内蒙古四子王旗卫境南部地区铀矿化特征及成因探讨

朱小兵[1,2]，徐 勇[1,2]，罗 潇[1,2]

（1. 核工业二三〇研究所，湖南 长沙 410007；
2. 湖南省伴生放射性矿产资源评价与综合利用工程技术研究中心，湖南 长沙 410007）

摘要：从铀矿化特征、元素地球化学特征等方面，阐述了内蒙古四子王旗卫境南部地区地表铀矿化特征、矿石特征及铀赋存形式，研究了北东向含矿构造中矿石常量、微量及稀土元素地球化学特征。研究认为，铀矿化与胶磷矿、氧化铁质的吸附作用密切相关，U 与 P_2O_5 呈正相关性；矿石的稀土元素特征表现为重稀土富集的左倾“海鸥”式。根据铀矿化特征，重点从元素地球化学特征入手，探讨了铀矿化成因，认为含矿热液沿构造上升至特定的氧化还原界面，铀卸载后以类质同象进入磷灰石晶格中，形成富铀胶磷矿，同时伴随着重稀土、锶的共同富集沉淀。

关键词：铀矿化特征；地球化学特征；铀成因；卫境南部
中图分类号：P619.14 **文献标志码**：A **文章编号**：1000-8063(2023)03-0001-09
DOI：10.13426/j.cnki.yky.2022.12.02

内蒙古四子王旗卫境南部地区位于卫境岩体南部，具有较优越的铀成矿地质条件。区内萤石及多金属矿产极为发育，有苏莫查干、敖包吐等特大型（大型）萤石矿及一系列矿（化）点。前人主要在卫境岩体西侧查干哈达—贵勒斯太地区和东侧巴彦敖包地区开展了铀矿调查评价工作，通过钻探、槽探、地质测量，及物化探测等手段发现一些铀异常（矿化）点，铀矿化类型主要分为花岗岩型、接触交代型[1-3]。目前，对卫境南部地区研究工作程度较低。笔者以卫境南部地区为研究对象，从铀矿化特征、元素地球化学特征及成因方面进行研究，以期为卫境地区铀矿勘查提供新的线索和方向。

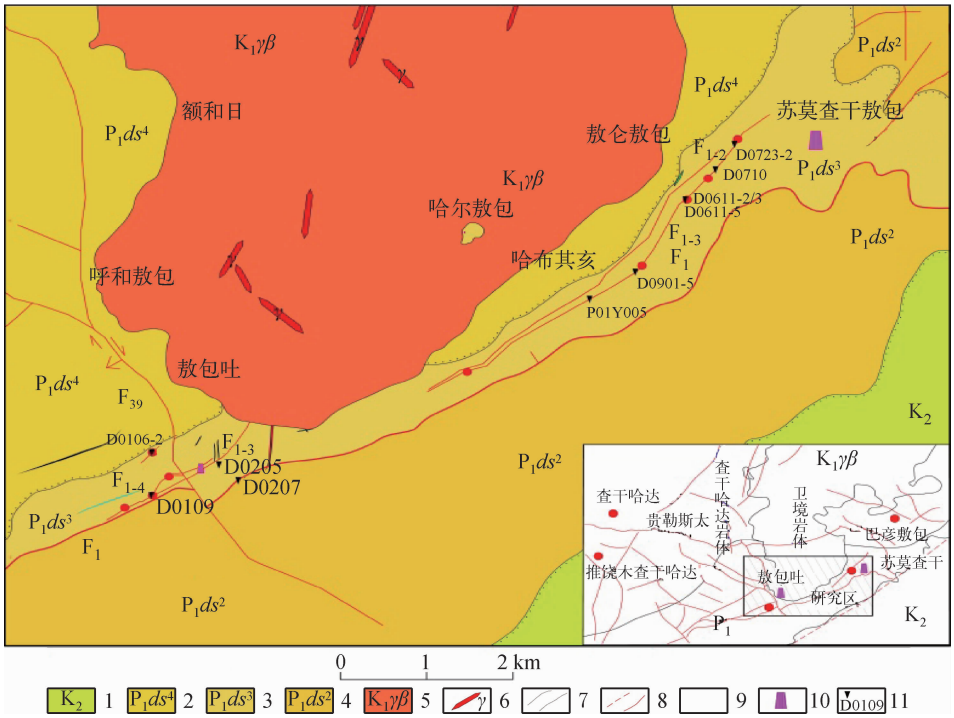
1 地质背景

卫境南部地区位于西伯利亚和华北板块之间的中亚古生代造山带的东段，索伦山—西拉木伦河板块缝合线[4]和贺根山深大断裂之间，巴音宝力格隆起西部。

区内出露地层主要为下二叠统大石寨组火山-沉积岩（图 1），由变质流纹晶屑凝灰岩、流纹岩和碳质、绿泥质板岩组成[5]。流纹岩的锆石 SHRIMP U-Pb 同位素年龄为（276±10）Ma，其形成时代为海西晚期[6]545。大石寨组三岩段板岩为主要的含矿围岩。岩浆岩主要为卫境岩体，岩体分带明显，中心相至边缘相岩性依次由中粗粒似斑状黑云母花岗岩过渡为细粒斑状黑云母花岗岩，U-Pb 锆石年龄（138±4）Ma[6]545。

区内断裂构造大致可分为北东向、北西向 2 组。北东向构造主要有 F_1、F_{1-1}、F_{1-2}、F_{1-3}、F_{1-4}，以均压性为主，构造岩主要为蚀变构造角砾岩，其中 F_1 是区域性大断裂，也是苏莫查干萤石矿的控矿构造；F_{1-1}、F_{1-3}、F_{1-4} 等构造控制了铀矿化的产出。北西向构造 F_{39}，构造性质为张性，在敖包吐附近将北东向构造错断，导致地层错位，同时引起南西端地层发生倒转，倾向变为 SE。

收稿日期：2022-12-02
第一作者简介：朱小兵（1985—），男，四川达县人，学士，高级工程师，主要从事铀矿地质勘查工作。



1—下白垩统;2—大石寨组四岩段;3—大石寨组三岩段;4—大石寨组二岩段;5—燕山晚期白垩纪花岗岩(卫境岩体);6—细粒花岗岩脉;7—地层整合及不整合;8—断裂;9—铀矿化点;10—萤石矿;11—取样位置及编号。

图 1 卫境南部地区地质图

Fig. 1 Geological map of southern Weijing area

区内矿产较为丰富,有萤石矿、铀矿等,其中萤石矿主要有苏莫查干萤石矿和敖包吐萤石矿;铀矿化主要产于查干哈达、推饶木查干敖包、巴彦敖包、卫境南部一带。

2 铀矿化特征

2.1 地表铀矿化特征

区内铀矿化主要产于卫境岩体南部外接触带大石寨组三岩段的层间断裂构造中,异常呈带状展布,受控于北东向 $F_{1\text{-}1}$、$F_{1\text{-}3}$、$F_{1\text{-}4}$ 断裂。异常断续延伸 5 km,其中北东段的连续异常长约700 m、宽为 0.5～2.0 m,刻槽样品中 $w(U)$ 为 0.02%～0.33%,赋矿岩性为硅化、褐铁矿化、赤铁矿化和碳酸盐化的构造角砾岩,围岩为灰黑色绢云母绿泥石碳质板岩、千枚岩。

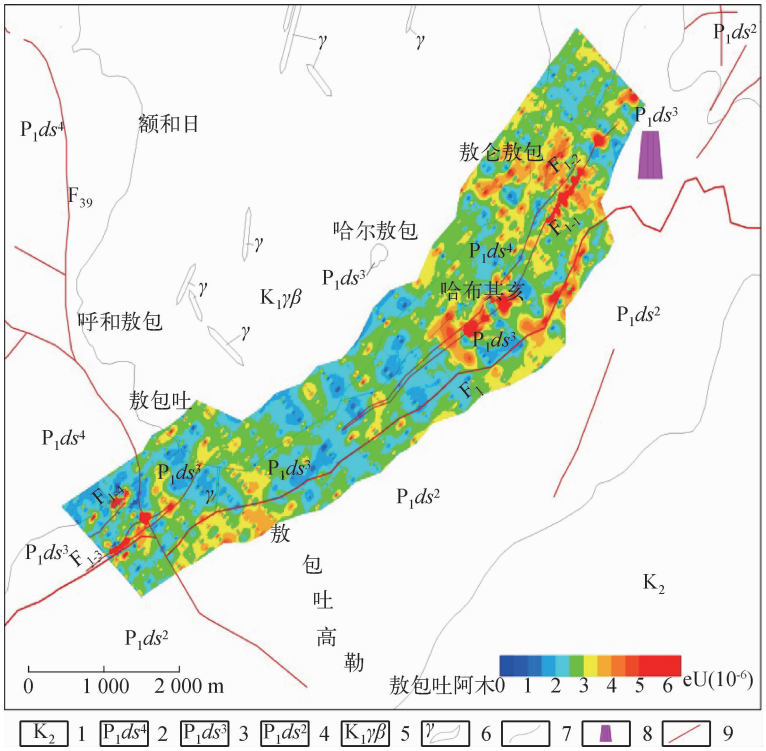
2.2 物化探异常范围

研究区能谱铀异常整体呈北东向条带状展布(图 2),测量值主要介于(2～6)$\times 10^{-6}$,峰值可达 200×10^{-6} 以上,具西南、东北高特征,与构造 $F_{1\text{-}1}$、$F_{1\text{-}3}$、$F_{1\text{-}4}$ 吻合度较高,这表明构造是该地区的主要控矿因素之一。

2.3 矿石特征及铀赋存形式

卫境南部地区赋矿岩性为硅化、褐铁矿化、赤铁矿化构造角砾岩,原岩为灰黑色绢云母绿泥石碳质板岩。铀矿石呈微晶粒状结构,块状构造,主要矿物为柱状、粒状磷灰石,它形微晶粒状石英,以及凝粒状、团块状氧化铁质和吸附态铀。常见 2 个圈层,内圈层为微晶、隐晶集合体状胶磷矿,外圈层为具规则假象的氧化铁质(图 3a、图 3b)。岩石发育碎裂化,发育裂隙,裂隙中分布方解石、氧化铁质等。

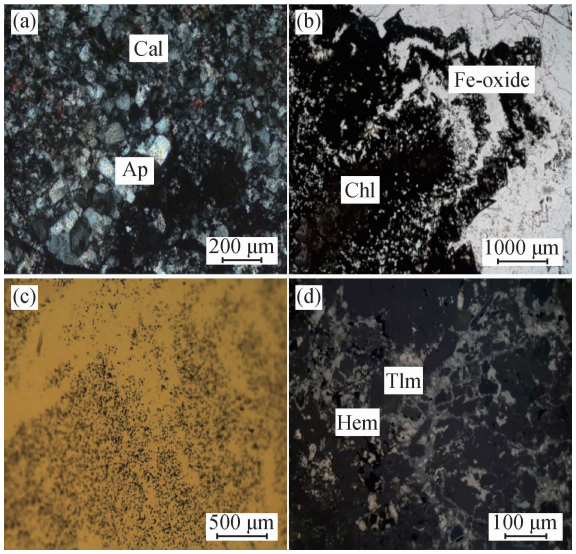
α 径迹主要呈稀疏、分散的点状(图 3c),径迹主要对应岩石中的氧化铁质、磷质(图 3d)。这表明卫境南部地区铀主要赋存于胶磷矿和氧化铁质周边,铀多以吸附态形式存在于胶磷矿,与相山铀矿田的部分矿物共生组合相类似[7]218。



1—下白垩统；2—大石寨组四段；3—大石寨组三段；4—大石寨组二段；5—卫境岩体；6—花岗岩脉；7—岩层界限；8—萤石矿；9—断裂。

图 2　卫境南部地区地面伽马能谱铀含量等值线图

Fig. 2　Contour map of uranium content in surface gamma-ray spectrum in southern Weijing area



(a)D0611-3 镜下照片(正交偏光)；(b)D0710 镜下照片(单偏光)；(c)D0611-3 矿石 α-track；(d)D0611-3 矿石 α-track 对应氧化铁质(反射偏光)。Cal—方解石；Ap—磷灰石；Chl—绿泥石；Fe-oxide—氧化铁质；Tlm—钛铁矿；Hem—赤铁矿。

图 3　卫境南部地区典型矿石镜下特征

Fig. 3　Typical microscopic characteristics of ore in southern Weijing area

3　元素地球化学特征

3.1　样品采集及分析测试

样品采集：采集近地表新鲜样品 11 件，其中 2 件为围岩，用于与矿石样对比；2 件为微晶石英，用于构造对比分析；7 件为矿石，用于铀矿化地球化学特征分析。样品由核工业二三〇研究所分析测试中心进行分析测试。

测试方法：采用《硅酸盐岩石化学分析方法 第 30 部分：44 个元素量测定》(GB/T 14506.30—2010)测定相关元素；采用《测定相关元素电感耦合等离子体质谱法》(230-JC-011—2017)测定岩石土壤中 Ag、As、Hg；采用《区域地球化学样品分析方法第 3 部分：钡、铍、铋等 15 个元素量测定　电感耦合等离子体质谱法》(DZ/T 0279.3—2016)测定相关元素；采用《多金属矿石分析　无色散原子荧光光谱法》(DZG 93-01)测定汞量。

3.2　常量、微量元素特征

卫境南部地区常量、微量元素组分见表 1。可以看出，与围岩相比，矿石中 P_2O_5、CaO、Sr、

Al_2O_3、MnO 均有不同程度的富集，而 Rb、K_2O 存在不同程度的流失，具有明显的高 Sr、低 Rb 特征；矿石组分与北天山冰草沟铀磷矿、相山矿田的富磷铀矿石化学成分特征一致。铀的富集过程是伴随着 $w(FeO)$ 减少、$w(Fe_2O_3)$ 增加的氧化过程。

使用 SPSS 统计软件对卫境南部地区样品的部分常量、微量元素进行 R 型聚类分析，统计结果见表 2、图 4。

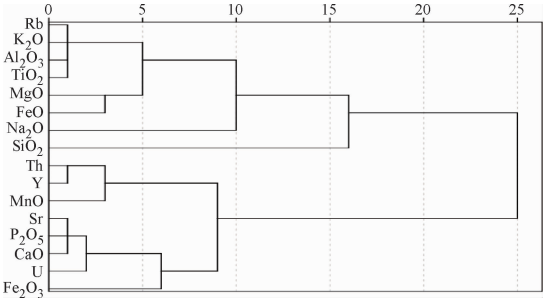


图 4 卫境南部地区常量、微量等元素 R 型聚类图

Fig. 4 R-type cluster diagram of constant and trace elements in southern Weijing area

U 与 P_2O_5 相关性系数为 0.928，正相关性良好；与 SiO_2 呈负相关，相关性系数为 −0.91（与相山磷灰石富铀矿特征相似[7]219）；与 FeO 呈负相关，与 Fe_2O_3 呈正相关。这一特征表明，铀成矿作用可能与硅质热液无关，与胶磷矿、氧化铁质的吸附作用相关，铀的存在形式与镜下鉴定结果一致。另外，U 含量与 Sr、Ca、Y 的含量具有正相关性，这些元素可能与铀的成因密切相关。

3.3 稀土元素特征

卫境南部地区稀土元素组分见表 3。从卫境南部地区稀土元素配分模式（图 5）可以看出，$F_{1\text{-}1}$、$F_{1\text{-}4}$ 构造中的矿石稀土元素特征表现为整体呈略左倾的“海鸥”型，$w(LREE)/w(HREE)<1$，为重稀土较轻稀土富集的特征，具明显的 Eu 负异常；$F_{1\text{-}3}$ 构造中的矿石的稀土元素特征介于 $F_{1\text{-}1}$ 与围岩之间，可能与该构造的成矿作用强度有关，这与 $F_{1\text{-}3}$ 矿石的 $w(U)$ 不高（0.023%）相吻合；$F_{1\text{-}1}$ 构造中的红色玉髓稀土元素特征表现为右倾，$w(LREE)/w(HREE)<1$，Eu 异常不明显，δEu 略大于 1，明显区别于矿石的稀土元素特征，但与 F_1（苏莫查干区域大断裂）构造中微晶石英的稀土元素特征相似，二者可能为同一期次的物源，在深部连通，F_1 可能为导矿构造；围岩的稀土元素特征表现为右倾，$w(LREE)/w(HREE)>1$，具明显的 Eu 负异常。

综合来看，围岩与矿石的稀土元素特征差异大，铀成矿作用过程中重稀土富集十分明显，且热液活动具有多期次性，铀成矿作用可能与玉髓（微晶石英）期的硅质热液无关，这与常量元素特征中 U 与 SiO_2 呈负相关的结论一致。

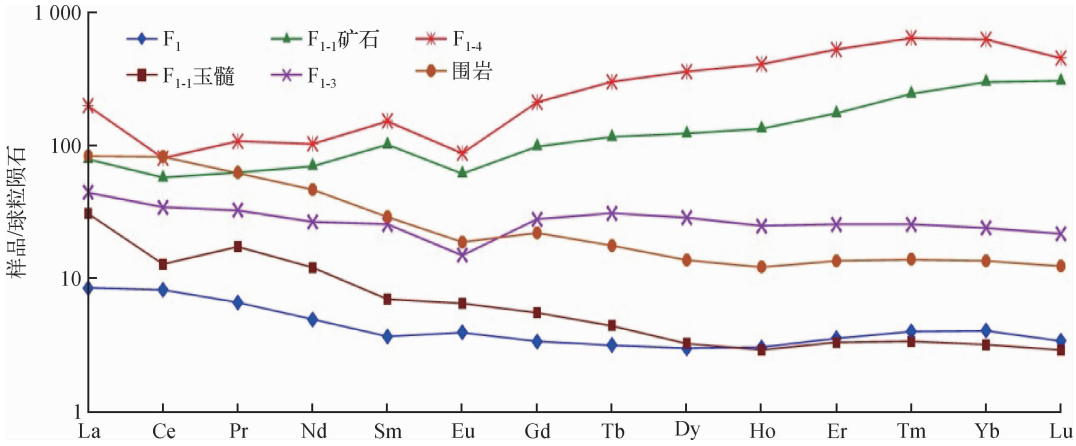


图 5 卫境南部地区稀土元素标准化配分图

Fig. 5 Normalized distribution diagram of rare earth elements in southern Weijing area

表 1　卫境南部地区常量及部分微量元素含量

Table 1　Content of major and trace elements in southern Weijing area

样品号	样品属性	w_B/%															$w_B/10^{-6}$	
		Rb	Sr	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	FeO	Fe_2O_3	H_2O	LOI	U	Th	Y
D0207	微晶石英(F_1)	2.57	73.7	0.24	1.22	82.01	0.11	0.08	0.10	1.96	0.04	0.92	0.04	10.04	0.39	2.77	0.003 2	7.05	6.84
D0611-2	玉髓(F_{1-1})	4.70	152	0.18	1.16	85.32	0.59	0.11	0.09	2.17	0.03	0.15	0.23	6.83	1.02	1.98	0.002 4	5.37	7.75
D0611-3	硅质角砾岩(F_{1-1})	3.00	11 383	0.22	0.90	6.63	24.6	1.30	0.06	42.2	0.02	1.23	0	11.71	0.79	8.79	0.33	1 180	626
D0710	硅质角砾岩(F_{1-1})	2.17	8 501	0.24	0.97	17.92	20.3	1.22	0.05	31.9	0.03	1.42	0.35	18.37	0.43	5.51	0.23	799	340
D0723-2	硅质角砾岩(F_{1-1})	1.94	3 270	0.29	0.63	30.97	10.7	0.83	0.05	29.8	0.02	1.01	/	9.51	0.51	14.8	0.13	1 330	424
D0901-5	构造角砾岩(F_{1-1})	2.99	12 800	0.27	1.03	14.53	28.4	1.53	0.06	40.1	0.03	0.33	/	6.99	0.89	4.07	0.25	814	388
P01Y005	构造角砾岩(F_{1-1})	2.56	2 782	0.14	2.50	56.41	6.34	1.39	0.06	17.4	0.15	1.59	0.55	4.08	0.61	8.22	0.087	243	137
D0109	构造角砾岩(F_{1-3})	13.8	837	0.30	5.08	63.27	0.95	2.39	0.28	12.6	0.21	0.86	0	3.19	0.29	10.0	0.023	73.6	64.2
D0106-2	硅化构造角砾岩(F_{1-4})	12.0	1 888	0.28	5.90	53.51	7.46	3.08	0.21	14.4	0.27	2.96	0	5.85	0.46	5.03	0.20	1 610	1 110
D0205	含碳板岩(围岩)	116	138	1.90	17.0	63.99	0.17	2.11	2.75	1.25	0.75	0.44	1.23	3.79	0.62	3.67	0.001 2	28.7	21.8
D0611-5	褪色板岩(围岩)	121	122	0.64	15.9	64.19	0.19	2.78	2.77	3.16	0.73	0.09	0.36	2.62	1.54	4.85	0.001 4	15.3	27.0
F_{1-1}矿石平均值		2.53	7 747	0.23	1.21	25.29	18.0	1.26	0.06	32.3	0.05	1.12	0.18	10.13	0.65	8.29	0.20	873	383
围岩平均值		118	130	1.27	16.44	64.09	0.18	2.44	2.76	2.20	0.74	0.26	0.79	3.20	1.08	4.26	0.001 3	22	24

表 2　卫境南部地区常量、微量等元素相关系数

Table 2　Correlation coefficients of constant and trace elements in southern Weijing area

	Rb	Sr	MgO	Al_2O_3	SiO_2	P_2O_5	Na_2O	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	FeO	Fe_2O_3	U	Th	Y
Rb	1	−0.412	0.812**	0.975**	0.301	−0.444	0.516	0.999**	−0.520	0.970**	−0.413	0.657	−0.502	−0.477	−0.428	−0.352
Sr		1	−0.308	−0.480	−0.916**	0.990**	−0.092	−0.410	0.932**	−0.488	0.065	−0.242	0.544	0.896**	0.531	0.417
MgO			1	0.820**	0.205	−0.332	0.329	0.824**	−0.408	0.799**	−0.302	0.847**	−0.345	−0.370	−0.317	−0.281
Al_2O_3				1	0.353	−0.505	0.643*	0.971**	−0.568	0.998**	−0.258	0.644	−0.587	−0.486	−0.387	−0.258
SiO_2					1	−0.939**	−0.080	0.301	−0.963**	0.357	−0.198	0.132	−0.550	−0.910**	−0.694*	−0.531
P_2O_5						1	−0.081	−0.443	0.953**	−0.511	0.146	−0.257	0.579	0.928**	0.628*	0.503
Na_2O							1	0.496	−0.069	0.655*	0.308	0.109	−0.487	0.065	0.182	0.363
K_2O								1	−0.520	0.966**	−0.424	0.674*	−0.492	−0.482	−0.438	−0.367
CaO									1	−0.569	0.215	−0.327	0.549	0.914**	0.697*	0.524
TiO_2										1	−0.232	0.646	−0.603*	−0.486	−0.383	−0.251
MnO											1	−0.338	0.212	0.451	0.663*	0.788**
FeO												1	−0.253	−0.351	−0.395	−0.402
Fe_2O_3													1	0.577	0.410	0.253
U														1	0.808**	0.750**
Th															1	0.933**
Y																1

注：** 为在 0.01 级别(双尾)相关性显著，* 为在 0.05 级别(双尾)相关性显著，− 表示负相关。

表 3　卫境南部地区稀土元素及 U 含量

Table 3　Content of rare earth elements and U in southern Weijin area

样品号	样品属性	$w_B/10^{-6}$																		w(LREE)/w(HREE)	w(LaN)/w(YbN)	δEu	δCe	w(U)/10^{-2}
		Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	∑REE	LREE	HREE					
D0207	微晶石英(F_1)	6.84	2.65	6.67	0.81	2.98	0.72	0.29	0.88	0.15	0.97	0.22	0.75	0.13	0.85	0.11	18.18	14.12	4.06	3.48	2.24	1.11	1.12	0.003 2
D0611-2	玉髓(F_{1-1})	7.75	9.52	10.4	2.12	7.29	1.37	0.48	1.44	0.21	1.05	0.21	0.70	0.11	0.67	0.094	35.66	31.18	4.48	6.96	10.19	1.04	0.57	0.002 4
D0611-3	硅质角砾岩(F_{1-1})	626	20.4	57.4	9.85	52.2	23.8	6.58	33.2	7.93	60.9	15.3	63.5	13.8	110	16.7	491.6	170.2	321.3	0.53	0.13	0.72	0.99	0.33
D0710	硅质角砾岩(F_{1-1})	340	12.3	28.3	5.31	27.0	11.4	3.25	15.7	3.79	31.1	8.42	37.3	8.79	71.4	11.0	275.1	87.6	187.5	0.47	0.12	0.74	0.86	0.23
D0723-2	硅质角砾岩(F_{1-1})	424	17.4	45.1	7.69	48.5	28.4	5.26	36.7	7.42	49.3	10.9	33.6	6.43	47.6	7.53	351.8	152.4	199.5	0.76	0.26	0.50	0.96	0.13
D0901-5	构造角砾岩(F_{1-1})	388	63.7	74.0	12.1	66.0	28.3	5.78	32.0	6.26	41.7	9.60	33.6	7.15	57.1	9.70	447.0	250.0	197.1	1.27	0.80	0.59	0.65	0.25
P01Y005	构造角砾岩(F_{1-1})	137	8.00	27.2	3.17	15.2	6.79	1.65	9.03	2.01	14.6	3.57	14.6	3.20	25.5	4.08	138.6	62.01	76.59	0.81	0.23	0.64	1.32	0.087
D0109	构造角砾岩(F_{1-3})	64.2	13.7	27.8	3.97	16.0	5.00	1.10	7.24	1.47	9.23	1.79	5.38	0.83	5.02	0.70	99.23	67.57	31.66	2.13	1.96	0.56	0.92	0.023
D0106-2	硅化构造角砾岩(F_{1-4})	1 110	61.2	64.8	13.1	61.4	29.5	6.40	54.5	14.2	115	29.1	110	20.6	130	14.5	724.3	236.4	487.9	0.48	0.34	0.49	0.56	0.20
D0205	含碳板岩(围岩)	21.8	27.5	73.7	8.23	30.5	6.20	1.49	6.06	0.85	4.20	0.78	2.56	0.40	2.53	0.37	165.4	147.6	17.75	8.32	7.80	0.74	1.20	0.001 2
D0611-5	褪色板岩(围岩)	27.0	24.0	58.9	6.87	25.4	5.13	1.28	5.37	0.83	4.68	0.97	3.16	0.50	3.16	0.43	140.7	121.6	19.10	6.37	5.45	0.75	1.12	0.001 4
F_{1-1}含矿构造平均值		383	24.4	46.4	7.62	41.8	19.7	4.50	25.3	5.48	39.5	9.56	36.5	7.87	62.3	9.80	340.8	144.4	196.4	0.77	0.31	0.64	0.96	0.20
围岩平均值		24.4	25.8	66.3	7.55	28.0	5.66	1.38	5.72	0.84	4.44	0.88	2.86	0.45	2.84	0.40	153.0	134.6	18.42	7.34	6.62	0.74	1.16	0.001 3

4 分析讨论

4.1 铀成矿期次及时间

通过对比分析，F_{1-1}、F_{1-4}与 F_{1-3}不同构造部位在铀矿化强度及稀土元素特征方面都存在一定的差异，结合野外观察和薄片鉴定，F_{1-1}、F_{1-4}铀主要吸附于胶磷矿和氧化铁质周边，F_{1-3}铀主要分散于氧化铁质周边，该区铀的富集成因有 2 种：以氧化铁质的吸附为主，形成了 F_{1-3}铀矿化，矿化强度一般，铀含量整体不高，仅达到铀异常；以铀、磷灰石、重稀土、锶共同富集占主导地位，铀成矿作用最为强烈，叠加了氧化铁质的吸附作用，铀品位较高(0.1%以上)，最高可到 0.3%，形成了 F_{1-1}、F_{1-4}的铀矿化。

卫境南部地区铀矿石与敖包吐萤石矿石具有相似的元素地球化学特征，具有高 Sr、低 Rb、HREE 富集明显、Eu 亏损等特征。二者可能为同一期次的含矿热液，成矿作用时间相当，为(137±1.1)Ma[8]142，与卫境岩体(138±4)Ma[6]545基本一致。这与 LHRR 富集的卫境岩体似斑状花岗岩存在明显差异，可能暗示着在铀成矿作用过程中岩浆的侵入为其提供良好的热源，为成矿过程中物质的萃取交换提供了条件。

4.2 铀矿化成因

4.2.1 铀磷沉积作用

根据野外地质调查和镜下鉴定结果，卫境南部地区铀矿化赋存于北东向构造岩中，岩性为构造角砾岩，主要由磷灰石、石英、氧化特质及少量方解石组成，原岩为灰黑色绢云母绿泥石碳质板岩，富含 Y 的矿物几乎都存在于花岗岩类的岩石及其有关的伟晶岩、气成-热液及热液矿床中[9]195。卫境南部地区 U 含量与 Y 含量呈正相关性，铀矿石中 Y 富集系数从几到几十。这些都表明卫境地区的铀成矿作用有热液活动的参与。

富含 U、P、HREE 的成矿热液在上升过程中不断消耗岩石中的 K(矿石中 K_2O 含量远远低于围岩)，K 元素进入成矿流体使其碱性增加，导致 $UO_2(HP_4)_2^{2-}$溶解度降低，打破了 $UO_2(HP_4)_2^{2-}$配合离子的稳定性[10]，铀卸载沉淀，这一过程也将伴随着围岩或结晶灰岩中 Ca 的萃取(矿石中 CaO 含量远远高于围岩)，磷灰石大量结晶。磷灰石对铀的吸附作用是铀从热液中沉积并形成富大铀矿的重要机制和方式之一[11]，卸载后的铀以类质同象存在于磷灰石晶格中，形成富铀胶磷矿，这一过程也是铀和磷具有共迁移、共沉淀特性[7]223的体现。

4.2.2 重稀土富集机制

由于重稀土的迁移能力较轻稀土的强，轻稀土的被吸附能力较重稀土的强[12]。成矿热液在长期的演化过程中，在低温环境的热液活动晚期，利于铀和重稀土共同沉淀富集。在热液上升迁移过程中伴随着铁的氧化，FeO 含量减少，Fe_2O_3 含量增加，铀被还原沉淀并吸附于氧化铁质周边，形成了卫境地区铀沉淀的另一种机制，但铀成矿作用强度不大。

4.2.3 锶富集机制

高 Sr 可能是成矿流体富 Sr，或流体在较高温度的变质作用过程中萃取了泥质围岩或结晶灰岩中的 Sr；还可能是部分 Sr 来自于卫境岩体花岗岩中[6]552。锶的地球化学特点使其较容易进入各种富钙或钾的矿物中，对于锶的类质同象来说，辉石中钙的位置太小(晶格构造比较紧张)，云母中钾的位置又太大，只有斜长石、磷灰石、榍石中钙的位置和钾长石中钾的位置较合适[9]200。因此，锶较容易进入磷灰石中置换钙。发生铀矿化的岩石富含磷灰石，进而也富含 Sr。

以上共同作用，形成了卫境地区铀与磷灰石、重稀土、锶共同富集的特征。这一成矿机制与北天山冰草沟铀磷矿床、相山富磷铀矿具有一定的相似性，但与卫境地区其他地段碱交代等类型不同。

5 结论

1)卫境南部地区铀矿化主要受大石寨组三段中北东向构造控制，属于花岗岩外带型铀矿化，铀多以吸附形式赋存于磷灰石、氧化铁质周缘，围岩为碳质板岩。

2)卫境南部地区矿石具有高 P_2O_5、CaO、Fe_2O_3、Sr、Y，低 Rb、K_2O、FeO 特征，重稀土元素明显富集，与敖包吐萤石矿元素地球化学特征相似；成矿热液富含 U、P、HREE、Fe 等，与硅质热液无关，铀成矿年龄与卫境岩体大致相当。

3)卫境南部地区具有铀、磷灰石、重稀土、锶共同富集的特征，铀、磷共迁移、共沉淀特性促使铀与磷灰石共沉积富集，叠加氧化铁质的吸附作用更为有利；热液的物理化学条件的改变可能仅

为其沉淀提供条件，而非主导因素。该成因类型是卫境地区的 1 种新的铀富集模式，研究结果为该区的铀矿勘查提供了新的线索和方向。

参考文献：

[1] 胡鉴，黄宝峰，高大飞，等. 内蒙古四子王旗卫境地区铀矿资源调查评价项目成果报告[R]. 包头：核工业二〇八大队，2015：79-117.

[2] 于阳. 内蒙古卫境岩体查干哈达地段碱交代作用与铀矿化的关系探讨[D]. 南昌：东华理工大学，2019：39-41.

[3] 胡鉴，聂逢君，高爽，等. 内蒙古卫境岩体查干哈达地段碱交代蚀变岩特征与铀成矿作用研究[J]. 东华理工大学学报(自然科学版)，2016，39(4)：301-309.

[4] WENJIAO XIAO，BRIANF WINDLEY，JIE HAO，et al. Accretion leading to collision and the Permian Solonker suture，Inner Mongolia，China：Termination of the central Asian orogenic blet[J]. Tectonics，2003，22(6)：8.1-8.20.

[5] 邢亚杰，剡鹏兵. 内蒙古四子王旗卫境地区铀矿资源调查评价成果报告[R]. 包头：核工业二〇八大队，2019：31-35.

[6] 许东青，聂凤军，刘妍，等. 内蒙古敖包吐萤石矿床的 Sr、Nd、Pb 同位素地球化学特征[J]. 矿床地质，2008，27(5)：543-558.

[7] 温志坚，杜乐天，刘正义，等. 相山铀矿田磷灰石与富矿形成的关系[J]. 铀矿地质，1999，15(4)：217-224.

[8] 许东青. 内蒙古苏莫查干敖包大型萤石矿化区形成环境、地质特征及成矿机理[D]. 北京：中国地质科学院，2009：141-145.

[9] 刘英俊，曹励明. 元素地球化学[M]. 北京：科学出版社，1984：194-202.

[10] 刘小波. 北天山冰草沟铀磷矿床地质地球化学特征及成因探讨[D]. 南昌：东华理工大学，2019：21-74.

[11] 王倩，胡宝群，宋金如，等. 磷灰石吸附铀试验及其铀成矿意义——以江西相山矿田为例[J]. 地球科学与环境学报，2016，38(6)：813-821.

[12] 刘英俊，曹励明. 元素地球化学导论[M]. 北京：科学出版社，1985：59-61.

Characteristics and Genesis of Uranium Mineralization in Southern Weijing Area of Siziwang Banner, Inner Mongolia

ZHU Xiaobing[1,2], XU Yong[1,2], LUO Xiao[1,2]

(1. Research Institute No. 230, CNNC, Changsha 410007, China;
2. Hunan Engineering Technology Research Center for Evaluation and Comprehensive Utilization of Associated Radioactive Mineral Resources, Changsha 410007, China)

Abstract: The characteristics of surface uranium mineralization, ore characteristics and uranium geochemistry in the southern Weijing area, Siziwang Banner, Inner Mongolia were described, the geochemistry characteristics of constant, trace and rare earth elements in the NE-trending ore-bearing structures were studied. The results show that the uranium mineralization is closely related to the adsorption of gelatinite and ferric oxide, and the U is positively related to P_2O_5. According to the characteristics of uranium mineralization, the genesis of uranium mineralization is discussed, and it is considered that the ore-bearing hydrothermal solution rises along the structure to a special redox interface, after unloading, the uranium enters into the crystal lattice of apatite by isomorphism, and forms uranium-rich gelophosphate, at the same time, heavy rare earth and strontium are enriched and precipitated together.

Key words: uranium mineralization; geochemistry characteristics; uranium genesis; southern Weijing area