黑龙江庆安—铁力地区水文地球化学特征与砂岩型铀矿成矿预测

高 柏 孙占学 韦红钢
(东华理工学院,江西 抚州 344000)

摘 要:水文地球化学研究和模拟计算的结果表明,庆安铁力地区地下水起源于大气降水,地下水水文地质单元具有完整的补给、径流、排泄体系,地下水的水化学特征揭示了地下水经历了由氧化环境向还原环境的变迁过程,铀矿成矿直接指示铀、氡异常集中分布向阳山区段,饱和指数(SI)和临界值 Eh 等参数的计算显示了有利于铀成矿的条件和环境。

关键词:铀矿;水文地球化学;远景区
中图分类号:P641.3 **文献标识码**:B **文章编号**:1000-2251(2003)02-163-05

与常规方法相比,地浸砂岩型铀矿具有开采成本低、矿量大和有利于环境保护等优势,目前已成为世界铀矿生产的主要类型之一(王西文,1996)。寻找大型可地浸砂岩型铀矿资源是我国能源"十五"规划的重要项目。黑龙江庆安—铁力地区地处松嫩平原东部,具有形成大型可地浸砂岩铀矿床的可能性。通过水文地球化学调查,查明区域地下水动力条件、水文地球化学条件、地下水放射性异常分布特征及其成因,运用饱和指数计算、预测该地区铀成矿的可能性。

1 地质概况

1.1 地层

黑龙江庆安—铁力地区地处松嫩平原东部,除东北部及东南部山地丘陵外,在第四系松散沉积物之下普遍发育有巨厚的中生界白垩系地层。

(1)泉头组(K_2q)。出露很少,仅在向阳山林场一带有零星露头,该组砂体相对发育,在盆缘附近埋藏较浅,顶层界面埋深多为 50～300 m。主要为紫红、紫灰色等细砂-中粗砂砾岩组成。含水条件较好,而且直接盖在花岗岩基底之上、地球化学环境主要属还原环境,是寻找砂岩铀矿的主要目标层。

(2)青山口组(K_2qn),主要岩石为黑、绿色泥岩及砂岩,动、植物化石较丰富,未见露头。

(3)姚家组(K_2y),以泥岩为主,夹砂岩,有零星出露。

(4)嫩江组(K_2n)以泥岩、砂质泥岩为主,岩石分选性及磨园度较差,属泛滥平原相沉积。

区内新生界第三系地层缺失。第四系地层在区内分布较广泛,厚度 4～30 m 不等。

1.2 地质构造

庆安—铁力地区构造位于松辽盆地东北隆起区的庆安次级隆起区内,其 E 和 ES 与蚀源区相邻。区内线性构造发育,走向主要为 NW 及 NE 向,其次是近 SN 向。这些线性构造活动特点以断块的抬升活动为主。北北东向的民乐—新民断裂、大罗镇—柳河断裂可能构成本区地下水的局部排泄源地(图 1)。

2 水文地质概况

庆安—铁力地区水利资源丰富,主要河流有呼兰河及其纵横交错的支流。区内气候受季风影响较大,属大陆型寒温带半湿润气候。南部山区到北部的平原区是一个水文地质单元,存在完整的补给、径流、排泄体系。

2.1 地下水的类型

根据地下水赋存条件、水理性质和水力学特征,地下水类型主要分为四类①(图 1)。

(1)呼兰河及其支流河谷平原区第四系砂砾石

收稿日期:2002-07-23
基金项目:国防科工委铀矿地质专项
作者简介:高 柏(1964—),男,硕士,讲师,从事环境工程与水文地球化学教学和科研工作。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

孔隙潜水(Ⅰ)赋存于漫滩区砂、砂砾石层中,含水层厚 3～10 m,出水量为 10～50 m^3/h,矿化度小于 1 g/L,水化学类型为 HCO_3 - Ca 型。

(2)高平原区第四系砂砾石孔隙承压水(Ⅱ)赋存于第四系砂砾石层中,含水层厚度 4～26 m,含水层顶板埋深 10～38 m,承压水水位埋深 3～10 m,单井涌水量一般为 10～30 m^3/h,局部地段达 100 m^3/h 以上,水的矿化度小于 1 g/L,水化学类型为 HCO_3—Ca·Na 或 HCO_3—Ca·Mg(Mg·Ca)型。

(3)白垩系砂岩、砂砾岩承压水(Ⅱ)广泛分布于全区,含水层顶板埋深 50～90 m,含水层厚度 5～18 m,水位埋深 10～20 m。砂岩及与之互层泥岩中裂隙发育,单井涌水量 10～50 m^3/h,地下水水化学类型主要为 HCO_3 - Na 型,矿化度多小于 1 g/L。由于白垩系泉头组地层是庆安—铁力地区砂岩型铀矿成矿的主岩,所以该含水层是水文地质研究的目标层。

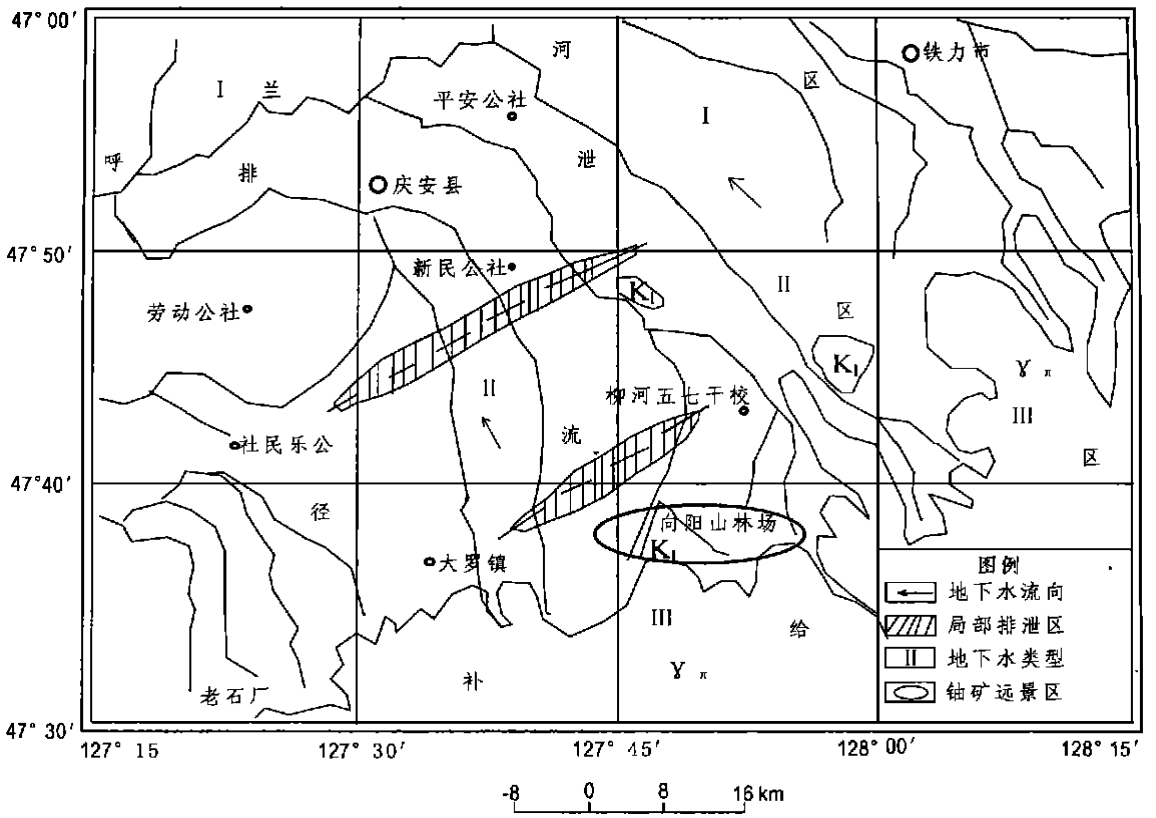


图 1 庆安—铁力地区水文地质略图

Fig. 1 Sketch map of hydrogeology in Qinan - Tieli area

泉头组承压含水系统为一套灰绿、灰白、紫灰色砂岩,在研究区向阳山林场有出露。岩层走向 EW,倾向 SN,倾角 5～12°。向上渐变为红色砂岩、泥岩互层,再向上变为灰色、灰绿色的泥岩,有时夹薄层粉细砂岩。钻孔揭露含水层岩性在盆地边缘为砂岩、砂砾岩,往盆心为细砂岩或粉砂岩,分布较稳定,常由多个含水层组成,单层厚 2～15 m,水位埋深一般大于 15 m。据抽水试验资料,①该含水层渗透系数可达 2 m/d 以上,说明含水层岩层较为松散,渗透性能良好。

(4)山地丘陵区基岩裂隙水(Ⅲ)分布于本区东南部山地丘陵区,地下水赋存在古生界变质岩、中生界火山岩和花岗岩的构造风化裂隙中。风化裂隙成面状分布,厚 20～50 m。地形起伏较大,水位埋深 0～30 m,井的出水量变化较大,为 1～30 m^3/h,局部溢出地表成泉,水质较好,矿化度小于 0.5 g/L。

2.2 地下水的补给、径流、排泄条件

由于研究区的地形地貌、地层岩性及构造、水

① 黑龙江省地矿局水工队,1961. 松嫩平原综合性地质-水文地质测量报告。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

文等自然条件存在较明显的差异,地下水的补给、径流、排泄状况亦有所不同。

南部及东南部山地丘陵区,系小兴安岭侵入岩、火山岩、碎屑岩出露区,受风化作用及构造运动影响,岩石中裂隙发育,大气降水垂直入渗,并赋存于裂隙带中,形成山地丘陵区基岩裂隙水,其径流条件主要取决于地形及构造条件,总的径流趋势是由高向低,侧向补给平原区地下水,在切割强烈处可以泉的形式溢出地表,同时存在蒸发排泄及人工排泄。

高平原区在东南部与山地基岩接触,构成强透水补给边界,可得到山区地下水侧向径流补给,含水层局部盖层较薄,易接受降水入渗补给,补给强度较大。地下水总体流向自东南流往西北,水力坡度平均为 5‰。由于地处山前,补给充分,砂体较为发育,径流条件较好。构造河谷洼地为地下水良好排泄场所,如民乐 —新民断裂、大罗镇 —柳河断裂(柳河河谷洼地)为局部排泄源地,呼兰河河谷洼地(呼兰河断裂)为本区地下水区域排泄源地(图 1)。

由于发育于山地的数条河流将高平原区切割成若干河间地块,形成局部地下水分水岭,导致地下水局部流向改变。本区高平原区含水层的径流条件取决于地理条件和含水层特性。因该区地下水位普遍高于漫滩区地下水位,故该层水除了沿流向向下游径流排泄外,还可以侧向径流的形式补给河谷漫滩区潜水,或在大型河床底部直接补给河水,并有一定规模的人工排泄。

总之,本区具有良好的地下水补给、径流、排泄条件,地下水总体上由东南流向西北。区域排泄源在构造河谷呼兰河河谷洼地,补给区与径流区之间还存在若干局部排泄源地。这为层间氧化带型铀矿化的形成创造了良好条件。

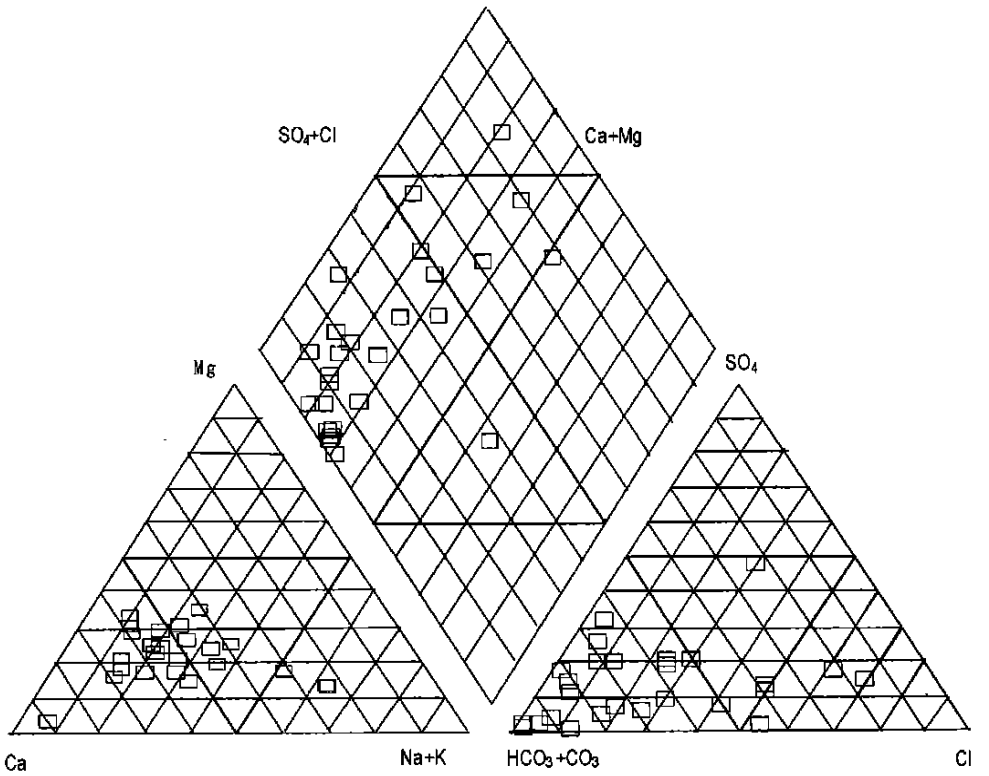


图 2　庆安 —铁力地区地下水水质三线图

Fig. 2　Triangle map of groundwater component in Qingan-Tieli area

2.3　地下水水化学特征

地下水的水化学特征反映了地下水存在的地质环境。由蚀源区至盆地中心采集了水质简分析样,根据分析结果,绘制庆安 —铁力地区地下水水质三线图(图 2)。由图 2 可见,本区地下水阴离子大部分为 HCO_3^-,次为 SO_4^{2-},阳离子主要为 Ca^{2+}。地下水主要以 HCO_3 - Ca,HCO_3 - Ca·Na,HCO_3 - Ca·Mg 型水为主,也有部分 HCO_3 - Ca·Mg·Na,HCO_3

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

- Ca·Mg、HCO_3·SO_4 - Ca·Na 及 HCO_3·SO_4·Cl - Ca·Na 等类型。由于水源点主要由浅孔、浅井组成,仅有少部分泉水,水化学特征多为第四系孔隙水或埋深较浅的白垩系地层水的水化学特征,部分为二者混合水的水化特征。根据水点分布属性,补给区水化学类型主要为 HCO_3 - Ca,HCO_3 - Ca·Na,HCO_3 - Ca·Mg 型,径流区主要为 HCO_3·SO_4 - Ca·Na 及 HCO_3·SO_4·Cl - Ca·Na 等类型,还原环境的层间水水质类型未出现。

2.4 地下水同位素水文地球化学特征

地下水稳定同位素包含了地下水的起源、补给区及补给高程的信息,而放射性同位素则反映了地下水的年龄特征。对沙麦盆地钻孔水点采集了氢氧稳定同位素和放射性同位素样品。$\delta^{18}O$‰的数值范围是 - 12.8‰～ - 14.05‰,δD‰的数值范围是 - 83‰～ - 98‰,均属大气降水氢氧同位素组成变化范围。整个地区降水的 δD 与 $\delta^{18}O$ 的相关关系为:

$\delta D = 5.5\delta^{18}O - 20$ ($\gamma = 0.85$) ① 可以清楚地看出,δD 与 $\delta^{18}O$ 的关系与 Craig 全球大气降水线 ($\delta D = 8\delta^{18}O + 10$) (李学礼,1988) 较为相似,盆地地下水来源于大气降水,说明大气降水对南部山区基岩的淋滤是地下水铀、氡的补给来源。同时两个线性方程有一定的差异,这是水在蒸发和凝聚过程中产生的不同程度同位素分馏造成的。

2.5 放射性水文地球化学特征

2.5.1 地下水中的铀、氡含量及分布特征

成矿金属元素含量的增高是地下水中找矿的直接标志,可将地下水中铀、氡异常值作为寻找铀矿的直接标志。为研究本区地下水的放射性水文地球化学特征,对本区地下水,特别是对距蚀源区 20 km 范围内的地下水进行了系统的放射性水文地质调查,采集了 202 个铀、氡水样。根据"间距统计量(gapstatistics)"确定地球化学阀值(潘乃礼,1989)。在剔除了若干具明显异常的 U 水点以后,本区 U 的间距统计量的计算结果表明,地下水中铀的异常下限值为 1.8 μg/L,Rn 的异常下限值为75.6 Bq/L ①。由此得出本区共有单铀水异常 14 个,单氡水异常 34 个,U - Rn 复合异常水点共有 8 个。铀、氡复合异常区主要分布在向阳山林场一带,说明在这一部位存在铀矿化的可能性。

2.5.2 地下水中铀的存在形式、饱和指数

采用地球化学模式程序 PHREEQC,②对山前地下水铀的存在形式进行了计算,铀主要以 UO_2CO_3 (66.4 %) 和 $UO_2(CO_3)_2^{2-}$ (32.7 %) 的形式存在,其次是 $UO_2(CO_3)_3^{4-}$ 和少量 UO_2OH^+ 的形式存在。

为了研究铀在地下水中与相关铀矿物的平衡情况,计算了各地下水点与沥青铀矿、铀石、硅钙铀矿及某些过渡态铀氧化物的饱和指数。计算结果①如表 1 所示。

表 1 地下水中铀矿物饱和指数计算结果

Tab.1 Computer results of uranium mineral saturation index of groundwater

样号	SI U_3O_8(C)	SI U_4O_9(C)	SI UO_2(am)	SI UO_3(C)	SI 沥青铀矿	SI 硅钙铀矿	SI 铀石
173	- 22.59	- 38.36	- 17.83	- 9.72	- 11.78	- 18.57	- 12.94
174	- 12	- 18.02	- 11.84	- 7.45	- 5.76	- 12.18	- 6.74
132	- 17.79	- 25.6	- 13.56	- 9.33	- 7.61	- 17.64	- 8.66
106	- 20.28	- 34.79	- 16.79	- 9.01	- 10.8	- 13.76	- 11.6

从表 1 可以看出,所有铀矿物的饱和指数均小于零,即这些铀矿物在本区所取地下水样中均处于不饱和状态,说明水点距蚀源区较近,为白垩系中的氧化带水,铀处于溶解淋滤过程之中。

利用化学模式将一些自流井水点进行了反推性计算,即计算了现有铀含量条件下,沥青铀矿与水达到饱和(即 SI 为 0)时的 Eh 值(表 2),反映放射性水化异常与铀矿化的关系。

① 孙占学、高柏等。2000.黑龙江 —铁力地区可地浸砂岩型铀矿水文地质调查报告。

② Parkhurst D L,Appelo CAJ.2000. PHREEQC (Version2.3),USGS

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 2　地下水水点的 Pe 与 Eh 值(SI = 0)

Tab.2　The value of Pe and Eh of groundwater (SI = 0)

水点号	温度 / ℃	U / 10^{-6}g·L^{-1}	Eh / mV	Pe	SI 沥青铀矿
173	4	2.12	61.59	1.12	0.00
132	9	2.13	58.743	1.05	0.00
106	7	7.3	- 32.496	- 0.585	0.00
174	3	14.2	24.640	0.45	0.00

从表 2 可以清楚地看出,只要 Eh 值达到 - 32 mV～61.5 mV,自流井水点中铀含量就会与沥青铀矿达到平衡,如 Eh 进一步降低,则会发生沥青铀矿的沉淀,即导致铀矿化作用的产生。而这种 Eh 条件,在本区只要深度大一些,或沿地下水流向往盆地较中心部位一些就可达到。地下水只要往其北西面的八里川方向流动一定距离,铀就很可能发生沉淀。进一步证实了向阳山至八里川地区是铀的有利成矿区段。

3　结语

氢氧稳定、同位素的研究表明沙麦盆地下水起源于大气降水。地下水的水化学类型分别为 HCO_3 - Ca, HCO_3 - Ca·Na 和 HCO_3·SO4 - Ca·Na, HCO_3·SO4·Cl - Ca·Na,反映了地下水补给、径流、排泄途径,显示地下水正经历由氧化环境向还原环境变迁。砂岩型铀矿成矿的直接指标是地下水中放射性元素铀、氡含量在阳山林场区段明显异常,地球化学模式模拟计算表明 Eh 值达到 - 32 mV～61.5 mV 时,铀含量就会与沥青铀矿达到平衡,因此得出向阳山林场区段是铀矿成矿最有利远景区。

参 考 文 献

李学礼. 1988. 水文地球化学[M]. 北京: 原子能出版社, 115～120.

潘乃礼. 1989. 水文地质常用数理统计方法[M]. 北京: 原子能出版社,313～324.

史维浚. 1990. 铀水文地球化学原理[M]. 北京:原子能出版社.

王西文. 1996. 地浸采铀概述[J]. 铀矿开采,(1):4～10.

Study on Hydrogeochemistry Characteristic and Prediction of Uranium Mineralization in Qingan - Tieli Area in Heilongjiang Province

GAO Bai, SUN Zhan-xue, WEI Hong-gang

(East China Institute of Technology, Fuzhou, JX 344000)

Abstract: By hydrogeochenmistry investigating, this paper concludes that there are some advantageous conditions cause the formation of uranium mine perspective area of Xiangyangshan. Major reason as follow: firstly, the study of hydrogen and oxygen stable isotopes suggests that the ground water of Qingan \| Tieli area origin from meteoric water. Secondly, it is a whole system of supply, flow and drainage in the hydrogeology unit in Qingan-Tieli area. Thirdly, the chemistrical features of groundwater reveals that groundwater experienced the transformation from oxidation environment to deoxidize environment. At last, direct index of radioactivitical abnormity of uranium mine centralize distribute in area of Xiangyangshan, saturation index and critical Eh in groundwater show that the condition of uranium mine.

Key Words: uranium deposit; hydeogeochemistry; perspective area

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net