

doi: 10.12029/gc20170201

金若时, 程银行, 李建国, 司马献章, 苗培森, 王少轶, 奥琮, 里宏亮, 李艳锋, 张天福. 2017. 中国北方晚中生代陆相盆地红-黑岩系耦合产出对砂岩型铀矿成矿环境的制约[J]. 中国地质, 44(2): 205-223.

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[J]. Geology in China, 44(2): 205-223(in Chinese with English abstract).

## 中国北方晚中生代陆相盆地红-黑岩系耦合产出对砂岩型铀矿成矿环境的制约

金若时<sup>1,2</sup> 程银行<sup>1,2,3</sup> 李建国<sup>1,2</sup> 司马献章<sup>1,2</sup> 苗培森<sup>1,2</sup> 王少轶<sup>1,2</sup>  
奥琮<sup>1,2</sup> 里宏亮<sup>4</sup> 李艳锋<sup>1,2</sup> 张天福<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170; 2. 中国地质调查局天津地质调查中心非化石能源矿产实验室, 天津 3000170; 3. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 4. 辽河石油勘探局新能源开发公司, 辽宁 盘锦 124010)

**摘要:**为研究中国北方陆相盆地红层-黑色岩系对砂岩型铀成矿的制约,文章研究了国内外红-黑岩系与砂岩型铀矿赋存岩层的时空关系,筛选了10万余m岩心钻探资料,选择准噶尔、鄂尔多斯和松辽盆地这3个典型产铀盆地,通过编制盆地钻孔柱状图、典型地区连井剖面图及关键岩层的地球化学测试等方法,对红-黑岩系和砂岩型铀矿的赋存岩层进行了垂向、横向上综合分析对比。研究发现:北方陆相盆地自西向东铀矿赋存地层的时代由中侏罗世过渡到晚白垩世;晚中生代至少存在6次大规模的富氧红层沉积事件:I中侏罗世-晚侏罗世早期(Bathonian-Oxfordian),II早白垩世早中期(Berriasian-Barremian),III早白垩世中期(Barremian),IV晚白垩世早期(Cenomanian),V晚白垩世中期(Coniacian)和VI晚白垩世晚期(Campanian)。其中第I、V和VI期红层之下沉积了时代相近的黑色层,与之构成“红-黑岩系”的沉积结构,是北方砂岩型铀成矿的3个重要层位。典型盆地内地球化学表明,红层与黑色层的B、Sr和Cu元素含量及Fe<sup>2+</sup>/Fe<sup>3+</sup>、B/Ga、Sr/Cu和FeO/MnO比值具有明显的差异,结合黑色岩层中草莓状黄铁矿、碳屑、油斑和红层中碳酸盐岩的发育,认为红层为相对较强氧化环境,黑色层为相对较还原环境。连井剖面资料显示红层、黑色层与砂岩型铀矿空间关系密切,铀矿多产于红层与黑色层之间过渡带上,呈板状矿体赋存于灰色、绿灰色砂岩和细砂岩中。一般红层与黑色层垂向距离超过500m不利于成矿。晚中生代陆相盆地内耦合产出的黑色岩系和红色岩系是古沉积环境由还原向氧化转变形成的垂向分带,前者为铀矿物质沉淀提供了“障”,后者为表生流体溶解铀矿提供了“场”。文章初步提出了红-黑岩系垂向环境变化制约着北方陆相盆地砂岩型铀大规模成矿作用的新认识。这些认识不仅对砂岩型铀成矿环境、成矿规律及成矿模式研究具有重要意义,更对目前正在开展的砂岩型铀矿勘查工作具有实践指导意义。

**关键词:**晚中生代;红-黑岩系耦合;砂岩型铀矿;氧化-还原环境;红层;中国北方陆相盆地

**中图分类号:**P619.14;P617;P611 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-3657(2017)02-0205-19

## Late Mesozoic continental basin "Red and Black beds" coupling formation constraints on the sandstone uranium mineralization in northern China

收稿日期:2017-04-08; 改回日期:2017-04-12

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973计划,项目编号:2015CB453000)和中国地质调查局地质调查项目(DD20160127-02)资助。

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; E-mail: ruosj2003@aliyun.com。

JIN Ruoshi<sup>1,2</sup>, CHENG Yinhang<sup>1,2,3</sup>, LI Jianguo<sup>1,2</sup>, SIMA Xianzhang<sup>1,2</sup>, MIAO Peisen<sup>1,2</sup>,  
WANG Shaoyi<sup>1,2</sup>, AO Cong<sup>1,2</sup>, LI Hongliang<sup>4</sup>, LI Yangfeng<sup>1,2</sup>, ZHANG Tianfu<sup>1,2</sup>

(1. Tianjin Center, China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 2. Laboratory of Non-fossil Energy Minerals, Tianjin Center of China Geological Survey, Tianjin 300170, China; 3. China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China;

4. Development Company of New Energy Sources of Liaohe Petroleum Exploration Bureau, CNPC, Panjin 124010, Liaoning, China)

**Abstract:** Based on the 973 program and the northern sandstone type uranium survey program, this study tried to explain the “red and black” sandstone constraint on uranium mineralization. On the basis of summarizing temporal and spatial relationship between red layers and black layers of global sandstone uranium deposits and the sieving of more than 100,000 meters core drilling data of the northern continental basin, the authors selected Junggar, Ordos and Songliao basin as typical research objects. Through compilation of drilling chart of the basin, investigating well-connecting section of typical mining area and geochemical testing of key strata, the authors made a vertical and horizontal comprehensive analysis and comparison of “red and black” sandstone and uranium-bearing strata, and the results show that the formation ages of uranium-bearing strata gradually change from Middle Jurassic to Upper Cretaceous from west to east in China. There were at least 6 large-scale oxygen-rich red sedimentary events in Late Mesozoic period, which are respectively I. Middle Jurassic-late Jurassic early stage (Bathonian-Oxfordian), II. Early-middle stage of the Early Cretaceous (Berriasian-Barremian), III. Middle stage of Early Cretaceous (Barremian), IV. Late stage of middle Cretaceous (Cenomanian), V. Middle stage of late Cretaceous (Coniacian), and VI. Late stage of late Cretaceous (Campanian). The red layer and the black layer below constituting “red-black color structure” in I, V and VI stage are 3 important uranium-bearing strata in China. Geochemical and fossil data of the red and black layers in the typical basins show that the content of B, Sr and Cu and the ratios of  $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ , B/Ga, Sr/Cu and FeO/MnO are obviously different between them. The content of  $Fe_2O_3$  in the red layer is obviously higher, and the ratio of U and U/Th in the transition zone is obviously higher than other sides. Combined with development of strawberry pyrite in black layer and carbonate rocks in red layer, the authors hold that the red layer is a relatively strong oxidizing environment and the black layer is a relatively reducing environment, which respectively provide oxidation-reduction conditions for the mineralization of sandstone uranium ore. The spectrum of uranium deposits is related genetically with red and black layer, industrial orebodies occur in tabular form in gray and grayish green sandstone. The red and black layer with the thickness of more than 500m is unfavorable for mineralization. The black and red layer formed in late Mesozoic continental basin has vertical zoning to represent the depositional environment change from oxidizing to reducing environment which provides “obstacle” and “field” for mineralization respectively. In conclusion, the authors put forward the “double color structure” metallogenic prospecting model for sandstone uranium deposit, in which the upper layer serves as the red oxide barrier, whereas the lower layer serves as black reducing barrier, and the sandstone uranium deposit (ore spot) transition zone is characterized by grayish green, gray sand enrichment and mineralization. The understanding obtained by the authors is significant not only for improving the metallogenic environment knowledge, metallogenic regularity and metallogenic model of sandstone uranium deposit but also for guiding the investigation of sandstone uranium deposits.

**Key words:** late Mesozoic; red and black beds coupling; sandstone uranium deposit; oxidation-reduction reaction; red beds; continental basins of northern China

**About the first author:** JIN Ruoshi, male, born in 1958, professor, mainly engages in the study of sandstone uranium deposit; E-mail: ruosj2003@aliyun.com.

**Fund support:** Supported by 973 Program (No. 2015CB453000) and China Geological Survey program (No. DD20160127-2).

## 1 引 言

本文中“红色岩系”是指一套黄色-褐色-红色陆相碎屑岩层组合,其中红色岩层对特征环境具有

指示意义,故本文常用“红层”讨论该岩系成岩期的地质环境。“黑色岩系”是指绿色-灰色-黑色陆相碎屑岩层及含煤、含油系岩系组合,亦用“黑色层”指示成岩期地质环境。“红-黑岩系”是指沉积时代相近

的,红层沉积于黑色层之上的陆相碎屑岩层组合。

近些年来,国内外学者对红层的研究成果较多。大洋红层的研究成果表明,红层是在富铁镁物质的氧化条件下形成的,而否定了其是干旱条件下形成的认识。晚中生代地层沉积期间,标识富氧环境的红层和缺氧黑色层的循环变化与成岩时期的全球气候变化密切相关(王成善和胡修棉,2005)。中国陆相盆地晚中生代以来发育了多期次的红层(郭永春等,2007)和黑色层(毛节华等,1997;胡见义等,2014)。目前对红层的研究主要集中在西南、华南、华中及西北的广大地区,多是围绕工程地质、红层特性、丹霞地貌特征及发育、不同红层的岩性差异、构造环境、沉积环境等方面(李廷勇和王建力,2002;郭永春等,2007;彭华等,2013;潘志新和彭华,2015;郭进京等,2016),而关于红层与砂岩型铀成矿关系的研究相对较少,曾有一些学者从时空关系角度对华南、北秦岭等局部地区的红层与砂岩型铀矿化提出一些初步认识,认为红层附近或深部是有利于铀成矿,铀矿成矿时间与红层的发育期相近(陈祖伊等,1983;权志高,1989;张星蒲,1999;张万良,2007)。对于有机质与砂岩型铀成矿关系的研究较多,认为煤、油、气等有机质与铀空间上密切共生已形成共识(陈刚等,2005;邓军等,2005;冯乔等,2006;刘建军等,2006;杨斌虎等,2006;彭云彪等,2007;薛伟等,2009;侯惠群等,2016;张云等,2016;赵兴齐等,2016)。也有人以准噶尔盆地、华南地区为例,研究了红层在铀成矿中的氧化场和有机质的还原障作用,揭示了盆地中铀-煤、铀-气(油)共生的机制(金若时等,2016;李延河等,2016)。显然,前人的研究范围多是某一地区或某一矿集区,对砂岩型铀矿与红层和黑色层三者的时空关系缺少系统、区域性垂向和横向上对比研究。其次,目前关于砂岩型铀成矿的氧化-还原条件的认识主要集中在成岩后期的层间水平分带,前苏联水成层间氧化成矿的理论(Максимова and Шмариневич, 1995)认为,很重要的一类砂岩型铀矿形成主要是由于含矿流体沿着隔水层之间的砂岩体运移,在物理化学条件的改变处成矿,并将赋矿砂体分成氧化带、过渡带和还原带,铀矿体产于过渡带。美国的“roll-ore”铀成矿理论(Shawe, 1959)、中国的地浸砂岩型铀矿(张金带,2016),也与此认

识基本一致,更多强调了流体沿“泥-砂-泥”地层结构的横向氧化-还原条件及砂体颜色后期变化。对砂岩型铀矿赋存岩系的垂向分带研究也有少数学者关注(罗静兰等,2005;金若时等,2013)。近年,研究团队组织实施北方砂岩型铀矿调查工程和科技部973计划铀矿项目,通过10万余m的岩心的综合对比研究,提出了红-黑岩系耦合产出对砂岩型铀矿成矿环境制约的新认识。这一认识,不仅对提升砂岩型铀矿成矿环境、成矿规律及成矿模式研究具有重要的理论意义,而且对目前正在开展的砂岩型铀矿调查工作具有实践指导意义。

## 2 国内外红层-黑色层和砂岩型铀矿分布

### 2.1 世界上红-黑岩系与砂岩型铀矿分布

世界上红层、黑色层与砂岩型铀矿分布(图1)显示:①全球红层的形成年代跨度大,从前寒武纪、古生代、中生代到新生代均有发育;欧亚板块上的赋存层位自西向东逐渐变新,即从欧洲的古生代到亚洲的中生代。②世界上单独产出黑色岩系的区域,砂岩型铀矿不发育;单独产出红色岩系的地区,砂岩型铀矿也不发育。砂岩型铀矿主要产出在二者同时发育的区域,三者产出空间密切相关。③砂岩型铀矿分布具有南北分带性,北半球集中分布在 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ,南半球多分布在 $20^{\circ}\sim 40^{\circ}$ 。

### 2.2 中国晚中生代红-黑岩系与砂岩型铀矿时空分布特征

据前人研究资料结合本次工作成果,编制的晚中生代红-黑层与砂岩型铀矿分布图(图2)。可以清楚地看出中国的红层、黑色层与砂岩型铀矿产出具有以下几个方面特征:①中国北方陆相盆地内中生代地层中红层发育,由西向东红层发育的时代具有逐渐变新的趋势,即西部以侏罗纪红层为主,向东逐渐转变为白垩纪红层。西部准噶尔盆地、中部鄂尔多斯盆地均发育了晚侏罗世-早白垩世红层,东部松辽盆地早白垩世晚期-晚白垩世发育了多期红层。②中国北方陆相盆地内黑色层,一般在红层之下的层位产出,沉积时代与红层相近,即均属于中晚侏罗世或白垩世,与红层一起构成红-黑岩系砂岩型铀成矿结构。砂岩型铀非常发育。③南方有大规模红层分布,尤以白垩纪为主。而黑色岩

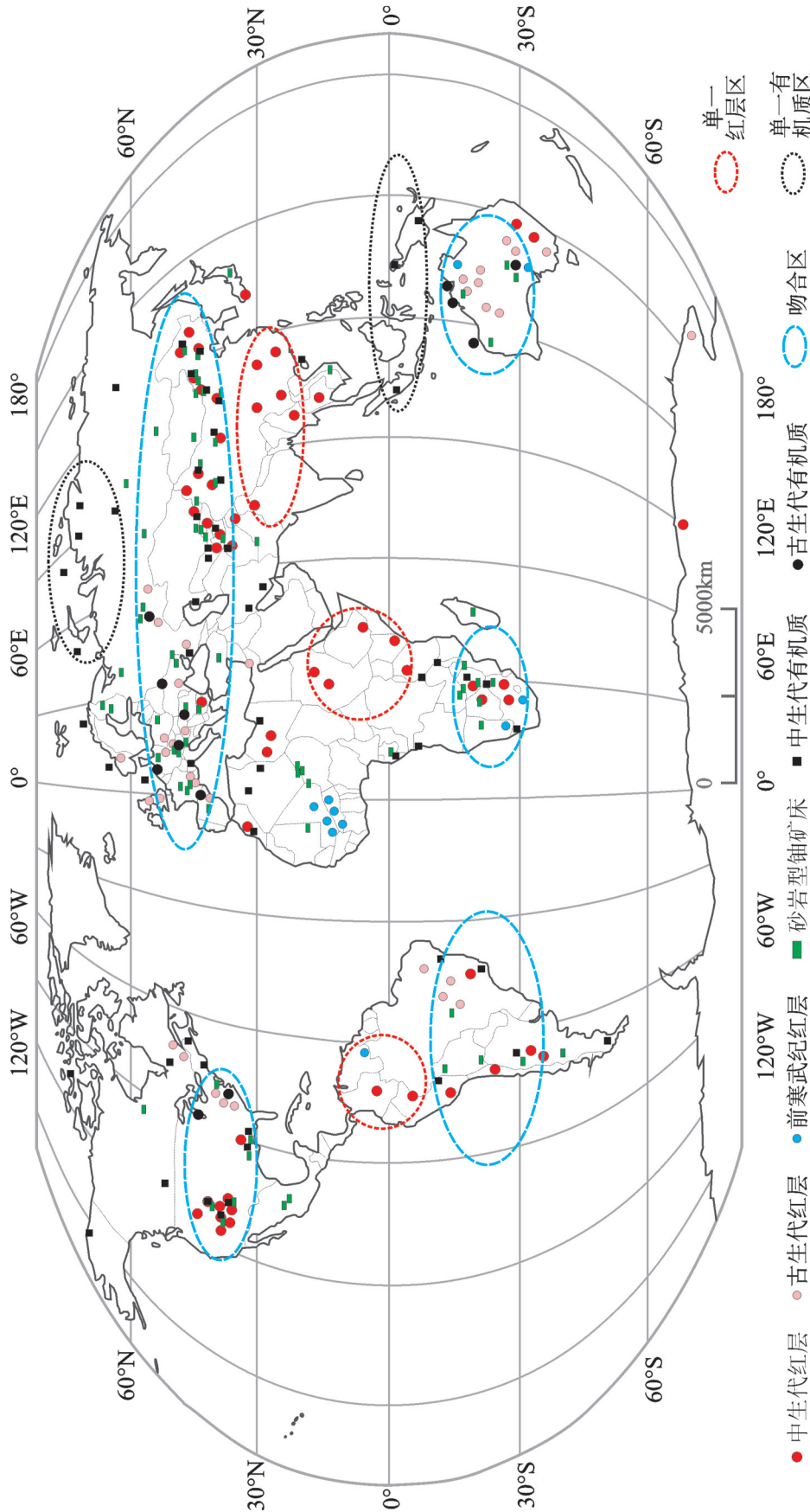


图1 世界上红层、黑色层与砂岩型铀矿分布图

中国部分增加了本次工作成果,其他据:砂岩型铀矿床引自 Jin et al., 2016; 张金带等, 2016; 李延河等, 2016; 付勇等, 2016; 红层分布据郭永春等, 2007; 彭华等, 2013; 潘志新和彭华, 2015; 有机质分布据毛节华等, 1997; 贾小乐等, 2011; 温泉波等, 2011; 滕吉文和刘有山, 2013; 胡见义等, 2014

Fig. 1 Distribution of global red beds, organic matters beds and sandstone type uranium deposits

some Chinese part after this work; sandstone type uranium deposit after Jin et al., 2016; Zhang et al., 2016; Li et al., 2016; Fu et al., 2016; red beds after Guo et al., 2007; Peng et al., 2013; Pan and Peng, 2015; organic matters after Mao et al., 1997; Jia et al., 2011; Wen et al., 2011; Teng and Liu, 2013; Hu et al., 2014

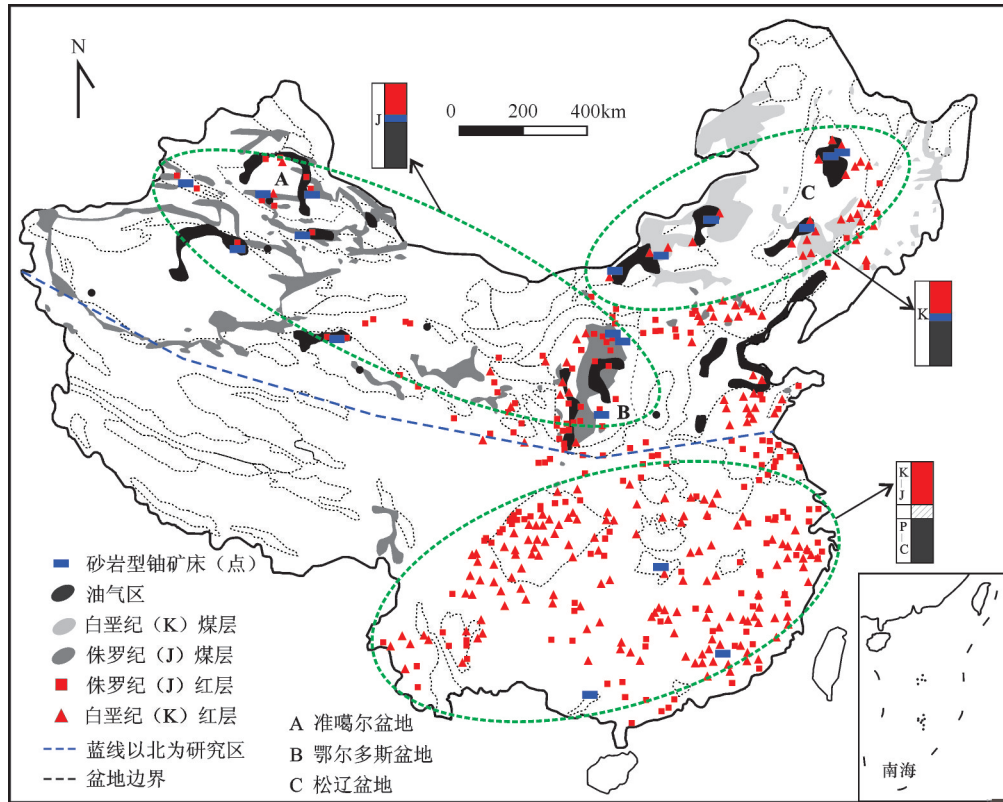


图2 国内红层、黑色层与砂岩型铀矿分布图

红层、砂岩型铀矿(点)增加了本次工作成果。其他部分:砂岩型铀矿床引自Jin et al., 2016;张金带等,2016;李延河等,2016。红层分布据郭永春等,2007;彭华等,2013;潘志新和彭华,2015。煤田分布据毛节华等,1997;油气分布据滕吉文和刘有山,2013;胡见义等,2014

Fig.2 Distribution of red beds, organic matters beds and sandstone type uranium deposits in China

some data of Chinese part after this work; sandstone type uranium deposit after Jin et al., 2016; Zhang et al., 2016; Li et al., 2016; red beds after Guo et al., 2007; Peng et al., 2013; Pan and Peng, 2015; organic matters after Mao et al., 1997; Teng and Liu, 2013; Hu et al, 2014

系以石炭纪—二叠纪(C—P)为主。并不构成本文所提出的“红-黑岩系”,因此,砂岩型铀矿也不发育,可能与中间地层形成的物理障阻隔有关。总之,中国北方虽然出现了由西向东黑色岩系和红色岩系层位由侏罗纪向白垩纪的演化过程,有的地区还出现了红黑交互的环境变化,但总体上看,中国北方大多具有从“还原”到“氧化”环境的变化,即适宜砂岩型铀矿形成的古沉积环境。

### 3 中国北方晚中生代陆相盆地红-黑岩系对比研究

#### 3.1 典型盆地红-黑岩系地层划分与对比

已有研究表明,白垩纪地质历史中表现出一种极端的温室气候,在大洋中表现出红层沉积富氧作用和黑色页岩沉积的缺氧事件(王成善和胡修棉,

2005)。与此同时,中国北方陆上的红色-黑色沉积建造,也记录了这一气候的变化。在这漫长的地质时期,大地构造及海陆位置等都发生了巨大的变化,致使不同地区的红层不连续沉积。笔者将准噶尔、鄂尔多斯、松辽等盆地的综合钻孔柱状图,结合前人成果资料,对红层和黑层进行了垂向和横向上的对比分析(图3),获得以下认识:

##### 3.1.1 准噶尔盆地

西部准噶尔盆地,侏罗纪—白垩纪主要发育了4套红色沉积建造和1套黑色沉积建造(图3)。红层沉积自下而上分别为:(1)中侏罗统头屯河组( $J_2t$ )顶部到上侏罗统齐古组( $J_3q$ )中部,红层累计沉积厚度200多m。岩性以褐红色、灰红色湖泊相泥岩、粉砂岩、细砂岩为主,向上红色建造增多,灰绿色岩层逐渐减少。准噶尔盆地内较为稳定,盆地东部地区

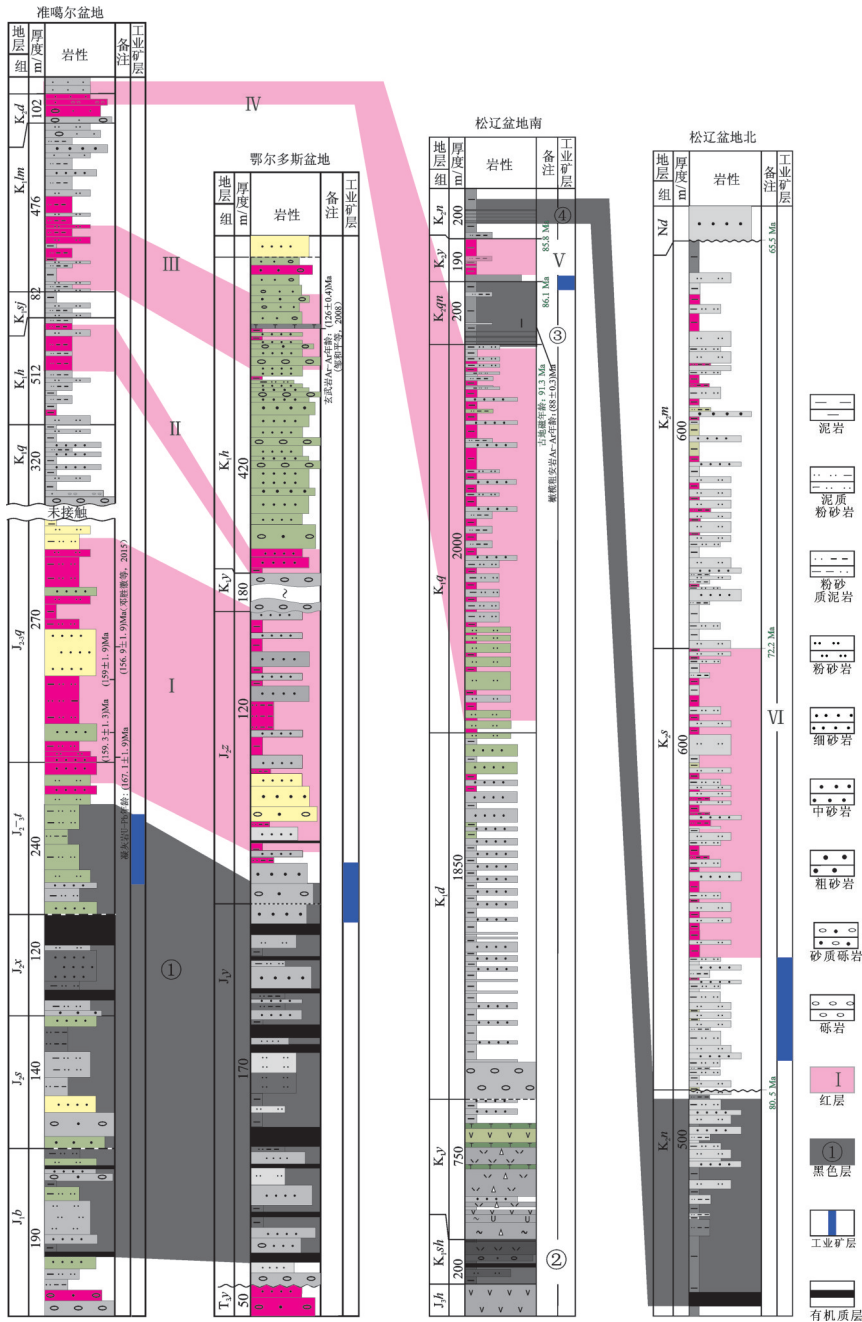


图3 北方侏罗纪—白垩纪典型陆相盆地红层发育期和砂岩型轴“红-黑岩系”横向对比图  
 准噶尔盆地据杨勇等, 2012 和金若时等, 2016; 鄂尔多斯盆地据张天福等, 2016 和本次工程钻孔 ZKC2016-1; 松辽盆地据高有峰, 2010 和本次 ZKD1-01。野外实测 PM14  
 下侏罗统: J<sub>1b</sub>—八道湾组; J<sub>1s</sub>—三工河组; J<sub>1y</sub>—延安组; 中侏罗统: J<sub>2x</sub>—西山窑组; J<sub>2j</sub>—三工河组; J<sub>2z</sub>—直罗组; 上侏罗统: J<sub>3q</sub>—齐古组; 上白垩统: K<sub>1h</sub>—火石岭组; 下白垩统: K<sub>1g</sub>—清水河组;  
 K<sub>1h</sub>—呼图壁河组; K<sub>1j</sub>—胜金口组; K<sub>1l</sub>—连木沁组; K<sub>1y</sub>—宜君组; K<sub>2</sub>—环河组; K<sub>2sh</sub>—沙河子组; K<sub>2y</sub>—营城组; K<sub>2d</sub>—登楼库组; 上白垩统: K<sub>2d</sub>—东沟组; K<sub>2q</sub>—泉头组; K<sub>2qm</sub>—青山口组; K<sub>2y</sub>—姚  
 家组; K<sub>2n</sub>—嫩江组; K<sub>2s</sub>—四方台组; K<sub>2m</sub>—明水组; 新近系: Nd—大安组

Fig. 3 The sedimentary stages of Jurassic—Cretaceous red beds in north China and their double color layers  
 Junggar basin after Yang et al., 2012; Jin et al., 2016; Ordos basin after Zhang et al., 2016 and this work bore hole ZKC2016; Songliao basin after Gao, 2010 and this paper  
 ZKD1-01, fiel work PM14

Lower Jurassic: J<sub>1b</sub>—Badaowan Formation; J<sub>1s</sub>—Sangonghe Formation; J<sub>1y</sub>—Yanan Formation; Middle Jurassic: J<sub>2x</sub>—Xishanyao Formation;  
 J<sub>2j</sub>—Sangonghe Formation; J<sub>2z</sub>—Zhiluo Formation; middle-upper Jurassic: J<sub>2s</sub>—Qigu Formation; upper Jurassic: J<sub>3q</sub>—Huoshiling Formation; lower Cretaceous: K<sub>1g</sub>—Qingshuihe Formation;  
 K<sub>1h</sub>—Hutubihe Formation; K<sub>1j</sub>—Shengjinkou Formation; K<sub>1l</sub>—Lianmuqin Formation; K<sub>1y</sub>—Yijun Formation; K<sub>2</sub>—Huanhe Formation; K<sub>2sh</sub>—Shahezi Formation; K<sub>2y</sub>—Yingcheng Formation;  
 K<sub>2d</sub>—Denglouku Formation; upper Cretaceous: K<sub>2d</sub>—Donggou Formation; K<sub>2q</sub>—Qiantou Formation; K<sub>2qm</sub>—Qinshankou Formation; K<sub>2y</sub>—Yaocia Formation; K<sub>2n</sub>—Nenjiang Formation; K<sub>2s</sub>—Sifangtai  
 Formation; K<sub>2m</sub>—Mingshui Formation; Neogene: Nd—Da'an Formation

红色建造保存较为完整,上部被下白垩统清水河组( $K_1q$ )的灰黄色、灰色辫状河砂岩覆盖。盆地南部和北部地区,红色建造多处被剥蚀掉(ZK0601和50-4),仅保留了少量的红色岩层。红层内发育钙质结核。(2)下白垩统呼图壁河组( $K_1ht$ ),红层累计沉积厚度512 m,岩性以褐色、紫红色泥岩夹灰绿色粉砂岩、细砂岩为主,发育钙质结核。(3)下白垩统连木沁组( $K_1l$ )中部,红层累计厚度约200 m,岩性以紫红色泥岩夹灰绿色砂岩为主,发育槽状交错层理。(4)上白垩统东沟组( $K_2d$ ),红层累计沉积厚度为102 m,岩性以棕红色、紫红色细砾岩为主,成层性差,发育钙质团块。黑色沉积建造主要为中侏罗统西山窑组( $J_2x$ ),其次为下侏罗统八道湾组( $J_1b$ ),二者之间并未见红层发育。横向上变化较大,自南东向北西方向具有单层煤厚度逐渐变薄,煤层数逐渐增多的趋势,反映西北部地区沉积环境交替变化较快,而东南部较为稳定,发育了巨厚的煤层。主要表现在:盆地东缘煤层数在2~3层,单层厚度集中在10~35 m,煤发育深度在450~600 m。盆地南缘煤层数在4~6层,单层厚度集中在0.1~40 m,煤发育深度集中在950~1100 m,局部地层剥蚀埋深较浅在450~600 m。盆地北缘煤层数在15~18层,单层厚度多小于2 m,煤发育深度集中在500~900 m,局部地层剥蚀埋深较浅在200~600 m。

### 3.1.2 鄂尔多斯盆地

中部鄂尔多斯盆地,侏罗纪—白垩纪共计主要发育了3套红色沉积建造和1套黑色沉积建造(图3)。红层沉积自下而上分别为:(1)中侏罗统直罗组( $J_2z$ )上部,红层沉积厚度50~80 m。岩性以紫红色泥岩、泥质粉砂岩夹灰色砂岩。自直罗组中部向上,红色泥岩逐渐增多,灰色砂岩岩层逐渐减少,在鄂尔多斯盆地内较为稳定,红层内发育钙质结核。(2)下白垩统环河组( $K_1h$ )底部,红层累计沉积厚度为30~50 m,岩性有褐色紫红色砂岩、粗砂岩以及泥岩和粉砂岩,发育钙质结核,与下部白垩系底砾岩整合接触。(3)环河组( $K_1h$ )上部红层断续发育,累计沉积厚度20~30 m,岩性以红色钙质含砾粗砂岩为主。(4)白垩系上统的沉积记录并未保存。(5)黑色沉积建造主要为下侏罗统延安组( $J_1y$ ),为煤系地层,岩性以深灰色砂岩、灰色粉砂岩夹泥岩为主,局部发育砾岩,可见5~6套煤层,主要分布在鄂尔多斯盆地东

缘,横向上变化比较大(图2)。盆地中部发育大量的油气层,主要生烃层为奥陶系海相碳酸盐岩。

### 3.1.3 松辽盆地

东部松辽盆地,该盆地内主要记录了白垩纪以来的沉积历史。主要发育了3套红色沉积建造和2套黑色沉积建造(图3)。红层沉积自下而上分别为:(1)上白垩统泉头组( $K_2q$ ),红层沉积厚度近2000 m。下部岩性以灰色砂岩夹棕红色泥岩,上部以棕红色泥岩夹灰色砂岩为主,总体上自下而上表现出砂逐渐减少泥逐渐增多的特征。红层内发育钙质结核。(2)上白垩统姚家组( $K_2y$ ),红层沉积厚度100~150 m。岩性以红色泥岩夹浅灰色钙质泥岩为主,底部发育灰色细砂岩、砂岩。红层内发育钙质结核。(3)上白垩统四方台组( $K_2s$ )和嫩江组顶部( $K_2n$ ),红层沉积厚度350~400 m。红层下部以红色泥岩、灰绿色粉砂岩互层产出,上部以红色泥岩、棕红色泥岩为主,底部发育灰色细砂岩、砂岩。红层内发育钙质结核。(4)黑色沉积建造有3个层位(冯子辉等,2015;万晓樵等,2017),自下而上,第一个是位于泉头组红层( $K_2q$ )之下的沙河子组( $K_1s$ )下部油气层和上部煤层,其上发育了营城组( $K_1y$ )火山岩储层和盖层。第二个是位于姚家组( $K_2y$ )之下的青山口组( $K_2qn$ )顶部油气层。第三个是位于四方台组之下的嫩江组( $K_2n$ )底部油气层。

## 3.2 红层期次划分及横向对比分析

中国北方中生代陆相盆地内侏罗纪—白垩纪期间,共计有6次大规模的红层沉积记录。红层横向对比分析如下:

第I期红层,时代为中侏罗世—晚侏罗世早期,相当于巴通期—牛津期(Bathonian—Oxfordian)。该期红层主要发育在准噶尔盆地和鄂尔多斯盆地,松辽盆地未见有其沉积。西部该期红层的沉积记录为,准噶尔盆内发育晚侏罗世早期齐古组( $J_3q$ ),前人在红沟剖面获得了4组凝灰岩夹层的锆石U—Pb年龄,介于167~157 Ma,并根据旋回地层推测了齐古组的顶界年龄为155.3 Ma(邓胜徽等,2015),王思恩等(2012),据此方法获得齐古组顶界年龄为161.8 Ma。鄂尔多斯盆地内沉积记录为中侏罗统直罗组上部红层。前人在直罗组下部灰色泥质粉砂岩中获得的孢粉组合为 *Cyathidites*—*Osmundacidites*—*Cycadopites*—*Disacciatrileti*,由于

中国北方地区中侏罗世晚期至晚侏罗世特别发育掌鳞杉科 *Classopollis*, 而其在直罗组下部含量较早—中侏罗世延安组有明显增加, 故其时代更倾向于中侏罗世晚期(孙立新等, 2017), 那么直罗组上部红层的时代也应属于中侏罗世晚期, 相当于卡洛夫期(Callovian)。因此, 西部齐古组红层与中部直罗组红层沉积时代横向上具有可对比性, 均属于中侏罗世—晚侏罗世早期。自西向东沉积厚度变薄, 由200多m变化为50~80 m。

第II期红层, 时代为早白垩世早中期, 相当于贝里阿斯—巴雷母期(Berriasian—Barremian)。红层主要为准噶尔盆地下白垩统呼图壁河组( $K_1ht$ )和鄂尔多斯盆地下白垩统环河组( $K_1h$ )下部红层, 松辽盆地未发育。时代依据: 西部准噶尔盆地中, 红层之下的下白垩统清水河组( $K_1q$ )中的叶肢介、介形虫和孢粉化石组合研究表明其时代为早白垩世早期, 即贝里阿斯期(Berriasian)(王思恩等, 2012)。盆地西北缘乌尔禾地区德仑山下白垩统清水河组中发育鸚鵡嘴龙化石组合, 其中的准噶尔翼龙和复齿湖翼龙, 指示了该动物群生存时代为早白垩世中期(贾程凯等, 2009), 将与之连续沉积的呼图壁河组置于早白垩世早中期较为合适。中部鄂尔多斯盆地西缘下白垩统环河组中见到早白垩世中期的轮藻化石 *Mesochara stipitata* (S. Wang) Z. Wang (李祖望, 1988), 其南缘环河组中孢粉组合指示时代归属为早白垩世早期(张子福, 1992)。环河组中上部局部地区发育有玄武岩夹层, 前人获得Ar—Ar年龄为(126±0.4) Ma(邹和平, 2008)。因此, 将该层火山岩之下的地层置于早白垩世早中期较为合适, 其上红层(第III期)置于早白垩世中期。综上, 这一时期的红层沉积时代横向上具有可对比性, 均属于早白垩世早中期。自西向东沉积厚度变薄, 由逾512 m变化为30~50 m。

第III期红层, 时代为早白垩世中期, 相当于巴雷母期(Barremian)。红层主要为西部准噶尔盆地下白垩统连木沁组( $K_1l$ )红层和鄂尔多斯盆地下白垩统环河组( $K_1h$ )上部红层, 松辽盆地未发育。时代依据: 连木沁组( $K_1l$ )红层与下伏胜金口组和早白垩世早期呼图壁河组连续沉积, 胜金口组( $K_1s$ )沉积厚度约82 m。根据邓胜徽(2015)据沉积速率、沉积厚度等要素推测的齐古组(厚度270 m)的沉积时间

持续约5.5 Ma, 判断该期红层沉积的时间比第II期红层不会小于5 Ma。中部鄂尔多斯盆地环河组上部红层, 与下部第II期红层为连续沉积, 沉积间隔约200 m, 上部红层附近局部发育126 Ma玄武岩夹层(邹和平, 2008), 推测红层时代应为早白垩世中期。自西向东沉积厚度变薄, 由200多m变化为20~30 m。

第IV期红层, 时代为晚白垩世早期, 相当于赛诺曼期(Cenomanian)。该期红层主要为准噶尔盆地上白垩统东沟组( $K_2d$ )和松辽盆地上白垩统泉头组( $K_2q$ )。时代依据: 准噶尔盆地内该期红层位于上白垩统东沟组( $K_2d$ )。该期红层内发现了 *Talicypridea amoena*—*T. gemmiformis*—*Ziziphocypris simakovi* 介形虫组合, 以晚白垩世中期(康尼亚克期—三冬期, Coniacian—Santonian)分子为主, 也见有晚白垩世早期(Cenomanian)的分子(郑秀亮等, 2013)。刘俊英和吴新莹(1983)在东沟组下段发现了少量早白垩世轮藻类成员: *Aclistochara laiae*, *A. caii*, *Mesochara volute*, 具有较浓厚的早白垩世色彩。该组上部被古近系紫泥泉子组不整合覆盖, 发现了晚白垩世末期轮藻类植物群, 大致相当于马斯特里赫特期(Maastrichtian)(杨景林等, 2005), 因此, 笔者认为东沟组应为晚白垩世早期。中部鄂尔多斯盆地, 本次工作未见该时期红层发育。东部松辽盆地主要为晚白垩世早期沉积的泉头组( $K_2q$ )。前人在青山口组底部橄榄粗安岩获得了88.3 Ma的Ar—Ar年龄, 并认为泉头组与赛诺曼期(Cenomanian)可对比, 与古地磁显示的泉头组顶部的年龄91.35 Ma(王璞珺等, 2015)基本一致。在泉头镇泉头组下部营城组中获得了流纹岩的年龄(111.6±2.6) Ma和安山岩的年龄(118.5±1.6) Ma(内部资料待发表)。综上, 准噶尔盆地东沟组红层与松辽盆地泉头组红层沉积时代横向上具有可对比性, 均属于晚白垩世早期。横向上变化较大, 自西向东沉积厚度明显增加, 由102 m变为2200 m。

第V期红层, 时代为晚白垩世中期, 相当于康尼亚克期(Coniacian)。该期红层在准噶尔和鄂尔多斯盆地暂未见到沉积记录。仅在东部松辽盆地发育上白垩统姚家组, 厚度100~200 m。时代依据: 松科1井古地磁成果资料显示的姚家组沉积时代为85.8~86.1 Ma(王璞珺等, 2015)。与姚家组连续沉



积的下伏青山口组中橄榄粗安岩 Ar-Ar 年龄为 88.3 Ma, 上覆嫩江组一、二段中富含海相底栖和浮游有孔虫化石, 时代为晚白垩世, 相当于 Coniacian 晚期至 Santonian (席党鹏等, 2010), 且二段获得火山岩的年龄为 83 Ma (王璞珺等, 2015)。本次工作在通辽钱家店地区获得了侵入到嫩江组、姚家组中的辉绿岩脉的锆石 U-Pb 年龄 70.7 Ma (内部资料, 待刊)。综上, 姚家组红层的沉积时代放在早白垩世中期较为合适, 相当于康尼亚克期 (Coniacian)。

第 VI 期红层, 时代为晚白垩世晚期, 相当于坎潘期 (Campanian)。该时期红层在西部准噶尔和鄂尔多斯盆地未见到沉积记录。仅在东部松辽盆地沉积了上白垩统四方台组 (K<sub>2s</sub>) 红层。时代依据: 松科 1 井古地磁成果资料显示的四方台组的沉积时代约在 79.1~72.2 Ma (王璞珺等, 2015)。四方台组内部火山岩夹层的年龄为 73.6 Ma (王璞珺等, 2015), 下部与其不整合覆盖的嫩江组底部的有孔虫化石组合时代为晚白垩世中期 (Coniacian 晚期至 Santonian) (席党鹏等, 2010)。综上, 四方台组红层的沉积时代应为晚白垩世晚期 (Campanian)。

### 3.3 黑色层分析

侏罗纪—白垩纪期间, 北方陆相盆地沉积了大规模含煤炭、油气层的岩层。本次工作结合前人资料, 自下而上共划分了 4 期大规模的有机质沉积记录 (图 3)。第 1 期有机质沉积层位于第 I 期红层之下, 为煤炭沉积层。主要分布在中西部准噶尔盆地和鄂尔多斯盆地, 时代为早中侏罗世。松辽盆地没有沉积。第 2 期为煤、油气层沉积, 分布在松辽盆地下白垩统沙河子组中, 上被营城组火山岩覆盖。第 3 期为松辽盆地上白垩统青山口组下部油气层沉积, 位于第 III 期红层之下。第 4 期为松辽盆地上白垩统嫩江组下部油气层沉积, 位于第 IV 期红层之下。第 1、3、4 分别与其上红层构成红-黑岩系结构, 为中国北方砂岩型铀矿的 3 个主要成矿层位。

## 4 红-黑色岩系耦合产出对砂岩型铀矿形成环境的制约

### 4.1 砂岩型铀矿产出与红-黑岩系产出的层位关系

制约砂岩型铀矿形成的红层和黑色层, 野外宏观特征明显 (图 4), 从 3 个典型盆地内铀异常区红

层、黑色层与砂岩型铀矿时空关系的连井剖面图 (图 5, 图 6, 图 7) 可以看出, 砂岩型铀矿床 (点) 多位于红层与黑色层之间过渡带上灰色、绿灰色砂岩和细砂岩中。三个典型盆地主要表现特征: (1) 西部准噶尔盆地 (图 5) 典型铀发育异常区下部为中侏罗统西山窑组含煤黑色沉积建造, 上部为上侏罗统齐古组红层。铀异常区距离煤层多在 100~400 m 范围内, 多处产灰色砂岩, 局部产出于红层与灰色砂体互层的砂体中, 更靠近于红层。(2) 中部鄂尔多斯盆地红层、黑色层与铀空间关系见连井剖面图 (图 6) 和宏观照片 (图 4), 铀异常岩性段为直罗组下段, 其下部为中侏罗统直罗组含煤黑色沉积建造, 共发育煤层 5~6 层, 草莓状黄铁矿发育。上部为上侏罗统直罗组顶部红层。铀异常区距离煤层多在 50~300 m 范围内, 多产出于灰绿色砂岩中, 相比煤炭层, 更靠近于红层。(3) 东部地区松辽盆地内红层、黑色层与砂岩型铀矿的空间关系见连井剖面 (图 7)。连井剖面显示, 铀异常岩性段以灰色砂岩为主, 铀矿异常区集中在距离黑色层 50~200 m 的范围之内。主矿体在盆内隆起的斜坡带上 (Jin et al., 2016)。上部以红层以及下部以黑灰色岩段发育为主的岩段, 铀异常并不明显。(4) 对比东西部红层之下有机质层位黑色煤层田和油气层发现, 在相同砂体厚度的条件下, 煤层黑色层与红层之间异常岩段数在 1~6 处, 强度较小, 油气黑色层与红层之间异常岩段数 5~12 处远大于前者, 后者显示了明显的铀成矿的优越性, 具有更大的找矿潜力。(5) 在空间上, 砂岩型铀矿产于红层与黑色岩层之间的砂体内, 三者密切共生, 呈双色夹心结构。图 3 显示, 第 I、V、VI 期红层下部分别发育了第 1 期煤层和第 3、4 油气层, 这三期红层与黑色层之间均发现了砂岩型铀矿或铀异常, 而其他红层暂未有铀异常发现。(6) 砂岩型铀成矿和红层与有机质堆积黑色层的距离有关, 典型盆地的分析显示, 二者距离多小于 500 m。红黑岩系距离较大不利于铀成矿, 东部松辽盆地松辽盆地下白垩统泉头组发育了近 2000 余 m 红色泥岩、粉砂岩夹灰色、浅灰色砂岩, 其下部也发育了白垩统沙河子组煤层和油气层 (冯子辉等, 2015), 但二者之间未见铀异常。其间沉积了巨厚具有泥岩夹砂岩特征的下白垩统登娄库组和早白垩世晚期中酸性火山岩 (118~111 Ma, 内部资料, 待发表), 总厚度大于



图4 北方陆相盆地红层、黑色层野外宏观特征

准噶尔盆地: a—齐古组( $J_{2-3q}$ )红层; b—西山窑组( $J_{2x}$ )钻孔中煤层。鄂尔多斯盆地: c—直罗组( $J_{2z}$ )红层; d—延安组( $J_{2y}$ )含煤岩系及其上部直罗组下段灰黄绿色赋铀砂体。松辽盆地: e—姚家组( $K_2y$ )红层; f—青山口组( $K_2qn$ )黑色层的生烃泥页岩

Fig.4 Photographs illustrating outcrop scale of red beds and organic matters beds of continental basins in northern China.

Junggar basin: a—Red beds of upper Jurassic Qigu Formation( $J_{2-3q}$ ); b—Coal in the black layer of Xishanyao Formation( $J_{2x}$ );

Ordos: c—Middle Jurassic red beds in Zhiluo Formation; d—Coal-bearing series of Yanan Formation and yellow sandstone rich uranium;

Songliao basin: e—Red beds and calcareous concretions from upper Cretaceous Yaojia Formation( $K_2y$ ); f—Hydrocarbon generating shale of upper Cretaceous Qingshankou Formation( $K_2qn$ )

2500 m,可能与之有关。另一个实例就是中国南方地区大规模的白垩纪红层,而下部黑色层主要为石炭纪—二叠纪,目前也未见有大规模砂岩型铀矿的资料。

#### 4.2 红-黑岩系反映的沉积环境

本次工作从氧化带(红层)→过渡带→还原带(黑色煤炭沉积层)对鄂尔多斯北缘早—中侏罗世延安组、直罗组不同层位的28件泥岩、粉砂质泥岩样品进行了微量、稀土元素测试及孢粉分析(张天福等,2016;孙立新等,2017)。研究表明:(1) B、Sr和Cu元素及 $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 、B/Ga、Sr/Cu和 $FeO/MnO$ 比值在红层和黑色层层有明显差异。Fe存在+2和+3价,其价态对氧化—还原反应灵敏,随Eh、pH的不同,其化合价态发生相应变化。一般认为, $Fe^{2+}/Fe^{3+}>1$ 为还原环境, $Fe^{2+}/Fe^{3+}<1$ 为氧化环境(赵振华,1997)。本次工作红层向黑色层的 $Fe^{3+}$ 和 $Fe^{2+}$ 含量呈相反变化趋势,此消彼长,总含量基本保持不变。 $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 比值变化较大:上部红层岩段(直罗组上段),以红色岩层为主,夹少量的灰色砂体,岩层内

部多处见蒸发作用形成的碳酸盐岩, $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 介于0.04~0.36,平均0.19( $n=10$ ),远小于1,显示较强的氧化环境。中部灰色岩层与黄绿色岩层交替出现岩段(直罗组下段),多处可见碳屑等有机质, $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 介于0.12~1.56,平均值0.57( $n=6$ ),变化范围较大,总体偏氧化环境。下部黑色煤层有机质沉积岩段(延安组),发育多层煤炭有机质和大量的草莓状黄铁矿, $Fe^{2+}/Fe^{3+}$ 介于0.41~3.66,平均1.84( $n=12$ ),多大于1,显示较强的还原环境。 $Fe_2O_3$ 含量在2.59%~10.71%,平均含量6.62%,远高于下部黑色层平均含量1.93%,也显示了红层氧化强度大于黑色层。(2) U/Th比值变化较大:上部红层岩段(直罗组上段),U/Th介于0.08~0.76,平均0.3( $n=10$ )。中部直罗组下段U/Th介于0.12~3.24,平均1.26( $n=6$ )。下部黑色煤层有机质沉积岩段(延安组)U/Th介于0.16~0.35,平均0.25。表明上部红层和底部黑色岩层的U/Th比值基本一致,而中间过渡阶段U/Th是前两者的4~5倍,显示中间过渡阶段岩层U含量较高,为U易富集沉淀区域。(3)另外一个明显的差异就是下

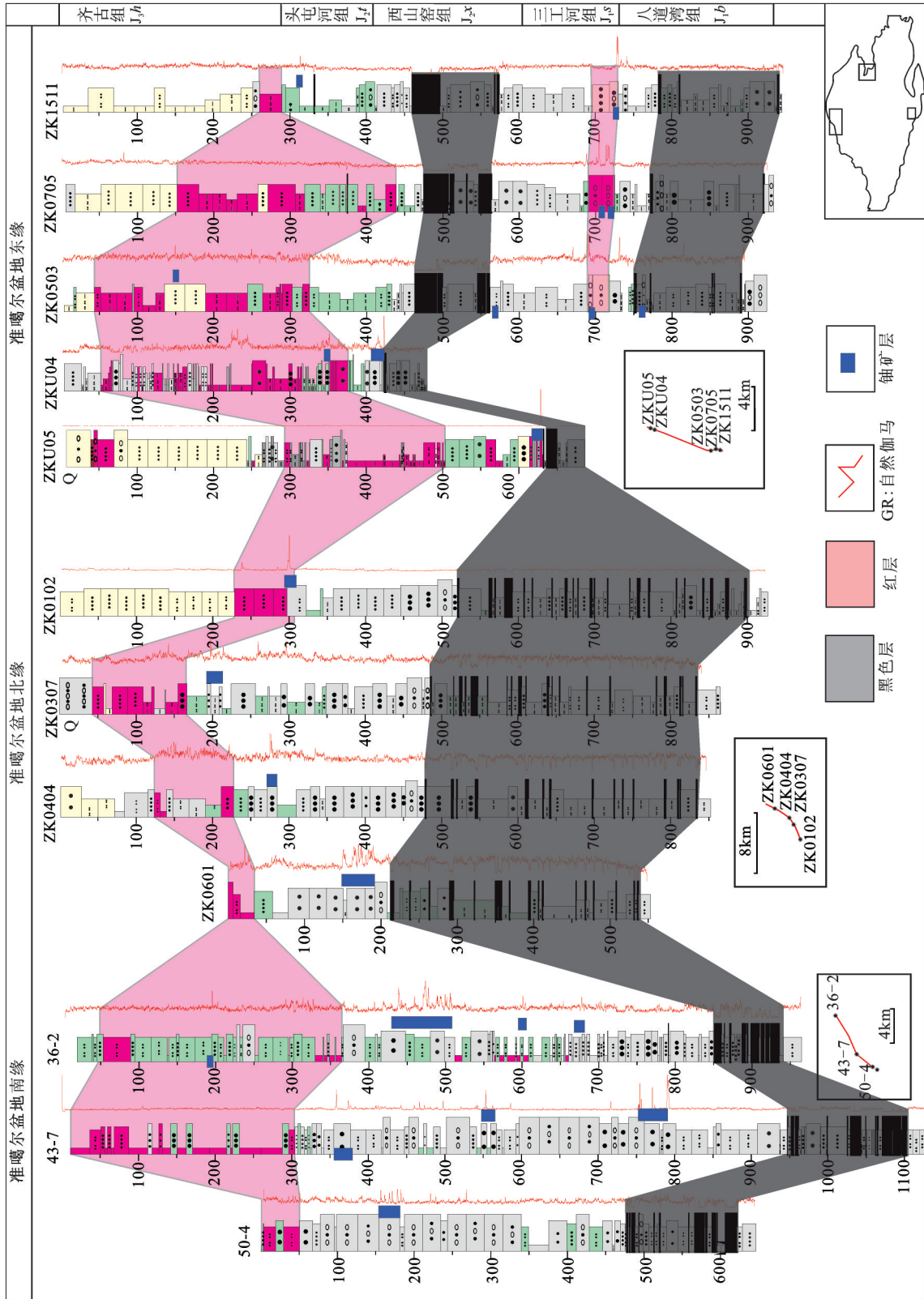


图5 准噶尔盆地红层、煤层与砂岩型轴空间关系连井剖面图(据金若时等, 2016修改; 其他图例同图3)  
 Fig.5 Partial relationship of red beds, organic matters beds and sandstone type uranium deposit in the well logs (modified after Jin et al., 2016; for other legends, see Fig. 3)

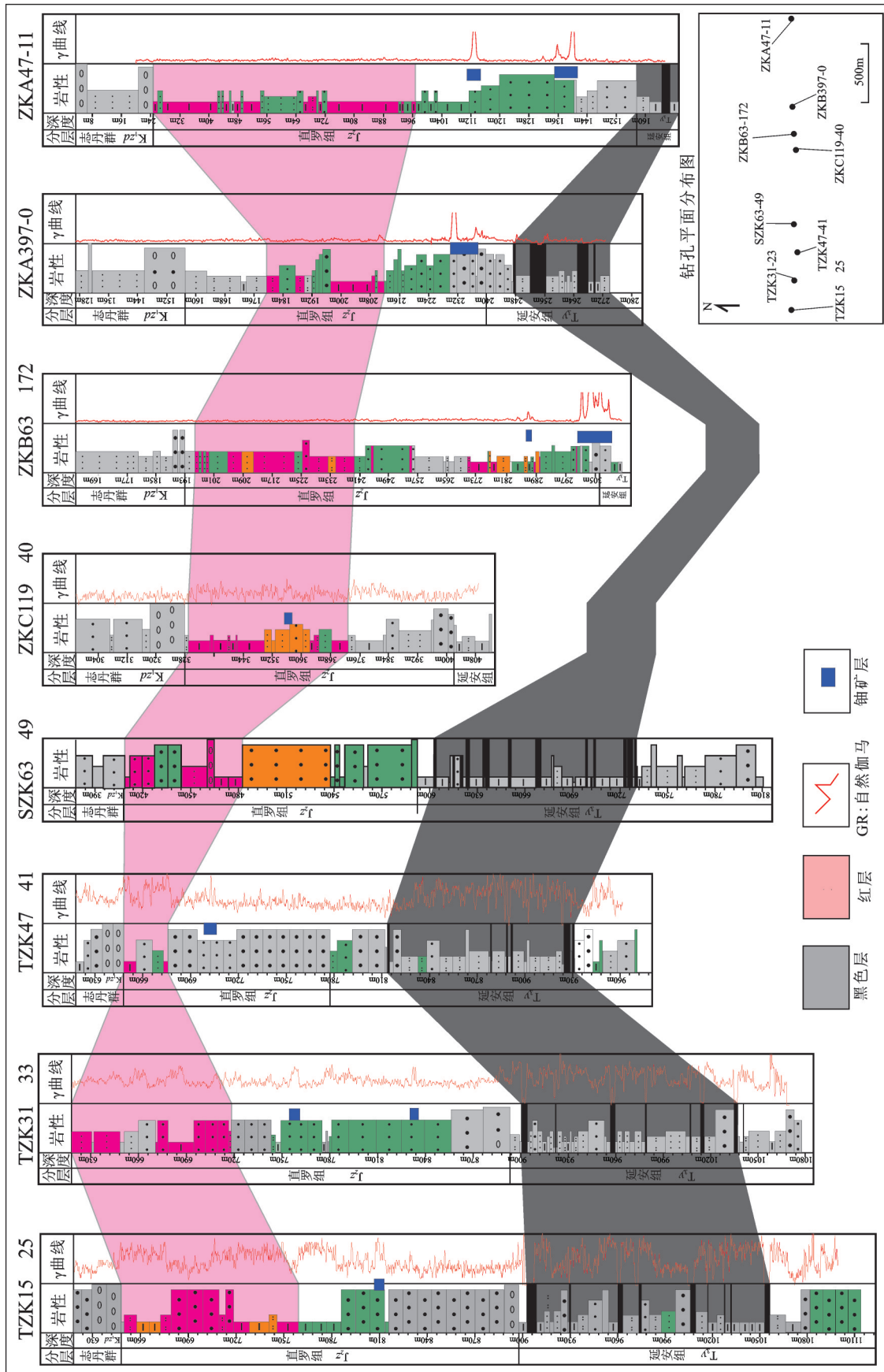


图6 鄂尔多斯盆地红层、煤层与砂岩型铀空空间关系连井剖面图(其他图例同图3)

Fig.6 Partial relationship of red beds, organic matters beds and sandstone type uranium deposit in the well logs in Ordos basin (for other legends, see Fig. 3)

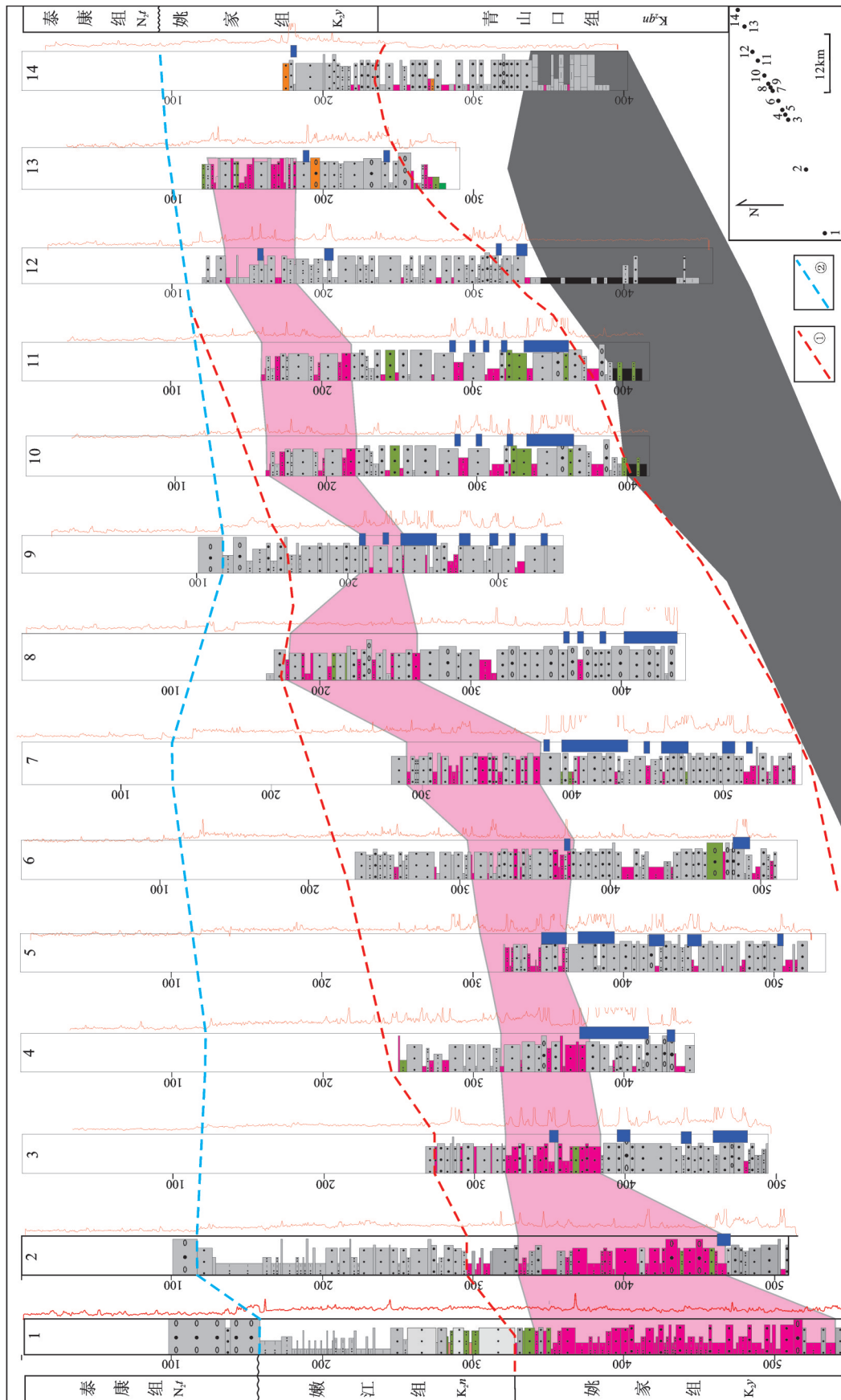


图7 松辽盆地某地红层、油气层与砂岩型铀矿空间关系连井剖面图(①—姚家组等时线;②—角度不整合面;其他图例同图3,图6)  
 Fig.7 Partial relationship of red beds, organic matters beds and sandstone type uranium deposit in the well logs in Songliao basin (①—Isochronous line of Yaojia Formation; ②—angular unconformity ; for other legends, see Fig. 3, Fig. 6)

部黑色岩层和过渡带岩层孢粉化石非常丰富,上部红色泥岩中没有分析出孢粉化石,也是沉积环境由还原向氧化变化的明显指标。红层内未发现有水生菌藻类低等生物和水生植物来源,而黑层内发育大量的该类生物,而这种差异很可能是红层沉积时水体温度高于黑层沉积时期,导致有机质生产率低、有机质沉积保存量大幅减少,从而缺乏有机质耗氧作用使得沉积物长期处于氧化的沉积成岩环境。

前人关于红层形成原因及沉积环境有不同的认识,一种观点认为红层的红色是干旱或干湿交替的古气候条件导致了赤铁矿氧化淋溶富集形成的,红层中大多含有蒸发盐夹层(Miki, 1992; Hofmann et al., 2000),与红层存在于两种共生体中:在干旱地带,与河成及风成的砂岩与蒸发盐岩共生和在潮湿地带,与交错的含煤地层共生(彭华等, 2013)的认识基本一致。另一种观点认为红层不具备气候指示意义,其中的赤铁矿可能是成岩过程中含铁矿物脱水氧化形成的(Turner, 1980; Van Houten, 1968; 彭华等, 2013)。傅培刚等(2008)研究了藏南白垩系红层-黑层的有机地球化学特征表明,黑层有机碳含量高于红层5~10倍,红层沉积时处于较强烈的氧化环境,而黑层则为还原环境。微体古生物资料显示,西部中侏罗统齐古组红层中发育了相当数量的孢粉化石(邓胜徽等, 2015)和东部上白垩统姚家组红层中化石较为丰富,发育有介形虫、叶肢介、孢粉等化石(万晓樵等, 2017; 徐增连等, 2017),中部中侏罗统直罗组红层中孢粉类化石相对较少(孙立新等, 2017)。这些红层中的化石与黑色层中化石的数量种属明显偏少,结合其下部含煤层地层或油气层。我们认为这些红层应形成于潮湿地带,与交错的含煤地层共生。本次工程所揭露的砂岩型铀矿的赋存层位也是位于这种潮湿环境下形成的红层和黑层的过渡层位中,单一红层底部尚未发现有铀异常的现象(图3)。无论红层的颜色是沉积阶段形成的,还是成岩过程含铁矿物的脱水造成的,红层基本可以代表一种相对较强氧化强度的岩层,是岩层的垂向分带,其砂岩型铀运移过程中提供了氧化条件。

综上所述,红层是较氧化条件下沉积的产物,而黑色层是较还原作用下沉积的产物,二者构成红-黑岩系垂向沉积环境变化,砂岩型铀矿产于其过

渡沉积环境中的较还原环境下。

#### 4.3 关于红-黑岩系对铀矿成矿环境制约的几点思考

从上述研究得知,中国北方现已产出的大规模的铀矿层均明显受到了“红-黑岩系”的制约,且已发现的矿床矿体多为板状,笔者认为红色岩系对砂岩型铀矿成矿的主要贡献是为成矿流体运移与物质交换,尤其是铀的物质溶出、迁移提供了环境“场”。黑色岩系则是铀矿物质运移、流动,特别是物质储存创造了还原条件。要充分重视红层“第二母源层”的作用(王志龙, 1988),四川盆地除红层下部未发育时代相近的黑色层外,红层本身铀背景值不高可能也是制约其成矿的重要原因。红层作为含铀流体通道大家的认识是比较一致的,因为只有氧化条件下才能有效的携带 $U^{6+}$ 迁移;而对于还原环境的还原层,既为成矿提供了还原性的化学障,也因为自身常常为细粒低渗透的泥质、高有机质层,而起到了阻挡、吸附作用的物理障(赵希刚, 2005)。这也是为什么耦合产出的红-黑岩系中接触带能成为主要工业铀矿层的主要原因。从中国红层、黑层与砂岩型铀矿的分布图(图2)可以看出,尽管南方发育了大面积的红层,红层及其周缘铀背景值很高,特别是诸广、赣-杭等重要成矿带,但并没发现较好的砂岩型铀矿床,这与红层下部未发育时代相近的黑色层有密切关系。红-黑岩系对铀矿的制约对于区域铀矿勘查具有重要的应用意义,“红-黑岩系”发育的地区和层位是寻找砂岩型铀矿主要地区和目的层位。

## 5 结 论

(1)中国北方中生代陆相盆地内共轭产出的黑色岩系和红色岩系是古沉积环境由还原向氧化环境转变形成的。这种变化为大规模砂岩型铀矿的形成创造了基本条件。即氧化条件下形成的红层,为表生流体溶解铀矿提供了“场”;黑色岩系为铀矿物质沉淀提供了“障”。

(2)晚中生代存在6次大规模的富氧红层成岩事件,从早到晚分别为:I中侏罗世—晚侏罗世早期(Bathonian—Oxfordian), II早白垩世早中期(Berriasian—Barremian), III早白垩世中期(Barremian), IV晚白垩世早期(Cenomanian), V晚

白垩世中期 (Coniacian) 和 VI 晚白垩世晚期 (Campanian)。其中 I、V 和 VI 期红层之下沉积的黑色层, 构成与北方砂岩型铀矿密切共生的 3 套红-黑岩系。

(3) 北方陆相盆地砂岩型铀矿与“红-黑岩系”在时空上密切共生。即时代相近的, 红层沉积于黑色层之上的陆相碎屑岩层组合, 砂岩型铀矿床(点) 多发育于红层与黑色层过渡带中的灰色、绿灰色砂岩和细砂岩中。这些认识对下一步开展铀矿调查工作具有重要的指导意义。

**致谢:** 新疆维吾尔自治区煤田地质局、新疆地质矿产勘查开发局第九地质大队、中国煤炭地质总局特种技术勘探中心、核工业二〇八大队等单位, 中国地质调查局资源评价部陈丛林, 天津地质调查中心孙立新、冯晓曦、俞初安、汤超、韩伟、徐增连、张博等, 中国煤炭地质总局第一勘探局地质勘查院宋洪柱, 在成文过程中给予了帮助和指导, 在此一并致以诚挚的谢意。

## References

- Channell J E T, Freeman R, Heller F. 1982. Timing of diagenetic hematite growth in red pelagic limestones from Gubbio (Italy)[J]. *Eart and Planetary Science Letters*, 58: 189–201.
- Chen Daisheng, Wang Ruiying, Li Shengxiang. 1997. Metallogenic model of the sandstone type uranium deposits in interlayer oxidation zone of Yili basin[J]. *Uranium Geology*, 13(6): 327–335 (in Chinese with English abstract).
- Chen Daisheng, Wang Ruiying, Li Shengxiang, Zhang Kefang. 1996. The mineralization mechanism and model of sandstone type uranium deposit in Yili Basin[J]. *Journal of East China Geological Institute*, 19(4): 321–331 (in Chinese with English abstract).
- Chen Gang, Li Xiangping, Zhou Lifa, Li Shuheng, Li Xiangdong, Zhang Huiruo. 2005. Ordos basin tectonics relative to the coupling coexistence of multiple energy resources[J]. *Earth Science Frontiers*, 12(4): 535–541 (in Chinese with English abstract).
- Chen Zuyi, Zhang Linsu, Chen Shukun, Guo Baochi, Chen Weihe, Wang Zhengbang. 1983. The stages of development of fault block movement and continental red beds with respect to the regional uranium mineralization in south China [J]. *Acta Geologica Sinica*, (3): 297–299 (in Chinese with English Abstract).
- Dahlkamp F J. 1993. Uranium ore deposits[M]. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Deng Jun, Wang Qingfei, Gao Bangfei, Huang Dinghua, Yang Liqiang, Xu Hao, Zhou Yinghua. 2005. Evolution of Ordos Basin and its distribution of various energy resources[J]. *Geocince*, 19(4): 538–545 (in Chinese with English abstract).
- Deng Shenghui, Wang Sien, Yang Zhenyu, Lu Yuanzheng, Li Xin, Hu Qingyue, An Chunzhi, Xi Dangpeng, Wan Xiaoqiao. 2015. Comprehensive Study of the Middle—Upper Jurassic Strata in the Junggar Basin, Xinjiang. *Acta Geoscientica Sinica*, 36(5): 559–574 (in Chinese with English abstract).
- Eren M, Kadir S. 2001. Color genesis of upper Cretaceous pelagicred sediments within the Eastern Pontides, NE Turkey[J]. *Yerbilimleri*, 24: 71–79.
- Feng Qiao, Zhang Xiaoli, Wang Yunpeng, Fan Aiping, Liu Yiqun. 2006. Characteristics of migration and accumulation of hydrocarbon and its deposit forming signification in Upper Paleozoic in North Ordos basin[J]. *Acta Geologica Sinica*, 80(5): 748–752 (in Chinese with English abstract).
- Feng Zihui, Huo Qiuli, Wang Xue, Zeng Huasen, Fu Li. 2015. Organic geochemical characteristics and paleosedimentary environments of the source rocks in member 1 of Qingshankou Formation[J]. *Petroleum Geology & Oilfield Development in Daqing*, (4): 1–7 (in Chinese with English Abstract).
- Franke W, Paul J. 1980. Pelagic red beds in the Devonian of German—deposition and diagenesis[J]. *Sediment Geology*, 25: 231–256.
- Fu Peigang, Song Zhiguang, Hu Xiumian, Wang Chengshan. 2008. The composition and distribution of organic matter of the Cretaceous black and red beds sediments from southern Tibet[J]. *Acta Geologica Sinica*, 92(1): 85–91 (in Chinese with English abstract).
- Fu Yong, Wei Shuaichao, Jin Ruoshi, Li Jianguo, Ao Cong. 2016. Current status and existing problems of China’s sandstone uranium deposits[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(12): 3454–3472 (in Chinese with English abstract).
- Gao Youfeng. Event deposits and High— resolution sequence stratigraphy of the upper Cretaceous in Songliao Basin: Based on borehole cores of CCSD—SK—1[D]. Changchun: Jilin University, 2010 (in Chinese with English abstract).
- Guo Jinjing, Xiang Guangya, Wang Lixiao, Hui Langbo, Wang Lili. 2016. Spatial distribution of Upper Cretaceous red beds in the West Qinling Mountains on the northeastern margin of the Tibetan Plateau uplift and its geological constraints[J]. *Geological Bulletin of China*, 35(7): 1123–1133 (in Chinese with English abstract).
- Guo Yongchun, Xie Qiang, Wen Jiangquan. 2007. Red beds distribution and engineering geological problem in China[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, (6): 67–71 (in Chinese with English abstract).
- He Zhongbo. 2013. Type of unconformity in sedimentary basin and its relation to sandstone hosted uranium mineralization[J]. *Uranium Geology*, 29(3): 133–138 (in Chinese with English abstract).
- Hofmann A, Tourani A, Gaupp R. 2000. Cyclicity of Triassic to Lower Jurassic continental red beds of the Argana Valley, Morocco: Implications for palaeoclimate and basin evolution[J].

- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 161(1/2): 229–266.
- Hou Huiqun, Li Yanrui, Liu Hongjun, Han Shaoyang, Wang gui, Bai Yunsheng, Wu Di, Wu Bolin. 2016. The organic matter characteristics of the Zhiluo Formation and its relationship with uranium mineralization in the north Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 90(12): 3367–3374 (in Chinese with English Abstract).
- Hu Yijian, Fang Chaoliang, Wang Hongjun, Zhou Jiarao, Dou Lirong. 2014. Petroleum geology and hydrocarbon accumulation in China[M]. Beijing: Petroleum industry press, 124–125 (in Chinese with English abstract).
- Jia Chengkai, Luo Lin, Xing Lida, Wang Rui, Shang Hua, Zhao Qi. 2009. Progress and Significance in research on the Mesozoic vertebrates, Junggar Basin, China. Chinese Journal of Nature, 31 (3): 158–163 (in Chinese with English abstract).
- Jia Xiaole, He Dengfa, Tong Xiaoguang, Wang Zhaoming. 2011. Distribution of global giant oil and gas fields[J]. China Petroleum Exploration, 16(3): 1–7 (in Chinese with English abstract).
- Jin Ruoshi, Cheng Yinhang, Yang Jun, Ao Cong, Li Jianguo, Li Yanfeng, Zhou Xiaoxi. 2016. Classification and correlation of Jurassic uranium bearing series in the Junggar Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 90(12): 3293–3309 (in Chinese with English abstract).
- Jin Ruoshi, Miao Peisen, Sima Xianzhang, Li Jianguo, Zhao Hualei, Zhao Fengqing, Fen Xiaoxi, Chen Yin, Chen Lulu, Zhao Lijun, Zhu Qiang. 2016. Structure styles of Mesozoic—Cenozoic U-bearing rock series in northern China[J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 90(6): 2104–2116.
- Jin Ruoshi, Huang Pengtao, Miao Peisen, Feng Xiaoxi, Tang Chao, Li Guangyao. 2014. Metallogenic conditions and prospecting targeting of the Jurassic sand type uranium deposits on the eastern margin of Junggar Basin[J]. Geological Bulletin of China, 33(2/3): 359–369 (in Chinese with English abstract).
- Jin Ruoshi, Qin Zhian. 2013. Study of the exploration sequence of sandstone-hosted uranium deposits in North China[J]. Geological Survey and Research, (2): 81–84 (in Chinese with English abstract).
- Kiipli E, Kallaste T, Kiipli T. 2000. Hematite and goethite in Telychian marine red beds of the East Baltic[J]. GFF, 122 (3): 281–286.
- Li Tingyong, Wang Jian li. 2002. Chinese red beds and developing Landforms[J]. Journal of Sichuan Normal University (Natural Science), 25(4): 427–431(in Chinese with English abstract).
- Li Xigen. 2002. Characteristics of sandstone uranium mineralization and ore-controlling factors in Wukurqi ore district at southern margin of Yili Basin, Xinjiang[J]. Uranium Geology, 18(1): 28–35 (in Chinese with English abstract).
- Li Yanhe, Duan chao, Zhao Yue, Pei Haoxiang, Ren Shunli. 2016. The role of oxidizing reducing barrier in mineralization of hydrothermal uranium ore[J]. Acta Geologica Sinica, 90(2): 201–218 (in Chinese with English abstract).
- Li Zuwang. 1988. Fossil charophytes of the Zhidan group from the western border of the Ordos basin[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 5(3): 66–78 (in Chinese with English abstract).
- Liu Jianjun, Li Huaiyuan, Chen Guosheng. 2006. To prospect for ISL-amenable sandstone uranium deposit by using the association of uranium with oil[J]. Uranium Geology, 22(1): 29–37 (in Chinese with English abstract).
- Liu Junying, Wu Xinying. 1983. Cretaceous charophyte floras in the southern edge of Junggar basin[J]. Xinjiang Petroleum Geology, (4): 52–57 (in Chinese with English abstract).
- Luo Jinglan, Liu Xiaohong, Zhang Fuxin, Jia Heng, Li Bo. 2005. Petrology and diagenesis of uranium-bearing sandstones in Dongsheng area of Ordos Basin and Shihongtan area of Tuha Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 26(4): 39–45 (in Chinese with English abstract).
- Luo Yi, He Zhongbo, Ma Hanfeng, Sun Xiang. 2012. Metallogenic characteristics of Qianjiadian sandstone uranium deposit in Songliao basin[J]. Mineral Deposits, (02): 391–400 (in Chinese with English abstract).
- M.φ Makeximowa, E.M Shimaliaoweiqi [Russia]. 1995. Interlayer infiltrated mineralization[M]. Translation by Xia Tongqing, Pan Naili. Xi'an: Institute of Uranium Deposit, No.203, Nuclear Industry Company.
- Mao Jiehua, Xu Huilong. 1997. Prediction and evaluation of coal resources in China[R]. Beijing: China National Administration of Coal Geology.
- Miki T. 1992. Sedimentologic and palaeoclimatic classification of Cretaceous red beds in East Asia: A general view[J]. Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 7(2/3): 179–184.
- Pan Wei. 2000. Discussion of space-time distribution of uranium mineralization in Yili Basin and prospecting strategy for interlayer oxidation zone sandstone uranium deposit[J]. Uranium Geology, 16 (1): 19–25 (in Chinese with English abstract).
- Pan Zhixin, Peng Hua. 2015. Comparative Study on the Global Distribution and Geomorphic Development of Red Beds [J]. Scientia Geographica Sinica, 35(2): 1575–1584 (in Chinese with English abstract).
- Peng Hua, Pan Zhixin, Yan Luobin, Scott S Simonson. 2013. A review of the research on red beds and Danxia landform[J]. Acta Geographica Sinica, 68(9): 1170–1181 (in Chinese with English abstract).
- Peng Yunbiao, Chen anping, Fang Xiheng, Ou Guangxi, Xie Qilai. 2007. Relationship between hydrocarbon-containing fluid and metallogenesis in Dongsheng sandstone uranium deposit[J]. Geochimica, 36(3): 267–274 (in Chinese with English abstract).
- Quan Zhigao. 1989. Relation between uranic mineralization and red beds and the exploration targets for uranic deposits in the north



- Qinling area, Shanxi Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 4(3):78–86 (in Chinese with English abstract).
- Reynolds R L, Goldhaber M B. 1983. Iron sulfide mineral sand the genesis of roll type uranium deposits[J]. Economic Geology, 78(1): 105–120.
- Shawe D R, Arehbold NI, Simmons GC. 1958. Geology and uranium–vanadium deposits of the SlickRock district, San Miguel and Dorores Counties, Colo., in international conference on the peaceful uses of atomic energy, 2d, Geneva, Proceedings[R]. Geneva, United Nations: Survey of Raw Material Resources, p.515–522.
- Song Kai. 2013. The conditions analysis of reservoir evaluation in Hangjinqi Ordos Basin [J]. Petroleum Geology and Engineering, 27(5): 10–14 (in Chinese).
- Sun Lixin, Zhang Yun, Zhang Tianfu, Cheng Yinhang, Li Yanfeng, Ma Hailin, Lu Chao, Yang Cai, Guo Jiacheng, Guo Genwan, Zhou Xiaoguang. 2017. Jurassic sporopollen of Yanan Formation and Zhiluo Formation and its paleoclimatic significance in the northeast Ordos basin, Inner Mongolia[J]. Earth Science Frontiers, 24(1): 32–51 (in Chinese with English abstract).
- Teng Jiwen, Liu Youshan. 2013. Analysis of distribution, storage potential and prospect for shale oil and gas in China[J]. Progress in Geophysics, 28(3): 1083–1108 (in Chinese with English abstract).
- Turner P. 1980. Continental red beds[M]. Elsevier Scientific Publishing Company, 323–343.
- Van Houten F B. 1968. Iron oxides in red beds[J]. Geological Society of America Bulletin, 79(4): 399–416.
- Walker T R. 1967. Formation of red beds in modern and ancient deserts[J]. Geology Society of America Bulletin, 78:353–368.
- Wan Xiaoqiao, Wu Huaichun, Xi Dangpeng, Liu Meiyu, Qin Zuohuan. 2017. Terrestrial biota and climate during Cretaceous greenhouse in NE China[J]. Earth Science Frontiers, 24(1): 018–031 (in Chinese with English abstract).
- Wang Chengshan, Hu Xiumian. 2005. Cretaceous world and oceanic red beds[J]. Earth Science Frontiers, 12(2): 11–21 (in Chinese with English abstract).
- Wang Pujun, Zhao, Ranlei, Meng Qi'an, Huo Xuejiao, Zhu Defeng, Gao Youfeng. 2015. The Cretaceous Songliao Basin: Dynamic background from volcanic rift to interior sag basin [J]. Earth Science Frontiers, 22(3):99–117 (in Chinese with English abstract).
- Wang Sien, Pang Qiqing, Wang Daning. 2012. New advances in the study of Jurassic–Cretaceous biostratigraphy and isotopic ages of the Junggar Basin in Xinjiang and their significance [J]. Geological Bulletin of China, 31(4): 493–502 (in Chinese with English Abstract).
- Wang Zhilong. 1988. The double layer structure model of the uranium generating bed in the land basins of the northwestern China and its significance[J]. China Nuclear Information Center, 192:1–9 (in Chinese with English abstract).
- Wen Quanbo, Zheng Peixi, Liu Yongjiang, Jin Wei, He Zhonghua, Liang Chenyue, Zhang Li, Mi Xiaonan. 2011. Geology of the European petroliferous basins[J]. Marine Geology Frontiers, 27(12): 70–77 (in Chinese with English abstract).
- Xi Dangpei, Wan Xiaoqiao, Feng Zhiqiang, Li Shun, Feng Zihui, Jia Jianzhong, Xing Xia, Si Weimin. 2010. Discovery of Late Cretaceous foraminifera in the Songliao Basin: Evidence from SK–1 and implications for identifying seawater incursions[J]. Chinese Sci. Bull. 55, 3433–3436 (in Chinese with English edition).
- Xu Zenglian, Wei Jialin, Zeng Hui, Li Hongliang, Li Jianguo, Zhu Qiang, Zhang Bo, Cao Minqiang. 2017. Late Cretaceous palynological assemblage and its palaeoclimate record from the Yaojia formation in the Qianjiadian depression, Kailu Basin[J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences (unpublished, in Chinese with English abstract).
- Xue Wei, Xue Chunji, Chi Guoxiang, Tu Qijun, Kang Ming, Gao Yalong. 2009. Some relations of uranium mineralization and organic matter in Jurassic strata on the northeastern margin of Ordos Basin[J]. China Geological Review, 55(3): 361–369 (in Chinese with English abstract).
- Yang Binhu, Luo Jinglan, Dai Yaquan, Liu Xiaohong, Lin Tong, Zhang San. 2006. Petrology of uranium–bearing sandstones and relationship of organic matters, hydrocarbons and coal with uranium: An example from Dongsheng, Ordos Basin and Shihongtan, Tuha Basin[J]. Journal of Northwest University (Natural Science Edition), 36(6): 982–991 (in Chinese with English abstract).
- Yang Jinglin, Wang Qifei, Lu Huinan. 2005. Discovery of Cretaceous and Paleocene charophyte floras from well hu–2 in the southern edge of Junggar basin[J]. Acta Micropalaeontologica Sinica, 22(3): 251–268 (in Chinese with English abstract).
- Yang Yong, Chen Shiyue, Wang Guiping, Xing Yu. 2012. Formation characteristics and sedimentary environment analysis on Cretaceous of Queergou section, Junggar basin[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 19(3): 34–37 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Jindai. 2016. Innovation and development of metallogenic theory for sandstone type uranium deposit in China[J]. Uranium Geology, 32(6):321–332 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Tianfu, Sun Lixin, Zhang Yun, Cheng Yinhang, Li Yanfeng, Ma Hailin, Lu Chao, Yang Cai, Guo Genwan, Guo Jiacheng. 2016. Geochemical characteristics and paleoenvironmental implications of Jurassic Yanan and Zhiluo Formation, northern margin of Ordos basin [J]. Acta Geologica Sinica, 90(12): 3454–3472 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Wanliang. 2007. Red basin in south China and uranium ore conservation[J]. Mineral Resources and Geology, 21(2): 118–121 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Xingpu. 1999. Formation and evolution of Mesozoic volcanic

- basins in Gan-hang tectonic belt[J]. Uranium Geology, 15(1): 18-23 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Yun, Sun Lixin, Zhang Tianfu, Cheng Yinhang, Li Yanfeng, Ma Hailin, Lu Chao, Yang Cai, Guo Jiacheng, Zhou Xiaoguang. 2016. Sequence stratigraphy study of coal uranium bearing rock series and occurrence regularity coal and uranium in the northeastern margin of Ordos Basin[J]. Acta Geologica Sinica, 90(12): 3424-3440 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zifu. 1992. Palynological assemblage from the Lamawan formation of the Zhidan group and its age in northern Ordos basin[J]. Northwest Geoscience, 13(1): 89-101 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xigang, Wu Hanning, Han Ling, Li Weihong, Xu Gaozhong. Multi-information indicators of paragenetic multi-energy source mineral deposits formed in same basin at latest reconstruction stage[J]. Journal of Earth Sciences and Environment, 27(2):33-36 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Xingqi, Li Xidei, Shi Qingping, Liu Wusheng, Zhang Zilong, Yi Chao, Guo Qiang. 2016. Hydrocarbon fluid feature of the Zhiluo Formation sandstone in the Dongsheng Area, Ordos Basin and its relationship to uranium mineralization[J]. Acta Geologica Sinica, 90(12): 3381-3392 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Zhenhua. 1997. The elements of the trace element geochemistry[M]. Beijing: Science Press, 76-82 (in Chinese).
- Zheng Xiuliang, Zheng Xiumei, Zheng Xinsheng, Li Jianguo, Yang Yumei, Weng Yuexin, Wu Caixi. 2013. The late Cretaceous ostracod fossils of the Junggar basin[J]. Journal of Stratigraphy, 37(2): 206-209 (in Chinese with English abstract).
- Zou Heping, Zhang Ke, Li Gang. 2008. Cretaceous tectono-thermal event in the Ordos block: An Ar-Ar chronological evidence from basalt at Hangjin banner, Innermongolia, North China Craton[J]. Geotectonica et Metallogenia, 32(3): 360-364 (in Chinese with English abstract).
- 附中文参考文献**
- 陈戴生, 李胜祥, 蔡煜琦. 2006. 我国中、新生代盆地砂岩型铀矿沉积环境研究概述[J]. 沉积学报, 24(2): 223-228.
- 陈戴生, 王瑞英, 李胜祥. 1997. 伊犁盆地层间氧化带砂岩型铀矿成矿模式[J]. 铀矿地质, 13(6): 327-335.
- 陈刚, 李向平, 周立发, 李书恒, 李向东, 章辉若. 2005. 鄂尔多斯盆地构造和多种矿产的偶合成矿特征[J]. 地质前缘, 12(4): 535-541.
- 陈祖伊, 张邻素, 陈树崑, 郭葆墀, 陈伟鹤, 王正邦. 1983. 华南断块运动—陆相红层发育期与区域铀矿化[J]. 地质学报, (3): 297-299.
- 邓军, 王庆飞, 高帮飞, 黄定华, 杨立强, 徐浩, 周应华. 2005. 鄂尔多斯盆地演化与多种能源矿产分布[J]. 现代地质, 19(4): 538-545.
- 邓胜徽, 王思恩, 杨振宇, 卢远征, 李鑫, 胡清月, 安纯志, 席党鹏, 万晓樵. 2015. 新疆准噶尔盆地中—晚侏罗世多重地层研究[J]. 地球学报, 36(5): 559-574.
- 冯乔, 张小莉, 王云鹏, 樊爱萍, 柳益群. 2006. 鄂尔多斯盆地北部上古生界油气运聚特征及其铀成矿意义[J]. 地质学报, 80(5): 748-752.
- 冯子辉, 霍秋立, 王雪, 曾花森, 付丽. 2015. 青山口组一段烃源岩有机地球化学特征及古沉积环境[J]. 大庆石油地质与开发, (4): 1-7.
- 付勇, 魏帅超, 金若时, 李建国, 奥琮. 2016. 我国砂岩型铀矿分带特征研究现状及存在问题[J]. 地质学报, 90(12): 3519-3544.
- 傅培刚, 宋之光, 胡修棉, 王成善. 2008. 藏南白垩系黑—红层沉积岩有机质组成分布特征[J]. 地质学报, 92(1): 85-91.
- 高有峰. 2010. 松辽盆地上白垩统事件沉积与高分辨率层序地层:以松科1井岩心资料为基础[D]. 长春市:吉林大学.
- 郭进京, 向光娅, 王利晓, 惠浪波, 王丽丽. 2016. 西秦岭上白垩统红层空间分布及其对青藏高原东北缘隆升的地质约束[J]. 地质通报, 35(7): 1123-1133.
- 郭永春, 谢强, 文江泉. 2007. 我国红层分布特征及主要工程地质问题[J]. 水文地质工程地质, (6): 67-71.
- 何中波. 2013. 沉积盆地不整合类型及其与砂岩型铀矿成矿的关系[J]. 铀矿地质, 29(3): 133-138.
- 侯惠群, 李言瑞, 刘洪军, 韩绍阳, 王贵, 白云生, 吴迪, 吴柏林. 2016. 鄂尔多斯盆地北部直罗组有机质特征及与铀成矿关系[J]. 地质学报, 90(12): 3367-3374.
- 胡见方, 方朝亮, 王红军, 吴因为, 周家尧, 窦立荣. 2014. 中国石油地质与成藏文集[M]. 北京:石油工业出版社, 124-125.
- 贾程凯, 罗玲, 邢立达, 王睿, 商华, 赵祺. 2009. 准噶尔盆地中生代地层脊椎动物化石研究进展及意义[J]. 自然杂志, 31(3): 158-163.
- 贾小乐, 何登发, 童晓光, 王兆明. 2011. 全球大油气田分布特征[J]. 中国石油勘探, 16(3): 1-7.
- 金若时, 程银行, 杨君, 奥琮, 李建国, 李艳锋, 周小希. 2016. 准噶尔盆地侏罗纪含铀岩系的层序划分与对比[J]. 地质学报, 90(12):3293-3309.
- 金若时, 黄澎涛, 苗培森, 冯晓曦, 汤超, 李光耀. 2014. 准噶尔盆地东缘侏罗系砂岩型铀矿成矿条件与找矿方向[J]. 地质通报, 33(2/3): 359-369.
- 金若时, 覃志安. 2013. 中国北方含煤盆地砂岩型铀矿找矿模式层序研究[J]. 地质调查与研究, (2): 81-84.
- 李廷勇, 王建力. 2002. 中国的红层及发育的地貌类型[J]. 四川师范大学学报(自然科学版), 25(4): 427-431.
- 李细根. 2002. 伊犁盆地南缘乌库尔其矿区砂岩型铀矿化特征及控矿因素[J]. 铀矿地质, 18(1): 28-35.
- 李延河, 段超, 赵悦, 裴浩翔, 任顺利. 2016. 氧化还原障在热液铀矿成矿中的作用[J]. 地质学报, 90(2): 201-218.
- 李祖望. 1988. 鄂尔多斯盆地西缘志丹群轮藻化石[J]. 微体古生物学报, 5(3): 66-78.
- 刘建军, 李怀渊, 陈国胜. 2006. 利用铀油关系寻找可地浸砂岩型铀矿[J]. 铀矿地质, 22(1): 29-37.
- 刘俊英, 吴新莹. 1983. 准噶尔盆地南缘白垩系轮藻类及其地层意义[J]. 新疆石油地质, (4): 52-57.
- 罗静兰, 刘小洪, 张复新, 贾恒, 李博. 2005. 鄂尔多斯盆地东胜地区和吐哈盆地十红滩地区含铀砂岩岩石学及成岩作用[J]. 石油学

- 报, 26(4):39-45.
- 罗毅, 何中波, 马汉峰, 孙祥. 2012. 松辽盆地钱家店砂岩型铀矿成矿地质特征[J]. 矿床地质, (02): 391-400.
- 马克西莫娃 M.Ф., 什玛廖维奇 E.M. [俄]著. 1996. 层间渗入成矿作用[M]. 夏同庆, 潘乃礼译, 西安:核工业二〇三研究所.
- 毛节华, 许惠龙. 1997. 全国煤炭资源预测和评价(第三次全国煤田预测)研究报告[R]. 北京:中国煤炭地质总局.
- 潘蔚. 2000. 伊犁盆地铀成矿时空分布特征与层间氧化带砂岩型铀矿找矿思路分析[J]. 铀矿地质, 16(1): 19-25.
- 潘志新, 彭华. 2015. 国内外红层分布及其地貌发育的对比研究[J]. 地理科学, 35(2):1575-1584.
- 彭华, 潘志新, 闫罗彬, Scott Simonson. 2013. 国内外红层与丹霞地貌研究述评[J]. 地理学报, 68(9): 1170-1181.
- 彭云彪, 陈安平, 方锡珩, 欧光习, 解启来. 2007. 东胜砂岩型铀矿床中烃类流体与成矿关系研究[J]. 地球化学, 36(3): 267-274.
- 权志高. 1989. 陕西北秦岭铀矿化与红层的关系及找矿意义[J]. 地质找矿论丛, 4(3): 78-86.
- 宋凯. 2013. 鄂尔多斯盆地杭锦旗探区成藏条件分析与区带评价[J]. 石油地质与工程, 27(5): 10-14.
- 孙立新, 张云, 张天福, 程银行, 李艳锋, 马海林, 鲁超, 杨才, 郭佳成, 郭根万, 周晓光. 2017. 鄂尔多斯北部侏罗纪延安组、直罗组孢粉化石及其古气候地质意义[J]. 地学前缘, 24(1): 32-51.
- 滕吉文, 刘有山. 2013. 中国油气页岩分布与存储潜能和前景分析[J]. 地球物理学进展, 28(3): 1083-1108.
- 万晓樵, 吴怀春, 席党鹏, 刘美羽, 覃祚煊. 2017. 中国东北地区白垩纪温室时期陆相生物群与气候环境演化[J]. 地学前缘, 24(1): 018-031.
- 王成善, 胡修棉. 2005. 白垩纪世界与大洋红层[J]. 地学前缘, 12(2): 11-21.
- 王璞珺, 赵然磊, 蒙启安, 瞿雪姣, 朱德丰, 高有峰. 2015. 白垩纪松辽盆地: 从火山裂谷到陆内拗陷的动力学环境[J]. 地学前缘, 22(3): 99-117.
- 王思恩, 庞其清, 王大宁. 2012. 新疆准噶尔盆地侏罗系-白垩系生物地层和同位素年龄研究的新进展[J]. 地质通报, 31(4): 493-502.
- 王志龙. 1988. 中国西北大、中型内陆盆地中的生油层双层结构及其在盆地找矿中的意义. 中国核情报中心, 192:1-9.
- 温泉波, 郑培玺, 刘永江, 金巍, 和钟铎, 梁琛岳, 张丽, 米晓楠. 2011. 欧洲大陆含油气盆地基础地质研究[J]. 海洋地质前沿, 27(12): 70-77.
- 席党鹏, 万晓樵, 冯志强, 李顺, 冯子辉, 贾建忠, 邢夏, 司伟民. 2010. 松辽盆地晚白垩世有孔虫的发现:来自松科1井渤海沟通的证  
据[J]. 科学通报, 55(35): 3433-3436.
- 徐增连, 魏佳林, 曾辉, 里宏亮, 李建国, 朱强, 张博, 曹民强. 2017. 开鲁盆地东北部钱家店凹陷晚白垩世姚家组孢粉组合及其古气候意义[J]. 地球科学(待刊).
- 薛伟, 薛春纪, CHI Guoxiang, 涂其军, 康明, 高亚龙. 2009. 鄂尔多斯盆地东北缘侏罗系铀矿化与有机质的某些关联. 地质论评, 55(3): 361-369.
- 杨斌虎, 罗静兰, 戴亚权, 刘小洪, 林潼, 张三. 2006. 含铀砂岩中铀与有机质、油气和煤的关系——以鄂尔多斯盆地东胜地区和吐哈盆地十红滩地区为例[J]. 西北大学学报(自然科学版), 36(6): 982-991.
- 杨景林, 王启飞, 卢辉楠. 2005. 准噶尔盆地南缘呼2井晚白垩世、古新世轮藻植物群的发现及其意义[J]. 微体古生物学报, 22(3): 251-268.
- 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[J]. 油气地质与采收率, 19(3): 34-37.
- 张金带. 2016. 我国砂岩型铀矿成矿理论的创新和发展[J]. 铀矿地质, 32(6):321-332.
- 张天福, 孙立新, 张云, 程银行, 李艳锋, 马海林, 鲁超, 杨才, 郭根万. 2016. 鄂尔多斯盆地北缘侏罗纪延安组、直罗组泥岩微量、稀土元素地球化学特征及其古沉积环境意义[J]. 地质学报, 90(12): 3454-3472.
- 张万良. 2007. 华南红盆与铀矿保存[J]. 矿产与地质, 21(2): 118-121.
- 张星蒲. 1999. 赣杭构造带中生代火山盆地的形成和演化[J]. 铀矿地质, 15(1): 18-23.
- 张云, 孙立新, 张天福, 程银行, 李艳锋, 马海林, 鲁超, 杨才, 郭佳成, 周晓光. 2016. 鄂尔多斯盆地东北缘煤铀岩系层序地层与煤铀赋存规律研究[J]. 地质学报, 90(12): 3424-3440.
- 张子福. 1992. 鄂尔多斯盆地北部志丹群喇嘛湾组的孢粉组合及其时代[J]. 西北地质科学, 13(1): 89-101.
- 赵兴齐, 李西得, 史清平, 刘武生, 张字龙, 易超, 郭强. 2016. 鄂尔多斯盆地东胜区直罗组砂岩中烃类流体特征与铀成矿关系[J]. 地质学报, 90(12): 3381-3392.
- 赵振华. 1997. 微量元素地球化学原理[M]. 北京:科学出版社, 76-82.
- 郑秀亮, 郑秀梅, 郑新生, 李建国, 杨玉梅, 翁月新, 吴采西. 2013. 准噶尔盆地晚白垩世介形类化石组合[J]. 地层学杂志, 37(2): 206-209.
- 赵希刚, 吴汉宁, 韩玲, 李卫红, 徐高中. 2005. 改造末期多种能源矿藏(床)同盆共存的多源信息找矿识别标志[J]. 地球科学与环境学报, 27(2):33-36.
- 邹和平, 张珂, 李刚. 2008. 鄂尔多斯地块早白垩世构造热事件:杭锦旗玄武岩的Ar-Ar年代学证据[J]. 大地构造与成矿, 32(3): 360-364.