

尚高峰, 郭长林, 曹雷. 吐哈盆地苏巴什地区砂体非均质性与铀矿化关系探讨[J]. 世界核地质科学, 2025, 42(1): 29-44.
doi: 10.3969/j.issn.1672-0636.2025.01.003

SHANG Gaofeng, GUO Changlin, CAO Lei. Discussion on the relationship between sandbody heterogeneity and uranium mineralization in Subashi area, Turpan-Hami basin[J]. World Nuclear Geoscience, 2025, 42(1): 29-44 (in Chinese).

吐哈盆地苏巴什地区砂体非均质性与铀矿化关系探讨

尚高峰, 郭长林, 曹雷

核工业二〇三研究所, 陕西 西安 710086

摘要 近年来吐哈盆地苏巴什地区砂岩型铀矿找矿工作取得重大进展, 勘查显示砂体非均质性是控制铀成矿的关键因素之一。对苏巴什地区西山窑组的砂体厚度、含砂率、沉积相、泥岩隔层层数、含矿砂岩粒度和有机质含量等开展系统分析, 查明砂体非均质性空间变异特征并探讨其与铀矿化的关系。研究结果显示, 分流河道砂体厚度较大, 连通性好, 具有较强的均质性; 而间湾处砂体非均质性强, 泥岩隔挡层较发育, 砂体厚度较薄。砂体空间非均质性的变异, 造成含氧含铀水运移方向的变化, 砂体中流体运移速度也随之降低, 导致铀的卸载与沉淀成矿。苏巴什地区当砂体厚度介于19~54 m之间, 含砂率介于60%~80%之间, 泥岩隔挡层数介于3~5层之间时, 岩性为有机质含量较高的水下分流河道与间湾过渡部位的细砂岩时, 对铀成矿更为有利。

关键词 砂体非均质性; 铀矿化; 西山窑组; 苏巴什地区; 吐哈盆地

中图分类号 P619.14; P598 文献标志码 A 文章编号 1672-0636 (2025) 01-0029-16

Discussion on the relationship between sandbody heterogeneity and uranium mineralization in Subashi area, Turpan-Hami basin

SHANG Gaofeng, GUO Changlin, CAO Lei

Research Institute No.203 CNNC, Xi'an 710086, China

Abstract: In recent years, significant progress has been made in the exploration of sandstone type uranium deposits in the Subash area of the Turpan-Hami basin. Exploration shows that heterogeneity of sand bodies is one of the key factors controlling uranium mineralization. This article systematically analyzes the thickness, sand content, sedimentary facies, aquiclude numbers, ore bearing sandstone grain size, and organic matter content of the Xishanyao formation in the Subash area, identifies the spatial variation characteristics of sand heterogeneity, and explores its relationship with uranium mineralization. The research results show that the thickness of sand bodies in distributary channels is relatively large, with good connectivity and strong homogeneity. The heterogeneity is strong at the bay between the distributaries, with well-developed mudstone barriers and thin sand bodies. The variation of spatial heterogeneity in sand bodies causes the changes in the direction of oxygen and uranium water transport, resulting in a decrease in fluid transport velocity, leading to uranium unloading and precipitation for the mineralization. In the Subashi area, the favorable condition for

收稿日期: 2024-10-23 改回日期: 2024-12-31

第一作者: 尚高峰, 男, 1978年生, 工程师, 主要从事铀矿找矿和研究工作。E-mail: sgf331@163.com

Received date: 2024-10-23 revised date: 2024-12-31

First author: SHANG Gaofeng, male, born in 1978, engineer, focusing on uranium exploration and research work. E-mail: sgf331@163.com

uranium mineralization is that the thickness of the sand body is 19–54m, the sand content is 60 % –80 %, the number of aquiclude is 3–5, and the lithology is fine sandstone at the transition between the underwater distributary channel and the bay with high organic matter content.

Keywords: heterogeneity; uranium mineralization; Xishanyao formation; Subashi area; Turpan–Hami basin

吐哈盆地是我国重要的产煤产油盆地,同时吐哈盆地南部具有良好的铀成矿条件^[1]。已在吐哈盆地西南缘艾丁湖斜坡带二级构造单元上发现十红滩铀矿床,并在近年来“三新”找矿^[2]的指引下逐渐向外围扩展,目前在距十红滩矿床西部约 30 km 的苏巴什地区中侏罗统西山窑组发现了较好的铀矿化。部分专家学者对苏巴什地区的铀矿化特征及铀成矿规律,地层、岩石学特征、铀成矿条件及铀矿流体动力学做了研究^[3-7],但对砂体非均质性与铀矿化关系未做深入分析,因此笔者通过对该区西山窑组砂体厚度、含砂

率、隔层层数、含矿岩性粒度、砂体渗透系数及有机质等方面研究,提出砂体的非均质性制约着铀矿的富集成矿,为今后在该地区开展铀矿找矿开拓思路。

1 地质概况

吐哈盆地位于塔里木、西伯利亚和哈萨克斯坦三大板块的交接复合部位(图 1)。吐哈盆地南缘的觉罗塔格山在天山造山带形成前是西伯利亚板块的边缘部分,是准噶尔–吐鲁番大陆边缘板块的一部分^[8]。吐哈盆地则是中生代板内构造发展演化阶段的产物^[9]。

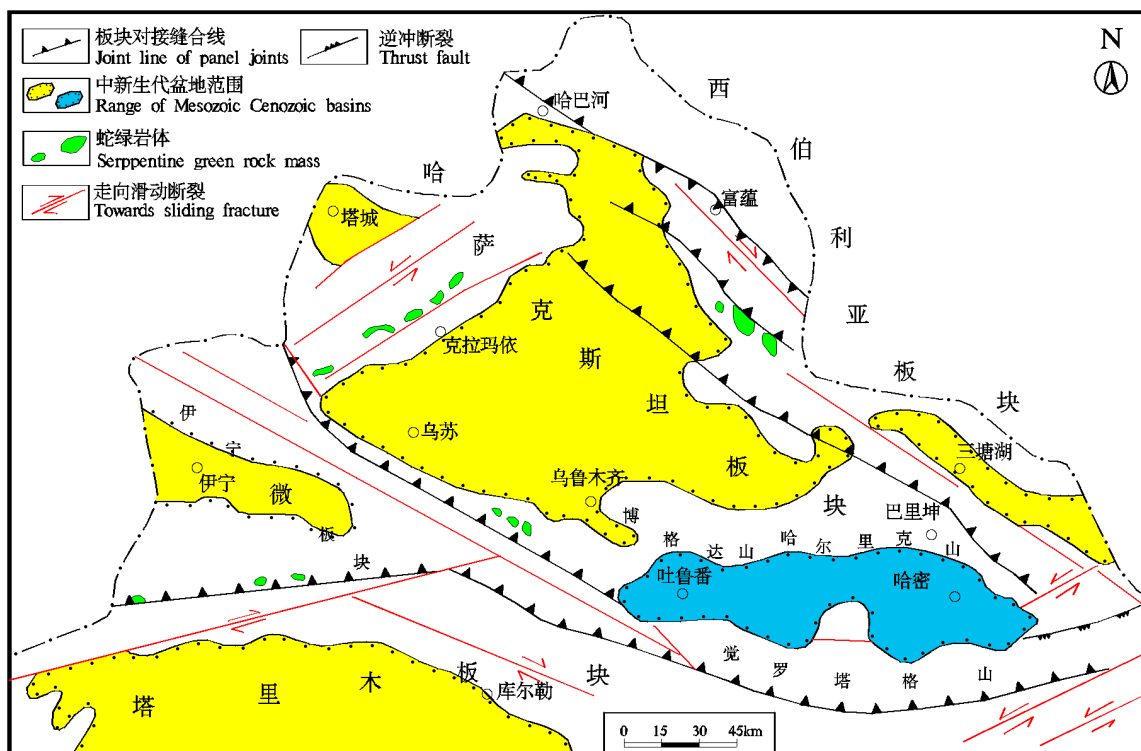


图 1 吐哈盆地构造图

Fig. 1 Structure location map of the Turpan–Hami basin

苏巴什地区位于吐哈盆地西南缘的艾丁湖斜坡带二级构造单元之上,以简单的北倾斜坡构造为主,倾角一般小于 10° ,其间发育多组由南向北逆冲构造。东西向局部发育宽缓褶皱,地表表现为起伏不定的戈壁地貌。

苏巴什地区地层基底为石炭世地层^[10],主要为含铀量较高的凝灰岩及变质碎屑岩。揭露地层依次为中一下侏罗统(J_{1-2}),古近系鄯善群(E)及第四系(Q)^[11]。其中,中一下侏罗统(J_{1-2})为一套辫状河–曲流河相沉积含煤碎屑岩

建造^[9,12](图 2);古近系鄯善群主要由砖红色泥质砂岩,砂质泥岩组成,为一套干旱气候环

境下形成的冲-洪积物;第四系为洪积砂、砾石组成。

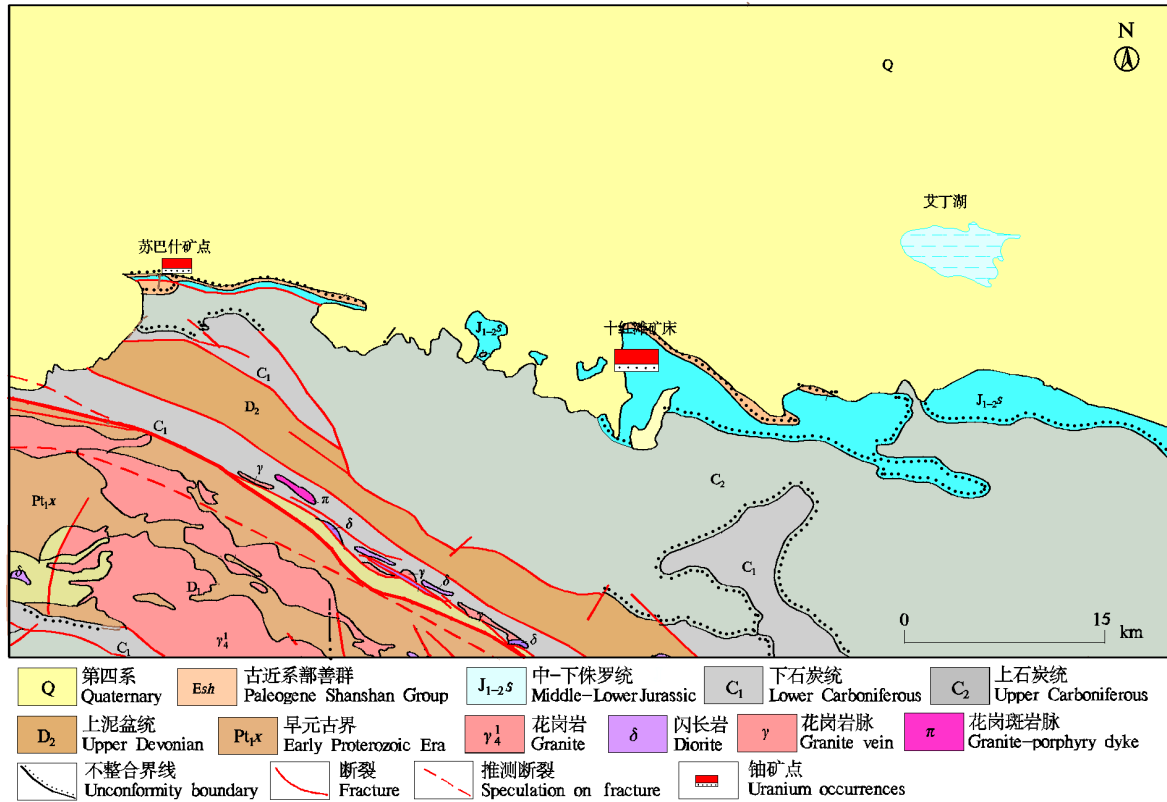


图 2 研究区地质略图

Fig. 2 Sketch geological map of study area

2 砂体划分及目的砂体特征

2.1 砂体划分

工作区揭露的地层为侏罗系、古近系和第四系。第四系大面积分布于工作区的地表,古近系在各区段均有分布,侏罗统是区内层间氧化带型铀矿化发育的主要层位,属温湿气候条件下的准平原化河流-湖沼相含煤碎屑岩沉积建造,分布大量河流三角洲相砂体,地层具泥-砂-泥结构。根据沉积作用特征,沉积环境和规模,透水砂岩与隔水泥岩、泥质粉砂岩、煤层的垂向配置及在平面上的分布特征,将中-下侏罗统分为下侏罗统八道湾组、三工河组和中侏罗统西山窑组^[13](图 3)。通过与位于同一构造单元的十红滩矿床赋矿层位对比分析,认为苏巴什地区含矿砂体以中侏罗统西山窑组砂体为主,西山窑组可进一步划分为西山窑组第 1、第 2 和第 3 岩性段,目前发现的铀矿化主要位于中侏罗统西山窑组第 2 岩性段中。

2.2 目的砂体特征

中侏罗统西山窑组是苏巴什地区主要的找矿层位(图 4),西山窑组主要发育 1~3 层砂体。各砂体间被稳定的泥岩层隔开,形成相对独立的地下水径流系统,有利于层间氧化带发育。三工河组和八道湾组在苏巴什地区埋藏较深,且目前已揭露钻孔中氧化带不发育,故不作当前的主攻层位。

苏巴什地区西山窑组砂体(J₂x),为一套河流三角洲相沉积。砂体发育稳定,总体由南向北逐渐变薄(图 5),岩性以细砂岩、中砂岩和粗砂岩为主,其次为含砾粗砂岩,是铀成矿最有利的砂体。

砂体底板埋深介于 215~779 m 之间(图 6),底板埋深总体自南向北逐渐加深,产状较平缓,东部和西部埋深相对较浅,中部埋深相对较深。砂体下部隔水层由西山窑组浅湖相泥岩、粉砂岩组成,厚度较大,均在 10 m 以上,比较稳定^[6,13]。

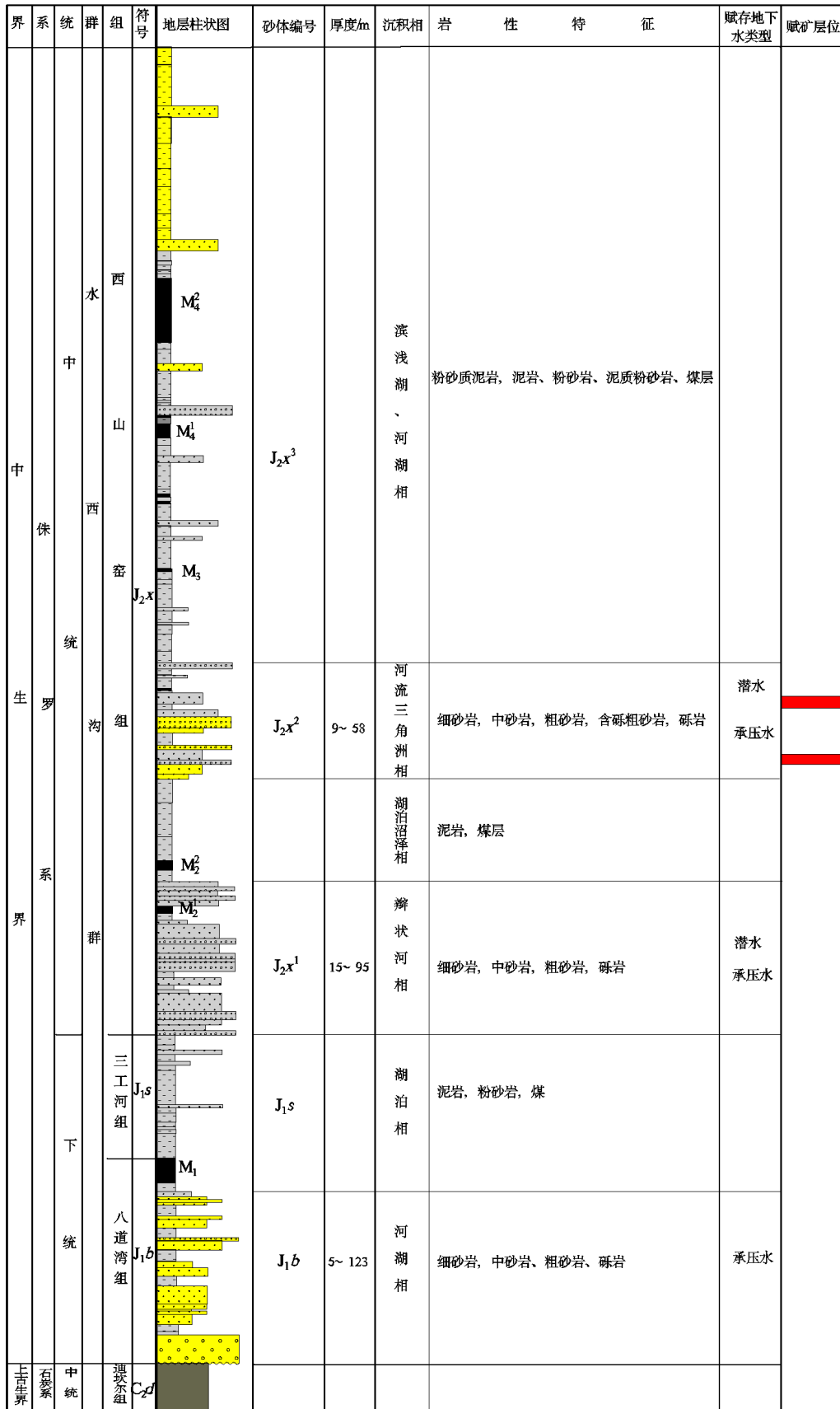


图 3 吐哈盆地苏巴什地区地质综合柱状图

Fig. 3 Comprehensive geology column map of Subashi area in Turpan-Hami basin

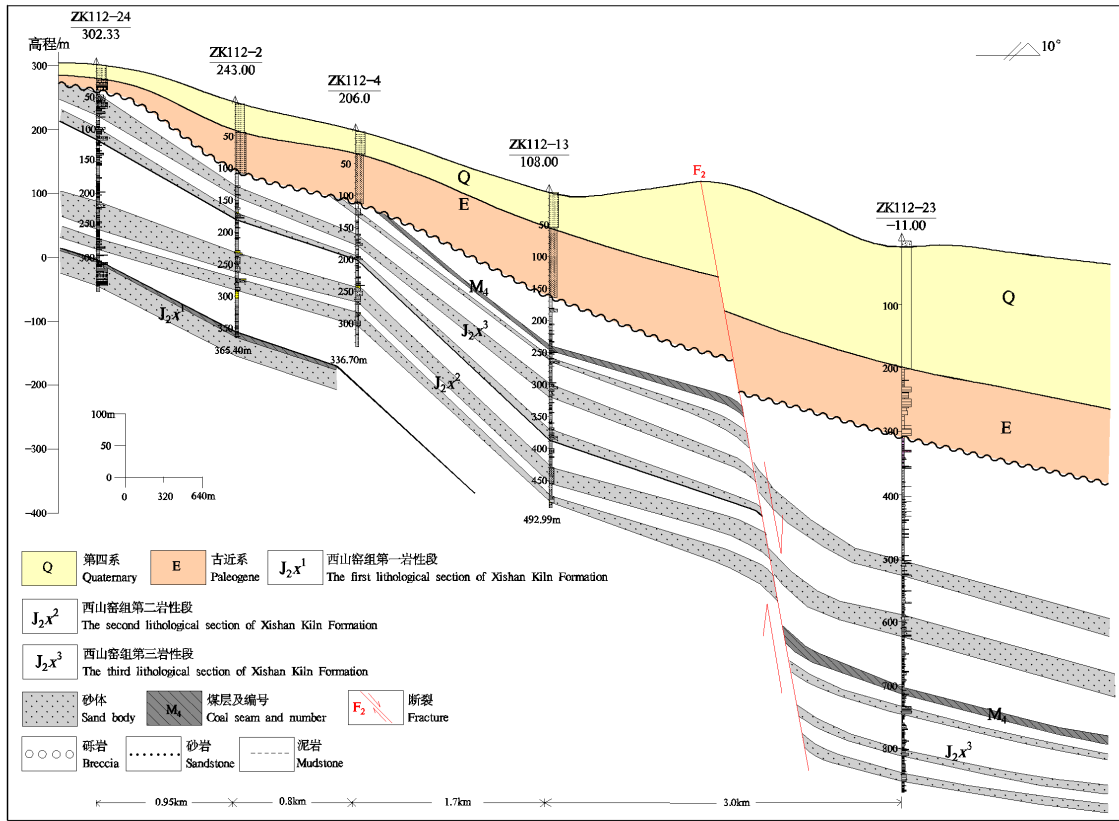


图 4 苏巴什地区 112 号勘探线地质剖面图

Fig. 4 Geologysection of exploration line 112 in Subashi area

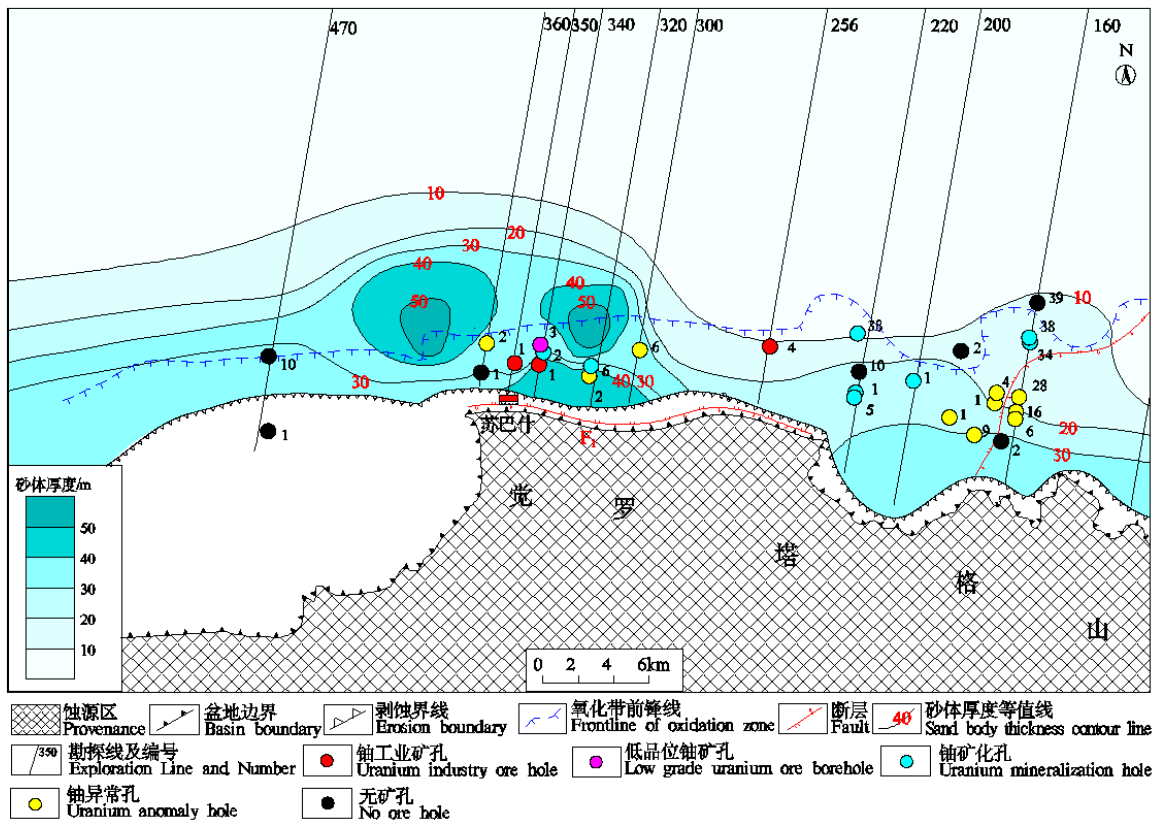


图 5 苏巴什地区西山窑组砂体厚度等值线图

Fig. 5 Contour map of sandbody thickness of Xishanyao formation in Subashi area

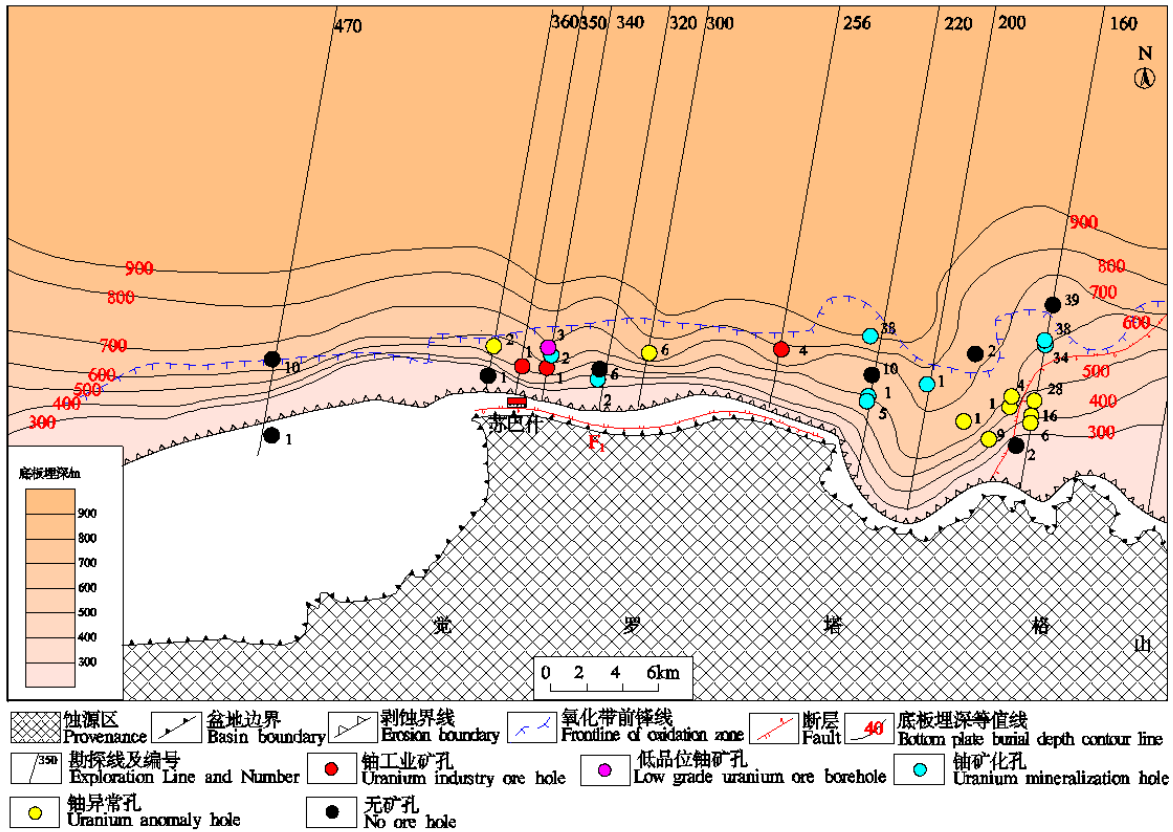


图6 苏巴什地区西山窑组砂体底板等值线图

Fig. 6 Contour map of buried depth of sandbody floor of Xishanyao formation in Subashi area

3 砂体非均质性与铀矿化关系

非均质性的概念早期由石油地质学家提出,主要是用来揭示砂体非均质性导致油气储存与开发的复杂性^[14]。这一概念同样适用于砂岩型铀矿储层的研究^[15]。

砂体非均质性是指砂体中含水介质的性质在空间上的不均匀分布,这种非均质性对于铀矿的形成和开采都有着重要影响。砂体的非均质性不仅可以影响含矿流体的运移速度,而且还会影响其运移方向,进而实现对铀成矿的控制。例如砂体厚度、含砂率和隔水层层数等参数的变化都会影响铀矿的形成。

3.1 砂体平面非均质性与铀矿化关系

苏巴什地区砂体自然连续性较好,较稳定,但平面上仍表现出明显的非均质性,主要表现在砂体厚度、含砂率及沉积特征方面。

3.1.1 砂体厚度变化与铀矿化关系

苏巴什地区钻孔资料数据分析结果显示:目的砂体埋深范围介于322~731 m之间,厚度

介于19~54 m之间,平均厚度28 m(表1)。依据目的层砂体厚度等值线图(图5)可以看出,砂体厚度从南向北逐渐变小,向北东方向呈带状展布。其中在112~220线之间砂体最大厚度达32 m,砂体厚度沿北东向逐渐变小;在西部砂体厚度较大的300~470线,最大厚度可达54 m,向两侧砂体厚度变薄^[6,13]。厚大的砂体为含铀含氧水的渗流提供通道,是成矿流体发育的主要通道,其规模和联通性也控制着氧化流体的运移方向。砂体厚度的变化,使得含氧含铀水的流速发生变化,流速变慢部位的含氧含铀水与还原物质充分接触,为铀的沉淀提供条件,砂体由厚变薄部位是铀矿有利富集部位。

3.1.2 含砂率的非均质性与铀矿化关系

苏巴什地区南部砂体分选性好,泥岩夹层较少,含砂率值高。含砂率自南向北逐渐降低,自东向西含砂率也逐步减小(图7)^[6,13]。研究发现工业铀矿体及矿化主要位于含砂率介于60%~80%之间的三角洲前

表 1 苏巴什地区西山窑组目的砂体规模统计表

Table 1 Statistical table of the target sandbody scale of Xishanyao formation in Subashi area

序号	孔号	埋深/m		厚度/m
		起	止	
1	ZK168-1	571	594	23
2	ZK168-4	630	657	27
3	ZK184-1	670	698	28
4	ZK200-1	731	753	22
5	ZK220-1	631	655	24
6	ZK256-4	709	728	19
7	ZK310-1	516	539	23
8	ZK320-2	424	475	51
9	ZK320-6	469	506	37
10	ZK340-1	322	376	54
11	ZK340-2	631	647	16
12	ZK340-3	676	692	16
13	ZK350-1	464	490	26
14	ZK470-10	654	685	31

缘水下分流河道或边缘部位。这些部位砂体厚度相对较大, 连通性和渗透性较好, 有利于含铀含氧水的运移。由于泥岩夹层相对较

少, 且矿体周围含砂率变化较快, 利于铀成矿, 反映出砂体含砂率非均质性与铀成矿有密切关系^[16]。

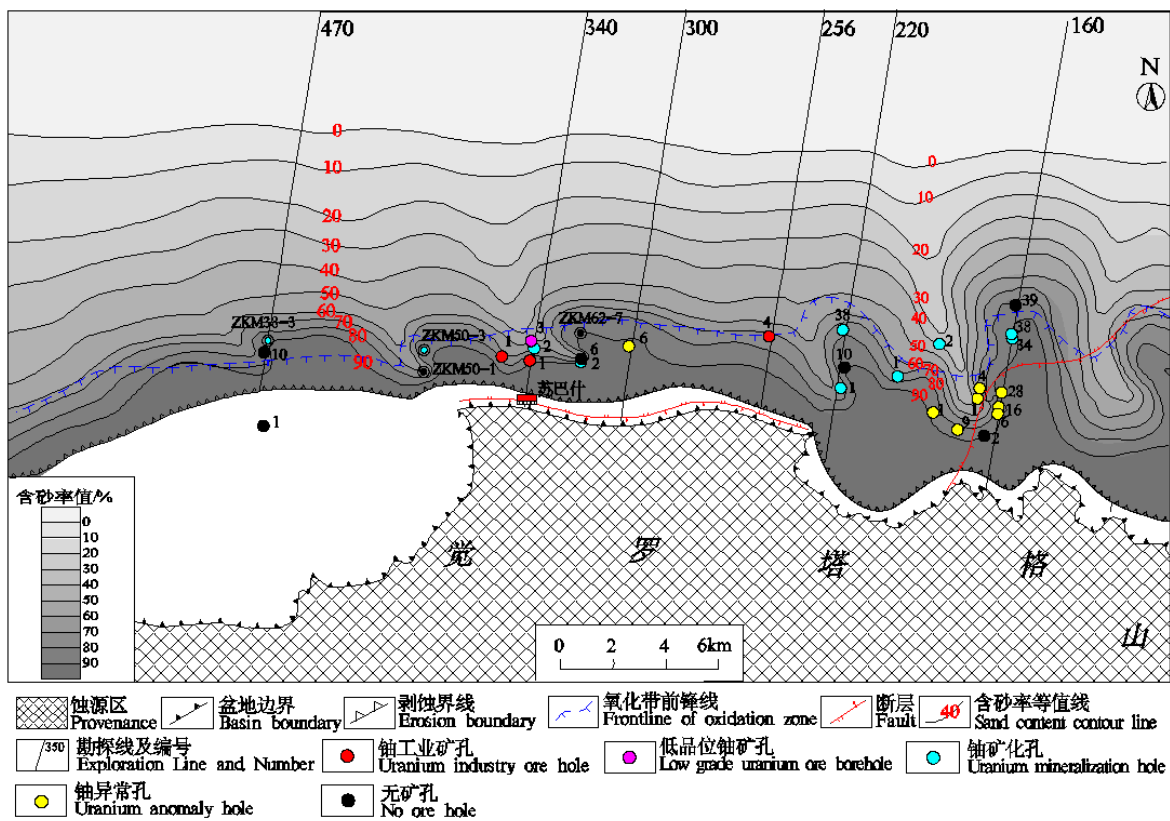


图 7 苏巴什地区西山窑组砂体含砂率厚度等值线图^[6]

Fig. 7 Contour map of sand content of the target sandbody of Xishanyao formation in Subashi area^[6]

3.1.3 沉积微相分布对砂体分布和均质性的影响

依据西山窑组目的层沉积相图(图8),该区沉积相以辫状河三角洲相沉积为主,属于辫状河三角洲前缘亚相,岩性为灰色、褐黄色细砂岩、中砂岩和泥岩,夹薄煤层,富含炭屑、黄铁矿等还原物质^[6,13],具有典型的泥岩-砂岩-泥岩沉积结构,

发育多个沉积韵律(图9)。苏巴什地区发育辫状河三角洲相沉积,砂体较稳定,分布面积广,厚度较大,岩性疏松,泥质胶结为主,还原砂体中有机质含量较高,靠近蚀源区砂体中发育层间氧化带。一般在水下分流河道与间湾的过渡部位常见铀矿化体,可见沉积相带的非均质性为铀矿化提供充足的储矿空间^[6,13]。

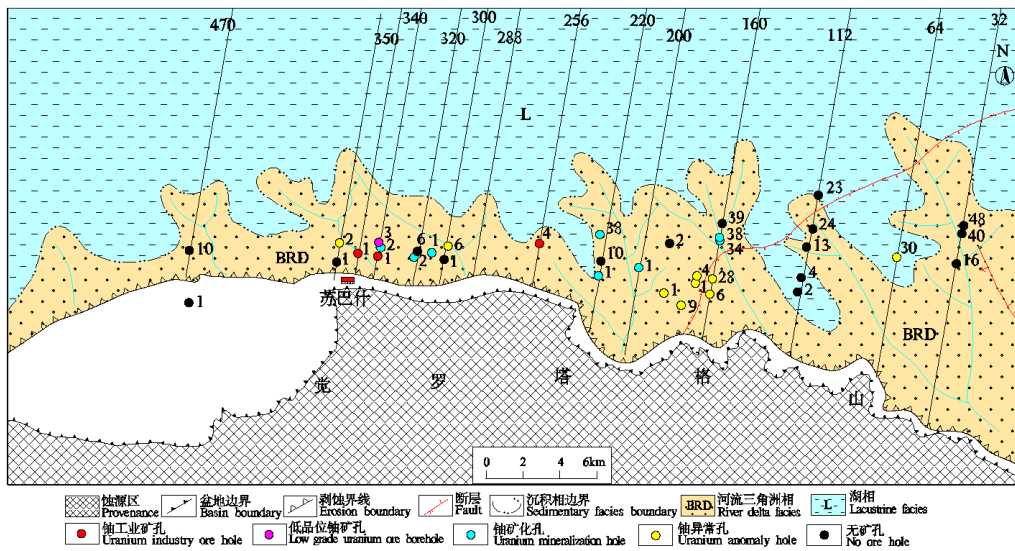


图8 苏巴什地区西山窑组目的层沉积相图^[6]

Fig. 8 Depositional facies map of Xishanyao formation in Subashi area^[6]

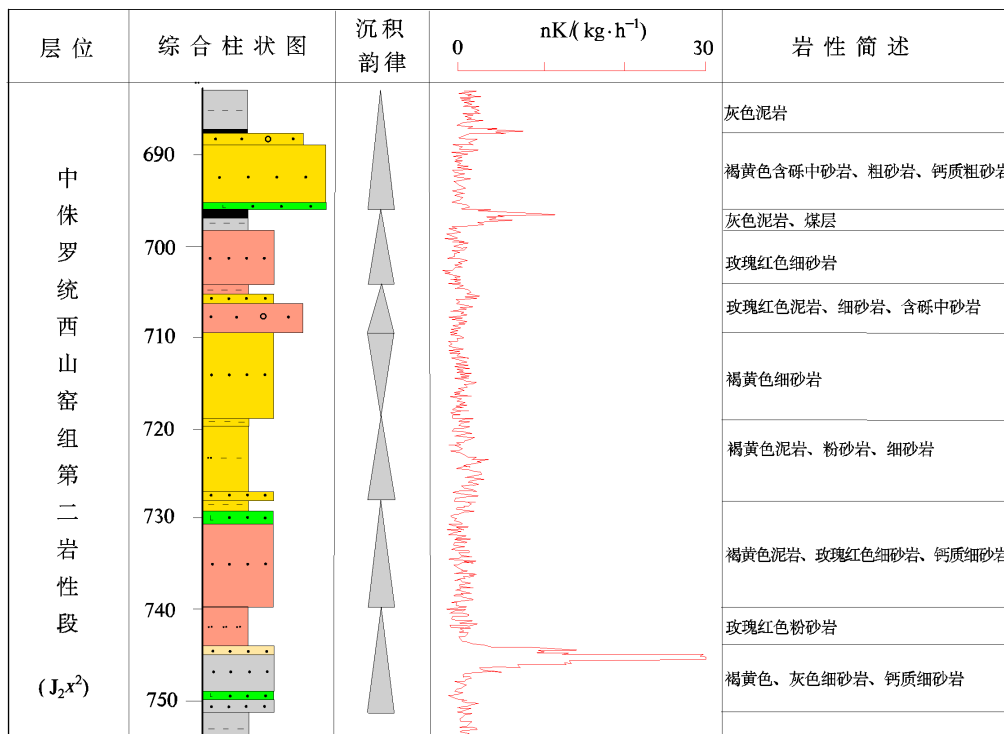


图9 苏巴什地区西山窑组目的砂体沉积韵律结构图

Fig. 9 Sedimentary rhythm structure map of the target sandbody of Xishanyao formation in Subashi area

3.1.4 氧化带与铀矿化关系

苏巴什地段层间氧化带发育规模较大, 层间氧化带发育于西山窑组砂体, 总长度约 32 km (图 10), 埋深介于 301~751 m 之间, 平均厚度 13 m, 平面上呈近 EW 向展布, 由东向西埋深增

大, 剖面上沿地层倾向由南向北逐渐加深, 呈舌状体, 局部因粉砂岩夹层影响出现分叉现象 (图 11)。氧化蚀变颜色为玫瑰红色、褐黄色和浅黄色, 具赤铁矿化、褐铁矿化, 具有明显氧化分带特征。

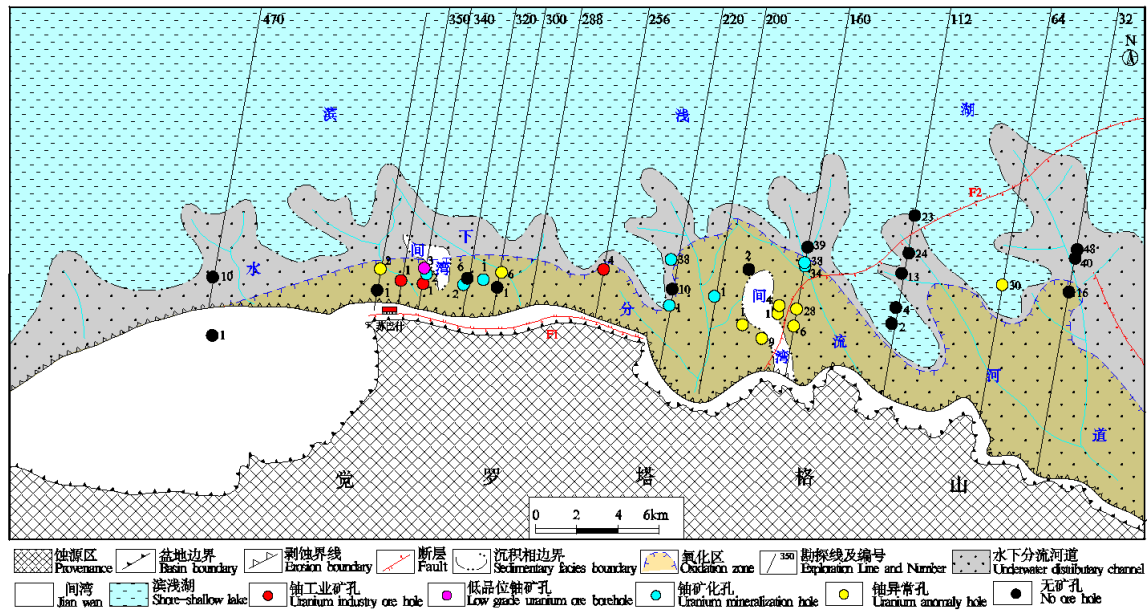


图 10 苏巴什地区层间氧化带展布图

Fig. 10 Distribution of interlayer oxidation zones in the Subashi area

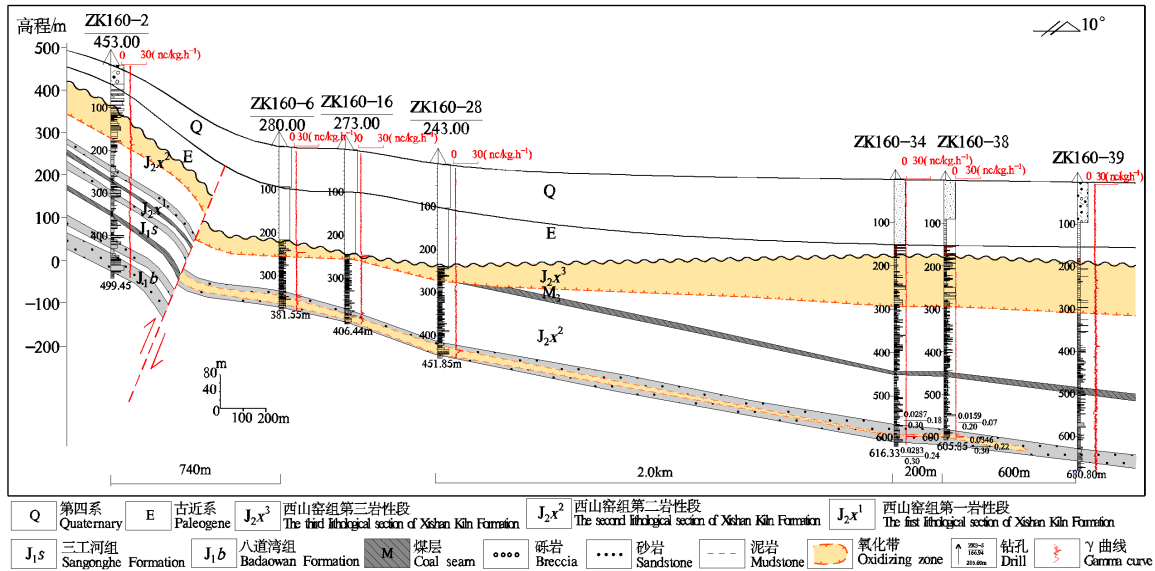


图 11 苏巴什地区 160 号勘探线剖面图

Fig. 11 Profile of exploration line 160 in Subashi area

苏巴什地区铀异常带 (品位 > 0.005%) 平面上与层间氧化带均呈 EW 向展布, 剖面上主要位于层间氧化带翼部或过渡带部位, 铀异常从南向北随砂体氧化率及氧化强度的降低而增大 (图

12)。铀异常 (0.005% > 品位 < 0.01%) 主要位于砂体氧化率接近 100% 的氧化带翼部, 氧化岩石颜色主要为玫瑰红色, 向两侧发育薄层褐黄色; 铀矿化 (品位 > 0.01%, 平米铀量 < 1 kg·m⁻²) 主要

位于砂体氧化率约为 50 % 的氧化带翼部,氧化岩石颜色主要为褐黄色,局部夹条带状玫瑰红色;工业铀矿体(品位>0.01 %,平米铀量>1 kg·m⁻²)

主要位于砂体氧化率约介于 0~50 % 之间的氧化带翼部或卷头部位,氧化岩石颜色主要为浅黄色,局部呈星点状或条带状。

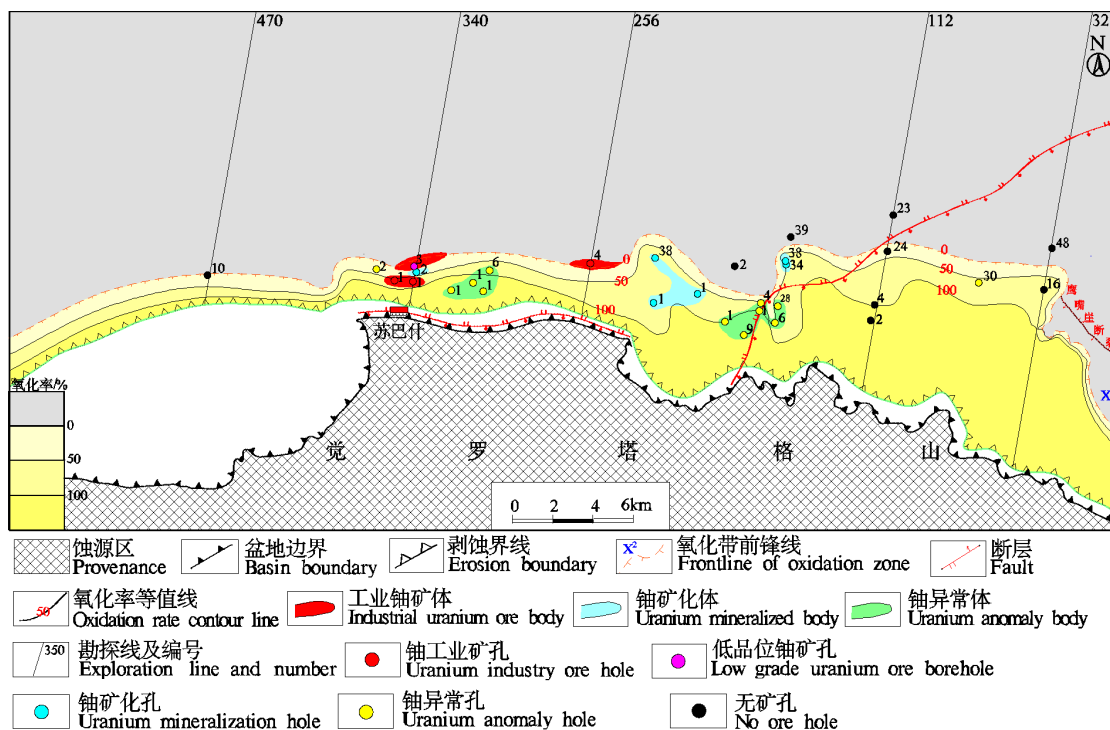


图 12 苏巴什地段主砂体氧化率等值线及铀矿体关系图

Fig. 12 Equivalent lines of oxidation rate of main sand bodies and relationship between uranium ore bodies in the Subashi area

3.2 砂体垂向非均质性与铀矿化关系

砂体的垂向非均质性主要是通过砂体中的隔层及沉积物粒度的变化体现的^[17-18]。

3.2.1 砂体中泥岩隔层与铀矿化关系

隔层主要是对流体渗流起着隔挡作用的低渗透层,如泥岩、粉砂岩和钙质胶结的砂岩等,隔层可以使砂体被分为多个流动单元^[19]。隔层在铀成矿过程中起着至关重要的作用,砂体中如果隔层厚度太大,影响地下水的渗流,则不易形成层间氧化带,无法使铀沉淀富集;如果隔层太薄,则容易使沉淀富集的铀再次被流经的地下水氧化带走,不利于铀的富集沉淀^[20]。

苏巴什地区含矿砂体中泥岩、粉砂岩等隔水层数量统计结果显示:铀矿化主要赋存于隔水层数量介于 3~5 层之间的砂体内,不发育非渗透层的厚大砂体内未见工业铀矿体产出(图 13、14)。这种现象形成的原因是因为分流河道中心泥岩隔挡层少,非均质性相

对弱;而间湾部位泥岩隔挡层数相对较多,砂体非均质性较强。由于砂体非均质性的突变,使含氧含铀水运移速率和方向发生改变,其能量相应地被削减,同时延长砂体中铀元素的物理及化学反应时间,控制铀的富集成矿^[21]。

3.2.2 砂体中岩性粒度与铀矿化关系

该区砂体以细砂岩-粗砂岩、含砾粗砂岩为主,颜色主要为浅黄色、玫瑰红色、褐黄色、灰色,分选性中-差,疏松,泥质胶结。岩矿鉴定结果岩石以岩屑石英砂岩为主,按含矿砂岩粒级划分,以中-细粒岩屑石英砂岩为主,少量含砾中粗砂岩。含矿层岩性粒度统计结果显示(表 2),见矿孔含矿砂岩均为细砂岩,这是因为细砂岩分布在利于氧化带发育的粗砂岩的边缘,充分说明水下分流河道侧向更有利于铀成矿。

苏巴什地区纵剖面图显示(图 15),该区铀矿化体多位于目的砂体的上下翼,紧邻隔水顶底板的泥岩产出,含矿岩性主要为细砂

岩,其上部或下部为氧化中砂-粗砂岩,砂体上、下部岩性较细,中间部位岩性较粗,粒度

垂向上的变化决定砂体垂向的非均质性,进而对铀成矿产生一定的影响。

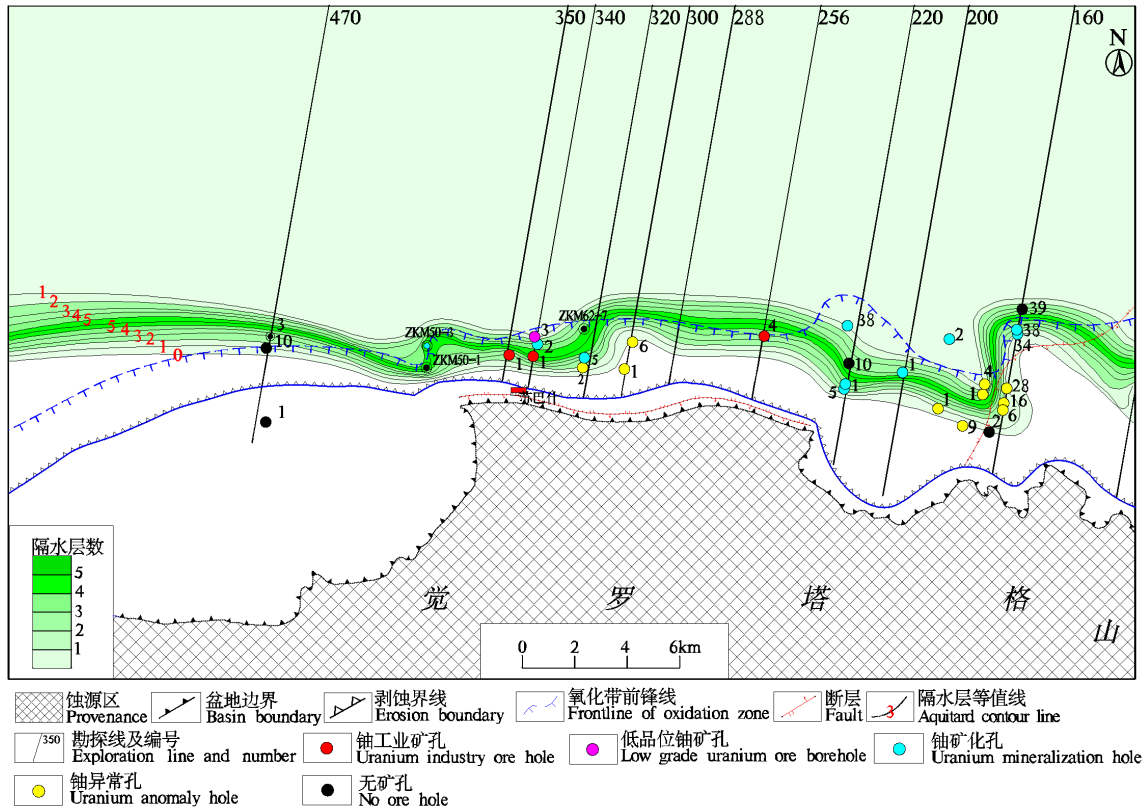


图 13 苏巴什地区含矿层非均质性等值线图

Fig. 13 Isoline map of inhomogeneity of ore-bearing strata in Subashi area

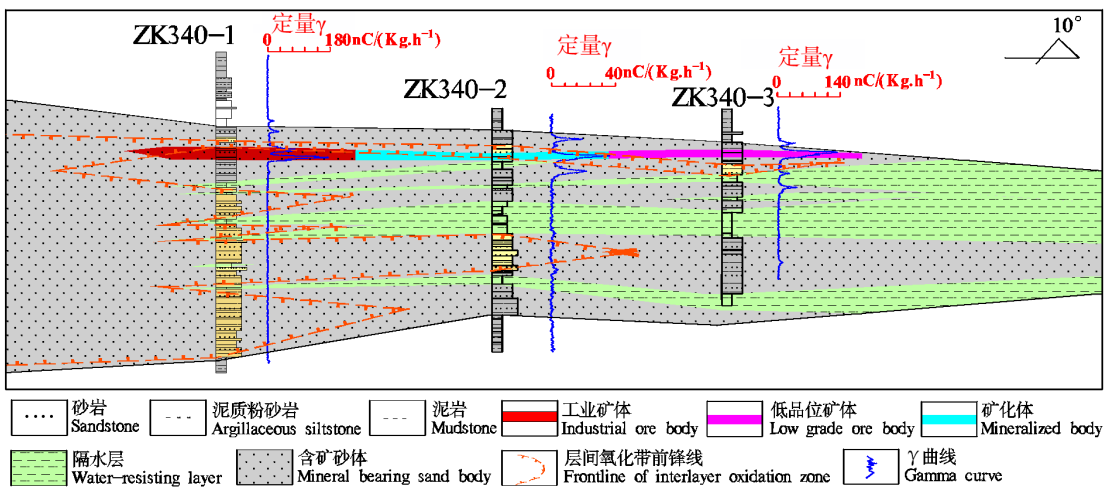


图 14 苏巴什地区含矿层剖面图

Fig. 14 Section view of ore-bearing strata in Subashi area

3.2.3 砂岩渗透系数与铀矿化关系

该区岩石渗透系数统计结果(表 3),反映出各种不同岩性渗透性系数(K)具有相对大的变化范围,其变异系数较大,大都在 75% 以上,说明该区岩石渗透性具有明显非均质性。

并且砂体含矿岩性的渗透性普遍超过非含矿岩性的渗透性,具有较好的渗透性, $K_{矿}/K_{非}$ 平均值为 1.3,大于 1.0 的占 75.0%,小于 1.0 接近 1.0 的只占 25%,其变异系数较小,为 35.0%^[22]。

表 2 苏巴什地区矿石岩性统计表

Table 2 The list of ore in the Subashi area

序号	孔号	岩(矿)层位置/m			品位/%	平米铀量/(kg·m ⁻²)	岩性
		自	至	厚度			
1	ZK340-1	322.10	322.50	0.40	0.017 0	0.15	灰色泥质细砂岩
		325.60	328.80	3.20	0.027 6	1.89	灰色细砂岩
2	ZK340-3	676.20	676.70	0.50	0.012 0	0.13	灰色细砂岩
		677.90	678.28	0.38	0.033 5	1.22	灰色细砂岩
		678.28	679.60	1.32			浅黄色细砂岩
		683.00	683.20	0.20	0.011 8	0.05	灰色细砂岩
		686.00	686.40	0.40	0.014 5	0.12	灰色细砂岩
3	ZK350-1	480.70	481.20	0.50	0.031 1	0.33	灰色细砂岩
		486.20	486.57	1.30	0.025 3	0.70	褐黄色细砂岩
		486.57	487.50				灰色细砂岩
4	ZK256-4	725.40	727.50	2.10	0.062 6	2.81	灰色细砂岩

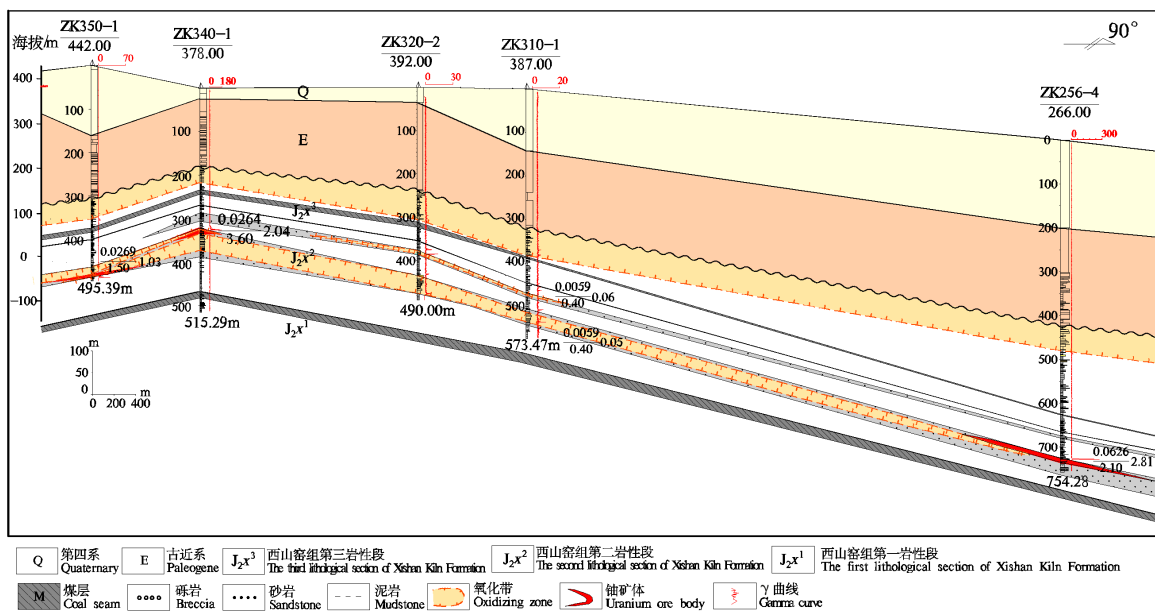


图 15 苏巴什地段 256~350 号勘探线纵剖面图

Fig. 15 Sectional view of exploration line 256~350 in Subashi area

表 3 含矿砂体渗透系数统计一览表

Table 3 The statistical results of permeability coefficient of mineral sandbody

项目	样品个数/个	渗透系数范围/(m·d ⁻¹)	平均值/(m·d ⁻¹)	变异系数/%
砾岩	7	0.29~2.15	1	70
粗砂岩	59	0.15~4.39	0.89	85.2
中砂岩	42	0.03~2.183	0.63	78.9
细砂岩	25	0.06~1.989	0.65	85.4
K _矿 /K _非	17	0.62~2.45	1.3	35

3.3 砂体中有机质非均质性与铀矿化关系

ZK340-1、ZK350-1 孔工业矿段砂岩有机质含量与铀含量分析结果表明: 铀的富集程度与有机质具有一定的相关性(图 16~18 和表 4)。ZK340-1 孔铀元素背景值约为 79×10^{-6} , OrgC 背景值约为 0.52%, 表现出 3 个铀含量的高值段, I 段铀含量和有机质含量分别为 393×10^{-6} 、2.70%, II 段铀含量和有机质含量分别为 $1\ 040 \times 10^{-6}$ 、0.60%, III 段铀含量和有机质含量分别为 488×10^{-6} 、1.26%, 其中 I 段、III 段铀含量和有机质含量具有明显的正相关性; ZK350-1 孔铀元素背景值约为

17×10^{-6} , OrgC 背景值约为 0.63%, 也表现出 3 个铀元素的高值段, I 段铀含量和有机质含量分别为 538×10^{-6} 、2.59%, II 段铀含量和有机质含量分别为 230×10^{-6} 、0.68%, III 段铀含量和有机质含量分别为 411×10^{-6} 、1.51%, 其中 I、III 段含量和有机质含量同样呈现出明显的正相关性^[12]。证明有机质含量过低对成矿不利。这主要是因为一方面铀在沉积-成岩过程中被有机质吸附; 另一方面有机质在降解的过程产生大量还原性气体, 有效降低成矿溶液的 Eh 值, 改变成矿地球化学环境, 从而促使铀的沉淀富集^[23]。



图 16 ZK350-1 层间氧化带下翼铀矿石
Fig. 16 ZK350-1 interlayer oxidation zone lower wing uranium ore



图 17 ZK350-1 灰色细砂岩(矿石)
Fig. 17 ZK350-1 Gray fine sandstone(ore)

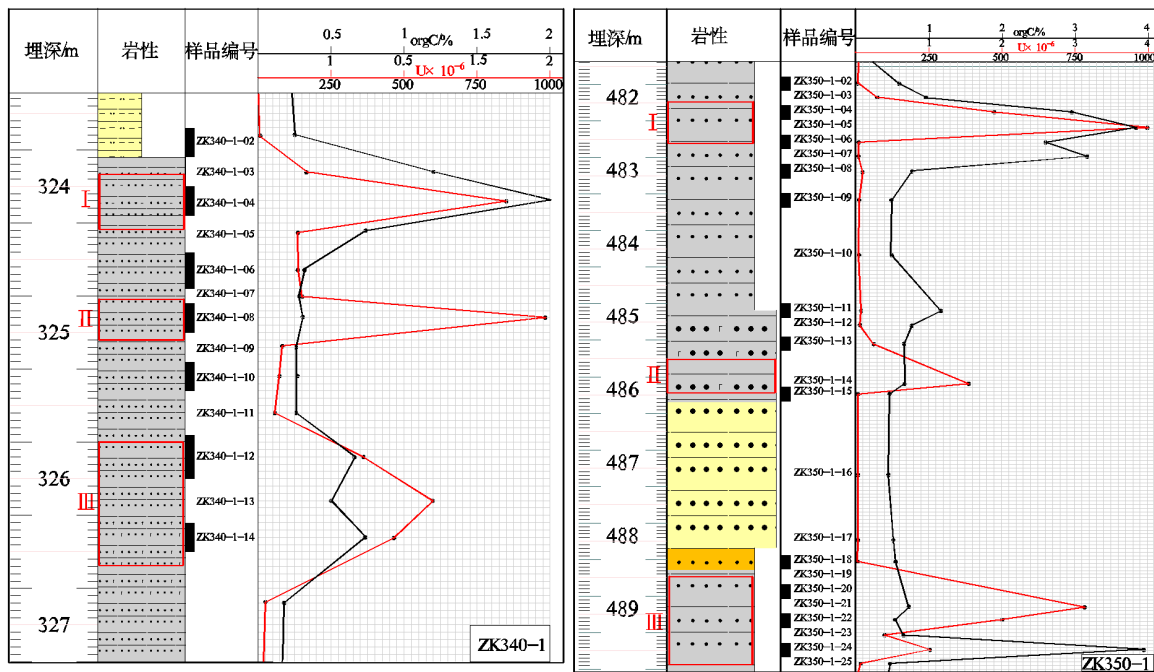


图 18 工业矿段有机质与铀相关性折线图
Fig. 18 Line chart diagram of correlation between organic matter and uranium in industrial ore block

表 4 苏巴什地区工业矿段铀含量和有机质分析

Table 4 Analysis of uranium content and organic matter in industrial ore bodies in Subashi area

样品编号	U/10 ⁻⁶	OrgC/%	样品编号	U/10 ⁻⁶	OrgC/%
ZK350-1-02	8.82	0.54	ZK350-1-22	505.00	0.56
ZK350-1-03	75.5	0.95	ZK350-1-23	97.50	0.64
ZK350-1-04	480.00	2.95	ZK350-1-24	257.00	3.90
ZK350-1-05	1060.00	3.86	ZK350-1-25	10.80	0.47
ZK350-1-06	28.3	2.61	ZK340-1-02	4.18	0.49
ZK350-1-07	19.8	3.15	ZK340-1-03	168.00	2.44
ZK350-1-08	30.5	0.77	ZK340-1-04	880.00	4.19
ZK350-1-09	15.70	0.50	ZK340-1-05	133.00	1.46
ZK350-1-10	17.30	0.49	ZK340-1-06	135.00	0.60
ZK350-1-11	21.40	1.16	ZK340-1-07	156.00	0.56
ZK350-1-12	22.10	0.77	ZK340-1-08	1040.00	0.60
ZK350-1-13	65.50	0.67	ZK340-1-09	90.20	0.52
ZK350-1-14	395.00	0.68	ZK340-1-10	83.40	0.54
ZK350-1-15	7.89	0.47	ZK340-1-11	64.20	0.50
ZK350-1-16	10.60	0.47	ZK340-1-12	370.00	1.31
ZK350-1-17	12.00	0.51	ZK340-1-13	610.00	1.01
ZK350-1-18	11.60	0.56	ZK340-1-14	485.00	1.45
ZK350-1-21	785.00	0.74	—	—	—

4 结 论

本文通过对苏巴什地区目的砂体非均质性与铀成矿关系的分析,总结出以下几点认识:

1) 苏巴什地区主要砂体为西山窑组砂体(J_{2x}),总体为一套河流三角洲相沉积。砂体由南向北逐渐变薄,砂体较稳定,岩性以细砂岩为主,其次为中、粗砂岩和含砾粗砂岩。

2) 平面上,铀矿化主要发育于砂体厚度介于 19~54 m 之间,含砂率介于 60%~80% 之间,且非均质性较强的三角洲前缘水下分流河道与间湾过渡部位。

3) 垂向上,砂体中的泥岩隔挡层与岩性粒度制约着砂岩型铀矿的富集。苏巴什地区铀矿化主要赋存于隔水层数量介于 3~5 层之间的砂体内,不发育非渗透层的厚大砂体内未见工业铀矿体。含矿砂体岩性主要为细砂岩,粒度较粗的砂岩成矿性较差,说明水下分流河道侧向更有利于铀成矿。剖面上铀矿化体多位于目的砂体上、下翼的细砂岩中。

参考文献

1 王永和,焦养泉,吴立群.从铀成矿条件分析西北地

区砂岩型铀矿找矿[J].西北地质,2007,40(1):72-82.
WANG Yonghe, JIAO Yangquan, WU Liqun. Analysis of uranium metallogenic conditions and prospecting of sandstone-type uranium deposits in northwest China [J]. Northwest Geology, 2007, 40(1): 72-82 (in Chinese).

2 秦明宽,李子颖,蔡煜琦,等.对加强我国铀资源勘查“三新”突破的战略性思考[J].世界核地质科学,2022,39(3):383-398.

QIN Mingkuan, LI Ziyang, CAI Yuqi, et al. Strategic thinking on strengthening *Three New* breakthroughs for the uranium exploration in China [J]. World Nuclear Geoscience, 2022, 39(3): 383-398 (in Chinese).

3 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 south-western margin of the Turpan-Hami basin [J]. Geology in China, 2003, 30(2): 186-191 (in Chinese).

4 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).
- 5 曹雷, 王刚, 尚高峰. 吐哈盆地苏巴什地区铀矿化特征及成矿规律研究[J]. *新疆地质*, 2023, 41(4): 547-554.
- CAO Lei, WANG Gang, SHANG Gaofeng. Uranium mineralization characteristics and mineralization in Subashi area, Turpan-Hami basin law research[J]. *Xinjiang Geology*, 2023, 41(4): 547-554(in Chinese).
- 6 郭长林, 尚高峰, 曹雷, 等. 吐哈盆地苏巴什地区中侏罗统西山窑组地层、岩石学特征及成矿条件分析[J]. *铀矿地质*, 2024, 40(4): 648-658.
- GUO Changlin, SHANG Gaofeng, CAO Lei, et al. Analysis of stratigraphic, petrological characteristics and metallogenic conditions of Middle Jurassic Xishanyao formation in Subashi area of Turpan-Hami basin[J]. *Uranium Geology*, 2024, 40(4): 648-658(in Chinese).
- 7 刘传东, 郭世超, 杜鹏飞, 等. 吐哈盆地砂岩型铀矿流体动力学数值模拟[J]. *世界核地质科学*, 2023, 40(2): 197-207.
- LIU Chuandong, GUO Shichao, DU Pengfei, et al. Numerical simulation of fluid dynamics of sandstone-type uranium deposits in Turpan-Hami basin [J]. *World Nuclear Geoscience*, 2023, 40(2): 197-207(in Chinese).
- 8 路乾乾. 十红滩铀矿床矿化地段地层渗透性研究[D]. 南昌: 东华理工大学, 2018.
- LU Qianqian. Research on Shihongtan uranium deposit stratum permeability [D]. Nanchang: East China University of Technology, 2018(in Chinese).
- 9 乔海明, 尚高峰, 刘治国, 等. 新疆吐鲁番市十红滩地区 32-128 线铀矿预查[R]. 咸阳: 核工业二〇三研究所, 2017.
- QIAO Haiming, SHANG Gaofeng, LIU Zhiguo, et al. Presurvey of uranium mines on 32-128 in Shihongtan area, Turpan city, Xinjiang [R]. Xianyang: Research Institute No.203, 2017(in Chinese).
- 10 尚高峰, 乔海明, 刘治国, 等. 微生物在十红滩铀成矿过程中的作用[J]. *铀矿地质*, 2014, 30(6): 371-378.
- SHANG Gaofeng, QIAO Haiming, LIU Zhiguo, et al. Effect of microorganism on mineralization of interlayer oxidation zone sandstone type uranium deposit in Shihongtan[J]. *Uranium Geology*, 2014, 30(6): 371-378(in Chinese).
- 11 乔海明, 闫周让, 章金彪, 等. 吐哈盆地十红滩铀矿床稀土元素地球化学特征浅析[J]. *地质论评*, 2011, 57(1): 73-77.
- QIAO Haiming, YAN Zhouang, ZHANG Jinbiao, et al. Preliminary analysis on REE geochemical characteristic of the Shihongtan uranium deposit in Turpan-Hami basin[J]. *Geological Review*, 2011, 57(1): 73-77(in Chinese).
- 12 乔海明, 张复新, 徐高中, 等. 吐哈盆地十红滩铀矿床的水文地质特征及矿床成因分析[J]. *地质论评*, 2005, 51(3): 257-258.
- QIAO Haiming, ZHANG Fuxin, XU Gaozhong, et al. Hydrogeologic characteristics and metallogenesis of the Shihongtan sandstone-type uranium deposit in Turpan-Hami basin[J]. *Geological Review*, 2005, 51(3): 257-258(in Chinese).
- 13 曹雷, 王刚, 尚高峰, 等. 新疆吐哈盆地苏巴什-小草湖地区铀矿资源调查评价[R]. 西安: 核工业二〇三研究所, 2022.
- CAO Lei, WANG Gang, SHANG Gaofeng, et al. Investigation and evaluation of uranium resources in the Subashi-Xiaocao hu area of the Turpan Hami basin Xinjiang [R]. Xi'an: Research Institute No.203, 2022(in Chinese).
- 14 郑浚茂, 于兴河, 谢承强, 等. 不同沉积环境储层的层内非均质性[J]. *现代地质*, 1995, 9(4): 501-508.
- ZHENG Junmao, YU Xinghe, XIE Chengqiang, et al. Mesoscopic heterogeneity of reservoir in different sedimentary environments[J]. *Geoscience*, 1995, 9(4): 501-508(in Chinese).
- 15 焦养泉, 陈安平, 杨琴, 等. 砂体非均质性是铀成矿的关键因素之一——鄂尔多斯盆地东北部铀成矿规律探讨[J]. *铀矿地质*, 2005, 21(1): 8-15.
- JIAO Yangquan, CHEN Anping, YANG Qin, et al. Sand body heterogeneity: One of the key factors of uranium metallogenesis in Ordos basin [J]. *Uranium Geology*, 2005, 21(1): 8-15(in Chinese).
- 16 刘国安, 乔鹏, 康世虎, 等. 二连盆地芒来矿床砂体的非均质性与铀成矿关系研究[J]. *铀矿地质*, 2020, 36(5): 371-381.
- LIU Guo'an, QIAO Peng, KANG Shihu, et al. Study on the relationship of sand-body heterogeneity to uranium mineralization in Manglai deposit, Erlian basin [J]. *Uranium Geology*, 2020, 36(5): 371-381(in Chinese).
- 17 焦养泉, 李祯. 河道储层砂体中隔挡层的成因与分布规律[J]. *石油勘探与开发*, 1995, 22(4): 78-81.
- JIAO Yangquan, LI Zhen. Genesis and distribution

- regularity of isolate barrier beds in channel reservoir sandbody[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 22(4):78-81(in Chinese).
- 18 焦养泉,李思田.碎屑岩储层物性非均质性的层次结构[J].*石油与天然气地质*,1998,19(2):89-92.
JIAO Yangquan, LI Sitian. Heterogeneity of porosity and permeability in clastic rock reservoirs[J]. *Oil and Gas Geology*, 1998, 19(2):89-92(in Chinese).
- 19 焦养泉,吴立群,杨生科,等.铀储层沉积学——砂岩型铀矿勘查与开发的基础[M].北京:地质出版社,2006.
JIAO Yangquan, WU Liqun, YANG Shengke, et al. Uranium reservoir sedimentology: The basis for exploration and development of sandstone type uranium deposits[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006 (in Chinese).
- 20 易超,郑云龙,王明太.东胜地区直罗组铀储层非均质性特征及其与铀成矿的关系[J].*铀矿地质*,2013,29(3):139-145.
YI Chao, ZHENG Yunlong, WANG Mingtai. Heterogeneity of uranium host rocks in Zhiluo formation in Dongsheng area and its relation to uranium mineralization[J]. *Uranium Geology*, 2013, 29(3):139-145(in Chinese).
- 21 胡立飞,刘小刚.鄂尔多斯盆地东北部农胜新地区直罗组下段下亚段砂体非均质性与铀矿化的关系[J].*铀矿地质*,2020,36(4):250-260.
HU Lifei, LIU Xiaogang. The relation of uranium mineralization to the heterogeneity of sand body in the lower submember, lower member of Zhiluo formation in Nongshengxin area, northeastern Ordos basin [J]. *Uranium Geology*, 2020, 36(4):250-260(in Chinese).
- 22 王刚,张发,何大鹏,等.新疆吐鲁番十红滩铀矿床北矿带地浸开采可行性分析研究[J].*东华理工大学学报(自然科学版)*,2015,38(1):58-63.
WANG Gang, ZHANG Fa, HE Dapeng, et al. Analysis of in-situ leaching feasibility in northern belt of Shihongtan uranium deposits in Xinjiang Turpan[J]. *Journal of East China University of Technology (Natural Science)*, 2015, 38(1):58-63(in Chinese).
- 23 莫帮洪,朱西养,姚毅锋,等.贵州504矿床铀矿化特征及控矿因素分析[J].*世界核地质科学*,2016,33(1):19-25.
MO Banghong, ZHU Xiyang, YAO Yifeng, et al. Analysis on uranium mineralization characteristics and ore-controlling factors of deposition 504, Guizhou[J]. *World Nuclear Geoscience*, 2016, 33(1):19-25(in Chinese).