

文章编号: 1001-6112(2006)06-0507-04

# 鄂尔多斯盆地多种能源矿产共存特征及其相关性

常象春, 王明镇, 郭海花

(山东科技大学 地球信息科学与工程学院, 山东 青岛 266510)

**摘要:** 鄂尔多斯盆地蕴藏着丰富的石油、天然气、煤炭、煤层气、砂岩型铀矿等能源矿产, 其分布具有南油北气、上油下气、煤层分布广、盆缘有含铀矿化及富集煤层气的特点。物质“来源”研究表明, 石油主要源自中生界湖相源岩; 天然气除了上古生界煤系源岩外, 海相灰岩对成藏也有贡献; 煤层气主要由聚煤中心煤化作用形成; 铀源可能有中酸性花岗岩的贡献, 也含有赋存层位的铀质来源。成矿年代及形成机理表明, 它们之间存在着一定的内在成因联系, 特别是侏罗系煤层不能形成大型油藏、煤系作为天然气的主力贡献、煤层气区对深盆气的形成补充以及天然气对铀矿化的还原作用等方面表现均较为显著。

**关键词:** 能源矿产; 成因联系; 油气成因; 油气分布; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

能源短缺和经济发展要求加强研究和开发更多的能源, 实现多种能源的互补。世界上已发现的油气田和煤炭资源均分布在沉积盆地中, 同时在沉积盆地中也赋存有丰富的铀矿资源, 特别是中新世的沉积盆地更是多种能源共存富集的场所。鄂尔多斯盆地石油累计探明储量  $10.80 \times 10^8$  t, 总资源量  $85.88 \times 10^8$  t, 天然气累计探明储量  $1.18 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>, 总资源量达  $10.70 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>, 占全国天然气资源总量的 28.2%, 居全国各大盆地之首。此外, 鄂尔多斯盆地还是世界上少有的几个巨型聚煤盆地之一, 蕴含着丰富的煤层气和铀矿资源, 盆地内煤炭资源量达  $(8 \sim 11) \times 10^{12}$  t, 煤层气  $(7.80 \sim 11.32) \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>, 铀矿  $86 \times 10^4$  t。从认识同一盆地中这些有机与无机矿产的分布规律入手, 剖析其来源、形成机理和内在联系, 对于探讨多种能源的共存富集机理有着重要意义。

## 1 单矿种分布特征

### 1.1 油田分布

鄂尔多斯盆地已发现的石油主要分布在上三叠统延长组和侏罗系延安组, 平面上位于盆地中南部<sup>[1]</sup>。三叠系中主要为三角洲沉积砂岩油藏, 包括 1 套含油层系、10 个油层组, 平面上略偏盆地中东部, 包括安塞、直罗、下寺湾、延长、永坪、子长等油田。侏罗系中主要为河流沉积砂岩油藏, 包括 1 套含油层系、14 个油层组, 探明储量占盆地中生界储量的 84%, 平面上略偏盆地中西部, 主要包括马岭、元城、华池、城壕、吴旗、李庄子、红井子等油田(图 1)。

### 1.2 天然气分布

鄂尔多斯盆地天然气主要分布于古生界。下古生界碳酸盐岩气藏分布于中央隆起东部斜坡奥陶系古岩溶地区, 包括 1 套含气层系、1 个气层组; 上古生界河流沉积砂岩气藏分布在盆地北部二叠系山西组和下石盒子组, 包括 1 套含气层系、5 个

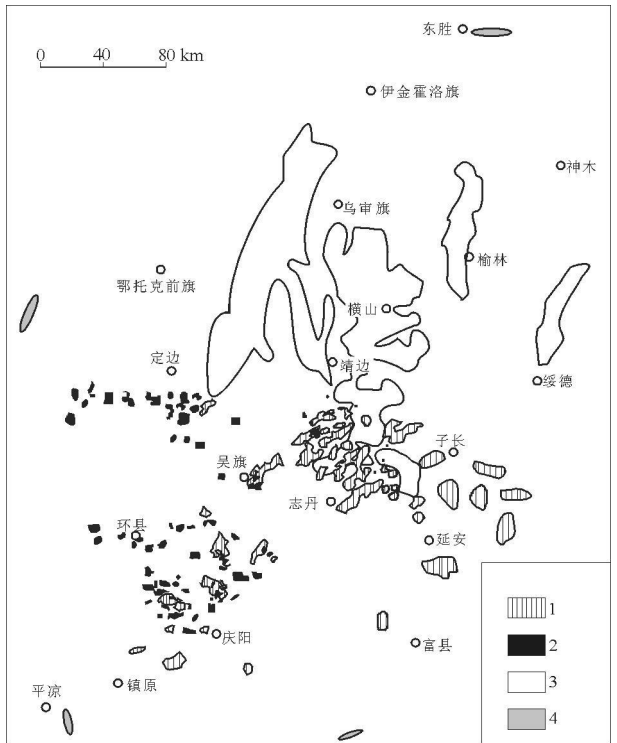


图 1 鄂尔多斯盆地多种能源矿产分布

1. 三叠系油田; 2. 侏罗系油田; 3. 中北部气田; 4. 铀矿及矿化点

Fig. 1 Distribution of energy resources in the Ordos Basin

收稿日期: 2005-01-07; 修订日期: 2006-09-29。

作者简介: 常象春(1974-), 男(汉族), 陕西绥德人, 博士, 副教授, 主要从事石油地质教学与科研工作。

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2003CB214608)

气层组。平面上气藏主要分布在盆地中北部,包括苏里格、榆林、靖边、乌审旗等大气田(图1)。

### 1.3 煤层分布

鄂尔多斯盆地自下而上共分布有石炭—二叠系、三叠系和侏罗系3套煤层(图2)。石炭—二叠系的煤层主要分布在太原组和山西组,在全盆地均有分布,埋深2 000 m以下的煤层分布在盆地边缘部,不同部位煤种不同,北部主要是长焰煤和气煤,中部为焦煤,南部为瘦煤、贫煤和无烟煤。三叠系的煤层主要分布在瓦窑堡组,属于气煤,平面上位于黄陵、富县、延安、子长、子洲一带。侏罗系的煤层主要位于中下侏罗统,特别是延安组,为低变质的褐煤和长焰煤,全盆地均有分布,埋深大于2 000 m的煤层位于盆地西部。

### 1.4 煤层气分布

鄂尔多斯盆地煤层气有利区块主要沿盆缘分布<sup>[2,3]</sup>,石炭—二叠系煤层煤级高,为气煤—无烟煤,含气量高;侏罗系煤层煤级低,以长焰煤为主,含气量相对较低。盆地东部吴堡地区,石炭—二叠系厚度大,埋深小于1 500 m,煤岩热演化适中,生气量大,含气饱和度达60%~80%,含气量5~8 m<sup>3</sup>/t;东南部大宁—吉县地区主力煤层仍为石炭—二叠

系,分布稳定,含气饱和度大于80%,含气量8~18 m<sup>3</sup>/t;南部韩城地区石炭—二叠系含气量10~18 m<sup>3</sup>/t;中部合水—宁县地区以侏罗系延安组煤层为主,含气量8~18 m<sup>3</sup>/t;南部黄陵地区侏罗系延安组煤层含气量5~10 m<sup>3</sup>/t,含气饱和度50%~80%;北部乌审旗地区以侏罗系富县组和延安组煤层为主,含气量8 m<sup>3</sup>/t。

### 1.5 砂岩型铀矿分布

盆地北部东胜地区,中侏罗统直罗组发现有赋存于砂体中的铀矿,矿体呈不规则的板状,盖在中侏罗统延安组煤系之上。另外在盆地北部的中侏罗统安定组、白垩系、下三叠统以及盆地西部、南部边缘亦见局部铀矿化异常(图1)。

总体来看,石油主要分布在三叠系和侏罗系;天然气分布在二叠系和奥陶系;煤层与煤层气分布在石炭—二叠系、三叠系和侏罗系;铀矿分布在侏罗系和白垩系。盆地范围具有南油北气、上油下气、煤层分布广、盆缘有含铀矿化及富集煤层气的特点。

## 2 有关“源”的问题

经过多年研究,对于鄂尔多斯盆地油源已基本达成共识,中生界各产层的原油均属于“油型油”,其源岩为长二—三段的半深湖—深湖相腐殖—腐泥型成熟生油岩。二叠系中的石油源于二叠系煤系烃源岩,而石炭系煤层可能也生成了某些液态烃<sup>[4,5]</sup>。

对于鄂尔多斯盆地中部气田的气源认识争议已久,可归为3大类。一类认为,中部气田的天然气主要为上古生界煤系源岩的产物,属腐殖型煤成气<sup>[6,7]</sup>;二类认为,中部气田奥陶系产出气以奥陶系来源为主,占80%~90%,仅气田东部有石炭系供给的混源气存在<sup>[8,9]</sup>;三类认为是混源气,但对混源组成亦有不同看法:1)奥陶系风化壳气藏气主要源岩是石炭系气源岩,而混合型生烃母质的石炭系灰岩可能是气藏中油型气的主要提供者<sup>[4,10]</sup>;2)上古生界天然气藏沿深大断裂分布,生烃期与构造活动时间相吻合,部分井天然气具有CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, He含量非常高、甲烷同系物碳同位素发生反转、CO<sub>2</sub>碳同位素和<sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He高异常等特征,故上古生界天然气应为油型气、煤成气和深源无机气3源混合<sup>[11]</sup>;3)奥陶系风化壳天然气具有高成熟—过成熟干气的组分和同位素特征,天然气的来源既有以石炭—二叠系为主的煤成气,又有以下古生界来源为主的油型气。气田东部区块的天然气主要为煤

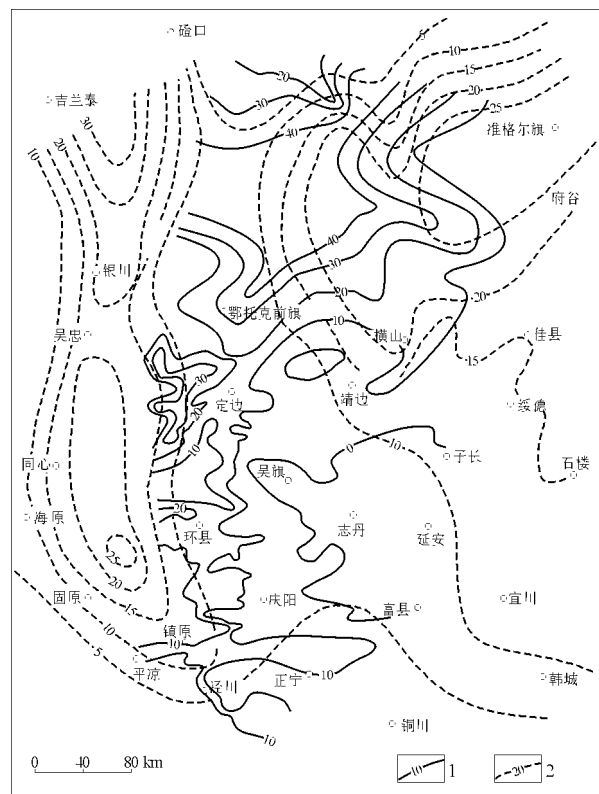


图2 鄂尔多斯煤层厚度等值线

1. 侏罗系煤厚/m; 2. 石炭—二叠系煤厚/m

Fig. 2 Isolines of coal thickness in the Ordos Basin

成气,中部气田北部、西部及南部区块的天然气主要为油型气<sup>[12]</sup>。目前对混源观点基本是确定的,只是对混源贡献的主次存在不同认识。

鄂尔多斯盆地经受了多次海水进退,形成了多类控煤环境。上古生界煤层在全盆地展布广泛,煤岩类型以光亮煤、半亮煤为主,半暗煤次之,在盆地东缘准格尔旗以北属长焰煤,煤化程度低,向南煤化程度逐渐增高,到韩城一带可达瘦煤阶,西缘地区为肥煤阶;侏罗系聚煤区绕着以延安为中、靖边—吴旗—富县为边界的无煤区呈环带分布,煤化作用以区域深成变质为主,由东向西、由盆地周边向腹部随煤层埋深增加煤阶升高,由褐煤到肥煤,煤层生气量大,吸附量高。基于煤岩煤质条件,认为鄂尔多斯盆地煤层气主体属于自生自储型,含有早期生物气和中高变质阶段的热解气,基本上不存在外来气源。

对于鄂尔多斯盆地铀矿铀质的来源,存在2种不同观点:其一认为,鄂尔多斯盆地基底岩石为太古界及下元古界变质岩、混合岩、花岗片麻岩等;酸性、中酸性岩石占有较大比例,铀丰度较高,可以为盆地铀成矿提供物质来源;盆地基底起伏不平,有相对隆起和凹陷之分;隆起地区和盆地边缘出露的基底岩石均可成为盆地沉积物的物源区<sup>[13]</sup>。其二认为,铀源层一般应含铀量丰富且易析出,并可为铀矿提供足够的矿质。鄂尔多斯盆地上古生界煤系地层中铀含量达 $(4.5 \sim 5.0) \times 10^{-6}$ ,在盆地周边地层出露区发现多处铀异常,铀以有机质吸附或氧化物形式存在<sup>[14]</sup>。

### 3 成藏成矿年代学

三叠系延长组源岩在早白垩世中晚期进入成熟门限,早白垩世末期—晚白垩世中期进入油气大量生成期,第三纪进入高成熟演化阶段,不同地区略有差异。因此中生界油藏的形成时间应当介于早白垩世晚期—第三纪。

通过测试流体包裹体的类型、分布特征、均一温度、冰点、盐度及单个包裹体成分,结合沉积构造古地温史,研究表明鄂尔多斯盆地上古生界天然气藏最早于165 Ma左右在延安一带开始聚集成藏,然后向北推进;到129 Ma左右气水界面通过目前气水过渡带位置,气藏基本形成;到白垩纪晚期,由于气源补给不足,气藏气水界面向南退缩,再次回到目前气水过渡带位置<sup>[15,16]</sup>。中部奥陶系风化壳天然气主要成藏期至少有2个,即晚三叠世末和早白垩世末,天然气的运移方向总体上是由东向西、

由南向北<sup>[12]</sup>。

东胜直罗组砂岩型铀矿U—Pb同位素U—Ra平衡特征测定获得砂岩型铀矿的成矿年龄在 $(107 \pm 16)$  Ma,成矿年龄比含矿层位沉积时代年轻,证明铀矿是后生的,成矿时代集中在第三纪,特别是上新世以后,与当时干旱的古气候背景相吻合<sup>[17]</sup>。张如良<sup>[14]</sup>测定东胜地区铀矿物的成矿年龄,认为铀矿化最早年龄为160 Ma,最晚为8 Ma,主成矿年龄120~95 Ma,相当于早白垩世晚期。

## 4 多种能源矿产的内在联系

### 4.1 南(上)油北(下)气的成因

鄂尔多斯盆地发育有下古生界海相碳酸盐岩生油岩、石炭—二叠系海陆交互相煤系生气岩、上三叠统半深湖—深湖相黑色泥页岩生油岩和上三叠统一侏罗系延长组含煤岩系生气岩4套源岩<sup>[18]</sup>。古生界源岩已进入高成熟—过成熟大量生气的热演化阶段,中生界源岩处于低成熟—成熟早期的大量生油阶段,因而表现出下气上油的特点。

鄂尔多斯盆地油气具有运移距离短和就近聚集的特点,油气分布受生烃中心控制。石炭—二叠系生烃中心位于榆林、宜川、吴堡一带,仅在西部乌达、韦州、银洞子存在局部生烃中心<sup>[19]</sup>。奥陶系主生烃中心位于靖边、榆9井一带。现今风化壳气藏和上古生界岩性气藏正好围绕生烃中心分布。中生界油田亦明显围绕延长组生油中心呈环带或半环带分布,即盆地中心的庆阳、富县、吴旗、红井子一带。故在平面上显示出南油北气的特点。

### 4.2 三叠、侏罗系煤的生油问题

黄陇煤田陈家山、下石节、崔家沟等煤矿侏罗系煤层上下原油和油苗的发现,使得对于三叠系瓦窑堡、侏罗系延安煤系能否成为生油岩受到关注。大量煤岩热模拟及油源对比研究表明,瓦窑堡煤系形成于深覆水森林泥炭沼泽相,虽为一套优质生油岩,但是由于其规模小,煤层薄,处于低熟—成熟早期( $R_o$ 为0.5%~0.8%),主要生油显微组分尚未进入大量生油期,难以形成油藏<sup>[20]</sup>。侏罗系煤有机质丰度低、类型差,成熟度低,煤生油能力未突破其饱和吸附烃量(55~80 kg/t),不能形成工业性油藏<sup>[21]</sup>。油源对比侏罗系上下的原油来自三叠系湖相泥岩<sup>[22]</sup>。

### 4.3 煤层气对深盆气的补充作用

鄂尔多斯盆地煤层气含气量由盆地边部向腹部增高,至中部靖边、横山一带最大可达 $30 \text{ m}^3/\text{t}$ 。乌审旗和榆林、横山一带存在一个煤层气超饱和区

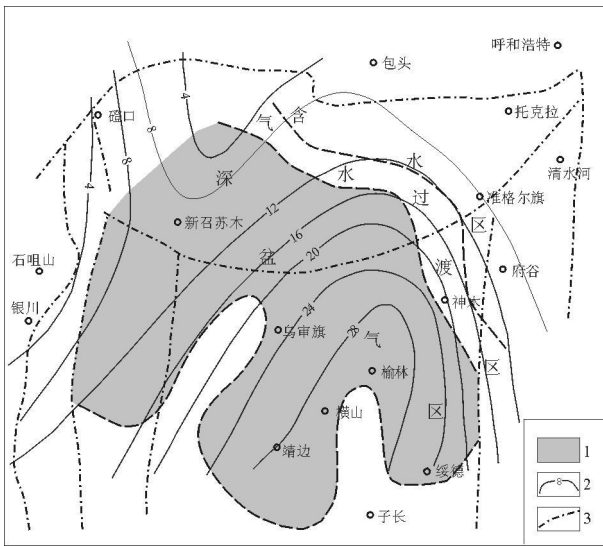


图 3 鄂尔多斯盆地上古生界非常规含气系统关系

1. 深盆气区; 2. 含气量等值线 ( $\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ ); 3. 构造分区

Fig. 3 Relationship between unconventional gas systems of Upper Paleozoic in the Ordos Basin

域, 含气饱和度最高可达 130%。这些煤层气富集区由于压力降低解吸或穿过基质和微孔向裂隙扩散或在压差作用下渗流, 转变成游离状态并不断运移至围岩中形成天然气藏。图 3 可以看出, 煤层气高含气量区与上古生界深盆气区主体叠合, 形成特殊的“供气区”, 成为山西组二段和下石盒子组八段深盆气藏的重要补充。

#### 4.4 天然气对铀矿化的还原作用

自然界中的铀是以四价和六价存在的, 四价铀在氧化条件下极易被氧化呈六价在溶液中迁移、搬运, 六价铀在还原条件下易被还原呈四价成为铀的矿物而富集。铀成矿过程中, 有机质, 特别是  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  等高效还原剂, 是一系列富铀矿床成矿的重要条件<sup>[23]</sup>。燕山期热事件作用下, 上古生界气源岩达到生气高峰, 压力的增大使得溶解源层中铀的深层水沿裂隙向上运移, 在中侏罗统的松散层中与地表渗入水相遇, 使铀卸载, 形成铀矿<sup>[14]</sup>。目前铀矿石中找到的大量天然气包裹体及漂白砂岩亦侧证了这一点。

## 5 结论

鄂尔多斯盆地作为一个多种矿产共存富集的大型能源盆地, 这些有机与无机矿产分布具有多层叠合、多期成藏(矿)的特点。总体上油田石油和铀矿主要分布在中生界, 天然气位于其下方, 煤层紧邻天然气分布, 煤层气围绕聚煤中心富集。矿产的“来源”研究表明, 石油主要源自中生界湖相源岩;

天然气除了上古生界煤系源岩外, 海相灰岩也有成藏贡献; 煤层气主要由聚煤中心煤化作用形成; 铀源可能有中酸性花岗岩的贡献, 也含有赋存层位的铀质来源。油藏主体形成于早白垩世晚期—第三纪; 上古生界气藏形成于 165 Ma 左右, 风化壳气藏形成于晚三叠世末—早白垩世末; 东胜砂岩型铀矿成矿时代集中在早白垩世晚期—第三纪。尽管对于一些矿种的来源物质尚存在一些学术争议, 但形成机理表明它们之间存在着一定的内在成因联系, 特别是侏罗系煤层不能形成大型油藏、煤系作为天然气的主力贡献、过饱和的煤层气区对深盆气的形成补充以及天然气对铀矿化的还原作用等方面表现均较为显著。

#### 参考文献:

- 何自新. 鄂尔多斯盆地演化与油气形成[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003
- 高瑞祺, 赵政璋. 中国油气新区勘探(第七卷)中国煤层气勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 2001
- 冯三利, 叶建平, 张遂安. 鄂尔多斯盆地煤层气资源及开发潜力分析[J]. 地质通报, 2002, 21(10): 658~663
- 张文正, 李剑峰. 鄂尔多斯盆地油气源[J]. 中国石油勘探, 2001, 6(4): 28~36
- 王旭日. 鄂尔多斯盆地油气/源岩相关研究[J]. 石油物探译丛, 1997, (1): 1~9
- 关德师, 张文正, 裴戈. 鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系产层的油气源[J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(3): 191~199
- 张士亚. 鄂尔多斯盆地天然气气源及勘探方向[J]. 天然气工业, 1994, 14(3): 1~5
- 陈安定. 论鄂尔多斯盆地中部气田混合气的实质[J]. 石油勘探与开发, 2002, 29(2): 33~39
- 黄第藩, 熊传武, 杨俊杰等. 鄂尔多斯盆地中部大气田的气源判识[J]. 科学通报, 1996, 41(17): 1588~1592
- 夏新宇, 赵林, 戴金星. 长庆气田奥陶系风化壳气藏中油型气成分的来源[J]. 石油勘探与开发, 1999, 26(4): 22~24
- 万丛礼, 付金华, 杨华等. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气成因新探索[J]. 天然气工业, 2004, 24(8): 1~4
- 李贤庆, 胡国艺, 张爱云等. 鄂尔多斯中部气田下古生界天然气的气源研究[J]. 现代地质, 2002, 16(2): 191~198
- 狄永强. 试论鄂尔多斯北部中生代盆地砂岩型铀矿找矿前景[J]. 铀矿地质, 2002, 18(6): 340~347
- 张如良. 鄂尔多斯深盆气与铀矿化关系初探[J]. 铀矿地质, 2004, 20(4): 213~220
- 肖贤明, 刘祖发, 刘德汉等. 应用储层流体包裹体信息研究天然气藏的成藏时间[J]. 科学通报, 2002, 27(12): 957~960
- 米敬奎, 肖贤明, 刘德汉等. 利用流体包裹体信息恢复鄂尔多斯盆地晚古生代天然气藏气水界面的迁移过程[J]. 科学通报, 2004, 49(4): 396~401
- 夏毓亮, 林锦荣, 刘汉彬等. 中国北方主要产铀盆地砂岩型铀

(下转第 517 页)

jiahe Formation ( $T_3x^2$ ), and the results were more obvious in the third and fourth sections of the Xujiahe Formation ( $T_3x^3$  and  $T_3x^4$ ). The triangular QpLvLs plot show that sandstone compositions began locating Fold Thrust Provenance in the second section ( $T_3x^2$ ), and the results were also more obvious in the third and fourth sections ( $T_3x^3$  and  $T_3x^4$ ). Combined with sedimentary facies of the Xujiahe Formation in the study area, it was indicated that Longmenshan thrust belt began uplifting and providing the sediment in the second section ( $T_3x^2$ ), and West Sichuan Foreland Basin began developing in the second section ( $T_3x^2$ ); In the third section ( $T_3x^3$ ), the Longmenshan thrust belt took place strongly uplifted and became the primary provenance area. Because of influence by the An'xian movement in the fourth section ( $T_3x^4$ ), the Longmenshan thrust belt uplifted and became a mountain which really changed the study area into terrestrial sedimentary environment.

**Key words:** sandstone compositions; the Xujiahe Formation; the Upper Triassic; the Longmenshan; thrust belt; the Western Sichuan Basin

(上接第 510 页)

- 矿成矿年代学研究[J]. 铀矿地质, 2003, 19(3): 129~138
- 18 张福礼. 多旋回与鄂尔多斯盆地石油天然气[J]. 石油实验地质, 2004, 26(2): 138~142
- 19 席胜利, 刘新社, 王涛. 鄂尔多斯盆地中生界石油运移特征分析[J]. 石油实验地质, 2004, 26(3): 229~235
- 20 姚素平, 胡文瑄, 薛春燕等. 瓦窑堡煤系有机岩石学特征及煤成烃潜力研究[J]. 沉积学报, 2004, 22(3): 518~525
- 21 罗霞, 李剑, 胡国艺等. 鄂尔多斯盆地侏罗系煤生、排油能力实验及其形成煤成油可能性探讨[J]. 石油实验地质, 2003, 25(1): 76~81
- 22 陈建平, 黄第藩. 鄂尔多斯盆地东南缘煤侏罗系原油油源[J]. 沉积学报, 1997, 15(2): 100~104
- 23 王驹, 杜乐天. 论铀成矿过程中的气还原作用[J]. 铀矿地质, 1995, 11(1): 19~24

## OCCURRENCE AND CORRELATION OF VARIOUS ENERGY RESOURCES IN THE ORDOS BASIN

Chang Xiangchun, Wang Mingzhen, Guo Haihua

(Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China)

**Abstract:** The Ordos Basin is rich in oil, natural gas, coal, coalbed methane and sandstone type uranium deposits. Oil pools mainly locate in Triassic and Jurassic in the south. Natural gas vertically situates beneath oil pools in the north. Coal measures are widespread. The margin of the basin is characterized by sandstone type uranium deposits and abundant in coalbed methane. Geneses of various energy resources have been defined by source investigations. Oil is mainly originated from Mesozoic lacustrine source rocks. Natural gas derives from Upper Paleozoic coal series as well as marine limestones. Coalbed gas is formed during the coalification of coal accumulation centers. Uranium source may be offered by medium-acidic granite and uranium bearing formation. Timing and formation mechanism of these resources suggest that there are genetic relationships among them, especially the difficulty for Jurassic coal to form commercial oil accumulation, the contributions of coal to natural gas, the supplement of coalbed methane to deep basin gas and the reduction of natural gas to uranium deposits.

**Key words:** energy resources; genetic relationship; genesis of oil gas; oil gas distribution; the Ordos Basin