

# 鄂尔多斯盆地古地温研究<sup>①</sup>

任战利 赵重远

(西北大学含油气盆地研究所)

张军 于忠平

(长庆石油局勘探开发研究所)

**提要** 本文采用镜质体反射率、包裹体测温、磷灰石裂变遗迹等多种古地温研究方法,确定了鄂尔多斯盆地中生代晚期高地温场的存在,古地温梯度高达 $3.5\sim 4.0^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,高于现今盆地的平均地温梯度 $2.89^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。古生界地层最大古地温一般在 $150\sim 240^{\circ}\text{C}$ 之间,最高可达 $270^{\circ}\text{C}$ 以上,古地温明显高于今地温。高古地温梯度的形成与中生代末期的构造活动密切相关。

根据盆地热演化史与油气关系研究可知,在古生代和中生代早期,地温梯度低。推迟了生气时代,有利于有机质的保存。中生代晚期,地温梯度高,是古生界碳酸盐岩及煤系地层的主要生气期及运移期。生气高峰期较晚,盆地内又缺乏断裂,有利于大气田的保存。

**关键词** 鄂尔多斯盆地 磷灰石裂变遗迹 古地温梯度 生气期

**第一作者简介** 任战利 32岁 男 讲师 石油地质专业

古地温研究在油气资源评价中具有重要意义。为了深入研究鄂尔多斯大气田,笔者收集了大量的镜质体反射率资料,采集了103块样品,采用多种古地温研究方法、用新的研究思路,确定了鄂尔多斯盆地中生代晚期高古地温场的存在。这一新的认识改变了鄂尔多斯盆地地温梯度较低且稳定的看法,这对鄂尔多斯盆地形成演化及大气田的成藏条件研究有重要意义。

## 1 区域地质背景

鄂尔多斯盆地位于华北地台西部,为一走向南北、东缓西陡的不对称箕状向斜。

早古生代鄂尔多斯盆地为面向秦岭大洋的广阔陆架。从晚古生代到中生代早期由海相经海陆过渡相到陆相,由前陆海盆发育为前陆盆地。古生代,盆地的沉积相带和地层厚度分布稳定,建造类型早期为碳酸盐岩,晚期以碎屑岩为主。构造变动微弱、火山活动几乎绝迹,地层之间全为整合或平行不整合接触。

盆地开始从东向西收缩,到侏罗纪末已退缩到吕梁山以西。至早白垩世,沉积范围大致退缩到了鄂尔多斯地块之上。早白垩世以后,盆地全面抬升,遭受剥蚀。燕山中期构造运动引起了盆地内大部分地区的挤压抬升。

鄂尔多斯盆地区域构造简单,地壳厚度由东向西逐渐增厚,由 $39\text{km}$ 增至 $44\text{km}$ ,地壳厚度

<sup>①</sup> 国家“八·五”攻关项目

变化平缓。据 87 口钻井测温数据(地温梯度)2.15~3.78℃/100m 之间,平均值为 2.89±0.11℃/100m<sup>①</sup>。与华北盆地(3.58℃/100m)和松辽盆地(3.8℃/100m)相比,地温梯度较低。

## 2 古地温研究方法及地质解释

### 2.1 镜质体反射率法

镜质体反射率是成熟度测量中广泛应用而且可靠性较高的方法之一。当镜质体经历热变质时,其反射率不可逆的增加,因此镜质体反射率保留了盆地演化历史过程中曾经达到过的最大古地温的信息。笔者收集了鄂尔多斯盆地大量的镜质体反射率资料,并进行了深入研究。

#### 2.1.1 镜质体反射率( $R_o$ )—深度(H)曲线的地质意义

鄂尔多斯盆地现今上古生界煤系地层  $R_o$  平均等值线图(图 1),  $R_o$  值由盆地边缘向盆地内逐渐增高。东北角为最低区,其次为西缘逆冲带及天环向斜西部,渭北隆起较高,最高区在吴旗、富县、庆阳一带。  $R_o$  等值线形态与盆地莫霍面形态及现今地温等值线明显不一致,而与盆地中生代晚期的古构造面貌基本一致。经侏罗纪末期的燕山中期构造运动改造,鄂尔多斯盆地东部为一斜坡,西部为一坳陷。在下白垩统沉积过程中及此后的整体抬升也基本未改变这一面貌。因此现今的  $R_o$  平面图应主要反映中生代晚期地层达到最大埋深时的古地温状况。

盆地不同构造单元的  $R_o$ —H 曲线形态相似,具有几乎相等的斜率。但不同构造区的  $R_o$ —H 曲线却以天环向斜为基础而平行向上抬升,其次序依次是天环向斜、西缘逆冲断裂带、伊盟隆起、伊陕斜坡、晋西挠褶带、渭北隆起。这是由于各构造单元抬升、剥蚀量不同。天环向斜剥蚀量最小,渭北隆起剥蚀最多。

在盆地地史演化中虽有不少沉积间断,地层遭受不同程度的剥蚀,但在  $R_o$ —H 曲线图上并没有足以引起曲线位错的现象。这说明  $R_o$ —H 曲线主要反映了在中生

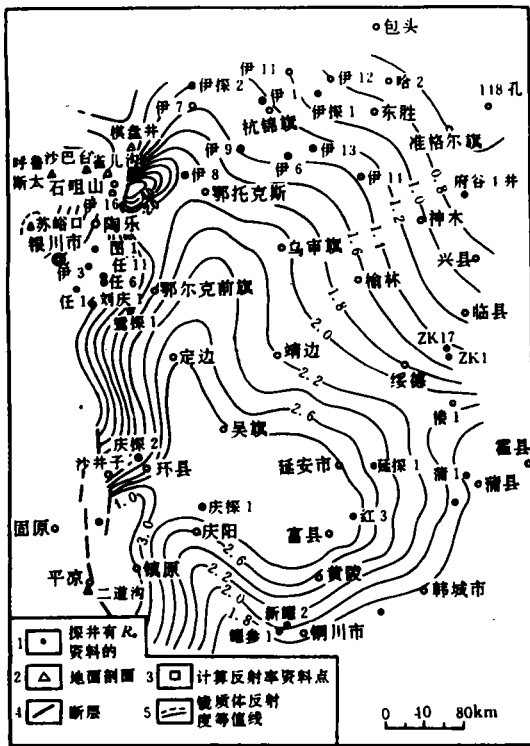


图 1 鄂尔多斯盆地上古生界煤系  $R_o$  等值线图

- 1. 有  $R_o$  资料的探井
- 2. 剖面
- 3. 计算反射率资料点
- 4. 断层
- 5. 镜质体反射率等值线

Fig. 1  $R_o$  isogram of upper palaeozoic coal seams in Ordos Basin

① 梁恕信,1990,鄂尔多斯盆地现今地温场特征。

代晚期地层达到或接近最大埋深时的古地温场状况,并非古生代地温场的反映。

### 2.1.2 剥蚀厚度的恢复

从  $R_e-H$  曲线特征看,早期的沉积间断只是一种短暂的抬升侵蚀。鄂尔多斯盆地的剥蚀主要发生在盆地发育的末期。从缺失的地层看,一次发生在中侏罗世之后,止于早白垩之前;另一次发生在下白垩统志丹群沉积之后。后者为最主要的一次,应用  $R_e$  法恢复的剥蚀厚度为后一次的剥蚀量。

剥蚀厚度恢复是一个比较复杂的问题,根据 Dow 的研究,地壳  $R_e$  最低值取 0.2%,用  $R_e$  外推法恢复剥蚀厚度。笔者选用了 13 口资料较全的井,首先建立  $R_e-H$  回归关系(表 1),然后用  $R_e$  外推法恢复了鄂尔多斯盆地早白垩世后剥蚀厚度,这与陈荷立用泥岩压实方法计算的剥蚀厚度基本一致<sup>①</sup>。由计算的剥蚀厚度来看,晋西挠褶带、渭北隆起经历了较强的剥蚀,靖边—庆阳以东地区次之。而西部天环向斜最少,剥蚀厚度变化的趋势是符合实际的。但由于某些井较浅, $R_e$  资料不全,计算结果可能偏大,如蒲 1、楼 1 井。

表 1 鄂尔多斯盆地剥蚀量数据表

Table 1 Erosion datum in Ordos Basin

构造单元	井号	$R_e-H$ 回归方程	相关系数	剥蚀厚度 (m)
天环向斜	天 1	$H=2936+2316\ln R_e$	0.968	792
	布 1	$H=3359+244\ln R_e$	0.937	569
	天深 1	$H=3036+2316\ln R_e$	0.96	692
伊陕斜坡	陕参 1	$H=2076+2234\ln R_e$	0.974	1520
	麒参 1	$H=1723+2234\ln R_e$	0.97	1872
	庆深 1	$H=1794+2019\ln R_e$	0.953	1455
	牛 1	$H=1572+2090\ln R_e$	0.96	1792
	榆 3	$H=2006+2234\ln R_e$	0.97	1589
西缘逆冲带	苦深 1	$H=2954+2191\ln R_e$	0.98	573
渭北隆起	永参 1	$H=756+1648\ln R_e$	0.788	1896
伊盟隆起	鄂 1	$H=2470+2234\ln R_e$	0.97	1125
晋西挠褶带	蒲 1	$H=-328+1819\ln R_e$	0.89	3255
	楼 1	$H=-256+1819\ln R_e$	0.90	3138

表 2 鄂尔多斯盆地不同构造单元古地温梯度

Table 2 Palaeotemperature gradient datum of different tectonic units in Ordos Basin

构造单元	代表井	地温梯度 (°C/100m)
晋西挠褶带	蒲 1、ZK301	4.00
伊陕斜坡东部	牛 1、陕参 1、铺 2、榆 3	4.02
伊陕斜坡南部	庆 1、剖 36、剖 8	4.06
天环向斜	布 1、天 1、李 1、天深 1	3.68
西缘逆冲带	图东 1、苦深 1、环 14、色 1	4.09
渭北隆起	永参 1、新耀 1	>5

① 陈荷立,1988,陕甘宁盆地延长组地下流体压力分布及油气运移聚集条件研究。

### 2.1.3 古地温恢复

从以上分析看,根据  $R_e$  值恢复的古地温梯度,代表中生代末期的古地温梯度。恢复的方法利用了 Barker 和 Pawlewice(1986)建立的最大埋藏温度( $T_{max}$ )与平均反射率( $R_m$ )之间的关系式: $\ln(R_m)=0.0078T_{max}-1.2$ ,求得最大埋深的温度。鄂尔多斯盆地上古生界煤层的最大埋藏温度一般介于 153~271℃之间,而延安、富县和华池一带则高于 271℃。在估计地表温度为 15℃的情况下,根据  $R_e$  恢复的地层最大古埋藏深度,求得了陕甘宁盆地不同构造单元的古地温梯度(表 2)。渭北隆起的高地温梯度可能与中生代晚期秦岭造山带的强烈挤压及岩浆活动密切相关。

### 2.2 流体包裹体测温

鄂尔多斯盆地沉积岩包裹体测试结果大部分为赵孟为博士在德国测定<sup>①</sup>,所测包裹体有晚古生代碎屑岩中石英次生加大边内的包裹体和方解石胶结物中的包裹体以及碳酸盐岩亮晶方解石及亮晶白云岩内的包裹体。这些包裹体均化温度分布在 80~190℃之间,其形成温度为 90~240℃,所测包裹体都是成岩晚期的产物,是早白垩世地层在接近或达到最大埋藏温度时形成的。因此包裹体测温资料主要反映了中生代晚期的古地温状况及成岩环境。

根据包裹体测温资料直接计算出的古地温梯度为 3.7~15.9℃/100m,直接计算出的古地温梯度是根据现有地层厚度得出的。用恢复的剥蚀厚度对上述古地温梯度进行校正后,则为 3.3~4.5℃/100m。如果按不同构造区分别加以平均,则渭北隆起的古地温梯度为 4.5℃/100m,伊陕斜坡 3.9℃/100m,天环向斜为 3.6℃/100m。

### 2.3 磷灰石裂变经迹分析

#### 2.3.1 原理

磷灰石是沉积盆地中常见的重矿物,富含<sup>235</sup>U和<sup>238</sup>U,由于这些物质的裂变,使磷灰石晶体产生微小的辐射伤痕,即为裂变经迹。

磷灰石的<sup>238</sup>U自发裂变经迹在较低温度下是稳定的。随着温度升高,受热时间增长,裂变经迹长度逐渐缩短,密度减小,以至完全消失,这一过程称为磷灰石退火。不同的矿物退火温度不同,对于 10Ma 的时间,磷灰石裂变经迹退火出现的温度为 70~125℃。这与生油窗出现的温度几乎一致,因而可以利用磷灰石裂变经迹资料研究含油气盆地的地热史、沉降史等。

磷灰石裂变经迹分析主要是利用裂变经迹长度及其频率分布、裂变经迹年龄、裂变经迹年龄随深度的变化以及单晶粒年龄频率分布等 5 个参数。在退火带或退火温度区这 5 个参数都有明显的变化。

目前正处于最大埋藏温度的地层裂变经迹年龄(A)—温度(T)图上应有三个带:(1)未退

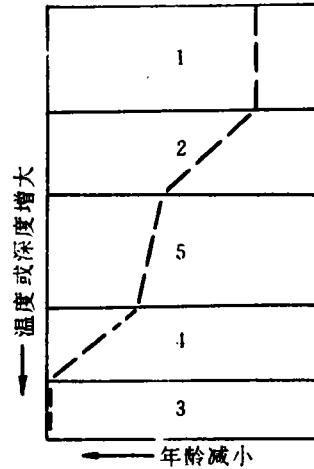


图 2 受到一次冷却后的 A—T 关系与分带

1. 未退火带; 2. 部分退火带; 3. 冷却带;  
4. 部分退火带; 5. 完全退火带

Fig. 2 The A—T relationship and the distribution of various zones after a cooling event

① 赵孟为, 1992, 陕甘宁盆地沉积岩自生矿物中包裹体初步研究。

火带, 经迹尚未受到退火作用, 此带 A 值总是大于或等于地层的沉积年代(如果碎屑来自同期火山岩, 则 A 值等于地层沉积年代); (2) 部分退火带。经迹开始受到退火作用, A 值逐渐减小并趋于零; (3) 完全退火带, 径迹消失, A 值等于零。

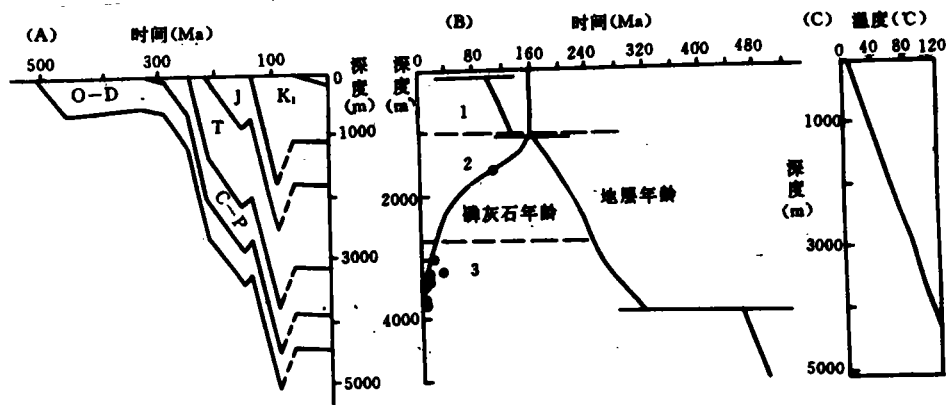


图3 天深1、天1井综合图

(A)埋藏史图 (B)裂变径迹年龄 (C)现今地层温度

Fig. 3 Tianshen 1, Tian 1 composite figure

(A) Burial history (B) Fission track age (C) Present formation temperatures

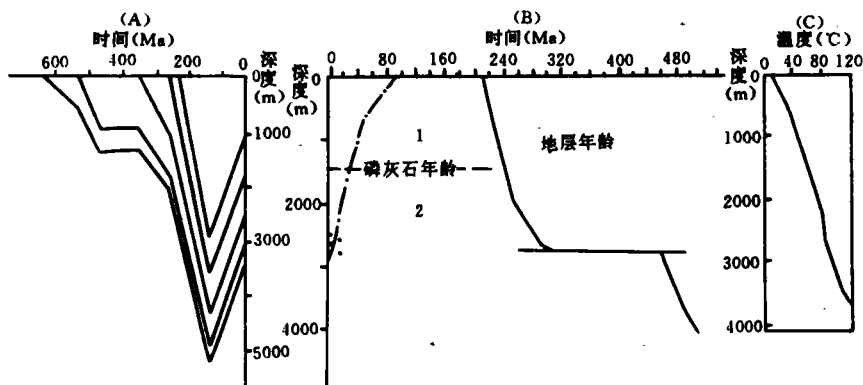


图4 麒参1井综合图

(A)埋藏史图 (B)裂变径迹年龄 (C)现今地层温度

Fig. 4 Qical 1 composite figure

(A) Burial history (B) Fission track data (C) Present formation temperatures

如果地层在达到最大埋藏温度之后冷却下来(如受到抬升剥蚀或地温梯度减小), A—T 图上应出现五个带(图2): (1)未退火带; (2)部分退火带; (3)冷却带, Naeser 称此带为前完全退火带, 认为地层达到最大埋藏温度, 径迹完全退火后, 受到冷却, 又产生出新的裂变径迹。并指出此带 A 值、A—T 曲线的斜率以及厚度可以提供冷却事件发生的时间、速率及地层抬升量方面的信息; (4)部分退火带, 冷却事件之后产生的新径与冷却之前可能尚存的老径迹又受到退火作用, A 值减小并趋于零; (5)完全退火带。

### 2.3.2 测量结果及地质解释

本文对鄂尔多斯盆地 10 口井 39 块样品进行了磷灰石裂变径迹分析。

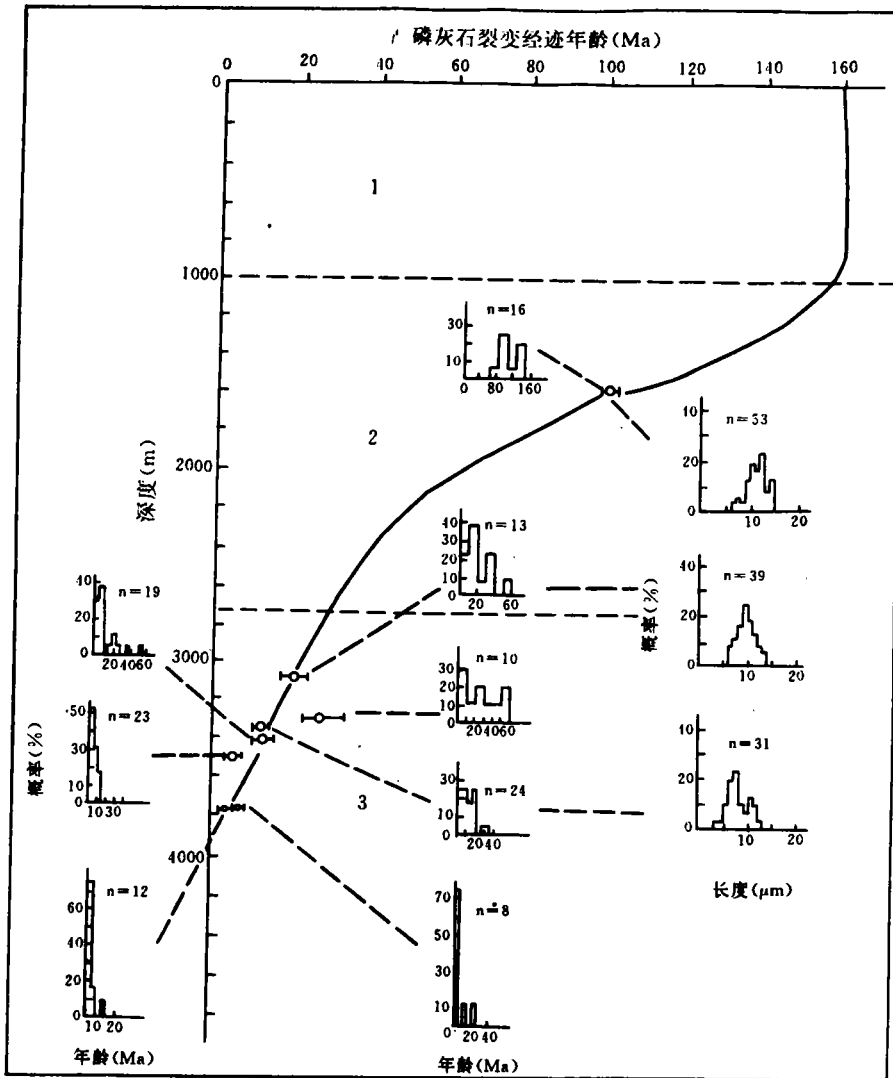


图 5 天深 1、天 1 井磷灰石单晶粒裂变径迹年龄和径迹长度分布特征

Fig. 5 Nature of the apatite single-grain fission track age and track length distribution of samples from Tianshen 1, Tian 1

#### 2.3.2.1 关于退火带的划分

由于鄂尔多斯盆地东部、渭北隆起、伊盟隆起、西缘逆冲断裂带后期剥蚀,浅部样品裂变径迹年龄远小于地层年龄,说明经历过强烈的退火作用。天环向斜由于后期剥蚀较小,退火带发育齐全。从天 1、天深 1 井磷灰石裂变径迹年龄与样品深度关系(图 3)显示来看,天 1 井井深

1625m 样品已处于退火带中部。更浅处缺乏所测样品,但从与地层年龄的关系看,未退火带底界深度为 1000m。1000~2750m 为部分退火带。2750m 以下为冷却带,冷却带给出了冷却时间为 20Ma,冷却主要是由于盆地后期的快速抬升及地温下降造成的。

伊陕斜坡东部的麒参 1 井裂变径迹年龄随井深增加而减小,远小于地层年龄。缺失退火带上部(图 4),部分退火带的底界约为 1500m,1500m 以下为冷却带,冷却年龄为 23Ma。

### 2.3.2.2 古地温确定

根据裂变径迹年龄、长度及长度分布等参数可以确定地层经历过的最大古地温。从径迹长度分布来看(图 5),天 1 井井深 1625m 样品径迹长度呈双峰型,表明它位于部分退火带中部,长度为  $11.3\mu\text{m}$ ,经历了中等程度的退火。最高古地温约为  $100^{\circ}\text{C}$ ,校正厚度用 700m,推测抬升前的古地温梯度为  $3.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ ,3000 以下样品现存的裂变径迹主要是在冷却过程中形成的,在地层达到最大古地温时,裂变径迹已完全退火,因此古地温远高于  $120^{\circ}\text{C}$ 。

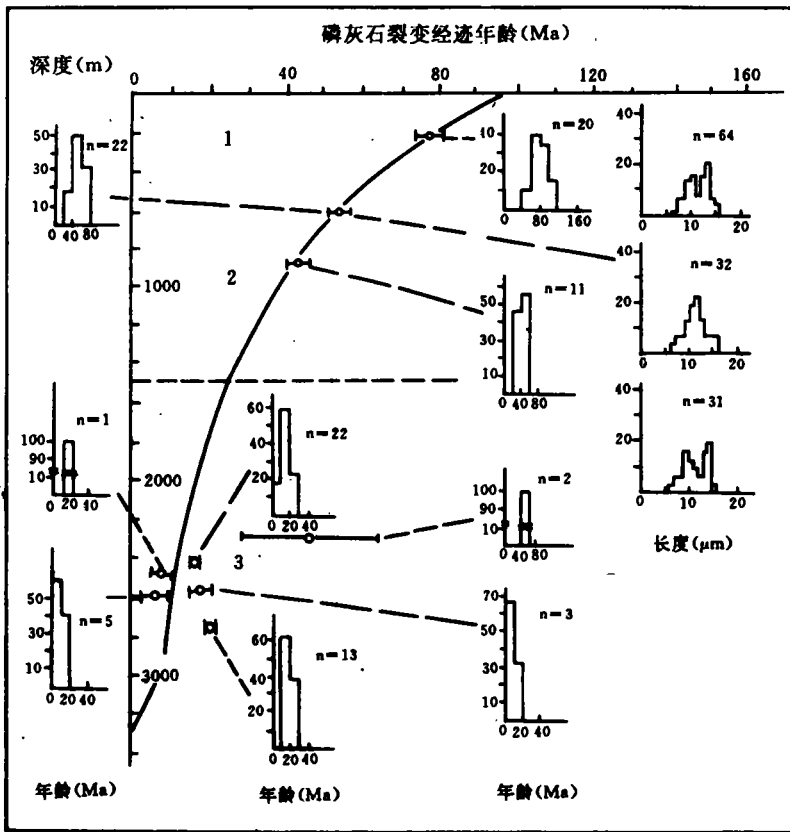


图 6 麒参 1 井磷灰石单晶粒裂变径迹年龄和径迹长度分布特征

Fig. 6 Nature of the apatite single-grain fission track age and track length distribution of samples from Qican 1

麒参 1 井浅部的三个样品位于部分退火带,裂变径迹长度在  $11.1\sim 11.5\mu\text{m}$  之间。216.

7m、885m 井深两样品为双峰型(图 6)表明经受的最高古地温在 100℃左右。剥蚀厚度用 1870m,推测抬升剥蚀前的古地温梯度为 4.1℃/100m。2000m 以下的 6 个样品处于冷却带中。在冷却以前形成的裂变径迹已完全退火,因此最大古地温远高于 120℃。

总之从伊陕斜坡麒麟 1 井岩样的裂变径迹年龄、长度分布来看,处于部分退火带中下部和冷却带中,表明盆地后期受到过大幅度的抬升和冷却,使非退火带及部分退火带全部剥蚀掉了。天环向斜由于剥蚀较少,退火带及非退火带保存较全。从确定的最大古地温来看,远高于现今地温,经厚度校正后推测古地温梯度为 3.6~4.1℃/100m 远高于今地温梯度。

#### 2.4 三种古地温研究方法的比较及其地质意义

由以上三种方法确定的古地温明显高于盆地今地温,且有很好的 consistency,表明测量结果是可信的。奥陶系地层最高古地温一般在 170~240℃,石炭二叠系地层在 170~200℃,三叠系延长统地层在 90~120℃左右。

用镜质体反射率法确定的古地温梯度为 3.68~4.09℃/100m,其中渭北隆起大于 5℃/100m;由包裹体测温确定的古地温梯度为 3.3~4.5℃/100m,主要集中在 3.3~3.9℃/100m,由磷灰石裂变径迹确定的古地温梯度为 3.6~4.1℃/100m。三种方法确定的古地温梯度基本一致。

由前述可知以上恢复的高古地温梯度是中生代晚期存在高古地温场的反映。中生代晚期在鄂尔多斯盆地及整个华北广大地区都存在一次强烈的构造运动。因此以上恢复的高古地温梯度说明了中生代晚期在鄂尔多斯及华北地区存在一次构造热事件,使地温梯度升高。这一构造热事件对油气的形成产生了重要影响,加速了有机质

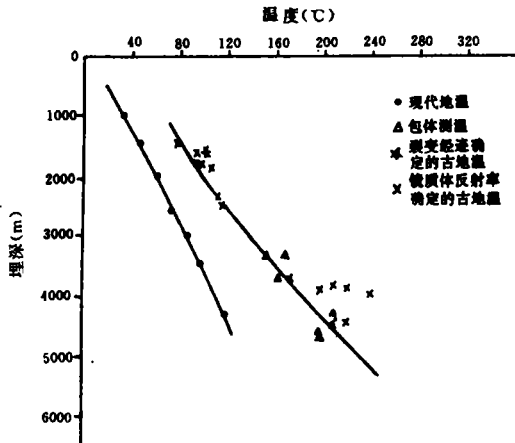


图 7 天深 1 井现代地温与古地温对比图

Fig. 7 Comparison of present temperature and paleotemperature in Tianshen 1

向石油与天然气的转化。

### 3 鄂尔多斯盆地热演化史与油气形成的关系

古地温与油气生成、运移、聚集都有密切的关系。据 Quigley & Mackenzie(1988)研究,油和气的生成所需温度分别为 100~150℃和 150~220℃。鄂尔多斯盆地发育三套烃源岩:它们是下古生界碳酸盐岩、上古生界煤系地层及中生界三叠系延长统暗色泥岩。据盆地构造演化史研究,鄂尔多斯盆地古生代及早中生代构造稳定,属稳定大陆边缘及前陆盆地,地温梯度较低。推迟了生气时代,有利于有机质保存。中生代晚期地温梯度升高,地层达到最大古地温,使奥陶系、石炭二叠系进入生气范围,三叠系延长统进入生油窗。因此中生代晚期高古地温场加速了生油、生气过程,是主要的生油、生气期,也是油气的主要运移期。新生代地温梯度逐渐减小,盆地整体抬升,遭受剥蚀,生烃作用减弱或停止。从盆地热演化史来看,主要生气高峰期晚,加之后期整体抬升断裂不发育,有利于大气田的保存。因此鄂尔多斯盆地热演化史在大气田形成中



起着重要的作用。

鄂尔多斯盆地中生代晚期构造面貌与现今盆地构造面貌基本一致。盆地中央古隆起储层发育且临近生气区,是中生代晚期形成的天然气的主要聚集区,也是首选的天然气勘探目标,这已为近年来的油气勘探工作所证实。另外伊盟隆起南坡、渭北隆起北坡、伊陕斜坡东部、天环向斜西侧也是天然气的指向区,是寻找天然气的后备基地。

感谢长庆石油局杨俊杰局长、裴锡古副院长在研究工作中予的大力支持。徐黎明、包国民参加了采样工作,付明希、张孝友二位同学参加了部分工作。中科院高能所王世成副研究员测试了磷灰石样品,对以上曾给予帮助的同志们深表谢意!

### 参 考 文 献

- 任战利,1991,关于沉积盆地古地温场恢复问题的探讨,青年科学文集,西北大学学报,增刊,227—234。
- 任战利,1992,沉积盆地热演化史研究最新进展,地球科学进展,7卷3期,41—49页。
- 杨俊杰,1991,陕甘宁盆地中生界天然气的发现,天然气工业,11卷2期,1—6页。
- 赵重远、刘池洋等著,1990,华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存,西北大学出版社,93—100页。
- 赵孟为,1992,磷灰石裂变径迹法在盆地地热史研究中的应用,石油学报,13卷4期,1—9页。
- Barker, C. E. and Pawlewicz, 1986, The correlation of vitrinite reflectance with maximum temperature in organic matter; in G. Buntebarth and L. Stegena, eds., Paleogeothermics, lecture notes in earth sciences, V. 5; Berlin, Springer-verlag, p. 79—93.
- Barker, C. E., 1991, Implications for organic Maturation Studies of Evidence for a geologically rapid increase and stabilization of vitrinite reflectance at peak temperature; Cerro Prieto geothermal system, Mexico; AAPG Bull, V. 75, N. 12, p. 1852—1863.
- Dow, W. G., 1977, Kerogen studies and Geological interpretation; Journal of Geochemical Exploration, V. 7, N. 2, p. 79—99.
- Gleadow, A. J. W., Duddy, I. R., and Lovering, J. F., 1983, Fission track analysis; a new tool for the evaluation of thermal histories and hydrocarbon potential; APEA Journal, V. 23, p. 93—102.
- Green, P. F., Duddy, I. R., Gleadow, A. J. W., and Lovering, J. F., 1989a, Apatite fission track analysis as a paleotemperature indicator for hydrocarbon exploration, in N. D. Naeser and T. M. McCulloh, ed., Thermal history of sedimentary basins—methods and case histories; New York, Springer-verlag, p. 191—195.
- Kamp, P. J. T., Green, P. F., 1990, Thermal and tectonic history of selected Taranaki Basin (New Zealand) wells assessed by apatite fission track analysis; AAPG Bull, V. 74, N. 9, p. 1401—1419.
- Law, B. E., 1992, Thermal maturity patterns of Cretaceous and Tertiary rocks, San Juan Basin, Colorado and New Mexico; Geological Society of America, V. 104, N. 2, p. 192—207.
- Naeser, N., Naeser, C. W., and McCulloh, T. H., 1990, Thermal history of rocks in Southern San Joaquin Valley, California; evidence from fission-track analysis; AAPG Bull, V. 74, N. 1, p. 13—29.
- Tilley, B. J., et al., 1989, Thermal history of Alberta Deep Basin; Comparative study of fluid inclusions and vitrinite reflectance data; AAPG Bull, V. 73, p. 1206—1222.

# Research on Paleotemperature in the Ordos Basin

Ren Zhanli      Zhao Zhongyuan

(Institute of Oil and Gas Basin, Northwest University)

Zhang Jun      Yu Zhongping

(Institute of Exploration and Development, Chang Qing Petroleum Exploration Bureau)

## Abstract

The Ordos basin, situated in the western part of the North China platform, has been classified as an intracratonic basin. The basin is rich in oil and gas resources contained three kinds of source rocks. In the exploration for oil and gas an important breakthroughs have been made in recent years. A giant gas field has been discovered in Jingbian county in the central part of the basin.

Based on analyses of data of vitrinite reflectance, fluid inclusions and apatite fission track, this paper has determined the high palaeothermal field of the Ordos basin in the late mesozoic. The palaeotemperature in the palaeozoic strata is about 150~240°C, the highest temperature exceeding 270°C, which is higher than the present temperature. The palaeotemperature gradient (3.5~4.0°C/100m) which is closely related to tectonic activity also exceeds that (2.89°C/100m) of the present.

Apatite fission track data show that there is a cooling event which occurred in 20 to 23 Ma. The uplift scope in North Shaanxi slope in the east is obviously bigger than in the Tianhuan syncline.

Research on relations between the thermal history of the Ordos basin and oil gas fields suggests that low temperature gradients in paleozoic and early mesozoic times was favourable for preservation of organic material and the gas generation stage was postponed. The late Mesozoic which is characterized by high temperatures in the period of main gas generation and migration of paleozoic coal series and carbonates. The late gas generation stage and lack of faults were favourable for preservation of giant gas fields. The central palaeouplift in the basin which has good carbonate reservoirs and is close to gas generation regions should be first chosen as an exploration target. The southern part of the Yiming uplift, the northern part of the Weibei uplift, the eastern part of the north Shaanxi slope and the western part of Tianhuan syncline are also potential regions of gas migration and the reserve bases for looking for new gas fields.