

中-东亚能源矿产成矿域基本特征及其形成的动力学环境

刘池洋* 邱欣卫 吴柏林 赵红格

(大陆动力学国家重点实验室, 西北大学含油气盆地研究所, 西安 710069)

摘要 世界已探明的砂岩型铀矿床的 82% 以上与已经探明的油气田或煤田同盆共存, 表明油、气、煤、铀多种能源矿产同盆共存富集存在普遍, 其中尤以中-东亚地区诸能源盆地典型。中-东亚巨型能源矿产成矿域(简称为中-东亚成矿域)东起我国松辽盆地, 西止里海, 地跨中国、蒙古国和中亚诸国, 东西连绵逾 6000 km。该成矿域诸盆地多种能源矿产的赋存和分布具有以下特点: 空间分布复杂有序、含矿层位和地区联系密切、成藏(矿)-定位时期相同或相近、赋存环境和成藏(矿)作用有机相关、并共具丰富的矿源物质背景, 表明其间有着密切的内在联系和统一的地球动力学背景。中-东亚成矿域外生铀成矿过程可以距今 $100, 50 \pm 2, 20 \pm (2 \sim 4), 8 \sim 5 \text{ Ma}$ 为界划分为 5 个时期。各主要含铀盆地的主成矿期及其差异, 与所在盆地油气的成藏-定位时期和期次基本一致; 并与区域大地构造演化有明显的响应关系, 总体受区域地球动力学环境演变控制。从工业利用和商业开采考虑, 油、气、煤、铀共存、成藏和定位及其相互作用的密切联系, 主要发生在盆地演化晚(末)期和之后。综合分析和对比中亚和我国诸能源盆地的成藏(矿)环境认为, 相对稳定的区域构造背景和适度(较弱)的构造变动, 是大中型砂岩型铀矿床、油气田(区)和煤田形成、共存和保存的必要条件; 适于油、气、煤、铀同盆共存成藏、且资源甚丰的盆地类型, 主要为内克拉通盆地和中间地块盆地及其相关的改造盆地。

关键词 中-东亚能源矿产成矿域 油-气-煤-砂岩型铀矿 同盆共存 成藏(矿)机理 盆地动力学

油气、煤和铀为当今世界上最重要的 4 种不可再生能源; 在世界各国的能源结构、政治、军事、经济发展、社会进步和国家安全等方面均处于十分重要的地位。世界各国对其高度重视^[1]。

油、气、煤几乎完全赋存在沉积盆地中早已成为人们的共识, 也业已被百余年的勘探和生产实践所证明。外生沉积型铀异常和铀矿虽发现较早, 但在 20 世纪 70 年代之前, 分布在表层的各类内生热液型铀矿床一直处主导地位。目前, 主要产于中生代盆地

中的沉积型铀矿, 特别是其中的砂岩型铀矿, 已是世界上分布最广、可经济利用和勘查的主要铀矿床类型。对世界铀矿床产出的主要类型按储量份额排序, 砂岩型名列第一^[2]。若剔除在全球分布极少的元古界不整合面型和石英卵石砾岩型超大型铀矿床, 在 2000 年, 砂岩型铀矿的生产量已占铀生产总量的 76%^[3]。可地浸砂岩型铀矿的开采成本低、环境污染少, 随着地浸开采技术的进一步发展, 其产量占铀生产总量的比例将会更大。

收稿日期: 2007-03-21; 接受日期: 2007-05-15

国家重点基础研究发展计划项目(编号: 2003CB214600)、教育部长江学者和“油气盆地”创新团队发展计划项目(编号: IRT0559)和国家自然科学基金项目(批准号: 40372096)联合资助

* E-mail: lcy@nwu.edu.cn

我国铀矿勘查在 20 世纪 80 年代之后陆续转入以砂岩型为主,目前在北方诸中新生代盆地中,铀矿勘查已取得了一系列重要进展,并发现多个(特)大型可地浸砂岩型铀矿^[3]。

随着砂岩型铀矿在铀矿资源中地位和重要性的迅速提高,油、气、煤和铀 4 种重要能源矿产主要赋存在沉积盆地中已成为不争的事实。值得注意的是,砂岩型铀矿常常与油、气、煤产在同一盆地中,其空间分布关系密切。据国际原子能机构(IAEA)2003 年统计,世界已探明的砂岩型铀矿床共有 333 个,分布在 94 个盆地中^[4]。通过对这些盆地油气、煤勘探发现现状的调研和对比,发现其中有 54 个盆地 274 个砂岩型铀矿与已经探明的油气田或煤田同盆共存,分别占含铀盆地总数的 57.4%、占铀矿床总数的 82%。此调研对比没有统计已有不同形式油气显示、有望发现新的油气藏,或曾发生油气聚集成藏、然现已遭改造或破坏的盆地。这类盆地为数不少,若将其计算在内,多种能源矿产共存的盆地及其中的铀矿床所占的比例会更高。

尚需指出,在这 4 种能源矿产同盆共存、富集成藏过程中,同时伴(共)生有多种其他能源和非能源、金属与非金属矿产,如油页岩^[5]、沥青、铝土矿、锆矿、膏盐和黄铁矿等。新近在鄂尔多斯盆地北部准格尔煤田黑岱沟矿上石炭统太原组顶部 6 号巨厚煤层中,发现与煤共(伴)生的超大型镓矿床^[6]。镓属典型的分散元素,自然界中很难形成独立矿床。故该矿床的发现对分散赋存元素在沉积环境中高度富集成矿提供了难得的剖析实例,具有重要的科学意义和应用价值。所以,煤及油气(层)中伴(共)生的金属元素的富集或成矿是一个值得重视的研究领域和重要的研究方向。这些能源和非能源、金属和非金属矿产同盆共存,共同构成了矿产资源丰富、类型多样、相对独立的盆地成矿系统^[7]。本文重点论及盆地中油、气、煤、铀 4 种主要能源矿产的共存及其赋存环境。

尽管已发现的砂岩型铀矿遍布全球,但其富集成矿区的集中分布却有明显的分区性。无论砂岩型铀矿床的数量,还是总资源量,北半球(北纬 20°~50°)均占主导地位,其中以中-东亚分布最为集中。在中-东亚成矿区,油、气、煤、铀同盆共存尤为普遍和典型;从而呈现出单个盆地多种能源矿产共存,诸多能源盆地复合构成宏伟的能源矿产成矿域(带)。涂光炽院士^[8]提出的“中亚成矿域”和戴金星院士等^[9]论及的

“中亚煤成气聚集域”的东界,分别大致在我国内蒙古西部和新疆东部。现已发现油气、煤、铀共存的二连、松辽盆地处于亚洲东部,故称其为中-东亚能源矿产成矿域,简称中-东亚成矿域。

我国目前所发现的油、气、煤、铀富集共存的盆地绝大多数在北方,是中-东亚能源矿产成矿域的组成部分。本文拟探讨中-东亚成矿域多种能源矿产同盆共存的基本特征和其形成的动力学环境。

1 中-东亚成矿域与能源盆地分布

中-东亚巨型能源矿产成矿域东起我国松辽盆地,西止里海,东西连绵逾 6000 km。在该成矿域分布有数十个(特)大型油田、气田、煤田和砂岩型铀矿;其中多数盆地这四种能源矿产共存富集(图 1)。根据大地构造特征、区域演化和成矿条件等方面的差异,自东而西将该成矿域划分为松辽-鄂尔多斯、阿拉善-河西走廊、新疆和中亚 4 个成矿区。前 3 个地区主体位于中国北方,向北跨入蒙古国境内。

1.1 中国北方能源盆地

我国北方已不同程度发现油、气、煤和铀共存的盆地十多个。这些盆地已成为我国多种不可再生能源矿产重要的生产基地或资源接替区。

其中油气年产量(石油当量)超过千万吨的有松辽、鄂尔多斯、准噶尔和塔里木等大型盆地,逾百万吨的有二连、酒泉、吐哈和柴达木等中小型盆地,达数十万吨的有海拉尔、三塘湖和焉耆等小型盆地。此外,在潮水、酒东、伊犁等盆地已有不同程度油气发现和显示。

我国煤炭资源量和产量居世界第一位,其中 80%以上主要分布在北方;产层主要为石炭—二叠系和侏罗系,少数盆地的三叠系和古近系亦含煤层。侏罗系煤系地层遍布我国北方,以中西部储量最丰。在鄂尔多斯盆地,有石炭—二叠系、侏罗系及三叠系三大套数十层煤层。上述含油气盆地大多都产(含)煤,其中的天然气田(藏),特别是大型天然气田,主要为煤成气田^[10]。

我国砂岩型铀矿的规模勘查起步较晚,尚处于勘探和发现的初期阶段。目前已发现的砂岩型铀矿床主要分布在北方这些含油气、煤盆地内。其中在鄂尔多斯、二连、吐哈、伊犁等盆地中已探明有(特)大型可地浸砂岩型铀矿床,并发现多处铀矿化和铀异

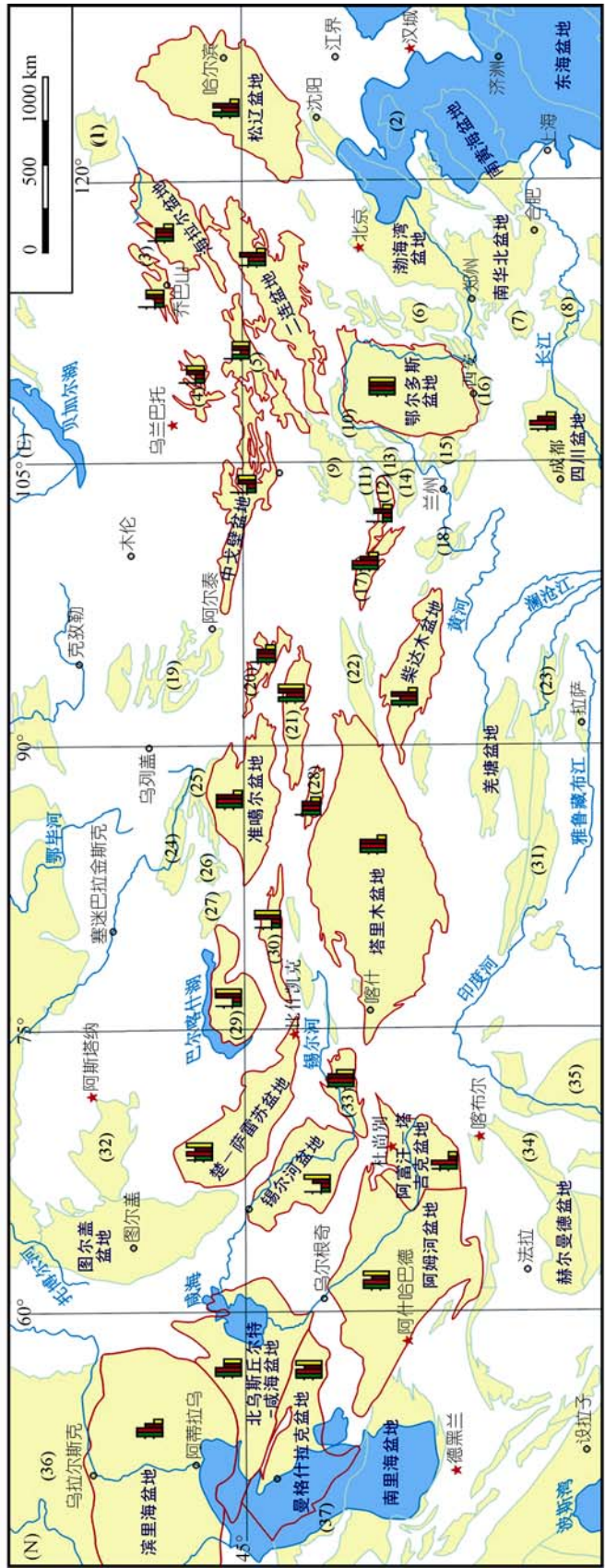


图 1 中-东亚成矿域能源盆地与多种能源矿产分布图

盆地编号及名称: (1)根河, (2)北黄海, (3)乔巴山, (4)内尔金, (5)东戈壁, (6)沁水, (7)南襄, (8)江汉, (9)银根, (10)河套, (11)雅布赖, (12)湖水, (13)巴彦浩特, (14)武威, (15)六盘山, (16)渭河, (17)酒泉, (18)共和, (19)大湖, (20)三塘湖, (21)吐哈, (22)敦煌, (23)比如, (24)萨彦, (25)福海, (26)塔城, (27)阿拉科尔, (28)焉耆-库米什, (29)南巴尔喀什, (30)伊犁-阿拉木图, (31)措勤, (32)田吉兹, (33)费尔干纳, (34)卡塔瓦兹, (35)印度河, (36)卡玛-基内, (37)特里克里-里海。图中划归中-东亚成矿域的盆地边用红色表示, 盆内长方形柱体从左往右依次为油、气、煤和铀, 柱体高低表示已发现资源的多少

常点. 在松辽、海拉尔、潮水、酒东、三塘湖、柴达木、准噶尔、塔里木和焉耆-库米什等盆地, 发现多个铀矿和众多铀矿化及铀异常点.

1.2 蒙古国境内有关盆地

蒙古国有 10 个面积在 $(2\sim7)\times 10^4\text{ km}^2$ 的中新生代盆地^[11], 东、西两个临国界的盆地分别为中国海拉尔盆地和三塘湖盆地的外延. 在东南部于中(晚)侏罗世一早白垩世发育的张性断陷盆地群, 蕴藏有较丰富的有机能源矿产. 已在东南临近中国的东戈壁盆地和海拉尔(-塔穆察格)盆地发现商业油气田, 储油气层主要为下白垩统和上侏罗统砂岩, 主要烃源岩为下白垩统河-湖相泥岩. 在东、南部乔巴山、内尔金、中戈壁等盆地发现油页岩和沥青. 蒙古国有石炭系、二叠系、侏罗系和白垩系等多套含煤地层, 其分布自老而新从西向东迁移. 以下白垩统褐煤产量最高, 主要分布在东部, 已发现 380 多个煤矿和矿点¹⁾. 铀矿化的形成和铀异常富集与白垩系及侏罗系褐煤层联系密切.

外生铀矿床和成矿远景区均分布在东南部中新生代盆地群中, 与煤和油页岩及油气同盆共存; 现已发现 2 个铀矿床、32 个铀矿点和 100 多个铀矿化点¹⁾. 目前探明的铀矿床主要有与潜水或层间氧化带有关的煤岩型和砂岩型两类. 其中砂岩型铀矿床规模较大, 在蒙古国各类铀矿床中最具工业开采价值. 该类铀矿床主要产于盆地(主要为 K₁ 上部 and K₂ 底部)和古河谷

的砂岩中, 矿化地段的砂岩富含有机质碎屑和沥青¹⁾.

1.3 中亚的能源盆地

中国之西到里海的中亚地区油气资源极为丰富, 据不完全统计, 已发现 500 多个油气田^[11]. 除该区东北少数中小盆地尚未发现商业油气藏外, 均不同程度地发现规模油气, 且多数盆地发现众多油气田和多个大型、特大型油气田. 现已探明石油可采储量约 $42.8\times 10^8\text{ t}$ ^[12], 探明原始天然气可采储量约 $10.3\times 10^{12}\text{ m}^3$ ^[11]. 10 多个含油气盆地主要分布在哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、吉尔吉斯斯坦和塔吉克斯坦五国(以下简称中亚五国), 临国界盆地向南、东分别延入阿富汗和我国(图 1, 表 1). 其中滨里海、阿姆河盆地油气丰富世界著名, 费尔干纳盆地以油气“小而富”著称.

目前, 中亚已成为全球油气勘探的热点和新的油气生产区, 油气发现和储量增长快速. 截至 2007 年 1 月 1 日, 哈萨克斯坦的石油储量和产量分别名列世界第 11, 17 位, 除中东波斯湾盆地诸产油国外, 在亚洲分别位居第一、第二(中国分别名列世界第 13, 5 位); 天然气储量土库曼斯坦和哈萨克斯坦并列世界第 11 位, 位居中国(15 位)之前, 名列亚洲第一; 乌兹别克斯坦天然气储量位居世界第 17 位^[12]. 该区主要含油气盆地大多有侏罗系及石炭系煤层分布, 丰富的天然气以煤成气为主^[9,10].

表 1 中亚地区能源矿产盆地基本特征要素表^{a)}

国别 ^{b)}	盆地名称	面积 /10 ⁴ km ²	主要沉积岩		发现油气田和主要储集岩			含煤层系	外生沉积型铀矿床	
			时代	厚度/m	油气田	时代	岩性		铀矿区	矿层
哈	南巴尔喀什	7	Pz ² , Mz, Rz	>4000	有油气显示			J ₁₋₂		J, K, E ₁
哈	伊犁-阿拉木图	5 (含中国)	Pz ² , Mz, Rz	>5000	见少量天然气和油气显示			J ₁₋₂	伊犁	J, K, E ₁
乌、塔、吉	费尔干纳	4	T—Q	8000	50 多个	J, K, E, N	碳酸盐岩, 砂岩	J ₁₋₂	费尔干纳	E
哈	田吉兹	4	Pz ² , Rz	>5000	/	/	/	?		
哈	楚-萨雷苏	15	Pz ² , K, E—N	8000	21 个	D—P	砂岩, 碳酸盐岩	C, J		K ₂ , E, N
哈	锡尔河	18	Pz ² , J, K, Rz	>5000	西部有油气显示			C, J	东土伦	K ₂ , E, N
哈	图尔盖	11(6)	Pz ² , Mz, Rz	>5000	13 个	J, K ₁ , C	陆源碎屑岩	J, K, T		
阿、塔、乌	阿富汗-塔吉克	10	J—Q	7000~12000	>24 个	J, K, E ₁	碳酸盐岩, 砂岩	J ₁₋₂		
土、乌	阿姆河(卡拉库姆)	43	J—Q	8000	250 多个	J, K	砂岩, 碳酸盐岩	J, K ₁ , E	中克兹尔库姆	K, E ₂
哈、乌	北乌斯丘尔特-咸海	25(18)	Mz, Rz	>5000	17 个	J, K ₁ , E ₂ , C	陆源碎屑岩, 碳酸盐岩	K ₁ , C ₂		
哈、乌	曼格什拉克	7.5	Mz, Rz	>7000~10000	25 个	J, K ₂ , E ₁ , T	陆源碎屑岩, 碳酸盐岩, 礁灰岩	J ₁₋₂	近里海	鱼骨碎片型, E ₃
哈、俄	滨里海	50	Pz—Rz	12000	186 个	D—J, K, E—N	陆源碎屑岩, 碳酸盐岩			

a) 据文献^[11,13,14]等资料编绘; b) 国别栏各国取哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦、吉尔吉斯斯坦、塔吉克斯坦、阿富汗和俄罗斯汉字国名第一个字代之. 1 示未发现. / 示有争议

1) 赵凤民, 乔茂德. 蒙古国铀矿地质. 核工业北京地质研究院内部编译报告. 2005

中亚为世界铀资源最丰富的地区之一, 现已探明的 7 个铀矿区(省), 全分布在中亚五国(图 1)。其中北哈萨克斯坦和近巴尔喀什湖 2 个铀矿区属内生热液型矿床。另 5 个外生沉积型铀矿区(表 1)有 4 个分布在咸海之东的中亚腹地, 全为砂岩型铀矿床; 近里海铀矿区属鱼骨碎片型^[14]。中亚已探明砂岩型铀矿床数逾百个, 铀矿床储量占全球总工业铀储量的 35% 以上; 仅在哈萨克斯坦境内探明的可地浸砂岩铀矿储量就占世界的 1/4^[1]。

与 5 个沉积型铀矿区有关的 7 个含铀盆地均有煤系地层发育, 其中 4 个盆地为重要的油气生产区(表 1)。尚未发现商业油气的伊犁-阿拉木图、南巴尔喀什和锡尔河盆地, 均有不同程度油气显示。伊犁-阿拉木图盆地的多口钻井测试, 在二叠—白垩系多个层段直接获得天然气。伊犁铀矿区(省)两个盆地的煤炭资源丰富, 仅伊犁-阿拉木图盆地西部哈萨克斯坦境内的煤炭资源达 200~240 亿吨^[14]。该矿区铀矿床的形成和分布与早侏罗—中侏罗世陆相含煤建造联系密切。

2 多种能源矿产赋存特点与分布规律

综合研究、对比和总结中-东亚成矿域诸能源盆地, 该区域多种能源矿产的赋存和分布具有以下特点:

2.1 空间分布复杂有序

目前发现的砂岩型铀矿床主要分布在临近(较)富铀蚀源区的盆地边部和盆内隆起或凸起、斜坡上。这些较高部位, 一般也常为油气运移-逸散的指向。如松辽盆地钱家店铀矿床, 伊犁、吐哈及准噶尔盆地南部的铀矿床, 鄂尔多斯盆地东南部店头铀矿床, 塔里木盆地北部铀矿点, 中亚楚-萨雷苏盆地西北部铀矿区^[14], 阿姆河(卡拉库姆)盆地东北部的中克兹尔库姆铀矿区(图 2)等, 均分布在临近盆地隆起边缘的斜坡地带。鄂尔多斯盆地北部东胜大型铀矿床、二连盆地测老庙铀矿床、焉耆-库米什盆地东部的铀矿床或铀矿点等, 均位于盆地内部或边部的隆起或凸起上。这种分布尽管受地浸开采技术及钻探深度和勘探程度的不同程度限制, 但仍总体上反映了控制砂岩型铀矿形成的条件和环境, 在分布上具有代表性。

固体矿产煤的形成和分布主要受原始沉积环境和现今埋深的控制, 可开采的煤矿一般埋藏较浅, 常位于盆地的边部或盆内隆起部位。在我国北方较大

型盆地 500~2000 m 及其下, 仍有丰富煤炭资源。

流体矿产油气的成藏、分布和定位较为复杂。各类油气藏(田)多数分布在盆地内和边部的较高部位, 如背斜、凸起、斜坡和隆起及鞍部。岩性-地层油气藏分布较广, 宏观上受古构造和沉积环境控制, 然不完全受现今起伏高低的制约。与深盆地等有关特殊油气藏, 一般赋存于盆内的较低部位。

上述 4 种能源矿产的形成和分布特点, 总体形成了边部铀和煤、内部油气; 浅部铀(煤), 中下部油气、煤; 铀矿面积小, 油气田范围较大、煤田展布广的宏观分布格局。但由于不同盆地的演化-改造过程、结构、构造和沉积特征、成矿条件等的差异, 常形成特征复杂、组合多样、有级别、分区带但有序可循的空间分布格局。

2.2 含矿层位和地区联系密切

综合研究和对比中-东亚成矿域同一盆地各能源矿产的赋存层位可知, 从东北松辽盆地, 经二连、鄂尔多斯盆地和河西走廊-阿拉善、新疆诸盆地, 到中亚各盆地, 砂岩型铀矿床的主含矿层主要在侏罗系—新近系, 且与同一盆地中其他 3 种能源矿产的赋存层位大体相同, 或彼此相邻^[1](图 3)。

一般而言, 煤岩型铀矿床的含矿层与相关主煤层的分布联系密切。如中亚伊犁铀矿区(省)两个盆地的铀矿床主要为煤岩型, 其中与 2 个最厚煤层有关的铀矿床储量占总储量的 76.5%^[14]。油气易于流动和逸散, 与之有关的砂岩型铀矿床的含矿层和储油气层的空间(平、剖面)位置关系形式多样。

对于发育时间长、演化阶段多、沉积厚度大的盆地和叠合盆地, 常有多套储油气层和煤层。由于受地浸开采技术和与之相适的钻探深度的限制, 目前揭示的砂岩型铀矿床的埋深一般小于 500 m, 大多在 400 m 以内; 其含矿层时代相对较新。故在这些盆地中, 所发现铀矿床的含矿层与上(中)部产煤层及含油气层基本一致或相邻, 而位于(中)下部含油气层及煤层之上。如中亚东土伦、费尔干纳、中克兹尔库姆和近里海诸铀矿区各盆地(表 1)^[14], 中国鄂尔多斯、塔里木等盆地。

事实上, 在盆地演化的不同阶段或地层埋藏的不同深度, 均有油、气、煤、铀富集共存的可能。新近利用油气井测井和岩芯测试对鄂尔多斯盆地古生界气区和中生界油区的研究表明, 在埋深 1600~2300 m

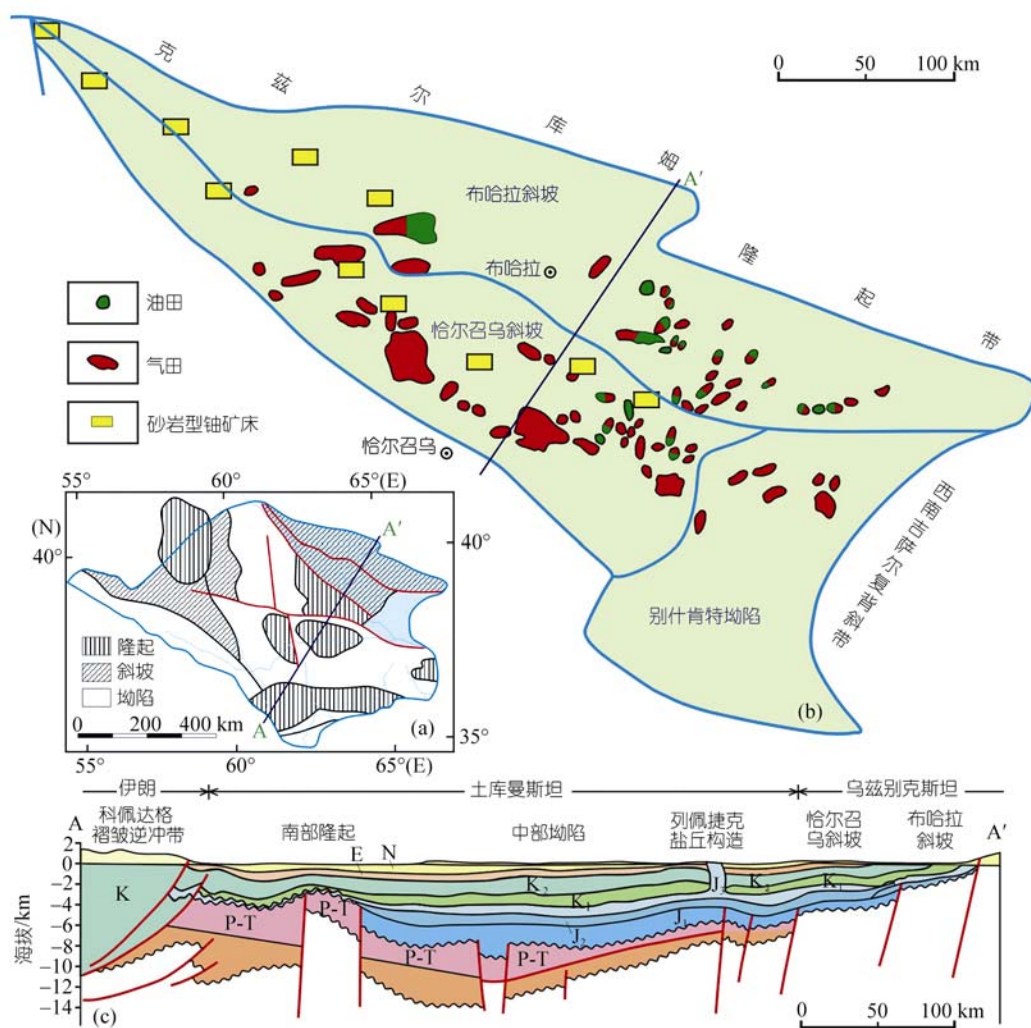


图2 阿姆河(卡拉库姆)盆地结构与东北部油气田和砂岩铀矿床分布图(据文献[11,13,14]等资料编绘)

的上古生界—中生界多个层段中,均发现有由铀元素含量异常引起的放射性异常.其岩性有砂岩、泥岩、炭质泥岩和煤层等^[7,15].各铀元素含量异常的层位与同深度、同时代地层的油、气、煤赋存的层位基本一致,或相邻.如盆地最重要的烃源岩延长组7段泥页岩,即以富含铀元素为特征.显然,盆地较深部各层段铀元素的富集或古铀矿的存在,对烃源岩的形成和生烃有何影响,能否成为表浅层铀矿床成矿物质的来源是值得深入探讨的重要问题^[7].

多个盆地的勘探和研究揭示,在多种能源共存盆地的各含矿层内,甚至可不同程度地直接见到其他能源矿产,或发现其存在的相关踪迹.油和气、气

和煤彼此同层或上、下分布已屡见不鲜;油和煤、油气煤同层也常有发现.在鄂尔多斯盆地东南部的店头铀矿床,含矿层直接位于油砂层之下^[16].盆地北部东胜大型砂岩型铀矿的矿层(J₂z)中,有多种外来成熟煤型气存在和作用的岩石、矿物、地球化学等证据^[7].在伊犁等盆地,铀矿直接赋存在煤层之间或上下^[17].与塔里木盆地西隔相通的乌恰残留盆地,巴什布拉克铀矿床含矿层广泛发育固体沥青和CH₄, H₂S, H₂等气体,矿化范围和固体沥青分布范围一致,该矿床形成与逸散的油气还原作用和被氧化为沥青的吸附作用密切相关¹⁾.在二连盆地的努和廷和苏崩铀矿床和松辽盆地的钱家店铀矿床,分布在油气田内或与油

1) 黄净白, 黄世杰, 张金带, 等. 中国铀成矿带概论. 中国核工业地质局内部资料. 2005

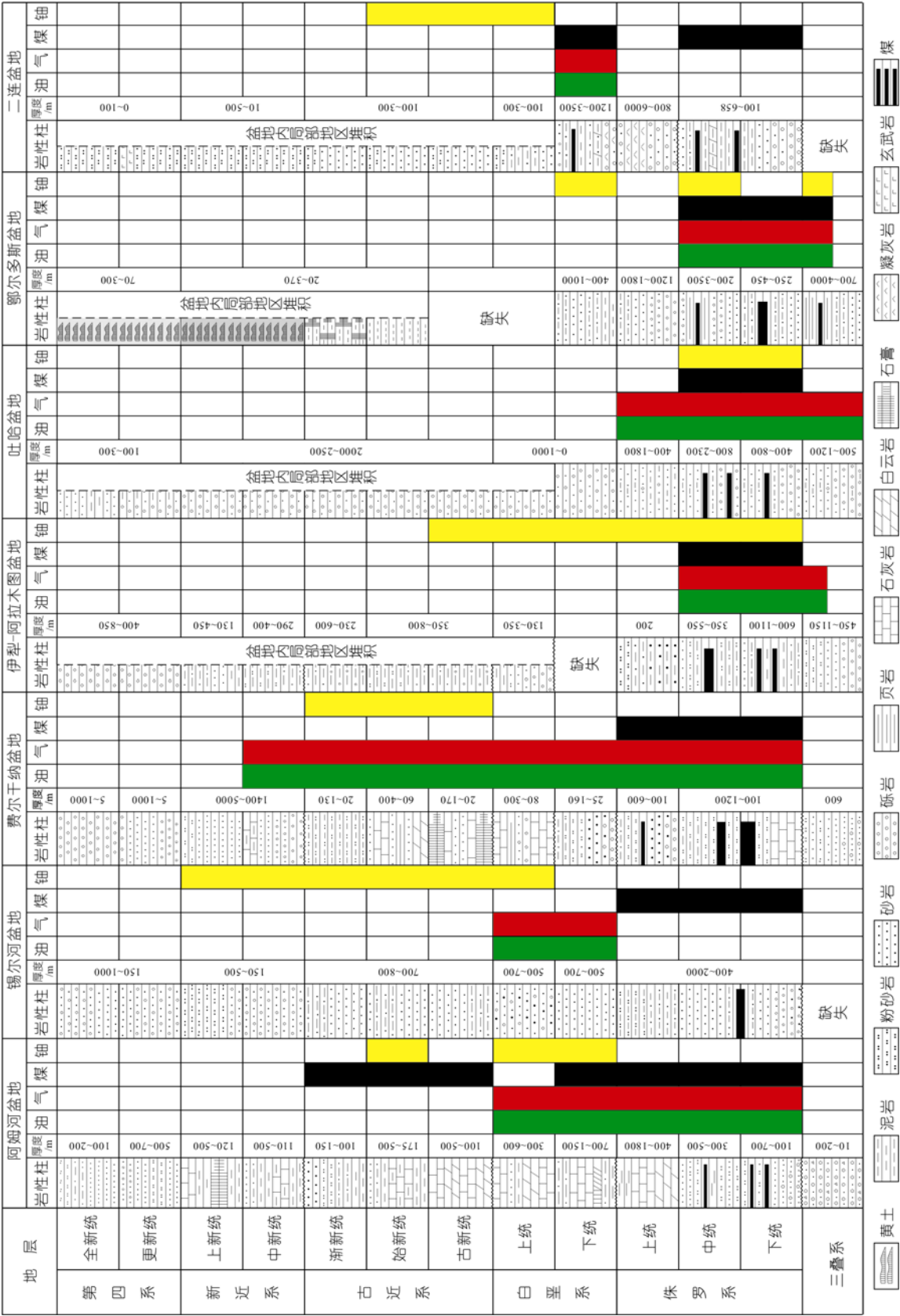


图 3 中-东亚成矿域典型能源盆地共存能源矿产含矿层位对比图

气田相邻^[18]。在中亚阿姆河盆地北部斜坡区的中克兹尔库姆铀矿区,已发现高含硫气田和凝析气田约 100 个^[11,13],各铀矿床与诸多气田、凝析气田及油田呈交织穿插或相邻分布(图 2),研究证明该区砂岩型铀矿的形成与阿姆河盆地油气向北运移有成因上的联系^[14]。

由上述可见,外生铀矿床,特别是砂岩型铀矿的形成与有机矿产的聚散联系密切。

2.3 成藏(矿)-定位时期相同或相近

目前,全世界发现的砂岩型铀矿绝大多数产在中新生代盆地。可利用的非砂岩沉积型铀矿床一般分布在表层;可地浸开采的砂岩型铀矿床含矿主岩成岩固结较差、渗透性较强、埋深较浅。因而所发现的外生铀矿床一般赋存于盆地演化晚期充填的地层中,少数在后期抬升而埋藏变浅的盆地发育早中期地层内。含铀矿层主要为侏罗系—古近系,次要的还有三叠系、新近系及第四系。但其成矿时代除少数煤岩型、泥岩型外,绝大多数集中在新生代,特别是渐新世以来。所以,砂岩型铀矿以储矿主岩时代新和成矿时代新为特点^[1,7]。

与流体矿产油气相似,砂岩型铀矿床是逐步积聚增生、多期形成的,在含铀矿体的不同部位成矿年龄不同,一般从翼部向前方卷头变新。对我国北方主要含铀盆地已发现的砂岩型铀矿成矿年代的研究表明^[19-22],除鄂尔多斯盆地少数年龄值外,目前松辽、海拉尔、二连、鄂尔多斯、吐哈、伊犁等盆地矿层同位素年龄测试所获得的铀成矿年龄均小于 100 Ma。新近对鄂尔多斯盆地北部东胜砂岩型铀矿床矿体不同部位单颗粒铀矿物测年所获得的 21 个同位素年龄值,也均小于 100 Ma¹⁾。这说明,这些盆地砂岩型铀矿的成矿作用主要发生在早白垩世末以来,可进一步细分为 3~5 期,以新生代为主。上述各盆地的起始成矿时间,大致显示出鄂尔多斯盆地最老,以其为界,东部较早、西部新的特征。这与各盆地所在地区较强构造活动时期东早西晚吻合颇好。

我国北方各主要产铀盆地的主成矿期和成矿期次虽不尽相同,但其与所在盆地油气的成藏-定位期却大多相同或基本一致^[23-25];显示出油、气、铀 3 种

能源矿产的成藏(矿)过程及矿藏定位的时期密切相关。我国北方各能源盆地的类型、特征和演化差别较大,有些盆地油气成藏时间长、期次多。但中国大陆活动性强,盆地后期改造强烈,油气流体矿产晚期-超晚期成藏-定位是中国含油气盆地的显著特点^[23,26]。这正是油、气、铀成藏(矿)过程、期次和定位时期密切相关的统一地球动力学背景。

除伊犁铀矿区外,中亚各盆地砂岩型铀矿的含矿层(表 1)和成矿时代均较新。各盆地的铀成矿时期:东土伦铀矿区 2 盆地大致可分为晚渐新世-中新世(后生主成矿期)和晚上新世—第四纪(改造和定位期)两个阶段^[14];中克兹尔库姆铀矿区成矿年龄绝大部分小于 25 Ma,主成矿期为 8~6 和 4~1 Ma BP²⁾;费尔干纳铀矿区的成矿期与中克兹尔库姆铀矿区应相似或稍晚。这与其所在盆地油气的主要成藏和定位时期相一致,总体是青藏-特提斯构造域晚新生代强烈活动的效应和对其响应。

2.4 赋存环境和成藏(矿)作用有机相关

油气、煤和沉积型铀矿的形成和富集,是在盆地演化的统一内动力地质作用环境中,明显受地球表层系统(岩石圈表层、水圈、大气圈和生物圈)外动力地质作用(风化、生物、剥蚀、搬运、沉积、埋藏、成岩)的制约。这些共性是多种能源矿产共存的地质基础和环境背景。

沉积能源矿产的形成,一般经历了成矿物质聚积、(转化)迁移、富集成矿的动态过程。但不同矿产成矿物质的来源、聚积和形成差别较大。油气、煤原始成矿物质的聚积完全发生在源岩层沉积阶段,且必须经过其后埋藏-成岩阶段才可能转化(并非都能转化)为成矿物质——油气、煤。固体煤矿在此阶段即已形成;而流体油气则需经过进一步运移,在有储层和圈闭的场所才聚集成藏,且随后还可能发生多次不同形式的改造和不同规模的聚、散、失。

砂岩型铀矿的成矿物质来源十分广泛,具多元性和多(长)期性:可沉积同生带入、浅埋藏准同生扩散、表层后生渗入和下(深)部次生侵入。这与油气、煤明显不同。因含炭物质、黏土矿物等较强的吸附性能 and 有机质浅埋分解所产生的还原环境,可使沉积

1) 秦明宽. 多种能源矿产国家重点基础研究发展规划项目年度报告. 2006

2) 中国核工业地质局. 赴乌兹别克斯坦铀矿地质考察培训总结报告. 内部总结报告. 1999

及遂埋藏时煤系地层和烃源岩中铀含量明显增高。从而在同生、准同生阶段, 有机与无机、金属和非金属成矿物质同(邻)层富集共存。

铀元素的地球化学性质十分活跃。在表生氧化环境中呈 UO_2^{2+} 离子以溶解、胶体质点吸附等形式易于进入天然水体中被迁移到盆地, 在还原环境中沉淀。可见, 铀成矿物质的迁移、富集和成矿、进一步改造及叠加、定位, 甚至开采均具有流体矿产的特性。加之铀矿床成矿物质来源和分布的广泛性, 决定其成矿具有长期性、多期性、易变性和晚期-超晚期矿床定位等特点。这和油气成藏-定位的特点颇为相似^[23-26], 且其发生背景密切相关、形成时期大致同步。要使 U^{6+} 还原必须有还原剂或还原环境。已证明可作为铀酰还原剂的物质甚多, 如各种还原剂(含炭的物质)、硫化物(黄铁矿)、碳氢化合物等, 其中以有机质和其产物最为常见和重要。铀与有机质或有机矿产并无亲缘关系。(强)还原环境下形成的油、气、煤类有机矿产, 为铀的富集成矿提供了必需的还原环境。特别是易于流动、迁移的油气, 可远离母岩或油气藏而进入浅表层非还原环境中, 从而通过还原、吸附和络合等作用使流体中的 U^{6+} 沉淀汇聚; 同时使该区带的环境和岩石矿物发生后还原性变化或形成地球化学还原障。有机与无机能源矿产的相互作用和彼此影响, 促进和加强了砂岩型铀矿的形成和富集, 同时也影响着盆地内有机成矿物质的演化和成生。

在鄂尔多斯盆地北部、松辽盆地西南部、新疆和中亚诸盆地的砂岩型铀矿床及其周邻地区, 多处可见的铀矿层及近邻地层发生砂岩漂白、绿色蚀变等后生还原蚀变现象, 为油气对早期氧化带还原作用的结果^[14,27-29]。同位素测试结果表明, 其他还原标志的出现, 如部分绿泥石、黄铁矿和碳酸盐化的形成, 也主要与有机物质的地质作用有关^[28]。可见, 很可能是相互依存的赋存环境将有机(油、气、煤)与无机(铀矿)、非金属和金属能源矿产有机的联系在一起, 构成了多种能源矿产同盆共存、富集成藏的内在联系和成矿条件。这应是砂岩型铀矿床(点)和油气田、煤矿及其含矿层联系较密切的原因。

2.5 共具丰富的矿源物质

成矿物质为矿藏形成之源, 因而其来源和丰富

程度, 是所有矿产形成研究最为关注的重要问题。

中-东亚能源成矿域主体北邻并地跨乌拉尔-天山-兴安华力西褶皱带。根据铀矿勘查对西起伊犁地块、天山, 东到额尔古纳、大兴安岭广阔地区多年所取得的测试资料, 该区带华力西、燕山各期及加里东晚期的侵入岩和火山岩多属富铀的中酸性岩浆岩。其铀含量远大于世界酸性火成岩铀的平均含量^[30]。Серых 等(2002)利用航空能谱测量数据编制的蒙古国-中亚及南北邻区铀、钍、钾含量等值图揭示, 东部在贝加尔湖之东和之南, 中部在 $\text{N}56^\circ$ 之南、西部中亚地区在 $\text{N}50^\circ$ 之南, 铀含量明显高于北部几倍到十几倍。钍、钾含量特征及分布与铀大体相似¹⁾。这表明, 中-东亚能源成矿域和其北部广阔蚀源区的岩石大多富铀, 为外生铀矿床形成预备了较丰富的物质。

在此有必要强调指出, 中-东亚能源成矿域各盆地, 普遍发育和保存有侏罗系和石炭系—二叠系两大套煤系地层。特别是侏罗系煤系地层分布广泛, 遍布整个中-东亚成矿域^[9,10,31], 其沉积时的范围更广, 远超出现今中生代盆地所限。这两套煤系地层有 10 多层厚度不等的优质煤层, 煤炭资源极丰, 为我国和中亚诸国主要的煤炭产层。不仅如此, 这些煤层和与其伴生或先后沉积的泥炭、含碳较高的泥页岩被深埋后, 可形成大量的煤成气。我国北方及中亚含油气盆地大型气田的气源大多来自煤系地层^[9,10]。在吐哈盆地, 已发现煤成油田^[32]。煤系地层无论在初始沉积阶段, 或是埋藏成矿进而规模生气时期, 抑或后期抬升至表浅层, 均对铀元素的富集和铀成矿作用有积极的影响。所以, 中-东亚能源成矿域各盆地多种能源矿产同盆共存、富集成藏(矿), 广泛分布的煤和煤系地层在其中扮演了重要的角色。

2.6 反面佐证

以上着重讨论了与油、气、煤、铀同盆共存的特征和联系。值得注意的是, 在蚀源区铀源较充分但无(贫)油气煤的盆地, 却很少发现砂岩型铀矿床。这从反面佐证了各能源矿产同盆共存成藏似有着密切的内在联系。

根据目前我国铀矿的勘查现状和对已探明铀资源量的统计, 内生热液-岩浆岩型铀矿主要分布在华南及扬子陆块东南部铀矿区(省)^[33], 集中在赣、闽、

1) 同 4 页脚注 1)

湘、两广、江、浙等省, 约占该类型已探明资源量的 80%。这与该区中生代岩浆活动强烈有关。这类铀矿床几乎全分布在山区或露头区的表层, 故与其相邻的中生代—新生代盆地, 具有丰富的铀成矿物质来源。但是, 迄今为止, 在该区众多的中生代陆相红色盆地中, 尚未发现砂岩型铀矿床, 良好的铀矿点和矿化异常也较少见。

我国大陆主体在全球砂岩型铀矿集中分布的纬度(北纬 20°~50°)带内。但为什么我国目前已探明的砂岩型铀矿的资源量, 95%以上却在北纬 35°之北的北方中生代陆相盆地, 且常与油、气、煤等能源矿产同盆共存富集。这与已经查明和证实的我国中生代—新生代陆相盆地的油气北富南贫、煤炭北多南少惊人的一致, 表明其间有着密切的深层次内在联系。

在里海之东的中亚地区, 油气资源丰富; 已发现的油气、煤集中分布在中南部诸盆地; 外生铀矿床与之相伴共存。位于中亚北部的田吉兹盆地, 面积 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ (表 1), 没有油气发现。该盆地南、北分别与近巴尔喀什湖和北哈萨克斯坦内生(热液)铀矿床区毗邻, 铀源丰富, 但却未发现外生铀矿床。

以上现象启示我们, 铀成矿产物的贫富是能否形成矿床的重要因素和必要条件, 但不是决定因素和唯一条件; 铀成矿物质只有在特定的环境和条件下, 才可能富集成矿床。

3 多种能源盆地的类型、演化及其地球动力学环境

沉积盆地是诸多沉积矿产同盆成生、赋存的基本单元和成藏(矿)大系统, 从盆地动态演化-改造研究入手, 才可能总体揭示和深刻理解多种能源矿产形成的环境和统一动力学背景^[1,7]。

3.1 盆地原型及改造

由于不同类型能源矿产赋存、成藏(矿)及保存的条件有一定差别, 因而适于各能源矿产赋存的盆地类型也不尽完全相同。综合分析和对比多种能源矿产的成藏(矿)条件和勘探现状认为, 油、气、煤、铀同盆共存成藏、且资源甚丰的盆地多为内克拉通盆地和中间地块盆地及其相关的改造盆地。

克拉通泛指具前寒武纪结晶基底的稳定地区, 属高成熟度陆块。中间地块面积通常比克拉通小, 一般指被褶皱山系所围限, 或位于褶皱造山带中的相

对稳定、面积较大的地块。其基底可以是与克拉通时代相当的结晶基底, 也可是较新的变质褶皱基底, 但其褶皱变质时间均比外围山系相对要早。

内克拉通盆地和中间地块盆地的共同特点是: 主体发育在相对稳定的克拉通或陆块之上, 边部沉积常逾越克拉通或陆块范围; 盆地内结构构造较简单、沉积环境横向变化相对较小, 一般面积较大、发育时间相对较长。这类盆地油气、煤资源丰富, 常形成(多个)大型油气田和煤田; 也是大型砂岩型铀矿发育的理想场所。古生代—中生代鄂尔多斯和塔里木大型盆地属内克拉通盆地。对具有上述地质特征, 但基底时代和属性尚有争议或并非统一的前寒武纪结晶基底的较大盆地, 可称之为中间地块盆地或类克拉通盆地。如松辽、准噶尔、楚-萨雷苏、锡尔河及阿姆河等大中型盆地(图 4)。柴达木、吐哈、伊犁(阿拉木图)、费尔干纳等中小型盆地属基底时代较老的中间地块盆地。

中国中西部和中亚地区, 晚新生代以来受特提斯-青藏构造域强烈活动的影响明显, 盆地中生代甚至古近纪的原始面貌因后期改造甚烈而大为改观^[25,34]。没有克拉通或中间地块为基底的前晚新生代盆地, 抗改造能力差, 且一般规模较小, 在后期强烈改造中大部分已面目全非或不复存在。内克拉通盆地和中间地块盆地抗改造能力相对较强, 一般为大中型盆地。该地域这类盆地在后期改造中, 或盆地边部遭褶断剥蚀强烈, 或原大中型盆地边部肢解残留甚或整个盆地被解体为几个残留体; 相应原盆地中的油气也发生了多期改造、成藏和聚散。如河西走廊西部早白垩世酒泉中型盆地后被解体为酒西、酒东和花海等小型盆地^[34]。现今南天山焉耆、库米什小型盆地, 在中生代主要沉积时期连为一体, 统一接受沉积; 二者同为大型塔里木克拉通盆地北部的组成部分^[35,36]。乌恰含铀盆地也是古塔里木盆地的一部分, 在中亚, 南巴尔喀什与伊犁-阿拉木图, 楚-萨雷苏、锡尔河和费尔干纳, 阿姆河和阿富汗-塔吉克, 北乌斯丘尔特-威海和曼格什拉克等盆地, 于中生代甚或古近纪可能分别为统一接受沉积的同一个盆地, 或为沉积相通、成因相关、演化相似的盆地群。新近纪(晚期)以来强烈的断褶隆坳和剥蚀改造, 才使原各大中型内克拉通或中间地块盆地解体, 形成现今诸中小型盆地独立分布的格局。所以, 这些位于大中型内克拉通盆地和中间地块盆地外围的改造或残留盆地, 其成矿条

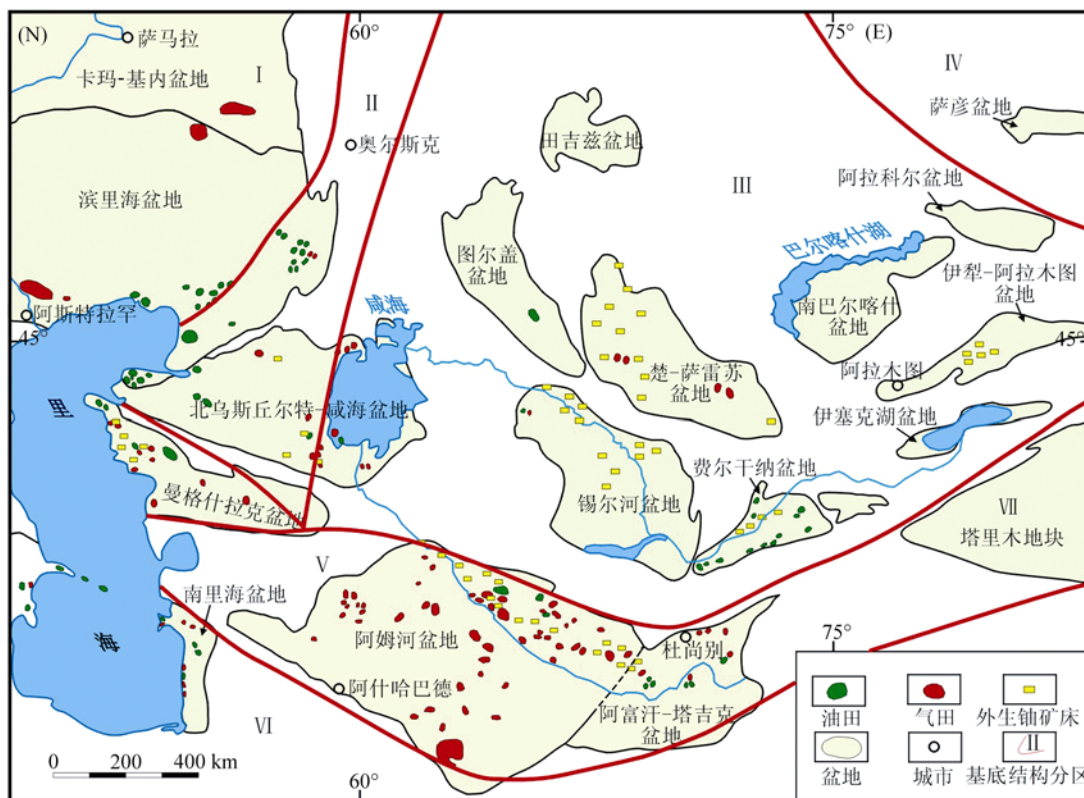


图4 中亚能源盆地分布与区域基底结构背景图(据文献[11~13]等资料编绘)

I 为东欧克拉通, II 为乌拉尔华力西褶皱带, III 为哈萨克斯坦地块, IV 为中亚-蒙古国华力西褶皱带, V 为阿姆河年轻地块, VI 为科佩达格-阿尔卑斯-青藏褶皱带, VII 为塔里木地块(克拉通)

件和资源规模一般远优于同面积的中小型盆地^[36]。应剔去后期改造的影响,恢复原盆地面貌,再现动态演化-改造过程,才可能较深入地认识和客观评价原盆地属性和油、气、煤、铀的成矿作用及其相互联系。

3.2 盆地演化-改造阶段与能源矿产共存关系

同盆共存的多种能源矿产生成、聚散、成藏(矿)、改造和定位等,总体受盆地演化和改造过程的控制。其成藏(矿)过程和主要期次,与盆地演化-改造的阶段及主要地质事件有明显的响应联系和耦合关系^[13,37]。

3.2.1 区域铀成矿期次

目前,中-东亚成矿域主要含铀盆地测得的铀成矿同位素年龄值数以千计^[13,19~22],最大值为 177 ± 16 Ma^[20,21],其铀矿层为鄂尔多斯盆地中侏罗统直罗组下段。除鄂尔多斯盆地少数几个年龄值外,中-东亚含铀盆地所测得的成矿同位素年龄均小于 100 Ma。即铀成矿作用主要发生在晚白垩世以来,以新生代为主。综合研究和对比中亚成矿域诸含铀盆地的含

矿地层(表 1)和成矿作用及年龄,将区域铀成矿过程以 $100, 50 \pm 2, 20 \pm (2 \sim 4), 8 \sim 5$ Ma 为界划分为 5 个时期。中-东亚成矿域东西延展长约 6000 km,跨越多个构造单元,因而不同区域盆地的起始成矿时间和主成矿期不尽相同。在松辽-鄂尔多斯成矿区,各盆地 $20 \pm (2 \sim 4)$ Ma BP 之前各成矿期存在普遍,且在鄂尔多斯盆地 40 Ma BP 前后有一次重要的地区性成矿期。在鄂尔多斯盆地之西的 3 个成矿区, $20 \pm (2 \sim 4)$ Ma BP 始进入区域铀成矿主要时期,而之前成矿作用较局限。12 Ma BP 前后似在天山成矿带有一次地区性成矿期。8~5 Ma BP 以来,为西部各盆地,特别是中亚地区重要的铀成矿时期。

3.2.2 盆地能源成矿期次与区域构造演化

中亚各主要产铀盆地的主成矿期及其差异,与区域大地构造演化有明显的响应关系,总体受区域地球动力学环境演变控制;并与所在盆地油气的成藏-定位时期和期次基本一致^[23~25]。

100 Ma BP(± 10 Ma),即大致在早白垩—晚白垩

世之间,为中国大陆中生代地球动力学环境的重大转换时期¹⁾。在中国北方,除松辽盆地外,上白垩统分布局限,古新统大部缺失或出露甚少;白垩纪晚期到第三纪初期岩浆活动和沉积作用较弱,以剥蚀为主;中国东部中生代强烈而广泛的热力作用和岩浆活动进入晚白垩世即告结束。中生代盆地于早白垩世末(即 100 Ma BP)大部始萎缩消亡。本时期为早中生代—古生代盆地油气的重要生成-成藏期;侏罗系和石炭—二叠系煤层最高热演化主体在此阶段完成^[37]。这种地球动力学环境转变的原因,是中国诸地块与周邻(古)太平洋和西伯利亚板块会聚,特提斯洋闭合之间相互作用的综合结果,主要与各板块相互作用引起的大陆深部地球动力学环境的改变调整密切相关^[38]。华北克拉通东部遭改造破坏和岩石圈减薄,即是这种深部作用的直接表现。

50±2 Ma BP(始新世早期)为我国东中部地区裂陷盆地广泛发育,始进入强烈拉张伸展时期;同时在中国西北部—中亚之南,印度板块持续碰撞,青藏-特提斯构造域开始强烈活动。

20±(2~4) Ma BP(早中新世早中期)为中国新生代大陆构造演化和地貌景观形成的转折时期,具有划时代意义^[23,37]。在此时期,受太平洋-菲律宾板块向亚洲大陆汇聚的速率、方向及方式和深部作用等方面变化的影响,在东亚和东南亚发生了一系列重大地质事件。在中国东部和大陆边缘最引人关注的事件是,一系列早第三纪裂陷盆地经过短暂的隆褶剥蚀遂转变为区域拗陷沉降。大致与此同时,青藏高原开始发生整体变形。此后,青藏高原的形成演化才对周邻广大地域产生较强烈的中远程效应:在东南亚和中亚形成了有直接响应关系、十分广阔的喜马拉雅构造域;其影响并波及到东亚、西亚、北亚和周邻海域等更广阔地区。8~5 Ma BP喜马拉雅构造域才开始发生较强烈挤压变形。中新世中期以来,特别是 8~5 Ma BP以来,我国西部及中亚诸山系强烈隆升,鄂尔多斯、酒泉、塔里木、准噶尔、费尔干纳、阿姆河、锡尔河-楚萨雷苏等能源盆地隆拗强烈、前期格局改变,盆山过渡带陆内前陆盆地发育、沉降充填快速,即是对青藏高原整体强烈活动和中远程效应的直接响应。从而形成我国和中亚含油气盆地普遍存在的一个重要特点:油气晚期-超晚期成藏和定位^[23,25,37],绝

大多数盆地油气的成藏和定位主要发生在 20(±2~4) Ma BP之后^[23];我国西北和中亚受青藏-特提斯构造域强烈活动影响明显的喜马拉雅构造域诸盆地或地区,油气成藏和定位主要发生在 8~5 Ma BP以来。

3.2.3 盆地演化晚(末)期和之后:多种能源矿产相互作用和成藏-定位的重要时期

由上述可见,多种能源矿产的成藏(矿)过程及矿藏定位期次有着密切的联系,形成于统一的地球动力学环境。在盆地演化和改造的不同阶段,共存、富集及其相互联系的特点不同。从工业利用和商业开采考虑,油、气、煤、铀共存、成藏和定位及其相互作用的密切联系主要发生在盆地演化晚(末)期和之后。

在盆地演化晚(末)期,多数盆地的烃源岩已开始生、排烃,油气遂运移、聚集成藏;这也是铀矿床储矿砂岩发育和初次预富集成矿的重要阶段;同时为煤质煤级演变的主要时期。在盆地区域抬升消亡和后期改造阶段,为油气聚散、成藏-定位的关键时期^[7,39],较深部油气向上和侧向运移重新聚散,对表浅层铀元素的富集和成矿有重要影响。固体煤层的抬升,加强其与潜水和大气的作用,相应会改变煤质或赋存状态;同时脱溶、解吸和排出一定规模的煤成气和煤层吸附气,成为气藏新的气源,并为铀成矿提供还原剂。此阶段的整体差异隆升和与其密切相关的区域流体运动-交换和风化、淋滤及剥蚀等,本身就是铀矿形成、富集、叠加和定位的主要时期和重要条件。此期又恰与油气、煤成气的调整和重新聚散期相吻合,进一步加强和促进了铀矿的富集和成矿。可地浸砂岩型铀矿床主要形成于此阶段。

3.3 盆地发育的地球动力学环境

北半球砂岩型铀矿在数量和总资源量上均在全球占主导地位,与该区域新生代以来发生的阿尔卑斯-喜马拉雅和拉拉米构造运动有着密切的成因联系。中-东亚成矿构造域,特别是中亚地区现为世界上最大的砂岩型铀矿集区。对中亚和我国诸含铀盆地的成矿环境综合研究认为,相对稳定的区域构造背景和适度(较弱)的构造变动是砂岩型铀矿形成的必要条件^[7]。这也是大中型油气田(区)和煤田形成和保存的必要条件;因而也就成为油气煤铀共存的必要条件。

1) 刘池洋. 100 Ma BP(±10 Ma)中国大陆东部中生代地球动力学环境的重大转换时期. 中生代以来中国大陆板块作用过程学术研讨会论文摘要集. 2005

中国西北和中亚地区均与青藏-特提斯构造域毗邻,但二者的油、气、铀的成矿条件、资源规模和分布特征却明显有别。造成此差异的原因颇多,但其中盆地演化和区域构造环境两方面的差异影响明显。

我国西北地区诸盆地大部缺失晚白垩世—古新世沉积;除柴达木盆地外,大中型盆地古近纪沉积的范围和厚度均较有限,致使下白垩统剥蚀甚烈,残缺不全。但在中亚地区中南部主要盆地,白垩纪—古近纪仍为主要发育时期,较大范围接受展布稳定的陆相-海相沉积;直到新近纪南部阿姆河盆地的海水才陆续退出^[13,14]。从而使中亚地区多了白垩系和古近系两大套成矿层系,且使前晚白垩世地层得以较完整保存。

两地区虽同位于青藏-特提斯构造域之北,但中国西北地处印度板块碰撞的正前方,挤压变形和地壳缩短强烈。特别是天山的强烈变形和快速隆升,使青藏高原之北广阔地区盆山相间。在盆山过渡带和盆地边部,大幅沉降与快速抬升同步,巨厚沉积和强烈剥蚀相邻,差异改造-建造显著,地表起伏和变化巨大。

而中亚地区位于碰撞的印度板块西特角前方之西,加之帕米尔地区(较)大型走滑断裂系的发育,转换和削弱了来自(东)南部的挤压。所以,变形较强、高差起伏较大的地带主要分布在中亚东南和南部边缘,向陆内延伸变形强度和地貌高差递降快速,广阔的中亚主体被土兰平原和哈萨克丘陵占据。中亚与我国西北地区的显著差别是,天山造山带分支分叉撒开式向西倾伏延伸不远即消失,在中亚东部形成了多个有利于铀矿形成的构造缓斜坡;却没有将广阔的中亚地区分隔成南北完全不同的独立构造-地貌-水动力单元,构造变动相对较弱的地区展布范围广阔。从而在中亚表浅层形成了两大地下成矿水动力系统:中亚中北部主水动力系统由东(南)部山地补给,平行于北西向次造山系和区域断裂向西北径流,排泄于咸海。在补给和排泄区之间总体西倾的广阔缓斜坡上,于白垩系—新近系砂岩(层)形成了资源丰富的区域层间氧化带型东土伦铀矿区^[40,41](表 1)。另一个次水动力系统主体在中亚南部阿姆河盆地内,向西水体排入里海。两大水动力系统的分界,地表在阿姆河之南,地下在阿姆河之北的阿姆河盆地北缘隆起,即克兹尔库姆山南麓。故在阿姆河盆地北部斜坡区形成的中克兹尔库姆铀矿区,与局部层间氧化带

有关,同时和盆地丰富的天然气及石油向北运移有重要的成因联系。费尔干纳铀矿区的成矿作用和矿床类型与之相似。

所以,在根据中亚地区铀成矿特点总结的次造山带控矿理论(模式)中,500~2000 m 地貌高差的次造山带仅是一种表象,其实质是适度的较新构造运动在盆地边部形成构造高差和向盆内延展的区域缓斜坡,为外生含铀水体源源不断渗入,从而为在流经的砂层中形成后生铀矿创造了条件。适于砂岩型铀矿形成的地貌特征因地制宜,类型多样,如我国东胜等铀矿区的地貌高差,与中亚地区次造山带的模式并不相同。所以,应由表及里,揭示砂岩型铀矿床形成环境和成矿条件的主控内因。

尚需指出,与流体矿产油气相似,砂岩型铀矿床的形成过程和分布位置是动态的,外生-后成渗入型铀矿床更是如此。晚新近纪,或第四纪以来相对缓慢抬升、较稳定的构造环境和地貌-地下水动力系统继承性持续存在的盆地或地区,有利于该类铀矿床的形成和定位。否则,不利于铀矿的形成和保存;即使早期已形成的矿床也可能会迁移、改造甚或消失。所以,与强烈隆升变形的地带相对应,晚近时期持续快速沉降-充填的盆地或地区也不利于铀矿的形成、保存和定位。如新生代裂陷盆地,可以渤海湾盆地、鄂尔多斯盆地周缘诸断陷盆地为代表;柴达木盆地三湖新拗陷腹部;西部造山带山前诸晚新生代陆内前陆盆地沉降快、堆积厚的拗陷部分等。

4 结论

(1) 世界已探明的砂岩型铀矿床的 82%以上与已经探明的油气田或煤田同盆共存,表明油、气、煤、铀 4 种能源矿产同盆共存富集普遍,其中尤以中-东亚地区诸能源盆地典型。

(2) 中-东亚巨型能源矿产成矿域东起我国松辽盆地,西止里海,地跨中国、蒙古国和中亚诸国,东西连绵逾 6000 km。该成矿域能源资源丰富,已发现数 10 个(特)大型油田、气田、煤田和砂岩型铀矿。根据区域构造演化和成矿条件等差异,将该成矿域划分为松辽-鄂尔多斯、阿拉善-河西走廊、新疆和中亚 4 个成矿区。

(3) 在中-东亚成矿域诸盆地,油、气、煤和铀同盆共存富集存在普遍、空间分布复杂有序、含矿层位

和地区联系密切、成藏(矿)-定位时期相同或相近、赋存环境和成藏(矿)作用密切相关、并共具丰富的矿源物质,显示其间有着密切的内在联系和统一的地球动力学背景.

(4) 对中亚和我国诸含铀盆地的成矿环境综合研究认为,相对稳定的区域构造背景和适度(较弱)的构造变动,是大中型砂岩型铀矿、油气田(区)和煤田形成和保存的必要条件;因而就是油、气、煤、铀共存的必要条件.

(5) 综合分析和对比多种能源矿产的成藏(矿)条件和勘探现状认为,适于油、气、煤、铀同盆共存成藏、且资源甚丰的盆地类型,主要为内克拉通盆地和中间地块盆地及其相关的改造盆地.其中相关改造盆地中的残留盆地,现今一般为小型盆地,位于与之原始沉积环境和构造背景密切相关的大中型内克拉通盆地和中间地块盆地外围.

(6) 综合研究和对比中亚成矿域诸含铀盆地的含矿地层和成矿作用及年龄,将区域铀成矿过程以距今 100, 50 ± 2 , $20 \pm (2-4)$, $8-5$ Ma 为界划分为 5 个时期.不同区域的能源盆地,起始成矿时间和主成矿期不尽相同,一般具有东部早、西部晚的特点.

中亚各主要产铀盆地的主成矿期及其差异,与区域大地构造演化有明显的响应关系,总体受区域地球动力学环境演变的控制;并与所在盆地油气的成藏-定位时期和期次基本一致.

(7) 在盆地演化和改造的不同阶段,多种能源矿产的共存及其相互联系的特点不同.从工业利用和商业开采考虑,油、气、煤、铀共存、成藏和定位及其相互作用密切联系的重要时期,发生在盆地演化晚(末)期和之后.

(8) 盆地内共存富集的多种能源矿产,有机(油、气、煤)与无机(铀矿)、非金属和金属矿产之间并无亲缘关系;是相互依存的赋存环境将其有机联系在一起,构成了多种能源矿产同存共荣、富集成藏的内在联系和成矿条件.这是砂岩型铀矿床(点)和油气田、煤矿及其含矿层联系较密切的原因.

(9) 根据铀矿勘查和地球物理探测资料,中-东亚能源成矿域和其北部广阔蚀源区的岩石大多富铀,为该区域外生铀矿床形成预备了较丰富的物质.

在中-东亚能源成矿域各盆地,普遍发育和保存的侏罗系及石炭系一二叠系两大套煤系地层,在该

区域各盆地多种能源矿产同盆共存、富集成藏(矿)中扮演了重要的角色.

参 考 文 献

- 1 刘池洋,谭成仟,孙卫,等.多种能源矿产共存成藏(矿)机理与富集分布规律研究.刘池洋,主编.盆地多种能源矿产共存富集成藏(矿)研究进展.北京:科学出版社,2005.1—16
- 2 仇宝聚.铀矿大型集矿区与成矿作用.铀矿地质,2001,17(1): 5—17
- 3 张金带,徐高中,陈安平,等.我国可地浸砂岩型铀矿成矿模式初步探讨.铀矿地质,2005,21(3): 139—145
- 4 OECD(NEA)/IAEA. Uranium 2003: Resources, Production and Demand. OECD, Paris, 2004
- 5 刘招君,董清水,叶松青,等.中国油页岩资源现状.吉林大学学报(地球科学版),2006,36(6): 869—876
- 6 代世峰,任德贻,李生盛.内蒙古国准格尔超大型铀矿床的发现.科学通报,2006,51(2): 177—185
- 7 刘池洋,赵红格,谭成仟,等.多种能源矿产赋存与盆地成藏(矿)系统.石油与天然气地质,2006,27(2): 131—142
- 8 涂光炽.初议中亚成矿域.地质科学,1999,34(4): 397—404
- 9 戴金星,何斌,孙永祥,等.中亚煤成气聚集域形成及其源岩.石油勘探与开发,1995,22(3): 1—6
- 10 戴金星,钟宁宁,刘德汉,等.中国煤成大中型气田地质基础和主控因素.北京:石油工业出版社,2000
- 11 李国玉,金之钧.新编世界含油气盆地地图册.石油工业出版社,2005.15,25—35(上册),66—68,131—168(下册)
- 12 2006 年世界油气估算探明储量、石油产量、在产油井数年终统计.石油商报,2007,(1): 29 版
- 13 童晓光,徐树宝.世界石油勘探开发图集(独联体地区分册).北京:石油工业出版社,2004.205—313,365—386
- 14 Петров Н Н, Язиков В Е, Аубакиров идр Х Б. Урановые месторождения Казахстана (экзогенные). Алмзты Гылым. 1995. 262
- 15 谭成仟,刘池洋,张蓉蓉,等.鄂尔多斯盆地典型地区放射性异常特征及其地质意义.中国科学 D 辑: 地球科学,2007,37(增刊 I): 147—156
- 16 陈宏斌,徐高中,王金平,等.鄂尔多斯盆地南缘店头矿化特征及其与东胜铀矿床对比.地质学报,2006,80(5): 724—732
- 17 李胜祥,陈戴生,王瑞瑛,等.伊犁盆地含煤系地层沉积相特征及其与层间氧化带砂岩型铀矿成矿关系.铀矿地质,1996,12(3): 129—134
- 18 殷敬红,张辉,咎国军,等.内蒙古国东部开鲁盆地钱家店凹陷铀矿成藏沉积因素分析.古地理学报,2000,2(4): 76—82
- 19 夏毓亮,林锦荣,刘汉彬,等.中国北方主要产铀盆地砂岩型铀矿成矿年代学.铀矿地质,2003,19(3): 129—136
- 20 向伟东,方锡珩,李田港,等.鄂尔多斯盆地东胜铀矿床成矿特征与成矿模式.铀矿地质,2006,22(2): 257—266
- 21 刘汉彬,夏毓亮,田时丰.东胜地区砂岩型铀矿成矿年代学及成矿铀源研究.铀矿地质,2007,23(1): 23—29
- 22 张明喻,郑纪伟,田时丰,等.开鲁坳陷钱家店铀矿床铀的赋存状态及形成时代研究.铀矿地质,2005,21(4): 213—218
- 23 刘池洋,赵红格,杨兴科,等.油气晚期-超晚期成藏定位——中

- 国含油气盆地的重要特点. 中国工程院, 环太平洋能源和矿产资源理事会, 中国石油学会. 21世纪中国暨国际油气勘探. 北京: 中国石化出版社, 2003. 57—60
- 24 刘池洋, 杨兴科. 改造盆地研究和油气评价的思路. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 11—14
- 25 刘池洋, 赵重远, 杨兴科. 活动性强, 深部作用活跃——中国沉积盆地的两个重要特点. 石油与天然气地质, 2000, 21(1): 1—6
- 26 贾承造, 何登发, 石听, 等. 中国油气晚期成藏特征. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36(5): 412—420
- 27 马艳萍, 刘池洋, 王建强, 等. 盆地后期改造中油气运散的效应——鄂尔多斯盆地东北部中生界漂白砂岩的形成. 石油与天然气地质, 2006, 27(2): 233—238
- 28 吴柏林, 刘池阳, 张复新, 等. 东胜砂岩型铀矿后生蚀变地球化学性质及其成矿意义. 地质学报, 2006, 80(5): 740—747
- 29 Beittler B, Chan M A, Parry W T. Bleaching of Jurassic Navajo sandstone on Colorado Plateau Laramide highs: evidence of exhumed hydrocarbon supergiants? *Geology*, 2003, 31(12): 1041—1044[DOI]
- 30 陈祖伊. 亚洲砂岩型铀矿区域分布规律和中国砂岩型铀矿找矿对策. 铀矿地质, 2002, 18(3): 129—137
- 31 Кисляков Я М. Геология Рудных Местокдешщ, 1994, 36(2): 148—168
- 32 赵文智, 程克明, 邹才能, 等. 吐哈盆地煤系地层油气聚集特征与勘探对策. 天然气工业, 1995, 15(4): 14—17
- 33 黄净白, 黄世杰. 中国铀资源区域成矿特征. 铀矿地质, 2005, 21(3): 129—138
- 34 刘池洋. 后期改造强烈——中国沉积盆地的重要特点之一. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 255—261
- 35 赵文智, 靳久强, 薛良清, 等. 中国西部地区侏罗纪原型盆地与演化. 北京: 地质出版社, 2000
- 36 刘池洋. 中国小型含油气盆地类型与油气赋存. 石油勘探与开发, 2007, 34(5): (出版中)
- 37 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化-改造的时空坐标及其成藏(矿)响应. 地质学报, 2006, 80(5): 617—638
- 38 刘池洋. 渤海湾盆地的构造演化及其特点. 西北大学地质系编. 西北大学地质系西北大学地质系成立四十五周年学术报告会论文集. 西安: 陕西科学技术出版社, 1987. 447—458
- 39 刘池洋. 盆地构造动力学研究的弱点、难点及重点. 地学前缘, 2005, 12(3): 113—124
- 40 赵凤民. 外生-后生渗入型铀矿床的空间定位问题探讨. 铀矿地质, 2005, 21(3): 161—168
- 41 Кисляков Я М, Щеточкин В Н. Гидрогенное рудообразование. Москва, 2000. 486—493