

鄂尔多斯盆地石炭-二叠系 沉积特征与储集条件

魏红红

(西北大学地质系, 陕西西安 710069)

彭惠群 李静群 谢正温

(长庆石油勘探局井下技术作业处, 甘肃庆阳 745113)

鄂尔多斯盆地石炭-二叠系形成于陆缘障壁海→三角洲→河流→湖沼的沉积环境, 自下而上构成一个由石英砂岩→岩屑石英砂岩→岩屑砂岩的沉积序列。本溪组、太原组、山西组、下石盒子组又各自由三个次一级的沉积序列组成。河道砂体和三角洲前缘砂体是有利于天然气富集的储集体, 储集空间可归纳为: 大孔粗喉型(I)、大孔细喉型(II)、小孔细喉型(III)和细孔微喉型(IV)四类。I类占 11.91%, II类占 50.53%, III类占 28.06%, IV类占 9.50%, 工业气流一般都形成在前三类储层孔隙中。

关键词 鄂尔多斯 盆地 沉积相 储层 石炭系 二叠系

第一作者简介 魏红红 女 26 岁 硕士生 沉积学

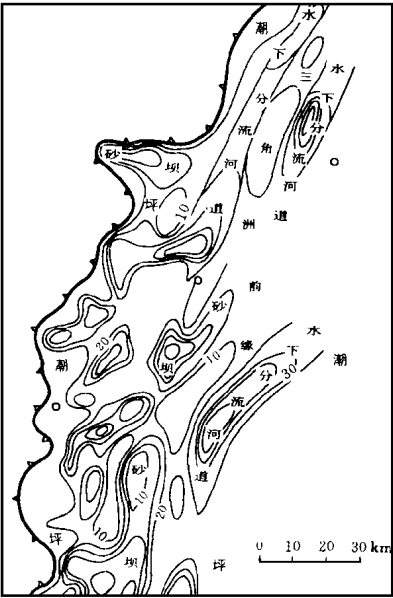


图 1 鄂尔多斯盆地中部石炭系本溪组岩相古地理图

1 沉积相特征

鄂尔多斯盆地石炭系至上二叠统在其沉积历史中, 经历了由海到陆、从河到湖的沉积环境转变。

1.1 本溪组

本溪组沉积初期, 东部广泛发育潮下带, 岩性主要为生物碎屑泥晶灰岩与碳质泥岩、泥岩及煤不等厚互层, 水平纹层较发育, 生物搅动明显, 既有保存完整的纺锤虫和有孔虫, 也有壳体破碎的腕足类和腹足类化石。

本溪组形成后期, 地壳快速整体下降, 海水进侵, 海平面上升, 形成了基底波状起伏的局限浅海环境。随之, 海平面下降, 海水退却, 本区处于潮坪、小型砂坝环境, 仅在东北角发育三角洲前缘水下分流河道(图 1)。潮坪相沉积主要由泥岩夹粉砂岩组成, 发育透镜状层理及水平波状层理, 含少量植物化石, 发育生物扰动构造。其中潮汐砂泥互层水平层理、压扁层理极为

发育。具有向上变细的沉积层序, 层序底部以砂坪相开始, 向上过渡为混合坪相, 顶部为泥坪相, 泥坪相之上多发育泥炭坪相, 有煤层形成。

1.2 太原组

太原组沉积初期, 靖边以北为三角洲, 以南为离岸砂坝沉积(图2)。当时本区属稳定型海岸, 构造运动微弱, 海底平缓, 水动力条件较弱, 物质供给少, 为一套砂泥岩薄互层及泥粉晶生物碎屑灰岩组成的含煤建造。三角洲、离岸砂坝一般由2~3个砂体叠置而成, 自下而上有向陆一侧迁移的趋势。单砂体厚8~12 m, 叠置复合砂体厚30~50 m。砂体底平顶凸, 靠陆一侧缓, 靠海一侧陡, 平面上为低弯度条带状、串珠状或雁行状, 呈NE或NNE向展布。

太原组沉积后期, 潮坪沉积遍布全区。潮间带以砂岩、亮晶-粉晶灰岩为主, 亮晶灰岩呈薄层状夹于粉晶灰岩之间, 化石破碎, 波痕发育; 潮上带则主要为泥岩、粉砂岩互层并夹薄层泥晶灰岩, 常见鸟眼、膏模和干裂等构造。总之, 当时海水处于局限流通状态, 具有特殊的水文条件, 水介质的能量一般不高, 波浪作用弱, 潮汐作用显著。

1.3 山西组

山西组初期, 三角洲平原、分流河道和分流间沼泽是其主体沉积。三角洲平原分流河道砂体呈鸟爪状, 而几个沉积旋回的砂岩叠合后则呈朵状。砂岩累积厚20~80 m, 成层性差, 不均质性强, 横向变化大, 侧向加积和前积十分普遍, 只有在砂体互相切割、叠置时方可构成规模较大的储集复合体^[2]。

山西组沉积后期, 仅发育三角洲相, 其中靖边以北为三角洲平原, 以南为三角洲前缘(图3)。沉积物主要由石英砂岩、长石石英砂岩、岩屑石英砂岩及泥岩组成, 发育水平层理、沙纹层理、大型板状及槽状交错层理。砂岩的成分成熟度和结构成熟度均低, 杂基含量高。

北部三角洲平原的分流河道微相是最粗的沉积物^[1], 具向上变细的正粒序。砂体形态呈条带状及长透镜状, 有丰富的植物化石和碳屑。南部三角洲前缘层序下部由粉砂岩、泥岩组成, 夹细砂岩薄层, 发育水平层理、水平波状层理及沙纹层理; 向上过渡为板状交错层理及沙纹层理的中、细粒石英砂岩、长石石英砂岩, 交错层理细层倾向多具双向性, 系前缘砂坝相沉积; 层序上部又过渡为前缘砂坝相中、粗粒砂岩。

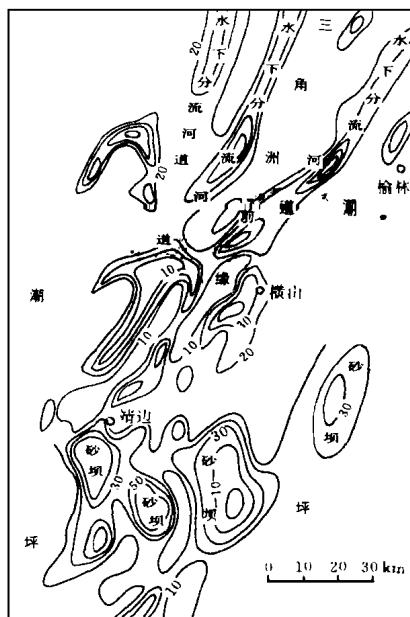


图2 鄂尔多斯盆地中部晚石炭世太原期岩相古地理图

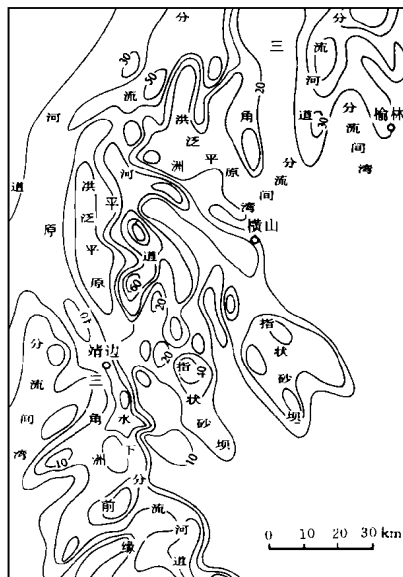


图3 鄂尔多斯盆地中部早二叠世山西期岩相古地理图

1.4 石盒子组

下石盒子组沉积期,气候由温湿演变为干热,植被大量减少,形成一套黄绿色陆相碎屑沉积。北部物源区继续抬升,河流进一步向南推进。早期湖岸线在靖边一带,北部为三角洲平原,南部为三角洲前缘(图4)。后期湖岸线向北部推进,仍然是北部为三角洲平原,南部为三角洲前缘。整体看来,下石盒子组下部为中-厚层状岩屑石英砂岩、岩屑砂岩夹杂色泥岩,向上

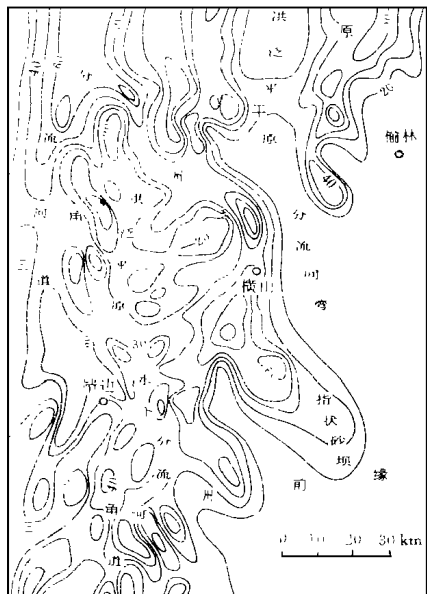


图4 鄂尔多斯盆地中部早二叠世下石盒子组岩相古地理图

变为砂泥岩互层。砂岩累计厚度50~80 m,单砂层厚3~10 m。下石盒子组一般有3到4期河道沉积,河道迁移形成的席状砂和决口扇砂体均较普遍。由于物源杂,软组分多,水动力条件弱,其砂岩成熟度较低,储集物性也相对较差。

上石盒子组沉积期,形成大面积的滨浅湖和洪泛平原沉积。岩性以杂色泥岩夹薄层粉细砂岩为主,砂泥比为20%~30%。泥岩单层厚度5~40 m,累计厚度80~120 m。泥岩中常见干裂、虫迹、雨痕等构造,砂泥混杂,层序不清,属洪泛湖间歇沉积。吴旗、富县一带湖水较深,泥岩水平层理广泛发育。

上石盒子组沉积期,形成大面积的滨浅湖和洪泛平原沉积。岩性以杂色泥岩夹薄层粉细砂岩为主,砂泥比为20%~30%。泥岩单层厚度5~40 m,累计厚度80~120 m。泥岩中常见干裂、虫迹、雨痕等构造,砂泥混杂,层序不清,属洪泛湖间歇沉积。吴旗、富县一带湖水较深,泥岩水平层理广泛发育。

2 沉积环境的演变

石炭-二叠纪沉积相演化特点是,由海相逐渐过渡为过渡相与陆相交替。海相沉积为陆源障壁海沉积,出现于石炭系。过渡相沉积由三角洲和近海湖泊沉积物组成,出现于太原组顶部和山西组。陆相沉积由河流和湖泊沉积物组成,出现于下石盒子组和上石盒子组。古气候的演化特点是,由温暖潮湿逐渐过渡到炎热干旱,两者大致分界于早二叠世晚期。

古气候的演化特点是,由温暖潮湿逐渐过渡到炎热干旱,两者大致分界于早二叠世晚期。

2.1 石炭纪

石炭纪沉积由华北海和祁连海沉积物组成,两者分界于东经107°附近。华北海沉积开始于本溪组,主要由潮坪旋回沉积物组成,很少见潮下带沉积物。祁连海沉积开始于羊虎沟期,自下而上由潮坪、堡坝-泻湖、潮坪沉积组成。

2.2 二叠纪

进入二叠纪,海水退出本区,冲积扇群迅速向南推进。物源具有继承性,但母岩增加了更多的深变质和中基性喷发岩成分。由于剥蚀区不断抬升,侵蚀速度快,沉积区始终保持一定的坡度,并以浅水沼泽为主,因而在盆地北部形成广阔的冲积平原,向南由河流逐渐演变为湖沼沉积体系。

3 储集条件

3.1 储层岩矿特征

(1) 本溪组主要为中、细粒石英砂岩,成分成熟度、结构成熟度极高,杂基含量低,一般在5%以下,石英含量均大于95%,主要为单晶石英。

(2) 太原组中、下部以灰色、灰白色石英砂岩为主,石英含量为92.8%~100%,岩屑为

0~7.2%,杂基变化大0.6%~32%。上部在盆地北部为砾状砂岩,分选好—中等、颗粒圆—次圆状;盆地中、东部则逐渐过渡为岩屑石英砂岩或岩屑砂岩,岩屑含量12.8%~28.6%,杂基3%~30%,粒度粗、中、细均有。

(3)山西组砂岩以长石石英砂岩和岩屑石英砂岩为主,主要为三角洲及河流环境的沉积。盆地北部伊盟地区,东部榆林—绥德地区发育岩屑石英砂岩,主要为中、粗粒,分选不好,杂基含量高,石英碎屑约占75%~90%,不稳定岩屑约占10%~15%,主要为沉积岩屑及片麻岩屑。盆地西缘掩冲带北段除下部为长石岩屑石英砂岩与石英砂岩互层外,其余均为含砾粗粒长石石英砂岩,石英碎屑约在80%~90%之间,以多晶石英、燧石岩屑及石英岩屑为主;长石约为10%~15%,主要为酸性斜长石,含少量钾长石和微斜长石。杂基含量变化大,一般在5.50%~30.85%左右,碎屑分选及磨圆度均较差。

(4)下石盒子组砂岩的岩性特征,在盆地东、西部具有明显的差异,特别是该组中、下部差异性更加明显。盆地西部下石盒子组中下部主要为石英砂岩,上部为岩屑石英砂岩及少量长石石英砂岩或混合砂岩;东部与山西组沉积相似,为一套高岩屑的沉积,下部以岩屑石英砂岩为主,上部以岩屑砂岩为主,并出现少量长石岩屑石英砂岩;北部伊盟隆起及南部渭北挠褶带除局部有石英砂岩分布外,也均以岩屑石英砂岩与岩屑砂岩为主。下石盒子组以粗碎屑居多,但自北而南,颗粒由粗逐渐变细,北部以中—粗为主夹细—中粒及少量细粒,中下部常见含砾砂岩或砾状砂岩;南部颗粒较细,以细—中粒、细粒为主,少量为中粒或中—粗粒。

从沉积序列看,本溪组—下石盒子组砂岩自下而上构成一个由石英砂岩依次过渡为岩屑石英砂岩乃至岩屑砂岩的沉积旋回,而本溪组、太原组、山西组、下石盒子组又各自存在着由石英砂岩过渡为岩屑石英砂岩以及岩屑砂岩沉积的3个次一级旋回。

3.2 孔隙结构特征

本区的储集空间可分为孔隙和裂隙两大类。按成因可分为原生孔隙、次生孔隙和混合孔隙。原生孔隙主要指的是原生粒间孔,次生孔隙在本区主要由溶蚀粒内孔组成,另外一种孔隙很难确定是原生的还是次生的,原生和次生孔隙所占比例难以估算,因此,将其归入混合孔隙一类,主要由复合型粒间孔和晶间孔组成。

(1)原生孔隙是在压实后保存的原生粒间孔基础上经石英次生加大后保留的孔隙,石英砂岩中这类孔隙分布较多,孔径为50~900 μm ,一般好的储集砂岩都以原生粒间孔为主。

(2)溶蚀粒内孔,主要是指火山碎屑、硅质岩屑、粉砂岩岩屑选择性溶解和长石溶解所形成的粒内孔。还有云母压实后形成的收缩缝,后经溶蚀扩大形成的长条状和缝状孔隙。形态各异、大小不一。

(3)复合型粒内孔是粘土矿物或可溶性颗粒被溶解或消失,使原有的粒间孔扩大,构成原生与次生共同组合的粒间孔,孔径大小悬殊50~1100 μm 。西缘北段复合型粒间孔在山西组长石石英砂岩中可达2.75%~9.8%,下石盒子组砂岩中可达6.21%~7.67%,渗流通道发育的地区都发育有此类孔隙。

(4)晶间孔在上古生界分布较为广泛,一般孔径3~10 μm ,最大可达20 μm 。

(5)裂隙多数只能在显微镜下观察鉴定,因此呈显微构造微裂缝。

3.3 孔隙结构级别与有利储层评价

3.3.1 孔隙结构级别划分

本区上古生界砂岩储集空间可以归纳为四类,即大孔粗喉型、大孔细喉型、小孔细喉型和

细孔微喉型(表 1)。

表 1 鄂尔多斯盆地中部石炭-二叠系砂岩储层孔隙结构分类(据 4] 修改)

类型	原 生 粒间孔	溶 蚀 粒内孔	复合型 粒间孔	晶间孔	微裂缝	$r/\mu\text{m}$	$S_{\text{Hg}}/\%$	P/MPa	$M/\%$	$K/10^{-3}\mu\text{m}^2$
	$\%$									
I	6.4~12.7	0.3~1.0	—	0.5~3.0	少	1.0~3.3	77~99	25~200	10.9~21.7	39.4~598.0
II	—	1.5~2.0	5.6~9.0	4.0~5.9	少	0.3~2.8	60~90	150~400	10.0~18.0	13.5~238.0
III	0.4~1.1	0.1~3.6	0.6~1.8	2.2~12.0	0.01~0.10	0.1~0.4	30~90	350~1 000	5.0~11.0	0.1~1.9
IV	—	0.0	—	2.3~4.6	0.1~0.5	0.0~0.1	29~67	400~2 400	2.0~6.0	0.0~0.4

3.3.1.1 大孔粗喉型(I)类

孔隙度为 10.4%~21.7%，渗透率为 $(39.4\sim 598)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。孔隙以原生粒间孔为主，可高达 6.40%~12.7%，孔喉半径 1.0~3.3 μm ，孔隙连通性好。在 30 MPa 下进汞量可达 77%~99%，排驱压力低，一般都小于 $2\times 10^2\text{ MPa}$ 。

3.3.1.2 大孔细喉型(II)类

孔隙度为 10%~18%，渗透率为 $(13.5\sim 238)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。以复合型粒间孔为主，含量可达 5.6%~9.0%，孔喉半径为 0.3~2.8 μm ，在 30 MPa 下进汞量为 60%~90%，排驱压力一般小于 $4\times 10^2\text{ MPa}$ 。

3.3.1.3 小孔细喉型(III)类

孔隙度为 5.0%~11%，渗透率为 $(0.1\sim 1.9)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。以溶蚀孔和晶间孔为主，溶蚀孔 0.1%~3.6%，晶间孔 2.2%~12.0%，常有微裂缝伴生，孔喉半径为 0.1~0.4 μm ，进汞压力高，排驱压力在 $(3.5\sim 1.0)\times 10^2\text{ MPa}$ 。

3.3.1.4 细孔微喉型(IV)类

孔隙度 2.0%~6.0%，渗透率 $(0.01\sim 0.4)\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。以晶间孔为主，常伴有少量微裂缝，平均喉道半径 0.03~0.05 μm ，排驱压力高于 $4\times 10^2\text{ MPa}$ 。

3.3.2 有利储层评价

上古生界砂岩储集层中 I 类孔隙占 11.91%，II 类孔隙占 50.53%，III 类孔隙占 28.06%，IV 类孔隙占 9.5%。以 II 类孔隙居多，I 类孔隙所占比例低。这就是说本区储集层普遍含气，但物性不是很好。工业气流一般都形成在 I，II，III 类孔隙的储层中，IV 类孔隙中仅一部分属于储层，且在各层系中均有分布，尤其在上石盒子组中的洪泛平原分布更多。

3.3.2.1 太原组

具 I 类孔隙的砂体只零星分布于榆 8 井-榆 15 井及陕 66 井等地区，砂岩体为被潮汐作用改造的沿岸砂坝，以中-粗粒石英砂岩为主。发育 II 类孔隙的砂体呈 NE-SW 向条带状分布，在镇川堡-子洲、李华台、伊金霍洛以北及陕 5、陕 12 等地区，属受海水改造的扇三角洲和浅水三角洲沉积。

3.3.2.2 山西组

具 I 类孔隙的砂体主要分布于陕 56 井和陕 67 井等地区，属三角洲分流河道及河口砂坝沉积。具 II 类孔隙的砂体呈星散状分布于准格尔旗、布里克等地区，属河流三角洲沉积体系。以 III 类孔隙空间为主的砂体主要是网状河沉积，岩性为岩屑石英砂岩、岩屑砂岩和长石岩屑石

英砂岩。

3.3.2.3 下石盒子组

发育 I 类孔隙的砂体主要分布在北部伊深 1—哈 2 井地区,靠近物源,处于河道砂体、冲积扇砂体发育区。岩性粗且杂,以含砾岩屑石英砂岩及含砾、砾状砂岩为主。具 II 类孔隙的砂体主要分布在伊金霍洛旗-靖边、佳县-镇川堡、绥德、伊 9 井、布里克-城川、靖边-志丹等地区,储集体为河流三角洲河道砂体,岩性为岩屑石英砂岩。具 III 类孔隙的砂体分布在东部榆林-绥德地区、乌审旗-靖边地区的下石盒子组。

参 考 文 献

1 李文厚,周立发. 苏红图-银根盆地白垩纪沉积相与构造环境. 地质科学, 1997, 32(3): 387~ 396
2 李文厚,林晋炎,袁明生,等. 吐鲁番-哈密盆地的两种粗碎屑三角洲. 沉积学报, 1996, 14(3): 113~ 120
3 张福礼,黄舜兴,杨昌贵,等. 鄂尔多斯盆地天然气地质. 北京:地质出版社, 1994. 19~ 29
4 杨俊杰,裴锡古. 中国天然气地质,卷四. 北京:石油工业出版社, 1996. 160~ 205

SEDIMENTARY AND RESERVOIR CHARACTERS OF
PERMO – CARBONIFEROUS IN ORDOS BASIN

Wei Honghong

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi)

Peng Huiqun Li Jingqun Xie Zhengwen

(Workover Company, Changqing Bureau of Petroleum Exploration, Qingyang, Gansu)

Abstract

The Carboniferous – Permian System in Ordos Basin was formed in marginal barrier sea → delta → river → limnetic environment, and constitute a sedimentary sequence of silicarenite → detrital silicarenite → clastic sandstone in ascending order. The Benxi, Taiyuan, Shanxi Formations of the System are composed respectively of three subsequences. River channel sandbodies and deltaic front sandbodies are favourable reservoirs for natural gas; the reservoir spaces of the reservoirs could be classified into four types such as big pore-coarse throat type(I), big pore-fine throat type(II), small pore-fine throat type(III) and fine proe-minimal throat ytpc(IV). Among them, type-I occupies 11.19%, type II occupies 50.53%, type-III occupies 28.06% and type IV occupies 9.5%. Commercial gas flows are usually preserved in the first three types.