤系地层发生较高的热变质作用。

关于石炭-二叠纪煤变质作用已有大量的研究, 而且取得了大量的成果。目前普遍认为, 华北晚古生代煤变质是在海西期—印支期深成变质基础上叠

加了燕山期岩浆热变质作用, 其中岩浆热变质作用是形成高变质煤的主导因素(李万胜, 1996; 杨起等, 1988)。

岩浆活动引起的变质作用有 2 种类型, 一是接触变质作用, 特点是时间短、温度高、影响范围小、变质带常呈环带状局部分布; 另一是所谓的板底垫托作用(Wickhametal, 1985), 是在地下深处大面积岩浆侵入, 形成区域性的隐伏岩体或岩基, 其结果一方面阻止了盆地下沉, 但却使其处于区域性抬升隆起背景之下; 另一方面形成区域性大面积的高热异常。其特点是作用时间长、影响面广、在区域上与相邻地史阶段的热演化特征极不协调。以上 2 种类型的变质作用可以独立存在, 也可以共存。

综合分析认为, 岩浆板底垫托作用是济阳拗陷中生代高热异常的主要原因, 其一方面使本区中生代时具有高的古地温梯度, 使石炭-二叠纪煤发生较高的热变质作用; 另一方面由于岩浆板底垫托作用, 使中生代中晚期整体处于隆起背景之下。

参考文献

- 郭随平, 施小斌, 王良书. 1996. 胜利油区东营凹陷热史分析——磷灰石裂变径迹证据. 石油天然气地质, 107(1): 32~36.
- 蒋有录, 熊继辉. 1997. 临清拗陷东部地温及有机质热演化特征. 石油大学学报(自然科学版), 21(1): 6~9.
- 李荣西, 金奎勋. 1998. 煤源岩油气生成及排驱特征加水热模拟实验. 沉积学报, 16(1): 98~102.
- 李万胜. 1996. 华北晚古生代煤层变质成因探讨. 中国煤田地质, 8(3): 18~25.
- 聂宋筌. 1985. 华北地区的燕山运动. 地质科学, 2(4): 320~333.
- 王秉海, 钱凯. 1992. 胜利油区地质研究与勘探实践. 山东东营: 石油大学出版社.
- 王鸿祯, 刘本培. 1980. 地史学教程. 北京: 地质出版社.
- 吴朝东, 陈尚平, 曾凡刚, 高维, 李沛. 1998. 泥炭生烃热演化模拟试验及分解机理. 地球学报, 19(增刊), 95~100.
- 向奎, 阎书忠. 1996. 济阳拗陷煤型气源岩特征及资源前景. 石油勘探与开发, 23(5): 11~15.
- 杨起等. 1988. 华北石炭—二叠纪煤变质特征与地质因素探讨. 北京: 地质出版社.
- 赵孟为. 1996. 鄂尔多斯盆地三叠系镜质体反射率与地热史. 石油学报, 17(2): 15~22.
- Dow W G. 1977. Kerogen Studies and Geological Interpretations. J. of Geochem. Exploration, 7: 79~99.
- Barker C E and Pawlucica M J. 1986. The Correlation of Vitrinite Reflectance with Maximum Temperature in Humic Organic

Matter. *Lecture Notes in Earth Science* 5: 79~81.

Wickham S M and Oxburgh R. 1985. Continental Rifts as a Setting for

Stach E 著, 杨起等译. 1990. 斯塔赫煤岩学教程. 北京: 煤炭工业出

Regional Metamorphism. *Nature* 318: 28.

版社.

Thermal History of the Permo-Carboniferous Coal Source Rocks in Jiyang Depression, Shengli Oilfield

Li Rongxi

(*Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou*)

Liao Yongsheng

(*Institute of Geosciences, Shengli Oil Company, Dongying, Shandong*)

Zhou Yi

(*Department of Geosciences, Chang'an University, Xian, Shaanxi*)

Abstract Based on an analysis of geological structure and sedimentary history, the authors systematically studied the vitrinite profile of the image well in Jiyang depression, Shengli oilfield. The Late Paleozoic, Mesozoic and Cenozoic paleogeothermal gradients measured by means of regression equations of vitrinite with depth on the basis of thermodynamics are 3.49 ~ 3.92 °C/100m, 4.33 ~ 4.67 °C/100 m and 3.67 °C/100m respectively. Thermal anomalies of Mesozoic was caused by Yanshanian magmatic underplating. The primary maturities of the Permo-Carboniferous coal source rocks before uplifting in Indo-sinian movement and Yanshanian movement were $R^{\circ}=0.52\% \sim 0.58\%$ and $R^{\circ}=0.90\% \sim 1.11\%$ respectively, which correspond to the thresholds of oil generation and the stage of gas generation. Nevertheless the oil-gas production was damaged by tectonic uplifting and erosion related to Indo-Sinian movement and Yanshanian movement, which is of great significance in correct evaluation of Carboniferous-Permian oil-gas potential in this area.

Key words paleogeothermal gradient thermal evolution Jiyang depression

3. 作者投稿应一式 3 份, 并提供详细通讯地址、邮编、电话及 e-mail 网址; 经专家初审确定刊用或修改后拟用之论文, 在提交修改后文字稿件的同时, 应提交 .TXT 或 .DOC 格式文件的 3 寸软盘, 并将原稿和修改意见书一同寄回。

4. 本刊稿件, 一般由 2 位专家外审。所登稿件文责自负, 但编辑部有权对来稿作技术性和文字性修改; 本刊自 2000 年起已全文上网 (<http://www.chinainfo.gov.cn/periodical>), 如作者有异义请预先申明。

5. 2001 年起本刊实行时效承诺制, 即编辑部收到稿件 30 天内予以投稿人复信, 退改回拟刊用之稿件 5 个月内刊出(没有按退改意见书要求修改或申明理由者除外), 出版后 10 日内必将赠送作者之期刊寄出。

通讯地址: 北京西城百万庄大街 26 号 邮编: 100037 中国地质科学院《地球学报》编辑部

联系电话: 68327396。

《地球学报》编辑部

2001 年元月 3 日