

# 渭河盆地结构特征及演化研究

刘林<sup>1,2,3</sup>, 芮会超<sup>4</sup>

(1. 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083;

2. 陕西地矿集团有限公司, 陕西 西安 710054;

3. 陕西省矿产资源勘查与综合利用重点实验室, 陕西 西安 710054;

4. 长安大学地球科学与资源学院, 陕西 西安 710064)

**摘要:** 渭河盆地是位于秦岭造山带和鄂尔多斯盆地之间的断陷盆地。渭河盆地的形成时间以及基底构成目前仍存在着争议。近几年来, 对于渭河盆地天然气类型、形成机制、成藏条件、资源潜力以及盆地结构构造等方面的研究取得了很大进展, 为解决以上争议提供了进一步的资料。根据盆地的钻探资料和物化探新成果, 发现渭河盆地是由固市凹陷、西安凹陷、泾河鼻隆、宝鸡凸起、骊山凸起、咸阳斜坡带和富平—蒲城斜坡带组成, 并具有新生代、中生代—古生代复式盖层和两盆—鼻—两凸—两斜坡镶嵌复合结构特征; 渭河盆地新生代之下的中生代—古生代盖层为: 西部宝鸡凸起为古生界地层, 中部西安凹陷和咸阳斜坡带为中生代地层, 东北部富平—蒲城斜坡带基底为奥陶系地层, 东南部固市凹陷基底为晚古生代地层; 渭河盆地与鄂尔多斯盆地具有相同的基底和相似的盖层; 太要断裂(约1800 Ma)形成, 为渭河盆地形成奠定了构造基础, 奥陶世马家沟末加里东运动及渭北隆起南缘同生逆冲断裂形成, 标志着渭河盆地独立演化的开始, 主沉降期为中生代—新生代; 结合已有研究, 给出了渭河盆地的基底模型和渭河盆地的演化模式。

**关键词:** 渭河盆地; 鄂尔多斯盆地; 渭北隆起; 构造背景; 演化

中图分类号: P618.13

文献标识码: A

## EXPLORATION ON STRUCTURAL CHARACTERISTICS OF THE WEIHE BASIN AND ITS EVOLUTION

LIU Lin<sup>1,2,3</sup>, RUI Huichao<sup>4</sup>

(1. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. Shaanxi Geological & Mineral Survey Group Co. Ltd, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

3. Key Laboratory of exploration and comprehensive utilization of mineral resources, Xi'an 710054, Shaanxi, China;

4. School of Earth Science and Resources, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

**Abstract:** The Weihe basin is the graben basin located between the Qinling orogenic belt and the Ordos basin, and there are some controversies about the formation time and basement constitutions of the Weihe basin. In recent years, natural gas types, formation mechanism, accumulation condition, resources potentiality and basin structure in the Weihe basin have been well studied, which provides considerable evidences to resolve the controversies mentioned above. According to the drilling data and the new results of geophysical and geochemical prospecting in the Weihe basin, we found that the Weihe basin covered

by Cenozoic, Mesozoic-Palaeozoic complex cap rocks, and composed of two depressions, one nose structure, two bulges and two slope belts, which respectively are Gucheng depression, Xi'an depression, Jinghe nose structural, Baoji bulge, Lishan bulge, Xianyang slope belt and Fuping-Pucheng slope belt. Baoji bulge in the west, Xi'an depression and Xianyang slope belt in the central section are covered by Paleozoic strata and Mesozoic strata, respectively. The basement of Fuping-Pucheng slope belt in the northeast and Gucheng depression in the northwest are composed of Ordovician strata and Paleozoic strata, respectively. The Weihe basin and the Ordos basin display similar basement and overlying strata. The formation of Taiyao fault (ca. 1800 Ma) provides the structural condition, and the formation of syngenetic thrust faults in Weibei uplift during Caledonian movement at the end of the Ordovician marks the beginning of independent evolution of the Weihe basin. After that, Mesozoic and Cenozoic are the main sedimentation period of the basin. Combined with previous studies, basement model and evolution model of the Weihe basin are built in this article.

**Key words:** the Weihe basin; the Ordos basin; Weibei uplift; tectonic setting; evolution

## 0 引言

鄂尔多斯盆地是中国重要的能源基地,孕育着丰富的矿产资源,作为位于鄂尔多斯盆地南缘,与鄂尔多斯盆地具有类似的沉积特点和油气地质特征<sup>[1]</sup>的渭河盆地,人们早就认识到其巨大的资源潜力,但受限于当时的工作手段、设备精度,以及渭河盆地巨厚新生界地层的影响,人们对盆地形成时间和盆地基底构成一直存在着争议。其一是渭河盆地形成于渐新世,其基底划分成三个:盆地北半部下古生界分布区,盆地南半部前震旦纪各类片岩和花岗岩分布区,盆地东南部太古宇花岗片麻岩及其它变质岩分布区<sup>[2]</sup>。其二是渭河盆地形成于新生代,其基底划分成四个:盆地中部、北部上古生界分布区,盆地南部祁连造山带基底分布区,盆地东南部太古界及侵入岩体分布区,盆地西部元古界基底分布区<sup>[3]</sup>。其三是渭河盆地形成于新生代,其基底划分成三个:盆地北部下古生界碳酸岩层分布区;西南部元古界变质岩分布区;东南部太古界变质岩分布区<sup>[4]</sup>。这也致使渭河盆地虽然油气勘探工作起步较早,近年来也发现了氦气资源,但油气和氦气勘探至今未取得突破,没有发现有效的烃源岩和氦源岩,勘探前景并不乐观。

近几年来,渭河盆地天然气类型、形成机制、成藏条件、资源潜力以及盆地结构构造等方面的研究取得了很大进展。结合以上科研成果,对渭河盆地的结构进行研究,给出其基底模型,研究

其演化历史,为渭河盆地油气等矿产资源勘查提供依据。

## 1 区域地质

渭河盆地,又称关中盆地、渭河地堑,位于陕西省中部,西起宝鸡,东至潼关,绵延近350 km,东宽(85 km)西窄(30 km),面积约 $2.0 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,平均海拔400 m。在大地构造位置上,位于秦岭造山带和鄂尔多斯盆地之间,北邻鄂尔多斯盆地渭北隆起,南抵北秦岭造山带,西连鄂尔多斯西南缘弧形构造带,东接山西隆起带<sup>[1]</sup>(见图1),总体东西向展布,构造位置特殊。断裂构造纵横交错,现已发现断裂数百条,控制盆地形成主要断裂有北山山前断裂、关山断裂、秦岭北麓山前断裂、长安—临潼断裂和骊山北侧山前断裂。盆地内揭露地层,由老至新,为始新统红河组、渐新统户县群、中新统高陵群、上新统永乐店群、下更新统三门组、全新统一中、上更新统秦川群<sup>[5]</sup>。

渭北隆起位于渭河盆地的北部,以北山断裂为界与渭河盆地毗邻,是鄂尔多斯盆地南部重要的能源矿产基地和构造单元,具有典型的鄂尔多斯盆地基底。地球物理、露头及钻井等资料证实其发育的地层有中上元古界、寒武系、奥陶系、石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系及下白垩统等,缺失地层为志留系以下石炭统及上白垩统,地层总体呈近东西—北东东向展布,由南向北,由东到西出露地层时代依次变新。除了下白垩统之外,

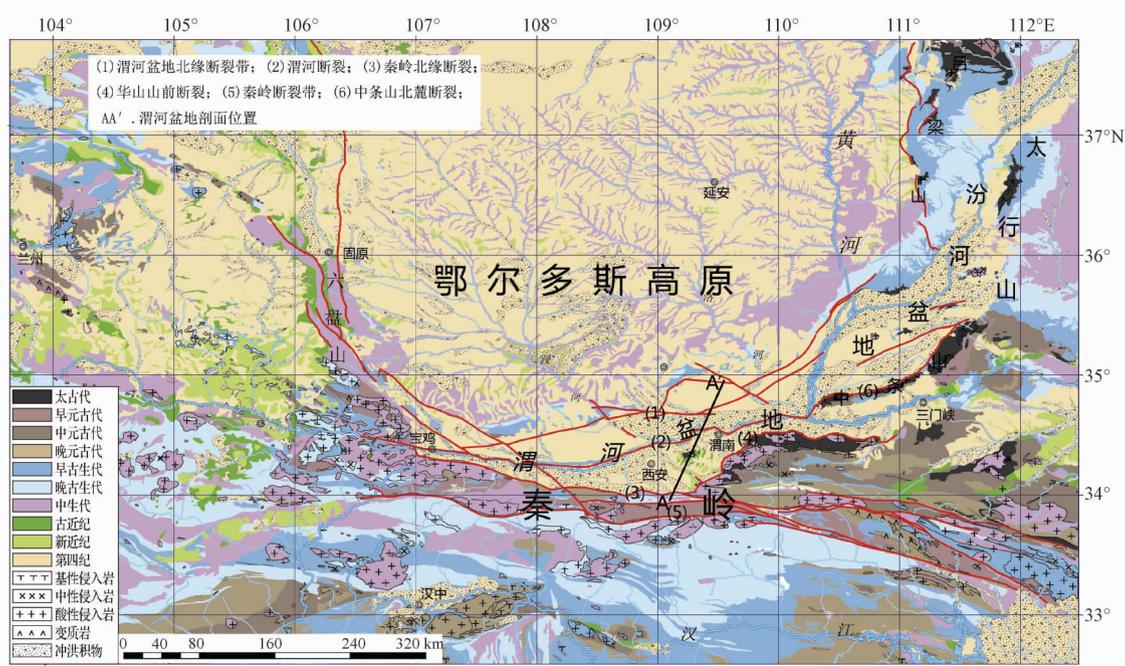
图1 渭河盆地区域地质图<sup>[4]</sup>

Fig. 1 Regional tectonic map of the Weihe basin

前白垩系各时代地层均无代表边缘相的粗碎屑沉积<sup>[6]</sup>，白垩纪残存边部主要以河湖相为主，说明研究区早白垩世末以来经历了明显的剥蚀改造，而现今残存边界原始沉积南界远在渭北隆起之南<sup>[7]</sup>。即原始沉积范围部分或全部包括渭河盆地。

北秦岭造山带位于盆地南部秦岭北麓山前断裂和商丹断裂之间，主要由深变质的秦岭岩群、宽坪岩群和残留的峡河岩群、松树沟岩群、丹凤岩群，浅变质的奥陶纪陶湾岩群、二郎坪岩群、泥盆系残留，以及弱变质或未变质的二叠纪石盒子组、白垩纪东河群、山阳组和新近纪红色砂泥质岩石组成<sup>[8]</sup>。传统的观点认为其是华北板块南缘的一部分，由于扬子板块与华北板块的碰撞，沿商丹缝合带卷入造山带之中。但是，近年来愈来愈多的地球化学研究却对这一认识提出了质疑<sup>[9]</sup>。

## 2 渭河盆地及渭北隆起的地层特征

渭河盆地有着巨厚的新生界沉积，地表被第四系所覆盖。截至目前，盆地内施工的钻探工程中已有十几个深孔，但都未穿透新生界地层。根据地热钻孔及物探资料初步分析，渭河盆地新生

代主要为河流相—湖泊相沉积，沉积厚度达6000~7000 m，岩性组合为砂岩—泥岩互层，表现为下粗上细的正旋回沉积特征，旋回上部湖相泥页岩为天然气、氦气等气体资源以及热水提供良好的盖层，下部河流相砂岩为天然气、氦气等气体资源以及热水提供良好的储层，多个沉积旋回在纵向上构成了良好盖储组合（见表1）。

盆地北部的渭北隆起中上元古界蓟县系以硅质灰岩、石英砂岩为主，仅出露于岐山县城东北一带。古生代和中生代地层总体呈近东西—北东东向展布，具有总体倾向北西的特点，是渭北隆起区热解气主要的气源岩。早古生代寒武—奥陶系为古秦岭洋北部边缘沉积，以海相碳酸盐为主，夹砂岩、粉砂岩、页岩，地层厚度自北向南逐渐增厚。晚古生代石炭—二叠系主要为海陆交互相沉积和陆内河湖相沉积，两者主体总体上呈平行不整合。其沉积物的颜色、组成、结构构造、沉积韵律特征以及接触关系，反映其经历了泄湖—潮坪、浅湖、三角洲、河流等沉积环境。中生代三叠系刘家沟组为一套以紫红砂岩、粉砂岩与棕红色砂质泥岩、泥岩为主的河流和海相沉积。与下伏二叠系整合接触。和尚沟组为一套以棕红色砂质泥岩夹紫灰色、紫色中厚层状细粒砂岩的湖泊相沉积。纸坊组为一套由河流相为主的紫色粉

表 1 渭河盆地沉积地层特征<sup>[10]</sup>

Table 1 Characteristics of sedimentary strata in the Weihe basin

界	系	统	组	岩性描述	厚度与分布特征	成藏要素
新生界	全新统—更新统			由风积层、洪积层和冲积层交互层构成, 岩性主要为黄土, 粉砂质粘土、河流冲积砂、砾石	分布在秦岭山前及渭河盆地, 沉降中心位于户县、西安和渭南固市, 厚度一般在 500 ~ 600 m 之间, 最大超过 1300 m, 河谷区一般大于 400 m, 黄土塬区一般小于 300 m	区域性盖层
		张家坡组	为一套以深色泥岩为主的浅—深湖相沉积。岩性为暗色、灰绿色、浅棕红色泥岩、砂质泥岩夹薄层灰色粉细砂岩不等厚互层		分布于渭河盆地, 沉积中心分别位于户县、渭南固市, 厚度一般在 700 ~ 800 m 之间, 在沉积中心最厚超过 1000 m	区域性盖层, 同时暗色泥岩是渭河盆地生物气源岩
		上新统	蓝田组	深红色粘土、钙质结核, 棕红色砂岩和砾岩, 泥质含量变化大	分布于西安、蓝田、渭南一带, 标准剖面在蓝田县灞河西岸九龙坡, 出露厚度为 64 m	
	新近系	上新统	灞河组	上部为黄棕色和灰绿色泥岩, 中部为紫褐色和黄棕色砂质泥岩与砂砾岩互层, 下部为浅紫褐色泥岩, 黄色砂岩, 为河湖相沉积	分布于渭河盆地东南部西安、蓝田一带, 埋深一般超过 500 m, 在秦岭山前一般埋深 200 ~ 400 m, 在西安凹陷埋深超过 2000 m	砂岩层是伴生天然气和地热储层。是目前地热井最主要的取水层段
			中新统	高陵群	为一套河、湖相沉积, 岩性主要为大段棕红色、棕紫色泥岩、砂质泥岩夹薄层灰色细砂岩	出露于秦岭山前骊山一带, 厚度几米到几百米不等, 在西安凹陷埋深最大, 埋深超过 3000 m
	古近系	渐新统	白鹿塬组	灰白色砂岩与紫色、棕褐色泥岩, 与含砾粗砂岩不等厚互层	出露于秦岭山前骊山和白鹿塬一带, 厚度变化大, 几米到几百米不等。在西安凹陷埋深约为 4000 m	砂岩层是伴生天然气和地热储层, 埋深较大, 是部分地热井的取水层段
		始新统	红河组	大套紫红色泥岩, 夹灰黄色和灰绿色砂岩、粉砂岩, 为一套河、湖相沉积	出露于秦岭山前骊山一带, 厚度约为 200 m, 在凹陷区埋深超过 4000 m	
	中生界	白垩系—侏罗系		砾岩、底砾岩, 细砂岩、粉砂岩、泥岩	出露于渭北隆起, 在渭河盆地地区主要分布在咸阳斜坡带,	志丹群、直罗组是铀矿成矿层位
		三叠系		含煤、油岩系、砂岩、泥页岩、泥灰岩、油页岩	出露于渭北隆起, 在渭河盆地地区主要分布在固市、西安凹陷基地, 埋深较大。	油型气的主要气源岩
	古生界	石炭系—二叠系		含煤岩系、泥岩、深色泥岩、砂岩、粉砂岩夹薄煤层	出露于渭北隆起, 在渭河盆地地区主要分布在渭河断裂以北盆地基地, 埋深一般超过 5000 m	热解气的主要气源岩
寒武系—奥陶系		碳酸盐岩、灰岩、白云岩、钙质泥岩、生物灰岩				
前寒武系变质岩			前寒武系变质岩包括元古界云母石英片岩、黑云母斜长片麻岩	前寒武系变质岩包括元古界宽坪群和太古界太华群, 前者分布在宝鸡、户县、蓝田一带, 后者分布在临潼骊山等地	牧户关岩体和蓝田岩体含一定量的放射性铀, 可以作为 He 气源岩	
燕山期花岗岩			燕山期花岗岩包括牧户关岩体和蓝田岩体等, 为二长花岗岩	牧户关岩体出露于蓝田到商县, 蓝田岩体位于蓝田县东南, 二者西段均被断层错断, 被新生界埋藏, 构成渭河盆地基底		

砂岩渐变为湖沼相为主的灰绿、黄绿色泥岩夹砂岩。延长组是一套以灰绿色、灰色中厚层砂岩和黑灰色泥页岩为主的河湖相碎屑岩建造, 总体具有东西薄中部厚, 南薄北厚的特点。侏罗系以河流相、河湖相为主, 岩性为中—粗粒长石砂岩。呈狭长带状分布, 在彬县—宁县一带厚度较大, 分布有众多铀矿点, 是鄂尔多斯盆地南缘重要的铀矿勘查区。下白垩系主要分布于渭北隆起西部, 为一套紫红色到杂色为主的砂岩、砾岩、粉砂岩、泥岩夹页岩、泥灰岩和少量凝灰质砂岩<sup>[7]</sup>, 其底部是具边缘相特征的宜君砾岩。

综上所述, 我们可以看到①除渭河盆地北邻渭北隆起揭示出的白垩系河湖相残存边缘外, 其

它各时代地层均没有见到边缘相沉积, 相反早古生代寒武—奥陶系地层向南逐渐增厚, 歧山、麟游一带的下三叠统下部为海相沉积, 说明渭北乃至渭河盆地经历了明显的剥蚀改造, 现今的渭北隆起并不是原始的沉积盆地边缘, 中生代的沉积边缘远在现今的渭北隆以南, 又由渭河盆地钻孔揭露的中生代地层特征可知, 渭河盆地内也未发现各时代地层的边缘相沉积, 因此推测沉积边缘应在秦岭北麓。②渭河盆地新生界自上而下发育有 3 ~ 4 套下粗上细的储盖组合。结合其他学者<sup>[11-13]</sup>对渭河盆地沉积相以及有机质的丰度、类型和成熟度的研究成果, 区域上以湖相泥页岩为主的张家坡组为代表, 连续性好, 分布面积广,

上部泥岩厚度大,经历了浅—深—浅湖的完整发展旋回。可认为渭河盆地具有有效的烃源层和良好的天然气、氦气等气体资源以及地热水区域性盖层。

### 3 渭河盆地结构构造特征

渭河盆地新生界沉积物巨厚,地表被第四系所覆盖。盆地内已施工的钻孔均为穿透盆地中部的中生界地层。因而,以往众多学者对盆地结构的研究,只能借助对比和小比例地球物理资料的解释。1989年《陕西省区域地质志》<sup>[14]</sup>将陕西地壳物性层分为5个圈层七个亚层。第一亚层:松散沉积层(包括第三系、第四系),密度 $1.67\text{ g/cm}^3$ ,磁化率很低,平均 $140 \times 10^{-6}$ 。第二亚层:未变质层,包括中朝准地台石炭—侏罗系;秦岭褶皱系侏罗—白垩系。密度 $2.50\text{ g/cm}^3$ ,磁化率很低,平均 $760 \times 10^{-6}$ 。第三亚层:沉积变质层包括秦岭震旦—三叠系及中朝准地台南缘高山河组—奥陶系,密度 $2.65\text{ g/cm}^3$ ,磁化率很低,平均 $2880 \times 10^{-6}$ 。

可见之前学者们将以上三层合称为沉积层,它们之间的物性界面清楚,从渭河盆地布格重力异常图和磁性基底等深度图(见图2、图3)可知,渭河盆地重力场的布格重力异常等值线近东西向展布,总体表现为由西向东的宝鸡、周至、渭南三层阶梯特点,反映基岩面西浅东深阶梯状起伏的特征。而富平—大荔一带南北梯度变化情况,反映深部为一北东向,向西南缓倾的斜坡,斜坡上显示的局部重力高或重力低,表示在东北向斜坡上叠加有近东西向起伏不大的隆凹构造。渭河盆地磁场的变化特征和重力场变化特征相似。异常均表现为强度低、宽缓,呈近东西向展布,具有一定的面形特征,反映基底不存在盆地周边出露的磁性体。南北异常梯度带的展布方向,基本反映基底隐伏断裂的展布方向和位置。这些为学者们认识渭河盆地的结构构造奠定了基础,但是这七层物性,以第二、三之间差别较大,而第一、二亚层差距不大,对有着巨厚的新生界沉积的渭河盆地,利用老资料区分第一、二亚层是比较困难的。随着近年来三普、长庆油田、西安地质研究所、中国地质调查局等单位在渭河盆地开展了大量物化探工作,取得了不少科研成果。尤其是长庆油田和西安地质调查中心的十余条物探剖面(见图4、图5),详细刻画了渭河盆地两盆

一鼻一凸两斜坡镶嵌复合的结构特征(见图6)。渭河盆地由固市凹陷、西安凹陷、泾河鼻隆、宝鸡凸起、骊山凸起、咸阳斜坡带和富平—蒲城斜坡带组成,固市凹陷位于渭河盆地泾河鼻隆带以东,是一个西浅东深、西窄东宽的簸箕状凹陷,东部深达 $10000\text{ m}$ 。西安凹陷,位于渭河盆地中南部,也是一个东深西浅、东宽西窄的簸箕状凹陷,东部深达 $8000\text{ m}$ 。泾河鼻隆是分割固市凹陷和西安凹陷次级凸起,宝鸡凸起是渭河盆地西部的凸起区,咸阳斜坡带和富平—蒲城斜坡带是渭北隆起的南缘残壁。

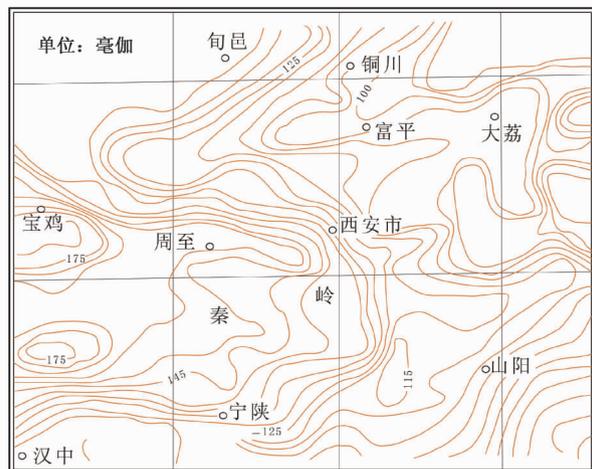


图2 渭河盆地布格重力异常图

Fig. 2 Bouguer gravity anomaly in the Weihe basin

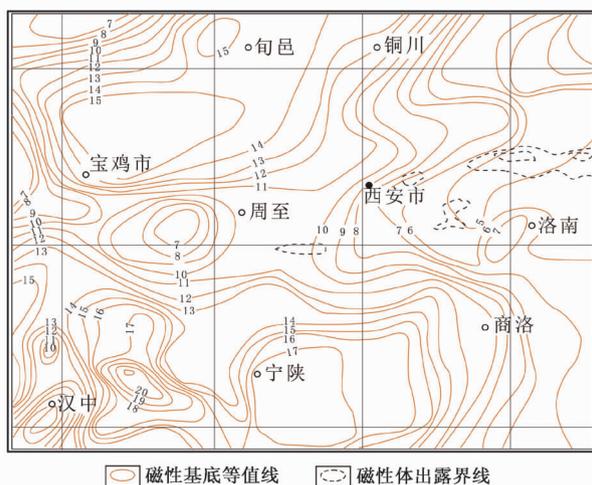


图3 渭河盆地磁性基底等深线图

Fig. 3 Depth contour map of magnetic basement in the Weihe basin

另外,由物探剖面(见图4、图5)可知,渭河盆地内沉积地层总体表现为向斜构造,向斜构

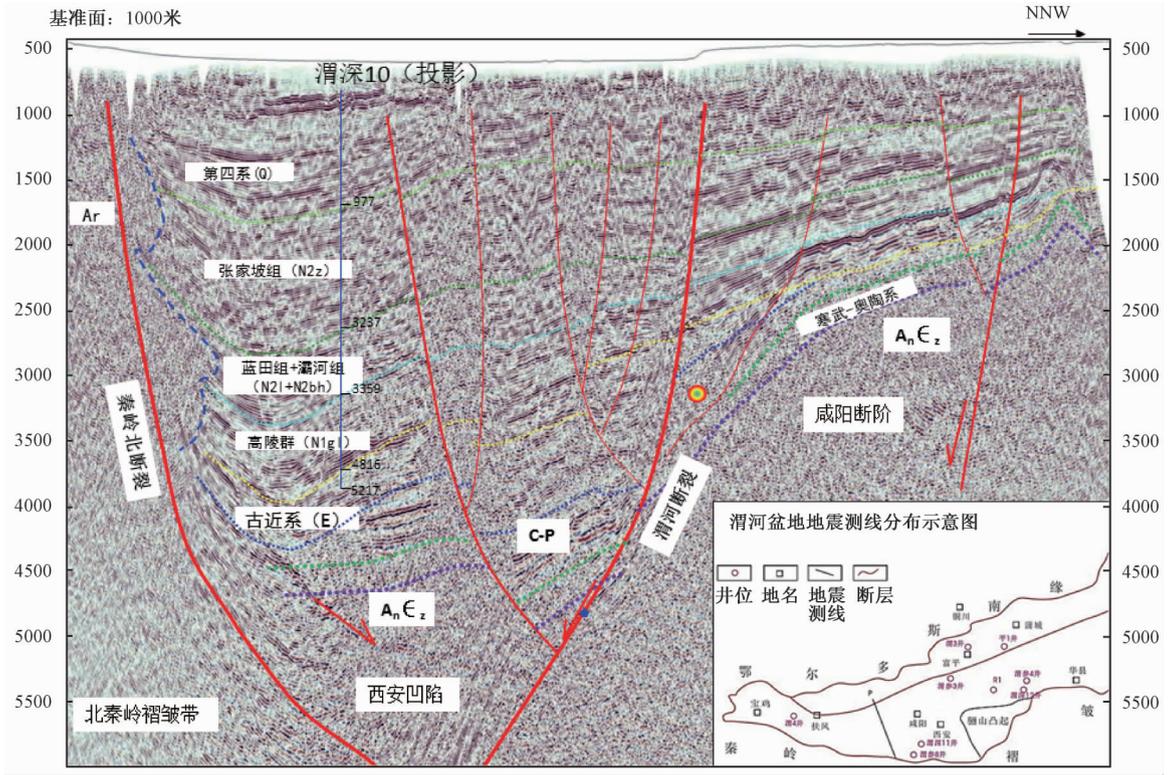


图 4 西安凹陷地震剖面解译图<sup>[15]</sup>

Fig. 4 Interpretation of seismic profiles of depressed base in Xi'an

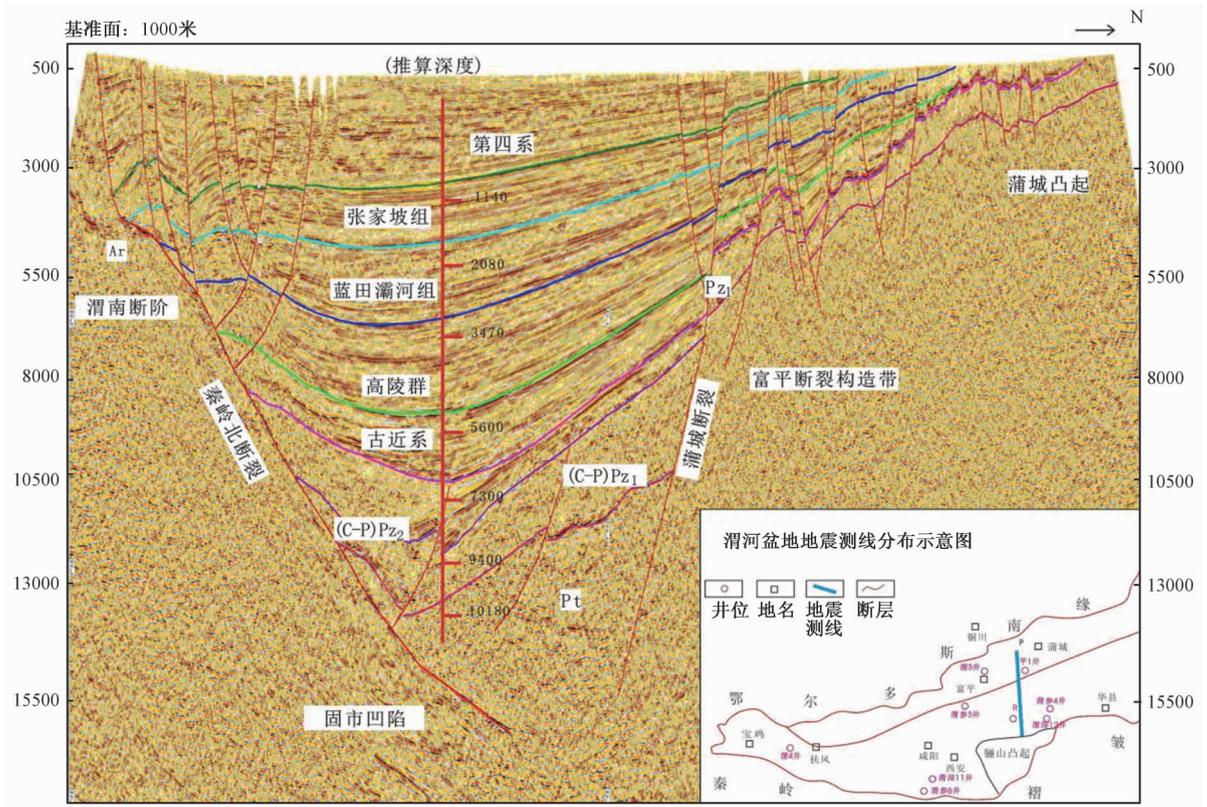


图 5 固市凹陷地震剖面解译图<sup>[15]</sup>

Fig. 5 Interpretation of seismic profiles of depressed base in Gu city

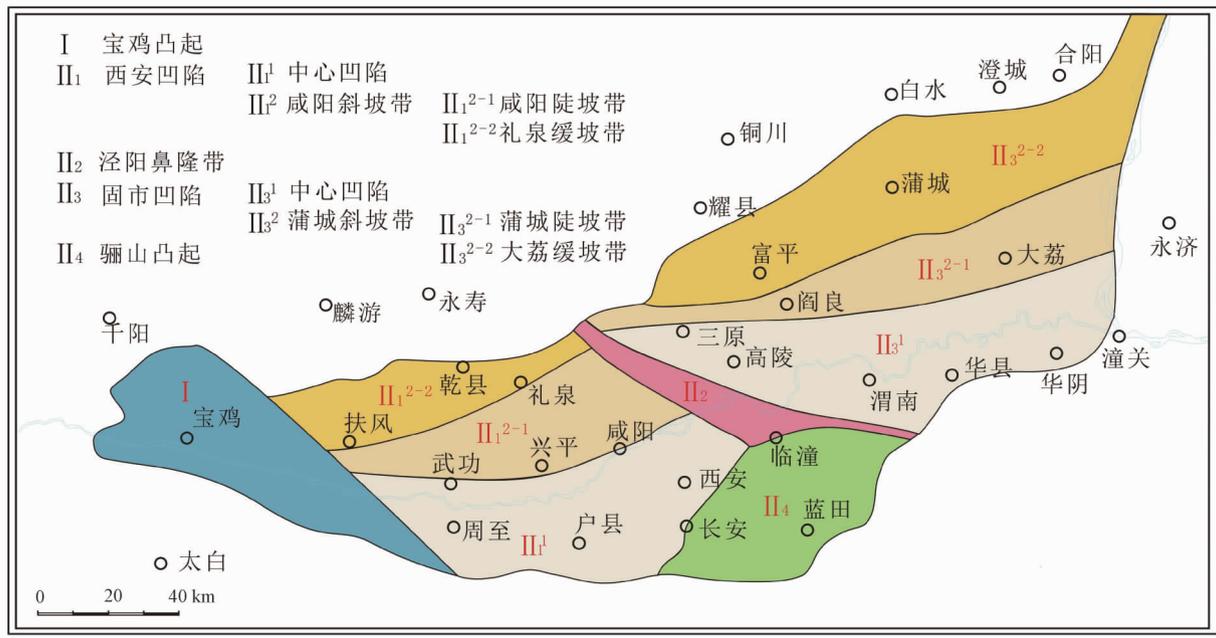


图6 渭河盆地构造单元图

Fig. 6 Tectonic units map in the Weihe basin

造两翼断裂主要表现为压型断裂构造特征, 且古近系地层以下仍有较多可分辨地层, 这即说明, 渭河盆地基底断裂发育, 类型多样, 盆地结构构造以大地堑镶嵌小地堑或梯状断阶为特征, 也说明

明固市凹陷、西安凹陷中心区存在石炭系—二叠系地层, 甚至暗示固市凹陷存在中生代三叠系以上的地层, 西安凹陷存在侏罗纪甚至白垩纪地层。又由渭河盆地高分辨率地震折射剖面 (见图7) 可

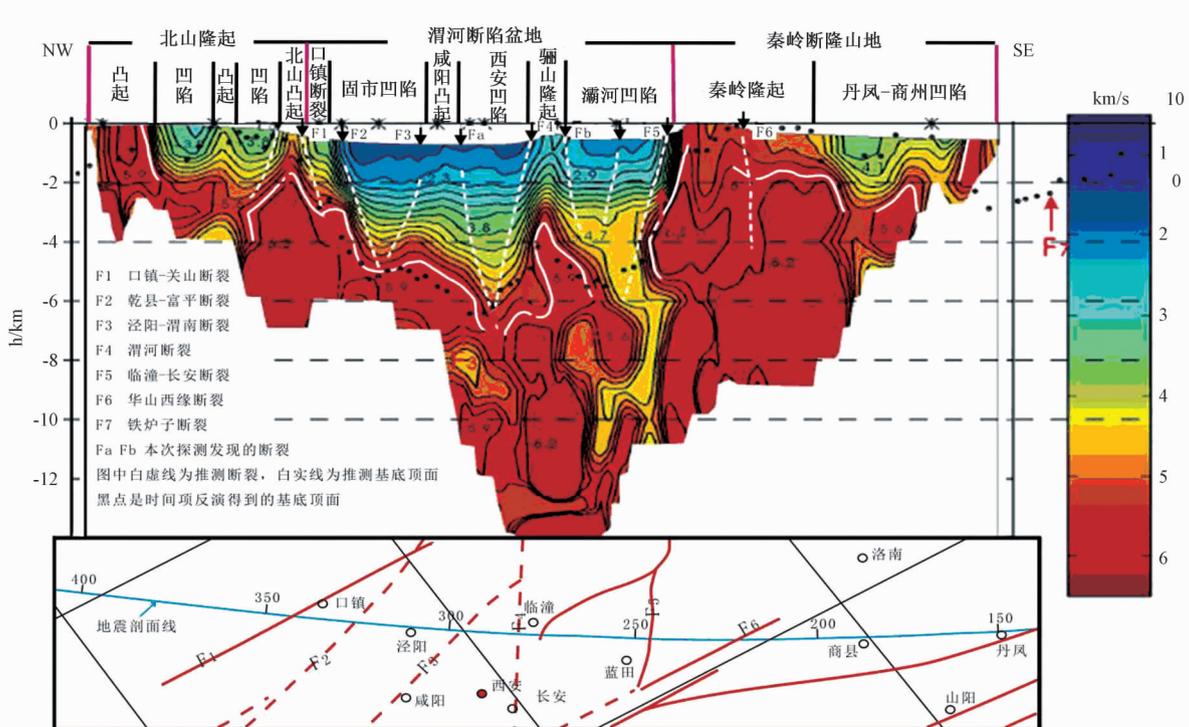
图7 渭河盆地结构和构造解译图<sup>[15]</sup>

Fig. 7 Interpretation of the structure and tectonics of the Weihe basin

知,渭河盆地新生界低速度层之下的中速度层(约4.0~5.0 km/s)和中速度层之下的高速带连续性均较好,中速度层延伸到渭北隆起南部古生界露头区<sup>[15]</sup>,而中速度层之下的高速带则延伸到渭北隆起北界之下。从区域对比上,这说明渭河盆地与鄂尔多斯盆地具有相同的基底和相似的盖层。且盖层的不同之处是鄂尔多斯盆地具有中生代—古生代盖层,而渭河盆地具有新生代和中生代—古生代复式盖层。综上所述,渭河盆地由固市凹陷、西安凹陷、泾河鼻隆、宝鸡凸起、骊山凸起、咸阳斜坡带和富平—蒲城斜坡带组成,具有新生代、中生代—古生代复式盖层和两盆一鼻两凸两斜坡镶嵌复合的结构特征。

#### 4 渭河盆地新生代之下的“基底”

90年代以前渭河盆地地热井一般也就1000~2500 m,因此学者们依据有限的地热孔,结合小比例的物化探资料,认为渭河盆地基底分四个区,盆地中部、北部下古生界分布区,盆地南部祁连造山带基底分布区,盆地东南部太古界及侵入岩体分布区,盆地西部元古界基底分布区<sup>[2]</sup>。近年来李玉宏<sup>[3]</sup>针对渭河盆地天然气、氦气地球化学特征进行研究,通过与鄂尔多斯盆地油气碳同位素特征对比,认为渭河盆地中存在上古生界地层,通过氦气氦源分析认为基底存在富铀花岗岩,并将盆地基底划分成四个区,盆地中部、北部上古生界分布区,盆地南部祁连造山带基底分布区,盆地东南部太古界及侵入岩体分布区和盆地西部元古界基底分布区。而王斌<sup>[4]</sup>等对渭河盆地新生代地层与沉积演化研究,认为渭河盆地基底划分成三个:盆地北部下古生界碳酸岩层分布区;西南部元古界变质岩分布区;东南部太古界变质岩分布区。经仔细研究渭河盆地边沿打穿了新生界的XR85井、渭3、平1、渭参3、R4、渭4、R4等钻孔资料,尤其是位于咸阳隆起区中部穿透新生界的地层而对下伏地层尚未定性的R4钻孔。对比R4钻孔的岩性剖面发现,R4钻孔穿透新生界地层后揭示的地层与分布于商丹盆地的李家村组岩性及其韵律结构基本一致,可分上下两段,上端以“红、白互层”为特点,岩性为肉红色泥岩与灰色砂砾岩不等厚互层,下段为一套红棕色厚层砂砾岩夹砂质泥岩。结合物探和区域资料对比

认为,R4揭露地层是上白垩统李家村组。这说明咸阳斜坡带(咸阳隆起区)的新生代之下是白垩纪地层。再则对位于富平—蒲城斜坡带的富平地区渭3钻孔、位于富平以东留古镇南侧的平1钻孔以及位于固市凹陷西部的渭参3研究发现,渭3钻孔中新生代之下的下伏地层是奥陶系地层,且上新统灞河组直接覆盖于奥陶系地层之上。平1钻孔中新生代之下的下伏地层是奥陶系地层,与上覆中新统冷水沟组地层呈不整合接触关系。渭参3孔中新生代之下的下伏地层是二叠统石盒子组,与上覆古近系红河组地层呈不整合关系。总体显示出,在深部地震剖面上,渭3、平1、渭参3钻孔处于三个不同的阶梯状基底上,随着钻孔孔位南移,钻孔揭示的地层序列却出现缺失地层减少的现象<sup>[15]</sup>。渭3、而平1孔位于富平—蒲城斜坡带,这一方面说明富平—蒲城斜坡带断裂发育,其不同区块沉降幅度不统一,有向盆地中心的断块沉降幅度大,接受沉积时间长的特点,另一方面也说明富平—蒲城斜坡带新生代之下为古生界奥陶系地层<sup>[15]</sup>。渭参3位于固市凹陷西部,说明固市凹陷新生代之下是二叠系地层,结合物探成果认为固市凹陷新生代之下是晚古生代地层。而R4钻孔揭露的地层是上白垩统李家村组,这与上述渭3、平1、渭参3揭示的渭河盆地孔位越向南,钻孔所揭示的地层序列中缺失地层越少这一特征一致,同时也说明西安凹陷新生代之下为白垩系地层,即中生代地层。渭4钻孔位于宝鸡隆起区中部,揭示的新生代最早的地层是上新统灞河组,下伏地层是前寒武纪蓟县系地层。说明宝鸡凸起区的新生代之下是前寒武纪蓟县系地层。

综上,渭河盆地新生代之下的盖层应为,西部宝鸡凸起为古生界地层,中部西安凹陷和咸阳斜坡带为中生代地层,东北部富平—蒲城斜坡带基底为奥陶系地层,东南部固市凹陷基底为晚古生代地层。渭河盆地基底与鄂尔多斯盆地一致。

#### 5 渭河盆地演化研究

渭河盆地与鄂尔多斯盆地具有相同的基底和相似的盖层。显然渭河盆地有着与鄂尔多斯盆地相似的演化史,但渭河盆地的复式盖层,也显示其独特的演化过程。

古元古代末以前,鄂尔多斯盆地是一个相对

完整的盆地,渭河盆地作为鄂尔多斯盆地南缘的一部分共同演化,中新元古代鄂尔多斯盆地处于拉张环境下,盆地开始裂解,南、北边缘形成多个裂谷系<sup>[15-16]</sup>。此时控制渭河盆地形成的主要断裂太要断裂(约1800 Ma)<sup>[15-17]</sup>形成,为渭河盆地形成奠定了构造基础,但是渭河盆地仍然作为鄂尔多斯盆地南缘的一部分共同演化。古生代初期,下降成为浅海盆地并接受沉积,形成寒武纪和奥陶纪地层。奥陶世马家沟末加里东运动,使鄂尔多斯陆块抬升,形成海退,此时渭北隆起南缘同生逆冲断裂形成,这标志着渭河盆地开始自己独特的演化,高精度物探资料为渭北隆起南缘断裂的同生断裂提供佐证。中奥陶世末加里东运动第二幕,华北地台大面积抬升,渭河盆地成为剥蚀区,从而缺失晚奥陶世、志留纪、泥盆纪、早石炭世的沉积。石炭—二叠纪,渭河盆地也和鄂尔多斯地区一样经历海进海退乃至近海平原的沉积环境,中三叠世末发生了印支运动第二幕,造成渭河盆地骤降,渭河盆地开始全面地进入了典型的内陆盆地发展期。晚三叠世末发生了印支运动第三幕,盆地一度抬升,但渭河盆地此时与鄂尔多斯盆地相比较低,因而三叠统地层剥蚀有限,或未遭剥蚀。早、中侏罗世,为一套陆相沉积物。中侏罗世末期发生了燕山运动,渭河盆地下降,中西部大部分地区接受了早白垩世沉积,早白垩世晚期,盆地整体东西向翘起,由于受太平洋板块沿北西方向向大陆板块俯冲的影响<sup>[18]</sup>,华北陆块原应力场发生改变,由近东西向挤压应力场转为北东—北北东向挤压应力场<sup>[19]</sup>,在研究区形成了隆和凹相间的构造格局。早白垩世晚期(102~107 Ma)以来再次开始沉降,40 Ma以来具有整体快速沉降的特点。

太要断裂(约1800 Ma)形成,反映鄂尔多斯盆地地块南缘的完整性受到破坏。奥陶世马家沟末加里东运动,渭北隆起南缘同生逆冲断裂形成,标志着渭河盆地独立演化的开始,其主沉降期为中生代—新生代,新生代具有骤降特点。

## 6 结论

(1) 渭河盆地由固市凹陷、西安凹陷、泾河鼻隆、宝鸡凸起、骊山凸起、咸阳斜坡带和富平—蒲城斜坡带组成,具有两盆—鼻两凸两斜坡镶

嵌复合的结构特征和新生代和中生代—古生代复式盖层的断陷盆地。

(2) 渭河盆地新生代之下的盖层应为,西部宝鸡凸起为古生界地层,中部西安凹陷和咸阳斜坡带为中生代地层,东北部富平—蒲城斜坡带基底为奥陶系地层,东南部固市凹陷基底为晚古生代地层。

(3) 渭河盆地与鄂尔多斯盆地具有相同的基底和相似的盖层,也有着相似的演化史。太要断裂(约1800Ma)形成,为渭河盆地形成奠定了构造基础,奥陶世马家沟末加里东运动,渭北隆起南缘同生逆冲断裂形成,标志着渭河盆地独立演化的开始,主沉降期为中生代—新生代。

## 参考文献/References

- [1] 王建强,刘池洋,高飞,等. 陕西渭河盆地前新生界地质特征及其油气意义[J]. 地质通报, 2015, 34(10): 1981~1991.  
WANG Jianqiang, LIU Chiyang, GAO Fei, et al. Pre-Cenozoic geological characteristics and oil-gas significance in Weihe basin, Shaanxi Province [J]. Geological Bulletin of China, 2015, 34(10): 1981~1991. (in Chinese with English abstract)
- [2] 权新昌. 渭河盆地断裂构造研究[J]. 中国煤田地质, 2005, 17(3): 1~4, 8.  
QUAN Xinchang. Weihe Basin faulted structure study [J]. Coal Geology of China, 2005, 17(3): 1~4, 8. (in Chinese with English abstract)
- [3] 李玉宏,卢进才,李金超,等. 渭河盆地天然气成因特征及其意义[J]. 西安石油大学学报(自然科学版), 2011, 26(5): 11~16.  
LI Yuhong, LU Jincan, LI Jinchao, et al. Genetic characteristics of the natural gas in Weihe Basin and its significance [J]. Journal of Xi'an Shiyou University (Natural Science Edition), 2011, 26(5): 11~16. (in Chinese with English abstract)
- [4] 王斌,郑洪波,王平,等. 渭河盆地新生代地层与沉积演化研究: 现状和问题[J]. 地球科学进展, 2013, 28(10): 1126~1135.  
WANG Bin, ZHENG Hongbo, WANG Ping, et al. The Cenozoic strata and depositional evolution of Weihe Basin: progresses and problems [J]. Advances in Earth Science, 2013, 28(10): 1126~1135. (in Chinese with English abstract)
- [5] 刘志武,周立发. 渭河盆地新生代构造-沉积格局与油气成藏潜力初探[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2015, 43(5): 708~714.  
LIU Zhiwu, ZHOU Lifa. The Cenozoic tectonic and sedimentary

- framework and preliminary study on the hydrocarbon accumulation potential of the Weihe basin [J]. *Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition)*, 2015, 43 (5): 708 ~ 714. (in Chinese with English abstract)
- [6] 肖晖, 李建新, 韩伟, 等. 鄂尔多斯盆地南缘渭北隆起中生代构造抬升及演化 [J]. *西安科技大学学报*, 2013, 33 (5): 576 ~ 582, 593.
- XIAO Hui, LI Jianxin, HAN Wei, et al. The tectonic uplift time and evolution characteristics of Weibei uplift in the south edge of Ordos Basin [J]. *Journal of Xi'an University of Science and Technology*, 2013, 33 (5): 576 ~ 582, 593. (in Chinese with English abstract)
- [7] 王建强, 刘池洋, 闫建萍, 等. 鄂尔多斯盆地南部渭北隆起发育时限及其演化 [J]. *兰州大学学报 (自然科学版)*, 2010, 46 (4): 22 ~ 29.
- WANG Jianqiang, LIU Chiyang, YAN Jianping, et al. Development time and evolution characteristics of Weibei uplift in the south of Ordos Basin [J]. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*, 2010, 46 (4): 22 ~ 29. (in Chinese with English abstract)
- [8] 任军锋. 北秦岭 (陕西段) 古生代构造体制转换研究 [D]. 西安: 西北大学, 2004.
- REN Junfeng. Paleozoic tectonic transformation of the North Qinling belt in Shanxi Province [D]. Xi'an: Northwest University, 2004. (in Chinese with English abstract)
- [9] 董云鹏, 张国伟, 朱炳泉. 北秦岭构造属性与元古代构造演化 [J]. *地球学报*, 2003, 24 (1): 3 ~ 10.
- DONG Yunpeng, ZHANG Guowei, ZHU Bingquan. Proterozoic tectonics and evolutionary history of the North Qinling Terrane [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 2003, 24 (1): 3 ~ 10. (in Chinese with English abstract)
- [10] 李荣西, 刘建朝, 魏刚峰, 等. 渭河盆地地热水水溶烃类天然气成因与来源研究 [J]. *天然气地球科学*, 2009, 20 (5): 774 ~ 780.
- LI Rongxi, LIU Jianchao, WEI Gangfeng, et al. Origin and source of dissolved hydrocarbon gas in geothermal water, Weihe Basin [J]. *Natural Gas Geoscience*, 2009, 20 (5): 774 ~ 780. (in Chinese with English abstract)
- [11] 李钰, 符彩云. 渭河盆地上新统沉积相研究 [J]. *地下水*, 2015, 37 (1): 185 ~ 187.
- LI Yu, FU Caiyun. Study on Miocene sedimentary facies of the Weihe River Basin [J]. *Ground Water*, 2015, 37 (1): 185 ~ 187. (in Chinese with English abstract)
- [12] 刘志武, 白勇, 周立发. 渭河盆地结构及其油气成藏地质条件 [J]. *石油实验地质*, 2016, 38 (5): 584 ~ 591.
- LIU Zhiwu, BAI Yong, ZHOU Lifa. Basin Structure and Hydrocarbon accumulation conditions of the Weihe Basin [J]. *Petroleum Geology & Experiment*, 2016, 38 (5): 584 ~ 591. (in Chinese with English abstract)
- [13] 李钰. 渭河盆地地热井伴生气地球化学特征及生物气资源量评价 [D]. 西安: 长安大学, 2015.
- LI Yu. The geochemical characteristics of source rock and source rock potential evaluation of the Weihe Basin [D]. Xi'an: Chang'an University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [14] 陕西省地质矿产局. 陕西省区域地质志 [M]. 北京: 地质出版社, 1989.
- Shaanxi Bureau of Geology and Mineral Resources. Regional geology of Shaanxi Province [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989. (in Chinese)
- [15] 刘林, 芮会超, 陈宝赞. 渭河盆地天然气类型、成因特征及找矿远景分析 [J]. *地质力学学报*, 2016, 22 (2): 256 ~ 268.
- LIU Lin, RUI Huichao, CHEN Baoyun. The characteristics and types of the natural gas in the Weihe Basin and its prospecting potential [J]. *Journal of Geomechanics*, 2016, 22 (2): 256 ~ 268. (in Chinese with English abstract)
- [16] 李俊建, 罗镇宽, 燕长海, 等. 华北陆块的构造格局及其演化 [J]. *地质找矿论丛*, 2011, 25 (2): 89 ~ 100.
- LI Junjian, LUO Zhenkuan, YAN Changhai, et al. Structure framework and evolution of the North China Craton [J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 2011, 25 (2): 89 ~ 100. (in Chinese with English abstract)
- [17] 黎世美, 瞿兰全, 苏振邦, 等. 小秦岭金矿地质和成矿预测 [M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- LI Shimei, QU Lanquan, SU Zhenbang, et al. Geology of gold deposits and metallogenic prediction in Xiaoqinling Area [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. (in Chinese)
- [18] Maruyama S, Send T. Orogeny and relative plate motions: example of the Japanese Islands [J]. *Tectonophysics*, 1986, 127 (3 ~ 4): 305 ~ 329.
- [19] 吴奇, 许立青, 李三忠, 等. 华北地块中部活动构造特征及汾渭地堑成因探讨 [J]. *地学前缘*, 2013, 20 (4): 104 ~ 114.
- WU Qi, XU Liqing, LI Sanzhong, et al. Active tectonics in the Central North China Block and the cause of the formation of the Fenwei Graben [J]. *Earth Science Frontiers*, 2013, 20 (4): 104 ~ 114. (in Chinese with English abstract)