

<http://www.geojournals.cn/dzxb/ch/index.aspx>

鄂尔多斯盆地热演化程度异常分布区及形成时期探讨

任战利, 张盛, 高胜利, 崔军平, 刘新社

西北大学大陆动力学教育部重点实验室, 西北大学地质学系, 西安, 710069

内容提要: 鄂尔多斯盆地在中生代晚期存在一期构造热事件, 本文在对大量的镜质体反射率、火成岩年龄、磷灰石裂变径迹等资料分析的基础上, 对构造热事件发生的时间、存在的地区及形成机理进行了深入的研究。鄂尔多斯盆地中生代晚期地热异常区主要分布在盆地南部的吴旗—庆阳—富县一带, 构造热事件主要发生在中生代晚期早白垩世约 140~100 Ma, 构造热事件持续时间约在 10~40 Ma 之间。鄂尔多斯盆地中生代晚期构造热事件发生的根本原因在于中生代晚期岩石圈深部的热活动增强, 盆地南部岩石圈深部热活动性更强, 早白垩世鄂尔多斯盆地处于一种弱拉张的构造环境, 地幔发生底侵作用, 岩石圈减薄, 发生岩浆侵入和喷发。异常地温场形成可能与秦岭造山带燕山晚期强烈的构造活动导致鄂尔多斯盆地岩石圈深部活动有密切的关系。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 构造热事件; 热异常; 地温梯度; 镜质体反射率; 磷灰石裂变径迹

沉积盆地热演化史控制了油气的生成、运移、聚集及成藏, 不同类型的盆地, 具有不同的地球热动力学背景, 因而具有不同的油气生成和成藏期次, 油气勘探前景也不同(赵重远等, 1990; 汪缉安等, 1993; 刘国壁等, 1993; 任战利等, 1994, 1999a; 胡圣标等, 1995; 任战利, 1995, 1996,)。在国家“八五”攻关期间, 任战利等根据多种古地温温标确定盆地古地温高于今地温, 并根据古地温梯度高于现今地温梯度、构造运动及火成岩活动等首次确定了燕山晚期(晚侏罗—早白垩世)在鄂尔多斯盆地发生了一次重要的构造热事件及 23 Ma 以来的抬升冷却事件, 认为中生代晚期构造热事件对油气的生成、运移、成藏有重要的控制作用^{①②}(任战利等, 1994; 任战利, 1995, 1996)。之后不同学者用不同的方法, 从不同的角度对盆地热演化史、构造热事件及与油气的关系作了进一步的研究, 加深了盆地热史及构造热事件的研究深度(赵孟为, 1996; 孙少华等, 1996, 1997; 叶加仁等, 1997; 任战利等, 1997, 1999b, 2001; 周江羽等, 1998; 高峰等, 2000; 刘新社等, 2000; 万丛礼等, 2004;)。虽然对鄂尔多斯盆地发生构造热事件的期次有不同认识, 但普遍认为燕山期构造热事件是存在的, 对鄂尔多斯盆地中生代晚期构造热事件研究

工作较多, 认为燕山期构造热事件对油气生成、运移、成藏有重要的控制作用。从已有的研究工作来看对中生代晚期构造热事件在盆地的影响范围、发生的精确时间、形成机理研究工作较为薄弱(任战利等, 2005a; 刘池洋等, 2005)。

盆地构造热事件的研究是盆地热史研究的一个热点, 盆地构造热事件发生时期、形成机制、影响范围及对油气、煤的演化程度、对成藏的控制作用是研究的重点(Nunn, 1994; 任战利等, 1995, 1999, 2005b; Petmecky et al., 1999; Hertle et al., 2000; Friberg et al., 2000; 任战利等, 2001, 2001, 2005b; Sachsenhofer et al., 2002)。

根据收集到的 1146 个盆地不同区块镜质体反射率(R_o)数据及我们新测定的 35 个 R_o 数据, 重新勾绘了不同层位镜质体反射率平面分布图。在古地温恢复、热史模拟的基础上, 研究了构造、埋深、火成岩活动与不同层位镜质体反射率平面分布图的关系, 确定了鄂尔多斯盆地热异常分布区, 探讨了构造热事件发生的时间和机理。

1 不同层位热演化程度平面分布特征

1.1 上古生界(C—P)

注: 本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目(编号 2003CB214600, 2002CB211704), 长江学者和创新团队发展计划(编号 IRT0559)资助的成果。

收稿日期: 2006-12-05; 改回日期: 2006-02-10; 责任编辑: 刘淑春。

作者简介: 任战利, 男, 1961年生。博士后, 研究员, 博士生导师。长期从事盆地热演化史与油气成藏和油气地质研究与教学工作。Email: renzhanli@nwwu.edu.cn。

从鄂尔多斯盆地现今上古生界石炭—二叠系煤系地层 R_o 平均等值线图可知, R_o 值总体具有由盆地边缘向盆地内逐渐增高, 盆地内南高北低的特点。盆地北部伊盟隆起东北角为最低值区, R_o 值在 0.6%~1.2% 之间; 其次为晋西挠褶带和西缘逆冲带, R_o 值分别在 0.8%~1.6% 和 1.0%~1.6% 之间。天环向斜北部及渭北隆起较高, 最高区在吴旗、富县、庆阳一带, 最高值可达 3.0% 以上(图 1)。在渭北隆起陇县龙 2 井一带、西缘逆冲带汝箕沟煤矿、晋西挠褶带临县紫金山岩体, R_o 值为异常高值区。

1.2 上三叠统

中生界上三叠统延长组镜质体反射率平面分布表明镜质体反射率从盆地边缘向盆地内部增高, 盆地南部区高于北部区(图 2)。在盆地北部鄂托克旗—横山以北的广大地区为镜质体反射率低值区, R_o 小于 0.8%; 在晋西挠褶带、渭北隆起 R_o 值较低; R_o 高值区在吴旗、庆阳、富县、延安一带, 最高值可达 1.0% 以上。

1.3 中侏罗统

中生界中侏罗统延安组镜质体反射率值从盆地边缘向盆地内部增高, 呈环带状分布, 从边缘的 0.4%, 增加到盆地中心的 0.8% 以上, 镜质体反射率值总体为南高北低(图 3)。 R_o 最高值对应志丹—庆阳—富县带, R_o 值最高可达 08% 以上。

从以上鄂尔多斯盆地石炭—二叠系、上三叠统以及中侏罗统烃源岩的镜质体反射率等值线平面分布图可以看出, 镜质体反射率等值线分布及变化有以下特点: ① 随着层位的变深(埋深增加), 镜质体反射率值增大; ② 从盆地边缘向盆地内部镜质体反射率值增大; ③ 盆地镜质体反射率值总体具有南高北低的特点, 高值区分布在盆地定边—靖边—绥德以南的南部区; ④ 盆地不同层位的镜质体反射率值(R_o) 高值区位置大体相同, 重合性很好, 高值区位于盆地南部的吴旗—庆阳—富县一带(图 4)。

2 热演化程度分布与构造的关系

2.1 热演化程度分布与现今构造的关系

鄂尔多斯盆地现今东部为一斜坡、西部为一坳陷的构造面貌是在中生代晚期开始出现的, 中生代以后盆地整体抬升, 此构造面貌得到进一步加强和改造。盆地现今的构造格架在一定程度上反映了中生代晚期的面貌。

石炭—二叠系、上三叠统以及中侏罗统烃源岩的镜质体反射率等值线总体具有边缘低、盆内高, 北

部低、南部高, 吴旗—庆阳—富县一带为异常高值区的特点。上古生界西部埋藏深, 反射率总体较高, 东部埋藏浅, 反射率总体较低。不同构造单元镜质体反射率(R_o)与深度关系图中镜质体反射率(R_o)值没有明显的错断, 表明反射率总体受埋藏深度的控制(任战利等, 1994), 天环向斜已埋藏深度增大而增大, 最大古地温是在侏罗纪之后达到的(图 5)。

上古生界煤层、中生界上三叠统延长组以及中侏罗统延安组的镜质体反射率等值线趋势与相应层位在中生代早白垩世晚期的古构造线趋势不完全一致, 在盆地南部庆阳—富县—吴旗一带镜质体反射率等值线与古构造线相交(图 1~3), 镜质体反射率等值线高值区在庆阳—富县—吴旗一带近东西向显环形分布。

鄂尔多斯盆地不同层位镜质体反射率等值线分布趋势与盆地现今莫霍面分布形态及现今地温等值线分布形态也不一致(任战利, 1995, 1999), 表明鄂尔多斯盆地现今不同层位镜质体反射率等值线也不受现今地温场、现今地壳结构的控制。

2.2 热演化程度分布与古构造的关系

如果按统一的、正常的地温梯度模型模拟, 在中侏罗世末不同层位的埋藏深度趋势线与该层位在中侏罗世末达到的镜质体反射率值趋势线(应用正常地温梯度模拟结果)一致, 而与上古生界、中生界上三叠统以及中侏罗统烃源岩现今的镜质体反射率等值线趋势不一致, 表明中侏罗世末上古生界镜质体反射率等值线不可能达到现今的值。根据埋藏史恢复在早白垩世晚期地层达到最大埋深(任战利等, 1994), 在恢复早白垩世之后的剥蚀厚度后, 此时不同层位的古埋藏深度趋势线与该层位在现今的镜质体反射率等值线趋势也不一致, 不一致主要表现在盆地南部庆阳—富县—吴旗一带镜质体反射率出现近东西向的高值区。在盆地南部增大中生代晚期的古地温梯度, 可使不同层位在早白垩世晚期的热演化程度与现今的热演化程度等值线趋势一致, 且使热演化程度值接近。

因此鄂尔多斯盆地不同层位现今的镜质体反射率值除受古埋深控制外, 也受古地温梯度南高北低不均一性的控制, 在盆地南部受异常古地温梯度的控制明显。

3 热演化程度异常区形成时间及机理

3.1 热演化程度异常区形成时间

3.1.1 盆地热演化史提供的证据

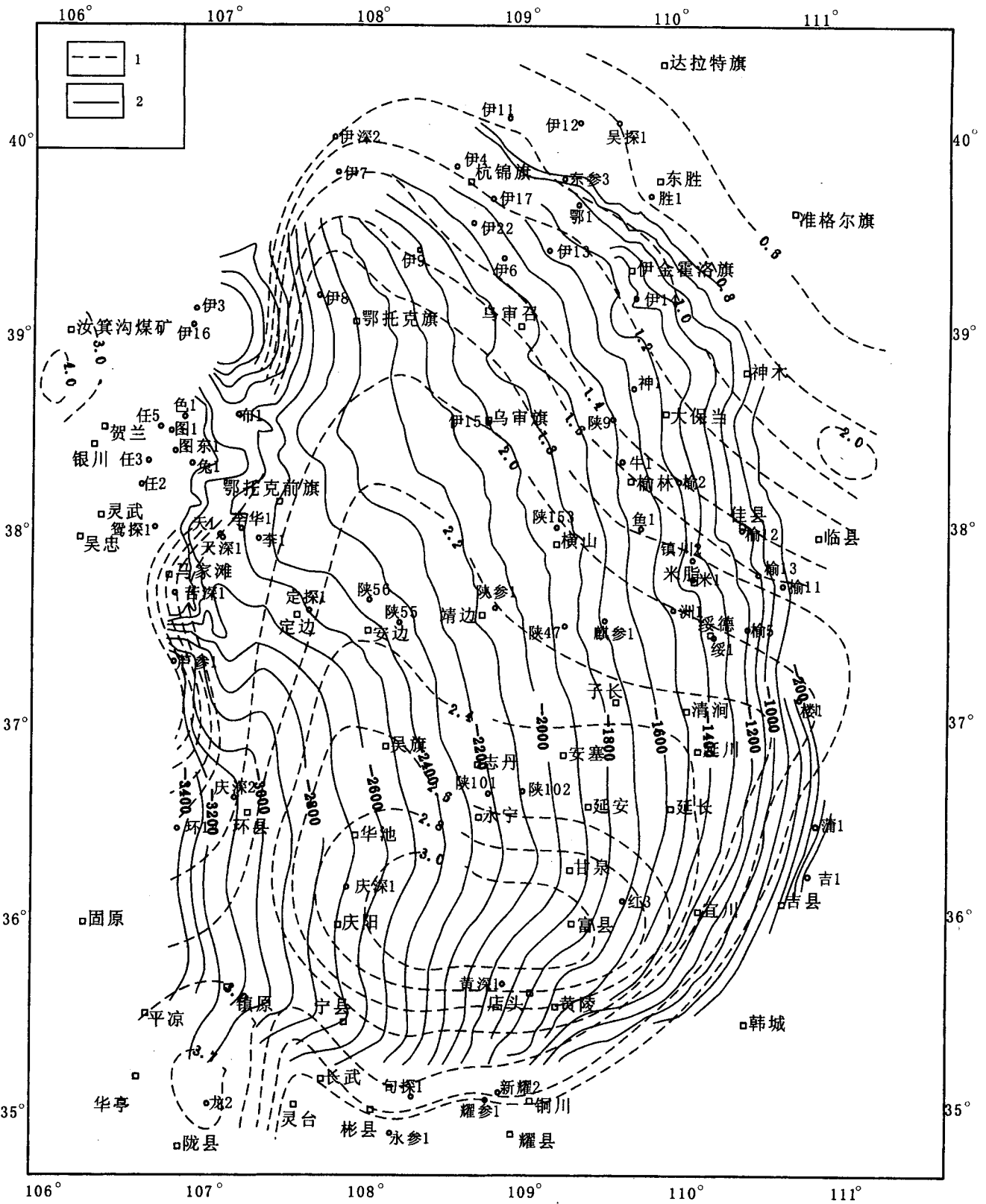


图 1 鄂尔多斯盆地上古生界煤层镜质体反射率(R_v)等值线与山西组底面(T_2)构造关系图
 Fig. 1 Relationship between R_v isoline of Upper Paleozoic coal series and structural contour of Shanxi Formation bottom (T_2) in Ordos Basin
 1—上古生界煤层镜质体反射率等值线; 2—山西组底面(T_2)构造线
 1—Vitrinite reflectance isoline (%) in Upper Palaeozoic coal strata; 2—structural contour of Shanxi Formation bottom (T_2)

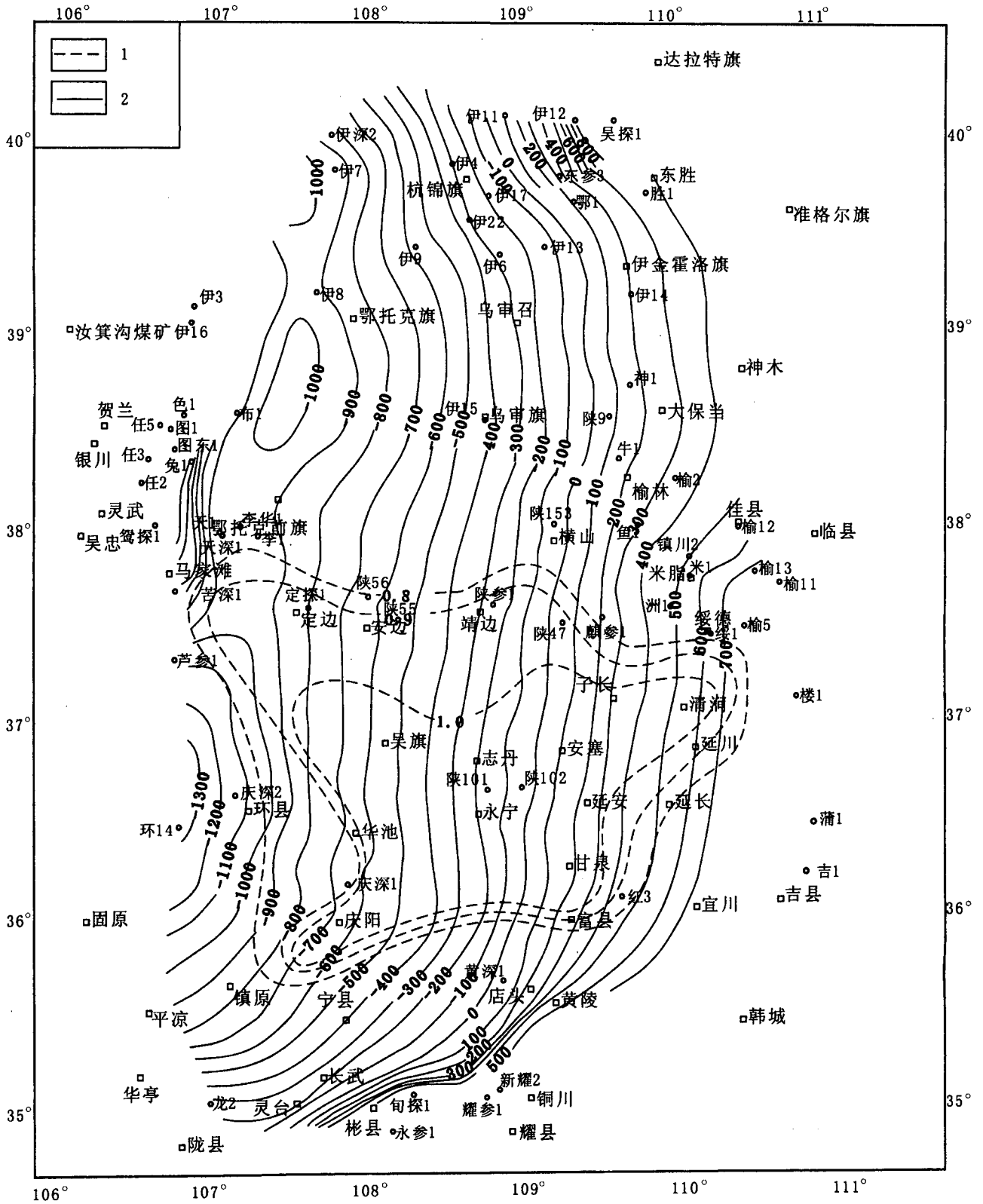


图 2 鄂尔多斯盆地上三叠统延长组镜质体反射率平面分布与延长组顶面构造关系

Fig. 2 Relationship between R_o isoline of Yanchang Formation and structural contour of Yanchang Formation top in the Ordos Basin

1—上三叠统延长组镜质体反射率等值线; 2—延长组顶面构造图

1—Vitrinite reflectance isoline(%) in Upper Triassic Yanchang Formation; 2—structural contour of Yanchang Formation top

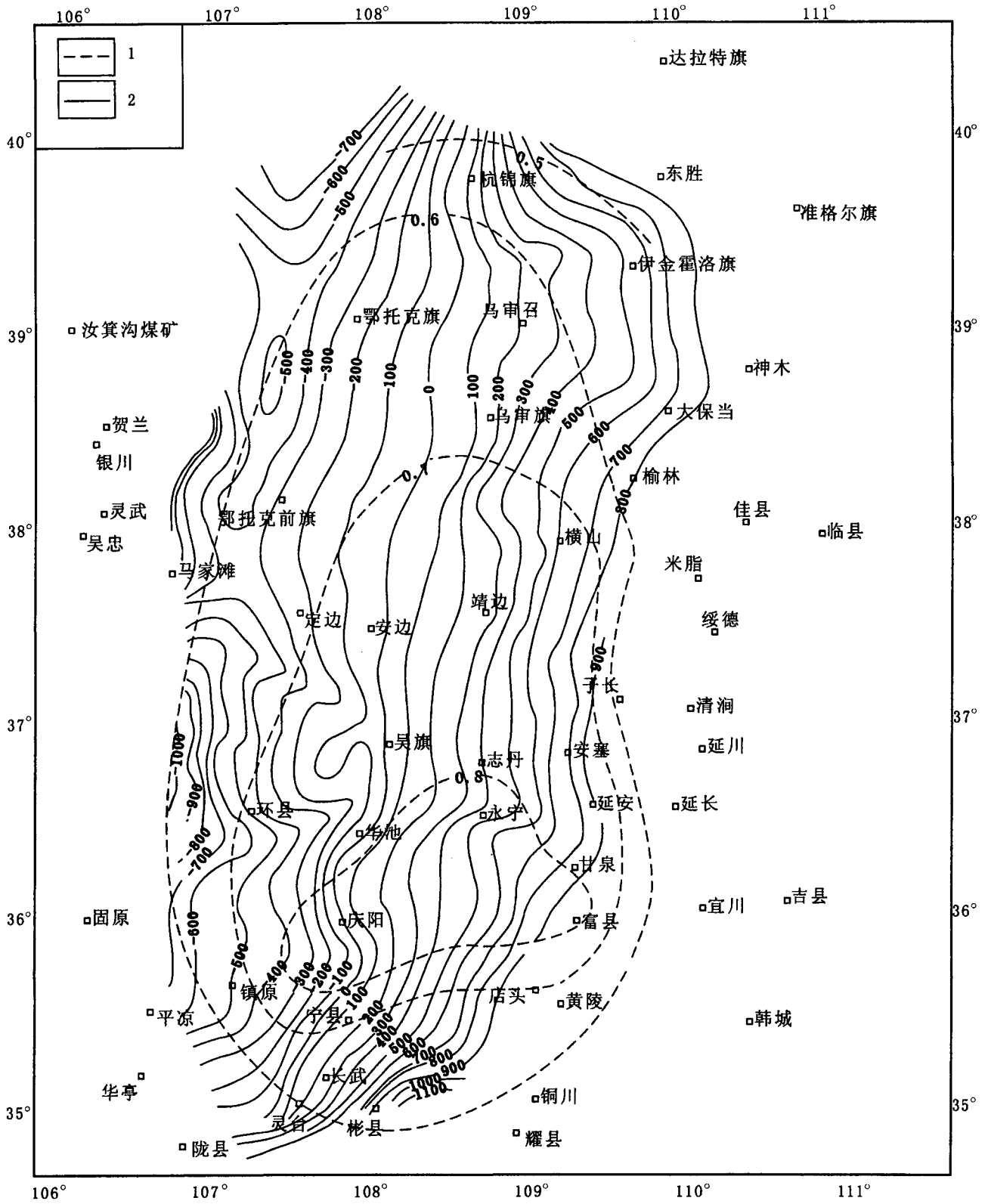


图3 鄂尔多斯盆地中侏罗统延安组镜质体反射率平面分布与延安组顶面构造关系图

Fig. 3 Relationship between R_v isoline Yan'an Formation and structural contour of Yan'an Formation top in the Ordos Basin

1—中侏罗统延安组镜质体反射率等值线; 2—延安组顶面构造图

1—Vitrinite reflectance (R_v) isoline in Middle Jurassic Yanan Formation; 2—structural contour of Yan'an Formation top

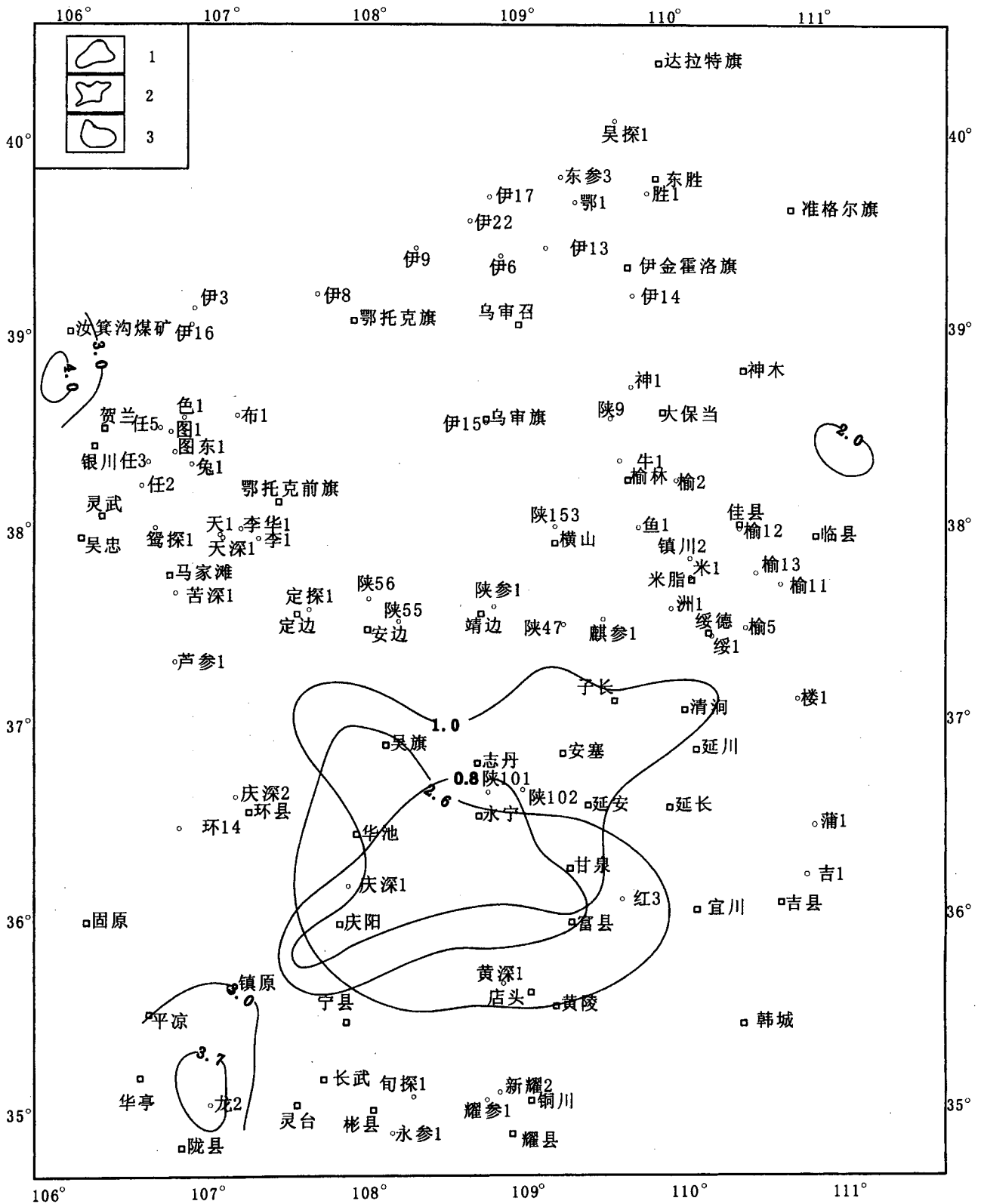


图 4 不同层位热演化程度异常叠合图

Fig. 4 The superimposition of abnormal maturity distributive province in different stata

1—侏罗系延安组地层镜质体反射率值异常区(%)；2—三叠系延长组地层镜质体反射率值异常区(%)；3—石炭—二叠系煤系地层镜质体反射率值异常区(%)

1—Abnormal area(%) of vitrinite reflectance in Jurassic Yan'an Formation; 2—abnormal area(%) of vitrinite reflectance in Triassic Yanchang Formation; 3—abnormal area(%) of vitrinite reflectance in Carboniferous and Permian coal stata

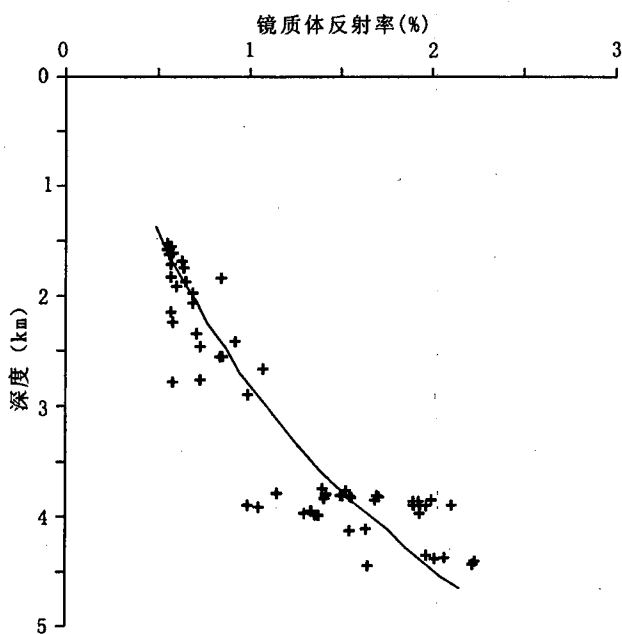


图5 天环向斜镜质体反射率与深度关系图
Fig. 5 Relationship between vitrinite reflectance and depth in Tianhuan syncline

鄂尔多斯盆地不同构造单元镜质体反射率(R_o)与深度关系图中镜质体反射率(R_o)在不同层位没有明显的错断,镜质体反射率(R_o)与深度关系为视线型连续变化类型,随深度的增加,镜质体反射率增大。因此镜质体反射率(R_o)与深度关系曲线主要反映地层在早白垩世达到最大埋深时的古地温梯度(任战利等,1994;Suggate,1998)。

我们根据多种古地温恢复方法对盆地中生代晚期的古地温梯度进行了恢复,恢复的结果表明鄂尔多斯盆地中生代晚期的古地温梯度主要在 $3.3\sim 4.80\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ 之间。在盆地北部古地温梯度低;在盆地南部古地温梯度高,古地温梯度主要在 $4.00\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ 左右或更高(任战利等,1994;任战利,1995,1999)。

根据盆地沉积构造背景、盆地类型、构造运动期次、强弱,给出盆地热演化模型(任战利,1995),在恢复剥蚀厚度的基础上,不断的修改热演化模型,使盆地模拟结果中实测的镜质体反射率(R_o)与理论计算的镜质体反射率很好的一致时,就认为此热史模型可以代表盆地的热演化史。我们应用 Easy%模型,重新对盆地不同构造单元的7口井进行了详细的热史模拟(Sweeney et al., 1990),模拟结果总体而言在中生代晚期约 $130\sim 100\text{ Ma}$ 时地温梯度较高,盆

地南部古地温梯度高于盆地北部,盆地南部庆36井在中生代晚期约 $130\sim 100\text{ Ma}$ 时地温梯度高达 $4.4\text{ }^\circ\text{C}/100\text{ m}$ (图6),此模拟值与用古地温温标计算的古地温梯度较接近。

盆地热史模拟结果表明在中生代晚期的古地温梯度较高,在盆地南部出现过异常高值,说明中生代构造热事件发生在早白垩世约 $130\sim 100\text{ Ma}$ 。

3.1.2 火成岩活动提供的证据

火成岩活动的纪录是构造热事件发生的直接证据,尽管鄂尔多斯盆地内部火成岩不发育,但盆地边缘燕山期火成岩活动较为强烈。在盆地边缘区东缘临县的紫金山岩体分布具环带状,岩体呈孤岛状出露于三叠系二马营组,碱性火成岩体面积达23

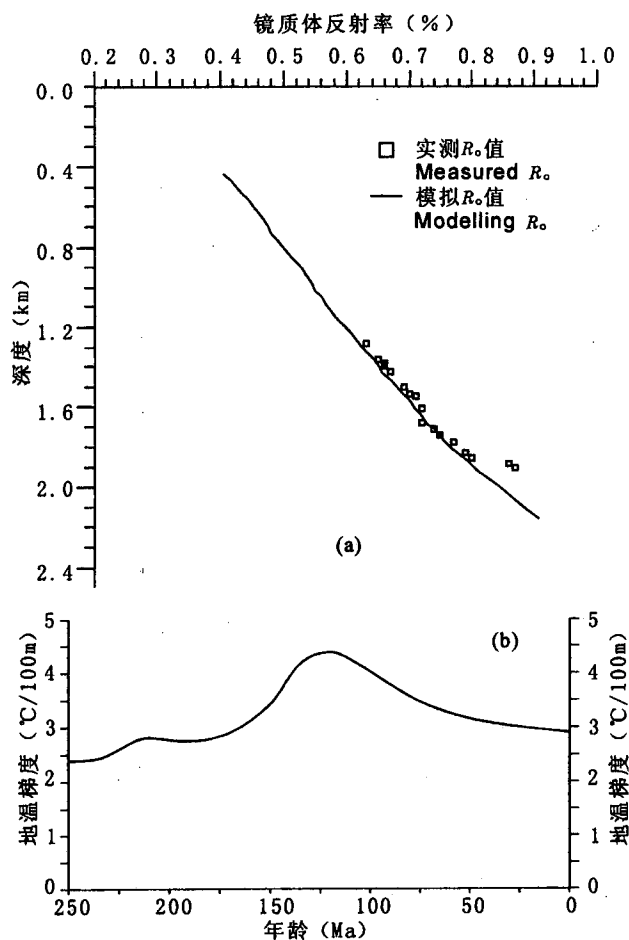


图6 鄂尔多斯盆地南部庆36井热演化史模拟结果图
Fig. 6 The thermal history simulating results of Qing36 well in the south of Ordos Basin

- (a) — 实测镜质体反射率与计算镜质体反射率对比图;
(b) — 模拟的地温梯度演化曲线图
(a) — The comparison between measured vitrinite reflectance and calculating vitrinite reflectance; (b) — the simulating curve of geothermal gradient evolution

km²。从外环向内环,岩性依次为:二长岩、长石霓辉正长岩、霓辉正长岩、角砾状粗面岩、角砾状响岩。地球化学分析表明岩浆来源于地幔(黄锦江,1991)。岩体主要为燕山晚期形成,紫金山岩体同位素年龄在 154~91 Ma 之间,主要在 138~125 Ma 之间,相当于早白垩世(武铁山^⑥;吴利仁等,1964;汤达祯等,1992)。

在盆地西缘已发现了几十个燕山期火成岩体,如西缘中段炭山的辉绿岩,西缘南段陇县的 10 余个花岗斑岩或安山玄武岩。西缘汝箕沟的鼓鼓台玄武岩,玄武岩伴生岩脉侵入的最高层位为中侏罗统安定组,玄武岩同位素年龄为 103.6 ± 3.1 Ma 和 98.79 ± 2.86 Ma(高山林等,2003)。在汝箕沟向斜内,由于火成岩使侏罗系延安组煤层镜质体反射率产生了异常高值,煤层镜质体反射率高达 2.15%~3.87%,明显高于鄂尔多斯盆地内部侏罗系延安组煤层的镜质体反射率值。汝箕沟煤矿区发育规模大小不等的石英脉,石英脉中的包裹体均一温度为 171~240℃。以上结果说明岩浆活动时期为安定组沉积之后(约 150 Ma),在 90 Ma 前。

在伊盟隆起上下白垩统泾川组在保尔斯特沟、伊 12 井一带有玄武岩侵入,在喇嘛沟有辉绿岩侵入^⑦。

在盆地南缘渭北隆起上陇县华亭地区龙 1、龙 2 井三叠系中钻遇厚达 150 m 以上的霞石正长岩、闪长玢岩。龙 1 井在 1584 m(延长组)钻遇 154.6 m 厚的霞石正长岩,火成岩未见底。龙 2 井自延长组 1 段顶 1668 m 开始到蓟县系的 3536 m,有 52 层总厚为 384.5 m 的岩浆岩。龙 1、龙 2 井的火成岩使上覆地层热演化程度产生了异常高值。

中生代晚期构造热事件发生不会是孤立的,与鄂尔多斯盆地相邻的山西地区燕山期火成岩发育,山西地区的中生代火成岩同位素年代测量数据表明岩浆侵入和喷发发生于侏罗纪到白垩纪,其年龄主要分布于 110~150 Ma 之间,主峰值 120~140 Ma,主峰年龄相当于早白垩世(任战利,1995,1999;任战利等,2001,2005)。山西地区中生代火成岩同位素年龄与鄂尔多斯盆地周缘区的火成岩活动时期基本一致,同为晚燕山期。

3.1.3 构造运动提供的证据

鄂尔多斯盆地及周缘区燕山晚期构造活动强烈,在盆地周缘区地层变形强烈,在盆地边缘区中侏罗统与下白系统之间存在明显的角度不整合,在盆地内部为平行不整合。强烈的构造运动主要发生在晚

侏罗世。早白垩世鄂尔多斯盆地处于一种拉张环境,岩浆侵入和喷发,反映盆地深部热处于活跃时期。

根据鄂尔多斯盆地周缘及邻区火成岩年龄、磷灰石裂变径迹、强烈构造运动发生时期及盆地热史模拟等资料,可以判定构造热事件主要发生在中生代晚期早白垩世约 140~100 Ma。构造热事件持续时间约在 10~40 Ma 之间,构造热事件发生时期为地温梯度、热流值异常时期。

3.2 构造-热事件形成机制

鄂尔多斯盆地中生代晚期构造热事件除在火成岩侵入和喷发的地区表现较强外,使盆地整体地温梯度升高,在盆地南部吴旗—庆阳—富县一带地温梯度更高,造成了古生界、中生界烃源岩热演化程度异常。中生代晚期构造热事件发生不是孤立的,鄂尔多斯盆地发生时间与华北地台岩石圈全区范围内由亏损地幔性质转变为富集地幔性质时期、岩石圈减薄时期及华北东部构造体制转折的峰期一致(任战利,1999;吴福元等,1999;任战利等,2001,2005;毛景文等,2003;翟明国等,2003)。异常地温场形成的根本原因在于中生代晚期早白垩世鄂尔多斯盆地岩石圈深部的热活动增强,鄂尔多斯盆地南部岩石圈深部热活动性比北部更强(任战利,1995,1999;任战

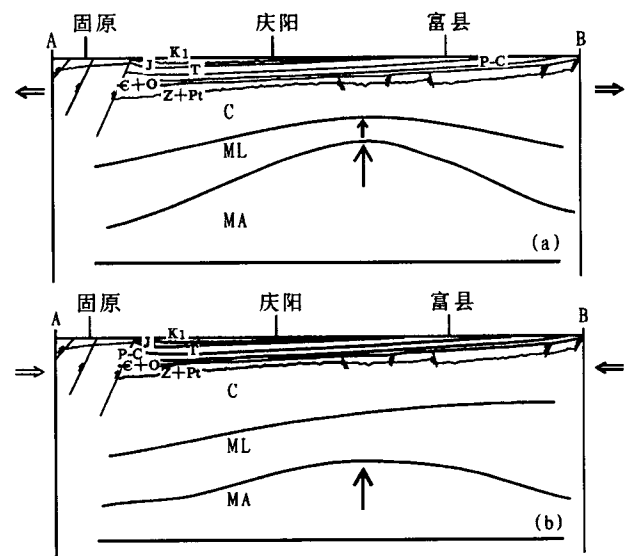


图 7 鄂尔多斯盆地中生代晚期构造热事件发生机理图
Fig. 7 The mechanism of tectonic heat event on the late-Mesozoic era in the Ordos Basin

(a)—早白垩世(100 Ma 左右盆地深部结构图);(b)—现今盆地深部结构图;C—地壳;ML—岩石圈地幔;MA—软流圈地幔
(a)—structural map of the basin depth in the early cretaceous(100 Ma ±); b—The present deep structural diagram; C—earth crust; ML—lithosphere mantle; MA—asthenosphere Mantle

利等,2001,2005),此时鄂尔多斯盆地可能处于一种弱拉张的构造环境,地幔发生底侵作用,岩石圈减薄,发生岩浆侵入和喷发(图7)。晚白垩世以来鄂尔多斯盆地岩石圈深部热活动性减弱,岩石圈增厚。

华北南部近东西向古生界煤高变质带分布于秦岭造山带的北部(秦勇等,1993;钟宁宁等,1994;何建坤,1996),鄂尔多斯盆地南部热演化程度异常可与华北南部济源—开封—永城一带古生界煤高变质带相连,共同组成鄂尔多斯盆地南部和华北南部古生界煤高变质带。鄂尔多斯盆地南部热演化程度异常带可能与秦岭造山带燕山晚期构造活动有密切的关系,秦岭造山带燕山期强烈的陆内造山、陆内俯冲可能在秦岭造山带北部的鄂尔多斯盆地南部和华北南部济源—开封—永城一带引起地幔上隆,形成异常地温场,使古生界煤产生高变质带。鄂尔多斯盆地南部异常地温带可与华北南部古生界煤高变质带相连组成宏伟的地温异常带。深入研究该古地温异常带的成因机理及对烃源岩成熟过程的影响对大陆动力学及油气、煤等能源矿产的成藏有重要意义。

4 结论

(1) 鄂尔多斯盆地不同层位镜质体反射率平面分布图及热史模拟结果表明在盆地南部的吴旗—庆阳—富县一带,存在有热演化程度异常区。鄂尔多斯盆地不同层位镜质体反射率平面分布除受古埋深控制外,也受高古地温梯度不均一性的控制。

(2) 根据鄂尔多斯盆地周缘及邻区火成岩年龄、磷灰石裂变径迹、强烈构造运动发生时期及盆地热史模拟研究结果,可以判定构造热事件主要发在中生代晚期早白垩世约140~100 Ma。构造热事件持续时间约在10~40 Ma之间,构造热事件发生时期为地温梯度及热流异常时期。

(3) 鄂尔多斯盆地中生代晚期构造热事件发生的根本原因在于中生代晚期鄂尔多斯盆地岩石圈深部的热活动增强,盆地南部岩石圈深部热活动性更强,此时鄂尔多斯盆地可能处于一种弱拉张的构造环境,地幔发生底侵作用,岩石圈减薄,发生岩浆侵入和喷发。异常地温场形成可能与秦岭造山带燕山晚期构造活动有密切的关系。

注 释

- ① 任战利. 1993. 陕甘宁盆地热演化史及其与油气的关系. “八五”国家重点科技攻关项目成果报告.
- ② 赵重远,等. 1993. 陕甘宁盆地中南部古构造演化及其对沉积和含

气性的控制作用. “八五”国家重点科技攻关项目成果报告.

- ③ 武铁山. 1982. 山西省中酸性、碱性、偏碱性侵入岩同位素年龄新数据及其地质意义的讨论. 山西地质科技, (2).
- ④ 张金山. 1981. 鄂尔多斯盆地的油气与印支运动、燕山运动的关系. 内蒙古石油学会论文集.

参 考 文 献

- 高峰,王岳军,刘顺生,等. 2000. 利用磷灰石裂变径迹研究鄂尔多斯盆地西缘热历史. 大地构造与成矿学, 24(1):87~91.
- 高山林,李芳,李天斌,等. 2003. 汝箕沟晚中生代玄武岩的确定与煤变质作用关系简论. 煤田地质与勘探, 31(3):8~10.
- 胡圣标,汪集旸. 1995. 沉积盆地热体制研究的基本原理和进展. 地学前缘, 2(4):171~180.
- 黄锦江. 1991. 山西临县紫金山碱性环状岩体岩石学特征与成因研究. 现代地质, 5(1):24~39.
- 何建坤. 1996. 东秦岭北缘的变质作用与板块构造的关系. 地质论评, 42(1):8~13.
- 刘池洋,赵红格,王锋,陈洪. 2005. 鄂尔多斯盆地西缘(部)中生代构造属性. 地质学报, 79(6):737~747.
- 刘国壁,张惠蓉. 1993. 冷盆地地热场与油气相态分析. 石油勘探与开发, 20(增刊):8~14.
- 刘新社,席胜利,付金华,等. 2000. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气生成. 天然气工业, 20(6):19~23.
- 毛景文,张作衡,余金杰,等. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到的启示. 中国科学(D辑), 33(4):289~299.
- 秦勇,金法礼,权彪,等. 1993. 焦作—济源地区晚中生代古地热场特征及成因. 煤田地质与勘探, 21(3):16~22.
- 任战利,赵重远,张军,等. 1994. 鄂尔多斯盆地古地温研究. 沉积学报, 12(1):56~65.
- 任战利. 1995. 利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史. 地球物理学报, 38(3):339~349.
- 任战利. 1996. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究. 石油学报, 17(1):17~24.
- 任战利,赵重远. 1997. 鄂尔多斯盆地与沁水盆地中生代晚期地温场对比研究. 沉积学报, 15(2):134~137.
- 任战利. 1999. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究. 北京:石油工业出版社.
- 任战利,赵重远,陈刚,等. 1999a. 沁水盆地中生代晚期构造热事件. 石油与天然气地质, 20(1):46~48.
- 任战利,张世焯. 1999b. 中国北方沉积盆地构造热演化史与油气关系研究. 地球科学, 20(增刊):489~494.
- 任战利,赵重远. 2001. 中生代晚期中国北方沉积盆地古地温梯度及对比. 石油勘探与开发, 28(6):1~4.
- 任战利,肖晖,刘丽,等. 2005a. 沁水盆地中生代构造热事件发生时期的确定. 石油勘探与开发, 32(1):43~47.
- 任战利,张盛,高胜利,等. 2005b. 鄂尔多斯盆地热演化史研究现状及进展. 见:刘池洋主编. 盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展. 北京:科学出版社, 17~25.
- 孙少华,刘顺生,汪集旸. 1996. 鄂尔多斯盆地热流场特征. 大地构造与成矿学, 20(1):29~37.
- 孙少华,李小明,龚革联,等. 1997. 地构造热事件研究. 科学通报, 42

- (3):306~309.
- 汤达祯,杨起,潘治贵. 1992. 河东煤田地史-热史模拟与煤变质演化. 现代地质,6(3):328~337.
- 汪缉安,汪集旻. 1993. 中国大陆沉积盆地地热特征及油气资源. 见:赵重远主编. 含油气盆地地质学研究进展. 西安:西北大学出版社,227~234.
- 吴利仁,张兆忠,张玉学,等. 1964. 论山西台背斜碱性岩浆的成因与演化. 地质科学,(2):128~132.
- 吴福元,孙德有. 1999. 中国东部中生代岩浆作用与岩石圈减薄. 长春科技大学学报,29:313~318.
- 叶加仁,赵鹏大,陆明德. 1997. 鄂尔多斯盆地地下古生界热史与油气生成动力学研究. 天然气工业,17(5):3~7.
- 赵重远,刘池洋,任战利. 1990. 含油气盆地地质学及其研究中的系统工程. 石油与天然气地质学,11(1):108~113.
- 赵孟为,Behr H J. 1996. 鄂尔多斯盆地三叠系镜质体反射率热史. 石油学报,17(2):15~23.
- 周江羽,吴冲龙,韩志军. 1998. 鄂尔多斯盆地的地热场特征与有机质成熟度. 石油实验地质,20(1):20~23.
- 翟明国,朱日祥,刘建明,等. 2003. 华北东部中生代构造体制转折的关键时限. 中国科学(D辑),33(10).
- 钟宁宁,曹代勇. 1994. 华北地区南部晚古生代煤的变质成因. 地质学报,68(4):348~357.
- Friberg L, Poelchaub H S, Kroossa B, Littke R. 2000. D-modelling of thermal history and simulation of methane and nitrogen migration along the Northeast German seismic DEKORP profile 9601. Journal of Geochemical Exploration, 69~70, 263~267.
- Gao Feng, Wang Yuejun, Liu Shunsheng, Hu Baoqing. 2000. Thermal history study in the west of the Ordos basin using apatite fission track analysis. Geotectonica et Metallogenia, 24(1): 87~91 (in Chinese with English abstract).
- Gao Shanlin, Li Fang, Li Tianbin, et al. 2003. Discussion of the relationship between coal meta morphism and the late Mesozoic basalt in Rujingou area. Coal Geology & Exploration, 31(3): 8~10 (in Chinese with English abstract).
- Hu Shengbiao, Wang Jiyang. 1995. Principles and progresses on thermal regime of sedimentary basin——an overview. Earth Science Frontiers, 2(4): 171~180 (in Chinese with English abstract).
- Huang Jinjiang. 1991. A study on the petrological features and the origin of alkaline rocks of Zijinshan ring complex in Lin county, Shanxi province. Ceoscience, 5(1): 24~39 (in Chinese with English abstract).
- He Jiankun. 1996. Relationship of coalification and plate tectonics on the north margin of the east QingLing orogenic belt. Geological review, 42(1): 8~13 (in Chinese with English abstract).
- Hertle M, Littke R. 2000. Coalification pattern and thermal modelling of the Permo-Carboniferous Saar Basin SW-Germany. International Journal of Coal Geology, 42: 273~296.
- Liu Guobi, Zhang Huirong. 1993. The analysis of geothermal field and gas-oil phase behavior in cooling basin. Petroleum Exploration and Development, 20 (supplement): 8~14 (in Chinese with English abstract).
- Liu Xinshe, Xi Shengli, Fu Jinhua, et al. 2000. Natural gas generation in the upper paleozoic in Ordos basin. Natural Gas Industry, 20(6): 19~23 (in Chinese with English abstract).
- Mao Jingwen, Zhang Zuoheng, Yu Jinjie, Wang Jitian, Niu Baogui. 2003. Large-scale ore-forming geodynamic setting of north China and zones nearby in Mesozoic era; The enlightenment from precise measurement age on metallic ore deposit. Scienc in China (Series D), 33(4): 289~299 (in Chinese with English abstract).
- Nunn, J A. 1994. Free thermal convection beneath intracratonic basins. thermal and subsidence effects. Basin Res., 6: 115~130.
- Petmecky S, Meier L, Reiser H, Littke R. 1999. High thermal maturity in the Lower Saxony Basin: intrusion or deep burial. Tectonophysics, 304: 317~344.
- Qin Yong, Jin Fali, Quan Biao, et al. 1993. Characteristics and mechanism of the Late Mesozoic paleothermal field in Jiaozuo—Jiyuan. Coal Geology & Exploration, 21(3): 16~22 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan, Zhang Jun, et al. 1994. Research on paleotemperature in the Ordos basin. Acta Sedimentologica Sinica, 12(1): 56~65 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli. 1995. Thermal history of Ordos basin assessed by apatite fission track analysis. Acta Geophysica Sinica, 38(3): 339~349 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli. 1996. Research on the relations between geothermal history and oil-gas accumulation in the Ordos basin. Acta Petrolei Sinica, 17(1): 17~24 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan. 1997. Late Mesozoic comparative research on the geothermal field of the Ordos basin and QingShui basin. Acta Sedimentologica Sinica, 15(2): 134~137 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli. 1999. Research on geothermal history in sedimentary basins of the north China. Beijing: Petroleum Industry Press.
- Ren Zhanli, Zhang Shihuan. 1999b. Research on the relations between geothermal history and gas-oil accumulation in sedimentary basins of the north china. Acta Geoscientia Sinica, 20 (supplement): 489~494.
- Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan, Chen Gang, et al. 1999a. Tectonic thermal event of late Mesozoic in QingShui basin. Oil & Gas Geology, 20(1): 46~48 (in Chinese with English abstract).
- Ren zhanli, Xiao Hui, Liu Li, et al. 2005a. The determination of Mesozoic tectonic heat event. Petroleum Exploration and Development, 32(1): 43~47 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli, Zhao Zhongyuan. 2001. Recovery and comparison of geothermal gradient for late Mesozoic sedimentary basins in the northern part of China. Petroleum Exploration and Development, 28(6): 1~4 (in Chinese with English abstract).
- Ren Zhanli, Zhang Sheng, Gao Shengli, et al. 2005b. Present situation and progress on thermal history research of Ordos basin. In: Liu Chiyang ed. The study progress of accumulation and distribution patterns for multi-energy mineral deposits coexisting in the basin. Beijing: Science Press, 17~25 (in Chinese with English abstract).
- Sachsenhofer R F, Privalov V A, Zhykalyak M V, Bueker C, Panova E A, Rainer T, Shymanovskyya V A, Stephenson R.

2002. Onets Basin (Ukraine/Russia): coalification and thermal history. *International Journal of Coal Geology*, 49: 3~55.
- Suggate R P. 1998. Relations between depth of burial, vitrinite reflectance and geothermal gradient. *Journal of Petroleum Geology*, 21(1): 5~32.
- Sweeney J J, Burnham A K. 1990. Evaluation of a simple model of vitrinite reflectance based on chemical kinetics. *AAPG BULL.* 74: 1559~1570
- Sun Shaohua, Li Xiaoming, Gong Gelian, et al. 1997. The study of tectonic-thermal event in Ordos basin. *Chinese Science Bulletin*, 42(3): 306~309 (in Chinese with English abstract).
- Sun Shaohua, Liu Shunsheng, Wang Jiyang. 1996. The heat flow field in Ordos basin. *Geotectonica et Metallogenia*, 20(1): 29~37 (in Chinese with English abstract).
- Tang Dazhen, Yang Qi, Pan Zhigui. 1992. Geohistory-Thermal history modeling and coal metamorphic evolution in the hedong coalfield. *Ceoscience*, 6(3): 328~337 (in Chinese with English abstract).
- Wang Ji'an, Wang Jiyang. 1993. The geothermal character and oil-gas resource of sedimentary basin in China continent. In: Zhao Zhongyuan, ed. *The research progresses of petroliferous basin geology*. Xi'an: Northwest University Press, 227~234 (in Chinese with English abstract).
- Wu Liren, Zhang Zhaozhong, Zhang Yuxue, et al. 1964. Genesis and evolution on alkali magma of platform anticline in Shanxi. *Chinese Journal of Geology*, (2): 128~132 (in Chinese with English abstract).
- Wu Fuyuan, Sun Deyou. 1999. The Mesozoic magmatism and lithospheric thinning in eastern China. *Journal of Changchun University of Science and Technology*, 29: 313~318 (in Chinese with English abstract).
- Ye Jiaren, Zhao Pengda, Lu Mingde. 1997. A study on the geothermal history and oil & gas generation dynamics of lower paleozoic in Ordos basin. *Natural Gas Industry*, 17(5): 3~7 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhongyuan, Liu Chiyang, Ren Zhanli. 1990. The petroliferous basin geology and system project research. *Oil & Gas Geology*, 11(1): 108~113 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Mengwei, Behr H J. 1996. Vitrinite reflectance in triassic with relation to geothermal history of Ordos basin. *Acta Petrolei Sinica*, 17(2): 15~23.
- Zhou Jiangyu, Wu Chonglong, Han Zhijun. 1998. Geothermal field and maturing history of organic matter in the Ordos basin. *Experimental Petroleum Geology*, 20(1): 20~23 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Mingguo, Zhu Rixiang, Liu Jianming, et al. 2003. The key time of turning of tectonic regime in the Mesozoic era in the east of north China. *Scienc in China (Series D)*, 33(10) (in Chinese with English abstract).
- Zhong Ningning, Cao Daiyong. 1994. Genesis of coal metamorphism of late Paleozoic on coal in the south of north China. *Acta Geologica Sinica*, 68(4): 348~357 (in Chinese with English abstract).

Research on Region of Maturation Anomaly and Formation Time in Ordos Basin

REN Zhanli, ZHANG Sheng, GAO Shengli, CUI Junping, LIU Xinshe

The key Ministry of Education laboratory of continental dynamics (North West University),

Geology department of North West University, Xian, Shaanxi, 710069

Abstract

The Ordos basin on late Mesozoic exist on a tectonic heat event. Based on analysis of the measured data about a great deal of vitrinite reflectance, age of igneous rock, age of apatite fission track, this paper study the time of the occurrence, existent region and the formation mechanism of the tectonic heat event. It is determined that distributin of geothermal anomalous region on late Mesozoic era in ordos basin is Wuqi—Qingyang—Fuxian at the south of basin. It is decided that tectonic heat event occurred on 100~140 Ma of early Cretaceous period in late Mesozoic, continuous time of tectonic heat event is about 10~40 Ma. Occurrence of tectonic heat event on late Mesozoic in Ordos basin result from intensive thermal mobility of deep lithosphere on the late Mesozoic, Thermal mobility of deep lithosphere in south region is stronger than in north region. Mantle occur underplating and thickness of lithosphere reduce, magma invasion and eruption occur on late Mesozoic. Ordos basin be in weak extension environment on late Mesozoic. Formation of anomalous geothermal field has something to do with intensive thermal mobility of deep lithosphere in Ordos basin which results from intensive tectonical activity of Qinling orogenic belt on late Yangshanian period.

Key words: Ordos basin; tectonic heat event; geothermal anomaly; geothermal gradient; vitrinite reflectance; apatite fission track