

鄂尔多斯白垩系自流水盆地沉积特征、岩性分布与盆地演化规律

杨友运¹⁾ 张英利²⁾ 侯光才³⁾

1) 西安石油大学, 陕西西安 710065; 2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京 100037;

3) 西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054

摘要 鄂尔多斯白垩系含水盆地是国内特大型自流水盆地, 沉积相和盆地演化是影响含水岩组发育特征以及含水性的因素之一。笔者从盆地边界特征、盆地结构、沉积环境背景以及沉积物特征入手, 着重探讨了盆地演化与含水岩组分布规律、含水岩组沉积相与含水性之间的关系。结果发现早白垩世时, 盆地以南北向为轴、东西非均衡沉降, 盆地结构东缓西陡, 极不对称。盆内发育的洛河、环河华池和罗汉洞 3 个主要含水岩组受盆地构造演化和沉积相控制, 洛河组最发育, 分布面积最广, 环河华池组以及罗汉洞组比较局限, 同时在盆地西部沉降中心区分布的地层厚度明显大于周缘抬升带。随盆地沉积环境变化, 沿盆缘以冲积扇、河流相和三角洲平原分流河道相砂砾岩和砂岩沉积为主, 盆内由风成沙漠相、三角洲前缘相和湖泊相砂岩和泥岩组成。其中洛河组风成沙漠相砂岩, 因产状稳定、覆盖面积广、岩性组分和结构成熟度高、孔渗性能好、杂基和有害可溶组分含量低, 顶底板及边界隔挡岩性空间匹配关系合理, 形成了自流水盆地最理想的含水层。

关键词 鄂尔多斯; 白垩系; 自流水盆地; 沉积相; 岩性; 盆地演化

中图分类号: P534.53

文献标识码: A

文章编号: 1006-3021(2008)04-405-09

Depositional Characteristics, Lithologic Facies Distribution and Evolution Pattern of Cretaceous Artesian Basin in Ordos

YANG Youyun¹⁾ ZHANG Yingli²⁾ HOU Guangcai³⁾

1) Xi'an Shiyu University, Xi'an, Shaanxi 710065;

2) Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

3) Xi'an Institute of Geology & Mineral Resources, Xi'an, Shaanxi 710054

Abstract Ordos basin is one of the Cretaceous aquifer basins in China, where sedimentary facies and basin evolution constitute one of the important factors affecting the development of water-bearing formation and water content. Based on boundary features, basin structure, sedimentary environment and sediments of this basin, the authors discussed the relationships between basin evolution and distribution pattern, sedimentary facies of water-bearing formation and water content. It is indicated that, during early Cretaceous, its axis extended from south to north, and its disequilibrium subsidence appeared in E-W direction and its configuration was asymmetrical, being flat-dipping in the east and steeply-inclined in the west. Three main water-bearing formations, namely Luohe formation, Huanhe-Huachi formation and Luohandong formation, were controlled by structural evolution and sedimentary facies. Luohe formation was developed extensively, while Huanhe-Huachi formation and Luohandong formation were distributed locally. Stratigraphic thickness at the center of the subsidence was thicker than that along the uplift zone around Ordos basin. Alluvial fans, river facies and distributary channels of the delta front were mostly distributed along the basin margin, whose lithologic characters were mostly sandy conglomerate and sandstone. Thus, aeolian

本文由国家“973”项目(编号: 2003CB214607)与国土资源部“十五”重大项目“鄂尔多斯盆地地下水勘查”(编号: 1212010331302)联合资助。

收稿日期: 2007-11-16; 改回日期: 2008-03-27。责任编辑: 刘志强。

第一作者简介: 杨友运, 男, 1960年生, 汉族, 教授, 主要从事沉积学与区域地质研究; 通讯地址: 710065, 陕西省西安市电子二路东段 18 号; 电话: 029-88382789; E-mail: xadyyyxx@163.com。

desert facies, delta front and lacustrine facies are distributed at the center, whose lithologies were composed of sandstone and mudstone. Among all sedimentary facies, the aeolian desert facies sandstone of Luohe formation constitutes the best water-bearing bed, which is attributed to stable attitude, large distribution area, high textural maturity, high porosity and permeability, low heterocompound and soluble components, and reasonable spatial matching relations of roofs and floors.

Key words Ordos basin; Cretaceous; artesian basin; sedimentary facies; lithology; basin evolution

鄂尔多斯盆地是中国大型沉积盆地,面积约 $25 \times 10^4 \text{ km}^2$, 目前已成为重要的多种矿产资源聚集区和大型能源基地(长庆石油地质志, 1992), 但其地表是世界上最严重的干旱缺水地区之一。近期研究表明, 鄂尔多斯盆地白垩系含水系统是目前世界上罕见的又一特大型自流水盆地(孙永明等, 2004; 梁永平等, 2005), 地下水资源分布规律、水化学以及赋存运动状态与盆地沉积特征、岩性分布以及盆地演化规律密切相关。然而长期以来, 由于盆地内白垩系地层尚未发现能源和其他重要矿产资源, 有关研究一直不被重视。近年来, 随着盆内勘探技术和程度的提高以及地质信息丰富(郭建强等, 2001; 侯光才等, 2006; 杨郎城等, 2007), 已经普遍认识到, 尽快了解地下水运动规律与盆地结构对包括水在内的各种资源开发以及人类生存环境至关重要, 但由于早白垩世时盆地外围区域构造背景复杂, 盆地内分布范围广、层系厚度大, 沉积体系类型多, 岩性组分、岩相组合及剖面层序复杂, 致使对于白垩系沉积时盆地特征认识不够, 或者观点分歧(何自新, 2003; 梁永平等, 2003; 武毅, 2003), 这不仅影响了人们对该盆地岩性分布特征和盆地演化规律的系统了解, 也制约了对白垩系含水岩组和地下水运动特性的正确认识。基于此, 笔者试图通过盆地沉积背景、沉积相和古地理特征、岩性发育类型和组分变化以及控制因素系统分析, 探循白垩系岩性、含水层和砂体展布规律与盆地演化的关系, 进而为查明白垩系地下水赋存运动规律并正确评价水资源奠定坚实的地质理论基础。

1 岩石地层单位划分及主要沉积类型

根据陕西岩石地层划分方案(陕西省地质矿产局, 1998; 郝诒纯等, 1986), 将鄂尔多斯盆地白垩系自下而上划分为洛河组、环河华池组、罗汉洞组和泾川组(表1)。各个地层单元的界限主要依据区域性的沉积间断面、沉积相突变面以及韵律旋回。单元内岩性特征及单元之间界限特征不仅在露头剖面清晰可辨, 而且在盆内有明显的测井曲线响应特征和变化标志。近年水文地质调查和研究表明, 洛河组、环河华池组、罗汉洞组是鄂尔多斯白垩系自流水盆地系统中的3个主要含水岩组(孙永明等, 2004)。

1.1 洛河组

洛河组是一套风成沙漠相(程守田等, 1996)、河流湖泊相以及冲(洪)积物、泥石流和风化残积物沉积组合(陕西省地质矿产局, 1991), 主要岩石类型包括紫红色石英砂岩、长石石英砂岩、灰质砂岩、含砾砂岩、砾岩和泥岩以及泥质粉砂岩, 其中以石英砂岩和长石石英细砂岩为主。按岩性组分, 沉积韵律、岩相组合变化分为上下两段, 其间以区域性灰质砂岩致密层及泥岩段为划分标志。上段以风成长石石英砂岩为主, 中细粒结构, 杂基含量少, 单层厚度大, 分布区域占全盆地总面积的60%~75%, 形成了洛河含水层骨架砂体, 其次为粉砂岩和泥岩, 主要分布在湖盆中心, 粉砂岩杂基含量高, 并有少量云母碎片; 下段底部为含砾砂岩及砾岩, 以往称“宜君砾岩”(陕西省地质矿产局, 1991), 属于盆缘和盆内古高地附近坡积、残积以及冲积相沉积, 呈楔状体局部分布, 向盆内迅速变薄尖灭。下段上部仍以风成中细砂岩为主, 在盆内大部分地区有分布, 但盆地中心以及西南凹陷区, 风成沉积砂岩中还夹有湖相薄层

表1 鄂尔多斯盆地白垩系主要地层单位表
Table 1 Main Lower Cretaceous stratigraphic units in Ordos Basin

地层单元	地层段	厚度 /m	岩石类型	沉积相	沉积旋回数
泾川组		0~260	杂色砂泥岩	残流湖相	7
罗汉洞组	上段	0~180	中细砂岩	风成沙漠	6
	下段	0~35	含砾细砂岩	河流相	5
环河华池组	上段	200~500	粉细砂岩与泥岩	河湖三角洲相	4
	下段	160~460	粉细砂岩与泥岩	河湖三角洲相	3
洛河组	上段	110~430	中细砂岩	风成沙漠	2
	下段	0~46	砾岩以及含砂砾岩	冲积扇相	1

或者透镜体状泥岩。

1.2 环河华池组

由中厚层长石石英砂岩、含岩屑石英砂岩、粉砂岩、泥质粉砂岩和泥岩组成,不同地区岩性差异较大。在盆地中北部以及盆地西南缘,以含砾细砂岩、粗砂岩、中细粒砂岩为主,夹紫红色薄层粉砂岩和杂色泥岩。骨架砂体为三角洲分流河道相砂体,叠置厚度大,粒度粗;向盆内,由湖相和三角洲前缘相细砂岩和泥岩组成,泥岩为主,粒度细,三角洲水下分流河道和远砂坝砂岩呈薄层或透镜体状夹在泥岩层中,剖面发育两个正韵律层。

1.3 罗汉洞组

分上下两段,下段为河流相长石砂岩、岩屑长石砂岩和长石石英砂岩,上段为风成相紫红色巨厚层状长石石英砂岩。在盆地西北和西南部边缘局部有河湖相含砾中粗粒砂岩及粗砂岩,颗粒组分有长石、石英、云岩和灰岩等(地质矿产部第三普查大队,1965;宁夏回族自治区地质矿产局,1990),盆地中西部北段凹陷区和东南子午岭一带,发育紫红色以及杂色泥质粉砂岩和粉砂质泥岩。

1.4 泾川组

为一套河湖相厚层杂色砂质泥岩、泥岩以及泥质粉砂岩组合,在盆地北局部地区,发育含砾砂岩和粗砂岩。砂岩以长石砂岩和岩屑质长石砂岩为主,灰质和硅质胶结,岩性致密坚硬。

整个下白垩统形成了两个沉积旋回:①由洛河组底部“宜君段冲积砾岩”—洛河组风成砂岩—环河华池组湖相砂泥岩组成的沉积旋回;②罗汉洞组砂岩—泾川组湖相杂色砂泥岩以及泥灰岩旋回。下旋回厚度明显大于上旋回,在不同地区,各旋回内部岩层组之间厚度也差异很大,约从100 m变化到1300 m,洛河和环河组厚度相差300~500 m左右。

2 地层分布范围与盆地边界讨论

对早白垩世鄂尔多斯盆地的形态和边界以及各含水岩组的分布范围划分至今存在争议:一种观点认为盆地为大型内陆凹陷盆地,西界以桌子山—贺兰山—六盘山为界,东界为吕梁隆起,南接秦岭,北到阴山山前(甘肃省地质矿产局,1989;内蒙古自治区地质矿产局,1991);另一种观点则认为,盆地属于断拗盆地,西界与六盘山盆地相通,北部与河套盆地相连,东南缘受沉积相控制逐渐变化(杨友运,2004)。

通过沉积环境演化和沉积相组合特征分析发现,在盆地南部宜君老虎塔、铜川焦坪、旬邑、彬县大

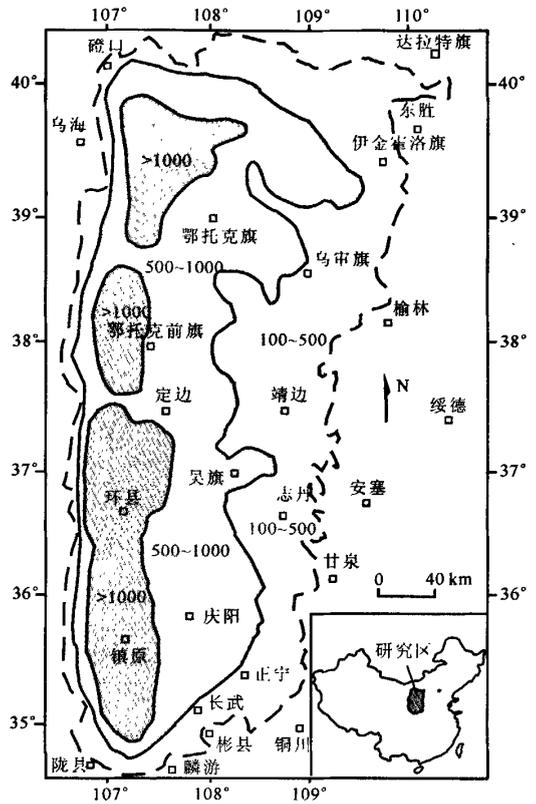


图1 鄂尔多斯盆地白垩系地层分布

Fig. 1 Distribution of Cretaceous strata in Ordos Basin

佛寺、千阳、陇县大杜阳沟一带,不仅洛河组发育有盆地边缘粗碎屑山麓堆(洪)积相,砾岩成分主要来自秦岭造山带(周鼎武等,1994)。彬县大佛寺以及铜川焦坪剖面,沉积序列由冲积扇、砾质辫状水道、风成席状砂和砾漠沉积构成互层(程守田等,1996),典型的风成沉积与水成沉积体系组合也反映了洛河组沉积边界的存在。另外,钻孔资料进一步证实,由此边界进一步向南,在三原、富平和蔡家坡等地,下新生代地层直接不整合在更老的二叠系、寒武系、奥陶系地层之上,缺失中生代地层(程守田等,1996;何自新等,2003),显然早白垩世之前,这一带已经属于隆起区,曾长期遭受抬升剥蚀。

东界沿横山石湾、安塞砖窑湾、黄陵一线,洛河组砂岩的粒度也明显较盆内吴旗、志丹一带粗,发育1~3 m厚的盆地边缘砂砾岩相。在合水与富县之间,环河华池组中见有滨湖相曝露标志,表明湖盆已进入东部边缘(陕西省地质矿产局,1991)。由于盆地东缘抬升剥蚀,现今地层保留厚度一般小于100 m(图1),仅是盆地内的1/3。

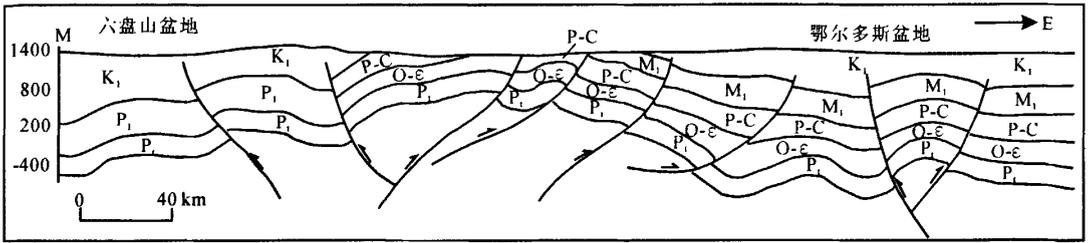


图2 早白垩世鄂尔多斯盆地和六盘山盆地示意剖面图(剖面位置见图4②)

Fig. 2 Geological section of Early Cretaceous Ordos basin and Liupanshan basin (for section line see Fig. 4 ②)

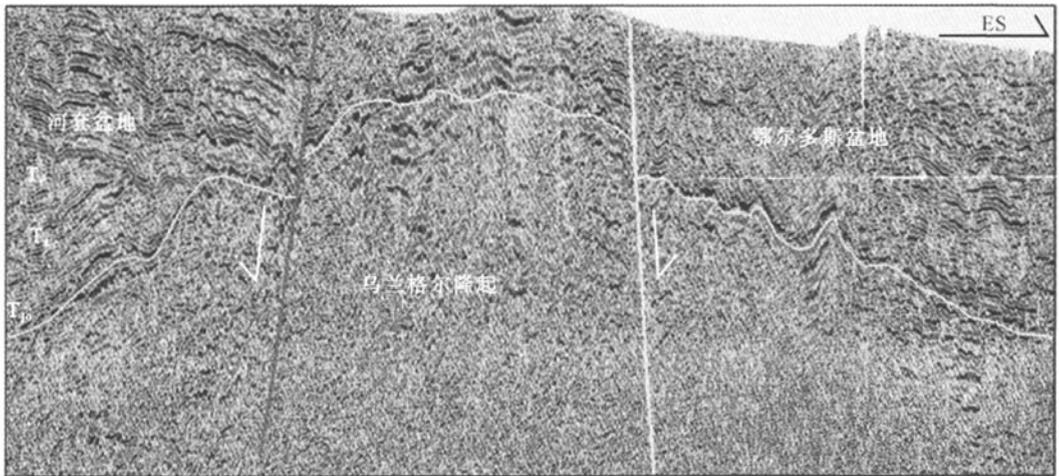


图3 YM93-588线乌兰格勒古隆起南北盆地结构图(剖面位置见图4③)

Fig. 3 SN-trending basin structural map of Wulanger paleo-uplift along YM93-558 line (for section line see Fig. 4 ③)

为了确定盆地西界和北界,有必要讨论与六盘山及河套盆地关系。对比分析发现,鄂尔多斯盆地白垩统泥岩微量元素 B/Ga 值为 $3.88 < 4.5$, Sr/Ba 值为 $0.368 < 1.5$;而六盘山群中 B/Ga 值为 $4.64 > 4.5$, Sr/Ba 值为 $2.11 > 1.5$,前者属于淡水,而后者为封闭的富盐咸水环境,显然湖盆水系性质不同,说明志丹群与六盘山群分属于鄂尔多斯和六盘山两个完全独立的盆地体系(李学礼,1980)。另外,在鄂尔多斯西缘,自北向南沿桌子山—东麓—马家滩—平凉—安口窑—崇信一带,下白垩统地层中均发育有边缘砾岩相(宁夏回族自治区地质矿产局,1990),说明早白垩世盆地西缘曾有同生断裂活动,断裂带控制了鄂尔多斯盆地边界,湖水并未超越西缘构造隆起带进入六盘山盆地(图2)。

在鄂尔多斯盆地北部乌兰格勒隆起的北翼,深孔钻探资料揭示(长庆油田石油地质志,1992),沉积相组合呈洪积相—河流—湖泊沉积体系演化,反映物源方向由南向北进入河套盆地内。与之相反,

在乌兰格勒隆起南斜坡,甚至在杭锦旗一带井下以及东胜露头区,由北向南洛河组和环华池组也见有盆地边缘洪积、冲积扇砾岩—河流相砂岩—湖相砂泥岩沉积组合,粒度逐渐变细,厚度增大(地质矿产部第三石油普查大队,1965;周鼎武等,1994),进一步表明当初鄂尔多斯盆地与河套盆地分属于不同湖泊体系,乌兰格勒古隆起属于天然分界岭,并且其风化物同时向南北两个盆地提供沉积物源(图3)。

综合上述特征认为,鄂尔多斯盆地白垩统地层分布范围西以桌子山—贺兰山—六盘山为界,东以清水河—榆林—延安—宜君盆地边缘相为界,杭锦旗—东胜以南以及渭北的陇县—千阳—彬县铜川分别为南北界限,分布面积约 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$,约占盆地面积的 $2/3$ (图1)。其中洛河组分布最广,区域上与下伏的侏罗系安定组和直罗组呈不整合超覆接触,环华池组、罗汉洞组和泾川组因受晚白垩世后期区域性构造抬升运动剥蚀,厚度残缺不全,现今范围收缩到盆地西部和北部拗陷区。

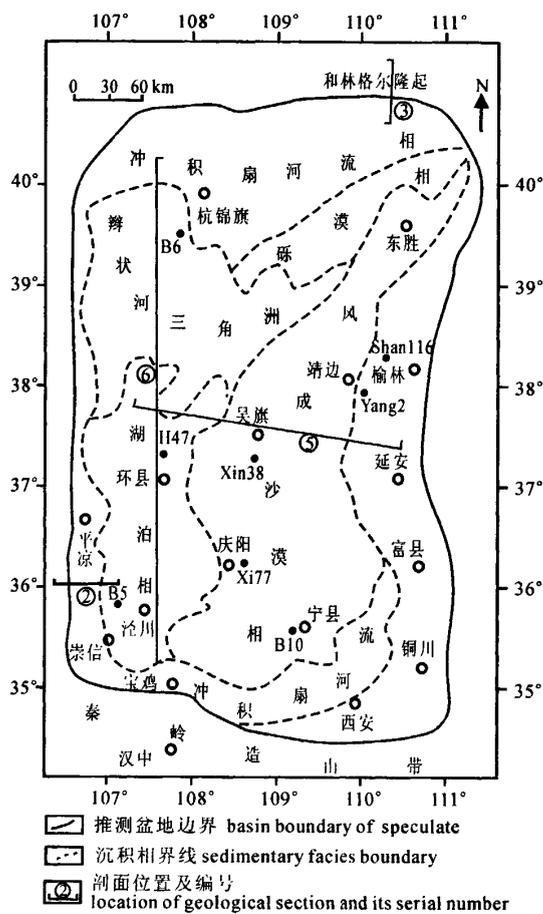


图4 鄂尔多斯盆地洛河组沉积相分布图

Fig. 4 Sedimentary facies distribution of Luohe Formation in Ordos basin

3 主要含水岩组的岩性发育特征与沉积相

在下白垩统洛河、环河华池、罗汉洞3个主要含水岩组中,通过分析位于位于乌兰格隆起南翼、伊盟隆起、白于山、盆地中南腹地以及南缘渭北隆起上的7条东西向剖面 and 穿越盆地南北的3条剖面资料(分别位于西翼、轴部和东翼),认为主要岩石类型、岩性组分和厚度在垂向和横向的分布变化规律与沉积相密切相关。

3.1 洛河组

洛河组是全盆地白垩系砂体最发育的地层,厚约200~500 m,覆盖面积约占盆地的2/3,既有冲积相砂砾岩也有风成砂岩(图4)。区域上,根据剖面特征可分出两段:下段在盆内鄂前旗、杭锦旗、姬塬、

吴旗以及南部华池、灵台等地,大部分地区为风成相石英细砂岩,层厚190~240 m,砂体连通性和延伸性强。盆地周缘和盆内局地凹陷区,也发育有扇状和带状坡积、冲积相砂砾岩和砂岩。泥岩主要分布于盐池、环县、安塞和鄂旗等地;上段在盆地北部杭锦旗、鄂前旗、环县以北、定边姬塬,为冲积扇、辫状河以及三角洲平原分流河道相含砾砂岩、粗砂岩以及中砂岩,厚175~235 m。在东部大部分地区,以风成厚层中细粒长石石英砂岩为主,累计砂层厚120~170 m。在乌审旗、盐池、环县凹陷区以及黄陵县上珍子等地,为风成砂岩与三角洲前缘相互层,砂岩明显减薄,泥岩特别发育,砂厚45~85 m。

综观全区,含水层以及骨架砂体分布规律受沉积环境和古地理影响,冲积扇、三角洲分流河道和水下河道是主要沉积相,砂带沿盆地边缘向盆地内延伸,顺流向分布,以南北为主,单层砂体厚度较大的地区基本为分流河道主河道和河口砂坝相,三角洲平原辫状河道砂体连续成片状或者带状展布。

3.2 环河华池组

环河华池组是仅次于洛河组的又一重要含水岩组,在湖盆周缘和北部为三角洲分流河道和浅湖滩坝相砂岩大面积分布,而盆内主要为湖相泥岩、粉砂质泥岩,砂岩层较薄,多为透镜体状,再进入西部湖盆拗陷区,以泥岩为主。根据剖面结构分为上下两大沉积旋回,其中上旋回段在盆地北部鄂托克前旗—杭锦旗和西部环县姬塬等地,发育三角洲平原分流河道和前缘水下分流河道相砂体,砂厚20~50 m。在盆地中南部定边胡尖山、志丹县以西、盐池、环县以及南部镇原三岔等地,为湖相泥岩和粉砂质泥岩分布区;下旋回中砂岩相对发育,主要分布在盆地西北部的盐池、环县、耿湾以及演武等地,沉积环境属于冲积扇和三角洲平原分流河道,骨架砂体顺流向盆地内延伸,累计砂厚20~40 m,最厚达80~150 m。而粉砂岩和泥岩主要分布在鄂前旗苏里格、靖边、乌审旗尔林滩,为三角洲分流河间洼地以及河漫滩相,在志丹、合水、庆阳、灵台以及盆地耀县庙湾等地,以浅湖相细粒粉砂岩和泥岩沉积为主。

3.3 罗汉洞组

罗汉洞组残留面积较小,主要见于盆地西部和北部,由长石石英砂岩,含岩屑石英砂岩和灰云质砂岩组成。在北部榆林到杭锦旗一带,由河流相砾岩、含砾砂岩、砂岩、粉砂岩和粉砂质泥岩组成,韵律层发育,泥质和砾质含量高,岩石类型多,成分结构复杂,分选性差。而在盆地西部盐池、泾川、镇原和环

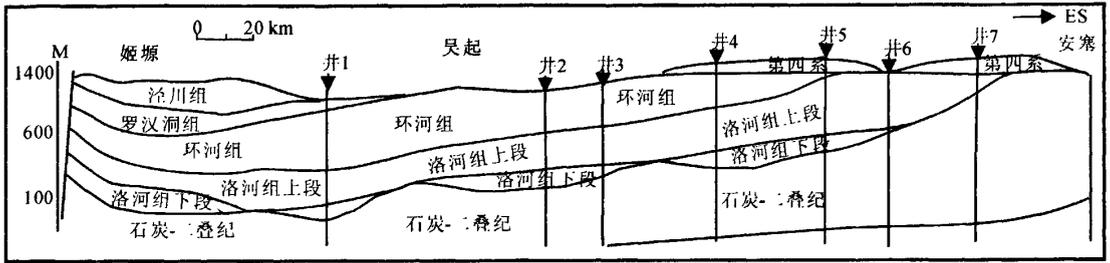


图5 鄂尔多斯盆地北部EW向白垩系剖面及盆地结构模式(剖面位置见图4⑤)

Fig. 5 EW-trending Cretaceous section and structural pattern of Ordos basin (for section line see Fig. 4 ⑤)

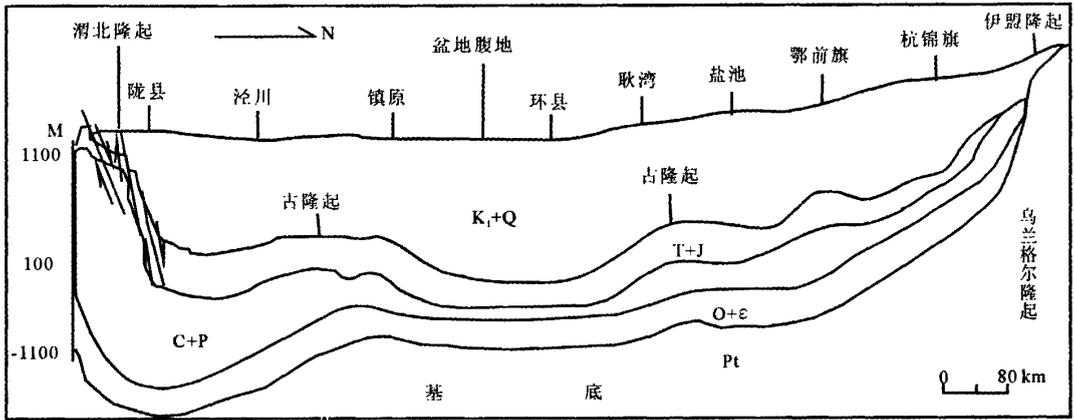


图6 南北向剖面中恢复的鄂尔多斯盆地白垩系盆地结构形态(剖面位置见图4⑥)

Fig. 6 Framework of Cretaceous basin, renewed Ordos basin in NS-trending section (for section line see Fig. 4 ⑥)

县—线拗陷区,以风成厚层长石石英砂岩、细砂岩和粉砂岩为主,底部有少量河流相细砾粉砂岩。其次在姬塬、麻黄山、盐池青山一带,既有风成砂岩,也有河流相长石细砂岩。

4 盆地构造演化与沉积发育以及岩性分布规律的关系

4.1 早白垩世构造运动决定盆地结构形态和地层发育特征

侏罗纪末期—早白垩世,燕山运动使鄂尔多斯盆地发生了自三叠纪和侏罗纪后的又一次拗陷,主体拗陷区的长轴方向为南北向。由于盆地边界经历了不同的构造应力,升降作用不均衡,导致盆地西倾,边缘斜坡东缓西陡,沉降中心明显西移。现今的洛河组底面海拔,由盆地东部露头区 +1200 m 演化到盆地西部沉积中心区的 -20 m,相差约 1200 m (图5)。盆地轮廓和基本形态幕式的再现了晚三叠世东高西低的非均衡不对称特征。最大沉降区呈南北向带状位于宁夏和内蒙交界处的天池—甘肃环

县—庆阳—镇塬及泾川—线,并沿鄂托克旗—盐池—环县—镇原—泾川—线形成了南北向串珠式分布的次级沉积中心(图1)。

由东向西,岩层展布总体趋势是厚度逐渐增大。其中在盆地东翼坡降小,盆地地形开阔,岩层产状稳定,结构均匀,厚度均一,主要以洛河组厚层砂岩沉积为主,环河华池组除南部子午岭一带残存泥岩和粉砂质泥岩韵律层外,其余东部大部分地区缺失;进入盆地拗陷区带,下白垩统层系发育洛河组、环河华池组、罗汉洞组和泾川组,岩性由泥岩、粉砂质泥岩和砂岩组成,泥岩厚度明显较两翼厚,砂岩层变薄;在盆地西翼,从洛河组到泾川组,地层厚度变化大,倾角较陡,岩性组分复杂,颗粒粗,分选差。

在南北向,盆地总体南部拗陷幅度大,北翼宽缓,东部和南部相对平坦。但盆内基底形态起伏不平,其中在北部和西部,基底台拗相间,形态变化复杂,东胜—榆林北—鄂前旗,耿湾—麻黄山—姬塬、演武—镇原一带有3个隐伏古隆起(图6),所以岩性、岩相、地层厚度变化较大。以洛河组为例,在北

部杭锦地区,以砂岩沉积为主夹砾岩,颗粒粗,分选较差,胶结致密;在鄂前旗和耿湾地区也以砂岩为主,底部见有含砾砂岩及细砾砂岩透镜体,但同时夹有较多的薄层泥岩及泥岩透镜体,说明进入湖相;向南到环县和泾川地区,已完全进入盆地腹变为湖相,地层厚度大于1000 m,但以泥岩沉积为主,砂厚明显减薄。环国华池组岩层也存在差异,岩层西厚东薄,颗粒总体北粗南细、外粗内细,西粗东细,北部砂岩以碳酸盐胶结物为主,南部则为硫化物和碳酸盐胶结。

4.2 盆地构造演化控制早白垩世不同阶段地层展布范围

早白垩世,盆地发生的同生或者准同生构造运动呈非均衡旋回性抬升下降,同时伴随着湖进湖退,导致沉积相序韵律变化形成了下白垩统洛河—环河组和罗汉洞—泾川组两大沉积旋回。由于早期盆地持续沉降,形成了较厚的洛河组,盆地四周均有清晰的边缘相带;环国华池组沉积时,虽然湖盆外侵,沉积边界扩大,地层理应广覆于洛河组之上,然而因地层沉积之后遭盆地受强烈的非均衡抬升剥蚀作用,使得东部地层迅速减薄或者缺失尖灭,所以现今残留地层边界明显较早期洛河组西移;到上旋回罗汉洞和泾川组沉积时,上述作用进一步加剧,晚白垩世后期区域性构造抬升运动影响,不仅盆地肢解,造成数个残缺洼地,而且盆内沉积地层和残留厚度均减小,分布范围仅仅局限于西部和北部地区,其他大部分地区缺失。甚至在整個早白垩世之后,区域性的非均衡构造抬升运动仍在继续,造成下白垩统地层东薄西厚,上白垩统以及第三系地层的缺失。

4.3 盆地演化影响沉积相带类型及岩性分布特征

沉积相分析表明,白垩系沉积环境既有湖相,也有河流、冲积扇、湖泊三角洲以及风成沙漠相,在盆地演化不同阶段,随着沉积环境变化,沉积相类型及岩性组合特征也不断改变。

早白垩世初期,基岩顶面受风化剥蚀以及冲刷作用影响,盆地凸凹不平,沉积体厚度和岩性变化大。盆周缘以及盆内古高地旁附近堆(沉)积了洛河组下段坡积、残积物和洪积相砂砾岩相,呈大小不同的砂砾岩扇状、丘状以及透镜体,向盆内迅速相变减薄,或者尖灭。

中期,盆内起伏逐渐夷平,伴随盆地快速非均衡沉降,接受了洛河组和环国华池组的风成相、河流相以及湖泊和三角洲相沉积,沉积厚度大,分布广,砂体发育。其中洛河组风成砂岩为主要沉积类型,形

成有典型的沙漠和沙漠边缘两类沉积组合:沙漠沉积组合分布在盆地内以及盆地东部,以沙丘为主体,带状展布,局部夹有丘间和小型沙漠湖泥质沉积。沙漠边缘沉积组合,沉积序列由早谷式冲积扇砂砾岩、砾质辫状水道、风成席状砂和砾漠沉积互层构成,主要见于盆地南北台地斜坡边缘;河流相和三角洲平原分河道相主要分布在盆地北部以及北东缘,进入盆内,主要为三角洲前缘和前三角洲相,砂体发育厚度、形态和伸展范围、空间叠置关系以及侧向迁移规律往往取决于三角洲的进积退积以及湖进湖退演化速度、运动幅度和持续时间;在盆地腹地和西部镇原、环县以及盐池凹陷区,主要以湖相泥岩和杂色和灰绿色粉砂岩为主,砂岩不发育。

晚期,盆地全面非均衡隆起抬升,东高西低,罗汉洞组在东部大部分地区没有接受沉积,或者虽然沉积很薄但又被剥蚀,现今仅在西部和西北拗陷带局限有残留,由下段的河流相和上段风成砂岩组成,底部河流相沉积层序中泥岩夹层比风成沉积砂岩中多。

泾川组沉积时,盆地内进一步隆升分隔,沉降中心向北、向西扩展,导致泾川组在千阳—陇县—泾川—庆阳—环县—天池—鄂托克旗—东胜一带形成“ Γ ”型残留湖相杂色砂泥质沉积(长庆石油地质志,1992)。至此,长期发育的鄂尔多斯大型不对称盆地结束了沉积历史,开始了隆起、剥蚀新阶段。

5 岩性特征及其水文地质意义

鄂尔多斯盆地白垩系自流盆地是一个巨型地下水系统(孙永明等,2004),地下水储存体形态规模和边界条件、水运动场、水化学场变化均与盆地结构形态以及岩性分布规律有关(Habermehl,2002)。洛河组和罗汉洞组含水岩组,岩性以厚层风成相、河流相石英砂岩、长石石英砂岩为主,砂体结构均匀,孔渗连通性好,有利于补、径、排,颗粒间胶结物和杂基含量低,可溶组分少,地下矿化度低(李学礼,1980),从而形成优质水含水层。环国华池组与泾川组含水岩组主要由湖相和三角洲相砂岩组成,以长石石英砂岩和粉砂岩为主,空间分布和岩性变化明显受沉积微相和成岩条件控制,砂体多为带状和透镜体状,分隔封闭性强,除盆地边缘河流以及三角洲平原河道含水砂体因抬升地表水质条件较好外,盆内大部分地区三角洲前缘水下分流河道以及湖相滩砂为孤立砂体,补、径、排条件差,杂基含量高,成岩变化、孔渗结构和可溶组分复杂,封闭还原体系中矿化度高,不利于砂体中水循环。

研究中还发现,主要含水砂岩层的封隔层以及遮挡层岩性分布变化规律与泥岩发育和碳酸盐等化学胶结物有关。在沉积层序与沉积相序演化中,砂泥岩的韵律变化层、泥岩侧向遮挡层以及由成岩作用造成的胶结致密带均是本区形成水系隔层、含水层顶底板和边界封存的基本条件,洛河、罗汉洞组局部隔层主要在盆地腹地,以薄泥岩夹层和透镜体为主,侧挡层主要由三角洲分流河道间泥岩组成。环河华池组含水岩组中,三角洲和湖相砂泥层的韵律变化控制了含水砂体、顶底板和边界封存泥岩的发育和分布,砂体含水性变化,孤立含水砂体,规模小,数量多,互相叠置但不沟通,水下循环系统及水质差。所以,岩性发育特征和盆地演化规律不仅影响盆地含水层系统特性和含水层层空间分布,而且为分区评价地下水水质、计算资源量奠定了坚实的地质理论基础。

6 结论

(1)鄂尔多斯白垩系自流水盆地属于西倾非均衡沉降盆地,沉降中心位于南北向轴部西侧,基底起伏不平,凹陷区地层厚度明显大于盆地两翼。

(2)燕山晚期,鄂尔多斯盆地西缘以断层与六盘山盆地相隔,北缘以乌兰格古隆起与河套盆地分开,属于独立盆地。周缘见有洪积扇、河流相粗碎屑边缘岩相沉积。

(3)盆内岩性发育和地层分布受沉积环境及构造演化规律控制,盆内斜坡带为三角洲前缘相及滩坝相,水下分流河道砂为骨架砂体,腹地凹陷区主要由粉砂岩和泥岩组成。受盆地抬升下降运动剥蚀与残留变化规律影响,盆地东部和边缘剥蚀作用最强,残留厚度小,腹地及西部拗陷区地层发育全,保留厚度大。

(4)下白垩统在剖面上,有洛河—环河组和罗汉洞—泾川组两大沉积旋回,洛河组、环河华池组以及罗汉洞组三个含水岩组,旋回以及韵律层是控制岩性空间变化的重要因素之一。

(5)洛河含水岩组分布最广,并因风成相石英砂岩因其分选好,杂基少、颗粒可溶组分少、孔渗发育,从而成为最有利的含水岩性。其次是环河华池组,罗汉洞仅在西部和北部拗陷区残留。

致谢 本文形成过程中得到了“973”首席科学家西北大学刘池洋、陕西省国土资源厅王德潜、西安地质矿产所李文渊和宁夏地矿局孙永明同志的帮助与支持,以示谢意!

参考文献

- 长庆油田石油地质志编写组编. 1992. 长庆石油(中国石油地质志卷十二)[M]. 北京:石油工业出版社.
- 程守田,李思田,黄焱球,等. 1996. 风成沉积体系—鄂尔多斯盆地下白垩统风成沉积与内陆古沙漠环境. 见李思田:含能源盆地沉积体系[M]. 武汉:中国地质大学出版社.
- 地质矿产部第三石油普查大队. 1965. 鄂尔多斯盆地北部白垩系专题研究总结报告[R].
- 甘肃省地质矿产局. 1989. 甘肃省区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 郭建强,武毅,曹福祥,朱庆俊. 2001. 西北地区孔隙地下水矿化度评价的地球物理方法研究与应用[J]. 地球学报,22(4):375~379.
- 郝治纯,苏德英,李友桂,等. 1986. 中国的白垩系[M]. 北京:地质出版社.
- 何自新. 2003. 鄂尔多斯盆地演化与油气[M]. 北京:石油工业出版社,109~133.
- 侯光才,林学钰,苏小四,王晓勇,刘杰. 2006. 鄂尔多斯白垩系盆地地下水系统研究[J]. 吉林大学学报(地球科学版),36(3):391~398.
- 李学礼. 1980. 水文地球化学[M]. 北京:原子能出版社.
- 梁永平,韩行瑞,时坚,尹立河. 2005. 鄂尔多斯盆地周边岩溶地下水系统模式及特点[J]. 地球学报,26(4):365~369.
- 梁永平,时坚,张良,刘德深. 2003. 引起陕西渭北东、西部岩溶地下水特征差异性的区域地质背景对比[J]. 地球学报,24(2):167~170.
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1991. 内蒙区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 宁夏回族自治区地质矿产局. 1990. 宁夏自治区区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 陕西省地质矿产局. 1991. 陕西省区域地质志[M]. 武汉:中国地质大学出版社.
- 陕西省地质矿产局. 1998. 陕西省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社,253~260.
- 孙永明,乔光东. 2004. 鄂尔多斯白垩系自流水盆地地下水系统初步分析. 见侯光才,张茂生. 鄂尔多斯盆地地下水资源与可持续利用[M]. 西安:陕西科技出版社,52~71.
- 武毅. 2003. 鄂尔多斯白垩系盆地地下水地球物理勘查特点和技术[J]. 地球学报,24(5):479~482.
- 杨勤城,文冬光,侯光才,张茂省,庞忠和,王冬. 2007. 鄂尔多斯白垩系自流水盆地地下水锶同位素特征及其水文学意义[J]. 地质学报,81(3):405~411.
- 杨友运. 2004. 印支期秦岭造山活动对鄂尔多斯盆地延长组沉积特征的影响[J]. 煤田地质与勘探,32(5):7~10.
- 周鼎武,赵重远,李银德,等. 1994. 鄂尔多斯盆地西南缘地质特征及其与秦岭造山带的关系[M]. 北京:地质出版社.

References

- Bureau of Geology & Mineral in Gansu province. 1989. Areal geological records in Gansu province [M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

- Bureau of Geology & Mineral in Inner Mongolia municipality. 1991. Areal geological records in Inner Mongolia municipality[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Bureau of Geology & Mineral in Ningxia Hui municipality. 1990. Areal geological records in Ningxia municipality[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- Bureau of Geology & Mineral in Shaanxi province. 1991. Areal geological records in Shaanxi province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- Bureau of Geology & Mineral in Shaanxi province. 1998. Rock stratum of Shaanxi province[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 253~260 (in Chinese).
- CHENG Shoutian, LI Sitian, HUANG Yanqiu, et al. 1996. Aeolic sedimentary system-aeolic sedimentary and inland ancient desert environment during lower Cretaceous in Ordos basin. In Li Sitian. Sedimentary system in basin of containing resources[M]. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese).
- GUO Jianqiang, WU Yi, CAO Fuxiang, ZHU Qingjun. 2001. The application of geophysical techniques to estimating salinity of porous groundwater in Northwest China[J]. Acta Geoscientica Sinica, 22(4): 375~379 (in Chinese with English abstract).
- HABERMEHL M A. 2002. Groundwater movement and hydrochemistry of the great artesian basin, Australis[J]. Australis geological society of Australis, 43: 228~236.
- HAO Yichun, SU Deying, LI Yougui, et al. 1986. Cretaceous of China[M]. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).
- HE Zixin. 2003. Evolution and oil and gas of Ordos basin[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 109~133 (in Chinese).
- HOU Guangcai, LIN Xueyu, SU Xiaosi, HOU Guangcai, LIU Jie. 2006. Groundwater system in Ordos Cretaceous artisan basin (CAB)[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 36(3): 391~398 (in Chinese with English abstract).
- LI Xueli. 1980. Hydrology geochemistry[M]. Beijing: Atomic Energy Press (in Chinese).
- LIANG Yongping, HAN Xingrui, SHI Jian, YIN Lihe. 2005. The Karst groundwater system in the peripheral area of Ordos basin: its patterns and characteristics[J]. Acta Geoscientica Sinica, 26(4): 365~369 (in Chinese with English abstract).
- LIANG Yongping, SHI Jian, ZHANG Liang, LIU Deshen. 2003. Comparison of regional geological background between the east part and the west part of Weibei area, Shaanxi province, and the influence of their difference upon Karst groundwater characteristics[J]. Acta Geoscientica Sinica, 24(2): 167~170 (in Chinese with English abstract).
- Ministry of Geology & Mineral third oil search team. 1965. Generalization report of monographic study in north of Ordos basin (in Chinese)[R].
- Petroleum geology records of Changqing oil field writing group. 1992. Changqing oil field[M]. Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese).
- SUN Yongming, QIAO Guangdong. 2004. The initial analysis of under-water system during Cretaceous in artesian basin of Ordos. In HOU Guangcai, ZHANG Maosheng. Groundwater resources and continuable use in Ordos basin[M]. Xi'an: Shaanxi Science and Technology Press, 52~71 (in Chinese).
- WU Yi. 2003. Characteristics and techniques of geophysical exploration in search for groundwater in Ordos Cretaceous basin[M]. Acta Geoscientica Sinica, 24(5): 479~482 (in Chinese with English abstract).
- YANG Xuncheng, WEN Dongguang, HOU Guangcai, ZHANG Maosheng, PANG Zhonghe, WANG Dong. 2007. Characteristic of strontium isotope of groundwater and its application on hydrology in the Ordos Cretaceous Artesian Basin[M]. Acta Geologica Sinica, 81(3): 405~411 (in Chinese with English abstract).
- YANG Youyun. 2004. Influence of Qinling Orogenic Movements in Indo-Chinese Epoch to sedimentary characteristics of Yanchang Formation in Ordos Basin. Geology & Exploration, 32(5): 7~10 (in Chinese with English Abstract).
- ZHOU Dingwu, ZHAO Chongyuan, LI Yinde, et al. 1994. Geological features of southwest margin of Ordos basin and its relationships with Qinling orogenic belt. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese).

敬告本刊作者

《地球学报》为了进一步加强学术交流、扩大学术影响,决定把1979年创刊以来的各期文章(包括部分增刊),制成PDF电子文档并通过网络自主发布。由于种种原因,难以逐一联系所有作者并请赐惠肯。如有作者不愿将其文章在网络上发布,请向我编辑部声明。

联系方式 电话:010_68327396,010_68992351
 传真:010_68327396
 电邮:dqxb@hotmail.com;

diqixb@126.com

对因此给作者带来的不便,深表歉意。

本刊由中国地质科学院主办,1979年创刊时的刊名为《中国地质科学院院报》,1994年更名为《地球学报——中国地质科学院院报》,2001年定名为《地球学报》。

《地球学报》编辑部 敬启
 二〇〇七年十二月十七日