

鄂尔多斯盆地西缘 HAB 地区层间氧化带铀矿化特征

龚斌利 徐高中 李卫红

(核工业 203 研究所, 陕西 咸阳 712000)

摘要:鄂尔多斯盆地西缘 HAB 地区层间氧化带铀矿化的含矿层具有渗透性和铀源条件较好的灰色砂体, 含有一定量有机炭作为还原剂、层间氧化带的规模和分带性都比较好。受层间氧化带翼部过渡带控制的铀矿化规模大、层数多、品位富, 显示出本区具有很好的成矿潜力。建议今后将进一步控制延安组和直罗组层间氧化带前锋线的展布形态、追索矿体规模应为将来找矿工作的重点。

关键词:盆地西缘; HAB 地区; 砂体; 层间氧化带; 铀矿化

中图分类号: P619.14 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2008)01-0095-06

鄂尔多斯盆地处于华北地台西部。是在古生代地台基础上发展起来的“具有双重基底”的大型叠合盆地。基底由太古宇、中下元古界结晶岩系和古生界浅变质地层组成, 盖层主要由三叠系、侏罗系、下白垩统及古近系渐新统河流—湖泊相沉积和第四系黄土、沙漠沉积组成。

盆地西缘断褶带由多条近南北向的逆冲断层、正断层和近东西向的平移断层组成。局部构造主要为褶皱、挠曲、断块等。具有典型的逆冲推覆构造或褶皱冲断构造特征。总体上构造活动性较强, 但在这种活动的背景下, 也是对铀成矿有利的构造稳定阶段, 盆地西缘 HAB 地区就具备这样的条件。

HAB 地区位于盆地西缘断褶带的马家滩段, 近年来开展的铀矿找矿工作发现了层间氧化带砂岩型铀矿化。层间氧化带铀矿化的形成条件、发育特征是颇受铀矿地质工作者关注的问题。笔者对这些问题进行过分析研究, 在此论述, 能对铀矿地质找矿和科研工作提供一定帮助是十分必要的。

1 盆地西缘 HAB 地区层间氧化带铀矿形成条件

盆地西缘 HAB 地区层间氧化带铀矿形成于中侏罗统延安组和直罗组地层中, 该区具备层间氧化带铀矿形成的有利构造、地层、水文地质、铀源条件, 在此基础上, 层间氧化带具有一定的规模, 强烈的后生氧化蚀变, 很好的地球化学分带性, 奠定了砂岩型铀矿化形成的良好地质环境。

1.1 构造条件

本区位于盆地西缘断褶带的马家滩段, 该段由烟墩山逆冲席和马儿庄断裂与马家滩—柳条井断裂之间的前缘带组成, 具有典型的逆冲推覆构造特征。整体上褶皱呈东窄西宽, 轴面西倾, 背斜东翼陡、西翼缓^[1]。

侏罗纪末的燕山中期运动在本区表现强烈, 使侏罗系及其以前的地层褶皱成山, 形成一系列近南北走向的褶皱和断裂。晚白垩世以后的燕山晚期运

收稿日期: 2007-07-31; 改回日期: 2007-10-15

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2003CB214604)和国防科工委核能开发项目资助。

作者简介: 龚斌利, 男, 1962 年生, 研究员级高级工程师, 长期从事铀矿地质科研和生产工作; E-mail: 203y@bog.com.cn。

动,再度褶皱隆起。之后经历了剥蚀夷平。这一时期对层间氧化带铀矿的形成较为有利。

喜山运动在古近系、第四系中有小型褶曲及断裂。构造活动性较弱。而本区西部所见的罗山、青龙山主要隆起于古近纪以后的新生代。

1.2 地层条件

延安组下段为辫状河相,中段为泛滥平原、沼泽相,上段为曲流河泛滥平原相沉积。上、下段有 10~30 m 的灰色中细砂岩层,发育有机炭、黄铁矿,灰色砂岩:有机炭 2.28%,全硫为 0.48%,具较强的还原能力,为还原型原生地球化学类型,砂岩主要为岩屑长石砂岩和少量长石石英砂岩,泥质胶结,成分主要有水云母,高岭石,次疏松-疏松,渗透性好。岩屑以花岗岩为主,石英岩、云母石英片岩,炭质板岩及火山岩岩屑次之。

直罗组下段以辫状河沉积为主,上段为泛滥平原相沉积。下段以小于 20 m 和大于 30 m 的中粗砂岩体为主。尤其是底部砂质体特别稳定,厚 10~120 m。富含有机炭和黄铁矿。砂岩中有机炭含量为 0.49%,全硫为 0.67%,为原生还原的地球化学类型,具较强的还原能力,次疏松-疏松、渗透性好,孔隙度 20%~22.6%,渗透系数 0.15~0.38 m/d。

砂岩主要为岩屑长石砂岩和少量长石石英砂岩,泥质胶结,胶结物以高岭石为主,其次为蒙脱石,伊利石和绿泥石很少。岩屑为花岗岩、变质岩和酸性火山岩,特别是含大量的酸性火山岩屑。砂岩中长石的高岭土化,绢云母化,黑云母的绿泥石化使砂岩变得疏松,渗透性更好^[2]。有利于层间氧化带铀矿化的形成。

1.3 水文地质条件

西部的古银川隆起为补给区,地下水由西向东径流,排泄源主要受断裂控制。含水层具有良好的泥—砂—泥结构,倾向南东,倾角一般为 10~20°。K₂—E₂ 沉积间断期古气候干旱—半干旱,渗入作用发育。更新世以后,地下水仍保持了由西向东运移

的状态。具有很好的继承性。含水层富水性及透水性较好,含水层单位涌水量一般大于 0.1 L/s·m,渗透系数为 0.01~3.61 m/d。地下水主要为 Cl·SO₄-Na·Ca 型,矿化度为 0.87~8.08 g/L。对层间氧化带铀矿化的形成有利。

1.4 铀源条件

延安组砂岩中石英含量高,岩屑含量较少(特别是火山岩碎屑更少),反映距蚀源区相对较远,搬运距离较长。蚀源区为西部的阿拉善古陆。这与许多研究成果中,延安组沉积时原形盆地蚀源区北部为乌拉山,东部为古太行山,南部为秦岭山,西部为阿拉善古陆相一致。

直罗组砂岩含长石和岩屑多,具有近源沉积的特征。岩屑成分主要为花岗岩、变质岩和酸性火山岩,与贺兰山出露的岩石有较大的差异,因此其蚀源区应该是新生代断陷形成的银川盆地的基底岩石。

本区直罗组砂岩含大量的酸性火山岩碎屑,酸性火山岩为有利的铀源体。延安组、直罗组砂岩铀含量 4.11×10^{-6} , 4.99×10^{-6} 较高,可为层间氧化带铀矿的形成提供足够的铀源。

2 层间氧化带铀矿化特征

2.1 延安组层间氧化带铀矿化特征

层间氧化带主要分布在背斜东翼,前锋线南北向断续延伸 10 km 以上,宽几千米,厚 10~25 m,埋深小于 280 m。层间氧化带为褐黄色—浅黄色。主要为褐铁矿化和水针铁矿化,过渡带以浅灰色、灰白色为主,还原带以灰、灰黑色为主。从氧化带—过渡带—还原带 U、Th、Fe³⁺/Fe²⁺、有机炭、全硫、酸解烃、氧同位素和稀土元素值呈规律性变化(表 1~2),显示氧化带分带性好。

据中亚地区^[3]上白垩统透水层中控矿层间氧化带研究,氧化岩石中 $\delta^{18}\text{O}$ 值 9.4‰~21‰,平均 14.4‰,沉积岩氧同位素组成 +8‰~+40‰,说明层间氧化流体中大气降水的成分相对较少,受地表潜

表 1 延安组层间氧化带地球化学特征

Table 1 Geochemical characteristics of the interlayer oxidation zone in the Yan'an Formation

岩性分带、(样品数)	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	有机炭/10 ⁻²	全硫/10 ⁻²	Fe ³⁺ /Fe ²⁺	ΣC(μL/kg)
还原带——浅灰色细砂岩(8)	7.29	12.33	0.54	0.03	0.27	3992.1
过渡带——浅灰色中细砂岩(16)	9.05	12.25	0.45	0.19	0.46	6931.7
氧化带——浅黄中细砂岩(5)	3.64	9.1	0.03	0.02	3.06	3489.9

注:由核工业 203 所分析测试中心测定。

表 2 延安组层间氧化带不同分带中稀土元素指标和氧同位素值
Table 2 REE contents and oxygen isotope values in different subzones
of the interlayer oxidation zone in the Yan'an Formation

岩性分带	LREE/ 10^{-9}	HREE/ 10^{-9}	Σ REE/ 10^{-9}	LREE/HREE	$\delta^{18}\text{O}/\text{‰}$
浅黄色细砂岩——弱氧化带	92.41	10.31	102.72	8.96	10.8
浅灰色中砂岩——过渡带	145.96	15.71	161.67	9.29	9.7
浅灰色细砂岩——还原带	170.29	19.13	189.42	8.9	9.4

注:稀土元素分析由核工业 203 所分析测试中心测定,氧同位素由中国地质科学院矿产资源研究所测定,分析样品均为 1 个。

水的影响较小。带内的氧化物、氢氧化物主要反映了层间水的氧同位素成分。过渡带和铀矿化带为 $-1.7\text{‰}\sim-7.7\text{‰}$, 平均 -4.7‰ , 在地表大气降水的氧同位素组成为 $+10\text{‰}\sim-55\text{‰}$, 可能与该带存在生物作用有关。据伊犁盆地乌库尔其地区的研究,氧化带 $\delta^{18}\text{O}$ 值为 $13.86\text{‰}\sim14.22\text{‰}$, 过渡带 $10.78\text{‰}\sim12.72\text{‰}$, 还原带 $14.34\text{‰}\sim14.35\text{‰}$ 。在过渡带偏轻,可能与该带存在较强的生物细菌作用有关^[4]。

延安组层间氧化带氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值从氧化带向还原带变小,说明层间氧化带形成时层间氧化流体大气降水的成分相对较少,受地表潜水的影响较小。

国内外许多学者研究认为 pH 值对流体中稀土含量有着绝对的控制作用,当流体 pH 值降低时,流体中稀土将增加,反之降低。层间氧化带各亚带在稀土元素的配分上表现出高度的一致性。表明整个成矿围岩具有统一的物源,沉积环境和构造背景。层间氧化带中,稀土总量和轻重稀土比具有强氧化亚带最高,弱氧化亚带最低,过渡带居中,还原带较低的特点,反映层间氧化带分带性好。在过渡带稀土含量的局部增高与黏土含量、有机质的增高有关^[5]。

延安组层间氧化带从氧化带向还原带在稀土元素的配分上相同(图 1)。表明整个地层、岩石具有统一的物源、沉积环境和构造背景。

稀土总量 (Σ REE) 和轻重稀土比值 (LREE/HREE) 从氧化带向还原带,与层间氧化带中稀土总量和轻重稀土比具有强氧化亚带最高,弱氧化亚带最低,过渡带居中,还原带较低的规律相同。反映层间氧化带分带性好。

铀矿化在层间氧化带翼部的过渡带中。工业矿段厚 3.80 m, 平均品位 0.0596%, 铀量为 4.98 kg/m^2 。矿石为较疏松浅灰色中细粒砂岩, 铀矿物主要为沥青铀矿。

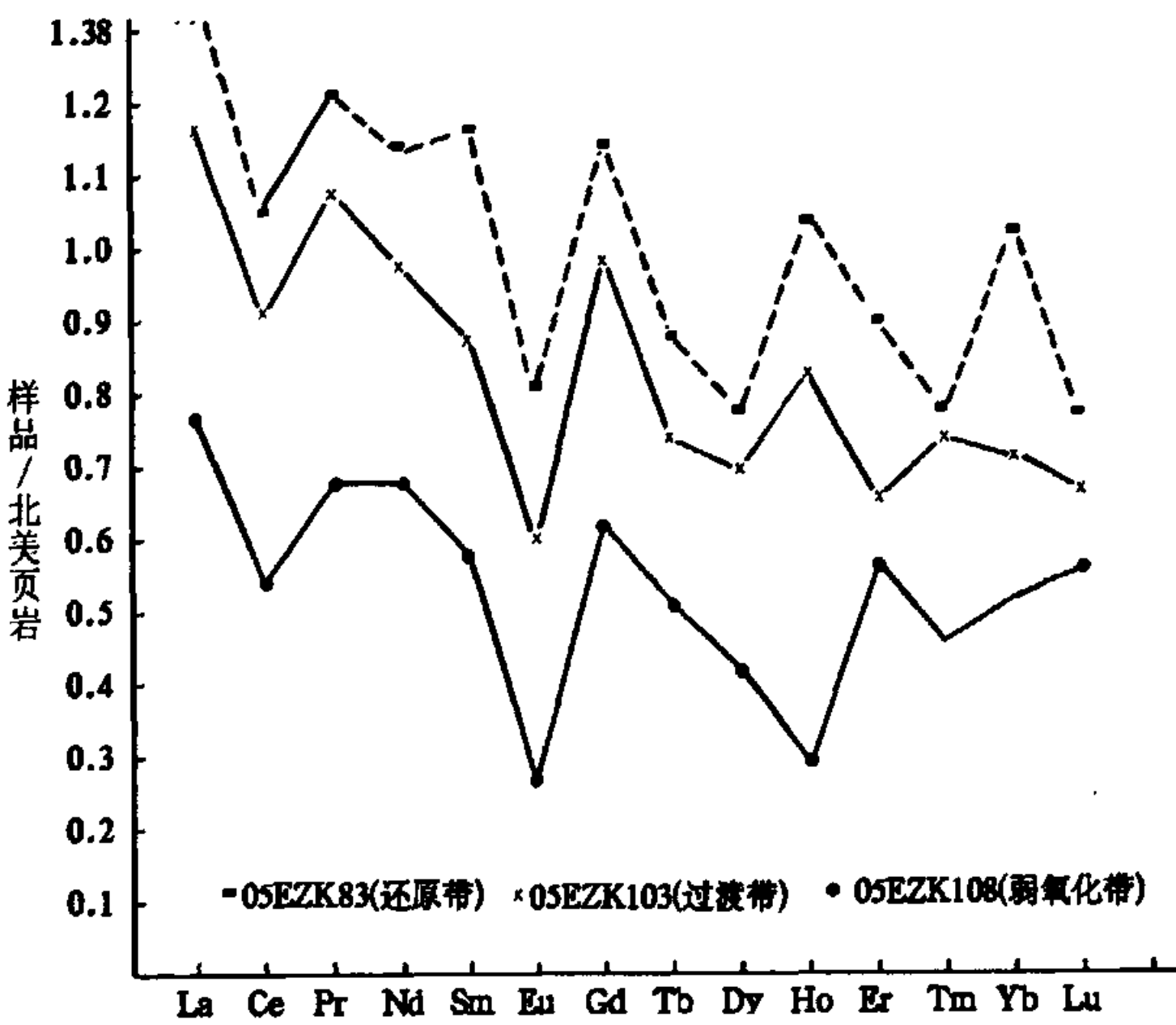


图 1 HAB 地段延安组层间氧化带不同分带中稀土元素配分图

Fig.1 REE distribution patterns for different subzones of the interlayer oxidation zone in the Yan'an Formation of the HAB area

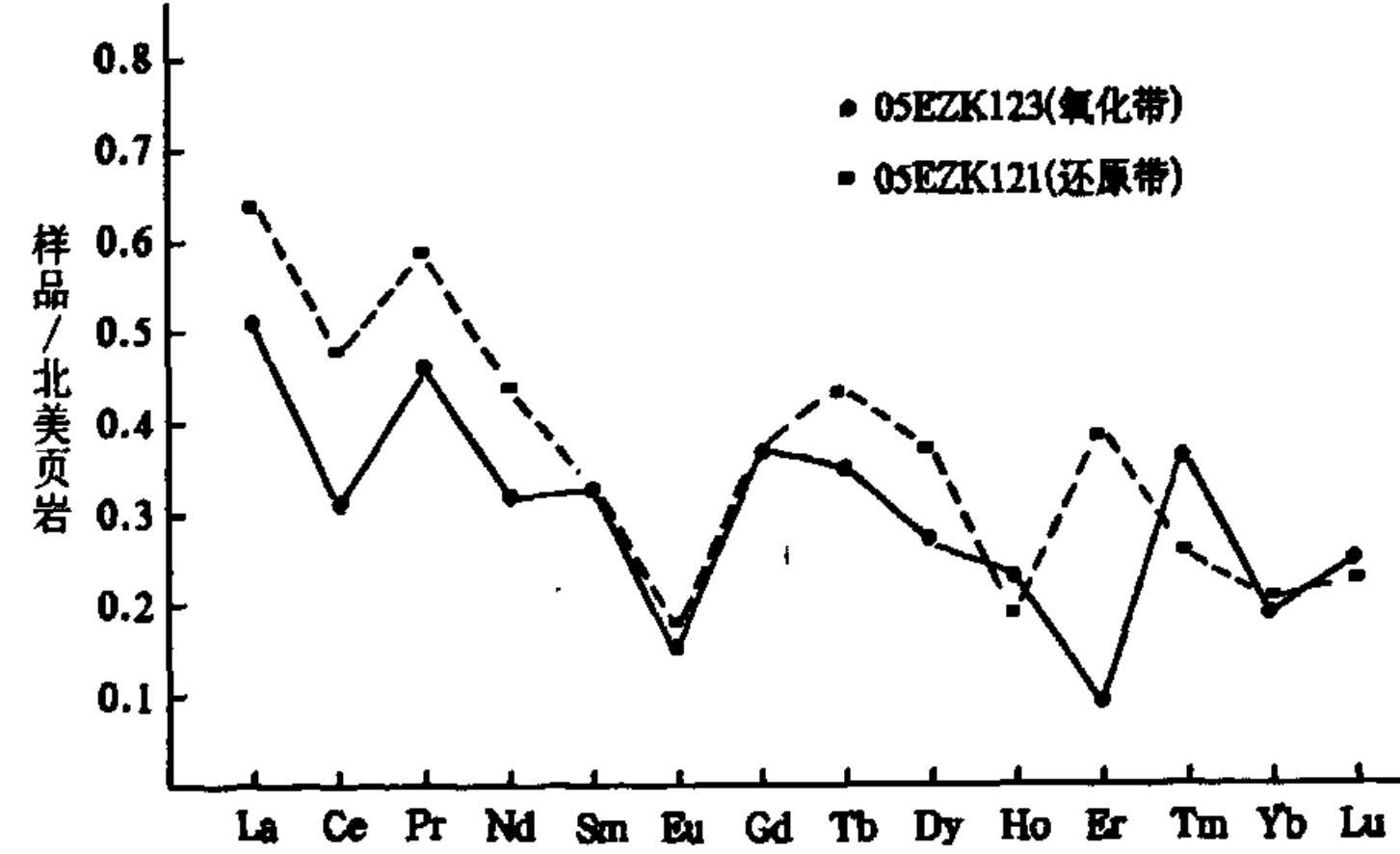


图 2 HAB 地段直罗组氧化带和还原带稀土元素配分
Fig.2 REE distribution patterns for the oxidation zone and reduction zone in the Zhiluo Formation in the HAB area

表 3 直罗组层间氧化带地球化学特征						
Table 3 Geochemical characteristics of the interlayer oxidation zone in the Zhiluo Formation						
岩性 (样品数)、分带	U/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	有机炭/10 ⁻²	全硫/10 ⁻²	Fe ³⁺ /Fe ²⁺	Σ C(μ L/kg)
氧化带——氧化中细砂岩 (18)	4.84	4.88	0.03	0.03	6.28	6720.1
过渡带——矿化砂岩 (6)	95.6	4.58	0.46	1.49		11834.9
还原带——灰色砂岩 (9)	4.97	5.41	0.17	0.67	0.37	7516.4

注:稀土由核工业二〇三所分析测试中心测定,氧同位素由中国地质科学院矿产资源研究所测定。

表 4 直罗组层间氧化带不同分带中稀土元素含量和氧同位素值					
Table 4 REE contents and oxygen isotope values in different subzones of the interlayer oxidation zone in the Zhiluo Formation					
岩性分带 (样品数)、	LREE/10 ⁻⁹	HREE/10 ⁻⁹	Σ REE/10 ⁻⁹	LREE/HREE	δ ¹⁸ O/‰
弱氧化带——褐黄色中砂岩	53.58	5.13	58.71	10.44	10.3
过渡带——浅灰色中砂岩	61.97	12.71	74.68	4.88	11.0
还原带——浅灰色中砂岩	74.29	6.74	81.03	11.02	11.6

注:稀土由核工业二〇三所分析测试中心测定,氧同位素由中国地质科学院矿产资源研究所测定。

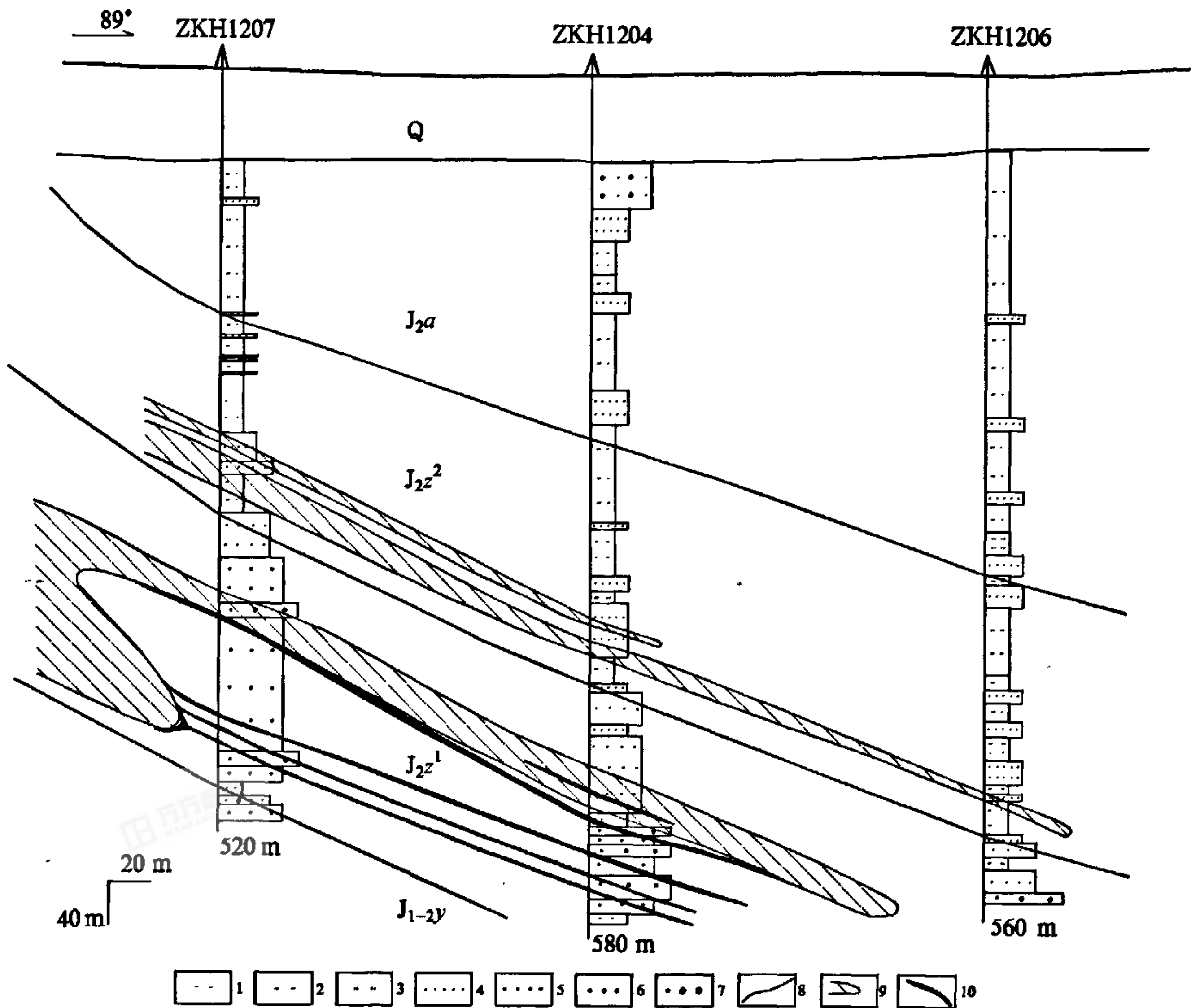


图 3 HAB 地段 12 号勘探线地质剖面图

1—泥岩;2—泥质粉砂岩;3—粉砂岩;4—细砂岩;5—中砂岩;6—粗砂岩;7—砂砾岩;8—地质界线;9—层间氧化带;
10—铀矿化;Q—第四系;J_{2a}—安定组;J_{2z1}—直罗组上段;J_{2z2}—直罗组下段;J_{2y}—延安组

Fig 3 A schematic geologic section of No. 12 exploration line in the Huianbu area

1— Mudstone;2—Muddy siltstone;3—Siltstone;4—Fine Sandstone;5—Medium sandstone;6—Grit;
7—Sandy conglomerate;8—Geologic boundary;9—Interlayer oxidation zone;10—Uranium mineralization;Q—Quaternary;J_{2a}—Aniding Formation;J_{2z1}—Upper Member of the Zhiluo Formation;J_{2z2}—Lower Member of the Zhiluo Formation;J_{2y}—Yan, an Formation

2.2 直罗组层间氧化带铀矿化特征

层间氧化带分布于背斜翼部。层间氧化带前锋线南北向断续延伸可达30 km以上,厚一般20~90 m,宽几千米。氧化带为褐黄色,粉红色,主要为褐铁矿化和水针铁矿化及赤铁矿化,炭屑、有机质被完全氧化。过渡带颜色为灰色—灰黄色,可见到一些氧化形成的褐铁矿斑点,含有炭化植物碎屑及黄铁矿。还原带颜色为灰—深灰色,常见较多的炭化植物碎屑和黄铁矿。

从氧化带—过渡带—还原带U、Th、 $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}^{2+}$ 、有机炭、全硫、酸解烃、氧同位素和稀土元素值呈现规律性变化(表3~4),层间氧化带显示分带性好。

HAB地段氧同位素 $\delta^{18}\text{O}$ 值从氧化带向还原带变大,说明层间氧化带形成时层间氧化流体大气降水的成分相对较多,受地表潜水的影响较大。可能与延安组相比埋深较浅,易与地表潜水沟通有关。

HAB地段从氧化带向还原带在稀土元素的配分上相似(图2)。表明整个地层、岩石具有统一的物源、沉积环境和构造背景。

稀土总量(ΣREE)从氧化带向还原带具有弱氧化亚带最低、过渡带居中、还原带较高的特点,该区在还原带稀土富集。轻重稀土比值(LREE/HREE)在弱氧化亚带较高,过渡带最低,还原带最高,说明过渡带有较多的轻稀土迁出,沉淀到含有机质、粘土质丰富的还原带内。

矿化在层间氧化带翼部的过渡带中(图3),矿化层数较多有2~17层,单层厚度10~1.80 m,铀品位0.01%~0.0394%,铀量1.05~3.26 kg/m²,多产于疏松、较疏松灰色中粗砂岩中,铀矿物主要为沥青铀矿。目前沿层间氧化带前锋线南北向分布的地带初步控制了一个5000 m的矿带。

综上所述,鄂尔多斯盆地西缘HAB地区具有层间氧化带铀矿形成的有利条件,含矿层发育具有一定规模、含有一定量有机炭作为还原剂、具有渗透性和铀源条件好的灰色砂体,层间氧化带具有一定的规模,分带性好,是铀矿化形成的重要因素。受层间氧化带翼部过渡带控制的铀矿化规模大、层数多、品位富,显示出本区具有很好的成矿潜力^[6-9]。今后的工作是应进一步控制延安组和直罗组层间氧化带前锋线的展布形态、追索矿体规模。尽快使该区落实成为新的铀资源勘查基地。

参考文献(References):

[1] 张岳桥,廖昌珍.晚中生代—新生代构造体制转换与鄂尔多斯盆地

改造[J].中国地质,2006,33(1):28-40.

Zhang Yueqiao, Liao Changzhen. Transition of the Late Mesozoic—Cenozoic tectonic regimes and modification of the Ordos basin [J]. Geology in China, 2006, 33 (1): 28-40 (in Chinese with English abstract).

[2] 龚斌利. 浅析影响砂岩渗透性的主要因素 [J]. 世界核地质科学, 2006, 23(3): 145-150.

Gong Binli. Elementary Analysis on the main factors affecting the permeability of sandstones [J]. World Nuclear Geoscience, 2006, 23 (3): 145-150 (in Chinese with English abstract).

[3] 刘平. 与层间氧化带有关的铀矿床的同位素地球化学研究 [J]. 国外铀金地质, 1998, 15(3): 216-219.

Liu Ping. On interlayer oxidation zone uranium deposits isotope geochemistry [J]. Overseas Uranium and Gold Geology, 1998, 15 (3): 216-219 (in Chinese with English abstract).

[4] 王果, 华仁民. 乌库尔其地区层间铀成矿过程中流体作用研究[J]. 矿床地质, 2000, 19(4): 340-348.

Wang Guo, Hua Renmin. On fluid action in interlayer Uranium metallogenic process [J]. Mineral Deposits, 2000, 19(4): 340-348 (in Chinese with English abstract).

[5] 王金平. 层间氧化带中稀土元素的赋存特征初步研究 [J]. 西北铀矿地质, 2006, 32(1): 1-6.

Wang Jinping. Preliminary study on the existence feature of rare element in intrastified oxidized zone [J]. Uranium Geology of Northwest China, 2006, 32(1): 1-6 (in Chinese with English abstract).

[6] 邢秀娟, 柳益群, 樊爱萍. 鄂尔多斯盆地店头地区砂岩型铀矿成因初步探讨[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 591-597.

Xing Xiujuan, Liu Yiqun, Fan Aiping. Genesis of sandstone-type uranium deposits: A case study in the Diantou area of the Ordos basin [J]. Geology in China, 2006, 33(3): 591-597 (in Chinese with English abstract).

[7] 赵希刚, 吴汉宁, 杨建军, 等. 砂岩型铀矿航空伽马能谱数据微弱信息增强的地质意义[J]. 中国地质, 2007, 34(3): 478-485.

Zhao Xigang, Wu Hanning, Yang Jianjun, et al. Geological significance of weak information enhancement of airborne gamma energy spectral data for sandstone type uranium deposits [J]. Geology in China, 2007, 34(3): 478-485 (in Chinese with English abstract).

[8] 周巧生, 李占游. 吐哈盆地西南缘地浸砂岩型铀矿地质特征及找矿前景[J]. 中国地质, 2003, 30(2): 186-191.

Zhou Qiaosheng, Li Zhanyou. Geological characteristics and ore prospects of underground leaching sandstone-type uranium deposits on the southwestern margin of the Turpan-Hami basin [J]. Geology in China, 2003, 30(2): 186-191 (in Chinese with English abstract).

[9] 吴伯林, 徐高中, 李卫红, 等. 吐哈盆地地浸砂岩型铀矿成矿条件与盆地动力学演化[J]. 中国地质, 2004, 31(1): 101-107.

Wu Bolin, Xu Gaozhong, Li Weihong, et al. Metallogenic conditions of in-situ leachable sandstone-type uranium deposits and dynamic evolution of the Turpan-Hami basin [J]. Geology in China, 2004, 31(1): 101-107 (in Chinese with English abstract).

Characteristics of uranium mineralization in the interlayer oxidation zone of the HAB area on the western margin of the Ordos basin

GONG Bin-li, XU Gao-zhong, LI Wei-hong

(No. 203 Research Institute, China National Nuclear Corporation, Xianyang 712000, Shaanxi, China)

Abstract: The uranium mineralization bed in the interlayer oxidation zone in the HAB area on the western margin of the Ordos basin consists of gray sandstone, which has good permeability and uranium sources and contains a fair amount of organic carbon as the reducing agent. The interlayer oxidation zone has a certain extent and shows good zoning. Uranium mineralization controlled by the transition zone at the sides of the interlayer oxidation zone is characterized by a large extent, multiple beds and a high ore grade, showing good ore potential for the area. The authors suggest that the future mineral prospecting work should focus on further controlling the distribution shape of the front boundary of the interlayer oxidation zone of the Yan'an and Zhiluo formations and tracing the size of the orebody.

Key words: western margin of the basin; HAB area; sandstone body; interlayer oxidation zone; uranium mineralization

About the first author: GONG Bin-li, male, born in 1962, senior engineer, engages in the study and production of uranium deposits; E-mail: 203y@bog.com.cn.