

内蒙古北山北缘蓬勃山一带古亚洲洋闭合时间制约 ——来自黑红山二长花岗岩的证据

朱 炜¹, 张正平¹, 孙璎姝², 程海峰¹, 提振海¹, 杜金利¹, 苏朋涛¹, 冯翼鹏¹, 梁国庆¹
ZHU Wei¹, ZHANG Zhengping¹, SUN Yingshu², CHENG Haifeng¹, TI Zhenhai¹, DU Jinli¹,
SU Pengtao¹, FENG Yipeng¹, LIANG Guoqing¹

1. 河北省区域地质调查院, 河北 廊坊 065000;

2. 廊坊市第七中学, 河北 廊坊 065000

1. Hebei Institute of Regional Geological Survey, Langfang 065000, Hebei, China;

2. Langfang No. 7 Middle School, Langfang 065000, Hebei, China

摘要:黑红山二长花岗岩分布于红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带北部,地球化学特征显示其属于准铝质-弱过铝质、中-高钾钙碱性系列,为高分异的I型花岗岩;轻稀土元素富集,轻、重稀土元素分馏明显,具弱负Eu异常,稀土元素曲线为右缓倾。微量元素相对富集Ba、K、Zr、Hf,亏损Ta、Nb、P、Ti,显示与俯冲有关的侵入岩特征,形成于碰撞前的火山弧环境。LA-ICP-MS锆石U-Pb定年获得²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为315.2±2.5Ma。综合研究表明,黑红山地区在晚石炭世属于活动大陆边缘的火山弧,红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带所代表的洋盆在此尚未消亡。

关键词:地球化学特征;锆石U-Pb测年;晚石炭世;二长花岗岩;黑红山

中图分类号:P597+.3;P588.12*1 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-2552(2019)11-1846-12

Zhu W, Zhang Z P, Sun Y S, Cheng H F, Ti Z H, Du J L, Su P T, Feng Y P, Liang G Q. Time constraint on the closing of the Paleo-Asian Ocean in northern Beishan of Inner Mongolia: Evidence from Heihongshan admellite. *Geological Bulletin of China*, 2019, 38(11):1846-1857

Abstract: The Late Carboniferous admellite in the Heihongshan area is located in the northern part of the Hongshishan-Baiheshan-Pengboshan ophiolite belt. The geochemical characteristics show that the admellite belongs to metaluminous to weakly peralitic potassium aluminous calc alkaline series I type granite of high differentiation; its LREE enrichment and LREE and HREE fractionation are obvious, with weak Eu negative anomaly and right-inclined rare earth curve. Trace elements are relatively enriched in Ba, K, Zr and Hf but depleted in Nb, Ti, P and Sr, indicating the characteristics of intrusive rocks related to subduction and formed in the volcanic arc environment before collision. The U-Pb dating of LA-ICP-MS zircon yielded weighted average ²⁰⁶Pb/²³⁸U age of 315.2±2.5Ma. Comprehensive studies show that the Heihongshan area belonged to the volcanic arcs on the active continental margin in the Late Carboniferous epoch, and the Hongshishan-Baiheshan-Pengboshan ophiolite belt suggests that the oceanic basin in Heihongshan area was closed in the Late Carboniferous epoch.

Key words: geochemical characteristics; zircon U-Pb dating; Late Carboniferous; admellite; Heihongshan

北山地区位于中国新疆、甘肃、内蒙古三省交界处。许多学者对该地区进行了大量研究,特别是在进入21世纪后,北山地区研究工作得到突飞猛进

的发展^[1-9]。该地区的大地构造位置跨越3个不同的大地构造单元,即西伯利亚板块、哈萨克斯坦板块和塔里木板块。目前北山地区自北向南分布有红

收稿日期:2018-07-23;修订日期:2018-08-20

资助项目:中国地质调查局项目《阴山成矿带小狐狸山和雅布赖地区地质矿产调查》(编号:DD20160039-09)

作者简介:朱炜(1990-),男,硕士,助理工程师,从事区域地质矿产调查研究工作。E-mail:357097604@qq.com

石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带、芨芨台子-小黄山蛇绿岩带、红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿岩带、辉铜山-帐房山绿岩带(图1)^[10-12]。蛇绿岩带通常被认为是已消失的大洋洋壳的残留,指示板块的碰撞-焊接带。经过漫长的时间,区内发生多期次构造运动和岩浆活动,构造-岩浆热事件复杂。北山地区花岗岩类岩石分布广泛,约占该区全部侵入岩的95%^[13]。许多学者对北山地区红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带进行了大量研究,取得了一系列重要认识,归纳起来主要有3种:①红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩是古亚洲洋自早古生代持续演化至晚古生代残余洋壳的地质记录,将上述蛇绿岩带作为西伯利亚板块与哈萨克斯坦板块的缝合线^[13-14];②上述蛇绿岩带并不具有缝合带的性质,而是早古生代洋-陆格局演化结束后于石炭纪重新拉张裂解形成洋盆的地质记录,其形成于裂谷环境^[12,15]或陆间扩展带环境^[16];③红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带残块形成于大洋中脊环境,该蛇绿岩混杂岩带是塔里木板块与哈萨克斯坦板块的最终缝合带^[17-21]。此外,对百合山和蓬勃山蛇绿岩带形成时代的相关资料较缺乏^[22-23],且红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带以北花岗岩的研究程

度相对薄弱,需要开展进一步的研究。因此,笔者通过野外调查及样品分析测试,补充对红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带北部所代表的古亚洲洋在黑红山地区的闭合时间的证据,研究黑红山二长花岗岩的地球化学特征及年代学特征,探讨其形成环境及构造意义。

1 区域地质背景

黑红山地区出露晚石炭世红色二长花岗岩及早石炭世深灰色、灰黑色砂岩、安山岩,野外红、黑色格外醒目,故此得名。研究区晚古生代大地构造位置属于北山-天山造山系(I级)、额济纳-北山弧盆系(II级)^[24],南部为红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带(图1)。区内出露地层主要为晚古生代和新生代地层,由老到新依次为中奥陶统咸水湖组、下石炭统绿条山组、下石炭统白山组、中二叠统金塔组、上新统苦泉组及全新统冲洪积物(图2)。

本文研究对象为二长花岗岩侵入体,总体出露不连续,面积约29.67km²。该侵入体长轴方向为北西向。侵入晚石炭世花岗闪长岩、石英闪长岩及下石炭统火山-沉积地层,东南部被中二叠统金塔组、

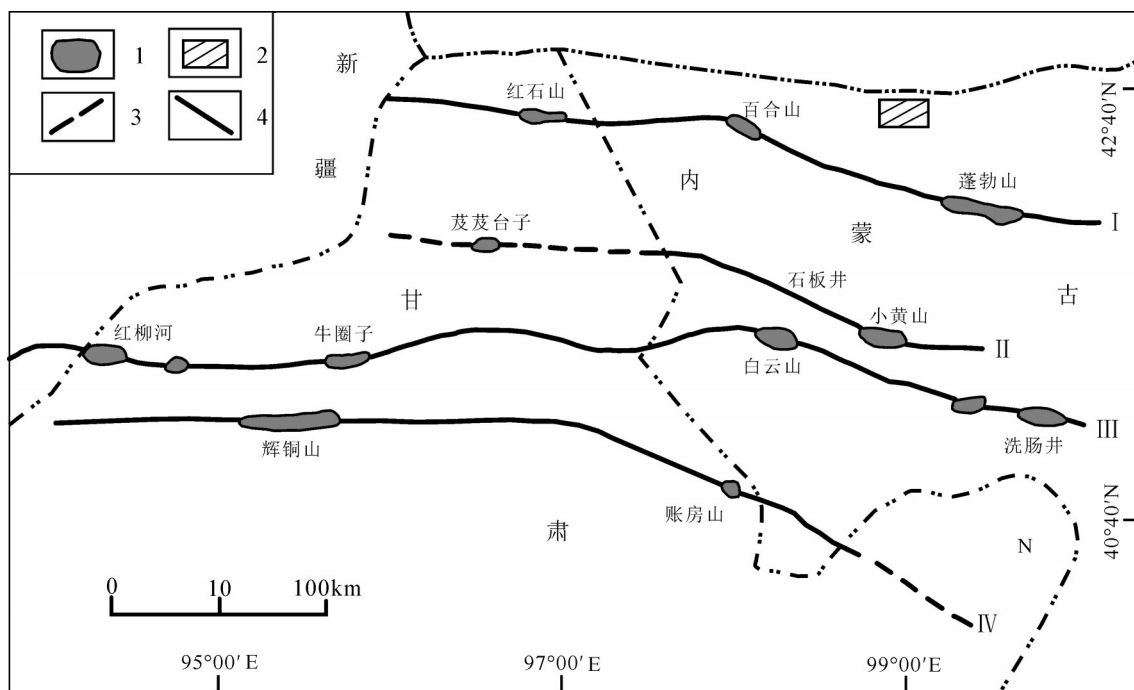


图1 北山地区大地构造位置图(据参考文献[12]修改)

Fig. 1 Tectonic location map of the Beishan area

1—基性-超基性岩或蛇绿岩带;2—研究区;3—推测断裂;4—断裂;I—红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带;
II—芨芨台子-石板井-小黄山蛇绿岩带;III—红柳河-牛圈子-洗肠井蛇绿岩带;IV—辉铜山-帐房山蛇绿岩带

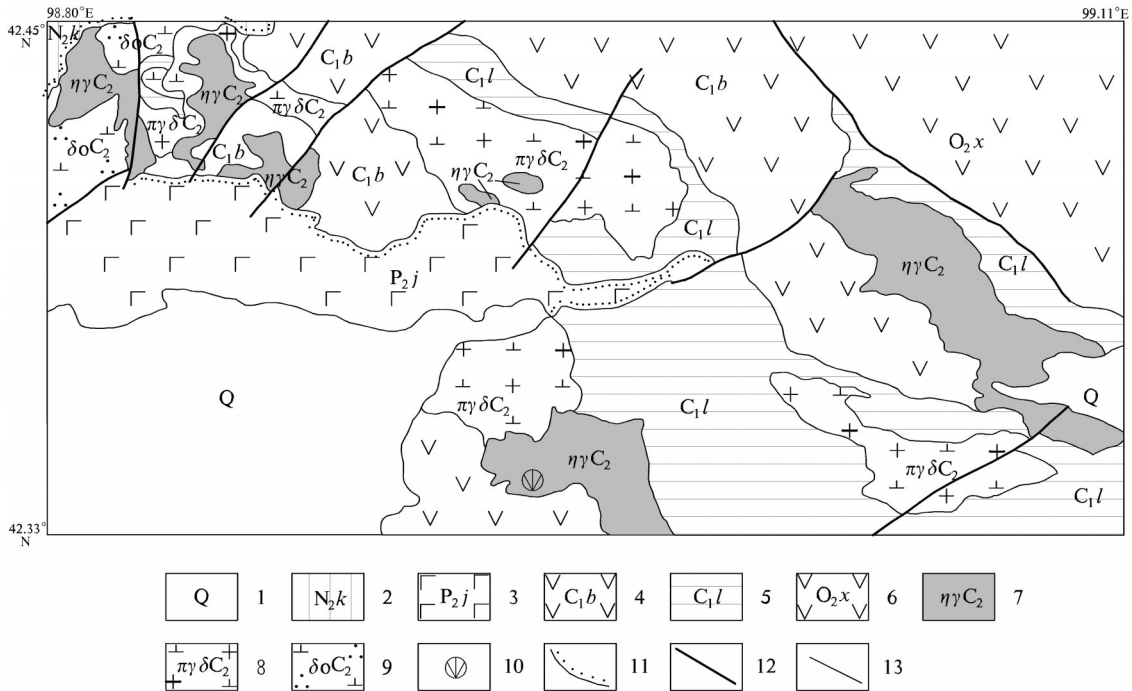


图2 研究区地质简图

Fig. 2 Simplified geological map of the study area

1—第四系;2—上新统苦泉组;3—中二叠统金塔组;4—下石炭统白山组;5—下石炭统绿条山组;6—中奥陶统咸水湖组;7—晚石炭世二长花岗岩;8—晚石炭世斑状花岗闪长岩;9—晚石炭世石英闪长岩;10—同位素样品取样位置;11—角度不整合界线;12—断层;13—地质界线

第四系松散堆积物不整合覆盖。

2 岩石学特征

中粒二长花岗岩:风化面为浅红色,新鲜面为

砖红色(图3-a),中粒花岗结构,块状构造,岩石主要由石英、斜长石、钾长石及黑云母组成,矿物颗粒大小多为2~3mm,少数为0.2~2mm(图3-b)。石英呈他形粒状,杂乱分布,粒度一般2~4.5mm,少数

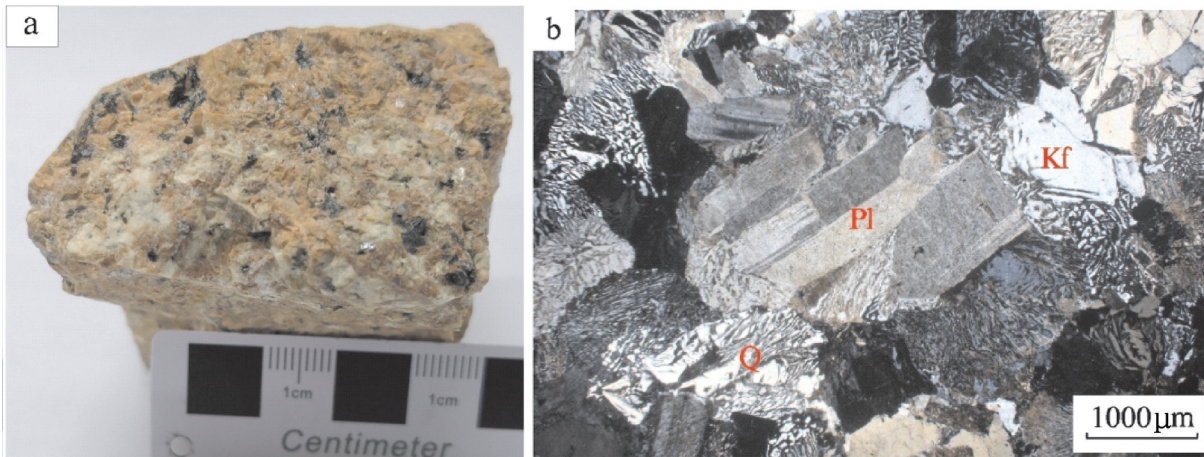


图3 二长花岗岩结构特征(a)与显微照片(正交偏光)(b)

Fig. 3 Structure (a) and microstructure (b) photographs of admellite

Q—石英;Kf—钾长石;Pl—斜长石

0.2~2mm,部分与钾长石呈文象状交生,含量约25%;斜长石呈半自形板状,杂乱分布,粒度一般2~3mm,少数0.2~2mm,含量为35%,高岭土化明显,轻绢云母化,部分粒内聚片双晶发育,用 $\perp(010)$ 晶带最大消光角法测得 $N_p \wedge (010) = 18$,斜长石牌号 $An = 36$,为中长石(其牌号仅供参考);钾长石呈半自形-他形粒状,杂乱分布,粒度一般2~3.2mm,少数0.2~2mm,为正长石,含量为35%~40%,钾长石高岭土化明显,多与石英呈文象状交生;黑云母呈片状,含量为1%~5%,多色性明显: $N_g \wedge =$ 棕色, $N_p \wedge =$ 淡黄色,零散分布,粒度0.05~0.2mm,多被绿泥石交代呈假像,少残留。副矿物为不透明矿物、磷灰石、锆石,次生矿物为高岭土、绿泥石、绿泥石。

3 样品概况及测试方法

岩石化学样品分析在河北省区域地质调查院实验室完成。主量元素采用X荧光光谱仪进行测定,烧失量、 H_2O^- 、 H_2O^+ 采用电子分析天平(P1245)测定,分析精度误差小于5%。稀土元素采用X-series2型等离子质谱仪进行测定,Zr、Ti、K等元素在X摄像荧光光谱仪Axiso^{max}X上完成测定,并依据ICP-MS分析方法通则GB/T14506.30—2010,分析精度误差小于5%。

同位素年龄测定是将锆石单矿物进行挑选,然后将外形完整且典型的锆石放置于Devcon环氧树脂中,固结后抛光打磨。锆石挑选在河北省区域地质调查院实验室完成,锆石制靶由北京锆年领航科技有限公司完成。制靶完成后在阴极发光(CL)上进行锆石显微照相。挑选测试点前,对锆石反射光和透射光照片进行初选,再与CL图像反复对比,力求避开内部裂隙和包裹体,获得较准确的年龄信息。

锆石U-Pb同位素年龄测定在天津地质矿产研究所实验室完成,采用激光烧蚀多接受器等离子质谱仪(LA-MC-ICPMS)进行微区原位U-Pb同位素测定^[25]。采用GJ-1为外部锆石年龄标准进行U-Pb同位素分馏校正^[26],用中国地质大学研发的ICPMSDataCal程序^[27]和Isoplot(Version3.0)程序进行数据处理并成图^[28]。利用NIST612玻璃标样为外标计算锆石样品的Pb、U、Th含量。

4 地球化学特征

4.1 主量元素

砖红色中粒二长花岗岩的主量元素及其他数

表1 二长花岗岩主量元素、化学参数及CIPW标准矿物含量

分析项	YQ21	YQ24	YQ25	YQ26	YQ27	P3YQ1	%
SiO ₂	75.06	79.18	69.74	72.88	72.55	70.88	
TiO ₂	0.25	0.18	0.45	0.29	0.32	0.36	
Al ₂ O ₃	12.89	10.95	14.89	13.40	13.88	14.44	
Fe ₂ O ₃	0.82	0.67	1.50	1.08	1.21	1.32	
FeO	0.44	0.32	1.25	0.62	0.72	0.92	
MnO	0.054	0.035	0.097	0.060	0.062	0.073	
MgO	0.39	0.35	0.89	0.46	0.63	0.78	
CaO	0.93	0.47	1.48	1.48	1.40	1.49	
Na ₂ O	4.27	3.85	4.95	4.27	4.54	4.93	
K ₂ O	4.04	3.32	3.06	3.46	3.15	3.03	
P ₂ O ₅	0.052	0.041	0.13	0.076	0.088	0.10	
烧失量	0.64	0.52	1.42	1.82	1.32	1.53	
总计	99.84	99.88	99.69	99.92	99.91	99.49	
Q	32.43	42.76	24.94	31.42	30.45	26.57	
An	4.09	2.09	6.6	6.98	6.48	6.86	
Ab	36.46	32.81	42.6	36.88	39.03	42.42	
Or	24.09	19.74	18.36	20.88	18.87	18.22	
C	0	0.26	1.07	0.12	0.67	0.59	
Hy	1.34	1.27	3.46	1.9	2.43	2.95	
Il	0.47	0.35	0.87	0.55	0.62	0.69	
Mt	0.84	0.62	1.8	1.09	1.24	1.45	
Ap	0.12	0.1	0.3	0.18	0.21	0.24	
σ	2.15	1.42	2.38	1.99	1.99	2.25	
A/R	4.02	4.38	2.92	3.17	3.03	3	
DI	92.98	95.31	85.9	89.18	88.35	87.21	
SI	3.91	4.07	7.65	4.68	6.18	7.13	
R ₁	2518	3120	2120	2525	2460	2233	
R ₂	374	284	502	453	460	490	
A/CNK	0.985	1.015	1.053	0.995	1.033	1.024	
A/NK	1.13	1.102	1.3	1.243	1.275	1.268	
A/MF	4.85	5.02	2.51	3.92	3.33	2.91	
C/MF	0.63	0.39	0.45	0.79	0.61	0.55	

据见表1。样品中SiO₂含量为69.74%~79.18%,Al₂O₃含量为10.95%~14.89%,CaO含量为0.47%~1.49%,含量较低,全碱Na₂O+K₂O含量为7.17%~8.32%,在SiO₂-(Na₂O+K₂O)图解中,样品点落入亚碱性系列(图4)。K₂O/Na₂O值为0.62~0.95,相对贫钾富钠,Fe₂O₃含量为0.67%~1.50%,FeO含量为0.32%~1.25%,MgO含量为0.35%~0.89%,在F-A-M图解中,样品点落入钙碱性系列(图5)。MnO含量为0.035%~0.097%,P₂O₅含量为0.041%~0.13%。铝饱和指数A/CNK值为0.985~1.053,均小于1.1,属于准铝质-弱过铝质岩石(图6-a)。在SiO₂-K₂O判别图解中,样品点落入钙碱性-高钾钙碱性系列界线附

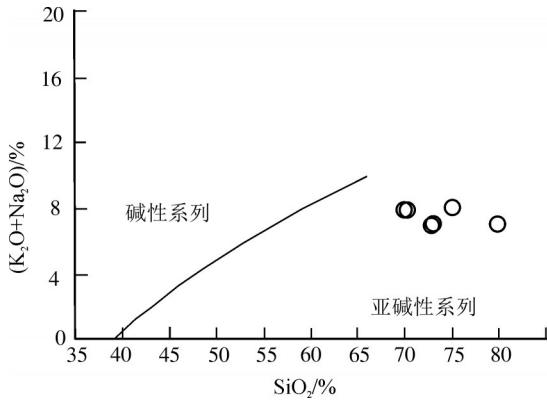


图4 SiO₂-(Na₂O+K₂O)图解^[29]
Fig. 4 SiO₂-(Na₂O+K₂O) diagram

近(图6-b),样品的A/NK值为1.102~1.275,进一步说明岩石属于中-高钾钙碱性花岗岩类。里特曼指数 σ 为1.42~2.38,碱度率A.R为2.92~4.38。分异指数DI为87.21~95.31,固结指数SI为3.91~7.65,显示岩浆的结晶分异程度较高。

4.2 稀土与微量元素

晚石炭世二长花岗岩岩体的稀土及微量元素质量分数及特征值见表2。

样品稀土元素总量(Σ REE)变化较大, Σ REE为 $111.49 \times 10^{-6} \sim 183.58 \times 10^{-6}$,轻、重稀土元素比值LREE/HREE=6.09~8.13, (La/Yb)_N=5.08~8.61,反映轻、重稀土元素分馏明显,轻稀土元素富集; δ Eu=0.63~0.88,主要位于0.78~0.80之间,反映Eu具弱负异常; δ Ce=0.66~0.95,反映Ce具弱负异常。稀土元素配分模式为右缓倾型(图7)。

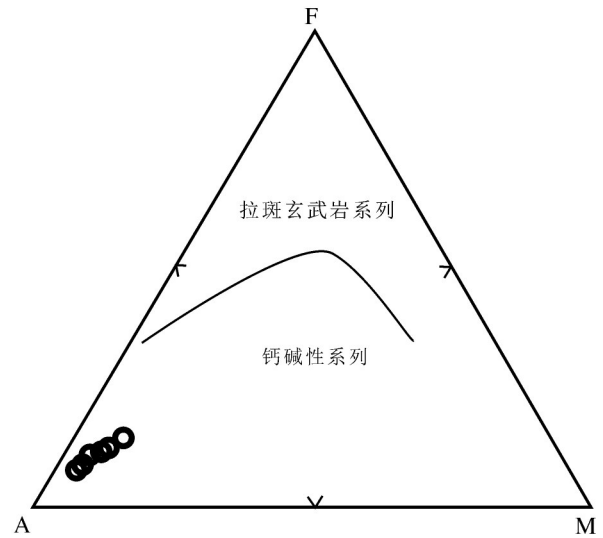


图5 侵入岩F-A-M图解^[30]
Fig. 5 F-A-M diagram for the intrusive rocks

微量元素原始地幔标准化蛛网图(图8)显示,样品微量元素曲线整体相似,呈右缓倾型,亏损高场强元素(HFSE)Ta、Nb、P、Ti,富集Ba、K、Zr、Hf等大离子亲石元素。

5 年代学特征

二长花岗岩同位素测年样品(PM03TW1)采集点的坐标为X:98°56'00",Y:42°20'40"(图2)。测试共获得30个LA-ICP-MS锆石U-Pb有效数据(表3)。锆石阴极发光图像显示,其振荡环带清晰(图9),呈自形或半自形,粒径多为20~200 μ m,长宽比

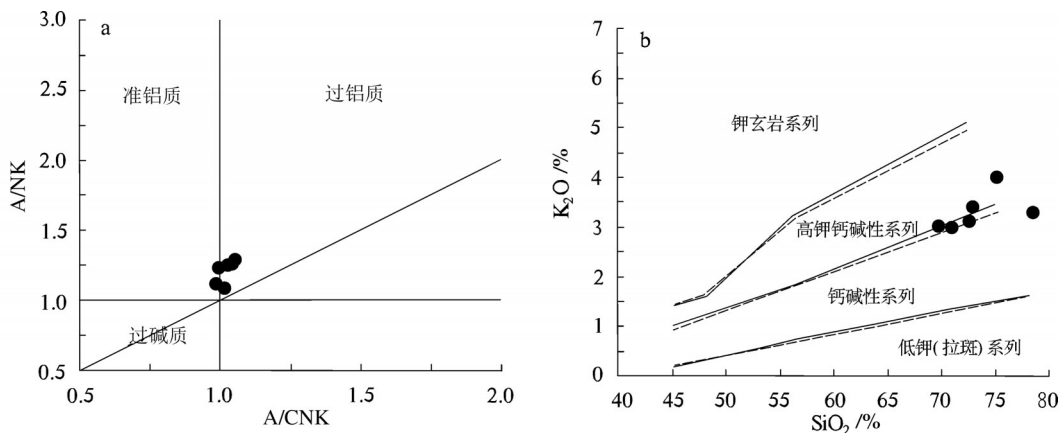


图6 侵入岩A/CNK-A/NK (a)^[31]及SiO₂-K₂O(b)^[32]图解
Fig. 6 A/CNK-A/NK (a) and SiO₂-K₂O (b) diagrams for the intrusive rocks

表 2 二长花岗岩稀土和微量元素含量及特征参数

Table 2 REE and trace element analyses of admellite

元素	PM03XT2	PM03XT3	PM21XT1	PM21XT2	PM21XT3	PM21XT4
	10 ⁻⁶					
La	29.63	17.75	30.91	31.24	26.8	25.7
Ce	59.81	35.52	42.14	42.94	36.11	31.98
Pr	7.3	4.48	5.61	5.46	4.82	4.45
Nd	27.44	16.99	21.87	20.47	18.7	17
Sm	5.33	3.4	4.23	3.59	3.63	3.09
Eu	1.06	0.87	1.06	0.88	0.81	0.86
Gd	4.79	3.11	3.79	3.2	3.28	2.79
Tb	0.88	0.57	0.65	0.52	0.58	0.47
Dy	5.31	3.5	4	3.19	3.74	2.85
Ho	1.06	0.71	0.78	0.63	0.75	0.57
Er	3.13	2.02	2.41	2.03	2.3	1.77
Tm	0.56	0.37	0.46	0.39	0.45	0.33
Yb	3.77	2.35	2.79	2.46	2.71	2.01
Lu	0.6	0.42	0.46	0.42	0.45	0.35
Y	32.9	19.46	30.09	25.27	28.05	21.93
ΣREE	183.58	111.49	151.26	142.69	133.18	116.15
ΣLREE	130.57	79	105.83	104.56	90.87	83.08
ΣHREE	20.1	13.03	15.35	12.86	14.27	11.15
ΣLREE/ΣHREE	6.49	6.06	6.9	8.13	6.37	7.45
δEu	0.63	0.8	0.79	0.78	0.7	0.88
δCe	0.95	0.94	0.72	0.73	0.71	0.66
La/Sm	5.56	5.22	7.3	8.71	7.39	8.31
La/Yb	7.86	7.54	11.06	12.72	9.9	12.77
Ce/Yb	15.86	15.09	15.08	17.49	13.34	15.89
Eu/Sm	0.2	0.25	0.25	0.24	0.22	0.28
Sm/Nd	0.19	0.2	0.19	0.18	0.19	0.18
(La/Yb) _N	5.3	5.08	7.46	8.58	6.68	8.61
Li	7.21	6.07	21.1	9.39	7.55	11.9
Be	1.77	1.18	1.72	1.61	1.43	1.54
Sc	6.53	5.31	5.57	1.8	2.41	3.4
V	12.2	8.46	53.2	29.1	32.1	39
Cr	3.88	3.68	1.99	1.53	1.25	1.22
Co	0.94	0.88	3.94	1.93	2.34	3.19
Ni	1.42	0.8	1.22	0.96	0.86	0.88
Cu	4	4.6	5.36	2.95	4.36	7.29
Zn	23.5	10.2	35	27.5	31.8	28.8
Ga	14.7	10.2	16.1	14.5	13.8	14
Rb	80.9	63.2	71.4	55.1	62.4	61
Sr	125	111	237	172	150	234
Zr	167	119	170	131	130	133
Nb	10.5	7.48	9.48	9.06	9.91	7.84
Mo	0.5	3.31	2.01	2.3	0.39	0.54
Cs	1	0.65	1.64	1.64	0.99	1.8
Ba	960	717	776	738	681	839
Hf	5.11	3.91	4.92	3.9	4.13	3.96
Ta	0.67	0.52	0.49	0.62	0.67	0.44
W	0.54	0.71	1.14	0.68	0.4	0.37
Tl	0.61	0.54	0.29	0.39	0.27	0.25
Pb	13.4	8.84	5.69	5.07	5.98	4.99
Bi	0.17	0.18	0.086	0.07	0.056	0.055
Th	9.89	7.14	6.69	8.37	7.68	6.35
U	2.67	2.33	1.53	1.85	2.21	2.01
K	33561.13	27547.45	25381	28747	26121	25161
Cd			0.036	0.028	0.015	0.046
In			0.047	0.022	0.027	0.031

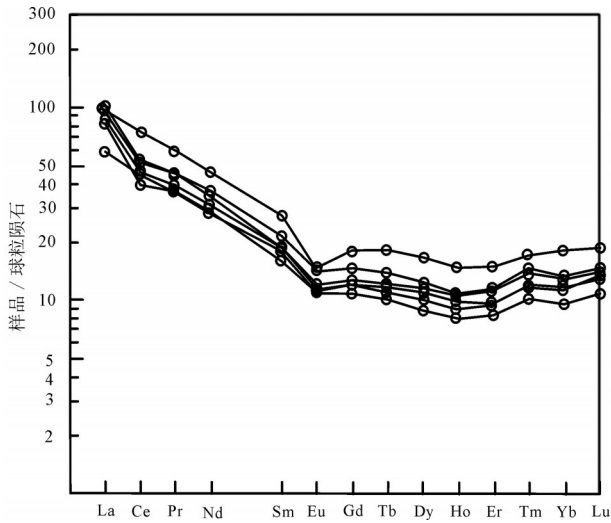


图7 稀土元素球粒陨石标准化配分曲线
(球粒陨石标准化值据参考文献[33])

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns

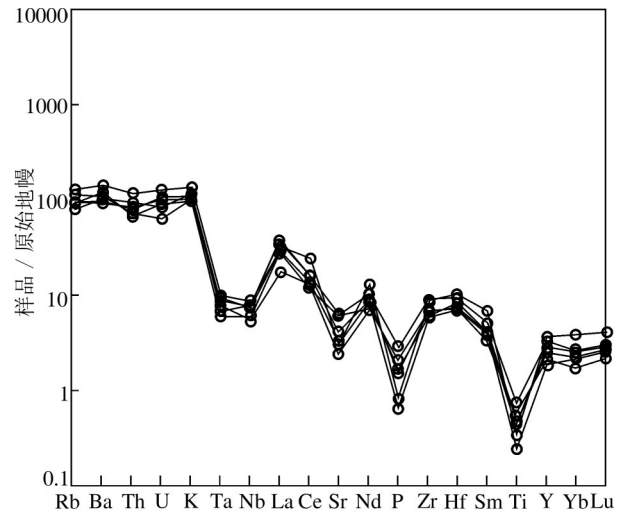


图8 微量元素原始地幔标准化蛛网图
(原始地幔标准化值据参考文献[33])

Fig. 8 Primitive mantle-normalized trace element spider diagrams

1:1~2.5:1,为典型的岩浆结晶的产物。根据资料显示^[34],岩浆成因锆石的Th/U值一般为0.1~1.0,而变质岩锆石的Th/U值一般小于0.1。样品锆石Th/U值均在0.1~1之间,且多为0.5~0.8,为典型的岩浆成因锆石。在LA-ICP-MS锆石U-Pb谐和图(图10)中,数据点均分布于谐和线上或其附近。由于²⁰⁷Pb/²³⁵U年龄误差较大,采用²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄。测试的30个数据点中的23个数据点的²⁰⁶Pb/²³⁸U年龄加权平均值为315.2±2.5Ma。根据该侵入体的野外特征,结合同位素定年数据,认为该侵入体的就位

时间为晚石炭世。

6 讨论

6.1 花岗岩类型

从岩石化学成分看,二长花岗岩为钙碱性-高钾钙碱性系列岩石,CIPW标准矿物中出现刚玉,而不出现透辉石,但刚玉含量总体偏低,大多小于1%,A/CNK值均小于1.1;K₂O/Na₂O值为0.615~0.946,均小于1,为典型的I型花岗岩特征。岩石实际矿物

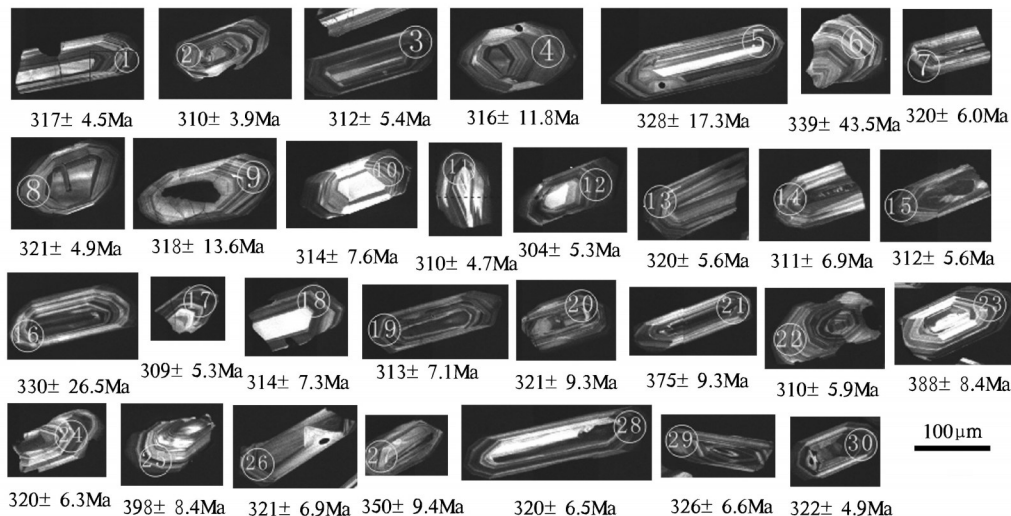


图9 二长花岗岩(PM03TW1)锆石阴极发光(CL)照片

Fig. 9 CL images of selected zircons from admellite (PM03TW1)

表 3 二长花岗岩(PM03TW1)LA-ICP-MS 锆石 U-Th-Pb 同位素测年数据

Table 3 LA-ICP-MS zircon U-Th-Pb isotope analytical results of admellite (PM03TW1)

测点	Pb/10 ⁻⁶	Th/10 ⁻⁶	U/10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U		年龄/Ma				Th/U
				比值	1σ	比值	1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	1σ	
1	4	55	77	0.0504	0.0007	0.412	0.017	317	4	350	15	0.71
2	4	67	83	0.0493	0.0006	0.409	0.016	310	4	348	14	0.80
3	7	106	141	0.0495	0.0009	0.372	0.012	312	5	322	10	0.75
4	5	40	95	0.0502	0.0019	0.401	0.019	316	12	343	17	0.42
5	4	47	71	0.0522	0.0027	0.371	0.032	328	17	321	28	0.65
6	6	32	101	0.0540	0.0069	0.349	0.056	339	44	304	50	0.31
7	4	48	84	0.0509	0.0010	0.454	0.624	320	6	380	523	0.56
8	4	52	69	0.0510	0.0008	0.376	0.016	321	5	324	14	0.75
9	3	32	56	0.0506	0.0022	0.399	0.031	318	14	341	27	0.58
10	4	44	85	0.0499	0.0012	0.399	0.02	314	8	341	18	0.52
11	3	51	68	0.0492	0.0007	0.409	0.020	310	5	349	17	0.75
12	6	65	130	0.0484	0.0008	0.389	0.014	304	5	334	12	0.50
13	5	54	87	0.0509	0.0009	0.404	0.019	320	6	345	16	0.62
14	5	43	98	0.0495	0.0011	0.419	0.017	311	7	356	15	0.43
15	7	86	133	0.0496	0.0009	0.393	0.020	312	6	337	17	0.65
16	4	36	77	0.0525	0.0042	0.417	0.025	330	27	354	21	0.47
17	4	46	65	0.0491	0.0008	1.260	0.866	309	5	828	569	0.71
18	4	41	69	0.0498	0.0012	0.380	0.019	314	7	327	16	0.59
19	5	65	104	0.0498	0.0011	0.374	0.014	313	7	323	12	0.62
20	4	48	81	0.0511	0.0015	0.428	0.028	321	9	362	24	0.59
21	4	40	63	0.0599	0.0015	0.941	0.063	375	9	673	45	0.63
22	4	36	78	0.0492	0.0009	0.365	0.015	310	6	316	13	0.46
23	6	53	93	0.0620	0.0013	0.575	0.024	388	8	461	19	0.57
24	4	34	74	0.0509	0.0010	0.409	0.016	320	6	348	14	0.46
25	3	21	37	0.0637	0.0013	1.415	0.083	398	8	895	53	0.56
26	6	91	113	0.0510	0.0011	0.396	0.019	321	7	339	16	0.80
27	4	27	60	0.0558	0.0015	0.471	0.026	350	9	392	21	0.45
28	8	104	142	0.0508	0.0010	0.393	0.017	320	7	337	14	0.73
29	9	119	152	0.0519	0.0011	0.404	0.016	326	7	344	14	0.78
30	6	73	100	0.0512	0.0008	0.387	0.016	322	5	332	14	0.73

中的暗色矿物及副矿物为黑云母、磷灰石、锆石,未出现白云母、堇青石等矿物。在 K₂O-Na₂O 成因类型判别图解上,样品点落入 I 型花岗岩区域(图 11)。此外, Eu、Ce 具弱负异常,富集 Ba、K、Zr、Hf 等大离子亲石元素,稀土元素配分模式为右缓倾,说明该岩体为 I 型花岗岩。

高场强元素在岩浆源区部分熔融时能够大量进入熔体,使熔体中该元素的浓度与源区岩石中的浓度接近,因而其在岩浆岩中的质量分数比值能较准确地反映岩浆源区的特征。二长花岗岩的 Rb/Sr

值为 0.26~0.65,平均值为 0.42,均高于原始地幔平均值 0.037^[36],且绝大多数大于或接近全球地壳平均值 0.32^[37]。Zr/Hf=30.48~34.58,平均值为 32.73,与陆壳平均值 33.33 相近。此外, Sm/Nd=0.175~0.200,均小于 3.3。而 Ba/La=25.09~40.42,远高于陆壳平均值 Ba/La=15.63。以上特征进一步指示其岩浆成分以壳源物质为主,混有少量幔源物质^[38]。

Sylvester^[39]提出对 SiO₂ 含量在 67%~77% 的高等分异程度花岗岩而言, CaO/Na₂O 值反映其源区成分特征:由泥岩部分熔融形成的花岗质熔体的

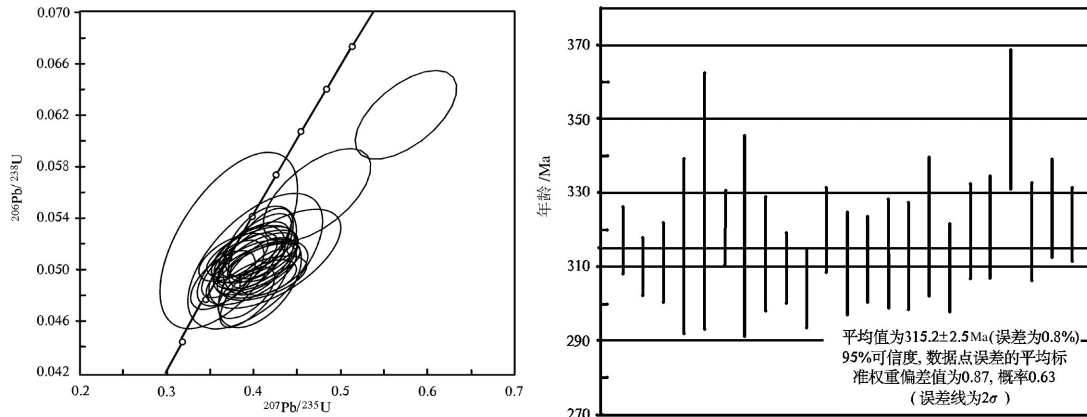


图10 二长花岗岩(PM03TW1)LA-ICP-MS锆石U-Pb谐和图
Fig. 10 LA-ICP-MS zircon U-Pb concordia diagrams of admellite (PM03TW1)

CaO/Na₂O值一般小于0.3,由砂屑岩生成的花岗质熔体的CaO/Na₂O一般大于0.3。本区二长花岗岩的CaO/Na₂O值为0.12~0.35,在C/MF-A/MF源区判别图解(图12)中,所有样品点落入变杂砂岩部分熔融区,其中2个样品点落入变质泥岩与变杂砂岩部分熔融区的交汇处。

综上分析,研究区晚石炭世二长花岗岩属于高分异I型过渡花岗岩,其岩浆源区仍以壳源物质为主,为陆壳变杂砂岩部分熔融。

6.2 花岗岩构造环境

研究区早石炭世二长花岗岩南部紧邻红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带,其构造背景与该蛇绿岩带所代表的古亚洲洋洋盆演化有关。在构造环境判别图解中,二长花岗岩样品点落入火山弧花岗岩

区(VGA)(图13),在Rb-Hf-Ta图解(图14)中,样品均落入弧系统内,说明二长花岗岩在早石炭世就位于板块碰撞前火山弧环境。

用铝饱和指数A/CNK可以区别CCG和IAG+CAG^[44]。CCG(大陆同碰撞花岗岩)的花岗岩铝饱和指数A/CNK一般大于1.15,而本区样品A/CNK值为0.985~1.053,属于IAG+CAG(岛弧花岗岩类或大陆弧花岗岩类)。根据岩石的稀土、微量元素的特征,LREE富集,HREE和HFSE(Nb、Sr、P、Ti)相对亏损,显示与俯冲作用有关的火山弧花岗岩特点。此外,微量元素原始地幔标准化蛛网图与岛弧花岗岩更接近。

综上分析,并结合区内晚石炭世斑状花岗闪长

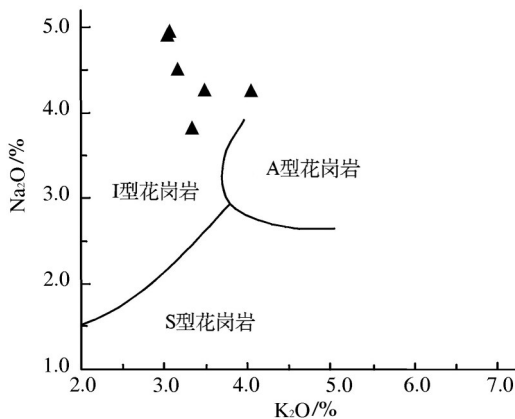


图11 K₂O-Na₂O成因类型判别图解^[35]
Fig. 11 K₂O-Na₂O genetic type discrimination diagram

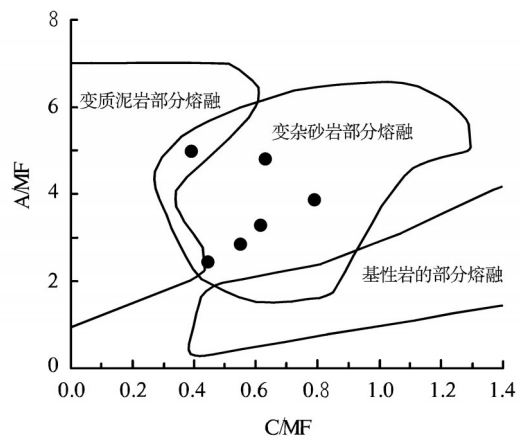


图12 C/MF-A/MF源区判别图解^[40]
Fig. 12 C/MF-A/MF discrimination diagram

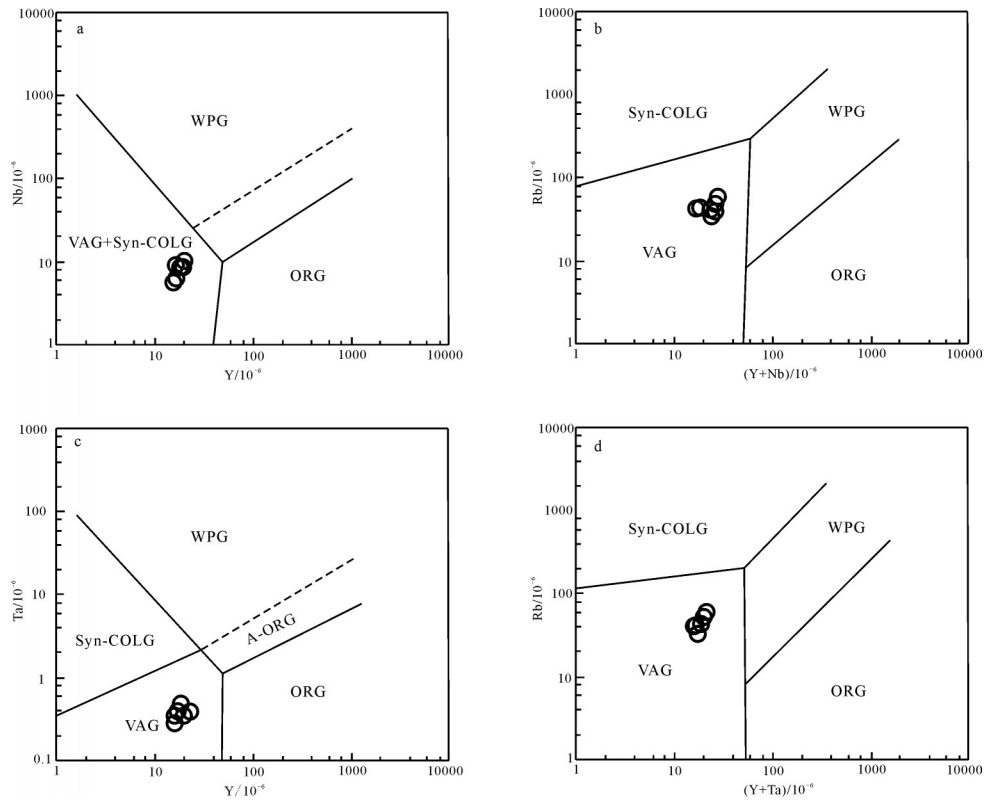


图 13 构造环境判别图解^[41-42]

Fig. 13 Tectonic discrimination diagrams

ORG—洋中脊花岗岩;VAG—火山弧花岗岩;WPG—板内花岗岩;Syn-COLG—同碰撞花岗岩;A-ORG—异常洋中脊花岗岩

岩资料^{①[45]},本区的晚石炭世二长花岗岩为活动大陆边缘的岛弧花岗岩,形成于碰撞前的火山弧环境。说明黑红山地区在晚石炭世仍存在与火山弧物质有关的岩浆活动,限定了晚石炭世的古亚洲洋在黑

红山地区仍未消失。

7 结 论

(1)内蒙古额济纳旗黑红山一带石炭纪二长花岗岩总体呈中-高钾钙碱性系列,属于准铝质-弱过铝质岩石;轻、重稀土元素分馏明显,轻稀土元素富集,Eu、Ce具有弱负异常。稀土元素配分曲线为右缓倾,亏损高场强元素Ta、Nb、P、Ti,富集Ba、K、Zr、Hf等大离子亲石元素。

(2)黑红山一带晚石炭世二长花岗岩为高分异的I型花岗岩,岩浆源区以壳源物质为主,为陆壳变杂砂岩部分熔融。

(3)测得该二长花岗岩LA-MC-ICPMS 锆石U-Pb年龄为 315.2 ± 2.5 Ma,为晚石炭世。

(4)该二长花岗岩为岛弧花岗岩,形成于碰撞前火山弧环境,红石山-百合山-蓬勃山蛇绿岩带所代表的古亚洲洋洋盆在黑红山地区闭合时间晚于晚石炭世。

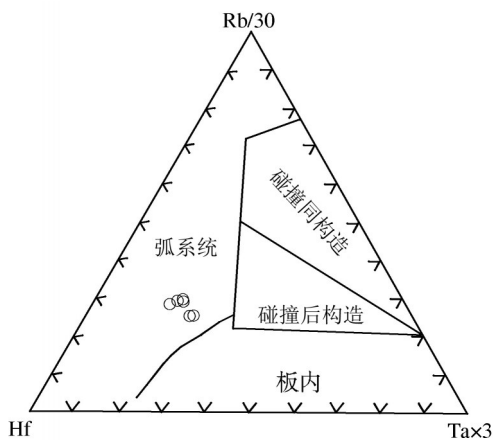


图 14 二长花岗岩 Rb-Hf-Ta 图解(底图据参考文献[43])

Fig. 14 Rb-Hf-Ta diagram of admellite

参考文献

- [1]江思宏,聂凤军.北山地区花岗岩类成因的Nd同位素制约[J].地质学报,2006,80(6):826-842.
- [2]胡醒民,廖云峰,程海峰,等.内蒙古月牙山一带基性火山岩的地质特征、形成时代及归属[J].地质通报,2016,35(8):1234-1242.
- [3]廖云峰,胡新苗,程海峰,等.内蒙古月牙山蛇绿岩的岩石学、地球化学特征及其地质意义[J].地质通报,2016,35(8):1243-1254.
- [4]薛鹏远,刘广,张正平,等.内蒙古二龙包西地区早志留世二长花岗岩地球化学特征及构造环境分析[J].甘肃冶金,2017,39(2):61-65.
- [5]张正平,刘广,徐翠,等.内蒙古阿拉善右旗塔木素地区晚二叠世花岗岩地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其意义[J].地质与勘探,2016,52(5):893-909.
- [6]程海峰,徐旭明,刘广,等.内蒙古北山地区盘陀山一带长城纪古铜井群碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质通报,2017,36(8):1385-1392.
- [7]刘治博,张维杰.内蒙古阿拉善右旗杭嘎勒中二叠世石英闪长岩地球化学特征和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年[J].地质学报,2014,88(8):198-207.
- [8]杨奇荻,张磊,王涛,等.内蒙古阿拉善地块北缘沙拉扎山晚石炭世岩体地球化学特征与 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄[J].地质通报,2014,33(6):776-787.
- [9]张正平,段炳鑫,孟庆涛,等.内蒙古北山地区北山岩群斜长角闪岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义[J].地质与勘探,2017,53(6):1129-1139.
- [10]吴泰然,何国琦.内蒙古阿拉善地块北缘的构造单元划分及各单元的基本特征[J].地质学报,1993,67(2):97-108.
- [11]王希斌,郝梓国.中国造山带蛇绿岩的时空分布及构造类型[J].中国区域地质,2002,19(4):193-204.
- [12]杨合群,李英,赵国斌,等.北山蛇绿岩特征及构造属性[J].西北地质,2010,43(1):26-36.
- [13]聂凤军,江思宏,白大明,等.北山地区金属矿床成矿规律及找矿方向[M].北京:地质出版社,2002:1-499.
- [14]刘雪亚,王荃.中国西部北山造山带的大地构造及其演化[J].地质研究,1995,28:37-48.
- [15]左国朝,张淑玲,何国琦,等.北山地区早古生代板块构造特征[J].地质科学,1990,(4):305-314,411.
- [16]王作勋,乌继易,吕喜超,等.天山多旋回构造演化及成矿[M].北京:科学出版社,1990:1-217.
- [17]赵茹石,周振环,毛金海,等.甘肃省板块构造单元划分及其构造演化[J].中国区域地质,1994,13(1):28-36.
- [18]何世平,任秉琛,姚文光,等.甘肃内蒙古北山地区构造单元划分[J].西北地质,2002,35(4):30-40.
- [19]何世平,周会武,任秉琛,等.甘肃内蒙古北山地区古生代地壳演化[J].西北地质,2005,38(3):6-15.
- [20]龚全胜,刘明强,李海林,等.甘肃北山造山带类型及基本特征[J].西北地质,2002,35(3):28-34.
- [21]魏志军,黄增保,金霞,等.甘肃红石山地区蛇绿混杂岩地质特征[J].西北地质,2004,37(2):13-18.
- [22]卢进才,牛亚卓,魏仙样,等.北山红石山地区晚古生代火山岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J].岩石学报,2013,29(8):2685-2694.
- [23]王国强,李向民,徐学义,等.甘肃北山红石山蛇绿岩锆石 U-Pb 年代学研究及构造意义[J].岩石学报,2014,30(6):1685-1694.
- [24]潘桂堂,陆松年,肖庆辉,等.中国大地构造阶段划分和演化[J].地质前缘,2016,23(6):1-23.
- [25]李怀坤,耿建珍,郝爽,等.用激光烧蚀法多接收器等离子质谱仪(LA-MC-ICPMS)测定锆石 U-Pb 同位素年龄的研究[J].矿物学报,2009,28(增刊):600-601.
- [26]Jackson S E, Pearson N J, Griffin W L. The application of laser ablation-inductively coupled plasma-mass spectrometry to in situ U-Pb zircon geochronology[J]. Chemical Geology, 2004, 211:47-69.
- [27]Liu Y S, Gao S, Hu Z C, et al. Continental and oceanic crust recycling-induced melt-peridotite interactions in the Trans-North China Orogen: U-Pb dating, Hf isotopes and trace elements in zircons from mantle xenoliths[J]. Journal of Petrology, 2010, 51(12):537-571.
- [28]Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ²⁰⁴Pb[J]. Chemical Geology, 2002, 192(1/2):59-79.
- [29]Rickwood P C. Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements[J]. Lithos, 1989, 22: 247-263.
- [30]Castro A, Patiño Douce, Corretgé A E, et al. Origin of peraluminous granites and granodiorites, Iberian massif, Spain: an experimental test of granite petrogenesis[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1999, 135:255-276.
- [31]Ewar A. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks with special reference to the andesitic-basaltic compositional range[M]. New York: John Wiley and Sons, 1982:25-95.
- [32]Peccherillo A, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contrib. Mineral Petrol., 1976, 58: 63-81.
- [33]Sun S S, McDonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[C]// Saunders A D, Norry M J. Magmatism in the Ocean Basins. Geol. Soc. Spec. Publ., 1989, 42: 313-345.
- [34]Zhou M F, Yan D P, Kennedy A K, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 2002, 196:51-67.
- [35]Collins W J, Beams S D, White A J R, et al. Nature and origin of A-type granites with particular reference to southeastern Australia[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1982, 80(2):189-200.
- [36]李昌年. 火成岩微量元素岩石学[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1992:178-181.
- [37]Taylor S R, McLennan S M. The Continental Crust: Its Composition and Evolution [M]. London: Blackwell, 1985:57-72.

- [38]陈德潜,陈刚.实用地球化学[M].北京:冶金工业出版社,1990: 226-242.
- [39]Sylvester P J. Post-collisional strongly peraluminous granites[J]. Lithos, 1998, 45(1):29-44.
- [40]Alther R, Holl A, Hegner E, et al. High-potassium,calc-alkaline I-type plutonism in the European Variscides: Northern Vosges (France) and northern Schwarzwald (Germany)[J].Lithos, 2000,50: 51-73.
- [41]Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Trace-element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. J. Petrol., 1984, 25: 956-983.
- [42]Pearce J A. Sources and settings of granitic rocks[J]. Episodes, 1996, 19: 120-125.
- [43]Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. Geochemical characteristics of collision zone magmatism[C]//Coward M P. Collision tectonics. Geological Society Special Publication, 1986,19:67-81.
- [44]Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids[J]. Geological Society of America Bulletin, 1998, 101:635-643.
- [45]程海峰,辛后田,梁国庆,等.内蒙古北山地区黑红山一带斑状花岗闪长岩地球化学特征、LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质通报,2018,37(10):1895-1904.
- ①河北省区域地质调查院. K-47-E-010012(黑红山)幅 2018 年度区域地质调查工作方案.2018.

《地质通报》第 38 卷第 12 期要目预告

- 在大数据背景下看 TAS 分类的不足及可能的解决方案 张 旗等
- 碱性岩及碱性及亚碱性岩的界线
- 基于全球火山岩数据的探讨 焦守涛等
- 大数据方法建立大洋安山岩构造环境判别图 刘欣雨等
- 科马提岩与苦橄岩的区别及对若干晚古生代“科马提岩”的质疑 李振焕等
- 基于镁铁-超镁铁岩中单斜辉石主量元素含量的
- 决策树集成算法对比研究 孙建鹏等
- 锆石微量元素对成矿岩体的判别-来自大数据思维的应用 耿 厅等
- 基于卷积神经网络模型划分成矿远景区
- 以甘肃大桥地区金多金属矿田为例 蔡惠慧等
- 基于机器学习的三维矿产定量预测
- 以四川拉拉铜矿为例 向 杰等
- 基于 AlexNet 网络的二维找矿预测
- 以松桃-花垣地区沉积型锰矿为例 李 诗等
- 基于循环神经网络的找矿模型构建与预测 张亚光等
- 一维到三维密度分布函数及其可视化在大数据分析中的应用
- 以苦橄质玄武岩等为例 葛 粲等
- 基于 VGG 模型的岩石薄片图像识别 白 林等
- 基于改进 InceptionV3 模型的常见矿物智能识别 彭伟航等
- 基于空间数据和专家知识驱动的地质编图技术研究与应用 王杨刚等
- 基于邻域约束聚类的地球化学异常提取研究 杨昭颖等