

## 内蒙古东沟营盆地铀成矿多源信息分析与远景预测

张 恩<sup>1</sup>, 孙晶波<sup>1</sup>, 卢辉雄<sup>1</sup>, 冯 博<sup>1</sup>, 王 青<sup>2</sup>, 曹秋义<sup>1</sup>, 杨彦超<sup>1</sup>, 程 旭<sup>1</sup>

1. 核工业航测遥感中心, 河北 石家庄 050002; 2. 核工业 243 大队, 内蒙古 赤峰 024006

**摘 要:** 内蒙古东沟营盆地位于扎兰屯铀成矿远景带北段, 铀成矿地质条件优越. 受林区覆盖厚、交通不便等因素制约, 铀矿地质调查工作程度低, 找矿进展缓慢. 在区域铀成矿地质背景分析的基础上, 通过对典型铀矿点控矿因素进行剖析, 结合航空放射性、地球化学、遥感多源铀成矿信息, 构建了火山岩型铀矿综合找矿模型. 类比邻区典型火山岩型铀矿床, 开展找矿远景分析, 认为研究区具备较好的找矿前景. 依据找矿模型, 结合地质、物化遥综合找矿信息, 圈定铀成矿有利区段 4 处. 其中新圈定成矿有利区段 3 处, 其成矿地质条件优越, 找矿线索丰富, 找矿前景较好.

**关键词:** 铀矿; 成矿远景; 多源信息; 找矿模型; 东沟营盆地; 内蒙古

开放科学标志码(OSID):



DOI: 10.13686/j.cnki.dzyzy.2020.04.004

## MULTI-SOURCE INFORMATION ANALYSIS AND PROSPECT PREDICTION OF URANIUM MINERALIZATION IN DONGGOUYING BASIN, INNER MONGOLIA

ZHANG En<sup>1</sup>, SUN Jing-bo<sup>1</sup>, LU Hui-xiong<sup>1</sup>, FENG Bo<sup>1</sup>, WANG Qing<sup>2</sup>, CAO Qiu-yi<sup>1</sup>, YANG Yan-chao<sup>1</sup>, CHENG Xu<sup>1</sup>

1. Airborne Survey and Remote Sensing Center of Nuclear Industry, Shijiazhuang 050002, China;

2. No. 243 Geological Party, CNNC, Chifeng 024006, Inner Mongolia, China

**Abstract:** Donggouying basin is located in the north section of Zhalantun uranium metallogenic prospective belt, with superior mineralizing geological conditions. Due to the thick forest coverage and poor transportation, the degree of uranium geological survey is low and prospecting progress is slow. Based on the regional uranium mineralization geological background, by analyzing the ore-controlling factors of typical uranium occurrences, combined with the multi-source information of airborne radioactivity, geochemistry and remote sensing, the paper constructs the integrated prospecting model for volcanic-type uranium deposits. Compared with the typical volcanic-type uranium deposits in adjacent areas, the prospect analysis concludes that the study area has a good prospecting potential. According to the prospecting model, combined with the geological, physical-chemical-remote sensing integrated prospecting information, 4 favorable areas for uranium mineralization are delineated, among which 3 are newly-delineated, with superior metallogenic conditions, abundant prospecting clues and good prospecting potential.

**Key words:** uranium deposit; metallogenic prospect; multi-source information; prospecting model; Donggouying Basin; Inner Mongolia

### 0 引言

内蒙古东沟营盆地位于大兴安岭火山岩带中东

段, 中生代火山喷发活动强烈, 多期次构造发育, 铀成矿地质条件优越. 其处于滨太平洋成矿域大兴安岭成

收稿日期: 2020-03-17; 修回日期: 2020-04-26. 编辑: 李兰英.

基金项目: 中国地质调查局“大兴安岭铀成矿带及周缘铀矿地质调查选区”项目(编号 DD20160129-09).

作者简介: 张恩(1985—), 男, 硕士, 高级工程师, 主要从事铀矿勘查工作, 通信地址 河北省石家庄市学府路 11 号, E-mail//zhangen600@126.com

矿省扎兰屯铀成矿远景带北段<sup>①</sup>,分布有多处铀矿点、异常点和大量多金属矿床<sup>[1-3]</sup>,显示出优越的热液型矿成矿潜力.以往铀矿勘查工作多集中在20世纪50~80年代<sup>②③④</sup>,受林区分布广、覆盖厚、交通条件差等因素制约,基础地质薄弱、铀矿工作程度低、勘查工作不系统、形成资料零散,且多源找矿信息利用不充分,铀矿找矿进展缓慢.

近年来,随着中大比例尺地质、物化探、遥感等基础工作的开展<sup>⑤⑥</sup>,为新一轮的找矿预测提供了资料支撑.在区域铀成矿地质背景分析的基础上,对典型铀矿点铀成矿特征及控矿因素进行剖析,分析和提取航空放射性、地球化学、遥感等异常信息,构建地、物、化、遥综合找矿模型,类比邻区典型铀矿床,开展远景分析,圈定铀成矿远景区段,以期推动后续找矿勘查进展.

## 1 铀成矿地质背景

东东营盆地处于天山-兴蒙造山系大兴安岭弧盆系之扎兰屯-多宝山岛弧<sup>[4]</sup>(图1A).中生代受太平洋板块朝北西方向运移、俯冲或碰撞,形成了规模巨大的大兴安岭火山活动带.区域中生代构造活动以断裂和火山构造为主,形成一系列相间排列的地垒和地堑,以致大兴安岭形成多个被基底相隔、边界条件各不相同的串珠状火山盆地<sup>[5-6]</sup>.

东东营盆地前中生代基底主要由前寒武纪古陆壳块体、古生界浅变质岩夹酸性火山岩及华力西期花岗岩所构成,经历多期次构造岩浆活动改造,成熟度高,铀含量较高,一般为 $4.0 \times 10^{-6} \sim 6.1 \times 10^{-6}$ <sup>[1-2]</sup>,有利于富铀层位的产生.中新生代盖层主要为侏罗纪中酸性火山岩及白垩纪中基性火山岩夹碎屑岩.以上侏罗统中酸性火山岩分布最为广泛且与铀成矿关系最为密切.中生代侵入岩较为发育,主要为燕山期侵入岩,多为浅成-超浅成岩体,岩性主要为潜流纹岩、花岗斑岩、石英正长斑岩、正长斑岩,多沿断裂、火山机构周缘展布,与区内铀成矿关系密切.区域断裂以北东向为主,奠定了区域主体构造格架,北西、近南北或近东西向断裂

与之配套,构成了网格状断裂构造格局.研究区处于北东向板房沟防火站-哈玛尔断裂、北西向哈拉托海-大石门林场断裂及近东西向纽德古古塔-阿木牛林场断裂3条区域断裂夹持部位,次级断裂发育,断裂交切复合部位发育火山机构.其中以北东向板房沟防火站-哈玛尔断裂为区域主要控矿断裂,沿线铀矿点、矿化异常点分布众多.研究区处于铀及多金属密集分布区域,区域产出众多大中型有色金属矿床<sup>[7-9]</sup>,产出1处小型铀矿床(701矿床)及百余处铀矿化异常点(图1B),铀矿化类型主要为火山岩型,铀成矿时代为中生代中晚期<sup>[1-2, 10-11]</sup>.

## 2 典型铀矿点矿化特征及控矿因素

### 2.1 主要铀矿点矿化特征

区内产出1处铀矿点、5处铀异常点,成矿类型为火山岩型,典型铀矿点矿化产出特征如下.

VIA4铀矿点位于盆地东北缘,发育在北东向板房沟防火站-哈玛尔区域深大断裂与北西向洽泥山-卧牛河镇区域深大断裂交汇部位,次级断裂构造发育,北东向断裂沿线发育多条满克头鄂博期正长斑岩脉体(图2).铀矿化产于中奥陶统多宝山组安山质晶屑凝灰岩与潜火山岩脉体石英正长斑岩接触破碎带内,受北东向断裂次级裂隙带控制,产状为 $120^\circ \angle 87^\circ$ .该矿点发育2条构造破碎带,可见大量构造角砾岩,两者相距约130 m. I号破碎带长200 m,宽5~7 m,其间铀矿化带长约40 m,宽3~6 m; II号破碎带长度大于300 m,宽8~12 m,其间铀矿化带长约33 m,宽2~3 m,矿体铀含量一般为0.162%~0.270%.破碎带内有多条正长斑岩、石英正长斑岩脉顺层穿插.通过物探剖面测量,安山质凝灰岩与石英正长斑岩脉交界部位地面伽玛能谱测量铀含量最高达 $1004.8 \times 10^{-6}$ .<sup>210</sup>Po土壤剖面测量出现2个峰值,分别为399.05 Bq/kg、318.10 Bq/kg<sup>⑤</sup>;热液蚀变以硅化为主,其次为黄铁矿化、褐铁矿化、绿泥石化、绿帘石化和萤石化等,以硅化、黄铁矿化与铀矿化关系密切,见钙铀云母、硅钙铀矿等次生铀矿物.铀

①罗毅,等.扎兰屯预测工作区火山岩型铀矿资源潜力评价.2010.

②郝端祥,等.1981年地质工作总结报告.1981.

③田龙赫,等.1983年地质工作总结报告.1983.

④庄廷新,等.大兴安岭火山岩带富大型铀矿成矿地质条件研究.1996.

⑤张恩,等.大兴安岭铀成矿带及周缘铀矿地质调查选区成果总结报告.2018.

⑥王青,等.内蒙古林西-乌兰浩特地区铀矿远景调查报告.2016.

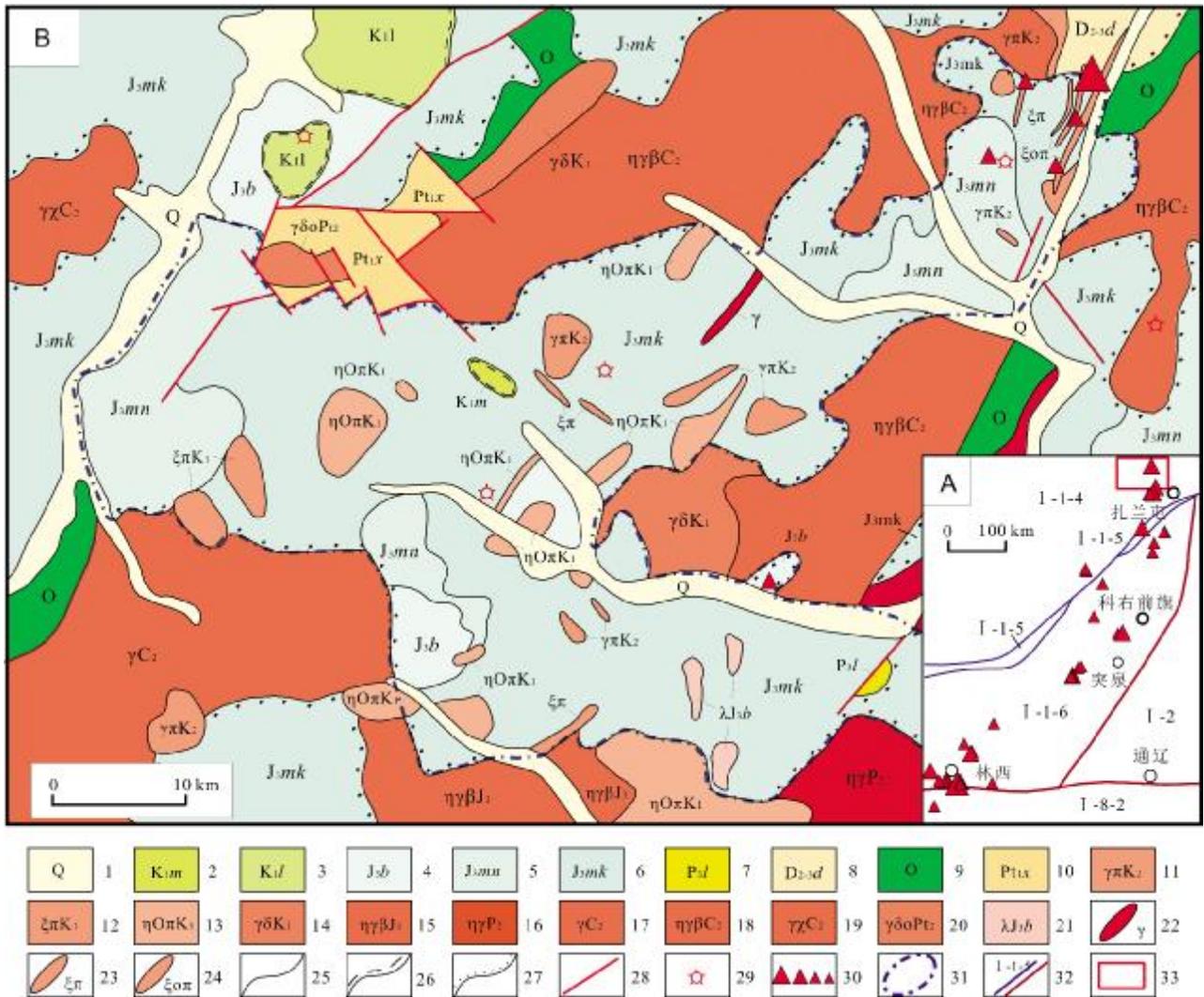


图1 研究区地质简图

Fig. 1 Geological sketch map of the study area

1—第四系(Quaternary); 2—梅勒图组(Meiletu fm.); 3—龙江组(Longjiang fm.); 4—白音高老组(Baiyingaolao fm.); 5—玛尼吐组(Manitu fm.); 6—满克头鄂博组(Manketou'ebo fm.); 7—林西组(Linxi fm.); 8—大民山组(Daminshan fm.); 9—奥陶系(Ordovician); 10—兴华渡口岩群(Xinghuadukou group complex); 11—晚白垩世花岗斑岩(Late Cretaceous granite porphyry); 12—早白垩世正长斑岩(Early Cretaceous syenite porphyry); 13—早白垩世石英二长斑岩(Early Cretaceous quartz monzoporphyry); 14—早白垩世花岗闪长岩(Early Cretaceous granodiorite); 15—晚侏罗世黑云母二长花岗岩(Late Jurassic biotite monzogranite); 16—中二叠世二长花岗岩(Middle Permian monzogranite); 17—晚石炭世花岗岩(Late Carboniferous granite); 18—晚石炭世黑云母二长花岗岩(Late Carboniferous biotite monzogranite); 19—晚石炭世白岗质花岗岩(Late Carboniferous alaskitic granite); 20—中元古代多斑状英云闪长岩(Mesoproterozoic porphyritic tonalite); 21—白音高老期潜流纹岩(Baiyingaolao latent rhyolite); 22—花岗岩脉(granite dike); 23—正长斑岩脉(syenite porphyry dike); 24—石英正长斑岩脉(quartz syenite porphyry dike); 25—地质界线(geological boundary); 26—喷发不整合界线(eruptive unconformity); 27—角度不整合界线(angular unconformity); 28—实测及推断断层(surveyed and inferred fault); 29—火山口(crater); 30—小型铀矿、铀矿点、铀矿化点、铀异常点 (small uranium deposit/ uranium occurrence/ uranium mineralized spot/ uranium anomaly); 31—火山盆地边界(volcanic basin boundary); 32—III级、II级构造分区界线及分区代号 (III- and II-order tectonic division boundary and number); 33—研究区(study area); I-1—大兴安岭弧盆系(Daxinganling arc basin system); I-1-4—扎兰屯-多宝山岛弧(Zhalantun-Duobaoshan island arc); I-1-5—二连-贺根山蛇绿岩混杂岩带(Erlian-Hegenshan ophiolite melange belt); I-1-6—锡林浩特岩浆弧(Xilinhot magmatic arc); I-2—松辽地块(Songliao massif); I-8—包尔汉图-温都尔庙弧盆系(Baoerhantu-Ondor Sum arc basin system); I-8-2—温都尔庙俯冲增生杂岩带(Ondor Sum subduction accretion complex)

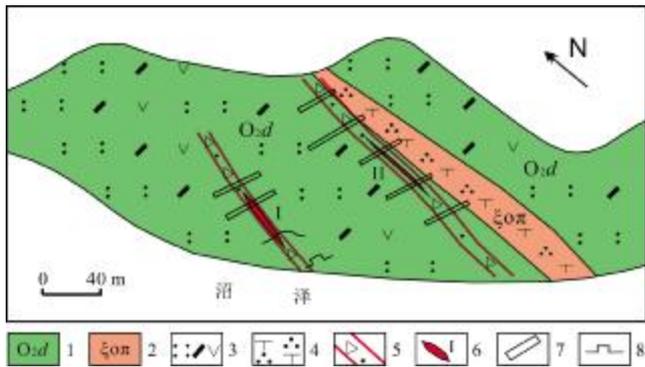


图2 VIA4铀矿点地质简图

Fig. 2 Geological sketch map of VIA4 uranium ore occurrence  
1—奥陶系多宝山组 (Ordovician Duobaoshan fm.); 2—石英正长斑岩 (quartz syenite porphyry); 3—安山质晶屑凝灰岩 (andesitic crystal tuff); 4—石英正长斑岩 (quartz syenite porphyry); 5—构造破碎带 (structural fracture zone); 6—铀矿化体及编号 (uranium mineralized body and number); 7—探槽 (trench); 8—坑道 (tunnel)

矿化伴生 U、Pb、Zn、Mo、Au、Ag 等化探异常, Pb、Zn 达到边界品位。

## 2.2 铀控矿因素

(1) 铀矿化与燕山晚期浅成-超浅成酸性岩体关系密切, 主要为潜流纹岩、花岗斑岩、石英正长斑岩、正长斑岩。

(2) 铀异常点多位于上侏罗统中酸性火山岩, 其具有分布广、厚度大、韵律多、岩性结构复杂等特征, 切层和顺层结构面发育, 易于形成赋矿空间。

(3) 铀矿化异常点多位于北东向断裂与其他断裂交切复合部位, 多赋存于低次序裂隙带、层间破碎带及岩体内外接触带。

(4) 与火山机构形成相伴随的火山构造, 是控制火山岩岩浆活动晚期潜火山岩侵入以及成矿热水活动的重要通道和汇聚场所, 利于含矿流体迁移、析出成矿。区

内铀矿点、异常点多位于火山机构及断裂交切复合部位。

(5) 铀矿化多伴生硅化、黄铁矿化、萤石化、褐铁矿化、绿泥石化、绿帘石化等蚀变, 伴生矿物有 Pb、Zn、Mo、Au、Ag 等。

## 3 铀矿多源信息分析及综合找矿模型构建

### 3.1 区域铀矿多源信息分析

区域铀成矿主要受北东向区域断裂、火山机构、酸性火山岩、潜火山岩、低序级断裂和密集裂隙带等因素复合控制, 近矿围岩蚀变主要为硅化、赤铁矿化、钾长石化、绢云母化、水云母化、萤石化<sup>[1-3]</sup>。铀矿化多伴生 U、Mo、Pb、Zn、Ag、Cu 等化探异常, 发育放射性单元素或元素组合异常, 铀矿床(点)多位于或邻近远感蚀变异常<sup>[1-3]</sup>(表 1)。

### 3.2 铀矿多源信息分析

#### 3.2.1 航空放射性异常信息

航放数据包含钾、铀、钍 3 个放射性核素信息。不同地球化学环境下, 铀、钾、钍活动性强弱表现不一<sup>[12-14]</sup>。铀矿化部位热液作用强烈, 伴随着压力、温度、pH 及  $E_h$  值等物理-化学条件的变化, 铀、钍、钾元素重新分配, 形成规律性分布的扩散晕。理论上, 成因类型相似的矿床具有相似的表征成矿环境的放射性特征<sup>[10-17]</sup>。本次基于钾、铀、钍元素之间的地球化学特征差异, 结合区域典型铀矿床(点)航放异常特征(表 1), 选取了多种航放参数模型, 突显与铀成矿相关的异常信息。经试验对比分析, 航放铀增量参数( $\Delta U$ )、U/Th 参数和 U/K 参数更能突显与铀矿化相关的信息(图 3A、B、C)。

(1) 航放铀增量高值晕: 航放铀增量( $\Delta U$ )含量为

表 1 区域铀矿多源信息统计表

Table 1 Multi-source information statistics of regional uranium deposits/occurrences

矿床(点)	地层	潜火山岩	构造方向	放射性异常	化探异常	遥感蚀变
701 矿床	满克头鄂博组、哲斯组		E-W	地面伽玛高场	U、Mo、Ag	铁染、羟基异常
78510 矿点	玛尼吐组		S-N、NE	航放铀高场、铀/钾高值晕	U、Mo、Pb、Cu	铁染异常
25 矿点	满克头鄂博组	花岗斑岩	S-N、NE	航放铀高场、铀增量及铀/钾高值晕	U、Mo	铁染、羟基异常
751 矿点	满克头鄂博组		NE	铀钍/钾高值晕、活性铀低值晕	U、Mo、Zn	羟基、铁染异常
VIA4 矿点	中奥陶统多宝山组	正长斑岩	NE	铀钍/钾高值晕、铀增量高值晕	U、Cu、Pb、Zn、Mo	羟基异常
A1 矿点	满克头鄂博组	潜流纹斑岩	NE	活性铀低值晕、铀钍/钾高值晕、铀增量高值晕	-	羟基、铁染异常

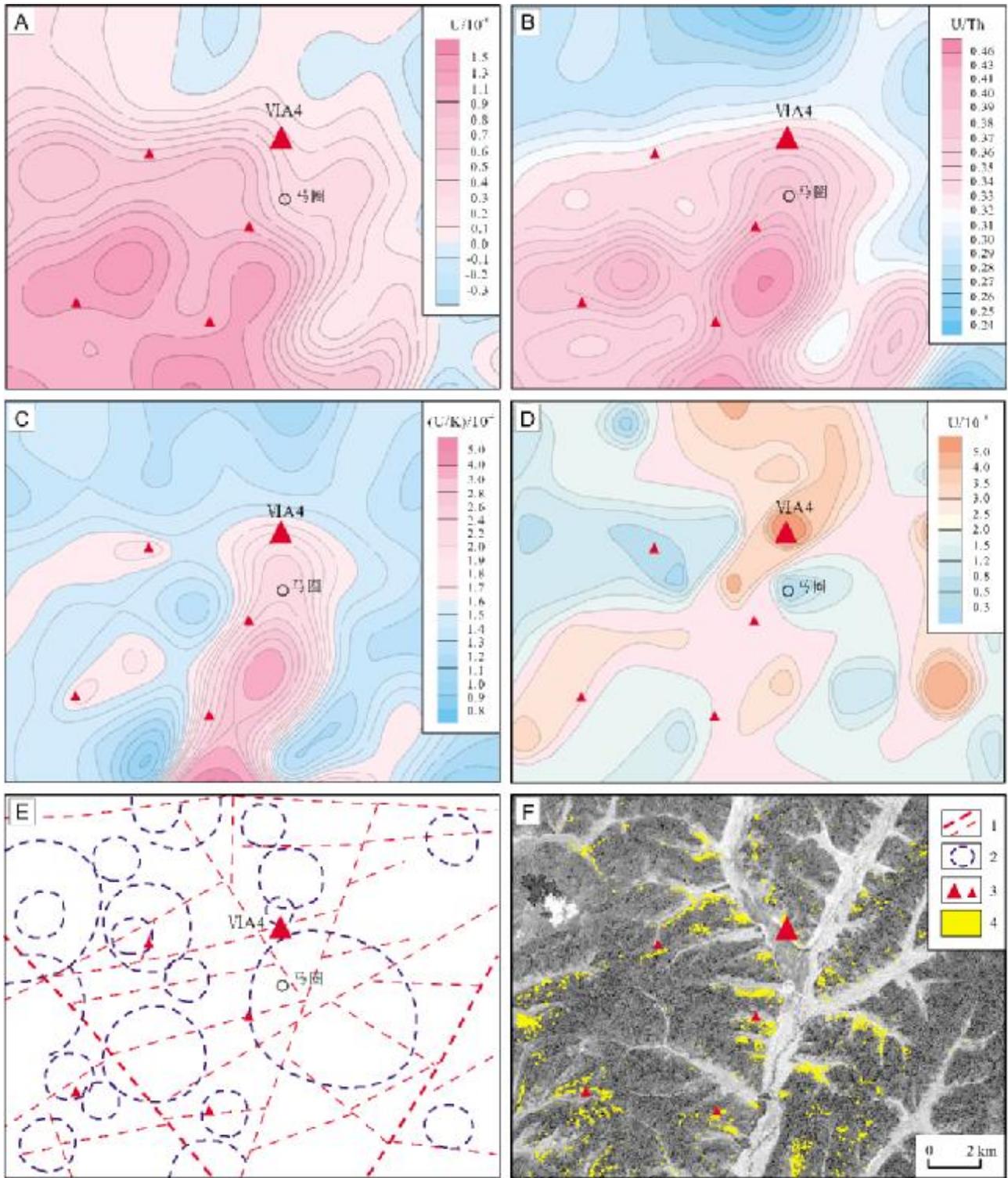


图 3 马圈地段综合异常图

Fig. 3 Comprehensive anomaly map of Majuan area

A—航放铀增量含量等值线平面图 (uranium incremental content contour by airborne radioactivity survey); B—航放 U/Th 含量等值线平面图 (U/Th content contour by airborne radioactivity survey); C—航放 U/K 含量等值线平面图 (U/K content contour by airborne radioactivity survey); D—化探 U 含量等值线平面图 (geochemical U content contour); E—遥感解译构造图 (RS-interpreted structural map); F—遥感蚀变异常分布图 (alteration anomaly distribution by RS); 1—遥感解译区域断裂、一般断裂(RS-interpreted regional and general faults); 2—遥感解译弧环形构造(RS-interpreted arc-ring structure); 3—铀矿点、异常点(uranium occurrence/anomaly); 4—遥感羟基异常(hydroxyl anomaly by RS)

测点 U 含量值与测点所在地质单元 U 含量平均值之差,旨在消除、压制岩性背景值因素影响,突显与成矿相关的富集异常. 铀增量高值晕总体呈北东向及近东西向展布,主要位于紫沟、三七林场、古营河、小光顶山地带(图 3A、图 4),主要沿断裂、潜火山岩及华力西期侵入岩接触带展布. 如紫沟一带铀增量高值晕总体呈北东向展布,局部呈近东西向展布,与正长斑岩、石英正长斑岩脉空间展布相一致,异常规模大且异常值突出. 铀矿点、异常点多位于或邻近航放铀增量高值晕( $>0.3 \times 10^{-6}$ ).

(2)航放 U/Th 高值晕:主要用于研究 U、Th 放射性元素在成矿作用过程中动态平衡破坏状况. 航放 U/Th 高值晕总体呈北东向展布,局部呈北西向、近东西向展布(图 3B、图 4),主要分布于紫沟、三七林场、古营河、小光顶山北、苏联屯东地带,总体与断裂、火山机构、潜火山岩内外接触带空间展布相一致. 铀矿点、异常点多位于或邻近航放 U/Th 高值晕( $>0.33$ ).

(3)航放 U/K 高值晕:主要用于研究 U、K 放射性元素在成矿作用过程中动态平衡破坏状况. 航放 U/K 高值晕总体呈北东向展布,局部呈近东西向展布(图 3C、图 4),主要分布于紫沟、三七林场、小光顶山北、苏联屯东地带,总体与断裂、火山机构、潜火山岩内外接触带空间展布相一致. 铀矿点、异常点多位于或邻近航放 U/K 高值晕( $>1.8 \times 10^{-4}$ ).

### 3.2.2 地球化学异常信息

U 元素化探异常是探寻铀矿最直接有效的地学信息,1:20 万铀地球化学图显示(图 3D、图 4),U 化

探高值区总体呈北东向,局部呈近南北向及近东西向展布,紫沟、三七林场等地带高值区规模较大且高值较为突出,主要与断裂、潜火山岩体内外接触带空间展布相一致. 铀矿点、异常点多位于 U 含量高值区( $>2.5 \times 10^{-6}$ ).

### 3.2.3 遥感信息

研究区发育线性构造 120 余条,多呈北东、北西及近东西向展布,其相互交切,形成网格状断裂系统,控制着地层、岩体、物化探及矿化异常的展布. 弧环构造发育 50 余处,紫沟、三七林场、小光顶山-苏联屯区域分布集中,直径多为 2~4 km,环形形态较为完整,呈现弧环相交切,其多处于不同方向次级断裂交汇部位(图 3E、图 4),多为火山机构、潜火山岩体、侵入岩体的反映. 铀矿点、异常点多处于弧环构造边缘与线性构造交汇部位.

本次采用 ETM 遥感数据提取了羟基、铁染蚀变信息(图 3F、图 4),异常总体呈北东向展布,局部呈近东西向、北西向展布,总体与断裂、火山机构、潜火山岩体接触带空间展布相一致. 铁染蚀变发育微弱,零星分布于古营河、三七林场等地带. 羟基蚀变发育较强,主要分布于紫沟-巴林、小光顶山-三七林场、古营河西等地带,铀矿点、异常点多位于或邻近遥感羟基蚀变异常.

### 3.3 铀矿综合找矿模型构建

基于研究区铀成矿地质特征、控矿因素,结合航放、化探、遥感信息,建立了火山岩型铀矿综合找矿模型(表 2).

表 2 研究区火山岩型铀矿综合找矿模型

Table 2 Integrated prospecting model for volcanic type uranium deposits in the study area

控矿因子	找矿有利信息
地质条件	地层 主要产于上侏罗统中酸性火山岩,主要为玛尼吐组、满克头鄂博组、白音高老组
	构造 主要受控于 NE 向断裂与其他断裂交切复合部位,多赋存于低次序裂隙带、层间破碎带及岩体接触带
	岩体 与燕山晚期浅成-超浅成酸性岩体、岩脉关系密切,主要为潜流纹岩、花岗斑岩、石英正长斑岩、正长斑岩
航放信息	铀增量 多位于高值晕( $>0.3 \times 10^{-6}$ )
	U/Th 多位于高值晕( $>0.33$ )
	U/K 多位于高值晕( $>1.8 \times 10^{-4}$ )
化探信息	U 含量 多位于高值区( $>2.5 \times 10^{-6}$ )
遥感信息	遥感异常 羟基异常,蚀变强度越高,成矿潜力越大
	解译构造 线性构造与弧环构造交切复合部位

4 找矿远景分析

东沟营盆地为一发育于前寒武纪变质岩、古生界浅变质岩及花岗岩基底之上的中生代火山-沉积盆地,基底历经多期次强烈改造、成熟度高、富铀,中生代盖层具多旋回、多期次、岩相复杂多变、铀含量普遍较高等特征,中生代以来强烈伸展拉张构造环境下形成以东北向断裂为主的网状构造格架,与中蒙俄交界斯特列里措夫、多尔脑德等铀矿床所处盆地铀成矿地质背景相似<sup>[18-22]</sup>(表 3)。研究区次级断裂相互交汇贯通,火山岩层间岩性不均一、层间破碎带发育,浅成-超浅成岩体内外接触带次级裂隙发育,均能为铀成矿提供有利的赋存空间。研究区已发现多处铀矿点、铀异常点,铀矿化受断裂、浅成-超浅成岩体及火山岩岩性控制,同时分布多处航放、化探、遥感蚀变、弧环构造等找矿有利线索,具备较好的找矿前景。依据火山岩型铀矿综合找矿模型,类比邻区典型火山岩型铀矿床(表 3),结合研究区地质、物化遥综合找矿信息,综合分析认为 4 处地区具备较好的找矿前景(图 4)。

I 区:处于北东向及北西向区域断裂夹持部位,次级断裂极为发育,上侏罗统满克头鄂博组、玛尼吐组分布较广。燕山晚期花岗斑岩、正长斑岩、石英正长斑岩发育,总体呈北东向展布。发育 6 处航放铀增量高值晕(最高值为  $2.72 \times 10^{-6}$ )、11 处航放 U/Th 高值晕(最高值为 0.56)、10 处航放 U/K 高值晕(最高值为  $10.1 \times 10^{-4}$ )、3 处 U 化探异常(最高值为  $6.6 \times 10^{-6}$ ),异常规模大、异常值较突出且套合程度较高。发育 15 处弧环断裂。遥感羟基异常蚀变极为发育,总体沿断裂及脉岩接触带展布。存在 1 处铀矿点、4 处铀异常点,铀找矿潜力优

越。

II 区:西邻北西向区域断裂,次级断裂发育,上侏罗统满克头鄂博组分布较广。燕山晚期花岗斑岩、石英二长斑岩、正长斑岩等脉岩发育。分布 2 处航放铀增量高值晕(最高值为  $0.75 \times 10^{-6}$ )、5 处航放 U/Th 高值晕(最高值为 0.37)、4 处航放 U/K 高值晕(最高值为  $9.2 \times 10^{-4}$ ),中西部异常套合程度较好。发育 5 处弧环断裂。遥感羟基异常,总体沿断裂及脉岩接触带展布。该区尚未发现铀矿床(点),具备较好的找矿潜力。

III 区:处于北东、北西及近东西向区域断裂夹持部位,次级断裂发育,上侏罗统满克头鄂博组、玛尼吐组分布较广,燕山晚期正长斑岩、石英二长斑岩较为发育。分布 3 处航放铀增量高值晕(最高值为  $0.78 \times 10^{-6}$ )、6 处航放 U/Th 高值晕(最高值为 0.39)、6 处航放 U/K 高值晕(最高值为  $14.62 \times 10^{-4}$ ),中部异常套合程度较好。发育 8 处弧环断裂。遥感羟基异常星散发育。该区尚未发现铀矿床(点),具备较好的找矿潜力。

IV 区:处于北东、北西及近东西向区域断裂夹持部位,次级断裂发育,上侏罗统满克头鄂博组分布较广,白音高老期潜流纹岩发育。发育 6 处航放铀增量高值晕(最高值为  $1.55 \times 10^{-6}$ )、6 处航放 U/Th 高值晕(最高值为 0.41)、10 处航放 U/K 高值晕(最高值为  $3.8 \times 10^{-4}$ )、3 处 U 化探异常(最高值为  $5.6 \times 10^{-6}$ ),异常多呈团块状展布,在中部白音高老期潜流纹岩及其周边异常规模较大,套合程度相对较好。发育 8 处弧环断裂。遥感羟基异常星散发育,总体与断裂展布相一致。该区北部发育 1 处铀异常点,具备较好的找矿潜力。

表 3 邻区典型火山岩型铀矿床成矿地质特征一览表

Table 3 Metallogenic characteristics of typical volcanic-type uranium deposits in adjacent areas

地区(矿床)	斯特列里措夫矿床	多尔脑德铀矿床
铀成矿地质背景	位于西伯利亚板块南缘前寒武纪中间地块及巨型花岗岩穹隆之上的火山-沉积盆地。盆地基底由古生代花岗岩和元古宙变质岩组成,演化历史长,历经多期次强烈改造,成熟度高。盆地盖层主要由上侏罗统一白垩统火山-沉积岩组成。NE、NW 和 S-N 向断裂发育,交切呈网格状。NE 向断裂为控岩、控矿基底断裂	位于西伯利亚板块南缘额尔古纳微陆块边缘的火山-沉积盆地。盆地基底为元古宙和古生代片麻岩、斜长角闪岩和部分元古宙变质岩的残留体;盆地盖层为上侏罗统一白垩统火山-沉积盖层。NW、近 SN 和 NE 向断裂为主,NE 向断裂带控制着与铀矿化、蚀变带的空间展布
铀成矿地质特征	铀成矿主要受岩性和构造因素控制。NE 向额尔古纳断裂带控制着铀矿化总体展布,NW 向断裂为主要赋矿构造,其与 NE、SN 向断裂的交结处有利于铀矿化产出。铀矿体主要呈似脉状、网脉状和似层状,主要定位于下白垩统霏细岩层底部、上侏罗统粗面英安岩层中,主要赋存于断裂带、层间破碎带中。铀矿化伴生硅化、绿泥石化、钠长石化、水云母化、萤石化等热液蚀变	铀矿床定位于 NE、NW 向区域断裂交汇部位,铀矿化主要产于上侏罗统一白垩统流纹岩及其与炭质组分含量高的沉积岩接触带、玄武安山岩熔岩及其底部粗块角砾岩。矿体以脉状、网脉状、透镜状和层状为主,主要受断裂和层间裂隙控制。铀矿化伴生硅化、赤铁矿化、绿泥石化、水云母化等蚀变

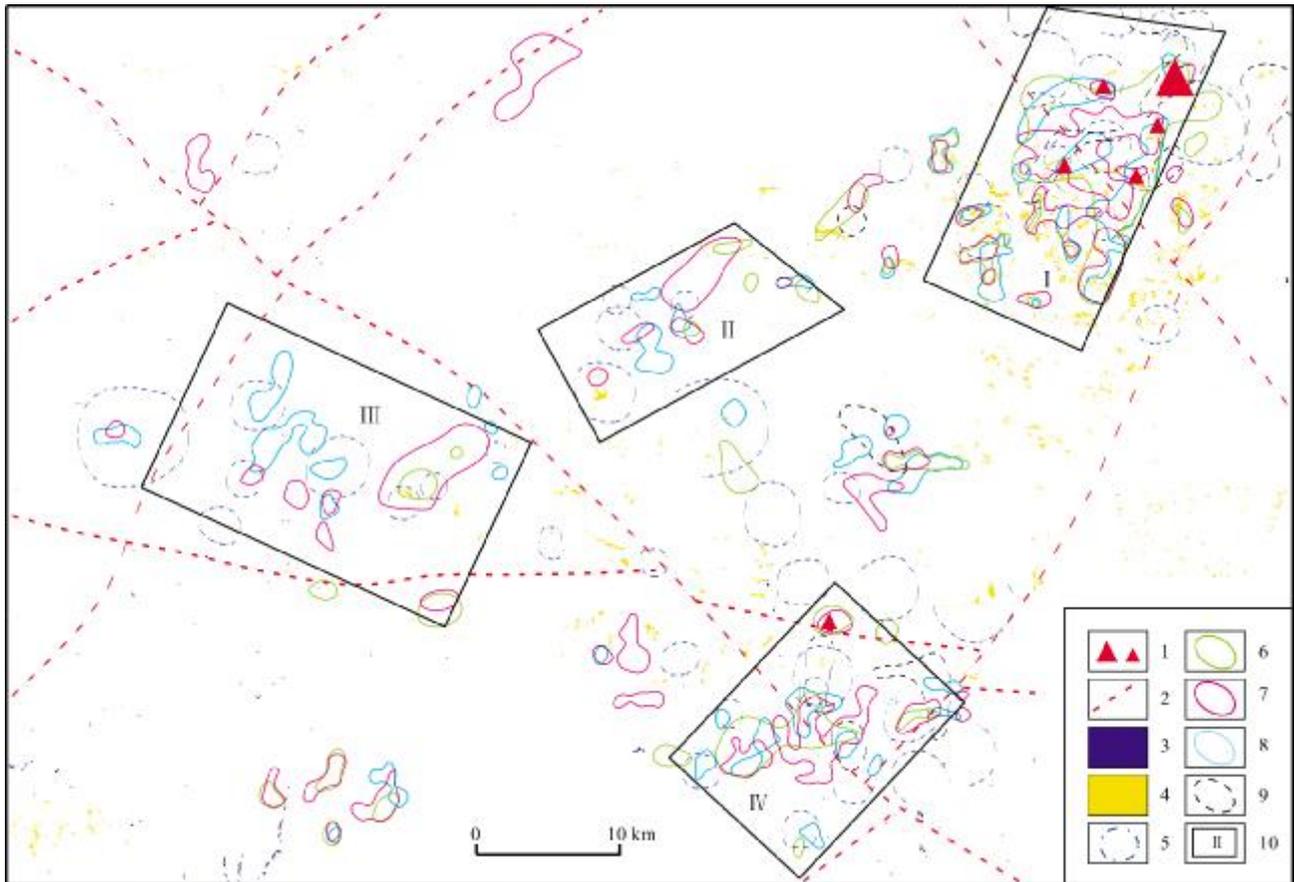


图4 研究区铀成矿远景预测图

Fig. 4 Prospect prediction of uranium mineralization in the study area

1—铀矿点、异常点 (uranium occurrence/anomaly); 2—遥感解译区域断裂 (RS-interpreted regional fault); 3—遥感铁染异常 (ferric contamination anomaly by RS); 4—遥感羟基异常 (hydroxyl anomaly by RS); 5—遥感解译弧环形构造 (RS-interpreted arc-ring structure); 6—航放铀增量高值晕 (uranium incremental high value halo by airborne radioactivity survey); 7—航放 U/Th 高值晕 (U/Th high value halo by airborne radioactivity survey); 8—航放 U/K 高值晕 (U/K high value halo by airborne radioactivity survey); 9—1:20 万化探 U 异常 (U anomaly by 1:200000 geochemical exploration); 10—成矿远景区及编号 (metallogenic prospect and number)

## 5 结论

(1)在典型铀矿点成矿地质特征分析的基础上,对控矿因素进行了总结.区内火山岩型铀成矿主要受北东向区域断裂、燕山晚期浅成-超浅成岩体、上侏罗统中酸性火山岩、低序级断裂和密集裂隙带等复合控制.

(2)基于铀成矿地质特征及控矿因素,结合航放、化探、遥感铀成矿异常信息,构建了火山岩型铀矿综合找矿模型.铀矿点、异常点多位于线性断裂与弧环构造交汇部位,多处于航放 U/K 参数高值晕( $>1.8 \times 10^{-4}$ )、U/Th 参数高值晕( $>0.33$ )、航放铀增量高值晕( $>0.3 \times 10^{-6}$ )、化探 U 高值区( $>2.5 \times 10^{-6}$ )及遥感羟基蚀变发育部位.

(3)类比邻区国外典型火山岩型铀矿床,开展找矿远景分析,认为研究区具备较好的找矿前景.依据火山岩型铀矿综合找矿模型,结合地质、航放、化探及遥感信息,圈定4处成矿有利区段.其中II~IV区为新预测远景区,成矿地质条件优越,综合异常信息丰富,具备较好的找矿潜力.

## 参考文献:

- [1]席海银,马超,卢胜军,等.大兴安岭中段铀成矿地质条件及找矿方向[J].东华理工大学学报(自然科学版),2017,40(3):237-245.
- [2]范月野,席海银,董明.大兴安岭北段南木火山盆地铀成矿地质条件及找矿前景分析[J].地质与资源,2018,27(2):137-140.

(下转第 373 页 /Continued on Page 373)

和人为开采的双重影响。

2)长春新区地下水水位埋深呈现不同的波动性,具有明显的空间分异特征。地下水埋深与降水量呈明显的负相关,地下水埋深与降水量的相关具有差异性。

### 参考文献:

- [1]孟凡傲,梁秀娟,郝洋,等.洮儿河扇形地地下水动态特征分析[J].节水灌溉,2016,0(4):65-68.
- [2]李凯,卞玉梅,杨静,等.下辽河平原地下水多年动态变化特征分析[J].地质与资源,2009,18(2):140-143.
- [3]曹成立,孟秀敬.长春市浅层地下水动态监测分析[J].吉林水利,2010,26(6):58-61.
- [4]曹成立.长春市地下水动态研究[J].世界地质,2010,29(3):479-484.
- [5]李鸿雁,贾丽娜,姚永亮,等.黑龙江建三江分局地区地下水动态特征分析[J].节水灌溉,2013,38(6):14-17.
- [6]田辉,金洪涛,孙岐发,等.辽河三角洲地下潜水现状及变化规律研究[J].地质与资源,2017,26(3):290-295.
- [7]万思成,李琼芳,虞美秀,等.北京市平原地区地下水动态变化规律及影响因素分析[J].水电能源科学,2013,31(12):46-50.
- [8]张梅桂,黄永明,蔡贺.松嫩平原地下水位动态影响因素分析[J].地质与资源,2016,25(6):558-562.
- [9]张真真,卞建民,高月.大安市地下水动态变化规律及影响因素分析[J].湖北农业科学,2015,54(14):3379-3383.
- [10]孙岐发,田辉,张扩.下辽河平原地区历史地面沉降情况研究[J].地质与资源,2014,23(5):450-452.
- [11]田辉,郭晓东,都基众,等.大庆市地下水降落漏斗现状分析[J].地质与资源,2011,20(5):339-342.
- [12]田辉,金洪涛,孙岐发,等.基于层次分析法的盘锦湿地生态评价[J].地质与资源,2018,27(3):268-271,287.
- [13]田辉,郭晓东,刘强,等.大庆市地下水开采及环境地质问题探讨[J].地质与资源,2012,21(1):139-142.
- [14]黄勇,周志芳,王锦国,等.R/S分析法在地下水动态分析中的应用[J].河海大学学报(自然科学版),2002,30(1):83-87.
- [15]杜强,贾丽艳.SPSS统计分析——从入门到精通[M].北京:人民邮电出版社,2011:33-136.
- [16]王鸽,肖长来,梁秀娟,等.挠力河流域地下水动态特征分析及预测[J].水电能源科学,2017,35(12):144-147.
- [17]郭晓东,田辉,方樟.Visual Modflow在松嫩平原地下水动态调查评价中的应用[J].地质与资源,2013,22(4):333-336.
- (上接第334页/Continued from Page 334)
- [3]李长华,吴燕清,王世成,等.大兴安岭中南段火山岩型铀矿成矿条件及远景预测[J].铀矿地质,2018,34(6):329-336.
- [4]潘桂棠,肖庆辉,陆松年,等.中国大地构造单元划分[J].中国地质,2009,36(1):1-28.
- [5]王忠,朱洪森.大兴安岭中南段中生代火山岩特征及演化[J].中国区域地质,1999,18(4):351-358,372.
- [6]黄净白,黄世杰.中国铀资源区域成矿特征[J].铀矿地质,2005,21(3):129-138.
- [7]陈良,张达,狄永军,等.大兴安岭中南段区域成矿规律初步研究[J].地质找矿论丛,2009,24(4):267-271.
- [8]邵积东,王守光,赵文涛,等.大兴安岭地区成矿地质特征及找矿前景分析[J].地质与资源,2007,16(4):252-256,262.
- [9]邵军,李秀荣,赵方树,等.大兴安岭北部地区多金属找矿急需解决的几个问题[J].地质与资源,2004,13(3):169-171,183.
- [10]于宝山,赵忠华,田万文.东北地区铀矿床类型空间变化的地质内涵及对铀矿找矿问题的思考[J].世界核地质科学,2007,24(4):187-193.
- [11]赵忠华,彭志东,张学元,等.中国北东部火山岩型铀矿成矿地质特征及找矿方向[J].铀矿地质,2007,23(3):129-137,155.
- [12]于百川.我国航空放射性测量的进展[J].铀矿地质,1990,6(2):99-103,119.
- [13]汪远志,李兵海,张俊伟,等.全国铀矿资源潜力评价航放数据处理与研究[J].铀矿地质,2012,28(6):361-369.
- [14]张恩,段明,卢辉雄,等.航空伽玛能谱数据在突泉地区铀成矿预测中的应用[J].矿产勘查,2019,10(7):1624-1631.
- [15]钟延秋,徐庆霞,谷社峰.航空放射性测量资料在成矿远景预测中的应用——以海拉尔盆地砂岩型铀矿为例[J].地质与资源,2010,19(4):319-324.
- [16]杨海,赵廷严,李诗珺,等.秦岭华阳川地区航空伽玛能谱异常特征及找矿方向[J].中国地质,2019,46(3):651-661.
- [17]卢辉雄,张恩,冯博,等.内蒙古巴升河地区航空伽玛能谱异常特征及其铀成矿潜力分析[J].物探与化探,2020,44(1):59-65.
- [18]柴璐,周永恒,鲍庆中,等.俄罗斯斯特列里措夫火山岩型铀矿床地质特征及启示[J].地质与资源,2013,22(3):250-254.
- [19]张鹏鹏,李俊建,党智财,等.蒙古国道尔脑德铀矿床地质特征及找矿方向[J].黄金科学技术,2018,26(1):9-16.
- [20]吴涛涛,周永恒,陈聪,等.蒙古国铀矿地质特征及资源潜力[J].地质与勘探,2018,54(6):1247-1255.
- [21]裴承凯,黄贤芳,仇宝聚.蒙古铀资源简述[J].世界核地质科学,2007,24(2):88-95.
- [22]方锡珩.相山铀矿田与斯特列利措夫铀矿田特征对比[J].铀矿地质,2012,28(5):265-272.