文章编号:1000-4734(2008)02-0117-10

新疆东准噶尔黄羊山碱性花岗岩体的锆石 U-Pb 年龄和岩石成因

苏玉平[1,2],唐红峰[1],丛峰[1,2]

(1. 中国科学院 地球化学研究所 地球深部物质与流体作用地球化学研究室,贵州 贵阳 550002;
2. 中国科学院 研究生院,北京 100049)

摘要:新疆东准噶尔卡拉麦里构造带分布有多种类型花岗岩,主要包括花岗闪长岩、二长花岗岩、碱长花岗岩和碱性花岗岩。对其中最大的碱性花岗岩体(黄羊山岩体)进行定年和地球化学组成研究,结果显示,岩体的年龄约为 305 Ma,岩石富含钠质角闪石(钠闪石、钠铁闪石)和少量霓石,具低铝、富碱、贫钙镁及低铁的主量元素特征,其微量元素明显富集 Rb、Th 等大离子亲石元素和 Zr、Hf 等高场强元素而强烈亏损元素 Ba、Sr、Eu,稀土元素配分模式呈典型的平坦'V'字型。这些矿物学和地球化学组成特征表明黄羊山碱性花岗岩属于典型的 A 型花岗岩。认为幔源岩浆高度分异、麻粒岩相残留岩及 I 型英云闪长质-花岗闪长质岩石部分熔融等 A 型花岗岩成岩模式不能解释黄羊山碱性花岗岩的成因。根据岩石的 $\varepsilon_{Nd}(t) = +5.9 \sim +6.5$,比当时洋壳的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值低 3~4 个 ε 单位,认为形成该岩体的岩浆可能来源于花岗闪长质岩浆的分异结晶,而花岗闪长质岩浆则主要是玄武质洋壳和少量大洋沉积物(约 5%)部分熔融的产物。

关键词:锆石 U-Pb 年龄;岩石成因;A 型花岗岩;黄羊山岩体;东准噶尔;新疆

中图分类号:P578.94;P581;P597　　**文献标识码**:A

作者简介:苏玉平,男,1981 年生,博士生,研究方向为岩石地球化学.

以碱性、贫水、非造山为特征的 A 型花岗岩有独特的岩石学、矿物学和地球化学特征及重要的经济价值[1-3],这种花岗岩也对研究区域构造演化、深部地质作用等问题具有重要意义。与形成其它花岗岩的岩浆相比,A 型花岗质岩浆常具有高温、富碱、富 F、富高场强元素、低水逸度、低氧逸度和侵位较浅的特征[3-4]。这些共同特征促使人们寻找一个统一的成岩模式来解释所有 A 型花岗岩的成因,但到目前为止,人们提出的成岩模式已多种多样,主要包括:①幔源基性岩浆的高度分异[5-6];②壳幔相互作用的产物[7];③中下地壳特殊源岩的深熔作用[3,8];④交代成因模式[9]。考虑到 A 型花岗岩分布的范围广,形成的时代跨度大(从早元古代到白垩纪)[7,10],产出的构造背景多样化,与其伴生的岩石类型复杂(包括玄武岩、I 型花岗岩、斜长岩及紫苏花岗岩-紫苏花岗质片麻岩等)[3,5,11-12],更为重要的是,不同 A 型花岗岩体的地球化学特征(尤其是主量元素和 Sr-Nd 同位素)差异较大,所以 A 型花岗岩的成因可能比较复杂,需结合区域地质特征具体分析。

A 型花岗岩大面积成带分布于我国东部和东北部,其中新疆北部准噶尔盆地两侧高 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值的 A 型花岗岩近年来受到了地质学家们的高度关注,他们试图通过对这些 A 型花岗岩的研究来探讨准噶尔盆地的基底性质和新疆北部显生宙的地壳生长模式[13-14]。东准噶尔地区构造上位于西伯利亚板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块的结合部位,是一个构造背景较为复杂、岩浆活动极其强烈的地区。该区分布有三条 A 型花岗岩带,从北向南依次沿额尔齐斯-玛因鄂博断裂、乌伦古大断裂和卡拉麦里大断裂呈北西向展布[15]。忻建刚等[15]和 Han 等[6]分别对北带和中带的 A 型花岗岩开展了详细的研究工作,相比较而言,位于最南端的卡拉麦里 A 型花岗岩带的研究显得较为薄弱。与其它地区的 A 型花岗岩相比,卡拉麦里 A 型花岗岩有以下几个特征:①A 型花岗岩的出露面积远比钙碱性的花岗闪长岩出露面积大(图

收稿日期:2007-09-06
基金项目:国家自然科学基金项目(批准号:40772044)

http://www.lw23.com 论文网 论文大全

1),而一般认为 A 型花岗岩以小岩体的形式出露;②不含碱性暗色矿物的铝质 A 型花岗岩和含有碱性暗色矿物的碱性 A 型花岗岩在该区均大面积发育,且两者紧邻分布[16];③在 A 型花岗岩体的边缘处产出独立锡矿床(如贝勒库都克锡矿,萨惹什克锡矿)[17]。因此,卡拉麦里 A 型花岗岩有其特殊意义,需要深入研究。本文报道了我们最近对卡拉麦里构造带出露面积最大的碱性花岗岩体(黄羊山岩体)开展锆石 LA-ICPMS U-Pb 定年和地球化学组成研究的结果,并以此为基础探讨了该碱性花岗岩的成因。

1 地质概况及岩石学特征

卡拉麦里蛇绿岩带沿深大断裂断续分布,它们可能是小洋盆的洋壳残片[18],但其形成时代目前还存在较大争议,舒良树和王玉净[19]以及唐红峰等[20]认为其形成时代为中-晚泥盆世。区内出露的地层以泥盆纪和石炭纪的凝灰质粉砂岩、火山碎屑岩为主(图 1)。花岗岩类岩浆活动在该区大规模发育,岩石类型包括二长花岗岩、花岗闪长岩、黑云母花岗岩、角闪石花岗岩和碱性花岗岩等(图 1)。区内与 A 型花岗岩有关的锡矿主要为锡石-石英脉型,其次有云英岩型,矿石矿物有锡石、辉钼矿、磁铁矿、黄铜矿等,成矿时代为(305 ± 25) Ma[21]。

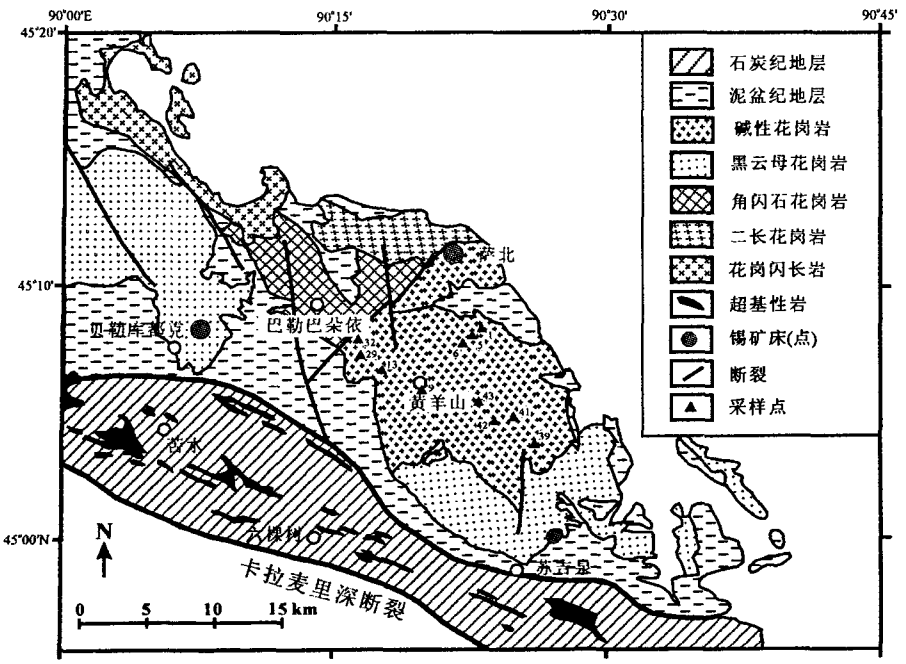


图 1 东准噶尔卡拉麦里花岗岩类分布略图(据 1:20 万库普幅地质图)

Fig. 1. Geological sketch map showing the distribution of Karamaili granitoids in East Junggar.

碱性花岗岩呈浅灰白色-肉红色,具细粒到中粗粒花岗结构,块状构造。部分样品发育晶洞构造,晶洞直径约为 0.1 ~ 0.2 cm。经镜下鉴定,暗色矿物主要为钠闪石、钠铁闪石、霓石和少量黑云母,它们大多呈不规则状嵌布于长石和石英的间隙中,且常见霓石被钠闪石交代的现象。碱性花岗岩的长石以碱性长石为主,少量斜长石。碱性长石主要为正条纹长石,斜长石主要为钠长石,少量更长石。石英与碱性长石相互交生的现象发育,显微文象结构常见。副矿物主要有锆石(含量较多,大多被包裹于暗色矿物和石英中)、绿帘石及含铁氧化物。

2 锆石 U-Pb 年龄

采用单颗粒锆石 U-Pb 定年法来确定碱性花岗岩的形成时代。锆石 LA-ICPMS U-Pb 同位素分析在加拿大纽芬兰纪念大学完成(MUN)。所有用来分析的锆石具有透明、自形、无包裹体、发

http://www.lw23.com 论文网 论文大全

育韵律环带结构等特征,显示它们都是岩浆成因的。年龄分析结果见表 1,谐和年龄图见图 2,大多数分析测试点都投在谐和曲线上,仅有少量点偏离。

表 1　黄羊山碱性花岗岩的锆石 U-Pb 年龄分析结果

Table 1. Zircon U-Pb ages for the alkaline granites from the Huangyangshan body

分析点	同位素比值						表面年龄(Ma)			
	$^{206}Pb/^{238}U$	±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	±1σ	$^{207}Pb/^{206}Pb$	±1σ	$^{206}Pb/^{238}U$	±1σ	$^{207}Pb/^{235}U$	±1σ
样品 HY13										
1.1	0.0478	0.0002	0.3566	0.0018	0.0541	0.0004	301	1	310	2
2.1	0.0493	0.0003	0.3492	0.0025	0.0514	0.0005	310	2	304	2
3.1	0.0474	0.0005	0.3484	0.0036	0.0533	0.0002	299	3	303	2
4.1	0.0483	0.0006	0.3527	0.0056	0.0529	0.0012	304	3	307	4
5.1	0.0486	0.0006	0.3532	0.0045	0.0528	0.0009	306	4	307	3
6.1	0.0485	0.0006	0.3464	0.0049	0.0518	0.0006	305	3	302	4
7.1	0.0499	0.0004	0.3577	0.0045	0.0520	0.0005	314	3	311	4
8.1	0.0483	0.0006	0.3616	0.0083	0.0542	0.0008	304	3	313	6
9.1	0.0476	0.0005	0.3564	0.0039	0.0543	0.0003	300	3	310	3
10.1	0.0482	0.0003	0.3572	0.0095	0.0537	0.0010	303	1	310	7
11.1	0.0470	0.0005	0.3457	0.0049	0.0534	0.0003	296	3	301	3
12.1	0.0481	0.0005	0.3558	0.0069	0.0537	0.0007	303	3	309	5
13.1	0.0474	0.0004	0.3502	0.0035	0.0535	0.0005	299	2	305	3
14.1	0.0466	0.0004	0.3403	0.0042	0.0530	0.0005	293	2	297	3
15.1	0.0494	0.0004	0.3590	0.0030	0.0527	0.0008	311	3	311	2
16.1	0.0481	0.0003	0.3532	0.0042	0.0533	0.0004	303	2	307	3
17.1	0.0482	0.0003	0.3690	0.0025	0.0555	0.0004	303	2	319	2
18.1	0.0484	0.0005	0.3509	0.0055	0.0526	0.0003	305	4	305	4
19.1	0.0468	0.0006	0.3389	0.0099	0.0526	0.0017	295	4	296	7
20.1	0.0479	0.0007	0.3410	0.0128	0.0516	0.0019	302	4	298	10
样品 HY32										
1.1	0.0487	0.0003	0.3570	0.0163	0.0532	0.0023	306	1	310	12
2.1	0.0505	0.0004	0.3553	0.0084	0.0510	0.0010	318	3	309	7
3.1	0.0514	0.0009	0.3731	0.0155	0.0526	0.0015	323	5	322	12
4.1	0.0509	0.0004	0.3554	0.0052	0.0507	0.0009	320	2	309	4
5.1	0.0507	0.0004	0.3737	0.0056	0.0535	0.0010	319	3	322	4
6.1	0.0486	0.0003	0.3498	0.0029	0.0522	0.0004	306	2	305	3
7.1	0.0487	0.0004	0.3472	0.0158	0.0517	0.0022	307	3	303	12
8.1	0.0488	0.0011	0.3407	0.0169	0.0506	0.0017	307	6	298	13
9.1	0.0485	0.0007	0.3426	0.0059	0.0513	0.0008	305	4	299	4
10.1	0.0509	0.0010	0.3661	0.0136	0.0522	0.0014	320	6	317	10
11.1	0.0486	0.0004	0.3640	0.0132	0.0543	0.0021	306	3	315	10

注:锆石 LA-ICPMS U-Pb 年龄分析在加拿大纽芬兰纪念大学完成(MUN)完成,所用等离子质谱仪为 HP 4500,所列数据均参与了 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均计算.

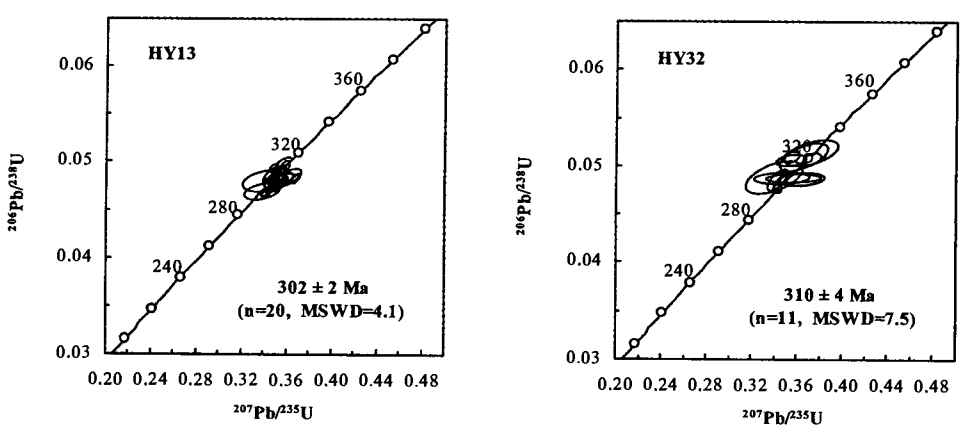


图 2　碱性花岗岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄谐和图

Fig. 2. Concordia age diagrams of single-grain zircon U-Pb analyses for the alkaline granites.

http://www.lw23.com 论文网 论文大全

考虑到普通铅校正对$^{207}Pb/^{235}U$、$^{207}Pb/^{206}Pb$比值影响较大,本文采用$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄。2个黄羊山碱性花岗岩样品的$^{206}Pb/^{238}U$加权平均年龄分别为:(302 ± 2) Ma (n = 20, MSWD = 4.1),(310 ± 4) Ma (n = 11, MSWD = 7.5)。两个年龄值比较接近,且误差范围小,数据质量高,因此它们可以代表卡拉麦里碱性花岗岩的侵位年龄(大约为305 Ma)。该年龄与前人报道的黄羊山钠铁闪石K-Ar稀释法年龄304 Ma接近,但与黄羊山锆石U-Pb年龄318 Ma和萨北锆石U-Pb年龄290 Ma有一定差距[22],其具体原因尚不清楚,可能与早期锆石U-Pb定年的实验条件和技术不成熟有关。苏玉平等[16]报道了苏吉泉铝质A型花岗岩的成岩时代,为(304 ± 2) Ma,与本文碱性花岗岩的成岩时代接近,反映两者可能是同源岩浆不同演化阶段和不同岩浆条件的产物。

3 地球化学组成

3.1 主量元素

碱性花岗岩的主量元素含量见表2,它们高度富SiO_2,$w(SiO_2)$变化范围为74.31% ~ 79.83%。相比较而言,Al_2O_3变化范围较大,为7.68% ~ 11.65%,但总体上具低铝、富碱($Na_2O + K_2O$ = 7.03% ~ 8.41%)、贫钙镁(CaO = 0.18% ~ 0.99%, MgO = 0.10% ~ 0.26%)、低铁(FeO^* = 1.79% ~ 3.15%)的地球化学特征,与典型A型花岗岩的主量元素特征一致。岩石的MnO = 0.10% ~ 0.17%,明显高于典型A型花岗岩的平均值0.06%[2]; FeO^*/MgO比值大(9.52 ~ 31.5),大多高于分异的S型和I型花岗岩[2]。在A/NK-A/CNK图解中(图3),这些岩石基本落入过碱性花岗岩区,且大多数样品的CIPW标准矿物中出现Ac和Ns,与岩石高度富碱的特征一致。

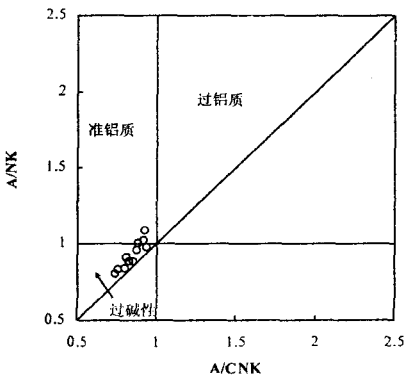


图3 黄羊山碱性花岗岩A/NK-A/CNK图解

Fig. 3. A/NK vs. A/CNK plot of the alkaline granites from the Huangyangshan body.

表2 黄羊山碱性花岗岩的主量元素组成(w_B/%)

Table 2. Major element composition of the alkaline granites from the Huangyangshan body

样品编号	HY1	HY5	HY6	HY9	HY13	HY29	HY32	HY39	HY41	HY42	HY43
SiO_2	74.43	78.07	75.23	76.17	76.30	77.04	79.83	75.74	74.32	74.31	74.79
TiO_2	0.50	0.47	0.45	0.47	0.56	0.46	0.43	0.53	0.40	0.50	0.48
Al_2O_3	10.66	9.00	10.33	9.87	9.28	8.74	7.68	9.80	11.65	11.39	10.59
Fe_2O_3	2.61	1.81	1.86	2.12	2.31	2.05	1.32	1.80	1.79	1.77	2.04
FeO	0.80	0.71	0.80	0.75	0.95	0.75	0.60	0.80	0.65	0.97	0.90
MnO	0.13	0.10	0.12	0.17	0.12	0.15	0.13	0.15	0.16	0.16	0.15
MgO	0.10	0.11	0.26	0.11	0.11	0.11	0.11	0.15	0.19	0.19	0.22
CaO	0.23	0.29	0.39	0.50	0.18	0.55	0.47	0.69	0.99	0.67	0.75
Na_2O	4.15	3.78	4.58	3.73	3.66	3.98	3.48	3.88	3.45	3.99	3.67
K_2O	3.78	4.16	3.83	3.90	4.12	3.70	3.55	4.06	4.70	4.29	4.21
P_2O_5	0.30	0.27	0.20	0.28	0.24	0.24	0.25	0.27	0.28	0.23	0.24
LOI	1.81	0.77	1.70	1.37	1.68	2.00	2.01	2.02	1.30	1.45	1.72
Total	99.50	99.54	99.75	99.44	99.51	99.77	99.86	99.89	99.88	99.92	99.76
A/CNK	0.94	0.80	0.83	0.88	0.86	0.76	0.74	0.81	0.93	0.92	0.88
A/NK	0.98	0.84	0.88	0.95	0.88	0.83	0.80	0.91	1.08	1.02	1.00

注:主量元素在中国科学院地球化学研究所用湿化学法分析;A/CNK = $Al_2O_3/(CaO + Na_2O + K_2O)$,分子比;A/NK = $Al_2O_3/(Na_2O + K_2O)$,分子比.

3.2 微量元素

微量元素分析结果列于表3,碱性花岗岩明显富集Rb、Th等大离子亲石元素及Zr、Hf等高场强元素而强烈亏损Ba、Sr、Eu及弱亏损Nb等元素。元素Sn的含量较高,为2.93 ~ 9.58 × 10^{-6},平均5.35 × 10^{-6}。10000 × Ga/Al比值大,变化于3.78 ~ 6.43之间,明显高于I型和S型花岗岩的平均值(分别为2.10和2.28)[2]。在Whalen等[2]以10000 × Ga/Al比值为标准的花岗岩分类图上,碱性花岗岩全部落入A型花岗岩区(图4)。另外,碱性花岗岩的稀土元素含量较高(HY6除

http://www.lw23.com 论文网 论文大全

外),HY5 的稀土总量高达 343.5×10^{-6}。与重稀土相比,碱性花岗岩略富轻稀土元素,$(La/Yb)_N=1.23\sim4.72$,但轻、重稀土元素均无明显分馏,$(La/Sm)_N=1.33\sim2.66$,$(Gd/Yb)_N=0.95\sim1.66$;Eu 负异常强烈($\delta Eu=0.01\sim0.07$),稀土配分模式呈典型的平坦'V'字型(图 5)。

表 3　黄羊山碱性花岗岩的微量元素组成($w_B/10^{-6}$)

Table 3. Trace element composition of the alkaline granites from the Huangyangshan body.

样品编号	HY1	HY5	HY6	HY9	HY13	HY29	HY32	HY39	HY42
Sc	0.28	2.82	3.33	3.17	1.90	2.33	1.49	3.53	2.32
V		0.47	8.62	8.62	17.4	6.29	7.00	4.01	2.44
Cr	31.2	9.74	37.4	148	28.7	15.5	10.3	12.2	16.6
Co	0.78	0.84	0.70	2.15	1.08	1.01	0.75	1.08	1.71
Ni	12.8	5.26	10.2	70.9	16.4	4.89	3.80	3.57	553
Zn	225	3230	116	94.7	102	114	66.6	82.5	38.6
Ga	29.0	21.8	29.6	22.0	23.4	29.7	20.8	24.8	22.8
Rb	207	150	212	122	126	135	122	159	112
Sr	2.62	4.27	3.79	9.08	8.99	4.15	2.60	18.9	30.4
Y	83.7	131	38.2	52.0	58.0	38.6	34.8	88.2	47.0
Zr	246	947	285	541	456	257	205	268	103
Nb	20.2	29.6	8.14	11.2	14.8	8.25	6.65	9.93	5.47
Mo	1.22	1.56	1.60	5.90	4.00	1.31	1.22	0.83	1.34
Sn	7.78	9.58	4.86	4.50	5.62	4.42	3.31	5.18	2.93
Cs	3.68	4.29	2.71	3.38	2.65	1.68	2.14	4.89	2.68
Ba	2.86	13.3	3.44	48.8	20.5	2.53	10.4	106	120
Hf	6.86	22.3	8.54	11.8	11.6	7.10	4.81	8.79	3.51
Ta	1.46	2.68	0.75	0.97	1.20	0.56	0.41	0.71	0.55
Pb	19.0	52.2	3.86	11.6	25.4	5.40	10.2	19.1	15.7
Th	12.8	25.5	6.63	9.67	11.5	6.79	4.29	11.0	7.88
U	3.43	5.61	1.55	2.32	2.90	1.57	1.04	2.76	1.98
La	25.5	47.8	9.46	30.5	36.1	23.4	22.2	30.7	20.6
Ce	60.4	114	23.7	67.1	74.0	54.4	48.4	75.1	50.2
Pr	8.78	14.7	3.29	8.30	9.59	7.07	6.03	9.96	6.42
Nd	39.0	63.1	14.6	34.8	39.2	30.2	25.6	43.0	27.1
Sm	11.4	17.4	4.58	8.17	8.76	7.39	5.66	11.7	6.89
Eu	0.06	0.14	0.03	0.11	0.08	0.04	0.06	0.18	0.17
Gd	13.6	22.9	6.35	9.04	9.29	7.93	6.26	15.6	8.05
Tb	2.14	3.76	1.11	1.44	1.52	1.23	0.98	2.52	1.36
Dy	12.8	23.7	7.21	8.95	9.64	7.33	5.84	16.0	8.16
Ho	2.78	5.06	1.57	1.96	2.07	1.57	1.23	3.37	1.80
Er	7.93	14.4	4.81	5.70	6.24	4.76	3.53	9.13	5.04
Tm	1.21	2.08	0.75	0.87	0.93	0.75	0.51	1.26	0.74
Yb	8.10	12.7	5.51	5.91	6.28	5.55	3.38	7.79	4.43
Lu	1.25	1.77	0.86	0.92	0.92	0.96	0.52	1.11	0.64
Ga/Al*	5.14	4.58	5.41	4.20	4.76	6.43	5.12	4.79	3.78
δEu	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.03	0.04	0.07

注:微量元素在中国科学院广州地球化学研究所用 ICP-MS 法分析;Ga/Al* 表示 10000 × Ga/Al.

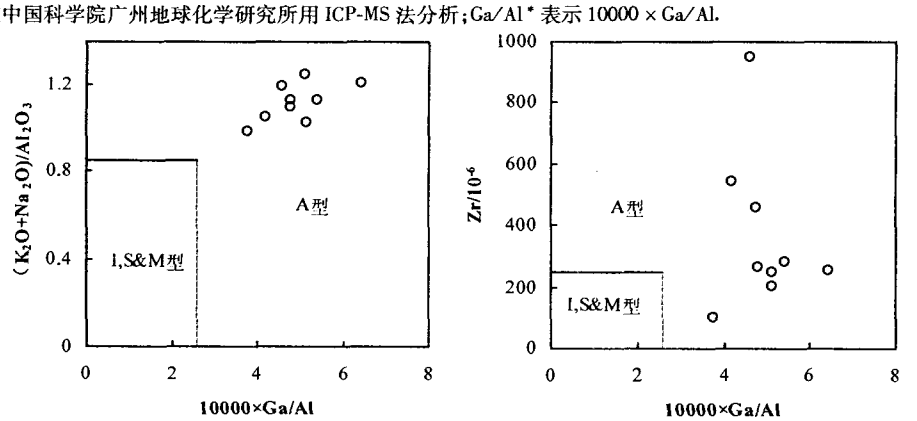


图 4　碱性花岗岩 $(K_2O+Na_2O)/Al_2O_3-Ga/Al$ 和 $Zr-Ga/Al$ 图解(据 Whalen 等[2])

Fig. 4. $(K_2O+Na_2O)/Al_2O_3$ and Zr vs. 10000×Ga/Al plots of the alkaline granites.

http://www.lw23.com 论文网 论文大全

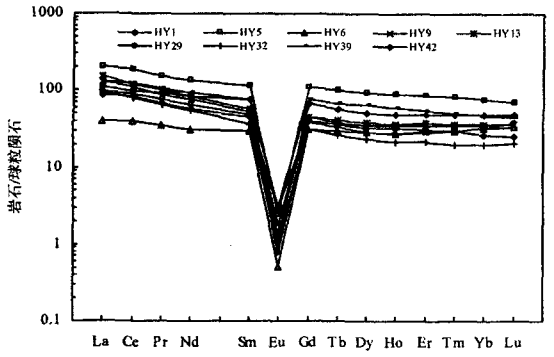


图 5 碱性花岗岩的稀土元素配分模式图

Fig. 5. Chondrite-normalized REE patterns for the alkaline granites.

3.3 同位素

Sr-Nd 同位素分析结果列于表 4，本文用 t = 305 Ma来计算初始同位素组成。碱性花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值较高，变化范围为 +5.9 ~ +6.5，其 T_{2DM} = 538 ~ 587 Ma。样品的 I_{Sr} 值似乎都不合理，造成这一现象的主要原因可能是 A 型花岗岩高度富 Rb 贫 Sr，Rb/Sr 比值大，这样在计算时会对 I_{Sr} 产生巨大影响[6]。另外，还可能与本文没有用同位素稀释法准确确定样品的 Rb、Sr 含量和 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 比值有关。

表 4 黄羊山碱性花岗岩的 Sr-Nd 同位素组成

Table 4. Sr and Nd isotopic compositions of the alkaline granites from the Huangyangshan body

样品	Sm /10^{-6}	Nd/10^{-6}	$^{147}Sm/^{144}Nd$	$^{143}Nd/^{144}Nd$	$2\sigma_m$	$\varepsilon_{Nd}(t)$	T_{2DM}	$^{87}Sr/^{86}Sr$	$2\sigma_m$	I_{Sr}
HY9	8.42	36.46	0.1396	0.512853	0.000006	6.4	545	0.85397	0.00025	0.68212
HY13	9.13	41.64	0.1326	0.512843	0.000004	6.5	538	1.09221	0.00040	0.90944
HY42	6.62	26.51	0.1510	0.512849	0.000006	5.9	587	0.74592	0.00042	0.69949

注：Sr-Nd 同位素组成在加拿大纽芬兰纪念大学用 MAT262 固体质谱仪测定；计算 I_{Sr} 所用的 $^{87}Rb/^{86}Sr$ 是根据表 3 中样品的 Rb、Sr 含量和本表中的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 计算的；T_{2DM} 为亏损地幔两阶段 Nd 模式年龄，计算公式为：$T_{2DM} = 1/\lambda \times \ln\{1 + [(^{143}Nd/^{144}Nd)_{sample} - ((^{147}Sm/^{144}Nd)_{sample} - (^{147}Sm/^{144}Nd)_{cc}) \times (e^{\lambda t} - 1) - (^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM}]/[(^{147}Sm/^{144}Nd)_{cc} - (^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM}]\}$，其中 $(^{147}Sm/^{144}Nd)_{cc} = 0.1180$，$(^{147}Sm/^{144}Nd)_{DM} = 0.2136$，$(^{143}Nd/^{144}Nd)_{DM} = 0.513151$，$t$ 表示花岗岩的侵位年龄。

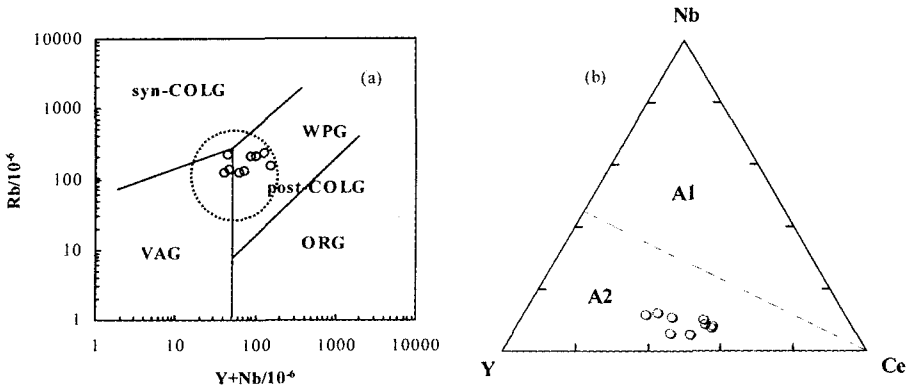
4 岩石成因讨论

Turner 等[5]和 Han 等[6]用幔源基性岩浆高度分异的模式分别解释澳大利亚南部和新疆北部高 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值低 I_{Sr} 值 A 型花岗岩的岩石成因。同位素特征显示，本区碱性花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ = +5.9 ~ +6.5，远高于澳大利亚南部 A 型花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值（+2.0 ~ -3.0），这能否说明本区碱性花岗岩也来源于亏损地幔源岩浆的高度分异？以下一些地质事实排除了该可能性：①如果碱性花岗岩是幔源基性岩浆直接的分异产物，花岗岩的周围应有大量基性岩、闪长岩出露，但本区很少发现这类岩石，当然也不排除有基性岩浆底侵的可能性。事实上，多位地质学家早已注意到，与 A 型花岗岩时空关系密切的基性岩、中性岩往往缺乏，因此他们都比较反对幔源岩浆分异的成因模式[10,23]；②蛛网图中（该图省略）Nb 表现为明显亏损无法用幔源岩浆分异结晶的模式来得到合理解释[6]；③花岗岩构造判别图（图 6）显示，碱性花岗岩为后碰撞花岗岩[24]，在成因类型上属 A2 型。Eby[25]研究认为 A2 型来源于大陆地壳或板下地壳，且与陆-陆碰撞或岛弧岩浆作用有关；④碱性花岗岩不同样品的两阶段模式年龄值（T_{2DM}）非常接近，且模式年龄明显比花岗岩的侵位年龄老。可见，碱性花岗岩更可能是亏损地幔来的物质在地壳演化一段时间后即年轻地壳的熔融产物，而不是幔源岩浆直接高度分异形成的。

尽管多数人都赞同 A 型花岗岩地壳源区深熔作用的成因模式，但对地壳源区的深度和岩性以及深熔作用的热量来源等问题的认识存在巨大分歧。为此，众多地质学家从实验岩石学的角度，通过对比不同地壳源区和不同温压条件的熔融产物与实际 A 型花岗岩的化学成分，提出了几种能够很好解释 A 型花岗岩的野外产状和地球化学特征的地壳源区岩石，下面笔者依次阐述这些源区对本区碱性花岗岩的可能性：

(1) Collins 等[3]和 Clemens 等[4]认为 A 型花岗岩来源于已亏损 I 型花岗质熔体的麻粒岩相残留岩，这种成岩模式很好地解释了 A 型花岗岩比 I 型花岗岩贫水且形成更晚的特征。但实验证明

http://www.lw23.com 论文网 论文大全



syn-COLG. 同碰撞型　post-COLG. 后碰撞型　VAG. 火山弧型　WPG. 板块内部型　ORG. 洋中脊型

图 6　Rb-Y + Nb（据 Pearce[24]）及 Nb-Y-Ce 判别图（据 Eby[25]）

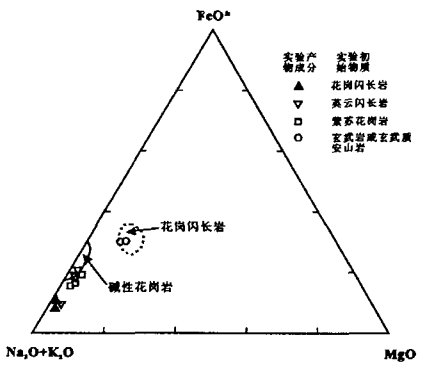
Fig. 6. Rb vs. Y + Nb (after Pearce[24]) and Nb-Y-Ce (after Eby[25]) discriminant diagrams.

残留岩比早期 I 型花岗岩的初始源岩更富集 Ca、Al、Mg 而亏损 K、Si 及不相容元素[8]，这样的残留岩作为源岩很难产生本区高硅富碱的 A 型花岗质熔体。另一方面，普通地壳岩石的部分熔融会产生富含角闪石、单斜辉石、石榴石而不是富碱性长石、石英的残留岩，这些残留岩的再次熔融不可能形成高硅的花岗质熔体[26]。此外，A 型花岗岩可以含有少量水（4.5% ~6.5%）[27]，可见 A 型花岗岩可以来源于不亏损熔体的地壳岩石。

（2）Creaser 等[8]和 Patino Douce[28]认为 I 型英云闪长质-花岗闪长质岩石部分熔融可以形成 A 型花岗质熔体，但这种成因模式依然解释不了本区碱性花岗岩独特的地质地球化学特征，主要理由有：①图 7 显示花岗闪长岩熔融产物的主量元素特征与本区碱性花岗岩的主量元素特征有一定差距；②本区碱性花岗岩与 I 型花岗闪长岩形成时代接近，侵位于同样的构造环境，且古老 I 型花岗岩的熔融又不可能满足碱性花岗岩高 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值的同位素特征。

（3）Rajesh[11]和 Frost 等[12]认为 A 型花岗岩往往与斜长岩-紫苏花岗岩共生，且它们的岩石成因有密切联系，如 A 型花岗岩来源于下地壳紫苏花岗质岩石的部分熔融或斜长岩形成后残余闪长质岩浆的分异。这些源岩很容易排除，尽管紫苏花岗岩熔融产物的主量元素特征与本区碱性花岗岩接近（图 7），因为本区没有发现斜长岩-紫苏花岗岩类岩石。

结合以上讨论，笔者认为本区碱性花岗岩最可能来源于花岗闪长质初始岩浆的分异结晶。单纯的岩浆部分熔融作用过程不可能解释碱性花岗岩的地球化学特征。碱性花岗岩在微量元素特征上亏损 Ba、Sr、Eu 等元素，反映了岩浆演化过程中斜长石和钾长石的分离结晶，斜长石的分异也导致熔体具有高的 10000 × Ga/Al 值；主量元素 FeO^*、MgO 及微量元素 Co、Cr 等含量较低，反映了铁镁矿物如角闪石、黑云母的分离结晶。随着 SiO_2 的递增，很多主量元素含量（如 Al_2O_3、Na_2O 等）及 NK/A、10000 × Ga/Al、K/Rb 等比值都表现出了明显有规律的线性变化趋势，表明分离结晶



花岗闪长岩和英云闪长岩的熔融实验数据来自 Patino Douce[28]；紫苏花岗岩的熔融实验数据来自 Beard 等[29]；玄武岩或玄武质安山岩的熔融实验数据来自 Beard 和 Lofgren[30]；图中实线表示本区碱性花岗岩的投图区域，虚线表示巴勒巴朵依岩体以北的花岗闪长岩的投图区域，花岗闪长岩的主量元素数据据唐红峰（数据未正式发表）

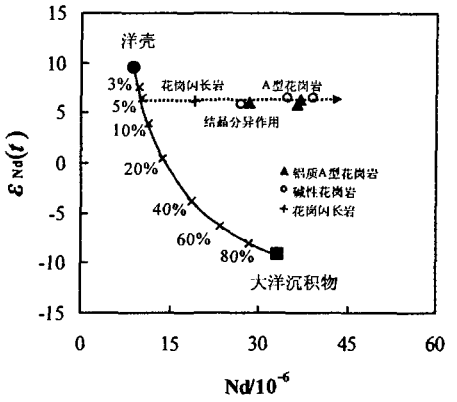
图 7　不同地壳源区岩石部分熔融的实验产物和本区碱性花岗岩和花岗闪长岩的 AFM 图解

Fig. 7. AFM plot of the alkaline granites and granodiorites in this study. Experimental products derived by partial melting from several crustal rocks are also shown for comparison.

http://www.lw23.com 论文网 论文大全

作用是碱性花岗岩形成过程的主导成岩作用。在 $\varepsilon_{Nd}(t)$-Nd 图(图 8)中,碱性花岗岩具有比花岗闪长岩更高的 Nd 含量和一致的 Nd 同位素特征,与花岗闪长质岩浆分异结晶形成碱性花岗岩的成岩模式相符。现在的问题是,花岗闪长质初始岩浆是哪种地壳源区岩石部分熔融的产物? 图 7 显示玄武岩及玄武质安山岩 900 ~ 1000 ℃的熔融产物与本区花岗闪长岩的化学成分接近,Rapp 和 Watson[32]的实验研究也表明玄武质岩石通过脱水熔融可以产生中酸性的熔体,可见初始岩浆可能来源于下地壳玄武质-安山质岩石。结合碱性花岗岩高 $\varepsilon_{Nd}(t)$值的同位素特征,这些岩石最可能是晚古生代俯冲-增生过程中被埋深到下地壳的玄武质洋壳物质。众多研究结果显示[13-14,16],准噶尔盆地很可能不具有前寒武纪古老陆壳基底,而可能是以早古生代期间形成的洋壳和岛弧建造组成的年轻地壳为主。

唐红峰等[20]得到卡拉麦里斜长花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(t=305\ Ma)$为 +9.5,该值代表了卡拉麦里地区亏损地幔和洋壳的 Nd 同位素特征。本区黄羊山碱性花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ = +5.9 ~ +6.5,苏吉泉铝质 A 型花岗岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ = +5.9 ~ +6.3[16],均比洋壳物质低 3 ~ 4 个 ε 单位,因此源区物质中可能有少量大洋沉积物或其析出流体的参与。这些大洋沉积物表现为高 Nd 含量(一般为 30×10^{-6} ~ 50×10^{-6})低 $\varepsilon Nd(t)$值的特征[31,33],从图 8 中可以看出,源区中少量大洋沉积物的加入对熔融产物的 Nd 含量影响不大,但会使其 $\varepsilon_{Nd}(t)$值明显降低。同时,大洋沉积物析出流体对玄武质洋壳物质的交代作用,使其部分熔融和分异结晶形成的酸性岩浆富集 K、LILE 等不相容元素。随着岩浆分异作用的加强,熔体中的碱、F 含量增大[4-5],高场强元素与 F 形成络合物在岩浆中迁移,而不会以独立的矿物相结晶析出,造成 A 型花岗质熔体高场强元素的富集。



两端元混合模式中的洋壳以卡拉麦里大洋斜长花岗岩为代表(据唐红峰等[20]),其 $\varepsilon Nd(t=305\ Ma)$ = +9.5, Nd = 8.95×10^{-6},另一端元采用大西洋的大洋沉积物(据 White 等[31]),32 件样品平均的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ = -9.2, Nd = 33.3×10^{-6};花岗闪长岩的 $\varepsilon_{Nd}(t)$值和 Nd 含量据唐红峰未发表数据;苏吉泉铝质 A 型花岗岩的数据来自苏玉平等[16]

图 8 $\varepsilon_{Nd}(t)$-Nd 关系图

Fig. 8. $\varepsilon_{Nd}(t)$ vs. Nd diagram.

5 结 论

(1)2 件碱性花岗岩样品的锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均年龄分别为:(302 ± 2) Ma 和(310 ± 4) Ma,反映黄羊山碱性花岗岩体的年龄约为 305 Ma。

(2)黄羊山碱性花岗岩富含碱性暗色矿物,具低铝、富碱、贫钙镁、低铁的主量元素特征,其微量元素上明显富集 Rb、Th 等大离子亲石元素及 Zr、Hf 等高场强元素而强烈亏损元素 Ba、Sr、Eu,在相关判别图上全部落入 A 型花岗岩区。因此,黄羊山岩体是典型的 A 型花岗岩体。

(3)形成黄羊山碱性花岗岩的岩浆很可能来源于花岗闪长质岩浆的分异结晶作用,而花岗闪长质岩浆则主要是玄武质洋壳和少量大洋沉积物(约 5%)部分熔融的产物。

参 考 文 献:

[1] Loiselle M C, Wones D R. Characteristics and origin of anorogenic granites[J]. *Geological Society of America*, 1979, 11: 468.

[2] Whalen J B, Currie K L, Chappell B W. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1987, 95: 407-419.

[3] Collins W J, Beams S D, White A J R, Chappell B W. Nature and Origin of A-type Granites with Particular Reference to Southeastern Australia[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1982, 80: 189-200.

[4] Clemens J D, Holloway J R, White A J R. Origin of an A-type granite: Experimental constraints[J]. *American Mineralogist*, 1986, 71: 317-324.

http://www.lw23.com 论文网 论文大全

[5] Turner S P, Foden J D, Morrison R S. Derivation of some A-type magmas by fractionation of basaltic magma: an example from the Padthaway Ridge, South Australia[J]. *Lithos*, 1992, 28: 151-179.

[6] Han B F, Wang S G, Jahn B M, Hong D W, Kagami H, Sun Y L. Depleted-mantle source for the Ulungur River A-type granites from North Xinjiang, China geochemistry and Nd-Sr isotopic evidence, and implications for Phanerozoic crustal growth[J]. *Chemical Geology*, 1997, 138: 135-159.

[7] Kerr A, Fryer B J. Nd isotope evidence for crust-mantle interaction in the generation of A-type granitoid suites in Labrador, Canada[J]. *Chemical Geology*, 1993, 104: 39-60.

[8] Creaser R A, Price R C, Wormland R J. A-type granites revisited: assessment of a residual-source modal[J]. *Geology*, 1991, 19: 163-166.

[9] Taylor R P, Strong D F, Fryer B J. Volatile control of contrasting trace element distributions in peralkaline granitic and volcanic rocks[J]. *Contrib Mineral Petrol*, 1981, 77: 267-271.

[10] Wu F Y, Sun D Y, Li H M, Jahn B M, Wilde S. A type granites in northeastern China: age and geochemical constraints on their petrogenesis[J]. *Chemical Geology*, 2002, 187: 143-173.

[11] Rajesh H M. Characterization and origin of a compositionally zoned aluminous A-type granite from South India[J]. *Geol Mag*, 2000, 137(3): 291-318.

[12] Frost C D, Frost B R, Bell J M, Chamberlain K R. The relationship between A-type granites and residual magmas from anorthosite: evidence from the northern Sherman batholith, Laramie Mountains, Wyoming, USA[J]. *Precambrian Research*, 2002, 119: 45-71.

[13] Chen B, Arakawa Y. Elemental and Nd-Sr isotopic geochemistry of granitoids from the West Junggar foldbelt (NW China), with implications for Phanerozoic continental growth[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 2005, 69(5): 1307-1320.

[14] Chen B, Jahn B M. Genesis of post-collisional granitoids and basement nature of the Junggar Terrane, NW China: Nd-Sr isotope and trace element evidence[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 23: 691-703.

[15] 忻建刚,袁奎荣,刘家远. 新疆东准噶尔北部碱性花岗岩的特征、成因及构造意义[J]. 大地构造与成矿学,1995,19(3):214-226.

[16] 苏玉平,唐红峰,刘丛强,侯广顺,梁莉莉. 新疆东准噶尔苏吉泉铝质 A 型花岗岩的确立及其初步研究[J]. 岩石矿物学杂志,2006,25(3):175-184.

[17] 喻亨祥,吴郭泉,刘家远. 新疆东准噶尔地区两类花岗岩与两个成矿系列[J]. 大地构造与成矿学,1998,22(2):119-127.

[18] 李锦轶,肖序常,汤耀庆,赵民,朱宝清,冯益民. 新疆东准噶尔卡拉麦里地区晚古生代板块构造的基本特征[J]. 地质论评,1990,36(4):305-316.

[19] 舒良树,王玉净. 新疆卡拉麦里蛇绿岩带中硅质岩的放射虫化石[J]. 地质论评,2003,49(4):408-413.

[20] 唐红峰,苏玉平,刘丛强,侯广顺,王彦斌. 新疆北部卡拉麦里斜长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄及其构造意义[J]. 大地构造与成矿学,2007,31(1):110-117.

[21] 陈富文,李华芹,蔡红,刘群,常海亮. 新疆干梁子锡矿田成岩成矿作用同位素年代学研究及矿床成因探讨[J]. 矿床地质,1999,18(1):91-97.

[22] 刘家远,袁奎荣,吴郭泉,忻建刚,刘生. 新疆东准噶尔富碱花岗岩类及其成矿作用[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1996:17-22.

[23] Sylvester P J. Post-collisional alkaline granites[J]. *Journal of Geology*, 1989, 97: 261-280.

[24] Pearce J A. Sources and settings of granitic rocks[J]. *Episodes*, 1996, 19(4): 120-125.

[25] Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications[J]. *Geology*, 1992, 20: 641-644.

[26] Jung S, Hoernes S, Mezger K. Geochronology and petrogenesis of Pan-African, syn-tectonic, S-type and post-tectonic A-type granite (Namibia): products of melting of crustal sources, fractional crystallization and wall rock entrainment[J]. *Lithos*, 2000, 50: 259-287.

[27] Dall'Agnol R, Scaillet B, Pichavant M. An experimental study of a lower Proterozoic A-type granite from the eastern Amazonian cration, Brazil[J]. *Journal of Petrology*, 1999, 40: 1673-1698.

[28] Patiño Douce A E. Generation of metaluminous A-type granites by low-pressure melting of calc-alkaline granitoids[J]. *Geology*, 1997, 25: 743-746.

[29] Beard J S, Lofgren G E, Sinha A K, Tollo R P. Partial melting of apatite-bearing charnockite, granulite, and diorite: melt compositions, restite mineralogy, and petrologic implications[J]. *Journal of Geophysical Research*, 1994, 99(21): 591-603.

[30] Beard J S, Lofgren G E. Dehydration melting and water-saturated melting of basaltic and andesitic greenstones and amphibolites at 1, 3, and 6.9 kb[J]. *Journal of Petrology*, 1991, 32: 365-401.

[31] White W M, Dupre B, Vidal P. Isotope and trace geochemistry of sediments from the Barbados Ridge-Demerara Plain region, Atlantic Ocean[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1985, 49: 1875-1886.

[32] Rapp R P, Watson E B. Dehydration melting of metabasalt at 8-32 kbar: implications for continental growth and crust-mantle recycling[J]. *Journal of Petrology*, 1995, 36: 891-931.

[33] 魏春生,郑永飞,赵子福. 中国东部 A 型花岗岩形成时代及物质来源的 Nd-Sr-O 同位素地球化学制约[J]. 岩石学报,2001,17(1):95-111.

http://www.lw23.com 论文网 论文大全

ZIRCON U-Pb AGE AND PETROGENESIS OF THE HUANGYANGSHAN ALKALINEGRANITE BODY IN EAST JUNGGAR, XINJIANG

SU Yu-ping[1,2], TANG Hong-feng[1], CONG Feng[1,2]

(1. *Laboratory for Study of the Earth's Interior and Geofluids, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang* 550002, *China*;
2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

Abstract: Several types of granites mainly including granodiorites, monzogranites, alkali feldspar granites and alkaline granites, are distributed in the Karamaili tectonic belt of East Junggar, Xinjiang. In this paper, the geochronological and geochemical results for the largest alkaline granite body (the Huangyangshan body) are reported. Zircon U-Pb dating by LA-ICPMS shows that the alkaline granites from Huangyangshan body were emplaced at about 305 Ma. These alkaline granites contain sodic amphibole (riebeckite and/or arfvedsonite) and minor aegirine, have high contents of alkalis but low abundances of Al_2O_3, CaO, MgO, FeO^*, are characterized by significant enrichment in LILE (such as Rb, Th), HFSE (such as Zr, Hf) and strong depletion in Ba, Sr, Eu, with flat V-shaped REE patterns. All these mineralogical and geochemical features indicate that the alkaline granites from the Huangyangshan body are actually typical A-type granites. However, the A-type granites here cannot be explained by previous petrogenetic models including extensive fractional crystallization from mantle-derived magmas, and partial melting of granulitic residue or I-type tonalitic to granodioritic rocks. On the basis of the $\varepsilon_{Nd}(t)$ values of +5.9 to +6.5 for the alkaline granites, 3 ~ 4 epsilon units lower than that of the oceanic crust at 305 Ma in the studied region, it is suggested that the alkaline granites were likely formed by fractional crystallization of granodioritic magmas, which were probably produced by partial melting of the remnant basaltic oceanic crust plus a few (about 5%) marine sediments.

Key words: zircon U-Pb age; petrogenesis; A-type granite; Huangyangshan body; East Junggar; Xinjiang

http://www.lw23.com 论文网 论文大全