

中国北方中生代含铀盆地类型划分

金若时^{1,2)}, 程银行^{1,2)}, 王少轶^{1,2)}, 李效广^{1,2)}, 张天福^{1,2)}

1) 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津, 300170;

2) 中国地质调查局铀矿地质重点实验室, 天津, 300170

内容提要:含铀盆地类型划分是铀矿勘查工作的重要基础, 目前对北方系列陆相盆地尚未开展过系统的对比研究工作。近年来, 独具特色的砂岩型铀矿床跌宕成矿理论、“红-黑”岩系耦合沉积控矿、盆内隆缘控矿等新认识的提出, 得益于我国北方砂岩型铀矿床的勘查实践, 并在铀矿勘查中不断丰富和拓展应用, 取得了一系列重要找矿突破。在此基础上, 本文据北方陆相盆地 30 万余米岩芯勘探成果, 以含铀岩系时代和盆地铀富集机理为基础, 兼顾盆地构造位置及构造演化, 首次提出了中国中生代含铀盆地类型划分方案, 分为三类含铀盆地: 复合盆地、叠合盆地和简单盆地。复合盆地其含铀岩系均为中生代构造层; 叠合盆地是含铀岩系为中生代和新生代两个构造层的产铀盆地, 如准噶尔盆地、柴达木盆地; 简单盆地其含铀岩系仅在新生代构造层产出, 如龙川江盆地。根据不同含铀盆地类型与构造岩浆岩带的空间分布关系划分为两型, 分别为构造岩浆岩带之间的开阔盆地和岩浆岩带内的山间盆地。含铀盆地类型的划分, 不仅具有砂岩型铀矿成矿环境、成矿规律及成矿模式研究的重要成因指示意义, 也可为目前正在开展的砂岩型铀矿勘查工作提供重要的实践指导。

关键词: 中生代; 含铀岩系; 含铀盆地类型; 复合盆地; 叠合盆地; 构造岩浆岩带内部盆地

在中国昆仑-秦岭-大别山以北, 发育了一系列含铀盆地。盆地内铀、煤、油和气等矿产同盆共生, 铀矿床以砂岩型矿床为主, 资源潜力大, 可利用前景好。因此, 依据含铀岩系的特征, 进行深入研究含铀盆地的类型, 对科学地梳理不同类型盆地的铀成藏(矿)机理与成矿富集规律意义重大。前人以盆地成因背景为基础, 从板块构造背景、板块边界类型、地球动力学、基底类型等角度 (Dickinson, 1974, 1976; Bally et al., 1980, 1995; Busby et al., 1995; Zhu Xia, 1983; Liu Hefu, 2001), 对沉积盆地类型进行了划分, 为盆地油气、煤等资源勘探、预测及评价提供了重要的依据。以地球动力学为基础的盆地划分方案 (Bally et al., 1980, 1995; Zhu Xia, 1983) 被广泛应用于石油地质学、煤田地质学中, 其中含油气盆地划分以 St John (1984) 和 Mann et al. (2003) 提出的方案为主流, St John et al. (1984) 9 类盆地划分方案为: A 型前渊、大西洋型被动陆缘、克拉

通、弧后盆地、裂谷带、剪切带、冲断带、中国型盆地和 B 型前渊; Mann et al. (2003) 6 类盆地划分方案为: 大陆裂谷盆地、被动大陆边缘盆地、地体增生岛弧碰撞或浅俯冲盆地、陆陆碰撞边缘盆地、走滑边缘盆地和俯冲边缘盆地。中国学者在此基础上, 从中国盆地类型的厘定为出发点, 提出了我国聚煤盆地类型划分方案 (Ren Wenzhong, 1992; Song Lijun et al., 2009)。以板块边界类型 (Dickinson, 1974, 1976; Ingersoll, 1988; Busby et al., 1995) 作为含油气盆地和聚煤盆地类型划分的原则, 也得到了国内外学者的广泛认可, Jia Dong et al. (2011) 以此为依据, 对我国含油气盆地类型进行了划分。此外前人将盆地后期改造作用作为含油气盆地和聚煤盆地类型划分的重要因素 (Zhao Jingzhou et al., 2008; Song Lijun et al., 2009)。

随着研究程度的深入, 含油气盆地、聚煤盆地划分方案已趋近成熟。铀矿床空间产出位置与油气

注: 本文为国家重点基础研究发展计划“973”项目 (编号 2015CB453000)、国家重点研发计划 (编号 2018YFC0604200)、国际地球科学计划 (编号 IGCP675) 和中国地质调查项目 (编号 DD20190813) 资助成果。

收稿日期: 2019-04-08; 改回日期: 2019-05-19; 网络发表日期: 2019-06-10; 责任编辑: 周健。

作者简介: 金若时, 男, 1958 年生。教授级高级工程师, 从事砂岩型铀矿地质调查研究。Email: ruosj2003@aliyun.com。

引用本文: 金若时, 程银行, 王少轶, 李效广, 张天福. 2019. 中国北方中生代含铀盆地类型划分. 地质学报, 93(7): 1571~1587, doi: 10.19762/j.cnki.dizhixuebao.2019187.

Jin Ruoshi, Cheng Yinhang, Wang Shaoyi, Li Xiaoguang, Zhang Tianfu. 2019. Type classification of Mesozoic-Cenozoic uraniferous basins in northern China. Acta Geologica Sinica, 93(7): 1571~1587.

田、煤田紧密共生,在成因联系上密切相关,但砂岩型铀矿床产出层位受盆地构造演化影响,与油气、煤炭产出位置均存在差异,且由于砂岩型铀矿床易迁移、成矿物质来源复杂等诸多因素,使得这些盆地划分方案并不完全适用于砂岩型铀矿勘查和成矿理论研究,含铀盆地划分方案研究的滞后限制了对砂岩型铀矿床成矿过程的整体认识,更影响了砂岩型铀矿进一步勘查工作的部署。本次大规模砂岩型铀矿勘查工作,积累了大量的钻孔资料,并在鄂尔多斯盆地、二连盆地、松辽盆地、准噶尔盆地等取得了一系列重大找矿突破。本文在深入对比盆地含铀岩系发育异同性的基础上,总结了不同类型盆地演化特征,并提取了控矿要素。以含铀岩系赋存构造层时代为划分原则,提出了复合盆地、叠合盆地和简单盆地三种含铀盆地类型划分方案;以含铀盆地与构造岩浆岩带空间分布关系为划分原则,将盆地划分为构造岩浆岩带之间和构造岩浆岩带内部的盆地。

1 含铀盆地形成的地质背景

中生代含铀岩系和新生代含铀岩系是我国砂岩型铀矿床的主要赋矿层位,其分布特征受构造运动影响明显。中生代含铀岩系主要发育于阿尔泰山-雅布洛诺夫南山和天山-阴山两条纬向构造岩浆岩带两侧,呈近东西向产出于我国北方地区。新生代含铀岩系在我国东、西部地区差异明显,我国西部和东部地区大地构造位置分别位于特提斯构造域和太平洋构造域。受印度洋板块北东向碰撞,西部新生代含铀岩系叠加于准噶尔、柴达木、龙川江等中生代盆地之上发育,形成了北北西向展布的新生代含铀岩系。东部地区受太平洋板块北东向俯冲影响,新生代含铀岩系发育于海拉尔和二连盆地东部等中生代盆地之上,呈北东向分布(图1)。

中生代时期华北板块与蒙古-西伯利亚板块的闭合和拼贴形成了北方系列三叠系、侏罗系、白垩系为主的陆相沉积盆地(任纪舜,2003),为含铀盆地演化和发展提供了良好的基础。中生代早期,古亚洲洋俯冲消亡,中国整体处于挤压造山的构造背景之下。阿尔泰山-雅布洛诺夫南山和天山-阴山两条重要的纬向构造岩浆岩带的形成,控制着中国北方盆地的形成与演化,该时期中国西北地区构造格架基本定型,华北陆相盆地稳定发育。自蒙古-鄂霍次克洋早侏罗世—中侏罗世闭合后(Zorin, 1999),东北地区构造格架基本稳定。位于阿尔泰山-雅布洛诺夫南山与天山-阴山构造岩浆岩带之间发育了准噶

尔、海拉尔等盆地;天山-阴山与昆仑山-秦岭之间发育了塔里木、柴达木、鄂尔多斯盆地(图1)。华北陆块、塔里木陆块和柴达木等地块边缘形成了一系列东西向展布的褶冲逆推带、造山带的挤压隆起、造山带间凹陷,吐哈和二连盆地均发育于天山-阴山构造带中的局部沉降地带之中。中侏罗世—白垩纪,东北地区进入滨太平洋构造演化阶段,白垩纪时期中国东部地区北东向左行走滑构造发育(Xu Jiawei et al., 1985; Li Bile et al., 2002; Wang Kaihong et al., 2006; Han Guoqing et al., 2009),直接控制着海拉尔盆地和松辽盆地的发展演化。

新生代时期中国大陆构造变形东西差异明显(Li Jinyi et al., 2014)。东部构造变形主要与太平洋板块 NWW 向欧亚板块俯冲作用相关(Ge Xiaohong et al., 2014),构造变形以北北东向正滑断层为主,形成了以北北东向隆起和北北东向盆地相间的地貌格局,其西部边界为大兴安岭-太行山-雪峰山构造岩浆岩带,东部边界为长白山-泰山构造岩浆岩带(郯庐断裂)(任纪舜等,1990;魏斯禹等,1990),中生代发育的陆相盆地遭受强烈叠加改造。新生代早期,中国东部整体表现为构造抬升。松辽盆地、海拉尔盆地内部以构造反转为主要特征。大三江盆地遭受强烈破坏改造,形成一系列中—小型残余盆地群。大兴安岭地区表现为全面隆升。渐新世开始受东亚大陆边缘张裂解体(Wu Genyao et al., 2007),二连盆地东部、松辽盆地、海拉尔盆地、大兴安岭地区开始沉降并接受沉积,东部盆地群发育古近纪断陷盆地。

西部地区受印度板块强烈碰撞作用,发生了巨大变形(Molnar et al., 1975; Tapponnier et al., 1990, 2001; Mo Xuanxue et al., 2009; Pan Guitang et al., 2013)。受南北向挤压缩短、东西向拆离作用影响(Li Jinyi et al., 2014; Tapponnier et al., 1976),致使塔里木盆地的顺时针旋转、天山及阿尔泰山地区近东西走向的逆冲推覆、北西和北北西走向的右行走滑、北东和北东东走向的左行走滑。古近纪末期,古天山、昆仑山、祁连山、阿尔金山造山带复活抬升,发生陆内造山作用(Wang Guogan et al., 2011),塔里木、柴达木盆地中生代地层发生了较大的变形,并沉积了较为完整的古近纪地层(Song Bowen et al., 2014)。新近纪,青藏高原处于强烈陆内汇聚挤压阶段(Wang Erqi, 2013),准噶尔盆地新近系与下覆古近纪地层呈角度不整合接触关系,塔里木盆地由海相沉积转向陆内盆地演化阶

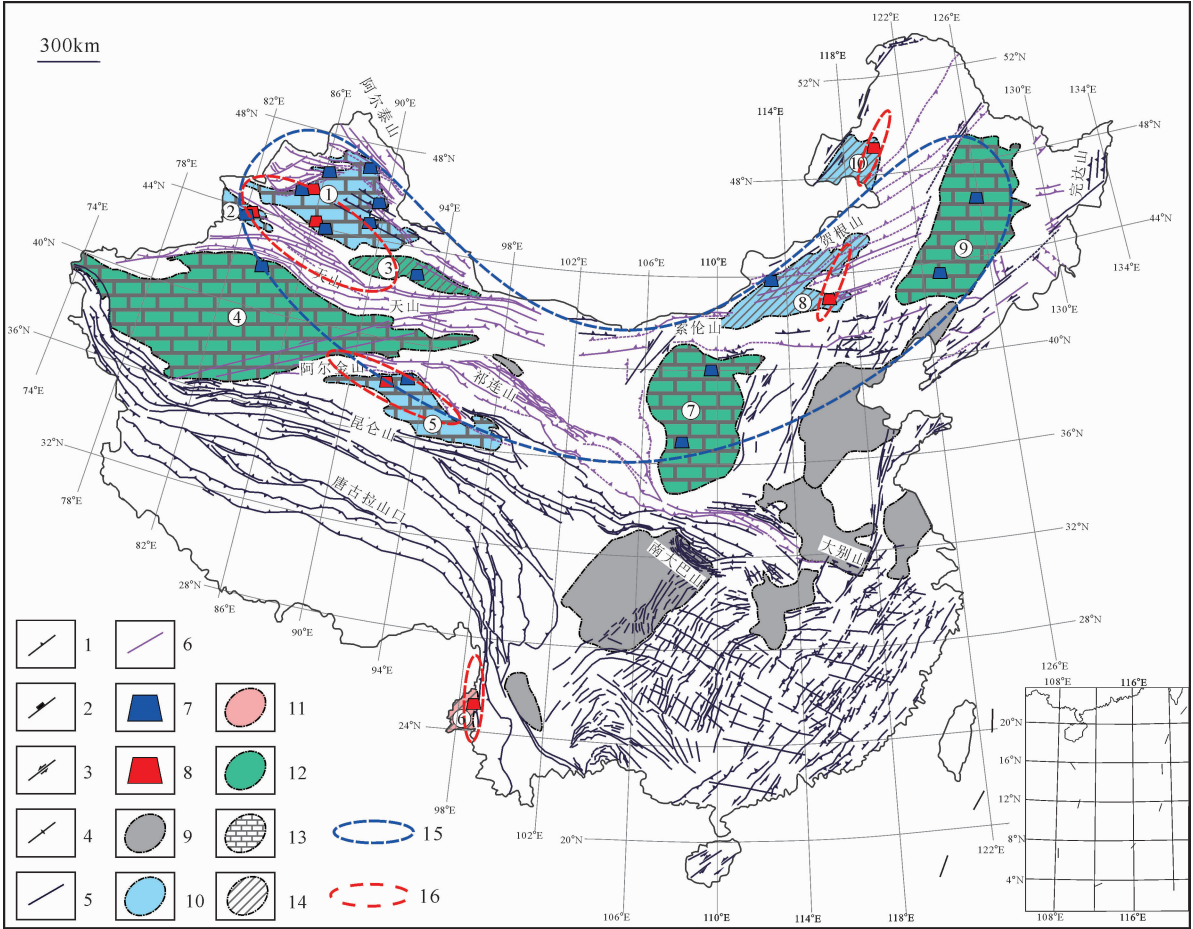


图 1 中国和邻区大地构造及盆地分布简图(底图据 Li Jinyi et al. , 2014)

Fig. 1 Distributions of tectonic setting and sedimentary basins in China and its adjacent areas (after Li Jinyi et al. , 2014)

①—准格尔盆地;②—伊犁盆地;③—吐哈盆地;④—塔里木盆地;⑤—柴达木盆地;⑥—滇西山间盆地群(龙川江盆地);⑦—鄂尔多斯盆地;⑧—二连盆地;⑨—松辽盆地;⑩—海拉尔盆地;1—逆冲构造;2—正滑或拆离构造;3—剪切或走滑构造;4—背斜褶皱轴;5—中国中生代变形系统;6—中国古生代变形系统;7—铀矿床(赋矿地层为中生代地层);8—铀矿床(赋矿地层为新生代地层);9—其他盆地;10—叠置盆地;11—简单盆地;12—复合盆地;13—构造岩浆岩带之间盆地;14—构造岩浆岩带内部盆地;15—中生界含铀岩系;16—新生界含铀岩系

①—Junggar basin; ②—Ili basin; ③—Turpan-Hami basin; ④—Tarim basin; ⑤—Qaidam basin; ⑥—Intermountain basins in western Yunnan (Longchuanjiang basin); ⑦—Ordos basin; ⑧—Erlian basin; ⑨—Songliao basin; ⑩—Hailar basin; 1—thrust structure; 2—positive slip or detachment structure; 3—shear or strike-slip structure; 4—anticlinal fold axis; 5—Mesozoic-Cenozoic deformation system in China; 6—Paleozoic deformation system in China; 7—uranium deposit of Mesozoic; 8—uranium deposit of Cenozoic; 9—other basins; 10—superimposed basin; 11—simple basins; 12—composite basin; 13—basins between tectonomagmatic belts; 14—basins within tectonomagmatic belts; 15—Mesozoic uraniferous rock series; 16—Cenozoic uraniferous rock series

段(Zhang Kexin et al. , 2010),准噶尔盆地周缘发育一系列冲段带。上新世以来,青藏高原及周缘山脉持续隆升,奠定了中国西部盆-山地貌基本格架(李吉均等,1979; Zheng Dewen et al. , 2006)。

2 含铀岩系特征

中生界含铀岩系在我国北方系列盆地内普遍发育,呈近东西向展布(图 1),是北纬 34°~48°欧亚铀成矿带的东段组成部分,铀矿主要赋存于侏罗系和

白垩系含铀岩系中,自西向东,赋矿地层年龄逐渐年轻,我国西部准噶尔等盆地中生界含铀岩系为中—下侏罗统,中部鄂尔多斯等盆地含铀岩系为中侏罗统和下白垩统,东部松辽盆地含铀岩系为上白垩统。近年来,随着砂岩型铀矿调查工程的实施,陆续在西部准噶尔、云南龙川江等系列盆地,东部二连、海拉尔盆地新生代地层中发现铀矿床或铀矿点,其分布特征与区域新生代构造线走向一致(图 1),我国西部和东部新生代构造挤压作用直接控制我国新生代

含铀岩系的形成。

2.1 中生界含铀岩系特征

我国西部、中部、东部盆地所处构造位置不同,盆地演化经历了不同构造事件,致使不同构造区域内的砂岩型铀矿床赋矿层位差异明显。中生界含铀岩系作为我国砂岩型铀矿床的主要产出层位,包含侏罗系和白垩系两期含铀岩系。

2.1.1 准噶尔盆地中生代含铀岩系

准噶尔盆地早侏罗世—中侏罗世早期处于弱伸展构造背景。在三叠纪构造格局的基础上,准噶尔盆地及周缘造山带一同沉降并接受沉积,该时期沉积范围广阔,水体较浅,早侏罗世地层向西缘准噶尔造山带、东缘克拉美丽山超覆沉积。中侏罗世晚期(头屯河期)盆地处于压扭构造背景之下,整体表现为抬升剥蚀。同时北西向断裂发生右旋走滑,致使盆地内部形成了一系列北东向褶皱构造。中侏罗统头屯河组沉积于盆地内古隆起两侧,在南缘超覆沉积于西山窑组—八道湾组,东部不整合于北东向向斜之上。

准噶尔盆地侏罗系含铀岩系自下而上分别为:下侏罗统八道湾组(J_1b)、中侏罗统西山窑组(J_2x)和中侏罗统头屯河组(J_2t) (表1),垂向序列发育粗—细2个完整的旋回过程,产出扇三角洲、辫状河、辫状河三角洲、湖泊和湖泊三角洲5种沉积相类型。下侏罗统八道湾组(J_1b)是区内重要的含煤岩系,其中八道湾组一段(J_1b^1)和三段(J_1b^3),以河流相含煤砂岩层为主要特征,岩性以河流相灰绿色—灰色含砾砂岩、砂岩夹灰色粉砂岩、泥岩及煤层为主要特征。中侏罗统西山窑组(J_2x),为河流—湖泊相沉积,由多个下粗上细的正韵律组成(砂—泥—煤),可分为上、下两段(姜科庆等,2010)。上段(J_2x^2)上部岩性为灰色、灰绿色砂岩夹泥岩、碳质泥岩、煤层,上段下部岩性为煤层、褐红色泥岩、细—粉砂岩互层为主要特征;下段(J_2x^1)上部岩性以灰色泥岩、细—粉砂岩互层为主要特征,下部岩性以灰色细—粉砂互层夹粗砂岩、厚煤层为主要特征。中侏罗统头屯河组下段(J_2t^1),岩性以杂色、灰色、黄绿色砾岩、砂岩、泥质粉砂岩为主,砂体厚度较大,夹煤屑。“红色”富氧建造主要为中侏罗统头屯河组上段(J_2t^2),岩性为细粒杂色层,由灰、灰绿色与紫红、褐红色砂泥岩互层组成,是一套干旱气候下的河湖相沉积,砂体规模小。

准噶尔盆地白垩系含铀岩系自下而上分别为下白垩统清水河组(K_1q)、下白垩统胜金口组(K_1sh)。

下白垩统清水河组(K_1q)为一套水进式沉积建造,岩性以灰绿色砂岩、泥岩和棕红色、红褐色泥岩条带状互层为主,底部为含角砾砂岩层(也称为角砾岩),含角砾砂岩中的砾石分选性、磨圆度差,砾石成分大多数与下伏基岩的成分相同,属于原地或近源堆积。下白垩统胜金口组(K_1sh)岩性以灰绿色砂岩、泥岩与红色、棕红色、红褐色泥岩条带状互层为主。泥砾发育,可以见到数量较少钙质结核。下部主要是三角洲平原上的分流河道和河道间湾沉积,正向沉积韵律,砂岩层稳定,岩性以细砂岩为主。盆地西缘夏子街一带发育中砂岩、含砾砂岩、砂砾岩等较粗粒的岩石。

2.1.2 鄂尔多斯盆地中生代含铀岩系

鄂尔多斯盆地早—中侏罗世处于弱伸张环境下,盆地处于构造稳定演化阶段,印支期碰撞挤压造成的高低不平古地貌被填平沉积,此时为鄂尔多斯盆地演化的全盛时期,盆地范围远大于现今盆地边界(Shi zhiqiang et al., 2003),沉积相以河湖相、沼泽相为主。中—晚侏罗世受到多向挤压作用,盆地不同地区隆升、剥蚀程度差异较大,盆地呈不平衡演化。早白垩纪盆地处于整体抬升阶段,且盆地西部沉积厚度远大于盆地东部地区。晚白垩世,盆地处于全面隆升状态,晚白垩世地层缺失,鄂尔多斯盆地构造格架基本定型。

区内中生代含铀岩系包括白垩系含铀岩系和侏罗系含铀岩系,分别为白垩系罗汉洞组(K_1lh)、统泾川组(K_1t)含铀岩系和侏罗系延安组(J_2y)、直罗组(J_2z)含铀岩系(表1)。延安组二~三段(J_2y^2 — J_2y^4)聚煤作用强烈,由多个湖泊三角洲体系单元组成,以细碎屑沉积为主,岩性为深灰色、黑色泥岩、粉砂岩及煤层,其次为灰色砂岩,夹泥灰岩及黑色油页岩。中侏罗统直罗组(J_2z)为“红色”富氧沉积建造,整体为河湖相碎屑岩建造,自下而上可以分为2段,各段物源条件一致,但沉积体系差异明显(Zhang Kang et al., 2015)。直罗组上段(J_2z^2)上部以褐红色、紫色泥岩与细砂岩、粉砂岩互层,下部多发育褐红色厚层中—粗粒砂岩;直罗组下段(J_2z^1)发育多个正韵律沉积旋回,岩性主要为灰色、灰绿色、绿色中—粗砂岩、含粒砂岩,以辫状河沉积为主。鄂尔多斯盆地白垩系含铀岩系主要为一套红色富氧沉积建造,早白垩世形成于半干—干热古气候条件下的红色—杂色碎屑岩,以河流相、湖相沉积为主,洛河期至华池环河期组成一个大的退积沉积旋回,从罗汉洞期至泾川期组成第二个退积沉积旋回。

表 1 中国北方中生代典型盆地地层与赋含砂岩型铀矿对比表

Table 1 Comparison of correlation between typical Mesozoic-Cenozoic basin formation and uranium-bearing horizon in northern China

地层年代			底层年龄 (Ma)	北方盆地										滇西盆地				
				西部典型盆地					中部典型盆地		东部典型盆地			龙川江				
				塔里木	准噶尔	伊犁	吐哈	柴达木	鄂尔多斯	二连	海拉尔	松辽						
第四系 Q			2.58	松散堆积														
新 生 界	新近系	上新统 N ₂	5.3	库车组 N ₂ k	独山子组 N ₂ d	独山子组 N ₂ d	葡萄沟组 N _p	狮子沟组 N ₂ sz	乌兰图克组 N ₂ wl	宝格达乌拉组 N ₂ b	五叉沟组 N ₂ wc				芒棒组 N ₂ m			
		中新统 N ₁		康村组 N ₁ k	塔西沙组 N ₁ t	塔西沙组 N ₁ t		油砂山组 N ₁ y	五原组 N ₁ w	通古尔组 N ₁ t	呼查山组 N ₁ hc				南林组 N ₁ n			
	23		吉迪克组 N ₁ j	沙湾组 E ₂ -N ₁ s	沙湾组 E ₂ -N ₁ s									大安组 E ₂ -N ₁				
	古近系	渐新统 E ₃	34	苏维依组 E ₃ s	安集海河组		桃树园组 E ₃ t	干柴沟组 E ₂ -Ng	临河组 E ₃ lh	呼尔井组 E ₃ h								
		始新统 E ₂		小库孜拜组 E ₂ x	E ₂ 3a	巴坎组 E ₂ b	寺口子组 E ₂ s		清水营组 E ₂ q	乌兰戈楚组 E ₃ w								
			56						沙拉木仑组 E ₂ s	伊尔丁曼哈组 E ₂ y			依安组 E ₂ y					
古新统 E ₁		65	塔拉克组 E ₁ t	柴泥泉子组 E ₁ 2z		台子村组 E ₁ t	路东河组 E ₂ l		阿山头组 E ₂ a	脑木根组 E ₂ n								
中 生 界	白垩系	上统 K ₂	96	巴什基奇克组 K ₂ b	红砾山组 K ₂ h		苏巴什组 K ₂ s			二连组 K ₂ e	多希玄武岩组 K ₂ d	明水组 K ₂ m	四方台组 K ₂ s					
					东沟组 K ₂ d							嫩江组 K ₂ n	姚家组 K ₂ y					
		下统 K ₁	145	巴西改组 K ₁ b	连木沁组 K ₁ l	连木沁组 K ₁ l	连木沁组 K ₁ l	泾川组 K ₁ j	罗汉洞组 K ₁ /	罗沙组 K ₁ /	腾格尔组 K ₁ t	伊敏组 K ₁ y	泉头组 K ₁ qt					
				舒善河组 K ₁ s	胜金口组 K ₁ sh	胜金口组 K ₁ sh	胜金口组 K ₁ sh	犬牙沟组 K ₁ qy	环沙组 K ₁ h	流沙组 K ₁ l	阿尔善组 K ₁ a	大磨拐河组 K ₁ d	登楼库组 K ₁ dl					
				呼图辟河组 K ₁ h			三十里大墩组 K ₁ s					甘河组 K ₁ g						
				亚格列木组 K ₂ y	清水河组 K ₁ q							龙江组 K ₁ l						
	侏罗系	上统 J ₃	163	喀拉扎组 J ₃ k				洪水沟组 J ₃ k	芬芳河组 J ₃ f	白音高老组 J ₃ b								
				齐古组 J ₃ q					安定组 J ₂ 3a	玛尼吐组 J ₃ mn								
		中统 J ₂	175	哈马克组 J ₂ h	头屯河组 J ₂ t				大煤沟组 J ₂ dm	首罗组 J ₂ l	塔木兰沟组 J ₂ l							
				克孜勒努尔组 J ₂ k	西山窑组 J ₂ x					延安组 J ₂ y	七林河组 J ₂ q	万宝组 J ₂ w						
		下统 J ₁	205	阳霞组 J ₁ y	三工河组 J ₁ s					富县组 J ₁ f	红旗组 J ₂ h							
				阿合组 J ₁ a	八道湾组 J ₂ b													
三 叠 系	上统 T ₃	227	塔里奇克组 T ₁ t	郝家沟组 T ₃ h				鄂拉山组 T ₃ e	瓦窑堡组 T ₃ w					南梳坝组 T ₃ n				
				黄山街组 T ₃ hs														
	中统 T ₂	241	克拉玛依组 T ₂ 3k					延长组 T ₂ 3p					大水塘组 T ₂ d					
			俄霍布拉克组 T ₁ 2e	烧房沟组 T ₁ sh				二马营组 T ₂ e										
	下统 T ₁	250		韭菜园组 T ₁ j					和尚沟组 T ₁ h									
									刘家店组 T ₁ l									

2.1.3 松辽盆地中生代含铀岩系

松辽盆地晚侏罗世一早白垩世以来受伊泽奈崎板块北西向快速俯冲,松辽盆地由压扭背景向伸展转换,盆地内部沿三条北北东向断裂分布并发育数十个断陷盆地,陆缘区伴随强烈的火山活动。登娄库期末彼此分割的断陷盆地相互连通,形成了统

一的湖盆体系,在此基础上沉积了泉头组、青山口组、姚家组、嫩江组一套巨厚的湖相沉积产物。晚白垩世嫩江期末松辽盆地处于挤压构造背景之下,盆地内部表现为整体抬升过程(Cheng Yinhang et al., 2018),嫩江组顶部发育区域性不整合面,沉积中心向西迁移,明水期末松辽盆地再次经历了强烈

的挤压过程,至此松辽盆地构造格架基本定型。

松辽盆地中生代含铀岩系主要为白垩系含铀岩系,自下而上分别为上白垩统姚家组(K_2y),上白垩统嫩江组(K_2n),上白垩统四方台组(K_2s)。姚家组(K_2y)整体以三角洲相为主,可分为两段,姚家组(K_2y^2)上段岩性主要为浅灰色—灰白色和红褐色厚层细砂岩、粉砂岩、含砾粗砂岩夹紫红色和灰色泥岩、泥质粉砂岩,局部含大量的炭化植物碎屑、黄铁矿结核及深灰色泥岩夹层。姚家组(K_2y^1)下段主要为灰色—灰白色、紫红色、黄褐色细砂岩,夹紫红色、灰色泥岩及粉砂质泥岩,局部钻孔底部见杂色和红褐色及灰色砾岩、砂质砾岩和含砂砾泥岩。上白垩统嫩江组(K_2n)以湖相沉积为主,是松辽盆地重要含油含煤岩系。四方台组(K_2s)以浅湖滨湖相和河流相为主,上部岩性为紫红色泥岩,中部岩性为灰色细砂岩、粉砂岩与紫红色泥岩互层;下部岩性为砖红色含细砾的砂泥岩夹棕灰色砂岩和泥质粉砂岩。

2.2 新生界含铀岩系特征

2.2.1 准噶尔盆地新生代含铀岩系

准噶尔盆地在古近纪处于弱伸展构造背景,受青藏地区大陆开合作影响,沉降作用主要在稳定地块和山前带结合部位(Zheng Menglin et al., 2015),盆地开始了南倾成盆演化阶段。古近纪早期盆地进一步抬升剥蚀,盆地北部剥蚀作用强烈,白垩系残存于东北部地区。古近纪末期,盆地北部地区再次抬升剥蚀,古近系遭受剥蚀,两次抬升事件也进一步加剧盆地的翘倾。新近纪以来,受印度板块与欧亚板块盆地碰撞作用影响,准噶尔盆地处于持续挤压的构造背景之下,盆地南部发生强烈逆冲推覆作用,自盆地向山前构造变形强度逐渐增强,山前快速沉降了巨厚的陆相碎屑岩、膏泥岩,向前陆方向逐渐减薄,准噶尔盆地在此转化为大型前陆坳陷。

准噶尔盆地新生界含铀岩系自下而上分别为中新统沙湾组(N_1s)、中新统塔西河组(N_1t)。沙湾组(N_1s)为河湖相沉积,厚度约为83~252 m,上部发育稳定的棕红色泥岩、砂质泥岩,下部发育灰色砂砾岩,与下覆塔西河组整合接触。塔西河组(N_1t),为湖相沉积,岩性岩相较稳定,厚度为296~1564 m,上部为灰绿色泥岩、砂质泥岩夹砂岩沉积,下部为灰绿色泥岩,底部发育灰绿色砾岩,其上部发育的“泥包沙”为油气储藏部位。

2.2.2 柴达木新生代含铀岩系

柴达木盆地受周缘断裂控制,盆-山耦合明显。

早古近纪柴达木盆地处于隆升剥蚀状态。始新世受印度-欧亚板块碰撞远程效应影响,盆地开始初始坳陷,始新世末期湖盆面积扩大,干柴沟组细碎屑沉积物在全盆地分布。中新世后期,受喜马拉雅运动影响,盆地抬升并不断萎缩,接受粗碎屑的油沙山组、狮子沟组和七个泉组沉积。

柴达木盆地新生代含铀岩系为中新统油沙山组(N_{1y}),主要为滨浅湖相沉积,发育河流相沉积。油沙山组(N_{1y})垂向上表现为逆粒序层理,上部为棕红色、土黄色砂质泥岩,下部为棕红色、棕褐色泥岩夹灰绿色钙质泥岩及少量砾岩等(Zhou Jianxun et al., 2003)。

2.2.3 龙川江盆地新生代含铀岩系

龙川江盆地处于腾冲地块,是滇西拉分盆地之一。渐新世—中新世,腾冲地块受东西两侧断裂的右旋走滑控制,内部盆地呈北北东向分布。中新世末期—上新世早期持续的大陆汇聚导致腾冲地块岩石圈结构的重要变化:地块向南挤出并顺时针旋转,区域构造应力场发生转变,以左旋运动为主,伴随岩石圈拆沉作用,形成南北向断陷盆地群和火山岩区(Zhou Kenken et al., 2017)。

滇西龙川江盆地内新生代含铀岩系为上第三系芒棒组(N_2m),芒棒组(N_2m)为一套陆源碎屑岩夹基性火山岩的地层序列(Xia Yu et al., 2018),其上部为河流-湖泊相沉积,以褐黄色含粒粗砂岩、灰白色粉砂岩、灰色碳质泥岩为主要特征,中部为灰黑色玄武岩,下部主体为冲积扇相,以褐黄色、灰白色砾岩为主要特征,夹煤线。

2.2.4 海拉尔盆地新生代含铀岩系

新近纪以来,海拉尔盆地进入了新的持续伸展和构造反转演化阶段。由于古近纪末期的构造抬升作用(Jiang Hongliang et al., 2009),先期沉积的古近纪地层遭受剥蚀,古近纪地层残存于盆地中—西部坳陷之中。新近纪时期,盆地范围较广阔,主要为松散并富含植物根系的灰黑色腐殖土和下部松散的灰色砂砾层组成(Chen Junliang et al., 2007)。

海拉尔盆地新生代含铀岩系主要为呼查山组(N_{1hc})(王友志等,2009),为河流相沉积产物,在盆地西部铀矿床发育地区与大磨拐河组(K_1d)呈角度不整合接触关系(Xia Yuliang et al., 2004),岩性为松散的灰褐色砂岩与灰黄色、红色、灰色泥岩互层,底部发育巨厚层杂色砂砾岩石。早白垩纪大磨拐河期为海拉尔盆地扩张—全盛期(Liu Hongxu et al., 2004),大磨拐河组(K_1d)顶部发育煤层,富含有机

质(Zhong Yanqiu et al., 2010)。

3 “红-黑”沉积建造分布特征

我国含铀盆地主要发育中生界和新生界两套含铀岩系。含铀岩系发育的“红-黑”沉积建造和沉积相类型是砂岩型铀矿床的重要控矿要素,二者的形成主要受含铀岩系构造沉积背景的制约。

“红-黑”沉积建造耦合产出为砂岩型铀矿床提供了必要的氧化、还原介质。黑色岩层 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值一般大于1,发育黑色岩草莓状黄铁矿、碳屑、油斑,红层中碳酸盐岩,为相对较还原环境,红色岩层 $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ 比值一般小于1,发育碳酸盐,为相对较强氧化环境(Jin Ruoshi et al., 2017)。而中生代植被的繁茂和侏罗纪以来的缺氧和富氧事件(Berner, 1969; Peng Hua et al., 2003; Wang Chengshan et al., 2005)直接控制着“红-黑”沉积建造形成和分布。我国各个盆地砂岩型铀矿床与油气、煤矿等叠合产出,赋存在煤田、油田附近的“红-黑”岩系之中,如松辽盆地南部钱家店铀矿床发育于油气田之上(油气产出于上白垩统嫩江组地层)、鄂尔多斯北部东胜铀矿区产出于含煤岩系之上(含煤岩系为中侏罗统延安组地层)、准噶尔东部的喀木斯特铀矿床产出在含煤岩系之上(含煤岩系为中侏罗统西山窑组地层)。需要指出地层的颜色,尤其盆地内广泛发育的红色砂岩、绿色砂岩,与砂岩型铀矿床空间产出位置上紧密相关,岩层的颜色反映了沉积期古环境变化,而非后期矿化作用所致(Jin Ruoshi et al., 2019; Xu Zenglian et al., 2019)。

我国砂岩型铀矿床赋矿空间绝大多数为辫状河三角洲、辫状河道、扇三角洲沉积体系,这些沉积体系发育垂向厚度巨大、横向延伸较远的砂体,是铀元素迁移和沉淀必要的导矿和储矿空间。河道砂体的展布控制着铀矿体的产出空间,多呈板状、透镜状。中国东部松辽盆地的钱家店铀矿体与上白垩统姚家组(K_2y)辫状河道洼地分布范围一致,辫状河道受控于NNE向控盆断裂,发育于NNE向钱家店拗陷内;中国中部二连盆地的巴彦乌拉铀矿床产出在下白垩统赛汉组(K_1s)NE向古河道上砂体之中。此外砂岩型铀矿只有产出于“泥砂泥”的沉积结构中,铀矿物质才易被地浸采出,具有工业开采价值。

3.1 准噶尔盆地“红-黑”岩系特征及铀矿床产出

中国西北地区各陆相盆地红层主要发育于中—上侏罗统、上白垩统和第三系之中。侏罗纪时期,受缺氧与富氧环境的变化,西部各盆地、中统多为含

煤地层,而上统多为红色岩层和杂色岩层。上白垩统和第三系红层下部均发育原生的有机质。

准噶尔盆地中生代“黑色”岩系主要为下侏罗统八道湾组(J_1b)和中侏罗统西山窑组(J_2x)(图2)。八道湾组下部(J_1b^1)成煤作用主要发生在盆地南部边缘地势低缓及活动微弱的地区,煤层赋存于泛滥平原、三角洲平原相。八道湾组上部(J_1b^3)成煤作用主要产出于盆地东部克拉玛依和什托洛盖拗陷区、南部四棵树等地区,煤层赋存于三角洲平原相。西山窑组(J_2x)成煤作用几乎遍布整个盆地,西山窑组下部(J_2x^1)成煤作用主要位于泛滥平原、三角洲平原相,南部乌鲁木齐地区成煤作用最强烈。西山窑组上部(J_2x^2)成煤作用自东部向西部逐渐减弱。中生代“红色”岩系主要为上侏罗统齐古组(J_3q)、上白垩统东沟组(K_2d)(图2)。上侏罗统齐古组(J_3q)在盆地内稳定发育,在盆地东部地区保存完整,在盆地西部和北部地区遭受剥蚀而残存较薄。准噶尔盆地中生代赋铀层位较多,八道湾组一段(J_1b^1)铀异常产出于准噶尔盆地克拉玛依地区和准东五彩湾地区(Qin Mingkuan et al., 2017)。八道湾组三段(J_1b^3)铀矿化产出于准噶尔盆地东缘、西北缘(Ge Dongfeng et al., 2017),铀矿赋矿空间为辫状河、辫状河三角洲相砂体;西山窑组下段(J_2x^1)铀矿化产出在克拉玛依地区,西山窑组上段(J_2x^2)铀矿化主要产出在准东大庆沟、老君庙、喀木斯特及西北缘和什托洛盖地区(Qin Mingkuan et al., 2017),铀矿赋矿空间为曲流河、曲流河三角洲相砂体。头屯河组下段(J_2t^1)铀矿化主要产出在准东喀木斯特,西北缘和托落盖及淮南地区(Qin Mingkuan et al., 2017; Guo Qiang et al., 2018),矿体(异常)主要产出在辫状河、辫状河三角洲相砂体。此外下白垩统清水河组(K_1q)发育红层,砂岩型铀矿床产出于盆地西缘克拉玛依地区下白垩统清水河组(K_1q)和胜金口组(K_1sh)之中。

准噶尔新生代“黑色”岩系主要为新近系沙湾组(N_1s)(图2),侏罗系油源冲注于沙湾组下部,使其成为准噶尔西北缘重要的油气储集层,是春光、春风田的主力储油层。而沙湾组(N_1s)和上覆塔西河组(N_1t)是盆地内新生界的“红色”岩系。铀矿主要赋存于沙湾组(N_1s)上部灰色疏松砂岩之中(党龙等, 2015),塔西河组(N_1t)铀矿化强度较弱,产出灰绿色粗砂岩之中(Yu Qixiang, 2008)。

3.2 鄂尔多斯盆地“红-黑”岩系特征及铀矿床产出

鄂尔多斯盆地中生代“黑色”岩系主要为中侏罗

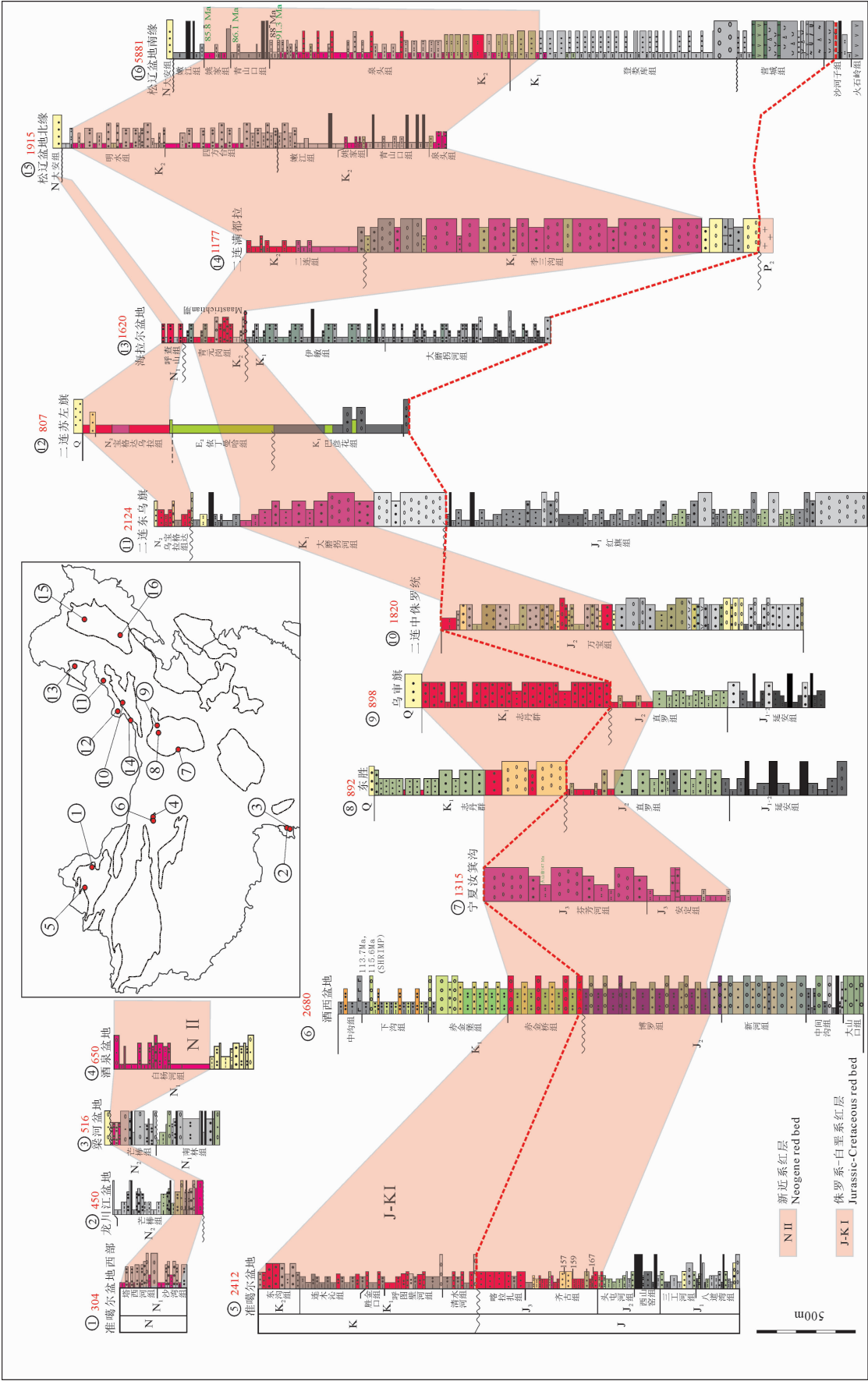


图2 中国北方主要陆相盆地“红-黑”耦合沉积柱状剖面对比图
Fig.2 Stratigraphic column of “Red & Black” syndepositional structures in continental basins in northern China
侏罗纪—白垩纪两期缺氧和富氧事件形成巨厚红层。钻孔资料据轴矿工程, Huang Qinghua et al.(2005); Gao Youfeng et al.(2009); Yang Yong et al.(2012)
The giant red beds formed by the events of anoxic and high ox in Jurassic-Cretaceous and Neogene. Borehole data provided by engineering of uranium geology;
Huang Qinghua et al. (2005); Gao Youfeng et al. (2009); Yang Yong et al. (2012)

统延安组(J_2y)(图 2),延安组中下部煤层主要产出湖侵体系域中期和晚期、湖退体系域的中期和晚期,延安组上部煤层主要产出湖侵体系域的晚期。鄂尔多斯南部煤层发育厚度较大,但横向延伸不稳定;北部地区煤层厚度中等、延伸稳定。盆地西部地区发育数个煤层,单煤层厚度较薄,但累计厚度较大。东部地区延安组残余较薄,成煤作用相对较弱。中生代“红色”岩系主要为中侏罗统直罗组上部(J_2z)(图 2),在盆地内稳定发育。中侏罗统延安组(J_2y)和中侏罗统直罗组(J_2z)构成了典型“红-黑”耦合沉积建造,直罗组下段(J_2z^1)下部的辫状河砂体是鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿床产出的主要层位,盆地北缘的皂火壕、纳岭沟、大营大型-特大型铀矿,南缘店头铀矿,西缘惠安堡铀矿均产出于该层位之中,直罗组下段(J_2z^1)上部的曲流河砂体为次要含矿空间(Chen Hongbin et al., 2006; Liu Wenping, 2011; Jiao Yangquan et al., 2015; Yi Chao et al., 2018)。此外基于大量钻孔勘察和验证,在盆地西缘、北缘延长组顶部($J_2y^4 \sim J_2y^5$)的曲流河三角洲、辫状河三角洲砂体中揭露了铀矿化,为鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿勘察工作提供了新的方向。

下白垩统罗汉洞组(K_1lh)也是区内典型陆相红层,在盆地西部、东部地区,罗汉洞组受油气漂白作用而形成白色砂岩(Ma Yanping et al., 2006)。铀矿床产出于盆地西缘下白垩统泾川组(K_1t)和罗汉洞组(K_1lh)辫状河三角洲砂体之中(Li Baoxia et al., 2008; Qi Fucheng et al., 2009)。此外六盘山内马东山组(K_1md)辫状河砂体也产出有铀矿化(Zhang Zilong et al., 2018)。

3.3 松辽盆地“红-黑”岩系特征及铀矿床产出

松辽盆地中生代“红色”岩系共发育三套(图 2),第一套为上白垩统泉头组(K_2q),在盆地内普遍发育。第二套为上白垩统姚家组(K_2y),东部地区为紫红色砂岩、泥岩,西部地区为杂色砂岩、泥岩。第三套为上白垩统四方台组(K_2s),全盆发育。中生代“黑色”岩系共发育两套,第一套为位于姚家组(K_2y)下部的青山口组(K_2qn)顶部油气藏。第二套为位于四方台组之下的嫩江组(K_2n)底部油气藏。

松辽盆地“红-黑”耦合沉积建造共发育两套,分别为上白垩统四方台组(K_2s)、嫩江组(K_2n)和上白垩统姚家组(K_2y)、下白垩统青山口组(K_1qn)(图 1)。铀矿床赋存于盆地西缘和北部四方台组(K_2s)的河道砂体(Chen Lulu et al., 2013; Tang Chao et

al., 2018)、盆地北部嫩江组三段(K_2n^3)的水下分流河道砂体(Deng Yuebing et al., 2005)、盆地南部姚家组下段(K_2y^1)的辫状河砂体。

4 盆地类型划分

我国西北地区盆山格局基本定型于早中三叠世。断陷盆地初始形成于晚三叠世—早侏罗世,中侏罗世—白垩纪以发育稳定大型断陷和走滑及压陷盆地为特征,仅局部发育小型拉分盆地。我国东北地区于中侏罗世—白垩纪全部进入滨太平洋构造域演化阶段,松辽盆地和海拉尔盆地为火山沉积断陷盆地。我国中部鄂尔多斯盆地受印支运动影响,在三叠纪中期为大型中生代前陆盆地,早侏罗世—白垩纪为压陷盆地。新生代早期,中国东部受太平洋板块俯冲作用影响,松辽盆地、海拉尔盆地内部以构造反转为主要特征。中国西部受印度板块与欧亚板块的强烈俯冲碰撞影响,古天山、昆仑山、祁连山、阿尔金造山带依次复活并构造抬升,发生陆内造山作用,在早—中始新世期间形成我国西部主要大型盆地,新近纪以来青藏高原进入强烈陆内汇聚挤压阶段,塔里木盆地、准噶尔盆地等周缘均发育冲断带。综合分析中国北方新生代陆相盆地形成、发展演化过程和含铀岩系发育特征(表 2)。本次工作对含铀盆地进行分析,划分为三类两型,划分原则及类型如下。

4.1 构造岩浆带对沉积盆地形成演化的控制作用

中国北方砂岩型铀矿床产于新生代陆相盆地的砂体中。主要赋矿层位为中生界侏罗系、白垩系和新生界新近系。中生代主要受阿尔泰山-雅布洛诺夫南山、天山-阴山和昆仑山-秦岭东西向的构造岩浆带控制,自西向东造成系列盆地成矿。新生代我国东部受雅布洛诺夫南山-六盘山和大兴安岭-太行山两条北北东向构造岩浆带控制,北东向展布的二连盆地东部、海拉尔盆地在新生代地层成矿;西部受西藏陆块挤压控制,形成了北北西向分布的系列成矿盆地(图 2)。中生代以后中国北方广大区域已成为大陆,沉积盆地的基底对各盆地的影响已经减弱,而盆地周缘的构造岩浆带强烈隆升,直接控制着盆地的跌宕起伏、水进水退及沉积物源,同时对铀源起到了关键作用。

4.2 含铀岩系发育特征划分三类盆地

对于沉积盆地的分类前人做过大量的工作,如 Mann et al. (2003)的 6 种含油气盆地类型划分方案、Ren Wenzhong et al. (1992)的 7 类聚煤盆地类

表 2 中国北方含铀盆地综合信息表(据项目调查成果)

Table 2 Comprehensive information of uraniferous basins in northern China
(according to the results of the geological survey)

盆地名称 盆地名称	构造演化特征		典型矿床	“红-黑”岩系	容矿建造	赋存层位
	中生代	新生代				
松辽盆地	断陷阶段(J ₃ —K ₁) 拗陷阶段(K ₂)	构造反转 (E—Q)	钱家店铀矿	上白垩统姚家组(红层)+ 下白垩统青山口组(油气)	辫状河砂体	上白垩统姚家组下段
			大兴铀矿床	上白垩统四方台组(红层)+ 上白垩统嫩江组(油气)	曲流河砂体	上白垩统四方台组下段
二连盆地	断陷阶段(J ₁ —J ₂) 构造反转(J ₃) 断陷阶段(K ₁) 构造抬升阶段(K ₂)	构造抬升阶段 (E—Q)	巴彦乌拉铀矿床	上白垩统二连组(红层)+ 下白垩统赛汉组(煤层)	辫状河砂体	下白垩统赛汉组三段
			赛汉高毕铀矿床	中新统通古尔组(红层)	曲流河砂体	中新统通古尔组上段
海拉尔盆地	断陷阶段(J ₂ —K ₂) 拗陷阶段(K ₁) 萎缩阶段(K ₂)	萎缩阶段 (E)	陈旗断陷铀矿床	第四系+下白垩统 伊敏组(煤层)	三角洲砂体	下白垩统伊敏组顶部
			盆地西部铀矿化	中新统呼查山组(红层)+ 下白垩统大磨拐河组(煤层)		中新统呼查山组
鄂尔多斯盆地	稳定演化阶段(J ₁ —J ₂) 不均衡隆升阶段(J ₃) 整体抬升阶段 (K ₁ —K ₂)	隆升剥蚀阶段 (E ₁) 周缘盆地演化 阶段(E ₂)	东胜铀矿区	中侏罗统安定组(红层)+ 下侏罗统直罗组(煤层)	辫状河砂体	中侏罗统直罗组下段
柴达木盆地	断陷阶段(J ₁ —J ₂) 伸展盆地反转阶段 (J ₃ —K ₁) 盆地缓慢沉降阶段 (K ₂)	挤压和抬升阶段 (E ₃ —Q)	冷湖铀矿床	中下侏罗统大煤沟组上段 (红层)+中下侏罗统大煤沟 组下段(煤层)	辫状河、曲流 河三角洲砂体	中侏罗统大煤沟组五段
			柴达木盆地西缘	中新统上油砂山组(红层)+ 中新统下油砂山组(含油)	辫状河三角 洲砂体	中新统油砂山组上部
准噶尔盆地	拗陷阶段(J ₁ —J ₂) 挤压、抬升演化 阶段(J ₃) 拗陷阶段(K)	山前拗陷阶段 (E—Q)	喀木斯特铀矿区	上侏罗统齐古组(红层)+ 中侏罗统西山窑组(煤层)、 下侏罗统八道湾组(煤层)	辫状河砂体	中侏罗统头屯河组下段、 下侏罗统八道湾组上段
			准噶尔盆地南缘	中新统沙湾组(红层)+ 中新统塔西河组(油气)	辫状河砂体 三角洲砂体	中新统沙湾组、 中新统塔西河组
吐哈盆地	断陷阶段(J) 萎缩阶段(K)	萎缩阶段 (E—N ₁) 强烈挤压阶段 (N ₂ —Q)	十红滩铀矿	上侏罗统齐古组(红层)+ 中侏罗统西山窑组(煤层)、 下侏罗统八道湾组(煤层)	辫状河砂体 三角洲砂体	中侏罗统西山 窑组中下部
塔里木盆地	断拗阶段(J—K)	断拗阶段 (N—E) 周缘逆冲推覆 阶段(Q)	库捷尔铀矿	中侏罗统哈马克(红层)+ 中侏罗统克孜勒努尔组 (煤层)、下侏罗统阳霞组 (煤层)	辫状河砂体	下侏罗统阳霞统
伊犁盆地	拗陷阶段(J ₁ —J ₂) 挤压、抬升演化阶段 (J ₃ —K ₁) 弱挤压阶段(K ₂)	弱挤压阶段(E) 差异升降 阶段(N—Q)	洪海沟铀矿区	上侏罗统齐古组(红层)+ 中侏罗统西山窑组(煤层)、 下侏罗统八道湾组(煤层)	三角洲砂体	中侏罗统西山窑组下段、 下侏罗统三工河组
龙川江盆地		盆地扩张阶段(N ₂) 盆地萎缩阶段(Q)	龙川江盆地	上新统芒棒组(煤层)	扇三角洲砂体	上新统芒棒组

型划分方案、Song Lijun et al. (2009)的 5 类聚煤盆地类型划分方案,这些分类大都是以沉积盆地的基底构造为背景,以煤或油矿的产出条件为基础进行划分。以盆地内含铀岩系发育特征为基础,兼顾盆地演化背景和产出位置,可以更有效的认识和划分我国含铀盆地特征(表 3)。近年来,通过对我国北方陆相盆地大规模铀矿勘察和研究工作,根据盆地内单一或多个含铀岩系赋存构造层的时代,将我国含铀盆地划分为三类:复合盆地、简单盆地、叠合盆

地(图 3)。

(1)复合盆地主要位于构造岩浆岩带之间,其含铀岩系为中生代地层。中生代地层发育多套“红-黑”耦合沉积建造,中侏罗世—晚侏罗世早期、晚白垩世中期、晚白垩世晚期三期红层及下覆沉积的时代相近的黑色层,是我国砂岩型铀成矿的 3 个重要层位。其中西部地区“红-黑”耦合沉积建造主要为中、下侏罗统,中部地区主要为下白垩统,东部地区为上白垩统,复合盆地铀矿化具有多层位产出特征。

包括仅产出侏罗系含铀岩系或白垩系含铀岩系的单—层位盆地,如中国西部的塔里木盆地和中国东部的松辽盆地;也包括既产出侏罗系含铀岩系,又产出白垩系含铀岩系的双赋矿层位盆地,如中国中部的鄂尔多斯盆地、中国西部的吐哈盆地。塔里木盆地砂岩型铀矿床构造产出位置为盆缘,矿体赋存于辫状河及辫状河三角洲含砾砂体中;鄂尔多斯、松辽盆地,砂岩型铀矿床构造产出位置均为盆缘、隆缘,矿区内赋矿地层产状为 2°~10°,分别以河流相和三角洲相砂体为铀矿主要赋矿空间。此外吐哈盆地是位于构造岩浆岩带内部的复合盆地,河谷沉积体系是吐哈盆地砂岩型铀矿床主要控矿构造,矿区内赋矿地层产状一般为 3°~8°,河流三角洲相、辫状河相砂体为主要赋矿空间。

(2)简单盆地主要位于构造岩浆岩带内部,含铀岩系仅为新生代地层,盆地规模较小,主要为龙川江

盆地。新生代以来,西部地区受青藏高原快速抬升影响,气候干燥,此时东部地区处于干湿交替的季风气候条件下,致使我国盆地发育古近纪和新近纪红层。而铀矿床产出层位较单一,多赋存于新近系。龙川江盆地砂岩型铀矿床主要产出于河谷,矿区地层产状稳定,一般为 2°~5°,铀矿产出于辫状河相和扇三角洲前缘相砂体中。

(3)叠合盆地在构造岩浆岩带之间和构造岩浆岩带内部均有产出。是我国含铀盆地的主要类型,中生界含铀岩系和新生界含铀岩系共同产出为其主要特征。构造岩浆岩带之间的叠合盆地包括西部的准噶尔盆地和柴达木盆地。准噶尔盆地中生代和新生代含铀岩系均产出于盆缘地区,新生代含铀岩系地层产状多为 3°~10°,赋矿空间为河流相、三角洲相砂体,而中生代含铀岩系产状较缓,一般为 1°~5°,辫状河、辫状河三角洲相砂体是砂岩型铀矿床主

表 3 中国北方中生代含铀盆地类型划分

Table 3 Classification of Mesozoic-Cenozoic uraniferous basins in northern China

盆地与构造 岩浆岩带关 系	复合盆地（类）			叠合盆地 ^① （类）			简单盆地（类）		
	盆地 名称	含铀岩系特征		盆地 名称	含铀岩系特征		盆地 名称	含铀岩系特征	
		沉积相	构造位置		沉积相	构造位置		沉积相	构造位置
		沉积物颜色	岩层倾角		沉积物颜色	岩层倾角		沉积物颜色	岩层倾角
构造岩浆带 之间的盆地 （型）	鄂 尔 多 斯	河流相 三角洲相 灰色中粒砂岩、细砂岩	盆缘 隆缘 2°~10°	准 噶 尔	河流相 三角洲相 灰色砾岩	盆缘 3°~10°			
					辫状河相 辫状河三角洲相 灰绿色中—粗砂岩	盆缘 1°~5°			
	松 辽	曲流河相 灰色中—细粒砂岩	盆缘 隆缘 2°~10°	柴 达 木	三角洲相 灰绿色砂岩	盆缘 1°~3°			
					辫状河三角洲相 灰色细砂岩	盆缘 隆缘 20°~35°			
	塔 里 木	辫状河相 辫状河三角洲相 浅灰色砂砾岩	盆缘 20°~35°	伊 犁	辫状河三角洲砂岩	盆缘 3°~10°			
					三角洲相 灰白色粗砂岩 含砾粗砂岩	盆缘 1°~5°			
构造岩浆带 内部的盆地 （型）				海 拉 尔	河流相 砂岩、砂砾岩	盆缘 河谷 1°~5°			
					辫状河三角洲相 灰绿色中—粗砂岩	河谷 1°~3°			
	吐 哈	河流三角洲相 辫状河相 中—细粒砂岩	河谷 3°~8°	二 连	河流相杂色砂岩	河谷 5°~10°	龙 川 江	辫状河相 扇三角洲前缘 灰色中粗砂岩	河谷 2°~5°
					辫状河相 灰色含砾粗砂岩	河谷 1°~3°			

注:①叠合盆地为二套构造层结构。下部构造层含铀岩系发育在中生界内,上部构造层含铀岩系产于新生界中。

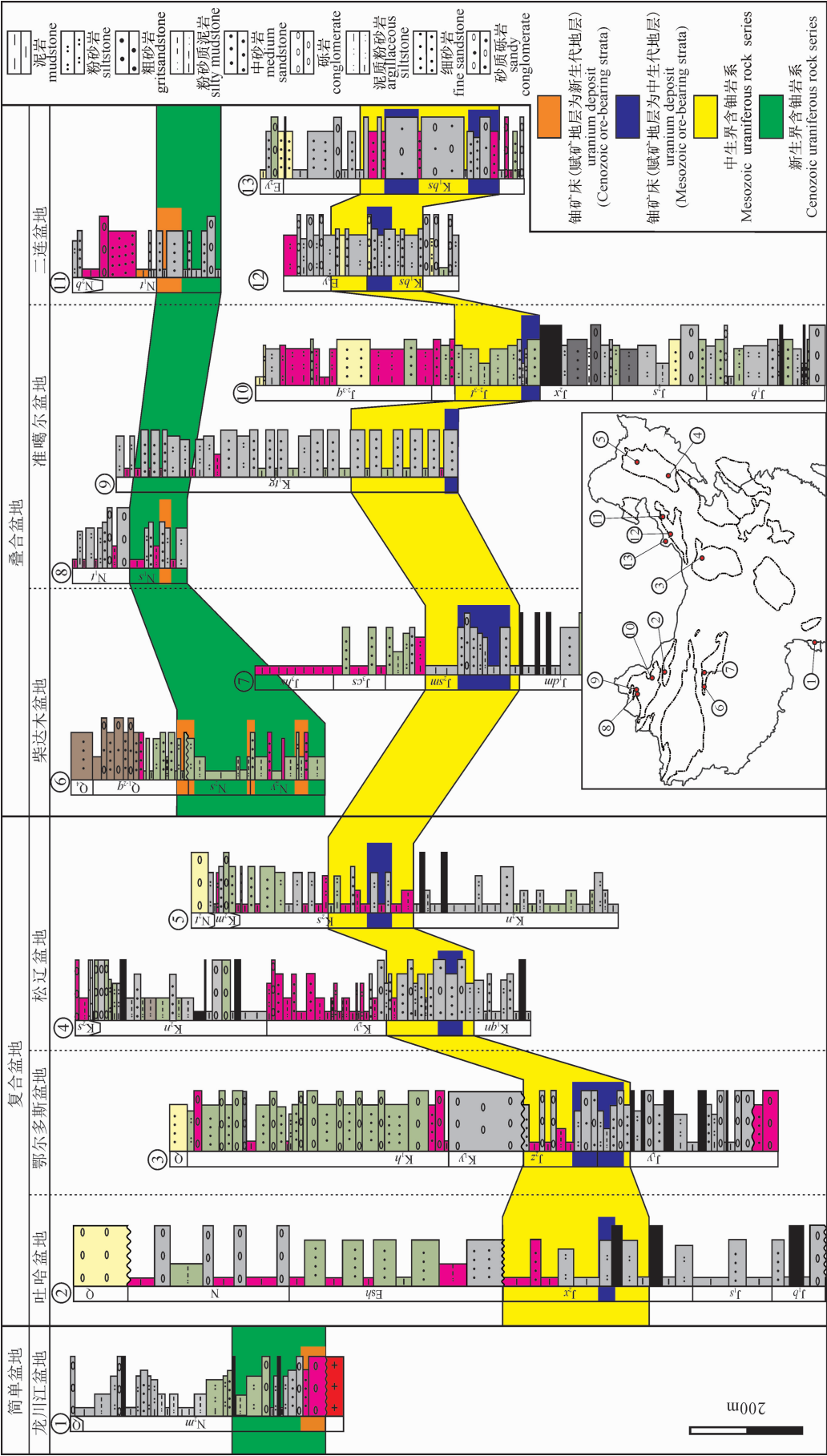


图3 中国含铀岩系综合对比图

Fig.3 Stratigraphic column of uraniumiferous formations in China

复合盆地含铀岩系为中生代和新生代地层, 简单盆地含铀岩系仅为新生代地层。钻孔资料据铀矿工程

Uranium-bearing formations in composite sedimentary basin are all Mesozoic uraniumiferous formations, uraniumiferous formations of superimposed sedimentary basin include Mesozoic structural layer and Cenozoic structural layer, uraniumiferous formations of simple sedimentary basin only include Cenozoic uraniumiferous formations. Borehole data provided by engineering of uranium geology

要赋矿空间。柴达木盆地中生代含铀岩系产出于盆缘和隆缘,矿区内赋矿地层产状为 $20^{\circ}\sim 35^{\circ}$,铀矿床发育于三角洲砂体中,新生代含铀岩系仅产出在盆缘地区,赋矿地层产状一般为 $1^{\circ}\sim 3^{\circ}$,辫状河三角洲相砂体为有利赋矿空间。构造岩浆岩带内部的叠合盆地包括西部伊犁盆地、中部二连盆地、东部海拉尔盆地,中生界含铀岩系为主要赋矿层位,除伊犁盆地铀矿床构造产出位置为盆缘地区,其余二者均产出于河谷之中,矿区赋矿地层以产状较缓为主要特征,一般为 $1^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 。矿体的有利赋矿空间分别为三角洲相、辫状河相砂体、辫状河三角洲相砂体。新生界含铀岩系在三个盆地中差异较大,伊犁盆地铀矿床产出于盆缘,赋矿地层产状为 $3^{\circ}\sim 10^{\circ}$,赋矿空间为辫状河三角洲砂体;海拉尔盆地铀矿床主要产出于盆缘、河谷,赋矿地层较平缓,产状为 $1^{\circ}\sim 5^{\circ}$,赋矿空间为河流相砂砾岩;二连盆地铀矿床产出于河谷,赋矿地层产状为 $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$,赋矿空间为河流相杂色砂岩。

4.3 含铀岩盆地与构造岩浆岩带空间分布划分了两型盆地

以含铀盆地与构造岩浆岩带空间分布关系为划分原则,将含铀盆地划分为构造岩浆岩带之间的盆地和构造岩浆岩带内部的盆地两种类型。

构造岩浆岩带内部的盆地:集中分布于我国北方阿尔泰山-雅布洛诺夫南山构造岩浆岩带之中,呈近东西向分布,一般为长宽比较大的狭长盆地,包括西部伊犁盆地、吐哈盆地,中部的二连盆地,东部的海拉尔盆地(表 3)。此外在我国西南地区近南北向构造岩浆岩带内部,产出龙川江盆地(表 3)。该类盆地的演化发展与周缘造山带构造活动密切相关,受断块升降、挤压扭动的影响,盆地物源供给充分,陆缘碎屑物粒度较粗,为含铀流体的富集和迁移提供了良好的铀源和导矿构造。盆地内砂岩型铀矿床主要产出于盆地中部河谷地区,一般矿体垂向厚度变化较大,横向延伸较不稳定。

构造岩浆岩带之间的盆地:主要分布于阿尔泰山-雅布洛诺夫南山与天山-阴山构造岩浆岩带之间和天山-阴山与昆仑山-秦岭构造岩浆岩带之间,整体呈近东西向,包括我国西部的准噶尔、塔里木盆地,中部的鄂尔多斯盆地,东部的松辽盆地(表 3)。该类盆地一般为大型、长宽比较小的开阔盆地,因搬运距离较远,碎屑物磨圆和分选较好,自盆缘向盆地内部,沉积物粒度逐渐减小。砂岩型铀矿床主要产出于盆缘或盆内隆缘斜坡带上,矿体垂向和纵向发

育较稳定。

5 结语

综合分析中国北方中新世陆相盆地形成、发展演化过程和含铀岩系发育特征,将含铀盆地划分为三类两型。

(1)根据含铀岩系特征,将我国含铀盆地划分为复合盆地、简单盆地、叠合盆地三种类型。复合盆地指含铀岩系为中生代地层的产铀盆地,中生代地层内沉积了多套“红-黑”耦合沉积建造,具有多层矿化的特点。简单盆地指含铀岩系仅为新生代地层的产铀盆地,铀矿化层位赋存单一。叠合盆地指中生代含铀岩系和新生代含铀岩系叠置产出的产铀盆地。

(2)根据含铀盆地构造位置的不同,将我国含铀盆地划分为两种类型,分别为构造岩浆岩带之间的开阔盆地和构造岩浆岩带内部的山间盆地。开阔盆地一般为大型、长宽比较小的盆地,铀矿床大多产在这类盆地的盆缘和盆内隆起斜坡带。山间盆地一般为长宽比较大的狭长盆地,铀矿床主要产出于盆地中部的河谷谷底部位。

(3)中生代含铀岩系是我国砂岩型铀矿床的主要赋存层位,主要分布于我国北方地区,沿近东西向构造线分布。新生代含铀岩系是我国砂岩型铀矿次要赋存层位,西部地区沿北北西向构造线分布,东部地区沿北北东向构造线分布。

References

Bally A W. 1980. Basins and subsidence-a summary. Dynamics of plate interiors. Washington DC: American Geophysical Union, 1:5~20.

Bally A W, Di Croce J, Ysaccis R A, Hung E. 1995. The structural evolution of the East Venezuela transpressional orogen and its sedimentary basins. Annual GSA Mtg., New Orleans, poster.

Berner R A. 1969. Goethite stability and the origin of red beds. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 33(2): 267~273.

Busby C J, Ingersoll R V, Burbank D. 1995. Tectonics of sedimentary basins. *Nature*, 376(6542): 654~654.

Chen Hongbin, Xu Gaozhong, Wang Jinping, Li Weihong, Zhao Xigang. 2006. Mineralization characteristics of Diantou uranium deposit in the southern margin of Ordos and in comparison with Dongsheng uranium deposit. *Acta Geologica Sinica*, 80(5): 724~732 (in Chinese with English abstract).

Chen Junliang, Wu Heyong, Zhu Defeng, Lin Chunhua, Yu Deshun. 2007. Tectonic evolution of the Hailar basin and its potentials of oil-gas exploration. *Chinese Journal of Geology*, 42(1): 264~269 (in Chinese with English abstract).

Chen Lulu, Nie Fengjun, Yan Zhaobin. 2013. Analysis on uranium metallogenic conditions of Sifangtai Formation in western slope of Songliao basin. *World Nuclear Geoscience*, 30(2): 70~78 (in Chinese with English abstract).

Cheng Yinhang, Wang Shaoyi, Li Ying, Ao Cong, Li Yanfeng, Li Jianguo, Li Hongliang, Zhang Tianfu. 2018. Late Cretaceous-Cenozoic thermochronology in the southern Songliao basin, NE China: New insights from apatite and zircon fission track

- analysis. *Journal of Asian Earth Sciences*, 160:95~106.
- Deng Yuebing, Dong Qingshui, Tian Lizhu, Dou Lei. 2005. Study on metallogenic conditions of sandstone type uranium deposit of Upper Cretaceous Nenjiang Formation in Suihua-Shuangcheng area. *Global Geology*, 24(3): 248~252 (in Chinese with English abstract).
- Dickinson W R. 1973. Plate tectonics and sedimentation. *Tectonics and Sedimentation*, 22: 1~27.
- Dickinson W R. 1976. Sedimentary basins developed during evolution of Mesozoic-Cenozoic arc-trench system in western North America. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 13(9): 1268~1287.
- Gao Youfeng, Wang Chengshan, Wang Pujun, Wan Xiaoqiao, Ren Yanguang, Cheng Rihui, Wang Guodong. 2009. Well site selecting, core section characteristics and distribution of the special lithological layers in CCS2-SK-In borehole, Songliao basin. *Earth Science Frontiers*, 16(6): 104~112 (in Chinese with English abstract).
- Ge Dongfeng, Zhou Jibing, Ma Xiaoping, Wang Ping, Jiao Bo. 2017. Analysis on metallogenic conditions of Jurassic sandstone type uranium deposits in the northern margin of eastern Junggar basin. *Xinjiang Geology*, 35(2): 184~190 (in Chinese with English abstract).
- Ge Xiaohong, Liu Junlai, Ren Shoumai, Yuan Sihua. 2014. The formation and evolution of the Mesozoic-Cenozoic continental tectonics in eastern China. *Geology in China*, 41(1): 19~38 (in Chinese with English abstract).
- Guo Qiang, Qin Mingkuan, He Zhongbo, Liu Zhangyue, Song Jiliao, Xu Qiang, Jia Cui, Tan Siyuan. 2018. Sedimentary features and metallogenetic prospect prediction of Meso-Cenozoic sandstone-type uranium deposit in Junggar basin. *Global Geology*, 37(2): 447~457 (in Chinese with English abstract).
- Hang Guoqing, Liu Yongjiang, Wen Quanbo, Zouyunxin, Liang Daojun, Zhao Yingli, Zhao Limin. 2009. The characteristics of structural deformation for the Lingxia ductile shear zone of Nenjing-Balihan fault belt in northeastern China. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 39(3): 397~405 (in Chinese with English abstract).
- Huang Qinghua, Chen Singping, Ye Dequan, Dang Yimin, Wang Liquan. 2005. Ostracoda from the Qingyuangang Formation in the southern Hailaer basin, Nei Mongol. *Acta Palaeontologica Sinica*, 44(1): 66~73 (in Chinese with English abstract).
- Ingersoll R V. 1988. Tectonics of sedimentary basins. *Geological Society of America Bulletin*, 100(11): 1704~1719.
- Jia Dong, Wu Long, Yan Bin, Li Haibin, Li Yiquan, Wang Maomao. 2011. Basin types and distribution of the Global giant oil and gas fields. *Geological Journal of China Universities*, 17(2): 170~184 (in Chinese with English abstract).
- Jiang Hongliang, Chen Junliang, Li Hongying. 2009. Generation mechanism of large delta in Lailaer-Tamtsag rifted basin. *Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing*, 28(5): 44~48 (in Chinese with English abstract).
- Jiao Yangquan, Wu Liquan, Peng Yunbiao, Rong Hui, Ji Dongmin, Miao Aisheng, Li Hongliang. 2015. Sedimentary-tectonic setting of the deposition-type uranium deposits forming in the paleo-Asian tectonic domain, North China. *Earth Science Frontiers*, 22(1): 189~205 (in Chinese with English abstract).
- Jin Ruoshi, Cheng Yinhang, Li Jianguo, Sima Xianzhang, Miao Peisen, Wang Shaoyi, Ao Cong, Li Hongliang, Li Yangfeng, Zhang Tianfu. 2017. Late Mesozoic continental basin "Red and Black beds" coupling formation constraints on the sandstone uranium mineralization in northern China. *Geology in China*, 44(2): 205~223 (in Chinese with English abstract).
- Jin Ruoshi, Yu Rengan, Yangjun, Zhou Xiaoxi, Teng Xueming, Wang Shanbo, Si Qinghong, Si Qinghong, Zhu Qiang, Zhang Tianfu. 2019. Paleo-environmental constraints on uranium mineralization in the Ordos basin; evidence from the color zoning of U-bearing rock series. *Ore Geology Reviews*, 104: 175~189.
- Li Baoxia, Jia Heng. 2008. Uranium mineralization characteristics and genetic analysis in Huaishuwan area, west margin of Ordos basin. *Uranium Geology*, 24(6): 327~331 (in Chinese with English abstract).
- Li Bile, Sun Fengyue, Yao Fengliang. 2002. Large scale sinistral strike-slip movement of Dunhua-Mishan fracture zone and its control on gold metallogeny in the Mesozoic. *Geotectonica et Metallogenia*, 26(4): 390~395 (in Chinese with English abstract).
- Li Jinyi, Zhang Jin, Liu Jianfeng, Qu Junfeng, Li Yaping, Sun Guihua, Wang Lijia, Zhang Xiaowei. 2014. Major deformation systems in the mainland China. *Earth Science Frontiers*, 21(3): 226~245 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hefu. 2001. Geodynamic Scenario of coupled basin and mountain system. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 26(6): 581~596 (in Chinese with English abstract).
- Liu Hongxu, Guo Hua, Wei Sanyuan. 2004. Tectonic evolution of Chagannuoer basin and its relationship to uranium metallogenetic process. *Uranium Geology*, 20(6): 344~351 (in Chinese with English abstract).
- Liu Wenping. 2011. Analysis of geological characteristics of uranium mineralization of Na Linggou in Hu Siliang in the northern of Ordos basin. *Progress Report on China Nuclear Science and Technology*, 2: 469~473 (in Chinese with English abstract).
- Ma Yanping, Liu Chiyang, Wang Jianqiang, Zhao Junfeng, Fang Jianjun, Gui Xiaojun, Yu Lin. 2006. Effects of hydrocarbon migration and dissipation in later reformation of a basin: formation of Mesozoic bleached sandstone in northeastern Ordos basin. *Oil and Gas Geology*, 27(2): 233~238 (in Chinese with English abstract).
- Mann P, Gahagan L, Gordon M B. 2003. Tectonic setting of the world's giant oil and gas fields. In: Halbouty M T, ed. *Giant Oil and Gas Fields of the Decade 1990~1999*, AAPG Memoir 78: 15~105.
- Mo Xuanxue, Zhao Zhidan, Zhu Dicheng, Yu Xuehui, Dong Guochen, Zhou Su. 2009. On the lithosphere of Indo-Asia collision zone in southern Tibet; petrological and geochemical constraints. *Journal of Earth Science*, 34(1): 17~27 (in Chinese with English abstract).
- Molnar P, Tapponnier P. 1975. Cenozoic tectonics of Asia; effects of a continental collision. *Science*, 189(4201): 419~426.
- Pan Guitang, Li Zhenxing, Wang Liquan, Ding Jun, Chen Zhiliang. 2002. Preliminary division of tectonic units of the Qinghai-Tibet plateau and its adjacent regions. *Geological Bulletin of China*, 21(11): 701~707 (in Chinese with English abstract).
- Peng Hua, Wu Zhicai. 2003. A preliminary study on the characteristics and the distribution of red beds. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 42(5): 109~113 (in Chinese with English abstract).
- Qi Fucheng, Liu Wusheng, Zhang Zilong, Li Zhixing. 2009. Uranium mineralization and sedimentary facies of the Luohandong Formation of the Lower Cretaceous in northwestern Ordos basin. *Journal of East China University of Technology: Natural Science*, 32(3): 201~204 (in Chinese with English abstract).
- Qin Mingkuan, He Zhongbo, Liu Zhangyue, Guo Qiang, Song Jiye, Xu Qiang. 2017. Study on metallogenic environments and prospective direction of sandstone type uranium deposits in Junggar basin. *Geological Review*, 63(5): 1255~1269 (in Chinese with English abstract).
- Ren Wenzhong. 1992. Classification of coal-bearing sedimentary basins in China. *Journal of China Coal Society*, 17(3): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Shi Zhiqiang, Han Yonglin, Zhao Junxing, Yang Yang, Ji Xiaolin. 2003. Depositional system and paleogeographic evolution of the Middle Jurassic Yan'an Stage in the central and southern Ordos basin. *Acta Geoscientia Sinica*, 24(1): 49~54 (in Chinese with English abstract).

- Song Bowen, Xu Yadong, Liang Yinping, Jiang Shangsong, Luo Mansheng, Ji Junliang, Han Fang, Wei Yi, Xu Zenglian, Jiang Gaolei. 2014. Evolution of Cenozoic sedimentary basins in western China. *Journal of Earth Science*, 8: 1079~1098 (in Chinese with English abstract).
- Song Lijun, Zhao Jingzhou. Classification on dual type of coal bed methane basin in China mainland. *Coal Science and Technology*, (10):100~104 (in Chinese with English abstract).
- St John B. 1984. Sedimentary provinces of the world-hydrocarbon productive & nonproductive 1: 31 368 000 or 500 miles to the inch at the equator. *American Association of Petroleum Geologists*.
- Tang Chao, Jin Ruoshi, Gu Shefeng, Li Jianguo, Zhong Yanqiu, Miao Peisen, Sima Xianzhang, Wei Jialin. 2018. Discovery and significance of industrial uranium ore in Sifangtai Formation, North Songliao basin. *Geological Survey and Research*, 41(1): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Tapponnier P, Molnar P. 1976. Slip-line field theory and large-scale continental tectonics. *Nature*, 264(5584): 319.
- Tapponnier P, Lacassin R, Leloup P H, Schärer U, Zhong D L, Wu H W, Liu X H, Ji S C, Zhang L S, Zhong J Y. 1990. The Ailao Shan/Red River metamorphic belt: tertiary left-lateral shear between Indochina and South China. *Nature*, 343(6257): 431~437.
- Tapponnier P, Zhiqin X, Roger F, Meyer B, Arnaud N, Wittlinger G, Jingsui Y. 2001. Oblique stepwise rise and growth of the Tibet Plateau. *Science*, 294(5547): 1671~1677.
- Wang Chengshan, Hu Xiumian. 2005. Cretaceous world and oceanic red beds. *Earth Science Frontiers*, 12(2): 11~21 (in Chinese with English abstract).
- Wang Erqi. 2013. Evolution of the Tibetan plateau: as constrained by major tectonic-thermo events and a discussion on their origin. *Chinese Journal of Geology*, 48(2): 334~353.
- Wang Guogan, Cao Kai, Zhang Kexin, Wang An, Liu Chao, Meng Yanning, Xu Yadong. 2011. Spatio-temporal framework of tectonic uplift stages of the Tibetan Plateau in Cenozoic. *Science China Earth Sciences*, 54(1): 29~44.
- Wang Kaihong, Ji Chunhua, Wang Xiuping. 2004. The geologic features of the Dunmi faulted zone and its evolution. *Jilin Geology*, 23(4): 23~27 (in Chinese with English abstract).
- Wu Gemyao, Yano T. 2007. Tectonic framework and Mesozoic evolution of the East Asian continental margin. *Geological Bulletin of China*, 26(7): 787~800 (in Chinese with English abstract).
- Xia Yu, Zhou Kenken, Wu Hao, Chen Xiaowei, Zhang Jianjun, Li Jinwen, Kong Ran. 2018. Occurrence forms of uranium in the sandstone type uranium deposit in the Longchuanjiang basin. *Acta Geologica Sichuan*, 38(02): 264~269 (in Chinese with English abstract).
- Xia Yuliang, Lin Jinrong, Li Ziyang, Liu Hanbin, Hou Yanxian, Fan Guang. 2004. Precise determination of uranium in ores by automatic titration analyser. *Uranium Geology*, 20(3): 146~150 (in Chinese with English abstract).
- Xu Jiawei, Cui Kerui, Liu Qing, Tong Weixin, Zhu Guang. 1985. Mesozoic sinistral transcurrent faulting along the continent margin East Asia. *Marine Geology and Quaternary Geology*, 5(2): 51~64 (in Chinese with English abstract).
- Xu Zenglian, Li Jianguo, Zhu Qiang, Wei Jialin, Li Hongliang, Zhang Bo. 2019. Late Cretaceous paleoclimate change and its impact on uranium mineralization in the Kailu depression, Southwest Songliao basin. *Ore Geology Reviews*, 104: 403~421.
- Yang Yong, Chen Shiyue, Wang Guiping, Xing Yu. 2012. Formation characteristics and sedimentary environment analysis on Cretaceous of Queergou section, Junggar basin. *Petroleum Geology and Recovery*, 19(3): 34~37 (in Chinese with English abstract).
- Yi Chao, Wang Gui, Li Xide, Zhang Kang, Wang Yongjun. 2018. A tentative discussion on uranium enrichment characteristics and metallogenic model in Zhiluo Formation, northeastern Ordos basin. *Mineral Deposits*, 37(4): 835~852 (in Chinese with English abstract).
- Yu Qixiang. 2008. Distribution characteristics of high GR sandstone in drilling and exploration prospect of uranium ore bed in Chepaizi salient. *Xinjiang Geology*, 26(3): 284~287 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Kang, Li Ziyang, Yi Chao, Li Xide, Chen Xinlu, Hu Lifei. 2015. The provenance and sedimentary environment of Lower Zhiluo Formation in northeastern Ordos basin. *Uranium Geology*, (01):258~266 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Kexin, Wang Guocan, Ji Junliang, Dou Xiaohu, Chen Fenning, Luo Mansheng, Chen Ruiming, Song Boming, Zhang Jianyu, Liang Yinping. Paleogene-Neogene stratigraphic realm and sedimentary sequence of the Qinghai-Tibet plateau and their response to uplift of the plateau. *Science China Earth Science*, 53: 1271~1294 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zilong, Fan Honghai, He Feng, Liu Xinyang, Li Weihong, LiYafeng, Yi Longsheng, Yang Mengjia, Jia Cui. 2018. Analysis of sandstone type uranium metallogenic conditions of Lower Cretaceous in the southwest margin of Ordos basin. *Uranium Geology*, 34(04): 193~200 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Jingzhou. 2002. Geochronology of petroleum accumulation: new advances and the future trend. *Advances in Earth Science*, 17(3): 378~383 (in Chinese with English abstract).
- Zheng Dewen, Zhang Peizhen, Wan Jinlin, Yuan Daoyang, Li Chuanyou, Yin Gongming, Zhang Guangliang, Wang Zhicai, Min Wei, Chen Jie. 2006. Rapid exhumation at ~8 Ma on the Liupan Shan thrust fault from apatite fission-track thermochronology: Implications for growth of the northeastern Tibetan Plateau margin. *Earth and Planetary Science Letters*, 248(1~2): 198~208.
- Zheng Menglin, Jin Zhiyun, Wang Yi, Liu Chiyang, Xu Gaozhong. 2006. Structural characteristics and evolution of north Ordos basin in Late Mesozoic and Cenozoic. *Journal of Earth Sciences and Environment*, 28(3): 31~36 (in Chinese with English abstract).
- Zhong Yanqiu, Xu Qingxia, Gu Shefeng. 2010. Application of airborne radioactivity survey data in metallogenic prospect of sandstone-type of uranium deposit in Hailaer basin. *Geology and Resources*, 19(4): 319~324 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Jianxun, Xu Fengyin, Hu Yong. 2003. Mesozoic and Cenozoic tectonism and its control on hydrocarbon accumulation in the northern Qaidam basin of China. *Acta Petroli Sinica*, 24(1): 19~24 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Kenken, Wu Hao, Chen Xiaowei, Zhang Jianjun, Xia Yu. 2017. Tectonic-basin evolution in Tengchong Block, western Yunnan Province, and minerogenetic conditions of sandstone type uranium deposits. *Geological Bulletin of China*, 36(4):541~546 (in Chinese with English abstract).
- Zhu Xia. 1983. Approaches to the research of petroleum Erous basin. *Petroleum Geology & Experiment*, 5(2): 116~123 (in Chinese with English abstract).
- Zorin Y A. 1999. Geodynamics of the western part of the Mongolia-Khotsk collisional belt, Trans-Baikal region (Russia) and Mongolia. *Tectonophysics*, 306(1): 33~56.

参 考 文 献

- 陈宏斌, 徐高中, 王金平, 李卫红, 赵希刚. 2006. 鄂尔多斯盆地南缘店头铀矿床矿化特征及其与东胜铀矿床对比. *地质学报*, 80(5): 724~732.
- 陈均亮, 吴河勇, 朱德丰, 林春华, 于德顺. 2007. 海拉尔盆地构造演化及油气勘探前景. *地质科学*, 42(1):264~269.
- 陈路路, 聂逢君, 严兆彬. 2013. 松辽盆地西部斜坡带四方台组铀成矿条件分析. *世界核地质科学*, 30(2): 70~78.

- 党龙,唐湘飞. 2015. 西准噶尔车排子地区新近系砂岩型铀矿成矿远景. 现代矿业, (10): 119~121.
- 邓跃炳,董清水,田立柱,窦磊. 2005. 绥化-双城地区上白垩统嫩江组砂岩型铀矿成矿条件研究. 世界地质, 24(3): 248~252.
- 高有峰,王成善,王璞珺,万晓樵,任延广,程日辉,王国栋. 2009. 松科1井北孔选址、岩心剖面特征与特殊岩性层的分布. 地学前缘, 16(06): 104~112.
- 葛栋锋,周继兵,马小平,王平,焦博. 2017. 准噶尔盆地东部北缘侏罗系砂岩型铀矿成矿条件分析. 新疆地质, 35(2): 184~190.
- 葛肖虹,刘俊来,任收麦,袁四化. 2014. 中国东部中-新生代大陆构造的形成与演化. 中国地质, 41(1): 19~38.
- 郭强,秦明宽,何中波,刘章月,宋继叶,许强,贾翠,谭思远. 2018. 准噶尔盆地中新世代砂岩型铀矿地质层积特征与产铀远景预测. 世界地质, 37(2): 447~457.
- 韩国卿,刘永江,温泉波,邹运鑫,梁道俊,赵英利,赵立敏. 2009. 嫩江八里罕断裂带岭下韧性剪切带变形特征. 吉林大学学报(地球科学版), 39(3): 397~405.
- 贾东,武龙,闫兵,李海滨,李一泉,王毛毛. 2011. 全球大型油气田的盆地类型与分布规律. 高校地质学报, 17(2): 170~184.
- 蒋鸿亮,陈均亮,李红英. 2009. 海拉尔-塔木察格断陷盆地大型三角洲形成机制. 大庆石油地质与开发, 28(5): 44~48.
- 焦养泉,吴立群,彭云彪,荣辉,季东民,苗爱生,里宏亮. 2015. 中国北方古亚洲构造域中沉积型铀矿形成发育的沉积-构造背景综合分析. 地学前缘, 22(1): 189~205.
- 金若时,程银行,李建国,司马献章,苗培森,王少轶,奥琼,里宏亮,李艳锋,张天福. 2017. 中国北方晚中生代陆相盆地红-黑岩系耦合作出对砂岩型铀矿成矿环境的制约. 中国地质, 44(2): 205~223.
- 李保侠,贾恒. 2008. 鄂尔多斯盆地西缘槐树湾地区铀矿化特征及成因分析. 铀矿地质, 24(6): 327~331.
- 李碧乐,孙丰月,姚凤良. 2002. 中生代敦化-密山断裂大规模左旋平移及其对金矿床形成的控制作用. 大地构造与成矿学, 26(4): 390~395.
- 李吉均,文世宣,张青松,王富葆,郑本兴,李炳元. 1979. 青藏高原隆起的时代、幅度和形式的探讨. 中国科学, 6: 608~616.
- 李锦铁,张进,刘建峰,曲军峰,李亚萍,孙桂华,王励嘉,张晓卫. 2014. 中国大陆主要变形系统. 地学前缘, 21(3): 226~245.
- 刘和甫. 2001. 盆地-山岭耦合体系与地球动力学机制. 地球科学: 中国地质大学学报, 26(6): 581~596.
- 刘红旭,郭华,卫三元. 2004. 查干诺尔盆地构造演化与铀成矿作用关系. 铀矿地质, 20(6): 344~351.
- 刘文平. 2011. 鄂尔多斯盆地北部呼斯梁地区纳岭沟地段铀成矿地质特征浅析. 中国核科学技术进展报告, 2: 469~473.
- 马艳萍,刘池洋,王建强,赵俊峰,房建军,桂小军,喻林. 2006. 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, 27(2): 233~238.
- 莫宣学,赵志丹,朱弟成,喻学惠,董国臣,周肃. 2009. 西藏南部印度-亚洲碰撞带岩石圈: 岩石学-地球化学约束. 地球科学: 中国地质大学学报, 34(1): 17~27.
- 潘桂棠,李兴振. 2002. 青藏高原及邻区大地构造单元初步划分. 地质通报, 21(11): 701~707.
- 彭华,吴志才. 2003. 关于红层特点及分布规律的初步探讨. 中山大学学报: 自然科学版, 42(5): 109~113.
- 漆富成,刘武生,张字龙,李治兴. 2009. 鄂尔多斯盆地西北部下白垩统罗汉洞组中的铀矿化与沉积相. 东华理工大学学报: 自然科学版, 32(3): 201~204.
- 秦明宽,何中波,刘章月,郭强,宋继叶,许强. 2017. 准噶尔盆地砂岩型铀矿成矿环境与找矿方向研究. 地质论评, 63(5): 1255~1269.
- 任纪舜,陈廷愚,牛宝贵,刘志刚,刘凤仁. 1990. 中国东部及邻区大陆岩石圈的构造演化与成矿. 北京: 科学出版社, 19(9): 98~101.
- 任纪舜. 2003. 新一代中国大地构造图——中国及邻区大地构造图(1: 5000000)附简要说明: 从全球看中国大地构造. 地球学报, 24(1): 1~2.
- 任文忠. 1992. 中国含煤沉积盆地分类. 煤炭学报, 17(3): 1~10.
- 时志强,韩永林,赵俊兴,杨阳,冀小林. 2003. 鄂尔多斯盆地中南部中侏罗世延安期沉积体系及岩相古地理演化. 地球学报, 24(1): 49~54.
- 宋博文,徐亚东,梁银平,江尚松,骆满生,季军良,韩芳,韦一,徐增连,姜高磊. 2014. 中国西部新生代沉积盆地演化. 地球科学(中国地质大学学报), 8: 1079~1098.
- 宋立军,赵靖舟. 2009. 中国大陆煤层气盆地双层次类型划分. 煤炭科学技术, (10): 100~104.
- 汤超,金若时,谷社峰,李建国,钟延秋,苗培森,司马献章,魏佳林. 2018. 松辽盆地北部四方台组工业铀矿体的发现及其意义. 地质调查与研究, 41(1): 1~8.
- 王成善,胡修棉. 2005. 白垩纪世界与大洋红层. 地学前缘, 12(2): 11~21.
- 王二七. 2013. 青藏高原大地构造演化——主要构造-热事件的制约及其成因探讨. 地质科学, 48(2): 334~353.
- 王凯红,纪春华,王秀萍. 2004. 敦密断裂带的地质特征及演化. 吉林地质, 23(4): 23~27.
- 王友志. 2009. 海拉尔盆地地浸砂岩铀矿成矿条件分析. 科技信息, (29): 10750~10750.
- 魏斯禹,滕吉文,王谦身. 1990. 中国东部大陆边缘地带的岩石圈结构与动力学. 北京: 科学出版社: 177~187.
- 吴根耀. 2007. 东亚大陆边缘的构造格架及其中-新生代演化. 地质通报, 26(7): 787~800.
- 夏彧,周恩恩,伍皓,陈小炜,张建军,李晋文,孔然. 2018. 龙川江盆地砂岩型铀矿赋存形态研究. 四川地质学报, 38(02): 264~269.
- 夏毓亮,林锦荣,李子颖,刘汉彬,侯艳先,范光. 2004. 海拉尔盆地西部砂岩型铀矿成矿年龄研究. 铀矿地质, 20(3): 146~150.
- 徐嘉炜,崔可锐,刘庆,童蔚欣,朱光. 1985. 东亚大陆边缘中生代的左行平移断裂作用. 海洋地质与第四纪地质, 5(2): 51~64.
- 杨勇,陈世悦,王桂萍,邢宇. 2012. 准噶尔盆地南缘雀儿沟剖面白垩系地层特征及沉积环境. 油气地质与采收率, 19(03): 34~37+113.
- 易超,王贵,李西得,张康,王永君. 2018. 鄂尔多斯盆地东北部直罗组铀富集特征及铀成矿模式探讨. 矿床地质, 37(4): 835~852.
- 余琪祥. 2008. 车排子凸起井下高GR砂岩分布特征与铀矿勘探前景. 新疆地质, 26(3): 284~287.
- 张康,李子颖,易超,李西得,陈心路,胡立飞. 2015. 鄂尔多斯盆地东北部直罗组下段砂体物质来源及沉积环境. 铀矿地质, (01): 258~266.
- 张克信,王国灿,季军良,寇晓虎,徐亚东,陈奋宁,骆满生,陈锐明,宋博文,张健钰,梁银平. 2010. 青藏高原古近纪-新近纪地层分区与序列及其对隆升的响应. 中国科学: 地球科学, 40(12): 1632~1654.
- 张宇龙,范洪海,贺铎,刘鑫扬,李卫红,李亚锋,衣龙升,杨梦佳,贾翠. 2018. 鄂尔多斯盆地西南缘下白垩统铀成矿条件分析. 铀矿地质, 34(04): 193~200.
- 赵靖舟. 2002. 油气成藏年代学研究进展及发展趋势. 地球科学进展, 17(3): 378~383.
- 郑孟林,金之钧,王毅,刘池阳,徐高中. 2006. 鄂尔多斯盆地北部中新世代构造特征及其演化. 地球科学与环境学报.
- 钟延秋,徐庆霞,谷社峰. 2010. 航空放射性测量资料在成矿远景预测中的应用-以海拉尔盆地砂岩型铀矿为例. 地质与资源, 19(4): 319~324.
- 周建勋,徐凤银,胡勇. 2003. 柴达木盆地北缘中-新生代构造变形及其对油气成藏的控制. 石油学报, 24(1): 19~24.
- 周恩恩,伍皓,陈小炜,张建军,夏彧. 2017. 滇西腾冲地块构造-盆地演化与砂岩型铀矿成矿条件. 地质通报, 36(4): 541~546.
- 朱夏. 1983. 含油气盆地研究方向的探讨. 石油实验地质, 5(2): 116~123.

Type classification of Mesozoic-Cenozoic uraniferous basins in northern China

JIN Ruoshi^{* 1, 2)}, CHENG Yinhang^{1, 2)}, WANG Shaoyi^{1, 2)}, LI Xiaoguang^{1, 2)}, ZHANG Tianfu^{1, 2)}

1) *Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin, 300170;*

2) *Key Laboratory of Uranium Geology, China Geological Survey, Tianjing, 300170*

** Corresponding author; ruosj2003@aliyun.com*

Abstract

The classification of uraniferous basin type is one of the most important foundation in uranium deposit prospecting, so far systematic comparative study of continental basins in northern China has not been carried out. Aided by prospecting practice of sandstone-type uranium deposits in northern China, unique sandsotone uranium metallogenic theory of fluctuating mineralization process, “Red & Black” syndepositional structures in ore-controlling, uplifts structures of basin margin in ore-controlling etc have been brought out, all the theories supervise prospecting and enriched through the practice, as a result prospecting breakthrough of sandstone-type uranium deposits was achived. Based on 30 million meters core information, on the basement of uraniferous formations time and uranium enrichment mechanisms, considering tectonic setting of basins and geotectonic evolution background, type classification of Mesozoic-Cenozoic uraniferous basins is proposed, including composite sedimentary basin, superimposed sedimentary basin and simple sedimentary basin. Composite sedimentary basin is a kind of uraniferous basin in which uraniferous formations are Mesozoic strata and sandstone-type uranium deposits lie in several formations, for example the uraniferous formations in Ordos Basin include Middle Jurassic uraniferous formation and Cretaceous formation. Superimposed sedimentary basin is a kind of uraniferous basin, uraniferous formations of which include Mesozoic structural layer and Cenozoic structural layer, for example, the Junggar Basin and Qaidam Basin. Simple sedimentary basin is a kind of uraniferous basin which only include Cenozoic uraniferous formations, for example, Longchuanjiang Basin. According to the space distribution between Tectonic magmatic belts and uraniferous basins, uraniferous basins are divided into the basin between magmatic belts and the basin in magmatic belts. Type classification of Mesozoic-Cenozoic uraniferous basins in northern China does not only have great significance in metallogenic environment of sandstone-type uranium deposits, metallogenic regularity and metallogenic model, but also in practical implications of prospecting.

Key words: Mesozoic-Cenozoic; uraniferous formations; classification of Mesozoic-Cenozoic uraniferous basins; composite sedimentary basin; superimposed sedimentary basin; basin in magmatic belts