

第一章 地热资源赋存的地质条件

第一节 自然地理

一、气象水文

1. 气象

关中盆地地处我国中纬度地区，属温带半干旱半湿润气候区。气候的基本特征：冬季寒冷，夏季炎热；春季升温较快，秋季降温迅速，冷空气活动频繁，气温日差较大；干湿季节分明，秋末冬春少雨，夏季初秋多雨；降水变率大，常出现干旱；春季风大沙多。

区内多年太阳辐射为 $110 \sim 130 \text{ kcal/cm}^2$ ，气候要素主要包括降水、蒸发、气温、相对湿度、日照、风等。多年平均蒸发量 $1000 \sim 1200 \text{ mm}$ 。多年平均气温 $12 \sim 13.6^\circ\text{C}$ 。多年平均相对湿度 $61\% \sim 72\%$ ，平均潮湿系数 0.6 左右，属湿度适中带。年日照时数 $2000 \sim 2400 \text{ h}$ ，最多为 2870 h ，日照率 $45\% \sim 55\%$ 。盆地内风力不大，风速只有 $1 \sim 2 \text{ m/s}$ ，以偏东风为主。

区内多年平均降水量 $600 \sim 750 \text{ mm}$ 。年降水量多集中于 7、8、9 月份。降水在地域上分布很不均匀。宝鸡林家村站、西安站、华县站 1956 ~ 2000 年多年平均降水量分别为 683.34 mm 、 570.12 mm 和 540.42 mm 。秦岭北麓地带降水量大于平原地区，一般为 $850 \sim 1000 \text{ mm}$ ，蒲城仅 533 mm 。盆地内降水量总的规律是南部大于北部，西部大于东部（图 1-1）。

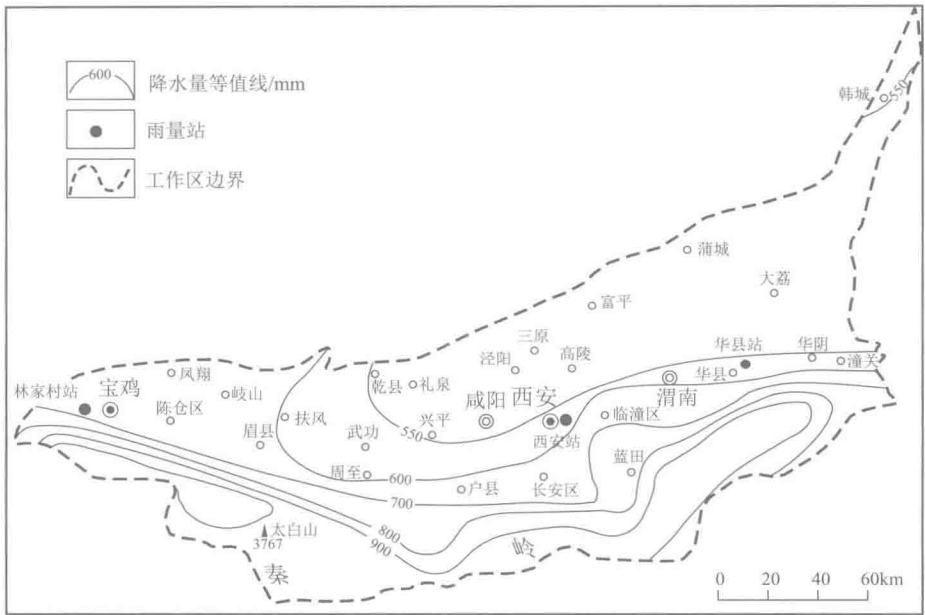


图 1-1 关中盆地降水量等值线图

夏季多雷阵雨和暴雨天气，初秋多连续性降雨，也有强度很大的暴雨。盆地内武功、韩城均出现过日最大降水量 113 ~ 157mm 的暴雨。

区内冷空气活动频繁，气温日差较大，多年平均气温为 12 ~ 13℃，最高气温可达 40℃ 以上，最低气温 -10℃ 以下。

2. 水文

区内主要河流是黄河的最大支流——渭河，由宝鸡峡进入盆地，河床蜿蜒曲折，在盆地内渭河接纳了由南、北而来的近百条大小支流。渭河两岸支流分布有两大特点：一是呈不对称状，北岸支流少而长，南岸多而短，南缘地块上升较剧；二是北岸支流都呈北西西 - 南东东方向穿过陕北掀斜区。当流出北山地区时，则弯曲多变，次级支流构成类似羽状或格子状水系。如横水、泔河、冶峪河、清峪河、石川河、洛河下游以及洛河本身的大拐弯等，具开阔断陷谷水系特征，同时也说明东、西不均一抬升。

渭河南岸源于秦岭的支流平行密布，素有“秦岭七十二峪”之称，这些河流径流较短，水流湍急，受降水影响，河水位和流量变化很大，它们在流经山前砂砾质河床时，河水大量渗漏，甚至断流，成为地下水的丰富补给源，主要支流为石头河、汤峪河、黑河、涝河、泔河、浐河、灞河、零河、沔河等。渭河北岸支流较少，源于或穿越北山的主要有金陵河、千河、漆水河、泾河、石川河、洛河等（图 1-2），这些河流大多源远流长，河水具有暴涨暴落、含沙量大的特点。

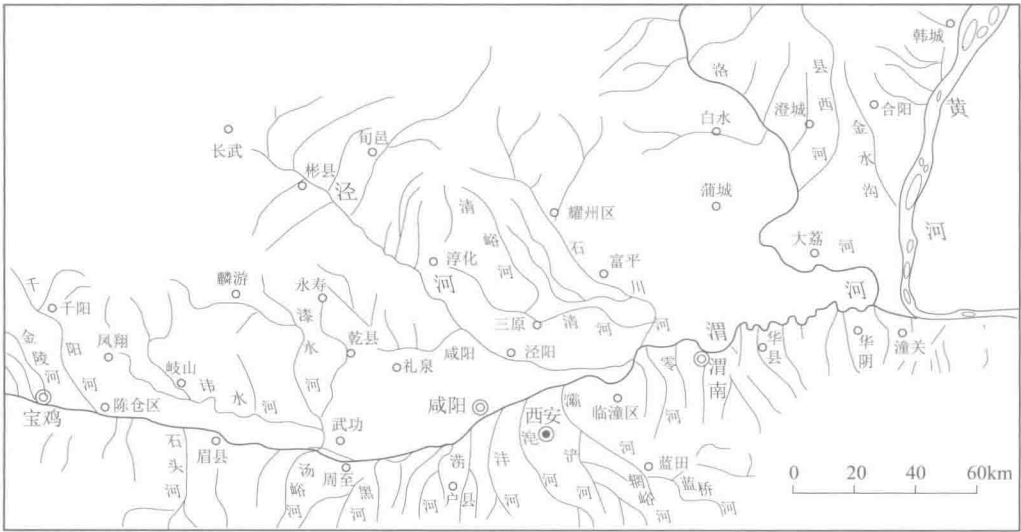


图 1-2 水系分布图

二、地形地貌

本区为一个三面环山向东敞开的盆地。盆地南侧是峰峦叠嶂的秦岭中高山，走向近东西，山势陡峻，一般海拔 1000 ~ 2320m，主峰太白山，海拔 3767m。盆地北部为舒缓起伏的低山丘陵，通称北山。南北两侧的山脉向西到宝鸡峡逐渐闭合而形成峡谷，在北山与秦岭之间为一西窄东宽的平原地形，海拔 325 ~ 900m，地势西高东低，向东微倾。

盆地周边主要为断裂边界，尤其南部秦岭山地相对盆地持续抬升，常以断层三角面相接。自山区向盆地中心地貌单元依次为基岩山、山前洪积扇、黄土台塬、河谷阶地（图 1-3）。

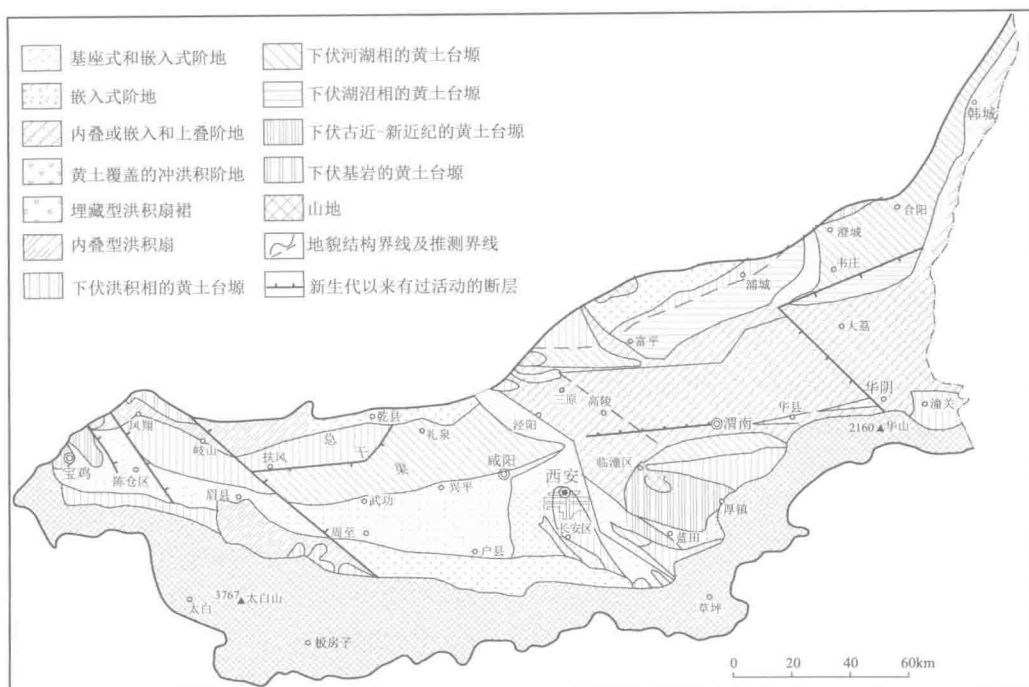


图 1-3 地貌结构类型略图

1. 基岩山

分布于盆地外侧，主要为秦岭和北山。秦岭呈东西走向，山势巍峨壮丽，北陡南缓，谷地源远流长，形成许多峡谷，成为南北交通通道。秦岭以及关中盆地中南部的骊山等断块山地，因受各自山前断裂带强烈垂直差异运动的作用，均呈北陡南缓之势。秦岭太白山古近纪夷平面高程达 3700m，向南倾斜 18° ；宝鸡—蓝田间的秦岭山地，更新世以来山地夷平面上升与盆地相对沉陷的总幅度也达 2000m 左右。北坡褶皱紧密，形成许多海拔 2000m 以上的中山，如玉皇山 (2057.9m)、终南山 (2604m)、华山 (2160m) 等 12 处，地处周至、眉县和太白县接壤地带的太白山主峰拔仙台海拔 3767m，为遥居秦岭群峰之冠的高山。

北山山地位于盆地带的北部，呈北东向雁行排列的断块山，海拔为 1000 ~ 1600m，南陡北缓。包括黄土高原南缘一些孤立、突起的低山丘陵，由下古生界石灰岩及中生界砂页岩组成，自西向东有瓦罐岭 (1614m)、嵯峨山 (1347m)、尧山 (1410m) 和稷王山 (1279m)，它们是向南翘起的断块山，翘起幅度轻微，山势低缓，呈断续分布，与秦岭山地相比逊色得多。

2. 山前洪积扇

洪积扇分布在秦岭北侧、北山南侧山前一带，单个的洪积扇已经相互连接，形成带状分布的洪积扇裙或山前倾斜洪积平原，宽 3 ~ 12km。秦岭山前洪积扇具有时代较新，洪积物颗粒粗、厚度大的特点；北山山前洪积扇粗粒物质少，大部分是砾石、砂层与粉质黏土交互的堆积，上部被黄土覆盖。区内一些地区的洪积扇在差异性新构造的控制下，具有明显的多级性，如岐山、扶风和眉县槐芽一带，一般可划分出 4 级洪积扇，基本上可与渭河阶地进行对比。

洪积扇（台地）是山麓地带上升构造的地貌标志。时代越老的洪积台地分布的部位越高，年龄较新的洪积扇所处的位置偏低。关中盆地山前断裂带强烈的正倾滑运动，控制了山地和盆地的形成，决定了剥蚀区和堆积区的分布范围及堆积层的岩性、岩相和厚度等。在山前许多峪口洪积扇普遍发育，形成了广阔的洪积扇裙。这些洪积扇裙以较大的坡降倾向渭河。

在华山山前断裂带升降反差幅度最大的地段,东起华阴,西至华县,构成了东西长 28km,南北宽 3km 呈带状分布的山前洪积倾斜平原。地形上向北呈阶梯状倾斜,与渭河一级阶地平缓相接。华阴罗夫峪口外一带晚更新世洪积扇高出渭河一级阶地最大为 170m 左右,和秦岭山前的长安、周至等地一样,洪积扇属埋藏型和内叠型,扇面起伏彼此连接。盆地带洪积扇以晚更新世的最为发育,分布较广,而最新一期的洪积扇主要分布在山前断崖和峪口一带。临潼骊山凤王沟口,因间歇性上隆,发育了 3 期串珠状内叠嵌入型洪积扇。晚更新世内叠型洪积扇出现在区内山前或塬前沉陷幅度较大的地段,一般为拗陷构造的地貌反映,而中更新世洪积台地和黄土塬一样处于相对隆升的地区,是凸起构造的标志。

3. 黄土塬

黄土塬是关中盆地特有的一种构造地貌,约占盆地总面积的 50%。黄土塬大多位于山前地带,塬的前缘受正断层控制,地形上形成高度数十米至数百米的陡坎,一级一级地向盆地中心倾斜、降落。

黄土塬在上新世末,早更新世初随着盆地内部断块差异运动的发展和黄土堆积的进行而形成的。黄土塬上部一般是更新世不同时期的风成堆积黄土,下部则为新近纪或早、中更新世冲洪积或湖相堆积的砂砾石层,具有二元结构,是新构造运动和古地理环境演变的综合产物。

关中盆地的黄土塬可分为波状黄土塬和平缓黄土塬两种类型。前者指中晚更新世的黄土覆盖在前期波状起伏的侵蚀面上或后期形成的垛砬等起伏较大的地貌单元上。临潼的横岭塬即属此类。后者指塬面相对平坦连续,一般处于较低的位置,如渭南三道塬、蒲城塬等。

渭河以北的黄土塬有两级。较高的第二级黄土塬断续分布,自西向东有石家塬、陵塬、贾村塬、蒲城以北的上王镇及合阳北塬。第一级黄土塬为凤翔、扶风、礼泉、三原、富平、蒲城、合阳南塬等,它们呈连续分布。由于受黄土塬基底地堑、地垒构造的控制和活动,塬面常呈现出条状洼地和垛状垄岗。

渭河以北的塬面宽广,最宽可达 30km。渭河以南的黄土塬较北岸窄,分布也不连续。秦岭断块升降幅差大的地段黄土塬消失,往往被洪积扇所取代。例如在华阴、华县间,由于华山山前断裂的活动,使华山山地强烈隆起和固市拗陷大幅度沉降,因而成为黄土塬缺失的特殊地段。在关中盆地的南部,垂直差异运动比北部强烈,因之塬面的相对高差与塬面的起伏均很大。渭南一带波状塬和平缓塬高出渭河河床 300~500m,并在这些塬的前缘一带均发现一系列黄土断层。南部的临潼横岭塬塬面海拔 900m,而渭南平缓塬海拔仅 700m,两者相差 200m。

关中盆地的黄土塬一般由西向东倾,与盆地的地势相一致,而华县、渭南、临潼等地的黄土塬塬面却由东向西降低,其标高由华县黄土塬 701m、渭南长寿塬 670m、三张塬 565m、临潼代王塬 500m,降低到临潼县城附近黄土塬面仅 370m,与渭河阶地处在同一高度上。

4. 河谷阶地

渭河阶地发育,由西向东,由狭长逐渐变为宽阔,与关中盆地向东伸展形状基本一致,共发育 5 级阶地,高阶地仅见于上游及其支流,二级以上阶地均被不同时期的黄土披覆。各阶地接触处,除高陵、固市一带为缓坡外,其余地区均为陡坎接触。

渭河各支流阶地呈断续的不对称分布,一般渭河北岸支流的阶地多发育左岸,而南岸的支流阶地多发育右岸。渭河两侧的山坡、水系发育表现了极大的不对称性。渭河南岸的支流密集、短小,比其北岸更为发育,但南北两岸的阶地却广为分布。盆地内部由于不均匀的垂直差异运动,阶地的级数、比高、类型与发育程度等多有变化,和黄土塬一样,与盆地内部的凸起、拗陷构造密切相关。关中盆地在岐山—马召断裂以西,宝鸡一带是相对上升时代较

早、幅度较大的地区，渭河在这一带发育四级阶地，其形成时代自中更新世至全新世，各级阶地高出水面分别为 15m、35m、100m、200m，高阶地大多为基座型；该断裂以东，渭河只发育三级阶地，拔河高度为 5 ~ 18m、6 ~ 22m、51 ~ 79m。其比高除第 I 级阶地外，均小于西部，第 I 级阶地多为内叠型。渭河北岸的第 III 级阶地断续发育，距现代渭河河床较远，为 15 ~ 30km。而第 II 级阶地发育连续、宽阔，与北岸新构造活动差异性小和泾河、洛河等河口大量泥沙堆积有关；阶地与冲积扇复合成为联合阶地。而北岸的第 I 级阶地分布不广。渭河南岸有所不同，在西安拗陷中发育第 I、II 两级阶地；临潼凸起发育三级阶地，但阶面十分狭窄；华县、华阴的固市拗陷只发育第 I 级阶地，阶面平坦，无黄土塬过渡，与洪积扇裙相接。潼关一带的凸起地区又出现三级阶地。关中盆地凡有黄土塬的地段，渭河三级阶地都发育。阶地和黄土塬的发育程度，可作为盆地沉降幅度大小与断裂活动强弱的标志。在盆地内的凸起构造区，相对稳定，而后抬升，渭河发育三级及三级以上阶地，阶地发育齐全，比高大；而拗陷区是沉降运动最为强烈的地段，则仅发育两级甚至一级阶地，阶地比高也较小。这反映了盆地内次级断块运动对河流阶地发育的控制作用。关中盆地主河及其支流两侧多级阶地的发育，表明更新世以来，地壳呈较稳定的间歇性抬升。

第二节 地层岩性

关中盆地地处华北板块西部之鄂尔多斯地块与秦岭造山带之间，出露地层从太古宇一新生界均有分布（表 1-1），前新生界及花岗岩构成了盆地基底并出露于盆地边缘，巨厚的新生界形成了辽阔的关中盆地。

表 1-1 地层对照表

注：蓝田组和灞河组并组用 N_{2bh-l}；冷水沟组和寇家村组并组用 N_{1ls-k}，本书中有的地方也沿用高陵群 N_{1Gl}；白鹿塬组和红河组并组用 E_{2-3h-b}。

一、太古宇 (Ar)

太古宇仅有太华群 (ArTh), 为北秦岭褶皱带最古老的结晶基底, 主要出露于盆地南侧潼关—蓝田一带, 在骊山、韩城等地有零星出露, 岩性为黑云母斜长片麻岩、黑云母斜长角闪片麻岩、二云母石英片岩、石英岩、混合岩及黑云母斜长片麻岩等。

二、元古宇 (Pt)

元古宇主要出露于盆地南侧的清姜河、斜峪关、涝峪口、汤峪、寺沟一带及骊山南坡, 宝鸡以西冯家山附近的千阳河西岸也有出露。岩性主要为云母石英片岩、含磁铁矿片岩、硅化的白云质大理岩、千枚岩等。

三、古生界 (Pz)

1. 下古生界 (Pz₁)

盆地内出露有寒武系 (Є) 和奥陶系 (O), 缺失志留系 (S)。寒武系主要分布于西崛山、瓦罐岭、羊毛湾、张家山、禹门口等地。岩性为浅海相的油页岩、泥灰岩、鲕状灰岩、灰岩及白云岩; 与下伏元古宇呈平行不整合接触。奥陶系分布于瓦罐岭、唐王陵、嵯峨山及韩城禹门口等地; 岩性主要为灰岩、泥灰岩、燧石灰岩、含砾页岩、钙质砾岩等, 与寒武系呈平行不整合接触。

2. 上古生界 (Pz₂)

盆地内出露有石炭系 (C) 和二叠系 (P), 缺失泥盆系 (D)。石炭系主要分布于盆地北缘的将军山、尧山、韩城等地, 南缘眉县, 李家河一带也有出露。岩性主要为海陆交互相的含煤建造, 即灰黑、黑色页岩、砂质页岩、薄层泥灰岩、铝土质页岩, 赤铁矿夹层及可采煤 1~3 层; 与下伏奥陶系呈角度不整合接触。二叠系分布于石川河以西的黄里镇、口镇、韩城等地。下部为沼泽相、湖相的含煤沉积, 上部为海相的杂色砂、泥岩、页岩; 与下伏石炭系呈整合接触。

四、中生界 (Mz)

盆地内出露有三叠系 (T) 和白垩系 (K), 缺失侏罗系 (J)。三叠系出露于韩城禹门口一带及洛河、泾河、漆水河, 以及冶峪河等河谷中, 为河流相的碎屑岩沉积。岩性为暗紫色或灰绿色厚层砂岩、砂质页岩及页岩等; 与下伏二叠系呈平行不整合接触。白垩系主要出露于宝鸡—陇县的金陵河两侧以及凤翔县北面的西河、蟠桃河一带, 为河湖相沉积的褐红色至咖啡色砾岩、砂岩、砂页岩及泥灰岩, 局部夹劣质煤。

五、新生界 (Kz)

新生界为关中盆地地热井的主要开采层段, 为此, 作者对不同单位、不同时期形成的资料统一做标准化处理, 结合最新勘探成果对地层重新厘定, 系统划分了新生界。区内新生界大面积深埋于盆地之下和少量出露于地表, 古近系—第四系均有分布, 缺失古近系古新统, 始新统超覆于前新生界之上。

(一) 古近系 (E)

古近系多深埋于关中盆地之下 (图 1-4), 地表出露于骊山及其周边地区。除骊山北部

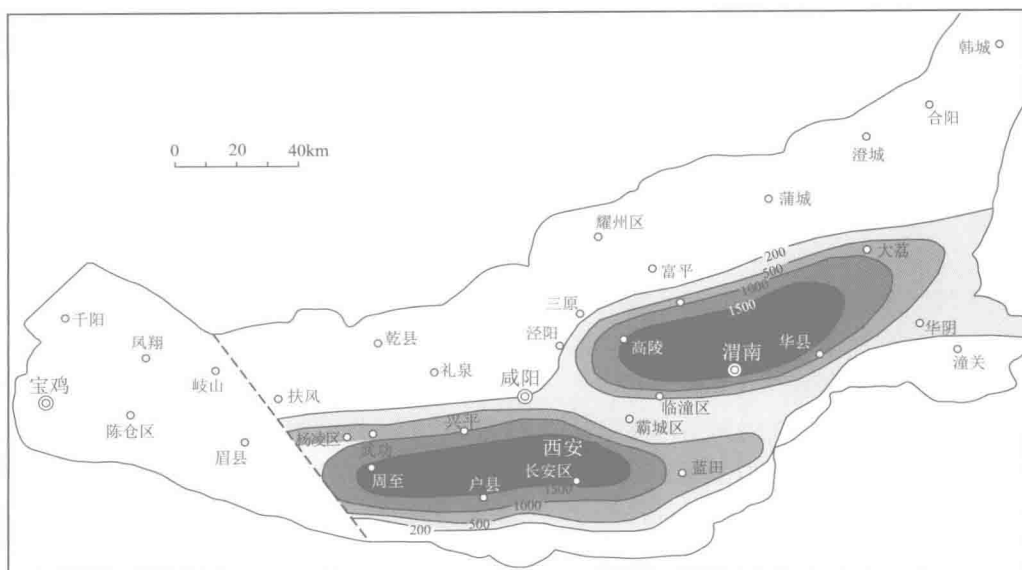


图 1-4 关中盆地古近系等厚图 (单位: m)

外,呈扇状分布于其周围,自骊山向外掩埋于平原之下,其上为第四系所覆盖。依沉积时间及岩性可分为始新统红河组及渐新统白鹿塬组。

1. 始新统红河组 (E_2h)

红河组集中出露在骊山东南及西南麓各冲沟的中上游两侧,以大套紫红色泥岩为特征,夹灰黄色和灰绿色砂岩、粉砂岩,代表性剖面有蓝田华胥支家沟剖面,视厚度约 200m,为湖泊、河流相沉积,地层总体倾向南西,以较缓的倾角由骊山插入平原下部。在平原地区钻井揭露埋深 2100~2800m,与下伏太华群呈不整合接触。盆地内部没有钻孔揭穿。

2. 渐新统白鹿塬组 (E_3b)

白鹿塬组分布范围与红河组相同。与红河组呈假整合接触,典型剖面出露于骊山东、南、西三面沟谷中,以蓝田华胥支家沟剖面为代表,视厚度 500m。在灞河左岸的白鹿塬边的毛西村也有少量出露。岩性主要以灰白色块状砂岩为主,夹(或互)紫红色泥岩,底部发育砂砾岩或含砾粗砂岩。与下伏红河组顶部的紫红色泥岩,呈平行不整合接触;与上覆冷水沟组底部之灰白色砂砾岩呈不整合接触。岩性组合特征三分性明显,下部和上部是以白色砂岩夹紫红色泥岩为主;中部为灰白色砂岩与紫红色泥岩互层,河流、湖泊相沉积。井下自然电位由不连续小幅犬牙状到中幅钟乳状,视电阻率由锯齿状低阻到中阻。盆地内部探井内为河流相沉积。其岩性以灰白色块状粗、中砂岩为主,中下部夹有黄棕色、褐色泥质盐湖相层。晚期以河流相沉积结束,整个表现为粗—细—粗的旋回,沉积构造砂岩有斜层理及交错层理,泥质岩具水平及波状层理。

(二) 新近系 (N)

新近系分布于白鹿塬、同仁塬、横岭塬及骊山周边地带,依次围绕骊山向西、南、东呈扇状分布。近骊山者老,远骊山者新,大多数掩埋于盆地之下,为关中盆地地热井的主要开采层段,其上为第四系松散层所覆盖,仅在盆地周边深切沟谷及山地边缘可见。依沉积时代及岩性进一步分为中新统冷水沟—寇家村组,上新统灞河—蓝田组、张家坡组。

1. 中新统冷水沟组 (N_1ls)

冷水沟组出露于骊山南麓和西麓、白鹿塬东缘、横岭塬沟谷中,厚度由数米到百余米不等。据钻井揭露,盆内最厚达 1342m,埋深 670 ~ 1200m,由东向西,西安凹陷中心埋深最大。标准剖面出露于临潼区骊山街办西南冷水沟营背后村、横岭塬两侧以及灞河左岸的白鹿塬边。岩性主要为棕红色砂质泥岩与灰黄、灰绿色砂岩互层及底部砾岩夹杂色泥岩,底部由砾岩组成,与下伏白鹿塬组及上覆寇家村组或灞河组均为不整合接触,底、顶都以砂砾岩或砾岩层的底面分界。以湿热气候条件下的河湖相沉积为主,自然电位由中幅钟乳状到小幅不连续犬牙状,视厚度 25m,与白鹿塬组呈不整合接触。钻孔中岩性与地表基本相同,但砾状砂岩及含砾泥质岩稍有增多。

2. 中新统寇家村组 (N_1k)

寇家村组的典型剖面出露于西安市灞桥区毛西乡寇家村大庙沟,另外在骊山西侧、蓝田与渭南之间的横岭塬两侧以及灞河左岸的白鹿塬边一带也有出露。岩性以棕红、橘黄色泥岩、砂质泥岩为主,夹灰白色、棕黄色砂岩,底部发育砾岩或砂砾岩。为湿热条件下的河湖相沉积,以湖相沉积为主,自然电位由负异常到正异常。厚度 0 ~ 142m。与下伏冷水沟组及上覆灞河组为平行不整合或不整合接触。底、顶界均以一层砂砾岩或砾岩层底面为界线。

中新统地表岩性较稳定,厚度由西向东由厚变薄。一般不单独划分出来,两组合称冷水沟-寇家村组。盆地内深埋于陇县-岐山-哑柏断裂以东(图 1-5),探井钻穿冷水沟组和寇家村组的井位较少,但大部分钻遇其顶部的井显示主要为湖相或河湖相沉积,从钻穿盆地的渭深 10 井(户县甘河)来看,下部见有冲积-洪积相,岩性为灰白色砾岩、含砾粗中砂岩与含砾泥质砂岩、砂质泥岩互层;向上变为河湖相沉积,岩性褐色粉砂质泥岩、泥岩与浅灰色、灰白色细、中砂岩互层。而位于三原的渭参 3 井主要为河湖相沉积,底部为粗杂的冲积、洪积相堆积。

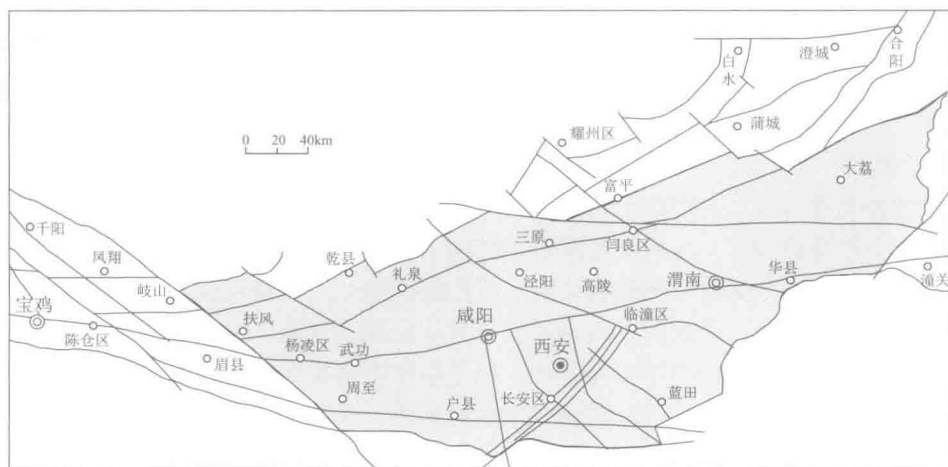


图 1-5 中新统分布范围略图

3. 上新统灞河组 (N_2bh)

灞河组主要出露于盆地东南部西安、蓝田、渭南之间,另在华县瓜坡、蒲城、澄城、宝鸡、眉县等地的河谷中也有少量出露。岩性上段为黄棕、浅灰绿色泥岩;中段为紫褐、黄棕色砂质泥岩与砂砾岩互层;下段为浅紫褐色泥岩、浅棕黄色砂岩,系河流相为主的河湖相沉积。在平原区埋深 470 ~ 900m 或以下,与下伏寇家村组呈假整合接触,自然电位由钟乳状到不连续箱状,厚约 294m。

4. 上新统蓝田组 (N_2l)

蓝田组出露于西安、蓝田、渭南之间及宝鸡、蒲城—合阳地区。岩性主要为深红色黏土及棕红、灰白色砾岩，黏土中有丰富的钙质结核，形成似海绵状结构，为河湖相沉积，与下伏地层为不整合接触，视电阻率由不连续犬牙状高阻到低阻，厚约 64m。

由于灞河组与蓝田组在钻孔中岩性、物性相近，比较难以区分，一般不单独划分出来，两组合称灞河—蓝田组。所以把灞河组与蓝田组作为一个整体研究。盆地内主要深埋于陇县—岐山—哑柏断裂以东，为砂泥岩交互的沉积（图 1-6）。

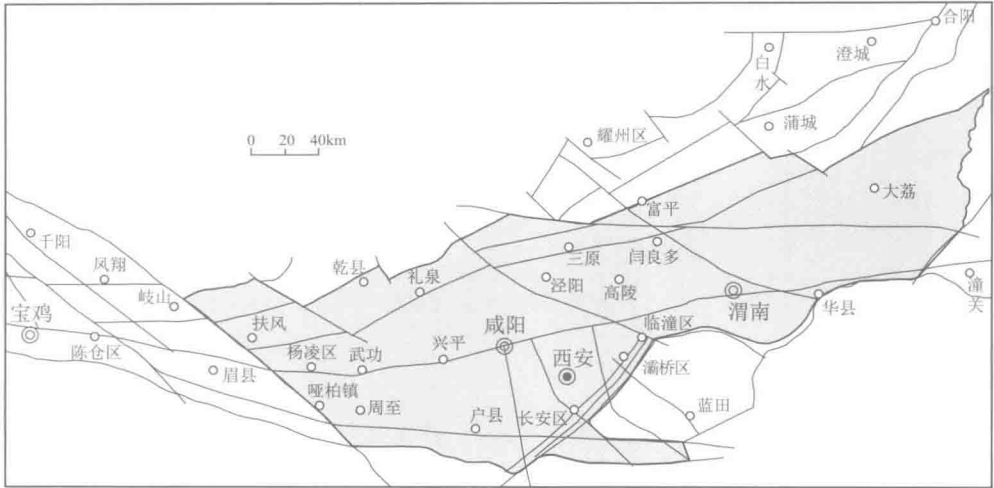


图 1-6 N_2bh-l 分布范围略图

灞河组沉积厚度的变化范围大约为 100 ~ 900m，根据厚度及岩性的差异分为两个凹陷——西安凹陷和固市凹陷。西安凹陷以户县甘河渭深 10 井为沉积中心，形态明显，呈东西向卵圆形，向两侧变薄，沉积厚度在该凹陷南部靠近秦岭山前一侧最大，达 900 余米，说明其受秦岭山前断裂的影响较大，沉降中心偏向造山带一侧，在西安凹陷发育的沉积相靠近东秦岭山前为洪积、冲积相，向凹陷中心为河流相；固市凹陷以渭深 16 井为沉积中心，达 800 余米。形态不明显，也呈东西向，但东段受周缘构造断裂的影响折向东北，岩性及厚度变化相对较平缓，在固市凹陷则从东秦岭山前向凹陷中心依次出现洪积—冲积相、河流—湖泊相和浅湖亚相。显然固市凹陷的水体深度较西安凹陷要深。从固市凹陷沉积中普遍含石膏晶体，反映当时气候是炎热干旱的氧化环境。

5. 上新统张家坡组 (N_2z)

张家坡组出露于渭南沆河、赤水河，华县瓜坡、故城等地，洛河下游、合阳东雷、徐水河等地也有零星出露。岩性主要为灰绿色泥岩、含砂泥岩夹疏松的砂泥岩，赤水河底部出现红色、花斑泥岩，渭南一带厚 221m，洛河一带厚 61m，东雷一带厚 30 ~ 40m，骊山地区缺失，与下伏蓝田—灞河组为不整合接触。张家坡组大面积分布于盆地之下（图 1-7），钻孔内西安凹陷主要为河湖相沉积，岩性粗、颜色杂、厚度大，堆积与沉积速度较快，凹陷中心在长安区曹坊渭参 6 井、户县宋村渭参 8 井及户县甘河渭深 10 井一带，最大厚度约 1300m。固市凹陷以湖相沉积为主，岩性较细，泥质岩以绿色至黑色为主，凹陷中心处于临潼区何寨渭深 16 井、渭南市南焦渭参 5 井、华县辛庄渭参 4 井及华县下庙渭深 12 井一带，最大厚度约 1100m。从岩性及古生物化石等资料，反映当时气候较为温暖湿润。

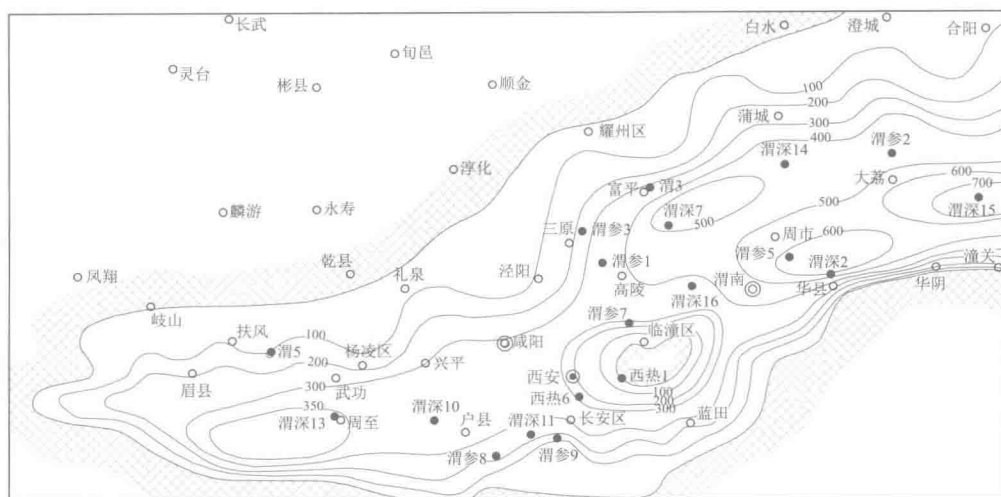


图 1-8 下更新统分布范围及等厚度图 (单位: m)

2. 中更新统 (Qp^2)

中更新统为浅灰褐色较疏松无层理的黄土, 夹多层红褐色古土壤, 时代与“离石黄土”相当。分布在塬、梁、峁区, 并覆盖在渭河及其一、二级支流的高阶地上。代表性剖面为蓝田猿人下颚骨发现地点陈家窝子剖面。盆地探井内大面积分布。

3. 上更新统 (Qp^3)

上更新统成因类型复杂, 有风积、洪积和冲积等, 代表性剖面为乾县大北沟水库剖面。风积相分布于河流二级阶地以上各地貌单元中, 秦岭北缘山前洪积扇上也有覆盖, 相当于“马兰黄土”。黄土色淡灰黄、疏松, 具大孔隙和垂直节理, 含大量钙质结核, 夹 1~2 层古土壤, 厚 6~20m。风成砂分布于大荔沙苑一带, 厚 10~30m; 洪积相见于秦岭山前洪积扇, 岩性为砂质黏土及砾石、漂石等, 分选极差, 厚 8~30m; 冲积相分布在渭河及其较大支流的二级阶地下部, 岩性为黏质砂土, 砂质黏土及砂、砂砾卵石层。

4. 全新统 (Qh)

全新统主要为现代河流冲积、洪积层和山前洪积坡积层, 分布于河流一级阶地及河漫滩、山前冲洪积扇上, 塬边为重力滑塌堆积。由上下两个冲积-洪积韵律层序组成, 下部为冲积层, 岩性为砂、砂砾卵石、砂质黏土; 上部为洪积层, 岩性一般为砂质黏土、砂砾卵石、漂石等互层堆积。沿黄土塬边主要发育滑坡滑塌堆积, 由黄土、古土壤、钙质结核及砂砾石混杂体组成。

第三节 地质构造

关中盆地是一个叠在燕山期隆起之上, 喜马拉雅期陷落的断陷盆地。其东部与山西盆地、灵宝盆地、三门峡盆地共同组成了汾渭地堑系。控制关中盆地地堑形成的构造体系, 主要由秦岭纬向构造体系、祁吕贺兰山字形构造体系、新华夏构造体系以及陇西旋卷构造体系等构造复合叠加而成。其中秦岭纬向构造体系自古生代以来, 经历过多期的活动, 至今仍有活动的迹象, 而其余 3 个体系, 大体都是在中生代开始形成、发展并最后定型完成的, 但至今仍有活动的表现。这些构造体系, 在关中盆地交汇在一起, 互相穿插、干扰, 彼此利用和

改造，相互之间发生多次复合和联合，形成一个非常复杂的构造现象。

一、关中盆地构造单元

关中盆地沉陷目前认为始于古近纪，具有下降速度快，沉积物粒度粗、厚度大等特点。新生代陆相沉积，最大厚度超过 7000m。不同规模、不同方向、不同性质、不同活动程度的断裂，将盆地分割成大小不同、结构不同的断块，这是断层控制关中盆地结构的主要表现。断层控制盆地结构体现在 3 个层次上，一是控制了基底结构分区；二是控制了盖层结构分区；三是控制了局部构造分区。

据原地质部第三石油普查大队（简称“三普”）研究及近几年的地震、物探等资料，关中盆地以渭河断裂为界，基底结构划分为两大区，北部为斜坡带，地层主要为古生界和中生界沉积岩；南部为拗陷区，基底主要为太古宇、元古宇、下古生界变质岩及中生代花岗岩体，以长安—临潼断裂为界，南区又可进一步分为东部太古宇变质岩区，西部元古宇、下古生界变质岩区（图 1-9）。因此，渭河断裂带和长安—临潼断裂是分割盆地基底的断裂，它们对盆地的形成和发展乃至后期的断块活动起着重要的控制作用。

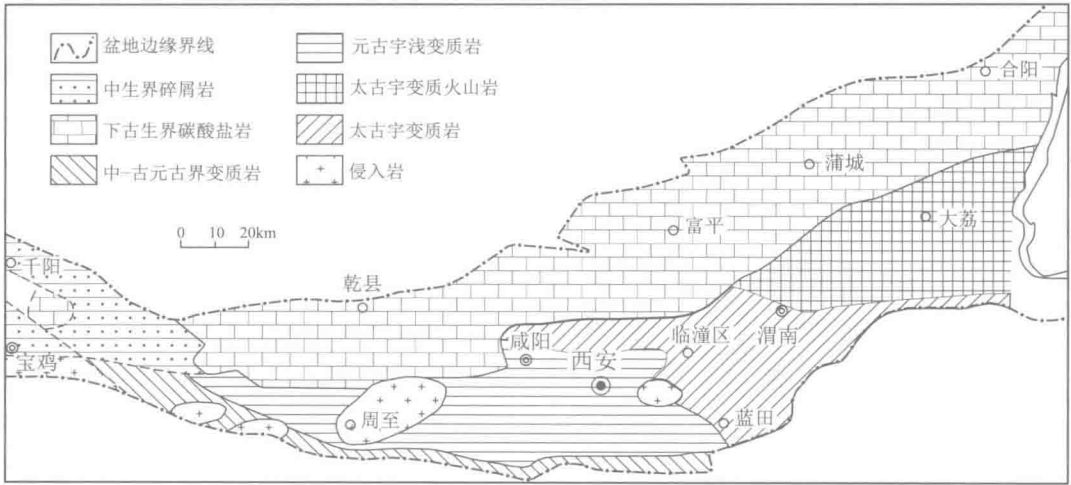


图 1-9 关中盆地基底结构概图

关中盆地断层控制新生代以来盖层结构的显著表现为：盆地被不同方向、不同规模的断裂分割成大小不等、结构不同的断块构造。这种断块基本上分为两种类型：一种是断隆（断阶、断坡），一种是断陷。断隆和断陷均以活动断裂为界，断隆和断陷又可进一步划分出次一级断阶、断凹和断凸，它们之间也多以活动断裂为界。结合地球物理资料及莫霍面起伏特征、断裂规模及其活动性、沉积建造的厚度、基底岩相结构、地貌类型、地震分布、沉降速率和构造特征等，作者在以往 6 大构造单元认识的基础上，系统划分出 19 个次一级构造小区（图 1-10）。

（一）宝鸡凸起

宝鸡凸起位于盆地西端，岐山—哑柏断裂以西的地区，面积约 2500km²。该凸起处于鄂尔多斯台坳、六盘山断陷、北秦岭褶皱带的复合部位。构造形迹复杂，以东西向、北北向断裂为主。基底北部、千阳河断裂以西为白垩系碎屑岩，埋藏较浅，多在千米以浅，南部为太古宇变质沉积岩类及燕山期侵入黑云母二长岩类，中—古元古界以变质岩为主。本区一直处

于隆起状态，新近纪中新世晚期开始接受沉积，上新统一更新统沉积总体厚度不大，钻井揭示厚 300 ~ 540m，不整合超覆于基岩之上。上新统为一套冲积相地层，以含钙质结核的黏土、砂质等碎屑岩为主；上部为更新统，视沉积环境不同岩性变化较大，地表被黄土——古土壤所覆盖，厚 100 ~ 300m。该单元依构造进一步可划分为固关断凹、千河断凸、凤翔断凹、宝鸡断凸、眉县浅凹 5 个次一级构造单元（图 1-11）。

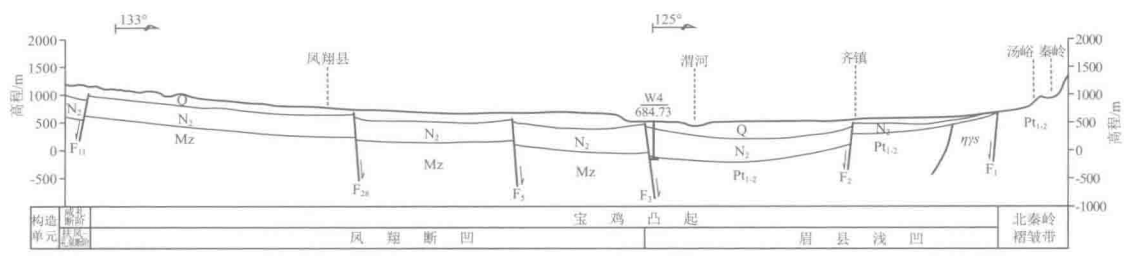


图 1-11 宝鸡凸起典型地段剖面图

1. 固关断凹

固关断凹位于宝鸡市西北，司街—益门断裂之间长条状区域，为一沉陷断凹，基底为白垩系碎屑岩，局部地区白垩系碎屑岩出露于地表，地表多为新生界第四系松散层所覆盖。

2. 千河断凸

千河断凸位于宝鸡市北部，固关—阳平关断裂和千河断裂之间北西向展布的狭长地带，基底主要为下古生界碳酸盐岩，埋深较浅，300 ~ 500m，新生界不整合超覆于下古生界碳酸盐岩之上。新近系上新统一第四系均有分布（图 1-12）。

3. 凤翔断凹

凤翔断凹位于宝鸡市东北部，千河断裂和陇县—岐山—哑柏断裂之间，即岐山、凤翔、陇县一带北西向展布的狭长区域。基底为中生代白垩系碎屑岩，埋深约 500m 左右，新近系上新统不整合超覆于白垩系之上。新生界仅有新近系上新统和第四系，向东南方向厚度逐渐增厚。基底略向东南方向缓倾。

4. 宝鸡断凸

宝鸡断凸位于宝鸡市东南，渭河断裂和秦岭北坡山前断裂之间，即宝鸡市—陈仓区以南、秦岭以北近东西的区域。基底为印支期侵入的黑云母二长岩类。埋深 300 ~ 500m 不等。新近系上新统覆盖于印支期侵入岩之上。新生界仅有新近系上新统和第四系沉积（图 1-13）。

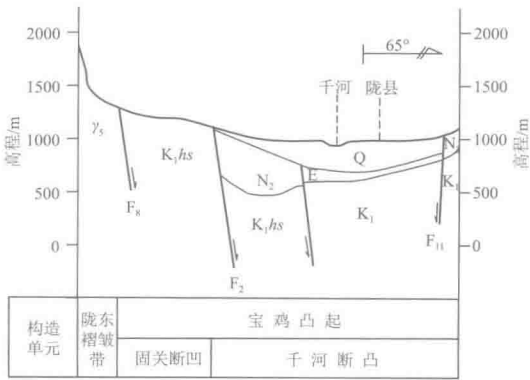


图 1-12 固关断凹—千河断凸典型地段剖面图

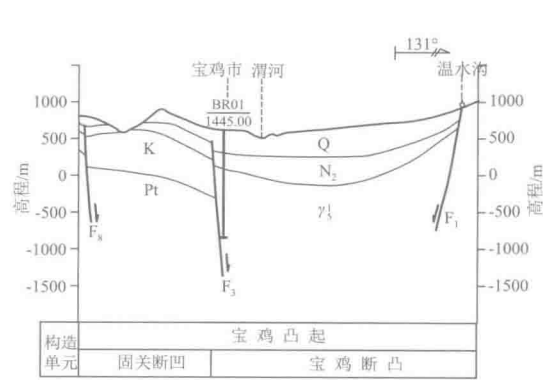


图 1-13 固关断凹—宝鸡断凸典型地段剖面图

5. 眉县浅凹

眉县浅凹位于宝鸡市东，乾县 - 富平断裂（北山山前断裂）和秦岭北坡山前断裂之间，即岐山县南部和眉县的大部分地区。基底显示为一凹地，岩性为中 - 古元古界变质岩类，南部近秦岭山前局部地区为侵入花岗岩类。埋藏深度为 400 ~ 700m，靠近秦岭者浅，远离秦岭者深。上覆地层为新生界上新统和第四系，缺失古近系和新近系中新统。

(二) 咸礼凸起

咸礼凸起位于盆地西北部，西部以陇县 - 岐山 - 哑柏断裂为界与宝鸡凸起相隔，东部以泾河断裂为界与固市凹陷为界，南部以渭河断裂与西安凹陷相邻。即杨凌 - 武功 - 兴平 - 咸阳以北，礼泉 - 双泉断裂以南的广大区域，面积约 2800km²。基底以碳酸盐岩为特征，主要构造形迹以近东西向断裂、产状南倾的正断层为主。新近系分布于全区，古近系分布于礼泉 - 双泉断裂以南，各地层厚度分布具有从北向南逐渐增厚的特点，新生界厚度小于 3000m，最北端厚度仅 100 ~ 200m（图 1 - 14）。

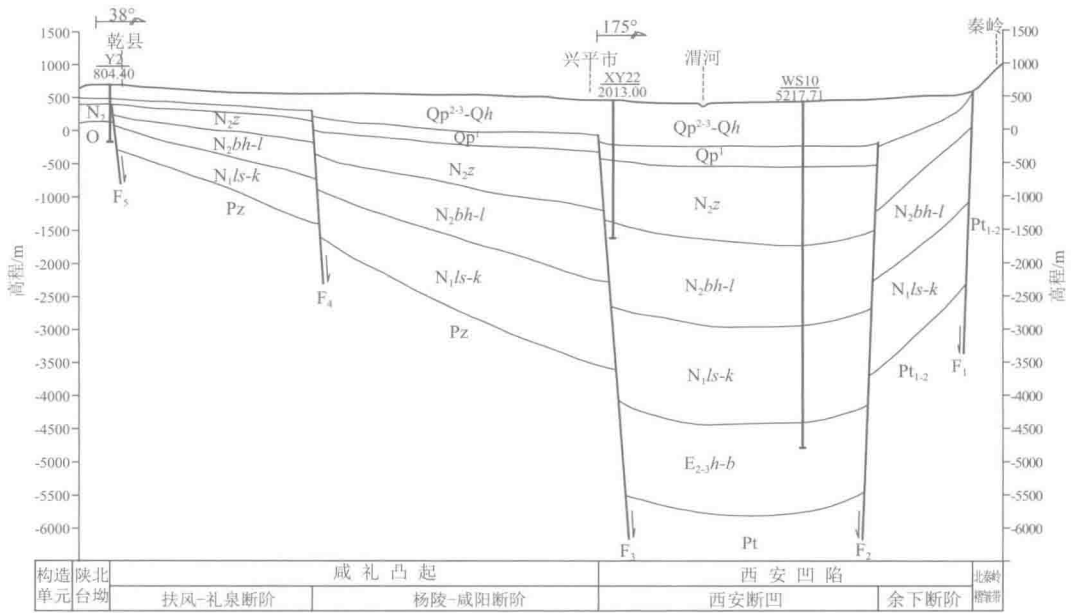


图 1 - 14 咸礼凸起典型地段剖面图

该单元依构造自北向南进一步可划分为扶风 - 礼泉断阶、杨凌 - 咸阳断阶两个次一级构造单元。

1. 扶风 - 礼泉断阶

扶风 - 礼泉断阶位于咸礼凸起的北部，礼泉 - 双泉断裂以北，北山断裂以南，即扶风 - 乾县 - 礼泉的大部分地区。基底为古生界碳酸盐岩，埋深 500 ~ 2000m 不等。其上为新生界，不整合超覆于古生界之上。新生界以新近系为主，第四系次之，缺失古近系。地层即基底总体向东南方向缓倾。

2. 杨凌 - 咸阳断阶

杨凌 - 咸阳断阶位于咸礼凸起的南部，礼泉 - 双泉断裂以南，渭河断裂以北，即杨凌 - 武功 - 兴平 - 咸阳一线以北的广大地区。基底为古生界碳酸盐岩，埋深 2000 ~ 4000m 不等，北薄南厚。其上为新生界，不整合超覆于古生界之上。新生界以新近系为主，第四系次之，

缺失古近系。地层即基底总体向东南方向缓倾。

（三）西安凹陷

西安凹陷位于关中盆地南部，西部以陇县－岐山－哑柏断裂与宝鸡凸起相邻，北部以渭河断裂与咸礼凸起相隔，东部以长安－临潼断裂与临蓝凸起为界。即杨凌－武功－兴平－咸阳以南、秦岭北坡山前断裂带以北的西安、户县、周至地区。为一地堑式凹陷，断裂构造发育，尤其是南部，被断层切割成许多断块，各断块相对运动，形成断凸和断凹。基底为元古宇变质沉积岩系及燕山期花岗岩，盖层最厚达7000m，边部3500～5000m。面积约2700km²。形成于古近纪。沉降速度快，岩性粒度粗、厚度大，上新统多为河湖相沉积，表明堆积速度变化不大，受边部断层活动影响，形成断阶，控制沉积的形态。除周至以西、余下断裂以南未见古近系沉积以外，凹陷内新生界分布广泛；至中新世时期沉积区域扩大，周至一带也有较厚沉积。上新世以后，沉积巨厚，超覆到秦岭北侧基岩，沉积中心偏南，且新生界沉积旋回较多，户县－兴平一带为沉积中心。该单元依构造自北向南进一步可划分为西安断凹、余下断阶两个次一级构造单元（图1-15）。

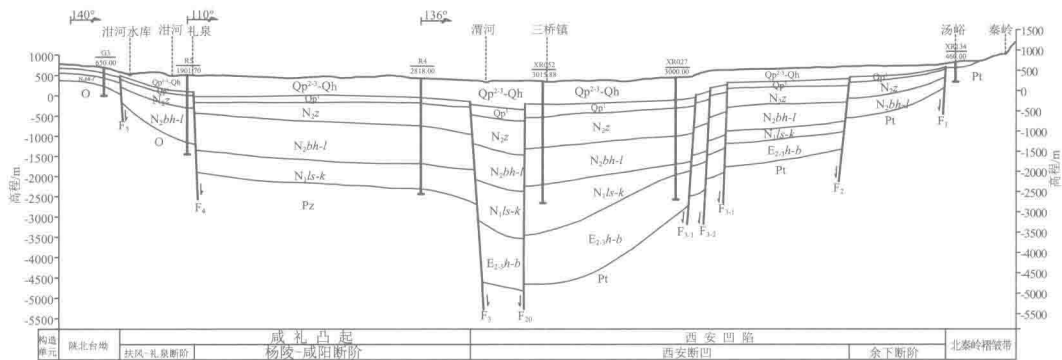


图1-15 西安凹陷典型地段剖面图

1. 西安断凹

西安断凹位于该单元北部，渭河断裂以南，余下－铁炉子断裂以北，即西安一周至哑柏的广大区域。为一大型地堑式凹陷。基底为元古宇变质沉积岩，仅在周至及其西北向基底为印支期花岗岩。埋深最厚达7000m，边缘薄中间厚，最深处在兴平－户县一带。其上为新生界，不整合超覆于元古宇之上。新生界以新近系为主，占总厚的60%以上，其次为古近系和第四系。古近系仅有始新统和渐新统，缺失古新统。地层和基底总体向断凹中心倾斜。

2. 余下断阶

余下断阶位于该单元南部，余下－铁炉子断裂与秦岭山前断裂以北之间，即楼观台－余下之间山前地段。基底为元古界一中元古界浅变质沉积岩。因断层错动，埋藏深度较浅，最深处约4000m。越靠近秦岭北坡，埋深越浅。其上为新生界，不整合超覆于元古界一中元古界浅变质沉积岩之上。新生界以新近系为主，约占沉积厚度的80%，其次为第四系。缺失古近系。地层和基底总体向西安断凹中心倾斜。

（四）临蓝凸起

临蓝凸起位于关中盆地东南部，西部以长安－临潼断裂为界，北部以渭河断裂与固市凹陷相隔。即秦岭及华山山前断裂以北，骊山山前断裂以南的临潼、蓝田地区，为中低山及塬

区，面积约 1600km²。北部出露有太古宇混合岩化的片麻岩类及燕山期侵入岩体，基岩多被断层切割埋于古近系以下，推测基底为太古宇变质岩系。除余下 - 铁炉子断裂以南，区内古近系、新近系和第四系均有沉积。古近系、新近系在骊山 - 渭南一带沟谷内有出露，但在骊山一带没有沉积，沉积厚度变化较大，浅者 500m，最厚可达 2500m。区域呈北仰南俯的断块凸起，向东南倾没，断裂构造发育，骊山周围被断层围绕，以北东东向为主，新近系中小断裂发育，形成向西南下降的一系列断块。该单元依构造自北向南进一步可分为渭南断阶、骊山凸起、白鹿塬断块、焦岱断阶 4 个次一级构造单元（图 1 - 16）。

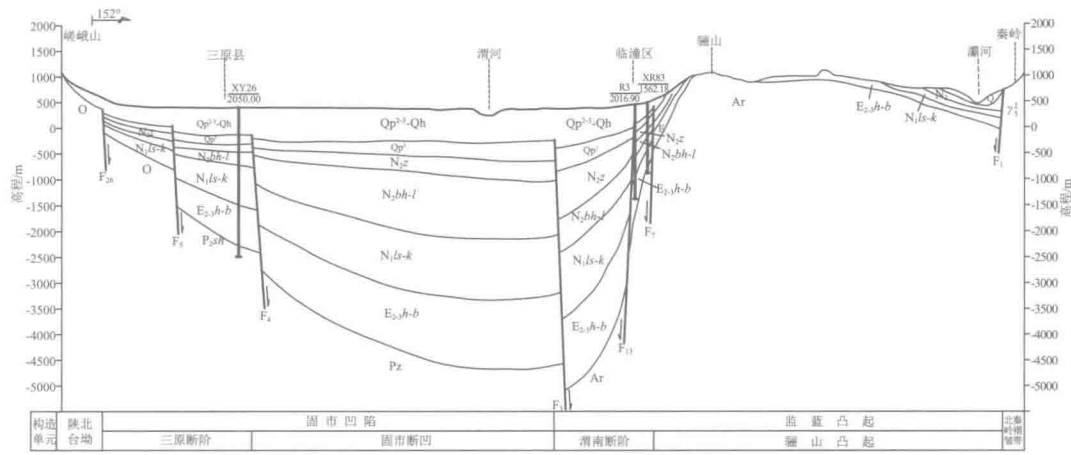


图 1 - 16 临蓝凸起典型地段剖面图

1. 渭南断阶

渭南断阶位于该单元北部，渭河断裂以南、骊山 - 北山断裂以北，即临潼以东、渭南市以南的山前区域。基底为太古宇变质岩，埋深 2500 ~ 3500m 不等，近山前者浅，远山前者深，其上为新生界所覆盖。新生界以新近系为主，约占总厚的 65%，其次为第四系和古近系，古近系缺失古新统，新近系中新统超覆于太古宇之上。基底和地层总体向北微倾。

2. 骊山凸起

骊山凸起位于该单元的中部，即骊山山体的大部分地区，基岩多出露于地表，岩性为太古宇混合岩化的片麻岩类及燕山期侵入岩体，仅在边缘覆盖有较厚的新生界。厚度变化较大，远山前者厚，近山前者薄。北部山前基底及地层向北陡倾，南部基底及地层向南缓倾。上覆地层为新生界，古近系 - 第四系均有分布，古近系缺失古新统。

3. 白鹿塬断块

白鹿塬断块位于该单元南部，灞河断裂、长安 - 临潼断裂、余下 - 铁炉子断裂相交部位，即杜曲镇 - 蓝田县的大部分地区。基底为太古宇混合岩化的片麻岩类及燕山期侵入岩体，埋藏较浅，上覆为新生界，基底及上覆地层均向南缓倾。

4. 焦岱断阶

焦岱断阶位于该单元南部，余下 - 铁炉子断裂以南、秦岭山前断裂以北的长条状区域。基底为太古宇混合岩化的片麻岩类及燕山期侵入岩体，埋藏较浅，上覆为新生界，基底及上覆地层均向南缓倾。

(五) 固市凹陷

固市凹陷位于关中盆地的东北部，南部以渭河断裂与临蓝凸起相隔，西部以泾河断裂与