

文章编号: 0253-9985(2004)06-0629-05

鄂尔多斯盆地地表元素地球化学场 与能源矿产关系初探

潘爱芳^{1,2}, 赫英¹, 马润勇³

(1. 西北大学地质学系, 陕西西安 710069; 2. 西安建筑科技大学理学院, 陕西西安 710055;

3. 长安大学地测学院, 陕西西安 710054)

摘要: 烃类蚀变和吸附作用通过增大流体的溶解能力、改变介质的氧化-还原条件和酸碱度、影响土壤颗粒的润湿性等方式, 对元素地球化学场产生影响。鄂尔多斯盆地元素地球化学场与能源矿产关系密切, 铁族元素和亲铜元素的低背景叠合分布区为煤和天然气藏的主要赋存区; 钨钼族元素的低背景与铁族元素、亲铜元素的低背景之间的过渡带为铀矿床的有利富集地带; 钨钼族元素低背景区为油气藏和煤矿远景富集区; 规模大、级别高的元素高、低背景区对应富矿大矿。鄂尔多斯盆地及其周缘区地表元素地球化学场可分为 4 个分区, I 区富集石油、天然气、煤; II 区是天然气、煤和铀矿富集区; III 区是石油与煤的共生区; IV 区是多金属、贵金属以及铀矿的有利富集区。

关键词: 鄂尔多斯盆地; 地球化学场; 地球化学分区; 能源矿产

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

Preliminary study of relation between geochemical field of surface elements and energy minerals in Ordos basin

Pan Aifang^{1,2}, He Ying¹, Ma Runyong³

(1. Department of Geology, Northwest University, Xi'an, Shaanxi; 2. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi; 3. Chang'an University, Xi'an, Shaanxi)

Abstract: Hydrocarbon alteration and adsorption can influence geochemical field of elements through enhancing solubility of fluids, changing redox conditions and pH values of media and impacting wettability of soil particles. The geochemical field of elements is closely related with the energy minerals in Ordos basin. The superposition zones of low background of iron-group and chalcophile elements are the major lodging points of coal and natural gas. The transitional zones between low backgrounds of W-Mo-group elements and iron-group and chalcophile elements are the favorable enriched zones of uranium deposits. The low background areas of W-Mo-group elements are the prospective enriched zones of hydrocarbons and coals. Large scale and high-ranked low or high backgrounds of elements are generally correlated with large and rich deposits. The geochemical field of surface elements in Ordos basin and the surrounding areas can be divided into 4 zones, of which zone I is enriched with oil, natural gas and coal, zone II is the enriched zone of natural gas, coal and uranium, zone III is the coexisting zone of oil and coal, and zone IV is the enriched zone of polymetallic and noble metallic ore and uranium deposits.

Key words: Ordos basin; geochemical field; geochemical zonation; energy minerals

地球化学场是地球化学变量在各种尺度空间上的分布, 与空间分布的温度场、流体运动场及各种化学反应相互耦合、相互作用、互为因果^[1,2]。

各类岩石、土壤、水、气体等作为地球化学场的介质, 是研究地球化学场的重要对象。通过研究这些介质, 可以揭示地球化学场的各种规律及其与

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目“多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律”(2003CB214605)

第一作者简介: 潘爱芳, 女, 42 岁, 高级工程师(博士生), 成藏成矿地球化学

收稿日期: 2004-11-22

各种矿产之间的关系,从而认识各种矿床的成藏、成矿规律和地球化学机制^[3]。因此,研究地球化学场分布特征的是研究各类矿产成藏成矿规律的重要方法之一。

目前对鄂尔多斯盆地单一能源矿产进行了较为深入的研究^[4~12]。其中,对石油天然气等有机矿产研究常用有机地球化学方法^[13,14],对铀矿等无机金属能源矿产的研究则多从元素地球化学特征入手。事实上,石油、天然气、煤等非金属矿产和某些金属矿产的形成都是自然界成矿作用的有机组成部分,这些矿产之间关系密切^[15]。例如,研究表明,东胜层间氧化带砂岩型铀矿成矿过程中有深部物质参与,氧化还原带的形成与煤层气或油气流体作用有关^[16],而石油、天然气与金属矿床的共存乃至共生的实例也屡见不鲜^[17]。目前已经认识到油、气、煤、铀和钾盐等金属与非金属矿床、有机和无机矿床在空间上存在共存关系^[18],因此其生成和存在必然会在相应的空间及其周围形成地球化学场。目前,虽然通过有机烃异常研究金属矿床取得了一些进展^[19,20],但很少有人利用元素地球化学特征对有机矿产进行深入研究。作者在收集前人资料的基础上,首次对鄂尔多斯盆地元素地球化学场的特征及其与能源矿产的关系进行研究,获得了该盆地的地球化学分区,初步揭示了各地球化学分区内能源矿产分布的关系。

1 烃类蚀变与吸附作用

烃类的长期微渗漏必将引起地球化学环境的改变,从而导致表层岩石、矿物、土壤的物理化学性质组成成分的改变,这就是烃类蚀变^[21],而这些烃类蚀变又使地球化学场特征发生相应变化。

(1) 在热水流体中加入有机质的模拟实验表明:有机质的加入可增大流体对 Pb、Zn 等元素的溶解能力,增加了岩样释放成矿元素的能力^[20]。显然,如果土壤和岩石中有机质含量高,则其中的金属元素会更容易释放而进入流体中。通常,在煤、石油、天然气富集区,地表介质的烃类含量较高,因此,其中的金属元素易于从介质中释放出来而被淋滤,从而形成金属元素低背景场区域。

(2) 由于组成烃类的物质具有还原性^[22],使得其周围介质的氧化还原条件发生变化,因此,在煤、石油、天然气赋存区,烃类蚀变会使近地表介

质中的元素从氧化态转化为还原态。对鄂尔多斯地区典型油区和非油区土壤样品中 Fe^{2+} 和 Fe^{3+} 含量统计表明^[23],对于土壤中的 Fe_2O_3 ,非含油区平均含量为 3.61%,而含油区的平均含量只有 0.70%,显然前者是后者的 5.2 倍;对于土壤中的 FeO ,非含油区的平均含量为 0.57%,而含油区的平均含量为 1.08%,后者是前者的 1.9 倍。因此,在有烃类物质存在的区域形成 Fe^{3+} 及其同类物质的低背景场。

(3) Cu、Cr、V、Mn、Fe 等元素在较高 pH 值环境下才能发生不同程度的沉淀,沉淀时 pH 值约为 8.5~8.8;低 pH 值介质中易溶于水,并随地表水、潜水的活动迁移而形成低背景。在油气田分布区,烃类通过扩散或地下水携带运移到地表,细菌和辐射作用又使其分解成醛、酮、酸和二氧化碳,而二氧化碳溶于水后生成的碳酸降低了介质的 pH 值(油气田区土壤中 pH 值在 6.7~8.6),由此在油气田上方形成金属元素的低背景^[24]。

(4) 游离在土壤孔隙中的烃类气体,影响了土壤颗粒表面的浸润性等物理特性,会使土壤颗粒对金属元素的吸附能力降低,造成有关元素被解吸,进而被地表水带走,使得油气藏上方这些元素含量的降低,形成低背景场;而高度浓集的有机矿产本身又对金属元素具有较强的吸附作用,在某些条件下甚至可以使被吸附的金属元素富集成矿^[25]。两种因素的影响均会造成金属元素及其化合物在油气、煤赋存区的地表形成低背景场。

2 元素地球化学场特征

2.1 分布特征

根据鄂尔多斯盆地元素的分布特点,对盆地地区 Co、Cr、Fe、Mn 等 24 种元素以平均含量和离差为依据,将其地球化学场划分为 3 个级别。

低背景:小于 $X-s$;背景:($X-s$) 和 ($X+1.5s$) 之间;高背景:大于 $X+1.5s$ 。

其中 X 为背景平均值; s 为标准离差。为能更清楚地反映元素地球化学场与能源矿产间的关系,依据正态分布累积频率曲线,将高背景区和低背景区按其强度进一步划分为 I, II, IIB 个次级区。根据查瓦茨基对元素的地球化学分类,盆地地区元素地球化学场分布主要有以下基本特征。

2.1.1 铁族元素(Co, Cr, Fe, Mn, Ni, Ti, V)

在盆地区,该族元素的地球化学高背景场和

低背景场重合性好,且以低背景和较低背景为主。其中,乌海-东胜以南,吴旗-绥德以北的盆地中心区域为I级低背景区(图1),呈不规则状;盆地北部外围河套地区为II级低背景区,呈等轴状。这两处低背景区在区域上均属于青藏高原-新疆南部-内蒙古东部低值带的一部分^[26]。

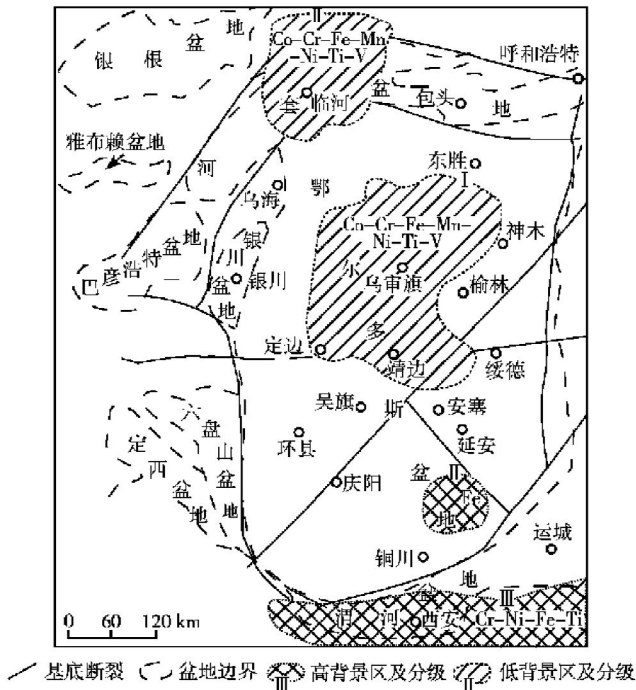


图1 鄂尔多斯盆地铁族元素背景特征

Fig. 1 Background characteristics of iron group elements in Ordos basin

吴旗-绥德以南为背景-中高背景区。其中,高背景场主要分布于盆地南部及其外围的秦岭及其以南地区。南部外围发育Cr, Ni, Fe, Ti II级高背景区,近东西向分布,与秦岭造山带延伸方向一致(图1)。

2.1.2 亲铜元素(Cu, Hg, Pb, Zn, As, Cd)

该族元素的地球化学高、低背景场重合较好,在盆地区呈南高北低的特征。其中,盆地中、北部以中-低背景为主;在秦岭以北、吴旗-绥德以南为背景区(图2)。

盆地中部的乌海-东胜以南、乌旗-绥德以北地带出现Cu, Zn, Cd, As II级低背景区,呈不规则状,北东向延伸;盆地北部外围的河套盆地为Cu, Zn, As, Cd II级低背景区,东西向分布;吴旗-绥德至铜川-宝鸡一带为背景区。盆地南缘的西安-宝鸡之间有一Cu, Zn的II级高背景区,呈近等轴状分布。

2.1.3 钨钼族元素(Mo, B, F, Li)

该族元素在整个盆地区以背景场特征为主,

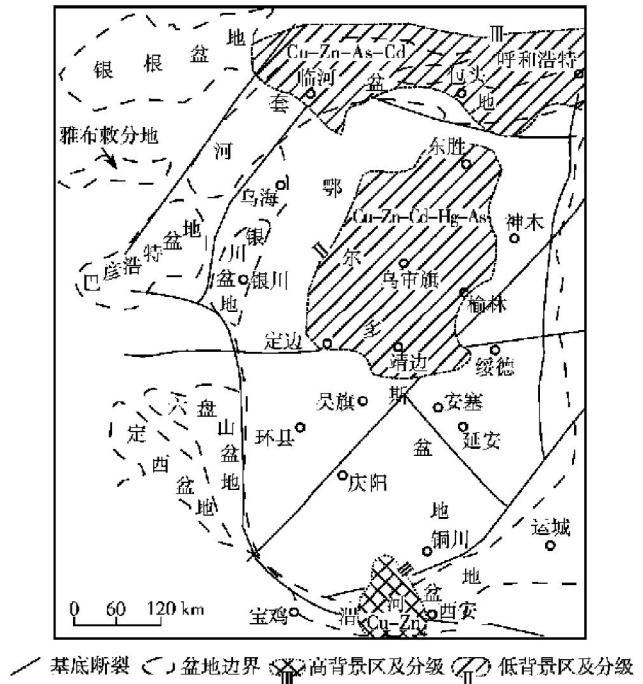


图2 鄂尔多斯盆地亲铜元素背景特征

Fig. 2 Background characteristics of chalcophile elements in Ordos basin

仅在西峰-庆阳一带发育Mo, F II级低背景区,位于中央古隆起中心地带;北部的河套盆底中东部出现一条呈东西走向的Mo, B, Li II级低背景区;盆地南部外围的秦岭一带为Mo, F II级高背景区,该族元素低背景区较前两族元素规模小,贫化程度低(图3)。

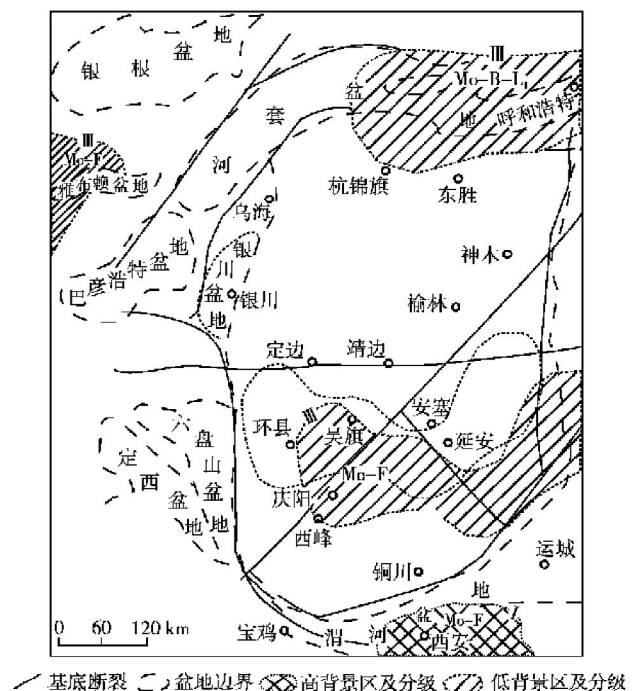


图3 鄂尔多斯盆地钨钼族元素背景分布

Fig. 3 Background characteristics of Tungsten and Molybdenum group elements in Ordos basin

B 元素在盆地北部为低背景,南部接近背景值;F 元素在整个盆地区以低背景为主,仅在盆地西南部出现较高背景;Li,Mo 在盆地区均为低背景场。

2.2 分区

根据对元素地球化学场的分析研究,结合水系沉积物和土壤中元素的分布、迁移、富集特点和元素组合特征,可将鄂尔多斯盆地的地球化学场划分为以下 4 个分区(图 4)。

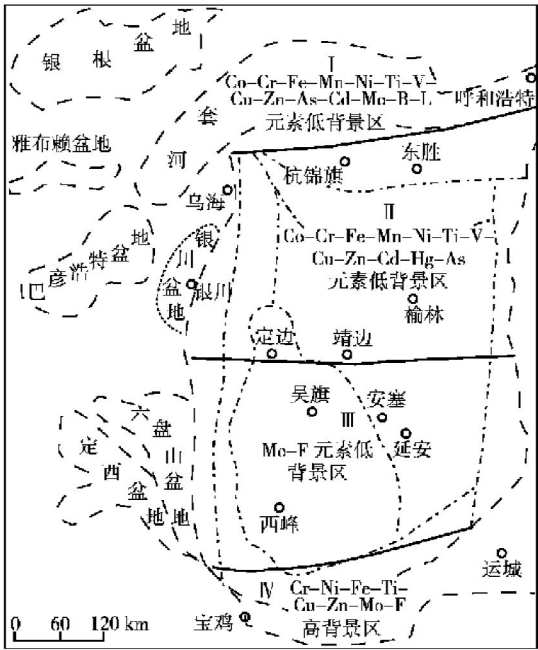


图 4 鄂尔多斯盆地元素地球化学分区特征

Fig. 4 Zonation of geochemical field of elements in Ordos basin

(1) 临河-呼和浩特铁族元素、亲铜元素、钨钼族元素低背景区(I),位于鄂尔多斯盆地北部外围地带的河套盆地。

(2) 定边-东胜铁族元素、亲铜元素低背景区(II),位于乌海-东胜以南、定边-靖边以北所围限的区域。

(3) 西峰-吴旗钨钼族元素低背景区(III),位于吴旗、环县、西峰、庆阳一带。

(4) 宝鸡-运城以南铁族元素、亲铜元素、钨钼族元素高背景区(IV)。位于渭河盆地与秦岭山区,属鄂尔多斯盆地南部外围地带。

3 与能源矿产的关系

对铁族元素、亲铜元素、钨钼族元素地球化学场的特征分析,发现存在以下特征。

(1) 铁族元素、亲铜元素低背景区在空间上相互叠合分布、规模大,强度高达 I、II 级(图 1, 2, 5)。这是由于在天然气赋存区和成熟度较高的煤富集区,烃类微渗漏强烈,改造了其上部介质的地球化学环境,因此,亲铜元素和铁族元素的低背景叠合区则对应着天然气和煤的主要赋存区。

(2) 钨钼族元素的低背景与铁族元素、亲铜元素的低背景之间的过渡带与盆地区的铀矿床具有良好的对应关系(图 3, 5)。与铁族元素、亲铜元素有关的矿物如黄铁矿、黄铜矿等,大都在还原环境下形成;与钨钼族元素有关的矿物如黑钨矿、钼华等,大都形成于氧化环境,因此,两者低背景区的过渡带为地球化学环境中的氧化还原过渡带,正是本区形成层间氧化带砂岩型铀矿的有利地带。如已探明的东胜铀矿,位于盆地东北部钨钼族元素低背景区与铁族元素、亲铜元素低背景区的过渡带,在盆地南部和西南部钨钼族元素低背景区与铁族元素、亲铜元素高背景区的过渡带也已发现了铀矿化点。

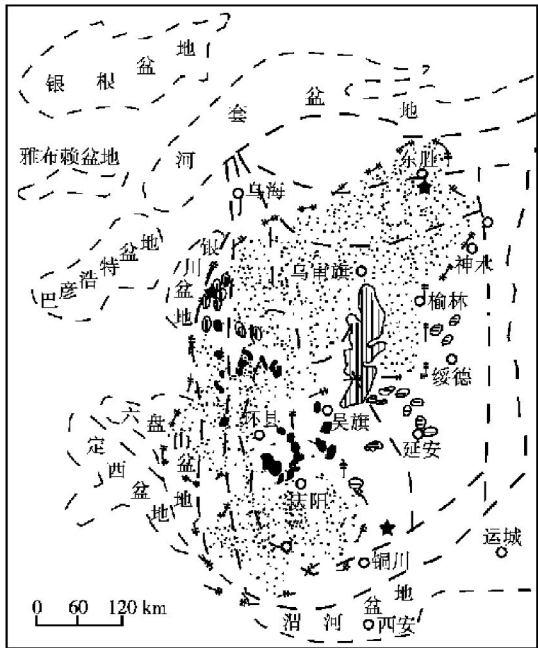


图 5 鄂尔多斯盆地多种能源矿产分布图

Fig. 5 Distribution of various energy minerals in Ordos basin

(3) 钨钼族元素低背景区为盆地的油气藏远景富集区。其中,位于北部河套区的低背景区对应有下白垩统及下第三系渐新统两套生油岩系,

具有良好的石油、天然气和煤的开发前景。位于中部庆阳-延安一带的元素低背景区,对应着盆地内主要的油气分布区,只是由于深部烃类物质在向上微渗透时,受中央古隆起和渭北隆起的影响,使其向南东方向偏移,与此相应,钨钼族元素低背景区在平面上也向南东方向发生了偏移(图3,5)。

(4) 亲铜元素、铁族元素和钨钼族元素高背景叠合区与秦岭造山带对应,是多金属和贵金属赋存区。

对比鄂尔多斯盆地能源矿产的分布规律、微量元素地球化学场和各地球化学分区特征发现,该盆地地球化学分区特征与能源矿产在空间分布上有着密切的关系(图4,5,表1)。

表1 鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集共存特征
Table 1 Characteristics of coexisting and enrichment of various energy minerals in Ordos basin

地球化学区	富集共生矿种
I	● ■
II	● ■ ★
III	● ■
IV	* ※ ★

注: ●石油 ●天然气 ■煤 ★铀 *多金属 ※贵金属

(1) 铁族元素、钨钼族元素、亲铜元素低背景区(I)位于鄂尔多斯盆地北部的外围河套盆地。根据现有的研究成果,该区主要存在下白垩统及下第三系渐新统两套生油岩系,其中在临河坳陷与呼和坳陷均发育厚度巨大的下白垩统生油岩^[27],具有良好的石油、天然气和煤的勘探开发前景。

(2) 铁族元素-亲铜元素低背景区(II)在构造上位于伊盟隆起、陕北斜坡东北缘和晋西挠褶带北部。该区是鄂尔多斯盆地地表烃类蚀变最强的聚集带,也是下古生界东部生气中心及上古生界生气中心的发育地段。其中,已探明长庆、苏里格庙、榆林、乌审旗、米脂、神木等六大气田。目前,在伊盟隆起南部奥陶系风化壳又获得高产气流,是奥陶系气藏的预测远景区,与盆地东北部分布的油苗带吻合较好,有资料表明这些油苗主要来自上古生界的煤系烃源岩^[20]。

该地球化学区普遍发育煤系,其中包括东胜、准格尔、桌子山、乌兰格尔等一系列大型煤矿。除这些大型煤矿外,该背景区的小煤矿更是星罗棋布,煤线煤层随处可见。

该背景区的北部东胜一带,发育层间氧化带型可地浸砂岩铀矿床。由此可见,该区主要是煤、天然气和铀矿的富集共生区。

(3) 钨钼族元素低背景区(III)位于天环向斜、晋西挠褶带南部及中央古隆起、渭北隆起区。与盆地南部油苗区吻合较好,与中生界油区分布基本一致,并广泛发育有机质含量较低的煤,如西峰、城壕、华池、东红庄、油房庄、子长、延长等油田,以及韩城、澄(城)合(阳)、蒲(城)白(水)、铜(川)黄(陵)等含煤区均发育在该地球化学分区,反映该区(带)是石油、煤的主要富集共生区。

(4) 铁族元素、亲铜元素、钨钼族元素高背景区(IV)与盆地南部外围的渭河盆地和渭北隆起对应。该背景区能源矿产较少,以多金属、贵金属和稀有金属矿产为主。

鄂尔多斯盆地不同组合的元素地球化学背景区的能源矿产存在如下赋存特征:I区为石油、天然气和煤的富集共存区;II区为大型天然气、大型煤矿和铀矿的富集共存区;III区为石油、铀的富集共存区;IV区为多金属、贵金属和铀的富集共存区。

参 考 文 献

- 1 Levinson A A. Introduction to exploration geochemistry[M]. Chicago: Wilmette Applied Pub, 1976
- 2 Omaljev V T. Definitions of the concepts of geochemical field, background, and noise[J]. Geochem Internat, 1987, 24(2): 1~6
- 3 鲍征宇, 李方林, 贾先巧. 地球化学场时空结构分析的方法体系[J]. 地球科学, 1999, 24(3): 282~286
- 4 关德师, 张文正, 裴戈. 鄂尔多斯盆地天然气源与富集的主要控制因素初探[J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(3): 191~199
- 5 庄军, 吴景均, 张群. 鄂尔多斯盆地南部早中侏罗世聚煤特征与煤的综合利用[M]. 北京: 地质出版社, 1996
- 6 汤锡元, 郭忠铭, 王定一. 鄂尔多斯盆地西部逆冲推覆构造特征及其演化与油气勘探[J]. 石油与天然气地质, 1988, 9(1): 1~10
- 7 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
- 8 李克明. 鄂尔多斯盆地北部晚古生代的深盆气气藏[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 190~193
- 9 中国煤田地质总局. 鄂尔多斯盆地聚煤规律及煤炭资源评价[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1996
- 10 李延钧, 陈义才, 杨远聪, 等. 鄂尔多斯下古生界碳酸盐岩烃源岩评价与成烃特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 349~353
- 11 陈法正. 鄂尔多斯盆地北部古水文地质条件与铀成矿前景分析[J]. 铀矿地质, 2002, 18(5): 287~294

(下转第685页)

(1) 低位域砂体模式: 凹陷中扇状砂体孤立分布在烃源岩中, 形成泥包砂的生储结构。油气生成后可直接进入砂岩中形成砂岩透镜体油藏, 征沙村构造即属于这种类型。

(2) 水进域砂体模式: 岩性尖灭体与构造相配合形成圈闭。砂岩尖灭体附近的源岩生成的油气在圈闭中聚集形成砂岩上翘尖灭油藏, 如莫西庄构造的 $J_1s_2^1$ 油藏。

(3) 高位域砂体模式: 三角洲前缘的席状砂、三角洲前缘水下分流河道的河道砂、河口坝和前三三角洲趾部浊积砂体与前三三角洲泥岩封堵成藏, 如莫西庄构造的 $J_1s_2^2$ 油藏。河道砂体连片成藏。

用建立的砂体识别模式作指导, 通过测井约束地震反演, 结合地震属性研究, 对岩性体展布作出精确描述, 从而发现和落实隐蔽油气藏。

2.4 探寻新型圈闭

根据封存箱理论, 由封存箱封隔层控制的成岩圈闭是可能存在的。由封存箱封隔层控制的成岩圈闭可以规模巨大, 因此具有诱人的勘探前景。

准噶尔腹部普遍存在高压层^[1], 开展对这些高压层的研究, 对发现成岩圈闭具有重要意义。目前这种方法尚不成熟, 但可进行探索, 作为一种方法准备。

参 考 文 献

- 新疆油气区石油地质志(上册)编写组. 中国石油地质志卷十五(上册)新疆油气区, 准噶尔盆地[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 王宜林, 张义杰, 王国辉, 等. 准噶尔盆地油气勘探开发成果及前景[J]. 新疆石油地质, 2002, 23(6): 449~ 455
- 王震亮, 宋岩. 准噶尔盆地侏罗系天然气藏特征[J]. 石油与天然气地质, 2001, 22(2): 133~ 136
- 李溪滨, 买光荣. 准噶尔盆地腹部石油地质特征与找油领域[J]. 石油与天然气地质, 1993, 14(1): 23~ 33
- 威尔格斯 C K. 层序地层学原理——海平面变化综合分析[M]. 徐怀大, 魏魁生, 洪卫东, 等译. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 徐怀大, 赵政璋, 樊太亮, 等. 从地震地层到层序地层学——油气盆地的定性化与定量化描述[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997
- 邓宏文, 李小孟, 王洪亮, 等. 高分辨率层序地层对比在河流相中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 90~ 95
- 张年富, 齐雪峰, 王英民, 等. 准噶尔盆地侏罗系 III 层序底界上下砂体预测与有利区评价[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(2): 145~ 149
- 樊太亮, 李庆谋. 沉积基准面变化分析技术及其应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 108~ 114
- 王洪亮, 邓宏文. 地层基准面原理在湖相储层预测中的应用[J]. 石油与天然气地质, 1997, 18(2): 96~ 102
- 吴金才, 张建中, 石好果, 等. 准噶尔盆地腹部复合圈闭成藏特征研究[J]. 石油实验地质, 2003, 25(6): 735~ 739
- 林畅松, 潘元林, 肖建新, 等. “构造坡折带”——断陷盆地层序分析和油气预测的重要概念[J]. 地球科学——中国地质大学学报, 2000, 25(3): 260~ 266
- 刘豪, 王英民. 准噶尔盆地坳陷湖盆坡折带在非构造圈闭勘探中的应用[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 422~ 427
- 张满郎, 朱筱敏. 准噶尔盆地东部侏罗系沉积体系及油气意义[J]. 石油与天然气地质, 2000, 21(3): 272~ 278
- 赵桂萍. 准噶尔盆地南缘异常高压及其与油气成藏的关系[J]. 石油与天然气地质, 2003, 24(4): 327~ 331
- 翟爱军, 邓宏文. 鄂尔多斯盆地上古生界层序地层与储层预测[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(4): 336~ 340
- 李贤庆, 侯读杰, 胡国艺. 鄂尔多斯盆地中部奥陶系地层水有机组分特征[J]. 石油与天然气地质, 2002, 23(1): 26~ 29
- 陈建渝, 朱芒征. 含油气系统与有机地球化学的关系[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(3): 246~ 249
- 涂光炽. 地学走向何方[J]. 铀矿地质, 1995, 11(6): 321~ 326
- 朱西养, 汪云亮, 王志畅, 等. 东胜砂岩型铀矿微量元素地球化学特征初探[J]. 地质地球化学, 2003, 31(2): 39~ 45
- 涂光炽. 成煤、成油、成气、成盐和成金属矿之间的关系[J]. 有色金属矿产与勘查, 1994, 3(1): 1~ 3
- 魏永佩, 王毅. 鄂尔多斯盆地多种能源矿产富集规律的比较[J]. 石油与天然气地质, 2004, 25(4): 385~ 392
- 陈远荣, 戴塔根, 贾国相, 等. 金属矿床有机烃气常见异常模式和成因机理研究[J]. 中国地质, 2001, 28(4): 32~ 37
- 朱弟成, 朱利东, 林丽, 等. 西成矿田泥盆系铅锌矿床中的有机成矿作用[J]. 地球科学, 2003, 28(2): 201~ 208
- 郭德方, 叶和飞. 油气资源遥感[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1995
- 李广之. 轻烃地球化学场的形成和特征[J]. 石油与天然气地质, 1999, 20(1): 66~ 69
- 王云鹏, 耿安松, 刘德汉. 鄂尔多斯盆地地表烃类的遥感探测研究[J]. 天然气工业, 1999, 19(6): 17~ 20
- 李志宏. 油气田上微量金属元素异常的相关分析[J]. 郑州大学学报(自然科学版), 1994, 26(4): 45~ 48
- 施继锡, 余孝颖, 王华云. 古油藏、沥青及沥青包裹体在金属成矿研究中的应用[J]. 矿物学报, 1995, 15(2): 117~ 122
- 李家熙, 吴功建. 中国生态环境地球化学图集[M]. 北京: 地质出版社, 1999
- 韩长金. 河套盆地早期资源评价与找油方向[J]. 石油勘探与开发, 1993, 20(增刊): 20~ 27

(上接第 633 页)