

文章编号:0253-9985(2005)-0329-08

华北早中三叠世盆地恢复与古生界生烃

许化政¹,周新科¹,高金慧¹,王兴武²

(1. 中国石化石油勘探开发研究院,北京 100083;

2. 中国石化中原油田分公司勘探开发科学研究院,河南濮阳 457001)

摘要:华北东部地区中下三叠统分布零星,面积小,但具有相似的岩性、岩相和韵律特征,反映为大型盆地的沉积背景。在广大范围内,由西北至东南,砂岩颗粒变细、泥质含量增多、沉积厚度变大的方向性明显,反映早中三叠世的沉积面貌和晚二叠世晚期(石千峰期)相似,表明其不但继承了晚二叠世“北聚南散”的古地球动力学背景,而且继承了北西高、南东低的古地理格局,说明海西运动一直延续到中三叠世。应用镜质体反射率(R_o)法、声波时差法及磷灰石裂变径迹法等多种方法恢复了中下三叠统的沉积厚度,编制了原型盆地沉积等厚图。中下三叠统沉积沉降中心位于临清-东濮-太康和两淮地区,沉积中心的中下三叠统厚度达2 000~2 600 m。伴随中下三叠统的沉积,至中三叠世末,下古生界马家沟组顶面埋深达3 080~3 690 m,古地温为112.4~130.7℃; R_o 值为0.85%~1.10%,下古生界以海相有机质为主的烃源岩已过了生油高峰,有机质的80%已完成向石油的转化,后期生烃潜力微乎其微;而上古生界以煤系为主的烃源岩,由于腐殖煤生烃高峰比I-II₁型干酪根生烃高峰滞后,尚处于早期生烃阶段,仍保留有较大的生烃潜力。

关键词:剥蚀厚度;烃源岩;原型盆地;中、下三叠统;华北盆地

中图分类号:TE112.1

文献标识码:A

Reconstruction of Early-Middle Triassic basin in North China
and hydrocarbon generation in PalaeozoicXu Huazheng¹, Zhou Xinke¹, Gao Jinhui¹, Wang Xingwu²(1. Exploration & Production Research Institute, SINOPEC, Beijing; 2. Scientific Research Institute of
Exploration and Development of Zhongyuan Oilfield Company, SINOPEC, Puyang, Henan)

Abstract: Middle-Lower Triassic in eastern part of North China is fragmentarily distributed in small areas; however, they have similar lithologies, facies and rhythmic characteristics, indicating a depositional setting of a large basin. It can be observed in a wide area that the grain size of sandstone is fining, shale content is increasing, and sediment is thickening apparently from NW to SE, indicating that sedimentary features in Early-Middle Triassic were similar with that in late Late Permian (Shiqianfeng age). Middle-Lower Triassic has inherited not only the Late Permian palaeogeodynamic setting of “convergence in the north and divergence in the south”, but also the palaeogeographic framework of high in the northwest and low in the southeast. All these show that Hercynian movement would have lasted till Middle Triassic. Several methods including vitrinite reflectance (R_o), interval transit time and apatite fission track, are used to reconstruct the sedimentary thickness of Middle-Lower Triassic, and to plot the isopach map of the prototype basin. The sedimentary-subsidence center is located in Linqing-Dongpu-Taikang and Huainan-Huaipei areas, where the Middle-Lower Triassic is as thick as 2 000~2 600 m. At the end of Middle Triassic, the burial depth of the top of Majiagou Formation in Lower Paleozoic would have reached 3 080~3 690 m, the palaeogeotemperature would be 112.4~130.7℃, and the R_o would be 0.85%~1.10%. The Lower Paleozoic source rocks, mainly consisting of marine organic matters, would have passed the peak oil generation stage, with 80% of the organic matters

基金项目:中国石化重点勘探研究项目“中石化环渤海湾地区前三系油气资源前景”(P03076)

第一作者简介:许化政,男,61岁,教授级高级工程师,石油与天然气地质

收稿日期:2005-03-19

have been converted into oil, thus the hydrocarbon generation potential in later stage would be very low. While the Upper Paleozoic source rocks, mainly consisting of coal formation, were still in the early stage of hydrocarbon generation with relatively good hydrocarbon generating potential, because the peak hydrocarbon generation of humic coal would lag behind the Type I - II₁ kerogens.

Key words: denudation thickness; source rocks; prototype basin; Middle-Lower Triassic; North China basin

许多学者把华北盆地克拉通发育阶段截止于晚二叠世石千峰期^[1]。虽然人们看到上二叠统石千峰组之上连续沉积有厚度较大、岩性近似的中、下三叠统,但由于现今东部地区中、下三叠统地质遗迹较少,人们往往模糊地认为石千峰组沉积之后,东部地区发生使克拉通解体的隆升事件,海西运动就此结束。然而,华北盆地东部地区中、下三叠统虽残存较少,但却星罗棋布到处分布有非边缘相的中、下三叠统,且具有可比性。反映中、下三叠统为大型盆地的沉积,说明海西运动还在延续。海西运动晚期,华北板块、太平洋板块、扬子板块之间的相互作用微弱,“北聚南散”的古地球动力学背景,北高南低、西高东低的华北板块掀斜及其成盆作用一直延续到海西运动晚期(T₂)。这不但可从东部中、下三叠统残存地层的可比性和变化的方向性得到证实,也可从这套地层对石炭—二叠纪煤系变质程度的影响得到验证。

1 中、下三叠统残余分布与对比

华北盆地东部中、下三叠统分布局限、零星。有人认为早、中三叠世华北地台东隆西拗,西部鄂尔多斯地区为大型拗陷,东部为相互隔绝的小型内陆盆地^[2]。但这种观点无法解释华北古生界较高的区域性变质现状和中、下三叠统残余地层岩性—岩相的一致性。越来越多的学者倾向认为^[3],早、中三叠世华北地区为统一的大型内陆盆地,地史中曾经沉积有区域性巨厚的中、下三叠统。由于这套地层既不含生油层,储集性能又差,残余分布零散,往往不被人重视。但是中、下三叠统原始厚度大,曾覆盖整个大华北盆地,对古生界烃源岩的生烃作用发生过深刻的影响,又是必须重视和研究的领域。

根据地震、钻井和露头资料确认的中、下三叠统主要分布在5个地区(图1)。

1.1 豫西地区

豫西济源、洛阳、宜川凹陷有较全的中、下三叠

统分布,其上、下分别与上三叠统及二叠系石千峰组呈整合接触。中、下三叠统厚度基本反映为原始沉积厚度。下三叠统刘家沟组以灰紫、紫红色细砂岩为主,次为中粒石英砂岩、长石砂岩及钙质粉砂岩,具板状、楔状及槽状斜层理,为干燥炎热气候条件下的河流相沉积^[4]。其上,和尚沟组以鲜红—暗紫红色砂质页岩、页岩、粉砂岩为主,夹暗紫色中—细粒石英砂岩,具水平及变形层理,为静水环境的滨浅湖相沉积。刘家沟组与和尚沟组构成中、下三叠统第一个自下而上由粗变细的正韵律。

中三叠统二马营组为黄绿色细粒长石砂岩与紫红色粘土岩互层,与上部肉红色厚层中粒长石砂岩构成韵律层。砂岩具水平、微波状及爬行层理,为缓慢水流以垂向加积作用为特征的河流—滨浅湖相沉积。油房庄组则以灰绿色砂岩与棕褐色泥岩为主,上部出现灰—深灰色泥岩及薄煤层或油页岩。中三叠统整体反映为中、下三叠统第二个自下而上由粗变细、由干旱转为湿润的沉积韵律。

鄂尔多斯盆地延安—富县地区中、下三叠统与济源地区相比,两地间沉积剖面结构及岩性极其相似,只是厚度有一定差别,岩性向东变细^[5]。富县地区中、下三叠统沉积厚度小于1 000 m,而济源地区西承留剖面中、下三叠统厚度达1 506.76 m,反映济源地区更趋近于大型盆地的沉降中心。

1.2 临清—东濮地区

临清拗陷的中、下三叠统分布在腰站断层以西地区,呈北东向展布,面积达16 000 km²^[5],钻井证实的最大残存厚度为1 792.5 m(丘4井)。

与沁水盆地榆社县红崖头和和尚沟组、交城县裴家山刘家沟组等剖面相比,临清地区中、下三叠统岩性变细。如沁水地区刘家沟组剖面岩性主要为灰紫色中厚层细粒长石砂岩夹紫红色粉砂岩、粉砂质泥岩,砂岩含量占地层厚度比例大于50%,并有砾岩透镜体^[6];而临清地区为棕红色泥岩与棕色粉砂岩近等厚互层,反映临清地区距离物源区更远。沁水地区中、下三叠统累计厚度1 611.7 m,临清地区地震解释厚度超过2 400 m。

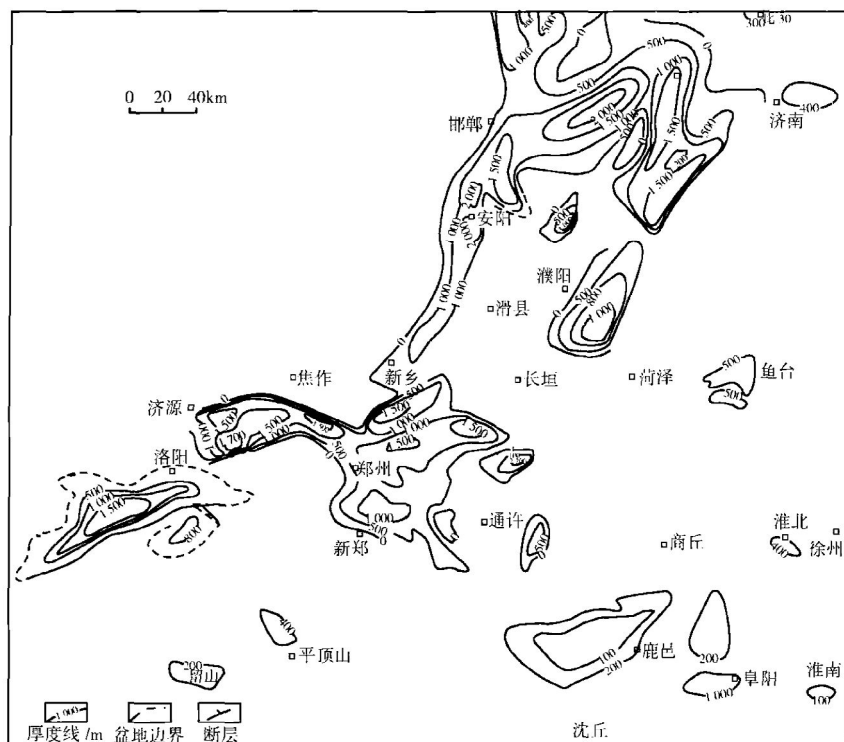


图1 华北中南部中、下三叠统残余厚度图

Fig.1 Residual thickness of Middle and Lower Triassic in south-central part of North China

1.3 南华北地区

南华北地区的中、下三叠统主要分布在扶沟-淮阳断裂以西地区。南10井钻井揭露中、下三叠统刘家沟组-油房庄组(不全)厚2 083 m。与济源地区相比,太康-周口地区中、下三叠统剖面韵律结构更频繁,砂质变细变少。

1.4 两淮地区

扶沟-淮阳断裂以东的两淮地区中、下三叠统分布极其有限,主要为与二叠系石千峰组邻接的刘家沟组,少量和尚沟组。黄口凹陷丰参1井二叠系上部钻遇厚—巨厚层紫色泥岩,夹含泥质砂岩,厚623 m,通称石千峰群。根据区域对比,应含刘家沟组。安徽省区调队与煤炭部147队将淮南、淮北小区的石千峰群划分为3个组,下部的石千峰组归上二叠统,其上的刘家沟组、和尚沟组隶属三叠统。淮南小区三叠系下统发育较全,刘家沟组为一套紫红色细粒长石石英砂岩、粉砂岩,夹紫红色薄层砂质泥岩和层间砾岩,厚度大于323 m。和尚沟组以褐紫、紫红色泥岩、砂质泥岩为主,夹粉砂岩或含砾细粉砂岩^[7]。

与周口凹陷倪丘集地区的中、下三叠统相比,

两淮地区的刘家沟组含砂量增加,并有层间砾岩出现,说明其南部可能有小型物源。但从岩性和沉积构造看,仍为非边缘相沉积。

1.5 济阳地区

济阳坳陷目前尚未揭示有三叠系,但在惠民凹陷临南地区存在与临清东部三叠系特征相似的地震反射波组^[8]。济阳坳陷北部埕宁隆起庄30井揭露下三叠统343.5 m,南部章丘(442.6 m)、周村(227.5 m)、淄博大昆仑地区(280 m)、博山(197.5 m)也不连片分布有紫红色砂岩夹泥岩、泥质粉砂岩的下三叠统^[9]。

以上岩性和地层厚度的变化关系表明,鄂尔多斯地区与华北盆地东部中、下三叠统具有相同的沉积背景和岩性、岩相渐变关系。特别是刘家沟组的交错层理砂岩在济源、章丘和淮南地区表现出了高度的相似性,极易辨认。在很大范围内,中、下三叠统岩性表现出了较高程度的稳定性、相似的韵律性和可追踪的变化方向性,说明早、中三叠世盆地继承了晚二叠世盆地的构造特征,仍存在着地层北西薄、南东厚和岩性北西粗、南东细的总体变化规律。沉积沉降中心位于现渤海湾盆地南部的临清-东濮

和南华北的太康-两淮地区,物源来自北部伊盟-燕山隆褶带。淮南地区刘家沟组出现的层间砾岩和章丘-淄博地区刘家沟组砂岩比例增加,说明彼时还存在南部和东部局部小物源。

2 原型盆地恢复

2.1 盆地的边界条件

华北板块北缘的伊盟-燕山地区,受西伯利亚-华北板块间碰撞挤压作用的影响,从古生代晚期一早三叠世,发生强烈的构造变形和岩浆活动。大规模的褶皱推覆作用,不同温、压条件下的韧性剪切作用,变质作用及岩浆活动,不但促进了华北板块的向南掀斜,同时也形成华北盆地的最大物源,控制了盆地大部分地区的构造-沉积活动。

早、中三叠世,华北板块南缘相对平静,在华北板块与扬子板块间为狭窄的秦岭海槽,其中散落着一些孤立的岛弧。两淮及阜阳-倪丘集地区巨厚的中、下三叠统沉积,除了华北板块南东方向的掀斜作用外,还与秦岭海槽的裂陷下沉活动有关。

2.2 中、下三叠统原始厚度

印支期以来,华北盆地构造活动加剧,中、下三叠统经历了复杂的埋藏-剥蚀历史,恢复早、中三叠世的古盆地是一项繁重而复杂的工作。好在早、中三叠世克拉通盆地沉积差异不大,各地区间存在渐变关系,鄂尔多斯地区、济源凹陷、临清坳陷丘县凹陷等地区中、下三叠统保存较完整。前人也曾作过较多工作^[10,11],使中、下三叠统厚度的恢复可行并取得可信的成果。

本次工作主要使用镜质体反射率法(R_o)、声波时差法和磷灰石裂变径迹法,首先恢复印支期剥蚀间断面以上地层剥蚀厚度,然后计算出中、下三叠统原始厚度。具体地区使用哪种方法更加有效,则依井点或样品点的地质情况而定。

2.2.1 镜质体反射率(R_o)法

华北板块在持续沉降的稳定时期,广泛沉积了晚古生代含煤地层和中、下三叠统。含煤地层在此期间经受了深成变质作用,变质程度的高低,取决于上覆地层厚度, R_o 是当时的地质记录。

D^2 煤层位于山西组下部,登封、禹州、偃龙等地称作二₁煤,焦作、鹤壁、陕浃等地称大煤,淮北称10,11号煤,淄博称3号煤。该煤层具有区域分布稳定性^[12],其 R_o 分析资料较多,能提供地史分析的有力证据。若地史分析证明,某地 D^2 煤未经

受中新界叠加深成变质作用和异常古地温(火成岩等)影响,即可利用测定的 R_o 值,估算 D^2 煤层在中三叠世末的埋藏深度。其方法是利用 D^2 煤层 R_o 值及著名的B. S. Cooper图版^[12],求出样品在中三叠世末经受的最高古地温。古地表温度取20℃,古地温梯度取各地各种方法求出的古地温梯度平均值29℃/km(平顶山13矿岩石热导率实验求出古地温梯度为29~30.30℃/km;淮南为25~30℃/km;濮阳地区磷灰石裂变径迹法求出古地温梯度28~30℃/km),计算出中三叠世末 D^2 煤层埋藏深度,该埋藏深度减去该地区二叠系厚度即为中、下三叠统恢复厚度(表1)。

由图2可看出深度3 000以上, R_o 值保持不变,反映为中三叠世末的古变质。深度超过3 000 m以后, R_o 值随埋深变大而增大,反映为新生界沉积后的二次变质^[13]。3 000~3 300 m代表了石炭-二叠纪煤系在三叠纪末的古埋深,若减去煤系以上约800 m的二叠系平均厚度,则中、下三叠统厚度应为2 200~2 500 m。

凡地史研究证明早、中三叠世以后长期隆起区或后期沉积厚度小于中、下三叠统剥蚀厚度的地区,石炭-二叠纪煤层的 R_o 值由北向南、由西向东规律性地由小变大,并以早、中三叠世盆地沉降中心为中心呈环带状分布。褐煤-长焰煤(R_o 小于0.6%)分布在大同-呼和浩特以北地区;长焰煤-气煤(R_o 为0.6%~0.8%)分布在石家庄-大同以北和鲁西南地区;其他地区则主要为气、肥煤(少量焦煤)。石炭-二叠系煤种的分布规律,与中、下三叠统厚度分布具一致性。

2.2.2 声波时差法

声波时差法计算剥蚀量是恢复剥蚀厚度常用的

表1 部分地区中、下三叠统恢复厚度统计表

Table 1 Statistics of the reconstructed thickness of Middle-Lower Triassic in some areas

地区	煤层	今埋深/m	R_o /%	古地温/℃	古埋深/m	T_{1+2} 厚度/m
淮北	7 ₂	555	0.83	107	2 900	2 400
	8 ₂	668	0.85	110	3 000	2 500
	10	636	0.86	115	3 167	2 500
淮南	13-1	761	0.84	110	3 000	2 600
	11-2	633	0.81	105	2 833	2 450
	8	579	0.91	120	3 333	2 650
徐州 肥城 兖州 新汶	D^2		0.84	110	3 000	2 400
			0.77	79	1 966	1 366
			0.66	65	1 500	1 000
			0.78	80	2 000	1 400

注:空格为资料不详

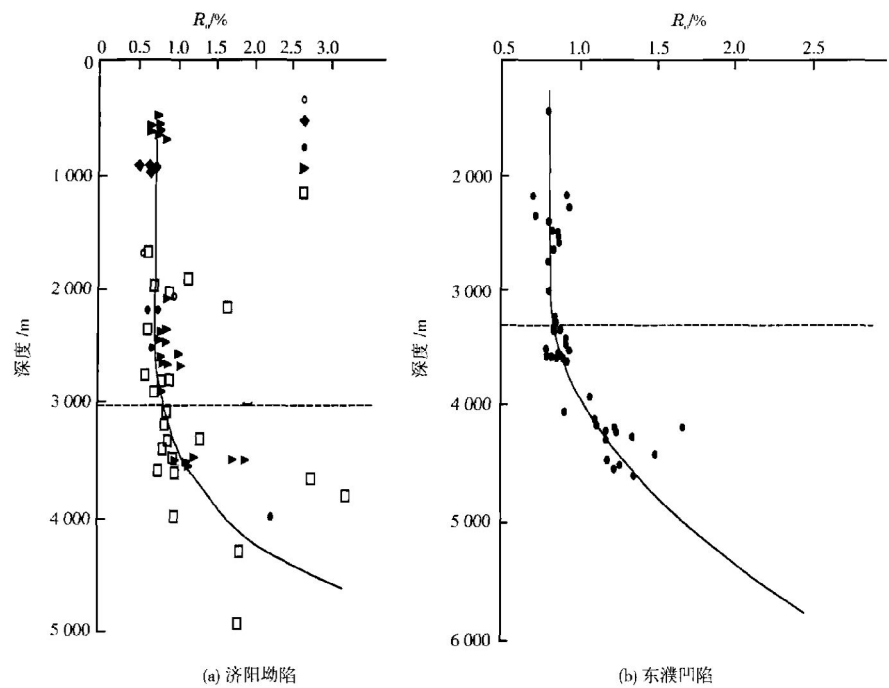


图 2 石炭—二叠系镜质体反射率与现今埋深关系图
Fig. 2 R_o vs. current buried depth for C-P

方法^[14],依此可进一步恢复中、下三叠统厚度(图 3)。

应用声波时差法恢复剥蚀厚度应特别重视选取代表性井的工作。由于印支运动后,多数地区又分别经历了燕山和喜山运动期间的多次沉积埋藏和隆升剥蚀,侵蚀间断面不止一个,选井时应尽量选取后期构造运动对海西运动末期古变质程度影响较小、石炭—二叠系和中、下三叠统残存厚度相对较大的井。各地区代表性井的中、下三叠统厚度计算结果如表 2。

2.2.3 磷灰石裂变径迹法

通过测试和分析磷灰石裂变径迹退火性与受热时间、受热温度之间的关系恢复古地温,进而计算矿物所在地层的最大埋藏深度。该方法主要适用于受热史简单,即仅经历过一次主受热史事件的地带^[15~17]。代表井的中、下三叠统原始厚度如表 3。

2.3 原型盆地

依据上述方法结合鄂尔多斯、沁水盆地和渤

海湾盆地北部的资料,编制了华北盆地早、中三叠世沉积厚度与岩性分区图(图 4)。

从图 4 的地层厚度及石千峰组到二马营组砂岩组成的演变特点分析,从晚二叠世到中三叠世华北盆地性质、范围、构造活动性以及物源区的分布均未发生大的变化。

表 2 声波时差法恢复中、下三叠统(T_{1+2})原始厚度表
Table 2 The original thickness of Middle-Lower Triassic (T_{1+2}) reconstructed with interval transit time method

地区	井号	T_{1+2} 原始厚度/m	地区	井号	T_{1+2} 原始厚度/m
东濮	濮深 1	1 809.5	临清	馆古 2	2 250.0
	庆古 1	2 674.0		堂古 1	2 190.0
	大古 22	2 076.9		巨参 1	2 110.0
	曲古 2	1 960.0		元参 1	2 500.0
	罗 22	1 792.0	南华北	南 6	2 435.0
济阳	虎 10	2 234.0		南 11	2 221.0
	判参 1	1 856.0		南 14	1 703.0
	义东 15	2 057.0		南 16	2 389.0
	白古 1	2 350.0			

表 3 磷灰石裂变径迹法恢复中、下三叠统(T_{1+2})原始厚度表

Table 3 The original thickness of Middle-Lower Triassic (T_{1+2}) reconstructed with apatite fission track method

地区及井号	济阳				东濮				临清
	纯古 1	大古 82	济古 1	乐特 1	文古 1	文古 2	明古 1	庆古 2	康古 1
T_{1+2} 原始厚度/m	1 593	2 075.9	1 681	1 471	2 580	2 380	2 505	2 526	2 437

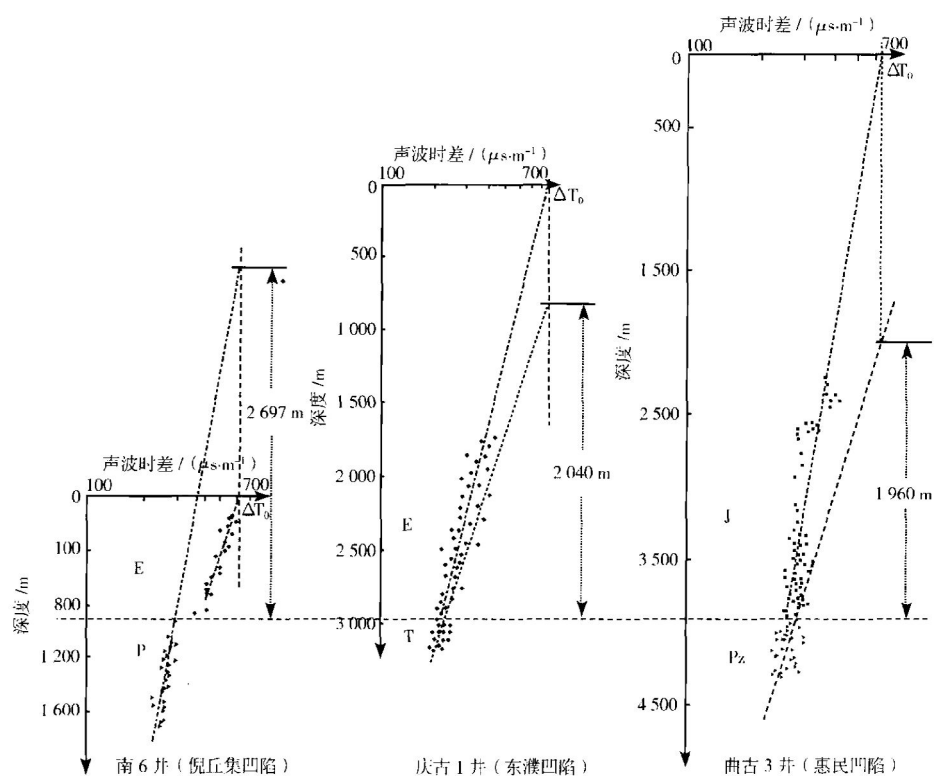


图3 声波时差法求剥蚀厚度图

Fig.3 Denudated thickness calculated by using interval transit time method

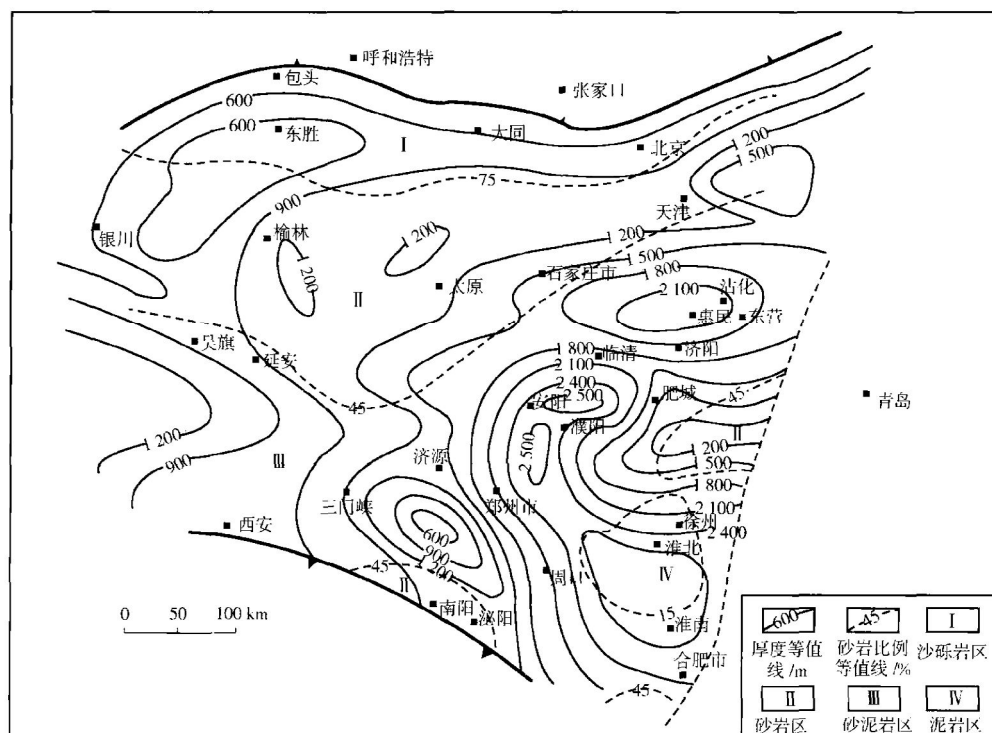


图4 华北盆地中、下三叠统沉积厚度图

Fig.4 Sedimentation thickness of Middle and Lower Triassic in North China Basin

早、中三叠世基本继承了二叠纪的构造格局和沉积特点,为连续沉积。其古构造面貌为北部高,南部低,西部高,东部低,以近东西向构造为主。与二叠纪时期相同,鲁西地区仍为大型低隆起,围绕鲁西隆起发育济阳、临清、东濮沉积凹陷,隆起区中、下三叠统厚度1 000~1 500 m,坳陷区厚度大于2 000 m。大型盆地的坳陷中心位于南部,西南缘为受秦祁海槽影响的平凉坳陷,中、下三叠统厚度超过1 200 m;东南缘是受大别海槽影响形成的淮阳坳陷,中、下三叠统厚度达2 600 m,为滨扬子海环境。古地势存在向东和东南倾斜的古斜坡。嵩山地区可能为另一个水下隆起,其南北两侧均发现刘家沟期的风暴沉积。嵩山隆起之南刘家沟组金斗砂岩沿滎池-洛阳-禹县一线平行伏牛古陆呈北西向展布。近东西向的中条和近北西向的伏牛古陆为南部陆源区。

与二叠纪晚期的沉积盆地相比,早、中三叠世沉积速率明显加快,达141 m/Ma,沉积岩性也变复杂,反映湖盆与周边剥蚀区地貌反差加大,物源增多,是大地构造环境“活化”的反映。

晚三叠世发生的印支运动使克拉通盆地解体。克拉通盆地内褶皱、断裂活动,由东向西逐渐减弱,出现大河西去的古地理景观。沿郯庐断裂西侧和太行山以东出现碰撞山脉和剥蚀高地,地层剥蚀也显现了东部强(中、下三叠统保存少)、西部弱(中、下三叠统分布面积大)的局面。

3 对古生界烃源岩的影响

恢复中、下三叠统厚度的意义在于研究它对

古生界生烃的影响程度。随着中、下三叠统的覆盖,古生界烃源岩埋深加大,并开始生烃。至中三叠世末,下古生界马家沟组顶面埋深达3 080~3 690 m,山西组D²煤层埋深达2 600~3 532 m。若按29℃/km的古地温梯度和20℃的地表温度取值,则下古生界上马家沟组顶面及山西组D²煤层在中三叠世末的古地温分别达112.4~130.7℃和98~126℃;再依地层温度与 R_o 对应关系^[12],估算出下古生界上马家沟组顶部在中三叠世末时,热演化程度 R_o 为0.85%~1.10%,上古生界山西组D²煤层的热演化程度 R_o 为0.8%~0.85%(表4)。由于腐殖煤生烃高峰(R_o 为1.5%~2.5%)比I-II₁型干酪根生烃高峰(R_o 为0.8%~1.0%)滞后得多(图5),所以,在中三叠世末,下古生界以海相有机质为主的烃源岩已过了生油高峰,有机

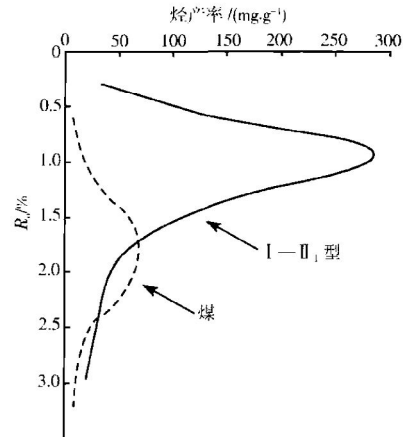


图5 不同生油母质烃产率曲线

Fig 5 Hydrocarbon incidence factors of various kerogens

表4 华北盆地中南部古生界中三叠世末埋藏深度与演化程度表

Table 4 Buried depths and evolution levels of Palaeozoic at the end of Middle Triassic in south-central part of North China basin

地区	山西组 D ² 煤			上马家沟组顶		
	埋藏深度/m	地层温度/℃	热演化程度(R_o)/%	埋藏深度/m	地层温度/℃	热演化程度(R_o)/%
济阳	2 600	98	0.80	3 080	112.4	0.85
临清	3 300	119	0.83	3 450	123.5	0.88
东濮	3 500	125	0.85	3 680	130.4	1.00
太康	3 500	125	0.85	3 700	131.0	1.00
周口	3 300	119	0.83	3 500	125.0	0.90
倪丘集	3 532	126	0.85	3 730	132.0	1.10
淮北	3 300	119	0.83	3 500	125.0	0.90
淮南	3 500	125	0.85	3 700	131.0	1.10

表5 华北盆地中南部下古生界马家沟组现今 R_o 值表

Table 5 Recent R_o values of Lower Palaeozoic Majiagou Fm in south-central part of North China basin

地区	济阳坳陷	临清坳陷	东濮凹陷	济源—洛阳	周口坳陷	鱼台—黄口
R_o /%	1.2~2.8	1.3~2.6	1.2~5.0	2.5~6.5	1.5~3.5	1.3~2.0

质的80%已完成向石油的转化,本来不甚丰富的有机质更是消耗殆尽;而上古生界煤系烃源岩Ⅲ型干酪根(煤)的生烃转化尚处于早期阶段,保留有较大的生烃潜力。

表5为华北盆地中南部下古生界主要烃源岩马家沟组不同层段的 R_o 实测值,其最低值已达1.2%,一般在1.5%以上。下古生界烃源岩的区域性高变质是由地质历史中的深埋藏造成的,其中以中、下三叠统的沉积影响最大,最为深刻。

参 考 文 献

- 1 王鸿祯.中国古地理图集[M].北京:地图出版社,1985
Wang Hongzhen. Atlas of the palaeogeography of China[M]. Beijing: Cartographic Publishing House, 1985
- 2 杨森南,杨巍然.中国区域大地构造背景[M].北京:地质出版社,1985.73~85
Yang Shennan, Yang Weiran. Regional geotectonic setting of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.73~85
- 3 王同和,王喜双.华北克拉通构造演化与油气聚集[M].北京:石油工业出版社,1999.85~88
Wang Tonghe, Wang Xishuang. Tectonic Evolution and hydrocarbon gathering of North China craton[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1999.85~88
- 4 河南省地质矿产局.河南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.215~234
Bureau of Geology and Mineral Resources of Henan Province. Regional geology of Henan Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.215~234
- 5 何自新.鄂尔多斯盆地演化与油气[M].北京:石油工业出版社,2003.88~90
He Zixin. Evolution and petroleum of Ordos basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.88~90
- 6 山西省地质矿产局.山西省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.187~203
Bureau of Geology and Mineral Resources of Shanxi Province. Regional geology of Shanxi Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.187~203
- 7 安徽省地质矿产局.安徽省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.140~141
Bureau of Geology and Mineral Resources of Anhui Province. Regional geology of Anhui Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.140~141
- 8 宋国奇,徐春华,王世虎,等.胜利油田古生界地质特征及油气潜力[M].武汉:中国地质大学出版社,2000.52~65
Song Guoqi, Xu Chunhua, Wang Shihu, et al. The geological characteristics and petroleum potential of Paleozoic in Shengli oil field[M]. Wuhan: Press of China University of Geosciences, 2000.52~65
- 9 山东省地质矿产局.山东省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.154~156
Bureau of Geology and Mineral Resources of Shandong Province. Regional geology of Shandong Province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989.154~156
- 10 朱炎铭,秦勇,范丙恒,等.渤海湾盆地三叠系沉积厚度恢复及其意义[J].中国矿业大学学报,2001,30(2):195~198
Zhu Yanming, Qin Yong, Fan Bingheng, et al. Restoration and significance of the original thickness of Triassic system in Baohai Bay basin[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2001, 30(2):195~198
- 11 吴智平,金强,周瑶琪.声波时差用于沉积间断及剥蚀厚度研究的新探讨[J].石油实验地质,1999,21(增刊):90~95
Wu Zhiping, Jin Qiang, Zhou Yaoqi. A new approach to acoustic moveout applied in the study of depositional breaks and denudation thickness[J]. Experimental Petroleum Geology, 1999, 21(S0):90~95
- 12 尚冠雄.华北地台晚古生代煤地质学研究[M].太原:山西科学技术出版社,1997.250~254
Shang Guanxiong. Late Paleozoic coal geology of North China platform[M]. Taiyuan: Shanxi Science and Technology Press, 1997.250~254
- 13 许化政,周新科.文留地区石炭—二叠纪煤系生烃史及生烃潜力[J].石油与天然气地质,2004,25(4):400~407
Xu Huazheng, Zhou Xinke. Hydrocarbon-generation potential and history of Carboniferous-Permian coal measure strata in Wenliu area[J]. Oil & Gas Geology, 2004, 25(4):400~407
- 14 刘福宁.异常高压区的古沉积厚度和古地层压力恢复方法探讨[J].石油与天然气地质,1994,15(2):180~185
Liu Funing. An approach to reconstruction of Paleo-sedimentary thickness and Paleo-formation pressure in abnormal high pressure region[J]. Oil & Gas Geology, 1994, 15(2):180~185
- 15 周礼成,冯石,王世成,等.用裂变径迹长度分布模拟地层剥蚀量和热史[J].石油学报,1994,15(3):26~34
Zhou Licheng, Feng Shi, Wang Shicheng, et al. Strata erosion amount and geothermal history modeling by an analysis of apatite fission track length distribution[J]. Acta Petrolei Sinica, 1994, 15(3):26~34
- 16 郭随平,施小斌.胜利油田东营凹陷热史分析——磷灰石裂变径迹证据[J].石油与天然气地质,1996,17(1):32~36
Guo Suiping, Shi Xiaobin. Thermal history analysis of Dongying depression, Shengli oil region: evidence of apatite fission track[J]. Oil & Gas Geology, 1996, 17(1):32~36
- 17 潘长春,周中毅,王庆隆.利用磷灰石裂变径迹研究准噶尔盆地生油层热史[J].石油与天然气地质,1989,10(1):35~39
Pan Changchun, Zhou Zhongyi, Wang Qinglong. Study of thermal history of source beds in Junggar basin by apatite fission-track[J]. Oil & Gas Geology, 1989, 10(1):35~39

(编辑:李树森)