

大兴安岭北部中生代花岗岩类地球化学特征及地质意义

刘希瑶¹,王德力²,刘 驰³

1. 辽宁省地质矿产调查院有限责任公司,辽宁 沈阳 110032; 2. 内蒙古自治区 115 地质矿产勘查开发院,内蒙古 乌兰浩特 137405; 3. 中国地质调查局 沈阳地质调查中心,辽宁 沈阳 110034

摘 要: 依据在大兴安岭北部开展的 1:20 万水系沉积物地球化学调查项目所采集的岩石样品的元素分析测试结果,对中生代花岗岩类 39 种元素含量进行了统计,分析了元素的地球化学特征,提出了大兴安岭北部中生代花岗岩类元素的丰度值.认为大兴安岭北部中生代花岗岩类具有富钾酸性花岗岩和富铝中酸性花岗岩两种地球化学类型的特征,这些特征与中生代构造运动和岩浆活动关系密切.

关键词: 元素丰度值;地球化学特征;中生代花岗岩类;大兴安岭

GEOCHEMISTRY OF MESOZOIC GRANITOIDS IN NORTHERN DAXINGANLING MOUNTAINS: Geological Implication

LIU Xi-yao¹, WANG De-li², LIU Chi³

1. Liaoning Institute of Geology and Mineral Survey Co., Ltd., Shenyang 110032, China; 2. Inner Mongolia No. 115 Institute of Geological and Mineral Exploration and Development, Ulanhot 137405, Inner Mongolia, China; 3. Shenyang Center of China Geological Survey, Shenyang 110034, China

Abstract: Based on the elemental analysis results of rock samples collected by the 1:200 000 stream sediment geochemical survey in northern Daxinganling Mountains, the paper counts the contents of 39 elements in the Mesozoic granitoids, analyzes the geochemical characteristics of elements, and presents the abundance values of elements in the Mesozoic granitoids of northern Daxinganling Mountains. It is concluded that the Mesozoic granitoids have the characteristics of potassium-rich acid granites and aluminium-rich acid-intermediate granites, which are closely related to the Mesozoic tectonic movement and magmatic activity.

Key words: element abundance; geochemical characteristics; Mesozoic granitoid; Daxinganling Mountains

大兴安岭北部中生代期间受滨太平洋构造域及蒙古-鄂霍次克洋构造域联合影响,构造演化较为复杂,岩浆活动强烈,花岗岩分布广泛,与松辽盆地东部的张广才岭-小兴安岭花岗岩共同构成了中国大陆东部中生代“花岗岩海”^[1-4],同时,各类矿床(矿点)也有众多发现.因此,对中生代花岗岩类的地球化学特征进行

分析,对于探讨大兴安岭北部中生代花岗岩类在地质找矿和构造运动方面具有积极的意义.但以往研究的范围较小,样品量偏少,还不能对整个大兴安岭北部中生代花岗岩类进行研究比较,这在一定程度上制约了从整体上把握大兴安岭乃至东北地区区域构造演化和花岗岩成因^[5-11].本文依据在大兴安岭北部开展的 1:20

收稿日期:2020-01-08;修回日期:2020-03-18.编辑:张哲.

基金项目:中国地质调查局项目“内蒙古 1:20 万小二沟幅区域化探”(项目编号 200014200010).

作者简介:刘希瑶(1985—),女,工程师,现从事地球化学调查与评价工作,通信地址 辽宁省沈阳市皇姑区宁山中路 42 号羽丰大厦 24 层,E-mail//huangmaoliu8@sina.com

万水系沉积物地球化学调查项目所采集的岩石样品的元素分析测试结果,对中生代花岗岩类常量元素和微量元素进行对比分析,研究中生代花岗岩类元素的特征,探讨中生代花岗岩类的地质作用。

1 中生代花岗岩类的元素地球化学特征

花岗岩类样品分布在 $119.00\sim 126.00^{\circ}\text{N}$, $46.60\sim 53.30^{\circ}\text{E}$ 的区域内,面积约 $24\times 10^4\text{ km}^2$,主要在乌兰浩特-阿荣旗地区、额尔古纳-满归地区和鄂伦春-塔河地区,阿荣旗-莫力达瓦地区也有部分样品分布。共收集到中生代花岗岩类样品 422 件,包括花岗岩、花岗斑岩、花岗闪长岩、二长花岗岩、黑云母花岗岩等 39 种元素的含量数据^[12-14]。对各元素的数据进行了迭代剔除特异离群值处理,并计算了元素含量的平均值(\bar{X})、标准离差(S)、变异系数(CV)、最大值(X_{\max})和最小值(M_{\min})^[15],见表 1。

1.1 常量元素含量特征

中生代花岗岩类常量元素平均含量与中国花岗岩丰度(史长义等,2008)相比, SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 基本接近, Na_2O 、 Fe_2O_3 显著偏高,而 CaO 、 MgO 显著偏低。 SiO_2 平均含量为 72.29%,变化区间在 60.33%~80.00%。大兴安岭地区花岗岩主要包括花岗闪长岩、花岗岩、二长花岗岩, SiO_2 含量变化较大,随着 SiO_2 含量增高, Al_2O_3 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 MgO 含量明显下降, Na_2O 含量略显下降趋势, K_2O 含量则呈升高趋势,见图 1。 SiO_2 、 Al_2O_3 、 K_2O 、 Na_2O 变异系数在 0.06~0.13,呈均匀分布; CaO 、 MgO 、 Fe_2O_3 变异系数分别为 0.79、0.76、0.50,其变异程度较高,反映不同类型花岗岩中 CaO 、 MgO 、 Fe_2O_3 含量具有较大差异性。

1.2 微量元素含量特征

中生代花岗岩类常量元素平均含量与中国花岗岩丰度(史长义等,2008)相比, As 、 Au 、 Cr 、 Hg 、 Mn 、 Mo 、

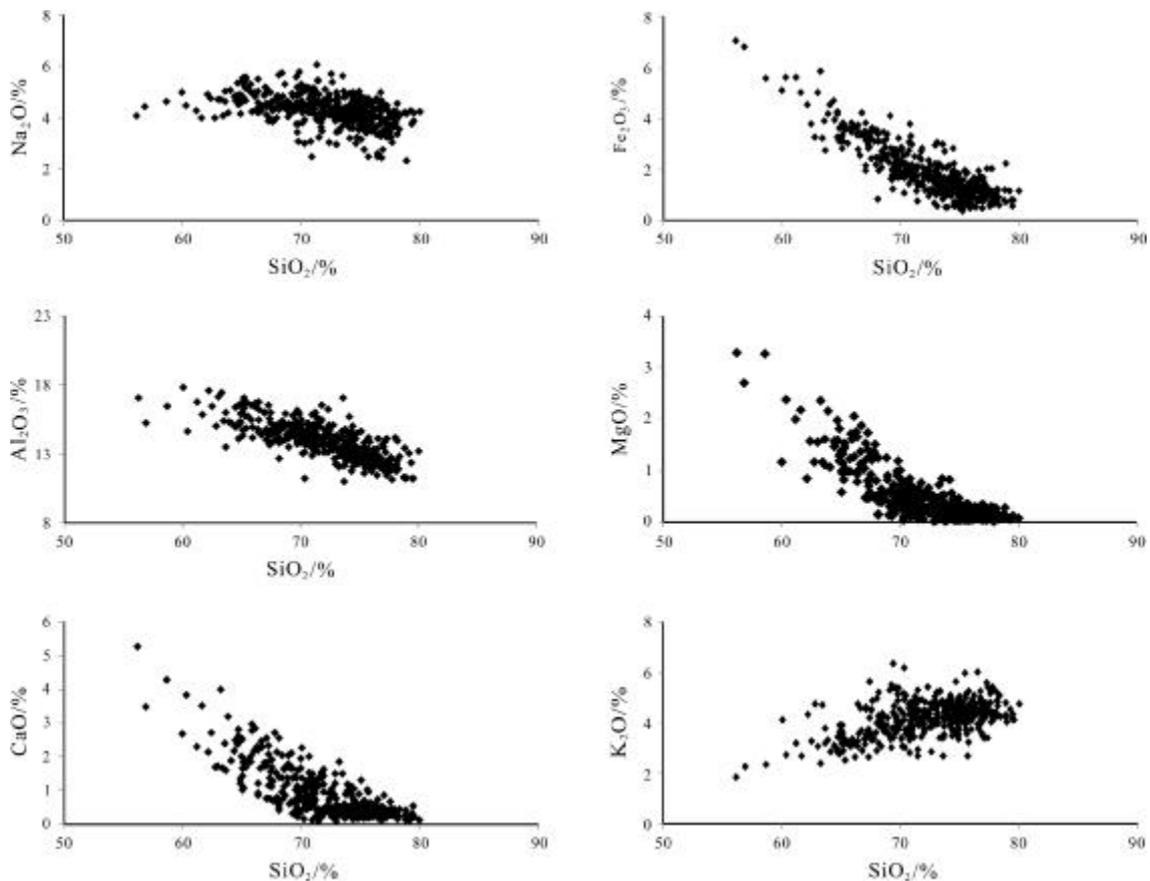


图 1 常量元素散点图

Fig. 1 The scatter diagrams of major elements

表1 大兴安岭北部中生代花岗岩类地球化学参数

Table 1 Geochemical parameters of the Mesozoic granitoids in northern Daxinganling Mountains

元素	样品数	平均值	中位数	标准差	最大值	最小值	中国花岗岩类 [*]	浓集比值	丰度值(本文)
Al ₂ O ₃	422	13.86	13.81	1.33	17.83	11.04	14.2	0.98	13.81
CaO	407	0.76	0.50	0.60	2.56	0.09	1.35	0.56	0.50
Fe ₂ O ₃	413	1.88	1.67	0.95	4.72	0.37	0.88	2.13	1.67
K ₂ O	419	4.16	4.22	0.66	6.05	2.29	4.32	0.96	4.22
MgO	365	0.31	0.24	0.23	1.00	0.02	0.52	0.59	0.24
Na ₂ O	415	4.33	4.35	0.55	5.78	2.74	3.54	1.22	4.35
SiO ₂	418	72.29	73.03	4.04	80.00	60.33	72.2	1.00	73.03
Ag	395	47.6	45.0	18.6	102.9	0.2	52	0.92	45.0
As	375	1.29	1.20	0.69	3.30	0.10	0.9	1.44	1.20
Au	405	0.52	0.42	0.30	1.40	0.12	0.38	1.37	0.42
B	384	3.71	3.30	2.05	9.80	0.97	4.2	0.88	3.30
Ba	416	601	603	357	1659	23	557	1.08	603
Be	406	2.63	2.48	0.88	5.09	0.62	2.6	1.01	2.48
Bi	373	0.13	0.11	0.08	0.37	0.01	0.14	0.90	0.11
Cd	374	49.1	43.0	23.1	117.2	10.4	53	0.93	43.0
Co	378	2.3	1.8	1.6	6.9	0.3	3	0.76	1.8
Cr	389	6.2	5.6	2.9	14.9	0.4	3	2.05	5.6
Cu	365	4.1	3.6	2.2	10.7	0.2	5	0.82	3.6
F	410	306	255	172	800	57	450	0.68	255
Hg	390	5.99	5.85	1.76	11.05	1.00	5	1.20	5.85
La	409	25.5	25.3	11.4	58.4	3.0	33	0.77	25.3
Li	406	12.8	11.5	7.1	31.6	1.1	20	0.64	11.5
Mn	419	422	418	200	989	20	355	1.19	418
Mo	405	0.74	0.67	0.39	1.92	0.19	0.49	1.51	0.67
Nb	401	12.4	11.7	4.2	24.1	0.2	13.4	0.93	11.7
Ni	387	2.90	2.52	1.63	7.80	0.19	4.5	0.64	2.52
P	405	330	238	248	1046	36	414	0.80	238
Pb	410	21.83	21.25	5.70	37.00	6.60	26	0.84	21.25
Sb	376	0.16	0.15	0.06	0.33	0.03	0.13	1.23	0.15
Sn	387	1.93	1.80	0.71	3.96	0.54	2	0.97	1.80
Sr	409	182	128	163	665	8	174	1.05	128
Th	405	14.1	13.1	5.8	30.5	2.3	16.6	0.85	13.1
Ti	415	1619	1371	990	4526	127	1516	1.07	1371
U	407	2.25	1.97	1.05	5.20	0.54	2.8	0.80	1.97
V	391	20.0	16.3	13.6	60.4	0.3	23	0.87	16.3
W	370	0.84	0.79	0.41	2.05	0.14	0.7	1.20	0.79
Y	406	16.8	16.0	6.9	37.5	2.3	20	0.84	16.0
Zn	416	43.7	42.1	19.9	99.6	6.3	43	1.02	42.1
Zr	415	180	165	84	427	15	147	1.23	165

含量单位:氧化物为%; Ag、Au、Cd、Hg 为 10⁻⁹;其他为 10⁻⁶。* 中国花岗岩类元素丰度据史长义等(2008)。

Sb、W、Zr 显著偏高, 而 Co、Cu、F、La、Li、P、Pb、U、Th、V、Y 显著偏低. P、Sr、Zn 含量随 SiO₂ 含量增高而下降(图 2).

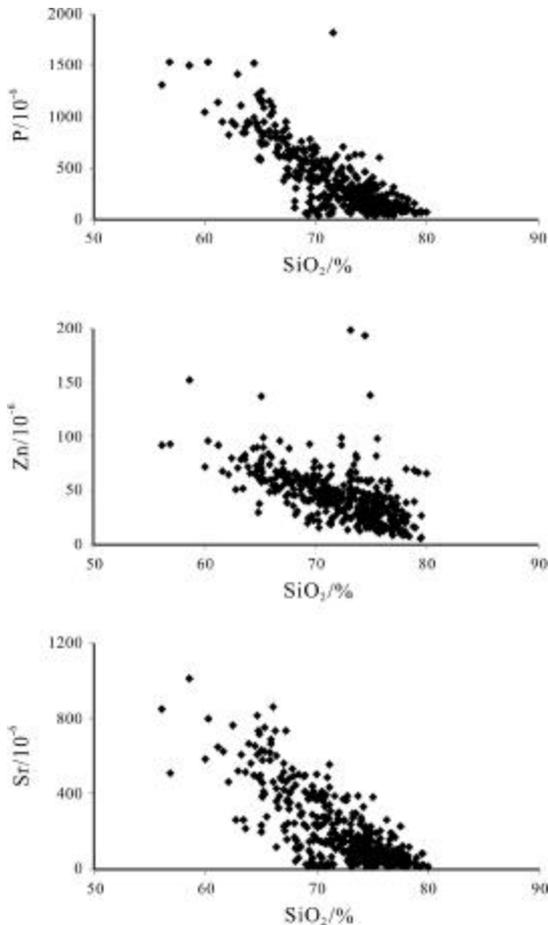


图 2 微量元素与 SiO₂ 散点图

Fig. 2 The scatter diagrams of trace elements vs. SiO₂

从微量元素的变异系数可以看出, Pb、Hg、Be、Nb 变异系数小于 0.35, 呈均匀分布; Sb、Sn、Ag、Th、Y、La、Zn、Zr、U、Cd、Mn、Cr、W 变异系数在 0.35~0.50 之间, 属于中等变异; Mo、As、Cu、B、Li、F、Ni、Au、Ba、Ti、Bi、V、Co、P、Sr 变异系数在 0.50~0.89 之间, 其变异程度较大, 表明在不同类型花岗岩中呈不均匀分布. 这个特征反映出大兴安岭北部中生代花岗岩类中微量元素的分布特点, 这对于研究中生代花岗岩类的地质作用具有一定的意义^[16].

1.3 中生代花岗岩类地球化学丰度值

在利用地球化学数据进行找矿和成矿预测的过程中, 不同元素背景值的变化对预测的结果会产生很大的影响^[17]. 通过选择采集有代表性的花岗岩类岩体样

品, 运用当今先进的分析测试手段, 开展花岗岩类地球化学元素丰度的测试和研究是非常重要的^[18-20]. 元素的丰度在某种程度上制约了元素参与地球化学过程的浓度, 从而支配着元素的地球化学行为. 因此, 计算大兴安岭北部花岗岩类元素的丰度值对于该地区花岗岩类的研究具有重要的地质意义. 大兴安岭北部中生代花岗岩类元素含量分布多呈偏态, 故以中位数作为大兴安岭北部中生代花岗岩类元素的丰度值, 见表 1.

与中国花岗岩丰度(史长义等, 2008)相比较, 大兴安岭北部中生代花岗岩类元素丰度值的特征是: 常量元素 Fe₂O₃、Na₂O 偏高, CaO、MgO 偏低, Al₂O₃、K₂O、SiO₂ 相近; 微量元素 As、Au、Cr、Hg、Mn、Mo、Sb、W 偏高, F、Ni 偏低; 稀有稀土放射性元素只有 Zr 偏高, La、Li 偏低. 而比值小于 0.7 的元素只有 5 个元素, 可见大部分元素的丰度值具有相似或偏高的特征.

2 中生代花岗岩类地球化学分类

花岗岩的地球化学分类, 对于研究花岗岩的形成时代、成因类型及反映的构造环境具有重要的意义^[21-23]. 基于常量元素, 利用 K 分类方法, 将大兴安岭地区中生代花岗岩划分为富钾酸性花岗岩和富铝中酸性花岗岩两个地球化学类型, 两种类型元素平均含量列于表 2.

富钾酸性花岗岩以富硅富钾为特征, 微量元素 Be、Nb、U、Th、Pb 含量较高. 富铝中酸性花岗岩以高铝、铁、钙、镁为特征, 微量元素普遍较高, 其中 As、B、Ba、Co、Cr、Cu、F、Li、Mn、Ni、P、Sr、Ti、V、Zn、Zr 含量显著高于富钾酸性花岗岩, Ag、Cd、La、Sb、W 略偏高.

3 认识与讨论

花岗岩类是以花岗岩为主的一类岩石. 它广泛分布于大陆岩石圈中, 并成为大陆岩石圈上部结构层——硅铝层的基本化学组成. 大兴安岭北部中生代花岗岩类分布广泛, 但基于较大范围内及较多的花岗岩类样品进行分析研究的为数不多. 本文依据大兴安岭北部中生代花岗岩类样品进行的分析研究, 其样本分布范围较广泛, 样本量也较大, 所描述的花岗岩类元素地球化学特征具有代表性.

大兴安岭北部中生代花岗岩类元素的丰度统计, 其样本数量多, 分布范围广泛, 分析测试质量可靠, 具

表2 花岗岩地球化学类型元素平均含量
Table 2 Average element contents of granites by
geochemical types

元素	富钾酸性花岗岩(n=362)		富铝中酸性花岗岩(n=60)	
	平均值	标准离差	平均值	标准离差
Al ₂ O ₃	13.54	1.09	15.72	1.01
CaO	0.58	0.39	2.14	0.74
Fe ₂ O ₃	1.63	0.72	3.79	0.76
K ₂ O	4.29	0.56	3.31	0.59
MgO	0.28	0.20	1.41	0.45
Na ₂ O	4.26	0.53	4.74	0.44
SiO ₂	73.40	3.03	65.01	1.75
Ag	45.9	17.7	53.5	17.1
As	1.14	0.54	2.22	1.27
Au	0.53	0.33	0.58	0.35
B	3.57	1.98	5.53	3.71
Ba	555	354	847	184
Be	2.70	0.92	2.20	0.40
Bi	0.13	0.08	0.13	0.08
Cd	46.4	22.2	65.8	23.0
Co	1.9	1.1	8.5	3.7
Cr	5.7	2.5	17.3	13.0
Cu	3.6	1.7	8.8	4.5
F	260	132	567	138
Hg	6.01	1.79	5.78	1.46
La	25.0	11.6	28.8	9.7
Li	11.4	6.4	20.3	5.6
Mn	386	183	639	164
Mo	0.74	0.39	0.78	0.42
Nb	12.8	4.2	10.0	3.6
Ni	2.76	1.55	8.82	6.39
P	269	182	947	243
Pb	22.22	5.84	19.81	4.78
Sb	0.16	0.06	0.23	0.11
Sn	1.93	0.71	2.15	0.94
Sr	143	122	533	184
Th	14.8	6.1	11.2	4.7
Ti	1363	751	3505	696
U	2.33	1.10	1.84	0.74
V	16.2	8.8	61.5	21.4
W	0.82	0.41	0.92	0.36
Y	16.7	7.2	17.1	4.8
Zn	38.8	16.2	68.9	15.6
Zr	172	80	231	94

含量单位:氧化物为%; Ag、Au、Cd、Hg 为 10⁻⁹;其他为 10⁻⁶.

有代表性和科学依据. 提出的大兴安岭北部中生代花岗岩类元素的丰度值可为研究中国东部花岗岩类地球化学特征提供补充和参考.

大兴安岭地区中生代花岗岩可划分为富钾酸性花岗岩和富铝中酸性花岗岩两种地球化学类型. 从中生代花岗岩类常量元素和微量元素的特征可以看出,除了 K₂O、Na₂O 外,其他常量元素与 SiO₂ 的含量呈反比特征.

中国许多内生金属矿床,如金、铀、钨、锡、铜等矿床,其成因往往都与花岗岩类的岩浆活动及其后期热液作用有关. 花岗岩类的岩石本身也是一种很有开发价值的建材资源. 研究花岗岩类岩石中的常量元素、微量元素特征,对于探讨岩石源区、岩石成因、岩石演化和岩石产出的构造环境等方面的基础理论问题具有一定的参考意义. 中生代花岗岩类的这些特征对于我们进行中生代的大地构造运动研究和矿产资源勘查等,从地球化学角度提供了有意义的参考依据.

本文形成过程中得到了安徽省勘查技术院汤正江教授级高级工程师、陕西省地质调查院王会峰教授级高级工程师的鼎力帮助,在此一并表示诚挚的谢意.

参考文献:

- [1]王粉丽,王海鹏,鲁红峰,等. 大兴安岭北部上其地区中生代花岗岩年代学、岩石地球化学特征及构造背景[J]. 地质科技情报,2016,35(4):18-28.
- [2]刘俊来, Davis G A, 纪沫,等. 地壳的拆离作用与华北克拉通破坏:晚中生代伸展构造约束[J]. 地学前缘,2008,15(3):72-81.
- [3]吴福元,孙德有,林强. 东北地区显生宙花岗岩的成因与地壳增生[J]. 岩石学报,1999,15(2):181-189.
- [4]林强,葛文春,吴福元,等. 大兴安岭中生代花岗岩类的地球化学[J]. 岩石学报,2004,20(3):403-412.
- [5]梁科伟,李成禄,张立东,等. 大兴安岭诺敏地区二叠纪花岗岩的地球化学特征及地质意义[J]. 地质与资源,2012,21(2):181-187.
- [6]刘凯,吴涛涛,刘金龙,等. 大兴安岭北段图里河地区满克头鄂博组火山岩年代学及地球化学[J]. 中国地质,2018,45(2):367-376.
- [7]胡军海,杨华本,周传芳,等. 大兴安岭北段漠河富源沟林场早侏罗世花岗岩——年代学、地球化学特征及构造意义[J]. 地质与资源,2018,27(3):224-234.
- [8]戴慧敏,杨忠芳,马振东,等. 大兴安岭查巴奇地区中生代侵入岩岩石地球化学特征及构造背景[J]. 中国地质,2013,40(1):232-247.

(下转第 281 页 /Continued on Page 281)

质遗迹资源保护分区图. 分区结果为:盐津乌蒙峡谷地质公园特级保护区面积 0.06 km², 一级保护区面积 11.74 km², 二级保护区面积 23.47 km², 三级保护区面积 75.07 km².

参考文献:

- [1] Eder W. UNESCO Geoparks—A new initiative for protection and sustainable development of the earth heritages [J]. *N J B Geol Palaont abh.*, 1999, 214(1/2):353–358.
- [2] 李明路, 姜建军. 论中国的地质遗迹及其保护[J]. *中国地质*, 2000(6):31–34.
- [3] 张萌萌, 蔚东英, 李俊生, 等. 我国自然遗迹类保护区空缺分析及保护对策研究[J]. *自然资源学报*, 2015, 30(10):1774–1782.
- [4] 黄松. 地质遗迹保护开发的实施步骤与模式优选——以新疆为例[J]. *桂林工学院学报*, 2006, 26(1):148–152.
- [5] 罗培, 秦子晗. 地质遗迹资源保护与开发的社区参与模式——以华蓥山大峡谷地质公园为例[J]. *地理研究*, 2013, 32(5):952–964.
- [6] 李晓琴, 覃建雄, 殷继成. 龙门山国家地质公园地质遗迹的保护[J]. *山地学报*, 2004, 22(1):12–16.
- [7] 董茜, 李江风, 方世明, 等. 基于 GIS 的地质公园保护区划分——以湖北神农架世界地质公园为例[J]. *国土资源遥感*, 2016, 28(3):154–159.
- [8] Ferrario F F. The evaluation of tourist resources: An applied methodology[J]. *Journal of Travel Research*, 1979, 17(3):18–22.
- [9] 刘传华, 张捷, 曹靖, 等. 层次分析和模糊数学方法在我国岩溶洞穴旅游资源综合评判中的应用[J]. *中国岩溶*, 2008, 27(2):189–196.
- [10] 王艳红, 武法东. 综合定量评价方法在内蒙古巴彦淖尔地质公园地质遗迹资源评价中的运用[J]. *中国农学通报*, 2013, 29(4):210–215.
- [11] 甘枝茂, 马耀峰. 旅游资源与开发[M]. 天津:南开大学出版社, 2007:279–280.
- [12] 方世明, 李江风, 赵来时. 地质遗迹资源评价指标体系[J]. *地球科学——中国地质大学学报*, 2008, 33(2):285–288.
- [13] 秦正, 秦青, 张艺露. 地质遗迹资源脆弱性评价方法及应用[J]. *河南科学*, 2009, 27(2):230–235.
- [14] 武红梅, 武法东. 河北迁安—迁西国家地质公园地质遗迹资源类型划分及评价[J]. *地球学报*, 2011, 32(5):632–640.
- [15] 姜伏伟, 郭福生, 姜勇彪, 等. 脆弱地质景观评价体系研究——以江西鹰潭龙虎山丹霞地貌景观为例[J]. *资源调查与环境*, 2012, 33(1):62–66.
- [16] 罗伟, 鄢志武, 刘保丽. 地质遗迹资源综合评价指标体系与实证研究[J]. *国土资源科技管理*, 2013, 30(1):39–45.
- [17] 杨涛, 戴塔根, 武国辉. 地质遗迹资源的概念[J]. *中国国土资源经济*, 2007, 20(12):25–27.
- [18] 罗书文, 邓亚东, 覃星铭, 等. 地质遗迹功能属性区分及保护状况评价方法——以乐业—凤山世界地质公园凤山园区为例[J]. *国土资源科技管理*, 2014, 31(5):91–98.
- [19] 陈安泽. 论旅游地质与地质公园的创立及发展. 兼论中国地质遗迹资源——为庆祝中国地质科学院建院 60 周年而作[J]. *地球学报*, 2016, 37(5):535–561.
- [20] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 2 版. 北京:高等教育出版社, 2002:224–230.
- [21] 邓亚东, 罗书文, 孟庆鑫, 等. 盐津地质公园岩溶洞穴资源旅游开发时序与质量等级评价[J]. *资源与产业*, 2018, 20(6):30–37.
- [22] 吴宜进. 旅游资源学[M]. 武汉:华中科技大学出版社, 2009:263–265.
- [9] 杜兵盈, 刘宇崑, 赵明胜, 等. 大兴安岭地区加格达奇东部早白垩世火山岩地层的厘定及地质意义[J]. *地质与资源*, 2018, 27(4):317–323.
- [10] 乔壮冬, 孙加鹏, 李宇蕊, 等. 大兴安岭新林区中生代流纹岩年代学、地球化学特征及其地质意义[J]. *地质与资源*, 2018, 27(4):324–336.
- [11] 聂凤军, 孙振江, 刘翼飞, 等. 大兴安岭岔路口矿区中生代多期岩浆活动与钼成矿作用[J]. *中国地质*, 2013, 40(1):273–286.
- [12] 中华人民共和国地质矿产部. DZ/T 0167–1995 区域地球化学勘查规范(比例尺 1:200 000)[S]. 北京:地质出版社, 1996:16–17.
- [13] 叶家喻, 姜宝林. 区域地球化学勘查样品分析方法[M]. 北京:地质出版社, 2004:416–417.
- [14] 中华人民共和国国土资源部. DZ/T 0011–2015 地球化学普查规范(1:50 000)[S]. 北京:地质出版社, 2015:1–34.
- [15] 国土资源部中国地质调查局. 中华人民共和国多目标区域地球化学图集—松辽平原中南部地区[M]. 北京:地质出版社, 2013:306–306.
- [16] 蔡剑辉, 阎国翰, 许保良, 等. 太行山—大兴安岭东麓晚中生代碱性侵入岩岩石地球化学特征及其意义[J]. *地球学报*, 2006, 27(5):447–459.
- [17] 程志忠, 谢学锦. 岩石中元素背景值变化对地球化学成矿预测的影响[J]. *地质学报*, 2006, 33(2):411–417.
- [18] 史长义, 鄢明才, 迟清华. 中国花岗岩类化学元素丰度[M]. 北京:地质出版社, 2008:1–119.
- [19] 史长义, 鄢明才, 刘崇民, 等. 中国不同岩石类型花岗岩类元素丰度及特征[J]. *物探化探计算技术*, 2005, 27(3):256–262.
- [20] 史长义, 鄢明才, 迟清华. 中国不同构造单元花岗岩类元素丰度及特征[J]. *地质学报*, 2007, 81(1):47–59.
- [21] 武广, 陈衍景, 孙丰月, 等. 大兴安岭北端晚侏罗世花岗岩类地球化学及其地质和找矿意义[J]. *岩石学报*, 2008, 24(4):899–910.
- [22] 武广, 陈衍景, 赵振华, 等. 大兴安岭北端洛古河花岗岩的地球化学、SHRIMP 锆石 U–Pb 年龄和岩石成因[J]. *岩石学报*, 2009, 25(2):233–247.
- [23] 张辉, 戴朝成, 闫秋实, 等. 内蒙古大桦背 I 型花岗岩地球化学特征及其成因意义[J]. *地质与资源*, 2015, 24(1):12–19, 69.

(上接第 211 页 /Continued from Page 211)