

DOI:10.19948/j.12-1471/P.2024.03.04

刘晓雪,赵丽君,俞初安,汤超. 2024. 二连盆地陆海地区砂岩型铀矿岩石地球化学特征及地质意义[J]. 华北地质, 47(3):36-45.

Liu Xiaoxue, Zhao Lijun, Yu Reng'an, Tang Chao. 2024. Rock geochemistry characteristics and geological significance of sandstone-type uranium deposits in Luhai area, Erlian Basin[J]. North China Geology, 47(3):36-45.

二连盆地陆海地区砂岩型铀矿岩石 地球化学特征及地质意义

刘晓雪,赵丽君*,俞初安,汤超

(中国地质调查局天津地质调查中心(华北地质科技创新中心),天津 300170)

摘要:【研究目的】二连盆地是中国北方典型的铀等多能源叠合富集的中新生代盆地。陆海铀矿作为该盆地近几年新发现的特大型铀矿产地,矿体具有埋藏浅、规模大、渗透性好等特点,通过研究矿石地球化学特征能够研究含铀地层的构造背景和物源区特征。【研究方法】选取陆海矿区4个钻孔赛汉塔拉组上段非矿段含砾砂岩样品进行岩石学和主微量元素地球化学研究。【研究结果】赛汉塔拉组上段砂岩碎屑组分为石英含量(40%~75%),长石含量(20%~30%),显示了近物源搬运特征;岩石稀土元素以轻稀土元素富集,重稀土元素亏损, δEu 表现为微负异常,主量、微量和稀土元素的构造背景判别图解综合表明赛汉塔拉组上段物源区为被动大陆边缘构造环境。【结论】结合区域构造演化,认为陆海矿区赋矿层赛汉塔拉组上段砂岩物源为巴音宝力格隆起和苏尼特隆起的岩体和火山岩地层。

关键词:二连盆地;赛汉塔拉组上段砂岩;地球化学;物源;构造背景

创新点:通过对该区地层岩石样品地球化学特征研究,认为陆海地区铀矿床赋矿层赛汉塔拉组上段砂岩物源为巴音宝力格隆起和苏尼特隆起的岩体和火山岩地层,为陆海及周边地区赛汉塔拉组物源和铀储层预测等提供有利判据。

中图分类号: P619.14

文献标志码: A

文章编号: 2097-0188(2024)03-0036-10

Rock geochemistry characteristics and geological significance of sandstone-type uranium deposits in Luhai area, Erlian Basin

LIU Xiaoxue, ZHAO Lijun*, YU Reng'an, TANG Chao

(Tianjin Center, China Geological Survey(North China Center of Geoscience Innovation), Tianjin 300170, China)

Abstract: This paper is the result of the sandstone-type uranium deposits.

[Objective] The Erlian Basin, a quintessential Mesozoic-Cenozoic basin in northern China, is renowned for its superimposed and

收稿日期: 2023-07-14

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目“全国X矿重点调查战略性矿产调查评价(DD20230045)”、“煤田勘查区砂岩型铀矿地质调查与勘查示范(DD20160127)”

作者简介: 刘晓雪(1981-),女,硕士,正高级工程师,专业方向为地质工程,现主要从事地质矿产勘查与遥感地质等相关工作,E-mail: 46963752@qq.com。

*通讯作者: 赵丽君(1986-),女,硕士,高级工程师,专业方向为构造地质学,现主要从事地质矿产勘查与遥感地质等相关工作,E-mail: 416034348@qq.com。

enriched deposits of uranium and other energy resources. The Lu-hai uranium deposit, a recently discovered super-large deposit within the basin, is distinguished by its shallow burial depth, extensive scale, and favorable permeability. Investigating the geochemical characteristics of the ore can elucidate the structure and provenance of the uranium-bearing strata. **[Methods]** This study examines the petrography and trace element geochemistry of conglomeratic sandstone samples from the non-ore-bearing member of the Upper Saihantala Formation, extracted from four boreholes in the Lu-hai deposit. **[Results]** The sandstone's detrital composition in the upper member of the Saihantala Formation predominantly consists of quartz (40% to 75%) and feldspar (20% to 30%), indicative of proximal source transportation. The rare earth elements (REEs) exhibit a light REE enrichment and heavy REE depletion, with a slightly negative europium anomaly (δEU). The discrimination diagram of major, minor and rare earth elements suggests that the Upper Saihantala Formation's provenance is associated with a passive continental margin tectonic setting. **[Conclusions]** Based on the regional tectonic evolution, the sandstones of the Upper Saihantala Formation in the Lu-hai mining area are inferred to be sourced from the Bayanbaolige Uplift and Sunite Uplift's rock mass and volcanic strata.

Key words: Erlian Basin; Saihantala Formation sandstone; geochemistry; material source; tectonic setting

Highlights: This research indicates that the sandstone source of the Upper Saihantala Formation in the Lu-hai area originates from the Bayanbaolige Uplift and Sunite Uplift's rock mass and volcanic strata through the geochemical analysis. This provides valuable insights for predicting the material source and uranium reservoir potential of the Saihantala Formation in the Lu-hai and surrounding regions.

About the first author: Liu Xiaoxue (1981-), female, master's degree, senior engineer, geological engineering, currently engaged in geological mineral exploration and remote sensing geology related work, E-mail: 46963752@qq.com.

About the corresponding author: Zhao Lijun (1986-), female, master's degree, senior engineer, structural geology, currently engaged in geological mineral exploration and remote sensing geology related work, E-mail: 416034348@qq.com.

Fund support: Geological Survey Project of China Geological Survey (DD20230045); (DD20160127)

二连盆地是我国北方重要的砂岩型铀等能源生产基地之一,盆地已发现多个铀矿床(点),其中包括努和廷超大型铀矿床(泥岩型)、巴彦乌拉大型铀矿床、赛汉高毕中型铀矿床,哈达图大型铀矿床(李洪军等,2010;蔡彤,2014;康世虎等,2017;刘波等,2017;于雅岑等,2019)。近年来,天津地质调查中心通过煤田、油田资料“二次开发”和氦气-伽马测量等综合找矿技术方法,在二连等北方盆地取得系列铀矿找矿突破(俞初安等,2023;Yu et al.,2023;赵丽君等,2023;文思博等,2023),提出了北方盆地大规模成矿作用(程银行等,2024;金若时等,2022);其中陆海铀矿作为重要新发现矿产地之一,该矿区具有矿体埋藏浅,含矿砂岩渗透性好,泥沙泥结构完整,开采条件优越等特点,显示出较好的铀矿成矿和开发前景。前人对该盆地典型铀矿床地球化学特征、铀成矿条件、成矿模式、成矿环境等进行了初步研究(韩效忠等,2018;晏彦等,2019;杨崇根,2020;任晓平等,2020;林效宾等,2021;黄镗俯,

2021;刘鑫扬,2021),取得了一定的成矿理论认识,认为成矿过程经历了强烈的流体改造作用,马尼特坳陷周边的蚀源区为典型铀矿区提供了成岩物源,明确了二连盆地主要找矿目的层为赛汉塔拉组上段(李彤等,2022;聂逢君等,2015),前人研究成果为本次工作提供了重要借鉴。陆海铀矿作为该盆地的找矿新区,前人对该铀矿的铀储层地球化学特征和物源研究涉及较少。笔者试图以陆海铀矿含铀地层-赛汉塔拉组上段为研究对象,通过对该地层岩石样品进行主量、微量、稀土元素分析研究,并结合区域构造演化和盆地周缘岩体分布特征,对含铀地层的构造背景和物源进行探讨,以期对陆海及周边地区赛汉塔拉组砂体展布、有利储集层性质等提供判别依据。

1 地质概况

二连盆地位于华北克拉通北缘,是在内蒙古-大兴安岭海西褶皱带基底上发育起来的中新生代断陷

沉积盆地,其大地构造位置处于华北板块与西伯利亚板块的缝合线上。盆地四周被古生代和早中生代隆起围绕,北西以加里东-华力西期巴音宝力格隆起为界,呈北东向展布;南界为加里东期的温都尔庙隆起,呈东西向展布;东界为燕山中期北东向展布的大兴安岭隆起;西界以狼山隆起为界与巴音戈壁盆地相隔(杨冰彬,2013;陈国达等,1975;李文国,2008)。二连盆地的沉积盖层主要包括侏罗系、白垩系、古近系、新近系和第四系。其中白垩系和古近系以冲积扇相、河流相、三角洲相和扇三角洲相为主,砂体发育。

陆海铀矿位于马尼特坳陷西部的次级塔北凹

陷中。钻孔揭露地层为第四系(Q),古近系始新统伊尔丁曼哈组(E_{2y})、白垩系下统巴彦花群腾赛汉塔拉组(K_1bs)、滕格尔组(K_1t)部分地层。其中含铀地层主要为赛汉塔拉组上段(K_1bs^3),其岩性主要由灰色、浅灰色及亮黄色含砾粗砂岩,以及少量浅灰色、灰色泥岩和粉砂岩组成,部分可见炭化植物根茎和炭化植物碎片(图1)。

2 样品采集与测试

本次研究样品采自研究区 wl-53、wl-60、wl-61、wl-62 钻孔的新鲜、无污染的非矿段灰色含砾砂岩

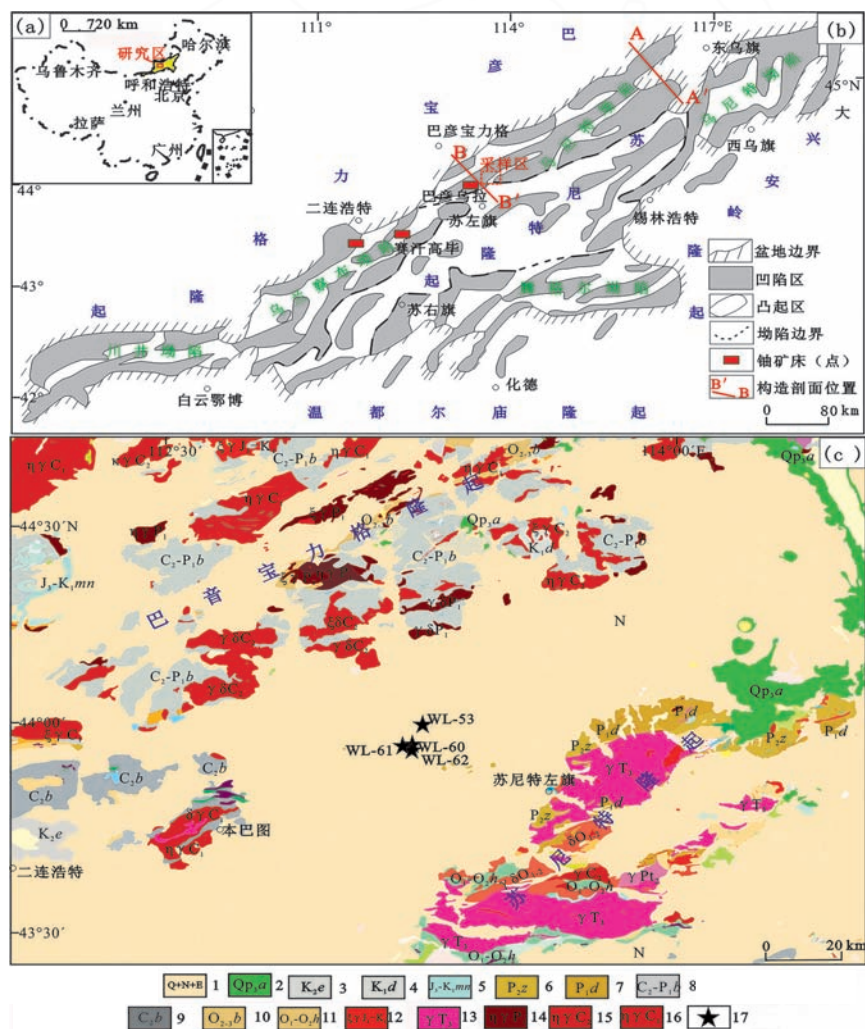


图1 二连盆地基底构造单元分布略图(a)及二连盆地中部地质简图(b)(据俞扔安,2020修改)

Fig.1 Distribution sketch map of basement structural units in Erlian Basin (a) and geological sketch map of central Erlian basin(b) (Revised by Yu Reng'an, 2020)

1. 新生界沉积岩;2. 第四系玄武岩;3. 白垩系二连组;4. 白垩系大磨拐河组;5. 侏罗-白垩系玛尼吐组;6. 二叠系哲斯组;7. 二叠系大石寨组;8. 石炭-二叠系八当山火山岩组;9. 石炭系本巴图组;10. 温都尔庙群哈尔哈达组;11. 奥陶系包尔汉图群哈拉组;12. 燕山期正长花岗岩;13. 印支期花岗岩;14. 二叠纪二长花岗岩;15. 晚石炭纪二长花岗岩;16. 早石炭纪二长花岗岩;17. 采样位置

(图2)。,主量、微量和稀土元素测试工作由天津地质调查中心实验室完成,常量元素采用X衍射荧光光谱(XRF)分析,FeO采用氢氟酸、硫酸溶样、重铬酸钾滴定容量法,分析精度优于2%;微量、稀土元素采用美国X series II 型号 ICP-MS 等离子体质谱仪进行测定,分析精度优于5%。

3 岩石学特征

研究区赛汉塔拉组自上段砂岩以长石石英砂岩为主,杂砂岩次之,少量为岩屑砂岩。大部分砂岩砾石含量为1%~8%,粒径大小2%~10%,呈次棱角状、次圆状,砾石成分主要为花岗岩、条纹长石、多晶石英(花岗岩)、千枚状板岩等,具含砾不等粒砂状结构。碎屑成分中,石英含量为40%~75%,大部分具波状消光;长石含量20%~30%,主要为条纹长石,次为斜长石,发育高岭土化和绢云母化;岩

屑含量约占10%~15%,主要为花岗岩、凝灰岩、变质砂岩、粗面岩、霏细斑岩、片岩、板岩等。矿石化学成分反映了研究区成岩物质来源较为丰富,也显示了近物源沉积特征。

3.1 主量元素

研究区样品的主量元素分析结果显示(表1),SiO₂含量为67.28%~89.79%,平均为79.9%,Al₂O₃含量为5.65%~15.86%,平均为10.3%,Fe₂O₃含量为0.11%~4.79%、K₂O含量为2.13%~4.18%、Na₂O含量为1.12%~2.70%,其他CaO、MgO、TiO₂、P₂O₅和MnO等元素含量均较低。研究区SiO₂和Al₂O₃含量高,表明赛汉塔拉组上段砂岩碎屑组份以石英和长石占主要部分。另外,砂岩Al₂O₃/SiO₂比值可作为碎屑沉积物成熟度的指标(Roser et al.,1999),Al₂O₃/SiO₂比值介于0.06~0.23,与长石砂岩(0.11)和杂砂岩(0.20和0.23)相近。Fe₂O₃、FeO的含量和Fe₂O₃/FeO

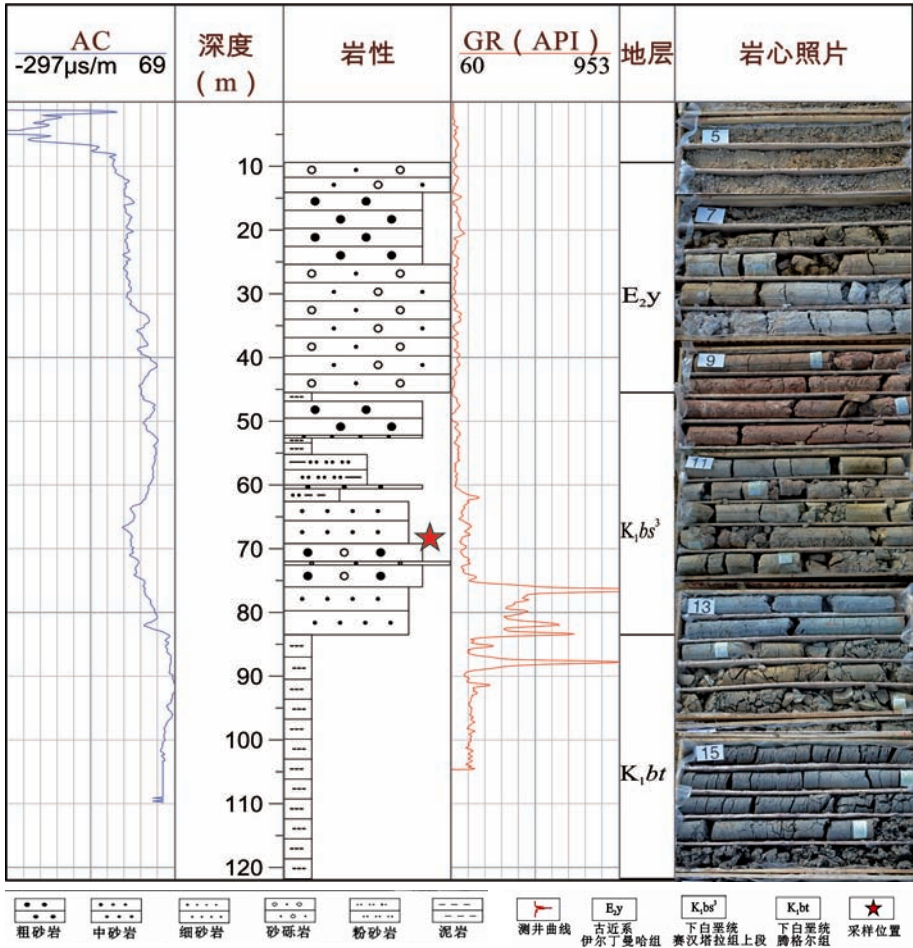


图2 内蒙古陆海铀矿区钻孔柱状图
Fig.2 Drill column of Luhai uranium deposit in Inner Mongolia

表1 研究区赛汉塔拉组上段砂岩主量元素分析结果(%)
Table 1 Major elements analytical data of Upper Saihantala Formation in the research area (%)

样号	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	MnO	灼失
Zr1/WL-60	88.80	6.11	0.19	0.120	0.26	0.11	2.54	1.28	0.150	0.022	0.005	0.57
Zr2/WL-60	89.79	5.65	0.11	0.091	0.20	0.09	2.55	1.25	0.094	0.014	0.004	0.41
Zr3/WL-60	82.97	9.89	1.50	0.150	0.38	0.49	2.59	1.3	0.470	0.027	0.013	2.60
Zr1/WL-61	89.11	5.93	0.30	0.099	0.19	0.15	2.22	1.12	0.180	0.019	0.005	0.79
Zr2/WL-61	83.63	8.82	0.68	0.120	0.43	0.30	2.64	1.39	0.280	0.022	0.008	1.67
Zr3/WL-61	81.11	8.89	1.75	0.150	0.44	0.87	2.67	1.41	0.310	0.120	0.017	2.73
Zr1/WL-62	82.09	9.53	0.78	0.120	0.30	0.22	3.67	2.00	0.220	0.022	0.007	1.03
Zr2/WL-62	76.54	12.74	1.15	0.096	0.53	0.27	4.18	2.70	0.300	0.026	0.008	1.44
Zr3/WL-62	80.57	10.53	0.76	0.120	0.35	0.19	3.92	2.50	0.200	0.030	0.007	0.81
WL-53-6	67.28	14.79	4.79	0.320	0.56	1.28	2.16	2.40	0.670	0.100	0.027	5.59
WL-53-7	67.56	15.86	4.20	0.250	0.51	1.41	2.13	1.89	0.740	0.085	0.024	5.31
WL-53-8	69.30	14.85	4.01	0.200	0.50	1.28	2.20	1.97	0.680	0.093	0.023	4.88

注:分析测试单位为天津地质调查中心实验室

比值能够反映氧化还原环境,不同蚀变环境下的Fe₂O₃/FeO比值则不同(刘汉彬等,2012),Fe²⁺/Fe³⁺<1为弱氧化环境,Fe²⁺/Fe³⁺<1为氧化环境(张天福等,2016)。本文中的Fe²⁺/Fe³⁺比值为0.04~0.82,反映Fe²⁺大部分转变为Fe³⁺,说明研究区样品经历了一定的氧化作用。

3.2 微量及稀土元素

稀土元素和微量元素含量和特征见表2,以中国沉积岩微量元素含量为标准(图3a),所有样品蛛网曲线可见锯齿状变化,表现微量元素相对富

集或亏损,大离子亲石元素Pb、Ba富集,Pb、Sr、Th相对亏损,过渡元素亏损,高场强元素Zr、Hf相对富集,Nb、Ta相对亏损,具有高分异中酸性岩浆岩的特征。

赛汉塔拉组上段砂岩的稀土总量ΣREE值在(58~163.44)×10⁻⁶(表3),平均100.15×10⁻⁶,低于上地壳稀土元素丰度(146.37×10⁻⁶)(黎彤,1994)。其中轻稀土含量(ΣLREE)远高于重稀土含量(ΣHREE),ΣLREE/ΣHREE值范围为6.45~14.23,平均值为10,表现出较强的轻重稀土分馏,δCe值介于0.99~1.12,异常

表2 研究区赛罕塔拉组上段砂岩微量元素分析结果(wB/10⁻⁶)
Table 2 Trace elements analytical data of Upper Saihantala Formation sandstones from the study area(wB/10⁻⁶)

送样号	Zr1/ WL-60	Zr2/ WL-60	Zr3/ WL-60	Zr1/ WL-61	Zr2/ WL-61	Zr3/ WL-61	Zr1/ WL-62	Zr2/ WL-62	Zr3/ WL-62	WL-53-6	WL-53-7	WL-53-8
Cu	10.4	9.48	10.8	3.83	5.74	8.79	5.35	5.94	4.90	25.7	28.3	22.5
Pb	13.3	11.7	16.4	10.8	15.2	14.4	16.1	19.9	17.9	17.2	16.1	16.1
Zn	25.1	8.86	36.0	6.89	22.0	25.4	26.8	21.0	15.4	92.8	62.1	72.8
Cr	6.83	5.33	20.4	9.37	11.1	22.5	13.7	8.33	6.55	39.4	41.2	35.8
Ni	2.47	2.61	6.07	3.01	4.40	10.3	4.49	5.71	5.34	19.8	20.8	16.8
Co	1.64	1.44	4.06	1.94	2.55	5.36	2.94	5.22	3.87	11.6	13.7	9.74
Li	7.61	7.71	15.3	9.65	10.6	17.7	12.4	21.9	13.6	33.6	37.3	32.7
Rb	64.0	63.6	71.7	59.8	63.7	75.0	109	120	106	69.4	68.0	66.9
Cs	1.87	1.83	3.94	2.13	2.12	4.14	8.53	8.21	5.32	5.02	5.27	4.90
Sr	234	123	208	128	193	125	103	151	169	222	222	215
Ba	585	573	592	525	694	647	488	570	513	452	367	380
V	7.89	6.19	34.8	16.2	28.4	28.0	27.0	26.1	23.0	90.8	95.5	79.0
Sc	1.12	0.77	4.53	1.48	2.91	5.27	2.43	3.57	2.65	12.0	13.3	11.8
Nb	2.91	2.09	8.97	3.80	5.64	6.26	5.32	7.55	4.81	9.81	9.00	8.36
Ta	0.21	0.17	0.60	0.30	0.38	0.43	0.51	0.65	0.47	0.66	0.62	0.59
Zr	137	68.8	286	164	192	101	123	159	126	186	178	179
Hf	4.12	2.13	8.25	4.78	5.62	3.19	3.95	5.02	3.99	5.74	5.45	5.55
Be	0.54	0.49	1.02	0.57	0.82	1.07	1.70	2.21	1.33	2.04	2.13	2.00
U	0.59	0.47	1.62	0.80	1.11	1.91	1.37	14.7	6.77	306	511	247
Th	2.18	1.85	5.74	3.91	5.48	6.16	5.87	10.8	6.25	7.38	7.36	6.99

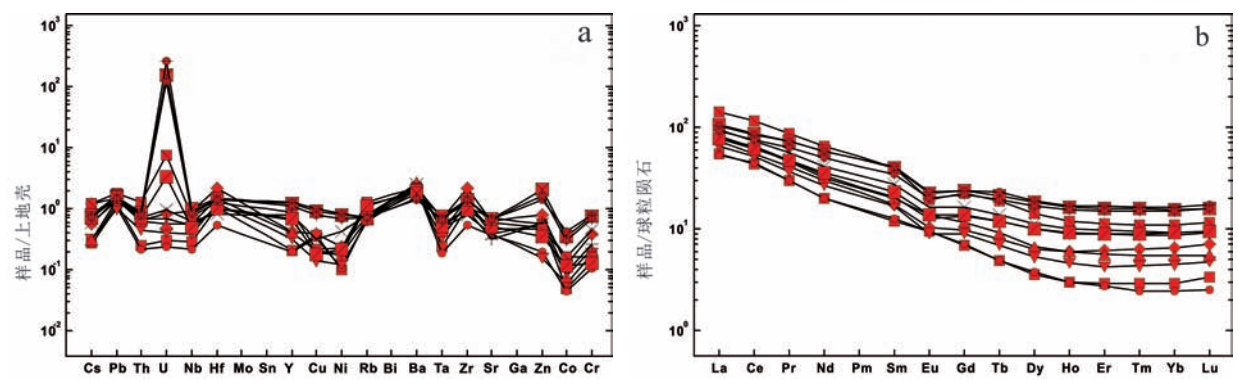


图3 研究区赛汉塔拉组上段砂岩微量元素(a)和稀土元素标准化配分模式(b)(Sun S S, 1989)
Fig.3 Sandstone micronutrient of the Upper Saihantala formation in the study area (a) and normalized REE distribution patterns (b)

表3 研究区赛汉塔拉组上段砂岩稀土元素分析结果($wB/\times 10^{-6}$)

Table 3 Rare earth elements analytical data of Upper Saihantala Formation sandstones from the study area($\times 10^{-6}$)

送样号	Zr1/ WL-60	Zr2/ WL-60	Zr3/ WL-60	Zr1/ WL-61	Zr2/ WL-61	Zr3/ WL-61	Zr1/ WL-62	Zr2/ WL-62	Zr3/ WL-62	WL-53-6	WL-53-7	WL-53-8
La	13.00	12.5	17.4	15.40	19.6	22.2	18.3	33.00	18.5	25.00	24.20	21.90
Ce	26.70	27.3	33.5	31.70	38.6	44.4	40.3	70.70	38.00	53.00	52.00	45.90
Pr	2.86	2.85	3.87	3.47	4.40	5.31	4.48	8.19	4.49	6.84	6.830	5.95
Nd	9.26	9.39	13.8	12.50	14.9	19.1	15.6	30.40	16.80	27.40	27.40	23.20
Sm	1.83	1.92	2.68	2.57	3.09	4.17	3.13	6.12	3.51	6.12	6.31	5.31
Eu	0.54	0.55	0.59	0.52	0.80	0.95	0.73	1.13	0.80	1.29	1.32	1.17
Gd	1.42	1.45	2.02	1.84	2.40	3.36	2.77	4.62	2.84	4.89	4.91	4.44
Tb	0.18	0.18	0.3	0.26	0.34	0.52	0.44	0.70	0.44	0.8	0.85	0.73
Dy	0.90	0.95	1.61	1.33	1.70	2.81	2.51	3.59	2.57	4.62	4.85	4.22
Ho	0.17	0.17	0.34	0.26	0.34	0.57	0.51	0.67	0.52	0.93	0.96	0.86
Er	0.48	0.45	1.02	0.70	0.92	1.62	1.46	1.87	1.49	2.63	2.76	2.48
Tm	0.07	0.06	0.16	0.11	0.14	0.24	0.22	0.28	0.23	0.4	0.42	0.38
Yb	0.5	0.41	1.11	0.75	0.93	1.56	1.49	1.88	1.55	2.62	2.80	2.53
Lu	0.08	0.06	0.18	0.12	0.14	0.24	0.23	0.29	0.24	0.4	0.44	0.40
Y	4.18	3.93	8.61	6.46	8.08	15.5	13.3	17.20	13.4	24.2	25.20	22.10
ΣREE	58.00	58.25	78.58	71.53	88.30	107.05	92.17	163.44	91.98	136.94	136.05	119.47
LREE	54.19	54.51	71.84	66.16	81.39	96.13	82.54	149.54	82.10	119.65	118.06	103.43
HREE	3.81	3.74	6.74	5.37	6.91	10.92	9.63	13.90	9.88	17.29	17.99	16.04
LREE/HREE	14.23	14.59	10.66	12.32	11.78	8.80	8.57	10.76	8.31	6.92	6.56	6.45
La _N /Yb _N	18.65	21.87	11.24	14.73	15.12	10.21	8.81	12.59	8.56	6.84	6.20	6.21
δEu	1.02	1.01	0.78	0.73	0.90	0.78	0.76	0.65	0.77	0.72	0.73	0.74
δCe	1.07	1.12	1.00	1.06	1.02	1.00	1.09	1.05	1.02	0.99	0.99	0.99

不明显, δEu 值介于 0.65 ~ 1.02, 平均值 0.8, 大部分样品表现为微负异常, 说明其原岩为酸性岩类, 且与上地壳关系密切(马英军, 2004)。

利用 Sun McDonough (1989) 提出的 C1 球粒陨石丰度值进行稀土元素标准化(图 3b), 显示配分曲线为平滑向右倾, 轻重稀土元素分异作用明显, 轻稀土元素富集, 重稀土元素亏损, 但曲线形态基本一致, 说明其沉积环境基本相似。

4 讨论

4.1 源区岩石类型

砂岩 Al_2O_3 的质量分数与长石、云母、粘土矿物等富铝的矿物有关(Ahmad I, 2013), 砂岩 $w(Al_2O_3)$ 变化于 5.93% ~ 15.86%, 平均为 10.3%。从 $w(SiO_2)$ - $w(Al_2O_3)$ 对比图(图 4a)可以看出: 砂岩成分主要为石英、钾长石、斜长石, SiO_2 、 Al_2O_3 呈明显的负相关

性($r=-0.45$),表明样品中大部分 SiO_2 是以石英颗粒形式为主(张鑫等,2007)。通过 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ - $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 对比图(图4b)可以看出,砂岩的端员矿物接近石英、黑云母、钾长石、斜长石,表明砂岩组分主要以富硅质矿物组成。根据Pettijoh et al.(1972)的 $\lg(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ 和 $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 砂岩类型判别图(图5),认为赛汉塔拉组上段砂岩岩性主要为长石石英砂岩、长石砂岩和杂砂岩,与镜下观察结果基本一致。

δEu 是铕的异常系数,它不但是鉴别物质来源的重要参数,还可用来反映体系内地球化学状态(王忠刚等,1989)。如花岗岩多为Eu负异常($\delta\text{Eu}<0.9$),玄武岩无Eu异常($0.9<\delta\text{Eu}<1.0$),Eu负异常的

样品,其物质来源主要是酸性火成岩(张金亮等,2007)。研究区样品大部分为Eu负异常,依据轻重稀土比值和稀土总量图解(图6)可以发现样品投点于花岗岩区,表现出壳型花岗岩的稀土元素特征,说明研究区赛汉塔拉组上段母岩主要为花岗岩类。

4.2 构造背景

砂岩主量元素特征常常与构造环境相关,因此砂岩的主要成分可作为构造环境分析的重要参数。根据地壳性质将盆地构造分为4种主要类型:大洋岛弧、大陆岛弧、活动大陆边缘和被动大陆边缘。沉积物中Fe、Ti元素不易流失,可以较好地反映其物源性质, K_2O 和 Na_2O 稳定性差些,但也具有一定

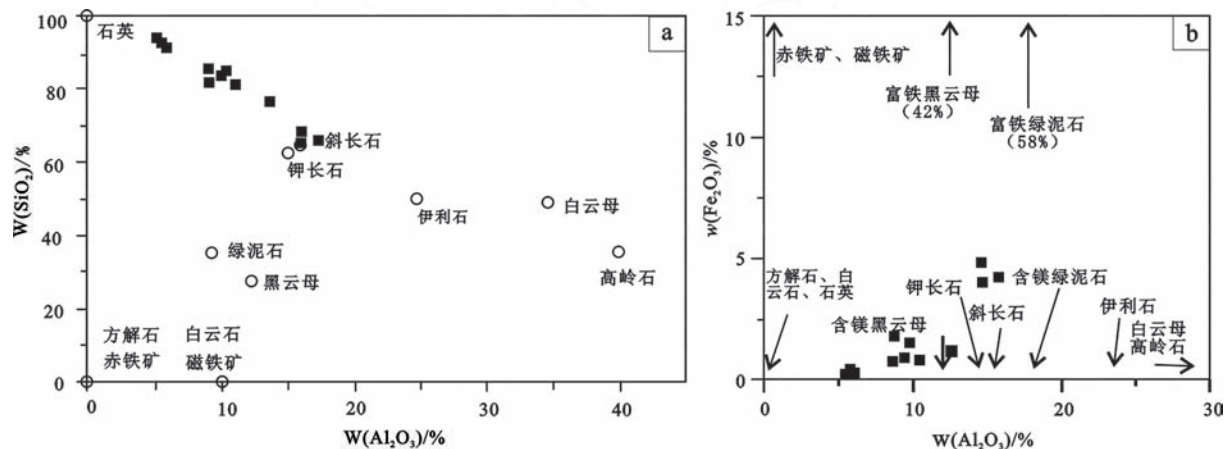


图4 $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ (a)、 $w(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ - $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ (b)图解(底图据Bailey,1981)

Fig.4 SiO_2 vs. Al_2O_3 (a) and Fe_2O_3 vs. Al_2O_3 (b) diagram Diagram (base image according to Bailey, 1981)

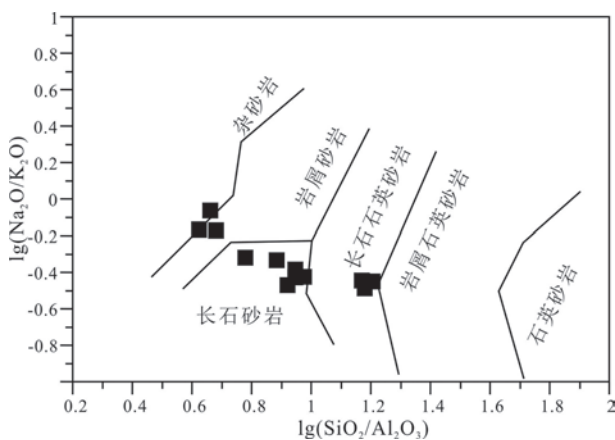


图5 研究区赛汉塔拉组上段砂岩 $\lg(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ - $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 图解(底图据Pettijoh et al., 1972)

Fig.5 $\lg(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ vs. $\lg(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ gelchemical classification diagram of the Upper Saihantala Formation sandstones in study area

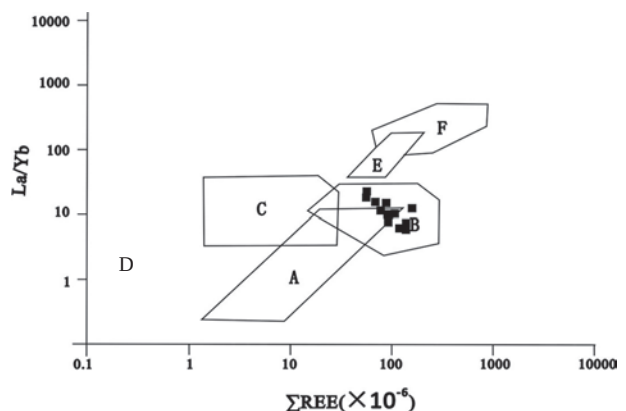


图6 研究区赛汉塔拉组上段砂岩 La/Yb - ΣREE 图解(底图引自张金亮等,2007)

Fig.6 Diagram of La/Yb - ΣREE of Upper Saihantala Formation sandstones in the study area
A. 玄武岩区; B. 花岗岩区; C. 钙质泥岩区;
D. 球粒陨石区; E. 金伯利岩区; F. 碳酸盐岩区

的代表性,因此将砂岩样品投在图解 $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_{3(\text{T})}+\text{MgO}$ 中(图 7a)和 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}\text{-Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ 中进行参数对比,(图 7b),在 $\text{TiO}_2\text{-Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ 中,大部分样品落在被动大陆边缘区域,三个样品落在大陆岛弧,在 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O}\text{-Fe}_2\text{O}_3+\text{MgO}$ 图解中,大部分样品落在被动大陆边缘区域,3 个样品落在主动大陆边缘区域。因此,陆海地区赛汉塔拉组上段砂岩元素特征与被动大陆边缘环境相似。

一些不活泼微量元素(如 La、Th、Ti、Zr、Co、Ni)及其比值(如 Zr/Hf、La/Sc、Th/U 等)在沉积过程中不会发生明显的改变,对判别砂岩物源区和构造环境判别具有重要意义。Bhatia et al. (1986)和 Taylor

et al.(1985)在 Th-Co-Zr/10 图解中(图 8a),研究区砂岩样品大多数落于被动大陆边缘及边界处,在 Th-Sc-Zr/10 图解中,样品大部分投点于被动大陆边缘(图 8b),很好的指示了物源区构造性质处在大陆边缘弧。

4.3 物源分析

二连盆地自晚古生代以来,经历了多期构造运动,其中包括燕山运动和喜马拉雅运动。这些构造活动导致了地壳的显著抬升和断裂,影响了盆地的形态和结构。在早白垩世,区域受到 NW-SE 向的伸展应力作用,导致了一系列地堑和半地堑的形成,这些裂陷作用对盆地的构造格局产生了重要影响

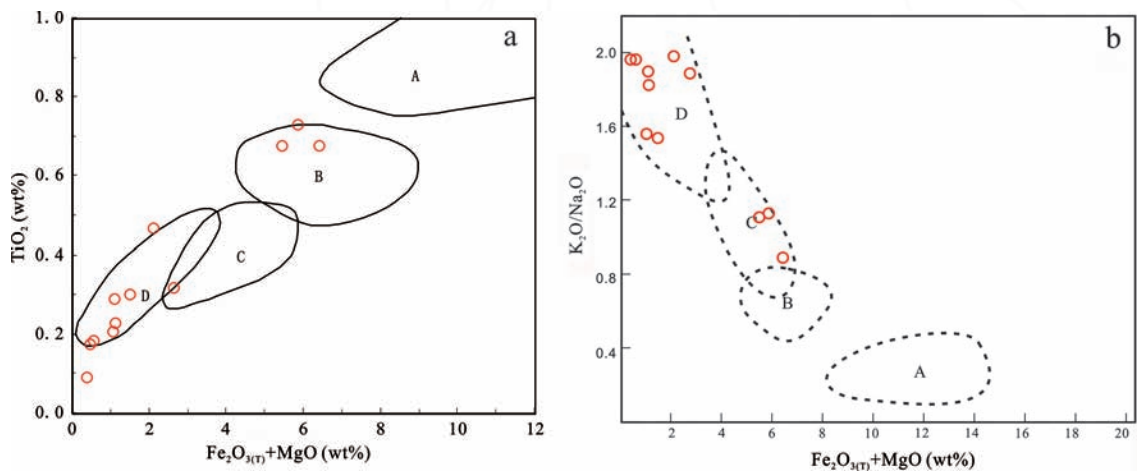


图7 研究区赛汉塔拉组上段砂岩主量元素大地构造背景判别图解(底图据 Bhatia, 1983)

Fig.7 Major elements composition of Upper sandstones for tectonic setting discrimination

A. 大洋岛弧; B. 大陆岛弧; C. 活动大陆边缘; D. 被动大陆边缘

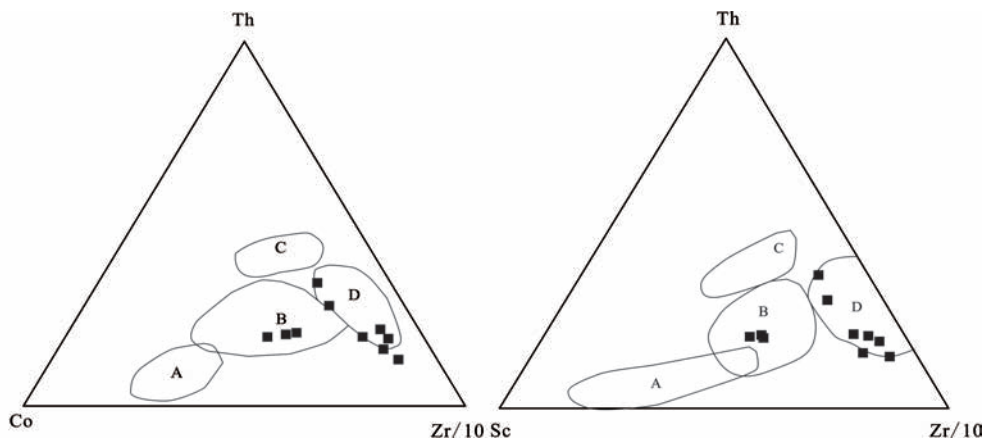


图8 二连盆地陆海地区铀矿砂岩 Th-Co-Zr/10(左)、Th-Sc-Zr/10(右)构造环境判别图(据 Bhatia et al., 1986)

Fig.8 Th-Co-Zr/10 (left) and Th-Sc-Zr/10 (right) tectonic environment discrimination map of uranium deposit sandstone in in Luhai area of Erlian Basin (According to Bhatia et al, 1986)

A. 大洋岛弧; B. 大陆岛弧; C. 活动大陆边缘; D. 被动大陆边缘

(苗全芸等,2016)。伴随构造运动的多期次岩浆侵入和火山喷发活动,这些活动为盆地的基底和盖层提供了新的岩石类型(赵森等,2018)。盆内地周边蚀源区广泛分布二叠纪和晚侏罗世中酸性火山岩及华力西晚期、早燕山期花岗岩,为盆地提供了丰富的物源。

在巴音宝力格隆起和苏尼特隆起,广泛分布的岩浆岩体主要以酸性为主,这些岩体的岩石类型包括石炭纪、二叠纪花岗岩以及三叠纪花岗岩。这些岩石在构造运动中受到侵蚀,成为盆地内沉积物的重要来源。马尼特坳陷的中基性岩株,如花岗闪长岩、二长花岗岩等,也可能为盆地提供了物源。前文已述,陆海地区赛汉塔拉组上段的岩石岩屑中含有大量的变质岩类和火山岩类,这些碎屑物的分选性较差,磨圆度以次棱角状至次圆状为主,表明了物源区的岩石经历了较近的搬运过程。杂基含量高,主要由水云母和高岭石组成,这进一步支持了物源区岩石的侵蚀和搬运。

前人对二连盆地不同地区主要赋矿层位赛汉塔拉组上段开展了碎屑锆石年龄测试研究,其中乌兰察布坳陷哈达图地区赛汉塔拉组上段碎屑锆石年龄以170~120 Ma和290~220 Ma为主,其次为少量的330~290 Ma、390 Ma、410~430 Ma、470~440 Ma等(刘佳林等,2020);马尼特坳陷陆海地区赛汉塔拉组上段为140~120 Ma、240~200 Ma、360~260 Ma、510~390 Ma(刘华健等,2023),经与周缘岩体年龄对比,与苏尼特左旗巴音宝力格隆起、苏尼特右旗敖包和巴音乌拉岩体的年龄有相似的范围(龙舟等,2017;秦旭亮,2023),为进一步分析陆海地区的物源供给提供了重要信息。结合前人的碎屑锆石年龄测试,赛汉塔拉组上段的碎屑锆石年龄与巴音宝力格隆起和苏尼特隆起的岩浆岩体年龄有相似的范围,显示了良好的对应关系。这表明这些隆起是赛汉塔拉组上段沉积物的主要物源区。构造运动不仅影响了物源区岩石的侵蚀和搬运,也影响了沉积物的分选性和磨圆度,进而影响了沉积物的物源特征。

综上所述,二连盆地的物源主要来源于巴音宝力格隆起和苏尼特隆起的岩浆岩和火山岩地层。这些物源区的岩石在构造运动中受到剥蚀,通过搬

运过程进入盆地,并在赛汉塔拉组上段沉积。这一过程不仅反映了二连盆地的构造演化历史,也为理解盆地的沉积作用提供了重要信息。

5 结论

(1)陆海地区铀矿区赛汉塔拉组上段砂岩的石英含量为40%~75%,长石次之,约20%~30%。岩屑含量最低,岩性主要为长石石英砂岩、长石砂岩和岩屑砂岩,岩屑包括酸性火成岩岩屑和花岗质岩屑,总体显示了近源沉积特征。

(2)微量元素和稀土元素均表现为右倾特征,轻重稀土元素分异作用明显,通过元素地球化学特征判定,物源区构造与被动大陆边缘环境相关,结合锆石年龄和区域构造演化,认为其物源为巴音宝力格隆起和苏尼特隆起的岩体和火山岩地层。

中文参考文献

- 程银行,金若时,Michel CUNEY,等.2024.中国北方盆地大规模铀成矿作用:地层篇[J].地质学报,98(07):1953-1976.
- 陈国达,陈家超,魏柏林,等.1975.中国大地构造简述[J].地质科学,10(3):205-219.
- 蔡彤.2014.二连盆地努和廷铀矿床成矿机理探讨[J].西部资源,2000(04):170-173.
- 韩效忠,吴兆剑,司马献章,等.2018.二连盆地马尼特坳陷南北双向供源铀成矿模式探讨[J].煤田地质与勘探,46(6):10.
- 黄镗俯.2018.二连盆地马尼特坳陷古河谷铀成矿地质特征[J].中国金属通报,(6):2.
- 金若时,滕雪明.2022.中国北方砂岩型铀矿大规模成矿作用[J].地质调查与研究,45(01):42-57.
- 康世虎,杨建新,刘武生,等.2017.二连盆地中部古河谷砂岩型铀成矿特征及潜力分析[J].铀矿地质,33(04):206-214.
- 刘波,杨建新,乔宝成,等.2017.二连盆地巴彦乌拉铀矿床控矿成因相特征及成矿规律研究[J].矿产勘查,8(01):17-27.
- 刘鑫扬.2021.二连盆地砂岩型铀矿找矿方向探讨[J].铀矿地质,37(01):51-60.
- 刘佳林,刘武生,虞航,等.2020.二连盆地哈达图地区赛汉组上段碎屑锆石U-Pb年龄及地质意义[J].铀矿地质,36(01):14-19.
- 刘汉彬,李子颖,秦明宽,等.2012.鄂尔多斯盆地北部砂岩型铀矿地球化学研究进展[J].地学前缘,19(3):139-146.
- 刘华健,徐增连,汤超,等.二连盆地马尼特坳陷赛汉组上段赋铀沉积物源特征及其对砂岩型铀成矿的启示[J/OL].地球科学. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1874.P.20230511.1702.006.html>.
- 李洪军,旷文战.2010.二连盆地努和廷铀矿床成矿作用及成矿模式[J].世界核地质科学,27(3):125-129.
- 龙舟,来林,张学斌,等.2017.内蒙古苏尼特右旗白垩纪A型花岗岩锆石U-Pb年龄、地球化学特征及其构造意义[J].地质与勘探,53(6):1115-1128.

- 林效宾,李西得,刘武生.2021.二连盆地铀矿床成矿类型及时空分布特征[J].铀矿地质,37(06):1013-1026.
- 李彤,俞初安,杨桐旭,等.2022.二连盆地西部白彦花地区砂岩型铀矿地质特征及控矿因素分析[J].华北地质,45(4):38-47+74.
- 李文国.2008.内蒙古自治区岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1-344.
- 黎彤.1994.中国陆壳及其沉积层和上陆壳的化学元素丰度[J].地球化学,(2):140-145.
- 马英军,霍润科,徐志方,等.2004.化学风化作用中的稀土元素行为及其影响因素[J].地球科学进展,(01):87-94.
- 苗全芸,漆家福,肖阳,等.2016.二连盆地乌尼特拗陷伸展构造特征及成盆演化[J].中国地质,43(6):2036-2045.
- 聂逢君,李满根,邓居智,等.2015.内蒙古二连裂谷盆地“同盆多类型”铀矿床组合与找矿方向[J].矿床地质,34(4):711-729.
- 内蒙古自治区地质矿产局.1991.内蒙古自治区区域地质志[M].北京:地质出版社,1-725
- 秦旭亮.2023.内蒙古苏尼特左旗地区中生代火山岩岩石学特征[D].石家庄经济学院.
- 任晓平,刘晓敏,彭瑞强,等.2022.二连盆地巴彦乌拉铀矿床水文地质条件与铀成矿关系[J].世界核地质科学,39(03):554-560.
- 王忠刚,于学元.1989.稀土元素地球化学,科学出版社.
- 文思博,朱强,程银行.2023.鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿成矿时代及铀富集时空规律[J].华北地质,46(03):1-11+34.
- 于雅岑.2019.二连盆地哈达图地区砂岩型铀矿特征与成矿作用研究[D].东华理工大学.
- 杨冰彬.2013.二连盆地裂谷构造演化[J].内蒙古石油化工,39(14):51-53.
- 杨崇根.2020.二连盆地马尼特拗陷铀成矿地质条件分析[J].甘肃科技,36(24):10-11.
- 晏彦,张展适,史清平.2019.二连盆地巴彦乌拉铀矿床微量元素地球化学特征[J].世界核地质科学,36(1):9.
- 俞初安,金若时,李彤,等.2023.鄂尔多斯盆地砂岩型铀矿成矿地质条件和关键控矿要素分析[J].地球学报,4(44):689-706.
- 俞初安,吴兆剑,司马献章,等.2020.二连盆地马尼特拗陷南缘赛汉塔拉组砂岩碎屑锆石年龄及其地质意义[J].地球科学,45(05):1609-1621.
- 赵丽君,刘晓雪,张超,等.2023.柴达木盆地西北缘跃进地区砂岩型铀矿成矿条件和潜力分析[J].华北地质,46(03):12-20.
- 赵森,张文卿,蔡五田,等.2018.二连盆地马尼特拗陷 ZK001 钻孔孢粉组合及其地质时代与气候变化[J].第四纪研究,38(6):1396-1408.
- 张鑫,张金亮,覃利娟.2007.塔里木盆地志留系柯坪塔格组砂岩岩石学特征与物源分析[J].矿物岩石,(03):106-115.
- 张金亮,张鑫.2007.塔中地区志留系砂岩元素地球化学特征与物源判别意义[J].岩石学报,23(11):2290-3002.
- 张天福,孙立新,张云,等.2016.鄂尔多斯盆地北缘侏罗纪延安组、直罗组泥岩微量、稀土元素地球化学特征及其古沉积环境意义[J].地质学报,90(12):3454-3472.

References

- Ahmad I, Chandra R. 2013. Geochemistry of loess-paleosol sediments of Kashmir Valley, India: Provenance and weathering[J]. Journal of Asian Earth Sciences, 66:73-89.
- Bailey J C. 1981. Geochemical criteria for a refined tectonic discrimination of orogenic andesites[J]. Chem Geol, 32:139-154.
- Bhatia M R. 1983. Plate tectonics and geochemical composition of sandstones[J]. Journal of Geology, 91(6):611-627.
- Bhatia M R, Crook K A. 1986. Trace element characteristics of grey wackes and mud rocks: Provenance and tectonic control. Contributions Mineral Petrol[J]. 92:181-193.
- Pettijohn F J, Potter P E, Siver R. 1972. Sand and sandstone[M]. New York:Springer-Verlag, 1-618.
- Roser B P and Korsch R J. 1999. Geochemical characterization, evolution and source of a Mesozoic accretionary wedge: the Torlesse terrane, New Zealand[J]. Geological Magazine, 136(5): 493-512.
- Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society, London, Special Publications. 1989, 42(1):313-345.
- Taylor S R, McLennan S M. 1985. The Continental Crust: its Composition and Evolution[J]. The Journal of Geology, 94(4):57-72.
- Yu Reng'an, Li Tong, Zhu Qiang et al. 2023. Geochemistry and detrital zircon U-Pb chronology of Late Mesozoic strata in the Western Erlian Basin and their indication to provenance and uranium metallization. Journal of Earth Science. <https://doi.org/10.1007/s12583-023-1820-8>.