

DOI: 10.3969/j.issn.1672-0636.2009.02.003

准噶尔盆地乌尔禾地区铀成矿 水文地质条件分析

张全庆, 张新科, 任满船

(核工业 216 大队, 新疆 乌鲁木齐 830011)

[摘要] 乌尔禾地区位于准噶尔盆地西北部, 属于构造活动及后期构造活化相对平静的地区。通过对该区进行铀资源区域评价, 在白垩纪地层中发现了层间氧化带及铀矿化。简要介绍了该区围岩、地下水的补-径-排机制、古水文条件及地下水化学和地球化学特征, 总结出有利的铀成矿区段为克-夏断阶带以西山前地段。

[关键词] 乌尔禾地区; 水文地质条件; 水文地球化学环境

[中图分类号] P619.14; P641.2 [文献标识码] A [文章编号] 1672-0636(2009)02-0076-05

Analysis on hydrological condition for uranium ore formation in Wuerhe district, Junggar Basin

ZHANG Quan-qing, ZHANG Xin-ke, REN Man-chuan

(Geologic Party No.216, CNNC, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Wuerhe district is located in the northwestern part of Junggar Basin, Xinjiang. It belongs to a relative quiet area without the obvious tectonic activities and obvious subsequent tectonic activation. Through the regional uranium resources evaluation on this area, the inter-bedded oxidation zone and uranium mineralization are discovered in Cretaceous. The wall rock, the recharge-runoff-discharge mechanism of groundwater, palaeo-hydrological condition, hydrological and hydrogeochemical features of groundwater are introduced briefly, the favorable uranium ore-forming segment is summarized to be located in the fore-mountain area to the west of Ke-Xia fault terrace zone.

Key words: Wuerhe district; hydrological condition; hydrogeochemical environment

新疆准噶尔盆地开展铀矿找矿工作已有多年, 在盆地侏罗系、白垩系中均有不同程度的铀矿化显示。乌尔禾地区由于地质条件复杂, 且地质工作程度低, 铀矿找矿工作比较薄弱。通过在本区进行铀资源区域评价, 发现存在层间氧化带控制的铀矿化。以水成

铀矿理论为指导, 分析了该区铀成矿水文地质条件, 为本区进行铀矿评价工作提供了理论依据。

1 区域地质背景

乌尔禾地区位于准噶尔盆地西北缘的扎

[收稿日期] 2008-12-07; [修回日期] 2008-12-24

[作者简介] 张全庆(1965—), 男, 陕西武功人, 工程师, 主要从事铀矿地质找矿工作。

E-mail: zhangjing19929@sina.com

依尔山及哈拉阿拉特山的山前, 从克拉玛依的白碱滩至夏子街一带。该区西北缘发育多个冲断带, 是由一系列舌状滑脱体联合组成的推覆构造带, 以断裂构造发育为其基本特征, 在平面上断裂呈辫状分布, 弧形延伸, 剖面上为楔形叠置, 断面凹面向上呈犁形。发育有 NE 向、NW 向两组断裂, 其中 NE 向断裂构造较为发育, 沿车排子、克拉玛依、乌尔禾、夏子街发育的克拉玛依—夏子街断阶带(克—夏断阶带)是构造主体(图 1)。

克—夏断阶带为一大型隐伏断裂, 是在华力西运动的基础上又经印支运动重复推覆而发展起来的, 由一系列舌状滑脱体联合组成的巨型推覆构造的前缘断裂带^[1], 主要由克—乌断裂带、乌—夏断阶带和车—红断裂带组成。

由于克—夏断阶带向盆地内逆掩推覆, 在推覆体前沿外围至掩覆带之间形成一个单斜构造带。单斜带宽 15~25 km, 地层倾角小于 10°, 一般在 5°左右, 中新生界主要由侏罗

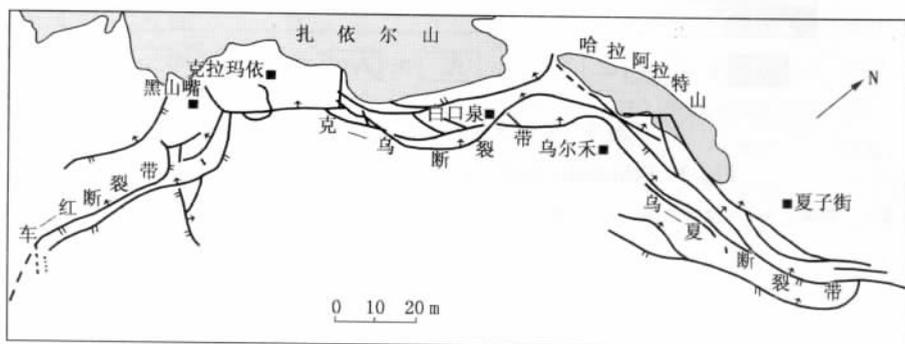


图 1 乌尔禾地区构造略图

Fig. 1 Tectonic sketch map of Wuerhe district

系、白垩系组成(图 2)。从地震勘探剖面分析, 克—夏断阶带主要活动期在晚侏罗世之前, 因而单斜带上盘的中、下侏罗统普遍遭受断裂的破坏, 而上侏罗统和白垩系主要超覆沉积产出。这种超覆沉积导致白垩系能形成稳定的单斜带, 而中、下侏罗统被封闭, 失去了接纳含氧含水补给的条件。

中酸性花岗岩类大面积分布, 表明有丰富的铀源。找矿目的层以下白垩统吐谷鲁群为主, 上白垩系几乎没有出露。下白垩统吐谷鲁群由一套内陆湖相碎屑岩构成, 岩性主要为灰色、浅灰绿色细砂岩与浅灰色、浅红色泥岩互层, 孔隙度一般为 11.12%~31.47%, 渗透系数为 0.064~0.270 2 m/d。

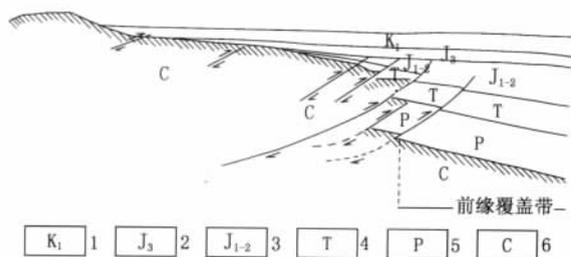


图 2 乌尔禾地区克—夏断阶带剖面示意图

Fig. 2 Profile diagram of Ke-Xia fault terrace zone in Wuerhe district

1——下白垩系; 2——上侏罗统; 3——中、下侏罗统;
4——三叠系; 5——二叠系; 6——石炭系

2 地下水的补-径-排条件

下白垩统吐谷鲁群的补给区主要是扎依尔山、雪米斯坦山及阿尔加提山, 补给区基岩主要由古生代基底岩石及不同时期侵入的花岗岩等组成, 岩体遭受侵入变质构造破坏作用强烈, 赋存着风化及成岩裂隙水、构造及接触带脉状水。单泉涌水量在 0.1~1.0 L/s 之间, 多数在 0.5~1.0 L/s 之间。大气降水也是该区主要的补给源。白杨河、大布度河和木哈塔依等河流也是其不可或缺的补给来源。山前单斜带中新生界裸露, 为地下水补给提供了窗口和通道。克拉玛依—夏子街山前单斜带为径流区。玛纳斯湖为该区局部排泄区

准噶尔盆地乌尔禾地区蚀源区中上泥盆统、中下石炭统火山岩分布广泛, 华力西期

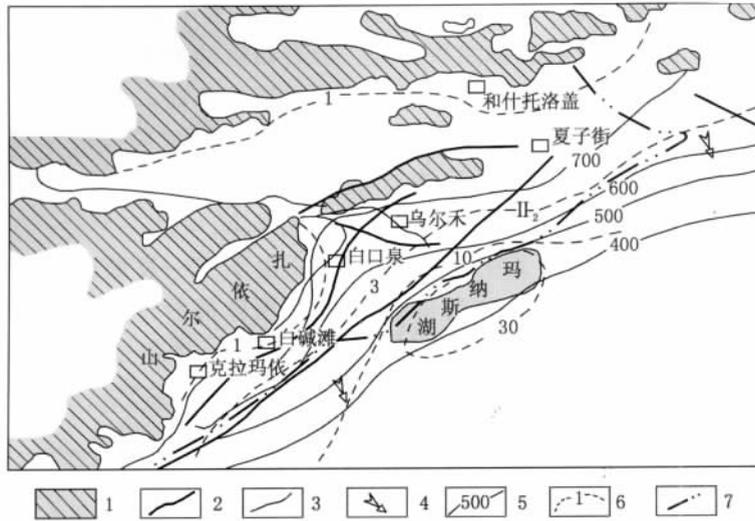


图 3 乌鲁木齐地区水文地质示意图

Fig. 3 Schematic hydrological map of Wuerhe district

1——基岩区；2——断层；3——地表水系；4——地下水流向；5——等水位线；6——矿化度等值线；7——水文地质分界线

(图 3)。

侏罗系的补给区与吐谷鲁群基本一致；侏罗系受克—乌断裂、乌—夏断裂切穿，地下水在这两处混合，部分顺着断层走向径流，部分补给下盘含水层向东南方向径流，上盘和下盘地下水的水化学特征不相同；排泄方式主要以越流形式或通过构造窗、构造破碎带向上部排泄，大部分排泄区为准噶尔盆地南部地区。地下水流向总体上从西北向东南。

3 地下水水化学特征

潜水水化学特征：在雪米斯坦、阿尔加提山，由于岩石变质作用较强，赋存有多种成因的裂隙水。地下水矿化度一般为 0.27 g/L，水化学类型多为 $\text{HCO}_3\text{—Ca}$ 型。在山前地带矿化度为 0.35~0.75 g/L，水化学类型为 $\text{HCO}_3\text{—SO}_4\text{—Ca}\cdot\text{Na}$ 型及 $\text{SO}_4\cdot\text{HCO}_3\text{—Na}\cdot\text{Ca}$ 型。

承压水水化学成分，靠近蚀源区，矿化度多小于 1 g/L，水化学类型以 $\text{HCO}_3\text{—Ca}$ 型为主。随着向盆地延伸，由于深层地下水沿断裂、构造窗及顶托越流补给，与上部地下水混合，使得地下水水化学成分变得复杂，矿化度变为 1.0~3.0 g/L，水质化学类型为 $\text{HCO}_3\cdot\text{SO}_4$ 型、 $\text{HCO}_3\cdot\text{Cl}$ 型及 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl}$ 型水。

侏罗系含水岩组为矿化度 5~50 g/L 的

$\text{Cl—Na}\cdot\text{Ca}$ 型水。

侏罗系八道湾含水岩组(J_{1b})矿化度为 1.1~17.1 g/L，水质类型为 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 和 $\text{SO}_4\text{—Na}$ ；三工河含水岩组(J_{1s})矿化度为 3.1~17.1 g/L，水质类型为 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 和 $\text{SO}_4\text{—Na}$ ；西山窑含水岩组(J_{2x})矿化度为 2.5~11.9 g/L，水质类型为 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 。

白垩系：矿化度为 2.5~6.97 g/L。单位涌水量为 4 L/s·m，水质类型为 $\text{SO}_4\cdot\text{Cl—Ca}\cdot\text{Mg}$ 。

4 地下水水文地球化学及放射性水化学特征

含氧地下水在盆地含水层径流过程中，从盆缘到盆地中心形成不同的水文地球化学分带，并与地下水动力分带中的水交替强烈带、水交替缓慢带、水交替停滞带具有较强一致性，不同地球化学分带中的环境指标出现有规律变化。

乌鲁木齐地区放射性特征见表 1。在氧化带，水中氧质量浓度大于 1.5 mg/L，Eh 为 -164~194 mV， Fe^{3+} 含量大于 Fe^{2+} 含量，U 质量浓度为 1.8~21.3 $\mu\text{g/L}$ ， H_2S 质量浓度为 0~0.3 mg/L；在还原带，水中 O_2 质量浓度小于 1.5 mg/L， H_2S 质量浓度大于 1.8 mg/L，最高可达 91.45 mg/L，Eh 为 -164~480 mV， Fe^{2+} 含量大于 Fe^{3+}

表 1 乌尔禾地区盖层承压水水文地球化学分析成果统计表

Table 1 Statistics on hydrogeochemical analytical results of confined water in the cover of Wuerhe district

钻孔号	时代	分析结果							环境
		pH	Eh	ρ_B , mg/L		ρ_B , $\mu\text{g/L}$	ρ_B , mg/L		
				O ₂	H ₂ S	U	Fe ²⁺	Fe ³⁺	
2006	K	7.60	256	5.4	0.0	21.3	3.75	1.9	氧化带
1006		8.90		2.8	0.34	1.8	2.5	1.9	
7002		8.10		7.0	0.3	1.64	0.08	0.72	
8005		9.02	160	7.5	0.03	9.86	0.4	0.04	
012		8.70	-36			2.3	0.06	0.0	
013		9.40	-25		0.06	0			
009		9.30	-25		0.06		0.02	0.01	
96012		10.40	-111	1.5	0.03	2.0	0.08	0.02	
3003		8.60		1.5	22.08	3.2	12.5	0.0	还原带
6006		8.20	-480	0	0.72	18.6	4.5	0.2	
3004		9.00	-442	0.1	91.45	1.8	0.72		
0003	J	7.70	-260	5.7		3.2	3.1	3.7	氧化带
083		8.20	-164	0.2	0.2		0.06	0.02	还原带
96010	不明	8.08	-137	7.4	0.05	4.3	0.01	0.0	氧化带

含量, U 质量浓度小于 3.2 $\mu\text{g/L}$ 。

5 准噶尔盆地古水文地质条件

准噶尔盆地第四纪处于干旱古水文地质期; 新近纪处于初期气候潮湿, 中晚期变为干旱; 古近纪处于气候潮湿期; 白垩纪处于半干旱气候期; 晚侏罗世处于干旱—炎热气候期; 中侏罗世处于干旱草原气候期; 早—中侏罗世处于潮湿气候期。

准噶尔盆地中生代经历了燕山和喜山两期大的构造运动, 使东、北和西北部隆升并形成缓倾的斜坡带。侏罗纪构造—古水文地质期, 由地堑、地垒形成盆地的扩张。沉积了含煤、含油建造。中、下侏罗统遍布全盆, 侏罗世末期, 燕山早期的克拉玛依运动波及准噶尔盆地, 使得该含水岩组在东部和西北缘出现大气降水等外部水的渗入窗口; 经历了强烈的渗入水水交替作用, 水交替总强度达 20.3 次; 经受后期改造最为强烈, 水交替强度均超过 1 次。盆地凹陷内侏罗系含水岩组以渗出水占主导地位。仅局限于凹陷构造核部, 由于侏罗系遭受剥蚀, 经历了弱的渗入水水交替作用, 水交替总强度仅 0.47 次, 后期改造很弱; 总的来说, 入渗条件不利,

至今盆地内侏罗系含水岩组地下水以渗出方式为主。

白垩纪构造—古水文地质期, 构造运动微弱, 以垂直运动为主, 形成内陆盆地含盐建造。沉积层厚度大且稳定, 呈近水平状, 渗入水已经将同生沉积水交替了 2.97 次, 后期改造较强, 以渗入方式为主。

古近纪、新近纪构造—古水文地质期, 以垂直运动为主, 形成内陆盆地含盐建造。该含水岩组分布面积相当大, 渗入式水交替作用较为强烈, 交替强度达 9.29 次, 径流区内地下水基本已彻底改造过。综上所述, 准噶尔盆地中、下侏罗统含水岩组在克拉玛依运动之后一直处于淋滤作用和沉压埋藏作用水文地质期, 经历了后期改造作用; 白垩系含水岩组, 自古近纪沉积以来到新近纪时期以承压埋藏作用占主导地位, 此后始终处于淋滤作用水文地质阶段, 后期改造作用也较明显; 古近系形成以淋滤作用为主, 后期改造最为强烈。

6 铀成矿条件分析

6.1 铀源条件及迁出条件

盆地蚀源区高、中山分布的是火山岩、

花岗岩及变质岩。泥盆系铀当量为 $2.67 \times 10^{-6} \sim 3.08 \times 10^{-6}$ ，古铀量为 $3.37 \times 10^{-6} \sim 4.01 \times 10^{-6}$ ，现代铀量小于古铀量，铀有明显迁出；石炭系铀当量为 $2.50 \times 10^{-6} \sim 3.30 \times 10^{-6}$ ，古铀量为 $2.79 \times 10^{-6} \sim 3.35 \times 10^{-6}$ ，现代铀量与古铀量差别不大，铀的迁入、迁出不明显；华力西期花岗岩铀当量为 $3.23 \times 10^{-6} \sim 3.52 \times 10^{-6}$ ，古铀量为 $3.37 \times 10^{-6} \sim 4.01 \times 10^{-6}$ ，现代铀量小于古铀量，铀有明显迁出^[2]。

6.2 地下水补-径-排条件

由于地质构造作用强烈，岩石破碎，开启程度高。上述高含量活化铀与富含溶解氧的 $\text{HCO}_3\text{—Na} \cdot \text{Ca}$ 型低矿化度（小于 1.0 g/L）水沿构造破碎带及中生代露头区入渗补给形成地下水。盆地中生代地层通常直接出露地表或被地表水系深切，主要接受大气降水及河水的补给。补给源单一，季节性强，对氧化带发育规模和铀矿化的形成不是很有利。局部松散第四系覆盖在氧化砂体上，潜水入渗补给到砂体中，有利于形成层间氧化带和铀矿化。

6.3 地下水水化学与水文地球化学条件

具有明显的水化学和水文地球化学分带性，蚀源区 $\text{HCO}_3\text{—Na}$ 型或 $\text{HCO}_3\text{—Ca}$ 型水，矿化度小于 1.0 g/L，径流区为 $\text{SO}_4\text{—Na}$ 或 $\text{SO}_4\text{—Ca}$ 型水，矿化度为 1.0~10 g/L，排泄区为 Cl—Na 型水，矿化度大于 10 g/L。放射性地球化学也具明显分带性，氧化带地下水中铀含量高于还原带，有利于氧化带中高铀含量的地下水往深部迁移，在有利于铀成矿的水文地球化学环境中沉淀富集成矿^[3]。地下水在运移过程中不断对岩石溶解、氧化。地下水富含 HCO_3^- 、 Ca^{2+} 和 Na^+ ，pH 值大于 7.0，使得地下水中的铀利于形成碳酸铀酰^[4]，以易溶于水的 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_2$ 和 $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_4^{2-}$ 的形式被地下水携带迁移。随着地下水的不断入渗，地下水交替变缓，溶解氧逐渐被消耗，水化学类型由 HCO_3 型向 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4$ 、 $\text{SO}_4 \cdot \text{HCO}_3$ 型转

化。在地下水交替滞缓地段 U^{6+} 被还原成 U^{4+} 析出形成铀异常、铀矿体。施工中的 ZK12003、ZK12004 号孔各发现大于 0.7 m、品位大于 0.01% 铀矿化，佐证了地球化学环境的改变是铀从地下水中析出沉淀富集的主要原因。

6.4 渗入型自流水盆地特征与配套完整的泥-砂-泥结构

乌尔禾地区处于长期强烈活动带中的相对稳定的地块。白垩系盖层为平缓的单斜地层，其上覆的第四系较薄。基岩山区地形切割强烈，有利于大气降水及高山融水形成的地表水与地下水源源不断补给低处的盆地平原区，形成自流水盆地，并具备正向渗入机制。白垩系具备“泥-砂-泥”结构。渗透系数为 0.064~0.270 2 m/d，有利于含氧层间水以适当的渗流速度向前运移。

6.5 古水文地质条件

侏罗系在盆地长期处于沉积地质期，且水动力条件复杂，不利于铀矿化的形成。白垩系在盆地长期处于淋滤作用，具备有利的成矿条件。

综上所述，该区下白垩统吐谷鲁群是有利的找矿层位，该地区成矿有利区段是克—夏断阶带以西山前地段。

致谢：在撰写过程中得到谭鸿赞研究员的悉心指导，在此表示感谢！

[参考文献]

- [1] 王广瑞. 中国新疆北部及邻区构造-建造图及说明书[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1996.
- [2] 鲁克改, 逢玮, 张全庆, 等. 新疆准噶尔盆地地浸砂岩型铀资源评价[R]. 乌鲁木齐: 核工业 216 大队, 2005.
- [3] 史维浚. 铀水文地球化学原理[M]. 北京: 原子能出版社, 1990.
- [4] 杨解. 铀矿水文地质基础[M]. 北京: 原子能出版社, 1988.