

鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气成因*

李贤庆^{1,2}, 侯读杰², 胡国艺³, 张爱云⁴, 柳常青²

(1. 中国科学院广州地球化学研究所有机地球化学国家重点实验室, 广东广州 510640;

2. 江汉石油学院分析测试研究中心, 湖北荆州 434102;

3. 中国石油勘探开发科学研究院廊坊分院, 河北廊坊 065007;

4. 中国地质大学能源地质系, 北京 100083)

摘要: 鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气以高甲烷含量为特征, 含有少量重烃和非烃组分, 基本显示出高成熟-过成熟的干气特征($C_1/C_{1-5} > 0.95$)。该区下古生界水溶气组成存在“东、西差异”(东部区块水溶气的 C_2^+ 重烃、苯和甲苯含量较高, 而西部区块水溶气的 C_2^+ 重烃、苯和甲苯含量低或缺失), 揭示了东部、西部区块水溶气的来源是不同的。东部区块水溶气具有上古生界煤成气和下古生界油型气的混合贡献, 西部区块水溶气主要来自下古生界的油型气。

关键词: 下古生界; 水溶气; 煤成气; 油型气; 鄂尔多斯

第一作者简介: 李贤庆, 男, 35岁, 副教授(博士后), 流体地球化学与有机岩石学

中图分类号: TE122.1⁺11 文献标识码: A

在含油气区内, 地下水与油气处于同一系统, 并自始至终参与了油气的生成、运移和聚集的全过程^[1~3]。天然气在这些过程中与地下水相互作用并溶解于水, 水溶气资源储量相当可观, 全世界估计有 $n \times 10^{16} \sim n \times 10^{18} \text{ m}^3$ 。美国、意大利、匈牙利、菲律宾、尼泊尔、伊朗和日本等国家都发现有水溶气藏, 这是一种非常重要的潜在天然气资源。目前, 我国也已发现了这种资源, 水溶气资源潜量估算为 $12 \times 10^{12} \sim 65 \times 10^{16} \text{ m}^3$ ^[4]。然而, 对水溶气的地球化学研究较为薄弱, 仅见零星报道^[5~7]。笔者以鄂尔多斯中部气田为研究区, 阐述下古生界水溶气的化学组成与分布特征, 并对其成因进行了初步探讨, 旨在为该区下古生界天然气的气源研究和资源潜力分析等提供新的信息和依据。

1 实验条件

研究样品采自鄂尔多斯中部气田, 研究层位主要是奥陶系马家沟组, 水溶气样埋深范围为 2 990~3 740 m。

水溶气样的组分分析在 HP6890 色谱仪上完

成, 室内温度 26℃, 检测依据 SY5259-91。色谱条件: 采用 SGE-60 色谱柱(50 m × 0.25 mm × 0.25 μm), 进样器温度 300℃, 进样量 0.4 ml; 温度程序从 30℃升温到 260℃, 升温速率 3℃/min, 载气用 N_2 (流速 1 ml/min), FID 检测器温度 300℃, 分流比 50:1。

2 实验结果与讨论

2.1 水溶气的组成

鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气主要含烃类成分, 非烃含量较少(表 1)。中部气田下古生界水溶气中烃类组分以甲烷含量占绝对优势为特征(多超过 90%), 含有一定量的重烃。绝大多数水溶气样品显示出干气组成特征, C_1/C_{1-5} 在 0.95 以上, 说明其成熟度高, 为高-过成熟阶段产物。非烃组分含量一般不足 10%, 主要是 CO_2 和 N_2 (分别占 2.3%~7.0%和 1.3%~4.2%), 少量 H_2 (一般不足 1.0%)和微量 H_2S 等。

值得一提的是, 鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气样中还含有苯和甲苯(表 1)。从平面分布上看, 水溶气样中苯和甲苯含量分布不均一, 陕 37、陕 34、陕 61、陕 12、陕 58、陕 78、陕 33、陕 81、陕 84 井等东部水溶气样品具有相对较高的苯和甲苯含量, 而陕 181、陕 52、陕 6 井等西部水溶气样品的苯

* 国家“九五”重点科技攻关项目(99-110-01-03-02)的成果之一。

收稿日期: 2002-01-09

表 1 鄂尔多斯盆地中部气田下古生界水溶气样的分析结果

Table 1 Analysis results of the lower Paleozoic dissolved gases in central gas field of Ordos

井号	H/m	CH ₄ / %	C ₁ /C ₁₊₅	C ₁ /C ₂ ⁺	H ₂ / %	m(iC ₄ /nC ₄)	m(iC ₅ /nC ₅)	苯含量 / %	甲苯含 量/ %	m(C ₁ :N ₂)	m(C ₁ ⁺ :N ₂)
陕 12	3 636~ 3 649	94.29	0.961	16.50	Tr [*]	0.66	2.07	0.283	0.068	23.93	24.44
陕 58	3 706~ 3 716	96.57	0.975	28.18	Tr	0.81	1.82	0.257	0.288	35.13	35.49
陕 78	3 639.40~ 3 657	93.07	0.952	13.43	0.9	0.78	1.91	0.391	0.508	31.00	31.43
陕 62	3 720~ 3 740	98.51	0.986	66.31	/	0.75	/	0.040	/	/	/
陕 98	3 366~ 3 382	99.14	0.991	114.81	/	/	/	/	/	/	/
陕 77	3 686~ 3 707	98.33	0.983	59.01	/	/	/	/	/	/	/
陕 74	3 616.3~ 3 639	97.98	0.980	48.53	/	1.00	/	/	/	/	/
陕 91	3 526.5~ 3 552	98.48	0.986	64.59	/	0.67	/	0.121	/	/	/
陕 61	3 458~ 3 480	85.34	0.908	5.82	0.2	0.47	2.10	1.147	1.125	74.92	76.11
陕 37	3 447.8~ 3 503.6	81.70	0.851	4.46	0.4	0.87	2.25	0.327	0.385	27.31	28.83
陕 34	3 386.5~ 3 441.3	75.98	0.809	3.16	0.1	0.96	2.37	0.577	0.753	25.90	28.00
陕参 1	3 341.5~ 3 471.6	98.44	0.986	63.10	/	0.42	2.50	0.068	/	/	/
林 5	3 429.3~ 3 458.4	98.27	0.983	56.85	/	0.40	/	/	/	/	/
陕 5	3 457~ 3 507	97.72	0.977	42.81	/	/	/	/	/	/	/
陕 45	3 244.9~ 3 298.4	98.65	0.987	73.03	Tr	0.33	2.00	0.046	/	26.17	26.39
陕 17- 13	3 236.4~ 3 279.3	98.11	0.982	51.82	/	0.67	2.00	0.030	/	/	/
陕 17	3 125.5~ 3 148.9	97.66	0.979	41.78	0.1	0.86	1.80	0.032	/	53.39	54.23
陕 81	3 996~ 3 025.3	63.95	0.682	1.77	Tr	1.32	2.44	0.133	0.291	56.37	23.05
陕 11- 14	3 182~ 3 204	97.91	0.982	46.80	/	0.33	3.00	0.151	/	2.13	/
陕 181	3 549.1~ 3 553.4	99.39	0.994	162.10	0.5	/	/	/	/	0.61	57.65
陕 6	3 581.8~ 3 631.9	98.68	0.987	74.53	Tr	/	/	0.041	/	1.34	34.91
陕 33	3 562.8~ 3 614.9	94.60	0.973	17.54	Tr	0.79	2.82	0.420	0.311	5.71	21.59
陕 84	3 123~ 3 147.6	93.43	0.973	14.22	0.8	0.50	1.50	0.276	0.316	7.03	25.47
陕 184	3 307.4~ 3 330.8	98.51	0.987	66.27	Tr	/	/	0.203	/	1.51	36.44
陕 52	3 333.8~ 3 345.8	91.32	0.913	10.52	Tr	/	/	/	/	9.51	35.88

注:Tr—痕量;/—未检测出或在检测限以下。

和甲苯含量很低,甚至缺乏。

鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气的色谱分析表明,C₂⁺重烃含量一般可占烃类有机组分的1%~8%,尤其是东部区块的样品C₂⁺含量较高,最高可达36%,并且C₁—C₄呈连续递减分布,即C₁>C₂>C₃>C₄(图1),这种C₁—C₄呈递减分布的模式,与刘崇禧等^[5]所报道的完全一致。

鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气色谱面貌分布不均匀,存在“东、西差异”。东部区块样品,水溶气色谱分布较完整,C₂—C₅重烃丰度高;而西部区块样品,水溶气色谱分布较单一,主要是CH₄,C₂—C₅重烃很少。这种分布情况与本区油气藏的分布有关,如陕37、陕81、陕34、陕78等东部区块样品普遍含有较高的溶解烃,而陕5、陕6、陕181、

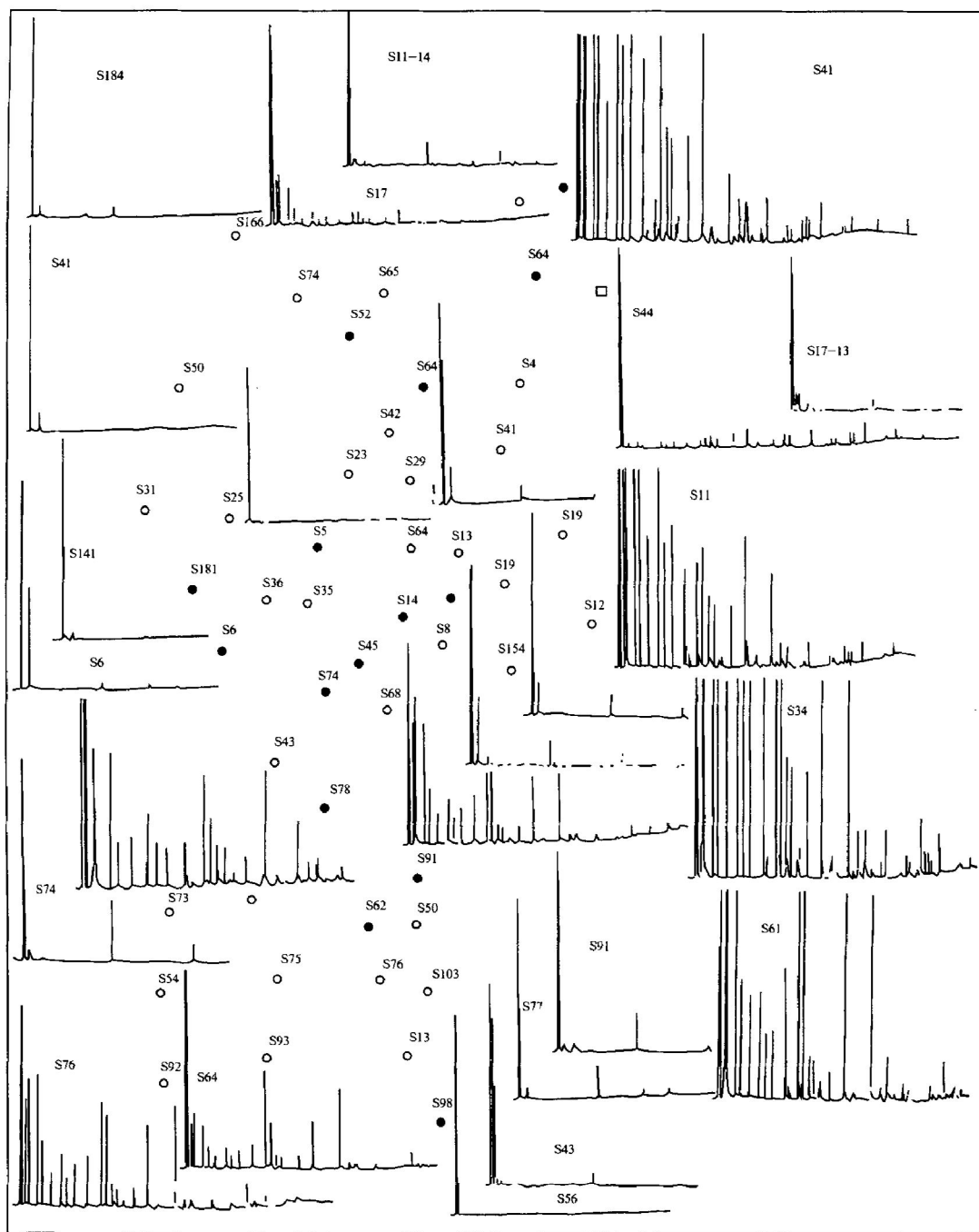


图 1 鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气色谱面貌的平面分布

Fig. 1 Plane distribution sketch showing gas chromatogram feature of the lower Paleozoic dissolved gases in central gas field of Ordos

陕 184 等西部区块样品普遍为较纯的干气，基本上不含有溶解烃^{*}。

从水溶气的 C_2^+ 重烃含量平面分布 (图 2) 可进一步看出，鄂尔多斯中部气田水溶气样中 C_2^+

重烃含量出现“东高西低”的变化趋向。在中部气田主体带上，东部区块的陕 37、陕 34、陕 61、陕 81 等井水溶气样品中乙烷、丙烷、丁烷及 C_5^+ 重烃含量普遍较高，西部区块的陕 6、陕 181、陕 184 等井水溶气样品中乙烷、丙烷、丁烷及 C_5^+ 重烃含量极少，甚至缺乏，这与苯和甲苯含量平面分布规律^{**}是一致的。中部气田下古生界水溶气化学组成上的这种“东、西差异”主要是因油气藏分布及成因类型的不同而造成的。

* 侯读杰, 李贤庆, 柳常青, 等. 地层流体化学成分与天然气成藏的关系研究. 江汉石油学院. 国家“九五”重点科技攻关项目的成果报告, 2000

** 李贤庆. 鄂尔多斯中部气田下古生界流体地球化学特征及其在勘探评价中的应用. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2001

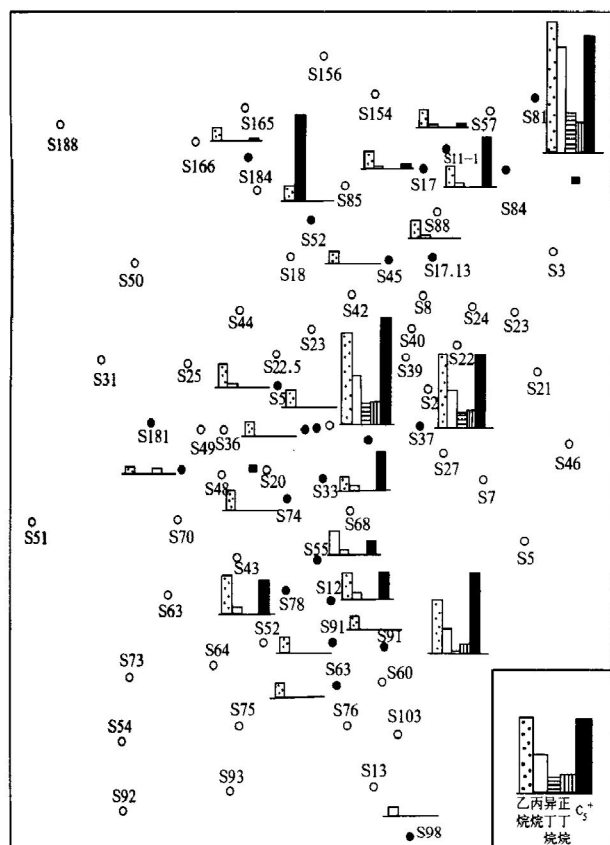


图2 鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气的 C_2^+ 重烃组成与含量

Fig. 2 Heavy hydrocarbon C_2^+ compositions and contents of the lower Paleozoic dissolved gases in central gas field of Ordos

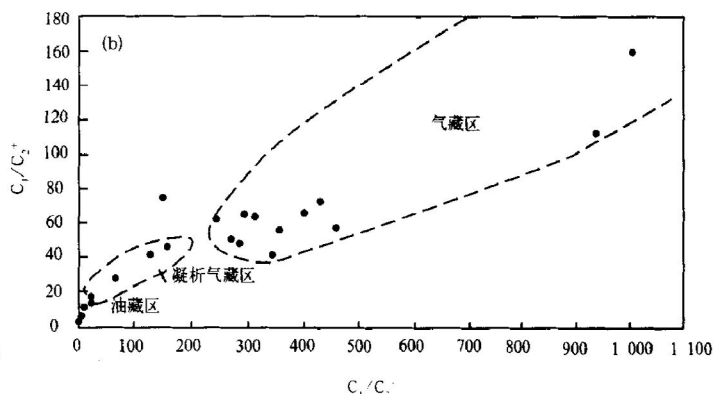
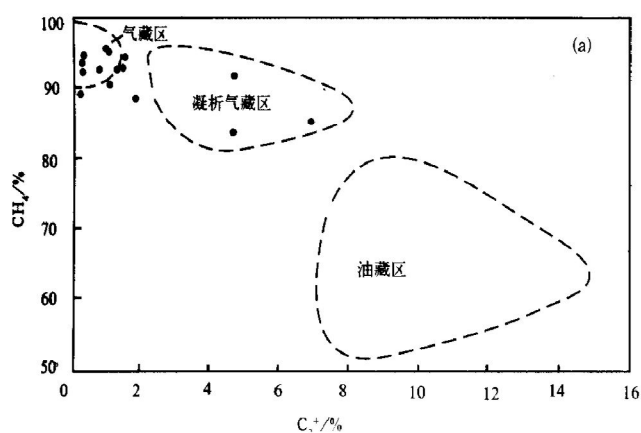


图3 鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气中甲烷及其同系物分布

Fig. 3 Distribution of methane and their associations from the lower Paleozoic dissolved gases in central gas field of Ordos

(气藏区、凝析气藏区、油藏区的划分界限据文献[2])

(a) $-CH_4$ 与 $C_2H_6^+$ 的关系; (b) $-CH_4/C_2H_6^+$ 与 $CH_4/C_3H_8^+$ 的关系

2.2.3 烃类-氮气

通常采用 CH_4/N_2 和 C_1^+/N_2 作为预测含油气性的指标。据研究^[2], 油藏区的 C_1^+/N_2 比值小于

2.2 水溶气特性参数

2.2.1 甲烷系数

甲烷系数有两种表示方法, 即 $CH_4/C_2H_6^+$ (C_1/C_2^+) 和 $CH_4/C_3H_8^+$ (C_1/C_3^+)。据报道^[2], $C_1/C_2^+ < 10$ 为油藏, $10 \sim 25$ 为凝析气藏, > 25 为气藏。从表1可知, 鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气中, 64 个样品的 $C_1/C_2^+ > 25$, 属气藏, 20 个样品 C_1/C_2^+ 在 $10 \sim 25$ 之间, 为凝析气藏, 另有 16 个样品 C_1/C_2^+ 小于 10, 属油藏。

在 CH_4 与 $C_2H_6^+$ 的关系图(图 3a)中, 绝大部分水溶气样品落在气藏区, 少部分落在凝析气藏区。在 $CH_4/C_2H_6^+$ 与 $CH_4/C_3H_8^+$ 的关系图(图 3b)中, 中部气田下古生界多数水溶气样落在气藏区, 少部分水溶气样落入凝析气藏区和油藏区, 这少部分样品主要是东部区块重烃含量高的陕 37、陕 81、陕 34、陕 61 等井。就中部气田平面分布而论, 西部区块水溶气样都落在气藏区, 而东部区块水溶气样落在气藏、凝析气藏和油藏区。

2.2.2 丁烷系数和戊烷系数

丁烷系数: 异丁烷与正丁烷之比(iC_4/nC_4), 戊烷系数: 异戊烷与正戊烷之比(iC_5/nC_5)。据报道^[2], 在油田水、凝析气田水中有较明显的区别, 油田水中 $iC_4/nC_4 < 0.6$, $iC_5/nC_5 < 1.0$; 凝析气田水中 $iC_4/nC_4 > 0.9$, $iC_5/nC_5 > 1.2$ 。鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气中, iC_4/nC_4 多为 $0.6 \sim 1.32$, $iC_5/nC_5 > 1.5$ (表 1), 说明其主要为气田水、凝析气田水。

14, 而气藏区该比值大于 14。就中部气田所分析样品而言, 下古生界水溶气的 CH_4/N_2 和 C_1^+/N_2 这两项比值分别在 $21 \sim 75$ 和 $22 \sim 76$ 之间(表 1), 均

落入气藏区的位置。

2.2.4 氢气

氢气(H_2)是地层水中常见的气体成分之一。一般认为^[1,2], H_2 含量高为油田水所特有, 凝析气田水则低一些, 气田水中含量最少。中部气田下古生界水溶气中 H_2 含量低, 从痕量到 1% 变化(表 1), 这主要反映气田水特征。

3 水溶气的成因

3.1 东部区块

该区块包括陕 37、陕 34、陕 33、陕 58、陕 78、陕 12、陕 61、陕 17、陕 81、陕 84、陕 17-13、陕 11-14、陕参 1、陕 45 等井。这些井水溶气样品组成较完整, 除甲烷占优势组分外, 还含有比较多的乙烷、丙烷、丁烷及 C_5^+ 重烃组分, 并且具有较高的苯和甲苯含量。

依据 C_7 烃化合物中的正庚烷(nC_7)、甲基环己烷($MCyC_6$)与各种结构的二甲基环戊烷($\Sigma DM CyC_5$)为端点, 编制了鄂尔多斯中部气田东部区块下古生界水溶气的 C_7 烃化合物组成三角图(图 4)。一般

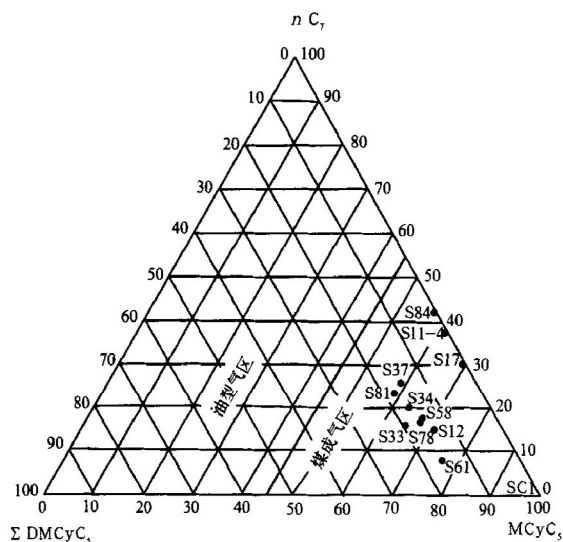


图 4 鄂尔多斯中部气田东部区块马家沟组水溶气 C_7 烃化合物组成三角图

Fig. 4 Triangular diagram showing hydrocarbon compound components(C_7) of dissolved gases in Majiagou Formation of east block in central gas field of Ordos

认为^[8], 甲基环己烷主要来自高等植物木质素、纤维素、糖类等, 其热力学性质稳定, 是反映陆源母质

类型的良好参数; 各种结构的二甲基环戊烷主要来自水生生物类脂化合物, 并受成熟度影响; 正庚烷主要来自藻类和细菌, 对成熟作用很敏感, 是良好的成熟度指标。从图 4 可见, 鄂尔多斯中部气田东部区块下古生界水溶气样均具有较高含量的甲基环己烷($> 50\%$), 较低含量的二甲基环戊烷($< 20\%$), 都落入“煤成气”区域。这种特征尽管与不同组分在水中的溶解度有较大的关系, 即同碳数烃类, 芳烃溶解度最大, 环烷烃居中, 支链烷烃次之, 正构烷烃相对较低^[1,2], 但很可能有上古生界煤成气的混入贡献, 两者的叠合才导致该区块下古生界所有水溶气样都表现出这种倾“煤成气”的 C_7 烃组成特征。

无独有偶, 鄂尔多斯中部气田东部区块下古生界水溶气样的 C_5-7 轻烃组成与图 4 反映的规律一样, 也都落入“煤成气区”, 具有较高的环烷烃($25\% \sim 55\%$)和异构烷烃($30\% \sim 55\%$), 较低的正构烷烃($10\% \sim 25\%$)。

从东部区块下古生界水溶气的上述化学组成特征, 结合中部气田的地质背景分析, 笔者认为, 东部区块的水溶气具有上古生界煤成气和下古生界油型气的混合贡献, 这与笔者对该区下古生界天然气的地球化学综合研究成果*是一致的。

3.2 西部区块

该区块包括陕 181、陕 6、陕 52、陕 184 等井。这些井水溶气样品组成普遍单一, 基本上是甲烷, 乙烷、丙烷含量极低或低于检测限, 丁烷及 C_5^+ 重烃组分一般缺失, 并且苯和甲苯含量极低, 难以被检测出来。这部分水溶气样品明显不同于东部区块, 尽管难以获取反映其来源和成熟度等方面的确切信息, 但从其化学组成特征和地质背景分析, 推断西部区块水溶气主要来自下古生界油型气的贡献, 这一认识与该区下古生界天然气气源研究*是吻合的。

4 结论

(1) 鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气以甲烷含量高为特征, 含有少量 C_2^+ 重烃(主要是乙烷、丙烷、丁烷和戊烷)和非烃组分(主要是 CO_2 , N_2 , H_2), 基本上显示出高成熟-过成熟的干气特征($C_1/C_{1-5} > 0.95$)。

(2) 鄂尔多斯中部气田下古生界水溶气组成存在“东、西差异”: 东部区块水溶气色谱面貌较完整,

* 李贤庆. 鄂尔多斯中部气田下古生界流体地球化学特征及其在勘探评价中的应用. 中国地质大学(北京)博士学位论文, 2001

C_2^+ 重烃含量较高, 并含有较高的苯和甲苯; 而西部区块水溶气色谱面貌单一, 基本上是甲烷, C_2^+ 重烃很低或基本缺失, 苯和甲苯含量极低。这种“东、西差异”揭示了东部和西部区块水溶气的来源是不同的, 推断东部区块水溶气具有上古生界煤成气和下古生界油型气的混合贡献, 西部区块水溶气主要来自下古生界的油型气。

参 考 文 献

- 1 柯林斯 A G. 油田水地球化学[M]. 林文庄, 王秉忱, 译. 北京: 石油工业出版社, 1984
- 2 刘方槐, 颜婉苏. 油气水文地质学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991
- 3 Martini A M, Walter L M, Budai J M, et al. Genetic and temporal relations between formation waters and biogenic methane: upper Devonian Antrim Shale, Michigan basin, USA [J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1998, 62(10): 1 699~ 1 720
- 4 王雪吾, 刘济民. 我国水溶性天然气资源分析与预测[J]. 天然气工业, 1994, 14(4): 18~ 21
- 5 刘崇禧, 张学义. 油田水中可溶气态烃的组成与含量的地球化学意义[J]. 石油勘探与开发, 1984, 11(2): 37~ 43
- 6 郝石生, 张振英. 天然气在地层水中的溶解度变化特征及地质意义[J]. 石油学报, 1993, 14(2): 12~ 22
- 7 李汶国. 水溶气及其成藏作用[A]. 见: 地质矿产部石油地质研究所编. 石油与天然气地质文集(第6集)——天然气远景评价[C]. 北京: 地质出版社, 1997. 63~ 70
- 8 林壬子. 轻烃技术在油气勘探中的应用[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1992

ORIGIN OF LOWER PALEOZOIC DISSOLVED GASES IN CENTRAL GAS FIELD OF ORDOS

Li Xianqing^{1,2} Hou Dujie² Hu Guoyi³ Zhang Aiyun⁴ Liu Changqing²

(1. *Guangzhou Institute of Geochemistry, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou;*
2. *Jiangnan Petroleum Institute, Jingzhou, Hubei;* 3. *Langfang Branch, Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Langfang, Hebei;* 4. *Department of Energy Source - Geology, China University of Geosciences, Beijing*)

Abstract: Characterized by higher contents of methane, the lower Paleozoic dissolved gases in central gas field in Ordos have a little amount of heavy hydrocarbon and non-hydrocarbon compositions basically indicating a dry gas feature of high-over maturation($C_1/C_{1-5} > 0.95$). Differences between “East block & West block” in compositions of the lower Paleozoic dissolved gases (high contents of heavy hydrocarbon C_2^+ , benzene, toluene in compositions of dissolved gas in the east block while in the west block above compositions are either very low or absent) reveal that east and west block dissolved gases come from different sources. Dissolved gases from the east block are combinations of coal-formed gas in the upper Paleozoic and oil-type gas in the lower Paleozoic, whereas dissolved gases from the west block mainly come from oil-type gas in the lower Paleozoic.

Key words: lower Paleozoic; dissolved gas; Coal-formed gas; Oil-type gas; Ordos