

新疆哈密四顶黑山地区镁铁质—超镁铁岩特征及其构造意义

李奇祥¹, 廖群安¹, 三金柱², 张家新², 施文翔¹, 郭东宝¹

(1. 中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074; 2. 新疆哈密有色金属地质队 704 队, 哈密 839000)

摘要:采用 LA-ICP-MS 法获得新疆四顶黑山地区镁铁质—超镁铁岩中辉长岩的锆石 U-Pb 年龄为 $(351.5 \pm 1.9) \text{Ma}$, 与采用 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 法和 Sm-Nd 等时线法获得的年龄值存在明显的差异, 同时也与同一构造带上的早二叠世黄山东及图拉尔根等含矿杂岩体的形成时间明显不同。岩石学及地球化学特征显示, 四顶黑山杂岩体以辉长岩为主, 含强分异的斜长岩和闪长岩, 以高 SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO , 低 TiO_2 、 m/f 、 ΣREE 及不相容元素, 具明显的 Nb、Ta 负异常为特征, 并以此区别于相邻的图拉尔根杂岩体。结合该区花岗岩岩石的定年结果, 认为该杂岩体形成于早泥盆世的岛弧花岗岩和晚泥盆世的碰撞花岗岩之后, 与 $(357.7 \pm 3.5) \text{Ma}$ 的 A 型花岗岩共生, 应是碰撞后伸展背景的产物。

关键词:四顶黑山; 镁铁质—超镁铁岩; 锆石定年; 碰撞后伸展

中图分类号: P588.12

文献标志码: A

文章编号: 1000-7849(2010)04-0014-07

新疆哈密地区沿康古尔塔格—黄山东断裂带分布有一系列规模不一的镁铁质—超镁铁岩^[1-3]。这些超镁铁岩的成因和形成时代, 对认识该断裂带的成因和古天山洋的演化具有重要的意义, 同时该超镁铁岩带中因发育了黄山东、葫芦、图拉尔根等多处大型的铜镍硫化物矿床而备受关注。笔者研究的四顶黑山杂岩体位于该断裂带东段的黄山—镜儿泉断裂带(图 1), 沿该断裂带分布有黄山、葫芦、马蹄等 20 多个岩体和图拉尔根等多处大型铜镍硫化物矿床, 目前获得的同位素年龄值大多在 270~290 Ma

间^[4-8], 多数学者认为其是碰撞后走滑伸展环境的产物^[8-10]。所不同的是, 同样分布在该带中的四顶黑山杂岩体, 目前获得的同位素年龄值因测试方法的不同而有很大的变化, 如徐兴旺等^[11]获得的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 年龄分别为 $(545 \pm 5) \text{Ma}$ 和 $(263.8 \pm 2.6) \text{Ma}$, 史文全等^[12]获得的 Sm-Nd 等时年龄为 $(327 \pm 9) \text{Ma}$ 。笔者以 1:5 万区域地质矿产调查为基础, 对分布在红岭幅四顶黑山地区的镁铁质—超镁铁岩进行了比较详细的调查工作, 拟通过 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年, 以获得岩浆结晶锆石年龄。

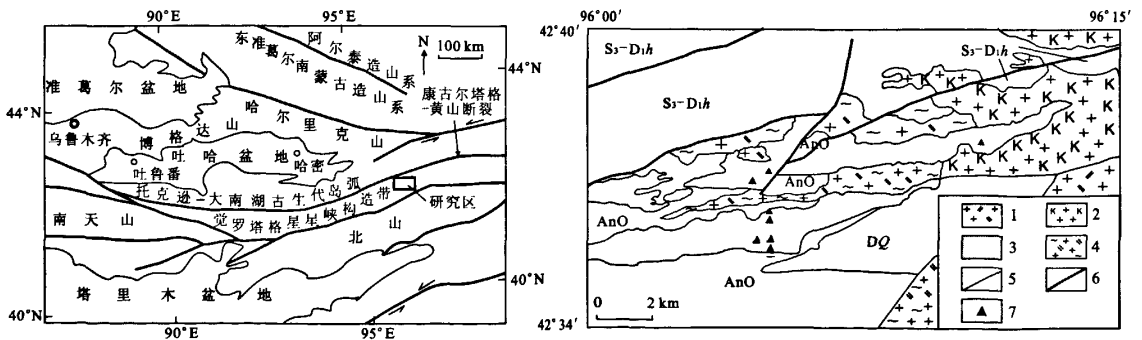


图 1 研究区大地构造图和地质简图(据文献[13-14]修改)

Fig. 1 Tectonic sketch and geological sketch of the study area

S₃-D₁h. 上志留统一下泥盆统红柳沟组; DQ. 泥盆系雀儿山群; AnO. 前奥陶系; 1. 印支期中酸性侵入岩; 2. 早石炭世花岗岩; 3. 早石炭世镁铁质—超镁铁岩; 4. 晚泥盆世花岗岩; 5. 地质界线; 6. 断层界线; 7. 采样位置。

收稿日期: 2009-12-17

编辑: 刘江震

基金项目: 新疆国土资源厅项目“新疆哈密市头苏泉地区 1:5 万区域地质矿产调查”(QD200602)

作者简介: 李奇祥(1985—), 男, 现正攻读矿物学、岩石学、矿床学专业硕士学位, 主要从事火成岩研究。

1 岩体地质特征

研究区红岭幅位于新疆与甘肃交界地带,南东为甘肃省,北西为新疆,范围为东经 $96^{\circ}00' \sim 96^{\circ}15'$,北纬 $42^{\circ}30' \sim 42^{\circ}40'$ 。大地构造位置上处于三大板块即准噶尔-哈萨克斯坦板块、塔里木板块和西伯利亚板块的交汇部位。四顶黑山镁铁质-超镁铁岩带处于黄山-镜儿泉断裂带的南侧(图1)。由南、北两个走向北东东向的豆荚状镁铁质-超镁铁岩带组成(图1),剖面上具盆状特征,出露总面积 98.04 km^2 。岩体经过了较充分的分异演化,由橄榄辉石岩、辉石岩、角闪辉石岩、暗色辉长岩、辉长岩、角闪斜长岩、闪长岩组成,各岩石单元总体上为多次侵入的侵入接触关系,仅在局部(如四顶黑山)具层状特征。杂岩体南侧主要与一套片岩和片麻岩呈侵入接触,北侧与晚泥盆世花岗岩和早石炭世钾长花岗岩呈侵入接触,后者最近获得的锆石 U-Pb 年龄为 $(357.7 \pm 3.5) \text{ Ma}$ (未发表),表明该杂岩体的形成时间要晚于 $(357.7 \pm 3.5) \text{ Ma}$ 。

2 样品采集与处理

全岩化学分析样品共9个。样品分别采自新鲜、蚀变较弱的角闪辉石岩、暗色辉长岩、辉长岩、角闪辉长岩、角闪斜长岩,其中辉长岩样品5个。主量元素在湖北省地质矿产局中心实验室采用湿化学分析法、X射线荧光光谱法(XRF)测试,微量元素在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室采用 ICP-MS 法测试。

锆石样品选自重约 15 kg 的浅色辉长岩岩心,编号为 25-50。岩石具典型的变余辉长结构,主要由辉石、斜长石组成,其中辉石具强烈的透闪石化和绿泥石化蚀变,斜长石具绢云母化、绿帘石化蚀变。

锆石单矿物在河北廊坊市诚信地质服务公司分选,在双目镜下挑选晶形尽量完整的锆石作为测定对象,将锆石置于环氧树脂中固结后抛磨至原粒径约 $1/2$,使锆石内部充分暴露,然后进行透射光、反射光和阴极发光(CL)照相以及 LA-ICP-MS 分析。

锆石的阴极发光(CL)照相和锆石 LA-ICP-MS 测年均在在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室进行。激光束斑直径为 $32 \mu\text{m}$,采用 He 作为剥蚀物载气。此次实验采用美国国家标准技术研究院研制的人工合成硅酸盐玻璃标准参考物质 NIST SRM610 进行仪器最佳化,锆石年龄以国际标准 91500 锆石作为外标,元素含量采用 NIST SRM610 作外标,以 Si 作为内标测定锆石中的 U、Th 和 Pb 含量,详细的数据处理及方法参见文献[15-17]。分析结果用 ICP-MS DataCal 3.8 处理,普通铅采用 Anderson 方法用 LA-ICP-MS Common Lead Correction(Ver 3.15)对其进行普通铅校正^[18-19],加权年龄计算及谐和图采用 Isoplot 3.6 完成^[20]。共对 20 颗锆石进行了 20 个点的分析。

3 年代学特征

定年锆石多为粒状-短柱状自形晶,粒径一般为 $150 \sim 200 \mu\text{m}$,短柱状锆石长短轴比值介于 1.5~2.5 之间,阴极发光图像(图2)显示,绝大多数锆石具有震荡生长环带,具典型的岩浆锆石特征^[21-22],锆石 $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 比值均较高,介于 0.37~1.00 之间,也位于岩浆锆石的范围内。

20 粒锆石的分析结果以及谐和图见表1和图3。大部分样品的投点都集中在谐和线上, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $(339 \pm 4) \sim (357 \pm 4) \text{ Ma}$ 。只有 4 个样品(表1中的 25-50-04,10,12,14)因 Pb 丢失而导致

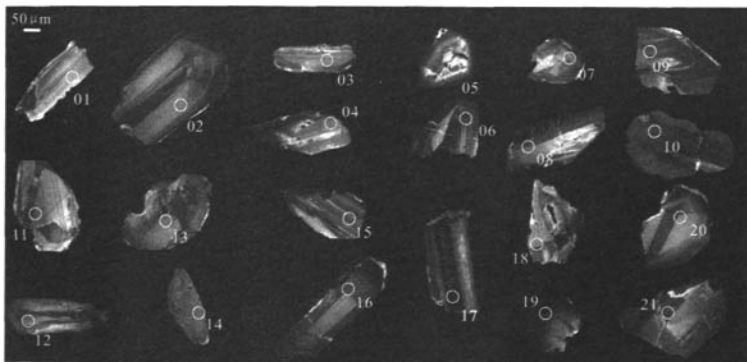


图2 四顶黑山镁铁质-超镁铁岩锆石 CL 图像

Fig. 2 CL images of the zircons from the Sidingheishan mafic-ultramafic rocks

表1 四顶黑山镁铁质-超镁铁岩锆石 U-Pb LA-ICP-MS 定年结果

Table 1 U-Pb LA-ICP-MS dating results for zircon grains from the Sidingheishan mafic-ultramafic rocks

样品号	Pb Th U			$w(\text{Th})/$ $w(\text{U})$	同位素比值						表面年龄 t/Ma					
	$w_p/10^{-6}$				$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{206}\text{Pb})$		$N(^{207}\text{Pb})/$ $N(^{235}\text{U})$		$N(^{206}\text{Pb})/$ $N(^{238}\text{U})$		$^{207}\text{Pb}/$ ^{206}Pb		$^{207}\text{Pb}/$ ^{235}U		$^{206}\text{Pb}/$ ^{238}U	
					1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ	1σ		
25-50-01	8.80	51.3	121	0.42	0.0613	0.0039	0.4836	0.0376	0.0562	0.0009	649	141	401	26	353	5
25-50-02	34.47	242.0	473	0.51	0.0525	0.0013	0.4062	0.0107	0.0560	0.0006	305	41	346	8	351	4
25-50-03	12.94	96.0	177	0.54	0.0533	0.0021	0.4083	0.0146	0.0560	0.0007	341	58	348	11	351	4
25-50-04	11.99	79.6	173	0.46	0.0570	0.0025	0.4224	0.0172	0.0542	0.0008	493	63	358	12	340	5
25-50-05	16.88	142.0	221	0.64	0.0662	0.0025	0.5088	0.0196	0.0561	0.0008	812	58	418	13	352	5
25-50-06	62.00	671.0	791	0.85	0.0531	0.0013	0.4130	0.0103	0.0562	0.0006	333	38	351	7	353	4
25-50-08	10.56	62.0	148	0.42	0.0557	0.0023	0.4288	0.0175	0.0559	0.0007	440	67	362	12	351	5
25-50-09	13.55	122.0	182	0.67	0.0559	0.0020	0.4320	0.0153	0.0562	0.0007	448	57	365	11	352	4
25-50-10	37.70	364.0	514	0.71	0.0568	0.0013	0.4224	0.0085	0.0541	0.0006	482	25	358	6	339	4
25-50-11	13.27	89.3	187	0.48	0.0568	0.0019	0.4346	0.0146	0.0554	0.0006	485	56	366	10	348	3
25-50-12	10.19	72.0	139	0.52	0.0704	0.0031	0.5267	0.0220	0.0547	0.0007	940	65	430	15	343	4
25-50-13	11.94	70.9	170	0.42	0.0575	0.0022	0.4476	0.0174	0.0566	0.0007	510	64	376	12	355	4
25-50-14	7.74	41.4	112	0.37	0.0555	0.0026	0.4269	0.0200	0.0560	0.0008	431	81	361	14	351	5
25-50-15	13.91	113.0	187	0.60	0.0653	0.0026	0.5077	0.0211	0.0561	0.0007	785	67	417	14	352	4
25-50-16	20.88	126.0	306	0.41	0.0547	0.0016	0.4175	0.0122	0.0553	0.0006	402	45	354	9	347	4
25-50-17	70.20	874.0	877	1.00	0.0525	0.0009	0.4081	0.0078	0.0562	0.0006	306	26	347	6	353	3
25-50-18	11.96	91.2	169	0.54	0.0550	0.0028	0.4219	0.0195	0.0562	0.0010	411	72	357	14	353	6
25-50-19	27.05	193.0	382	0.50	0.0518	0.0013	0.4043	0.0103	0.0563	0.0005	277	41	345	7	353	3
25-50-20	9.39	55.8	135	0.41	0.0547	0.0024	0.4287	0.0180	0.0569	0.0007	399	73	362	13	357	4
25-50-21	29.24	245.0	402	0.61	0.0524	0.0013	0.4063	0.0100	0.0561	0.0006	301	37	346	7	352	4

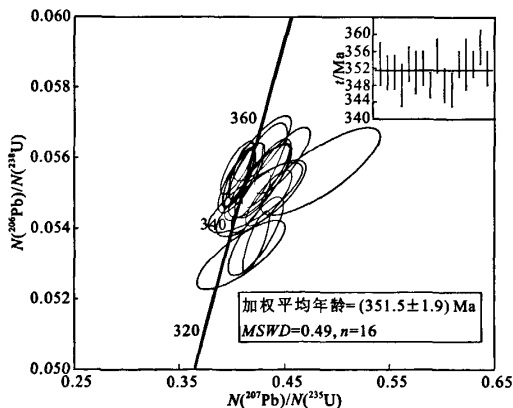


图3 四顶黑山镁铁质-超镁铁岩锆石 U-Pb 一致曲线图

Fig. 3 Concordia U-Pb diagram of zircons from the Sidingheishan mafic-ultramafic rocks

谐和性较差,除去这4个样品后其余16个数据的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $(351.5 \pm 1.9)\text{Ma}$,表明杂岩体形成于早石炭世。

4 岩石学特征

杂岩体的岩性变化较大,由橄榄辉石岩、辉石岩、角闪辉石岩、暗色辉长岩、辉长岩、角闪辉长岩、角闪斜长岩、闪长岩组成。辉长岩为主体岩性,在岩体中占绝对优势,其次为暗色辉长岩、角闪辉长岩,而橄榄辉石岩、辉石岩、角闪辉石岩、角闪斜长岩及闪长岩出露较少。

辉长岩镜下多为变余辉长结构。主要组成矿物为含量相当的透辉石和斜长石,辉石多被透闪石化、绿泥石化,局部见滑石化。斜长石普遍被绿帘石化、绢云母化、叶蜡石化,副矿物中具较多的磁铁矿。暗色辉长岩多为中粗粒变余辉长结构,其中辉石与斜长石的体积分数分别为75%~80%和15%~20%。辉石多被透闪石化,仅有15%~20%的残晶呈孤岛状分布于透闪石中,后者常可见辉石的假象,斜长石为板状,见较好的聚片双晶,局部具叶蜡石化和绢云母化,副矿物也主要为磁铁矿。角闪斜长岩和闪长岩在岩体中出露不多,均出露在南带北侧山脊,呈小型脉状体产出。其中斜长岩主要由斜长石和极少量角闪石组成,斜长石蚀变强烈,发生强烈的黏土化,镜下模糊不清,少数蚀变为叶蜡石。闪长岩主要组成矿物为中长石和角闪石,中长石发生强烈的叶蜡石化和绢云母化蚀变。辉石岩也多呈脉状产出,具粗一巨粒结构,主要由结晶粗大的单斜辉石组成,具有强烈的透闪石化和绿泥石化蚀变,同时多伴有明显的黄铁矿化。总的来说,杂岩体以多期脉动侵入为特征,局部见层状堆晶特征,从岩性组合看,是一套结晶分异演化较彻底的杂岩体。

样品的 $w(\text{SiO}_2)$ 在43.45%~50.35%之间(表2),主体上位于基性岩的范围,岩石总体上具低 $w(\text{TiO}_2)$ (0.17%~1.03%)的特征。 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ (4.09%~29.56%)、 $w(\text{CaO})$ (9.13%~14.87%)、 $w(\text{MgO})$ (2.18%~21.53%)、 $w(\text{FeO}_t)$ (2.36%~10.44%)、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ (0.21%~2.67%)均具较大的变化范围,主要与岩石中斜长石和辉石的相对含量

表2 四顶黑山镁铁质-超镁铁岩常量元素、微量元素分析结果
Table 2 The major elements and trace elements of the Sidingheishan mafic-ultramafic rocks

岩性	角闪辉石岩		辉长岩				角闪斜长岩		
样号	HX26-5-1	P1-121-1	5048	P1-181	HX2618-1	P1-121-2	HX26-37-1	HX26-9-1	HX26-22-1
SiO ₂	50.35	44.79	45.78	44.72	45.95	49.62	48.69	43.45	46.43
TiO ₂	0.17	0.36	0.21	0.38	1.03	0.56	0.68	0.68	0.20
Al ₂ O ₃	4.09	8.70	15.61	17.49	17.82	18.15	18.69	25.72	29.56
Fe ₂ O ₃	2.25	3.32	1.01	3.06	4.58	2.24	2.89	4.23	0.98
FeO	6.55	7.45	5.25	4.93	5.92	4.63	3.92	3.05	1.48
FeO _t	8.57	10.44	6.16	7.68	10.04	6.65	6.52	6.86	2.36
MnO	0.23	0.20	0.12	0.15	0.12	0.14	0.13	0.10	0.04
MgO w _B /%	21.53	20.18	14.05	11.63	7.10	7.72	6.70	3.30	2.18
CaO	9.95	9.13	13.39	11.85	12.67	11.84	13.58	14.36	14.87
Na ₂ O	0.21	0.67	0.74	0.92	1.79	2.67	2.08	1.38	1.68
K ₂ O	0.04	0.13	0.06	1.10	0.11	0.37	0.15	0.24	0.07
P ₂ O ₅	0.02	0.09	0.01	0.07	0.01	0.10	0.12	0.03	0.05
H ₂ O ⁺	4.07	4.69	3.06	3.36	2.45	1.56	2.01	2.99	2.09
CO ₂	0.22	0.12	0.52	0.15	0.18	0.17	0.18	0.22	0.18
Total	99.68	99.83	99.81	99.81	99.73	99.77	99.82	99.75	99.81
Mg [#]	81.74	77.51	80.26	72.96	55.76	67.43	64.68	46.18	62.20
La	1.40	2.38	0.62	2.27	0.87	4.22	3.93	0.50	2.63
Ce	3.39	6.93	1.64	5.61	2.30	10.70	10.30	1.51	5.76
Pr	0.54	1.20	0.29	0.90	0.43	1.65	1.60	0.28	0.75
Nd	2.91	5.87	1.71	4.21	2.33	7.82	7.69	1.33	3.09
Sm	0.86	1.66	0.65	1.13	0.90	2.15	2.27	0.48	0.72
Eu	0.46	0.54	0.32	0.46	0.43	0.79	0.87	0.20	0.44
Gd	0.94	1.66	0.79	1.21	0.97	2.22	2.43	0.49	0.66
Tb	0.150	0.270	0.130	0.200	0.170	0.350	0.410	0.086	0.091
Dy	1.02	1.78	0.90	1.30	1.08	2.27	2.83	0.58	0.62
Ho	0.20	0.37	0.19	0.28	0.22	0.48	0.56	0.12	0.12
Er	0.55	0.99	0.48	0.75	0.54	1.27	1.60	0.35	0.33
Tm	0.072	0.140	0.069	0.110	0.079	0.180	0.210	0.049	0.046
Yb	0.49	0.96	0.40	0.70	0.45	1.20	1.40	0.36	0.33
Lu	0.069	0.14	0.054	0.110	0.070	0.170	0.19	0.052	0.051
Cs	0.12	0.12	0.06	0.31	0.042	0.36	0.064	0.023	0.024
Rb w _B /10 ⁻⁶	4.40	1.48	1.05	20.00	0.89	7.75	1.54	0.65	0.70
Ba	126.0	31.0	83.4	219.0	19.5	325.0	71.1	275.0	24.3
Th	0.035	0.28	0.043	0.13	0.042	0.44	0.22	0.087	0.16
U	0.16	0.18	0.11	0.11	0.35	0.83	0.14	0.87	0.25
Nb	0.300	0.920	0.052	0.670	0.160	1.300	1.100	0.330	0.810
Ta	0.02	0.091	0.009	0.056	0.017	0.11	0.075	0.028	0.057
Pb	6.56	1.91	7.42	6.01	4.64	6.93	17.90	1.29	8.37
Sr	8.16	110.00	435.00	418.00	690.00	874.00	498.00	49.90	912.00
Hf	0.19	0.72	0.19	0.51	0.26	0.84	0.95	0.28	0.44
Y	5.20	9.76	4.47	7.28	5.34	12.60	14.60	3.14	3.04
Be	0.18	0.30	0.062	0.24	0.12	0.52	0.33	0.082	0.17
Ga	18.90	7.88	9.17	11.00	16.60	14.80	14.40	3.73	16.80
Sn	0.54	0.49	0.17	0.40	0.33	0.70	0.54	0.13	0.21
Tl	0.023	0.013	0.010	0.072	0.011	0.036	0.011	0.005 3	0.013
Zr	4.37	24.40	4.50	19.80	5.91	28.40	33.20	10.10	19.80
Sc	24.50	32.20	34.30	27.20	42.50	43.30	37.30	13.30	2.64
V	33.90	142.00	110.00	136.00	502.00	212.00	184.00	93.70	54.30
Cr	14.20	1 273.00	704.00	299.00	140.00	302.00	309.00	1 542.00	71.80
Co	25.80	75.80	48.40	50.30	43.00	35.40	24.10	59.00	11.00
Ni	18.50	303.00	223.00	169.00	101.00	58.30	69.90	717.00	25.90
Cu	32.70	40.00	126.00	57.10	497.00	54.90	134.00	1 056.00	41.40
Zn	43.2	67.2	35.0	49.0	60.3	49.2	42.0	72.8	13.7
ΣREE	13.05	24.90	8.24	19.24	10.84	35.43	36.29	6.39	15.64
[w(La)/w(Yb)] _N	1.94	1.68	1.05	2.18	1.31	2.38	1.90	0.94	5.40
δ(Eu)	1.56	0.98	1.36	1.20	1.40	1.10	1.13	1.25	1.92
m/f	4.24	3.32	3.91	2.60	1.23	1.99	1.76	0.83	1.59

注: w(FeO)_t = w(FeO) + 0.899 8w(Fe₂O₃); Mg[#] = N(Mg)/N(Mg + Fe + Mn); m/f = N(Mg²⁺ + Ni²⁺)/N(Fe³⁺ + Fe²⁺ + Mn²⁺) (据文献[23]); δ(Eu) = 2w(Eu)_N/[w((Sm)_N + w(Gd)_N)]。

有关,即从辉石岩→暗色辉长岩→辉长岩→斜长岩,岩石的 $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、 $w(\text{CaO})$ 、 $w(\text{Na}_2\text{O})$ 明显增加, $w(\text{MgO})$ 、 $w(\text{FeO})$ 降低。 $\text{Mg}^\#$ 值由 81.74 变化到 46.18,显然与镁铁质矿物的结晶分异有关,在 AFM 图中具拉斑玄武岩系列的演化特征(图 4-b), m/f 值很低且变化范围大($m/f=0.83\sim 4.24$),表明其中的超镁铁岩为铁质类型,且镁铁质矿物的结晶分离明显。

大多数样品的稀土元素配分型式呈平坦型或有略微的轻稀土元素富集, $[\text{w}(\text{La})/\text{w}(\text{Yb})]_n=0.94\sim 5.40$,稀土元素分馏程度较低(图 5-A)。 $w(\Sigma\text{REE})$ 在 $6.39\times 10^{-6}\sim 36.29\times 10^{-6}$ 之间,总体较低,符合超基性岩、基性岩的基本特征。 $\delta(\text{Eu})$ 值

在 0.98~1.92 之间,绝大部分样品见正 Eu 异常。 $w(\Sigma\text{REE})$ 具有随岩石基性程度的降低而增大的趋势, $\delta(\text{Eu})$ 值具由辉石岩向斜长岩明显增大的趋势,明显与分离结晶作用有关。

由图 5-B 可见,与正常的洋中脊玄武岩相比,四顶黑山杂岩体微量元素的分布型式总体上为平坦型,大部分元素相对于洋中脊玄武岩弱有亏损,但 Rb、K、Ba、Sr 等大离子亲石元素具明显富集,具明显的 Nb、Ta 负异常。 Cr($1.542\times 10^{-6}\sim 14.2\times 10^{-6}$)、Co($75.8\times 10^{-6}\sim 11\times 10^{-6}$)、Ni($717\times 10^{-6}\sim 18.5\times 10^{-6}$) 等相容元素丰度变化很大,规律性差,在斜长岩中达最高值,应与铬铁矿及铜镍硫化物等副矿物的作用有关。

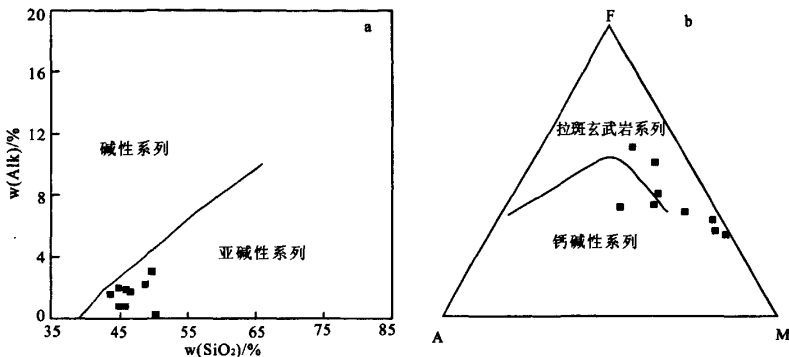


图 4 四顶黑山杂岩体 $w(\text{SiO}_2)$ - $w(\text{Alk})$ 图(a)及 AFM 图(b)(底图引自文献[24])
 Fig. 4 SiO_2 -Alk diagrams(a) and AFM diagrams(b) of the Sidingheishan complex
 图 b 中 A 为 $w(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{K}_2\text{O})$; F 为 $w(\text{FeO})$; M 为 $w(\text{MgO})$

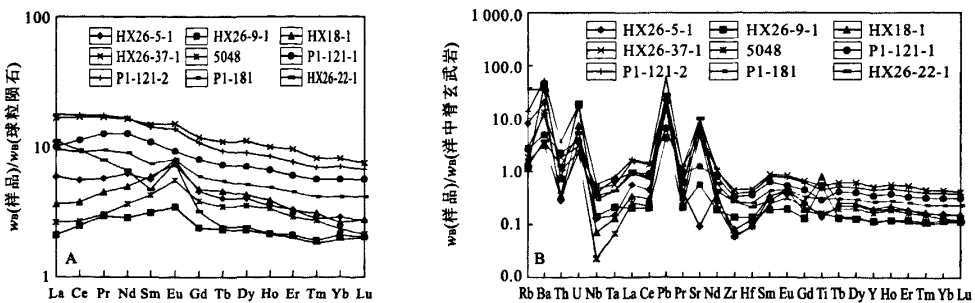


图 5 四顶黑山镁铁质-超镁铁岩稀土元素球粒陨石标准化配分图解(A)和微量元素洋中脊玄武岩标准化蛛网图(B)
 (球粒陨石和洋中脊玄武岩标准值分别引自文献[25-26])

Fig. 5 Chondrite-normalized REE patterns (A) and MORB normalized spider diagrams of trace elements (B) from Sid-ingheishan the mafic-ultramafic rocks

5 讨论与结论

四顶黑山杂岩体因与黄山东、图拉尔根等产有大型铜镍硫化物矿床的杂岩体基本上位于同一构造

带上,因此长期以来多数人认为是同一构造环境的产物,并作为重要的找矿目标给予了较大的投入^[11,27]。近几年来,对该杂岩体的测年结果有较大的不确定性,如徐兴旺等^[11]对四顶黑山的辉石角闪岩及与镁铁质岩共生的闪长岩和角闪花岗岩中角闪

石的 $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 测年获得(545.7 ± 5), (263.8 ± 2.6), (200.8 ± 0.91)Ma 3组不同的年龄,并认为(545.7 ± 5)Ma是古天山洋形成的初始时间,而(263.8 ± 2.6)Ma则与黄山东杂岩体的形成时间基本一致。史文全等^[12]获得四顶黑山杂岩体的Sm-Nd等时年龄为(327 ± 9.0)Ma,并认为在早石炭世该区存在古洋盆。笔者首次在该杂岩体中获得了辉长岩单颗粒锆石的U-Pb年龄为(351.5 ± 1.9)Ma,因该杂岩体多经历了后期的强蚀变,很难找到原生的镁铁质矿物, $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ 和Sm-Nd体系不可避免地会受到不同程度的改变,而锆石的U-Pb体系可在较宽的条件范围内保持稳定,因此笔者所获得的U-Pb年龄应该是该杂岩体最可靠的年龄。

无论是前人的研究^[11-12]还是本文获得的结果,都表明四顶黑山杂岩体的形成时间与黄山东和图拉尔根杂岩体的形成时间存在较大的差异,而非同一构造环境的产物。实际上从岩石学、地球化学特征看,四顶黑山杂岩体与最邻近的图拉尔根杂岩体相比,也存在明显的差异。从岩石组合看,前者主体岩性为辉长岩和辉石岩,并具有强分异产物闪长岩和斜长岩;后者除辉长岩外,还含有大量的橄辉岩,不含强分异成因的闪长岩和斜长岩^[28]。从岩石化学特征看,前者主要为高硅的基性岩,除个别样品外,大部分样品的 $w(\text{SiO}_2) > 45\%$,且具富 Al_2O_3 、CaO,极低 m/f 值的特征;后者主要为超基性岩,除个别样品的 $w(\text{SiO}_2) > 45\%$ 外,大部分样品的 $w(\text{SiO}_2) < 45\%$,同时具低 Al_2O_3 、CaO,富MgO,较高 m/f 值的特征。地球化学特征显示,四顶黑山杂岩体具明显低于图拉尔根杂岩体的REE及不相容元素丰度,稀土元素分馏程度低,同时具更明显的Nb、Ta负异常,说明岩浆来自亏损程度较高的地幔,并受到了地壳物质的混染;而图拉尔根岩体则具轻度富集的地幔源区特征。

尽管四顶黑山杂岩体局部也见铜镍矿化,但多年来该区的找矿工作并未获得重大突破。其原因可能在于四顶黑山杂岩体与黄山东、图拉尔根等含矿杂岩体的形成年代和成因均不同,故不能以后者的特征作为四顶黑山地区找矿的标志特征,其找矿的思维和方式均需有所改变。

此次研究还获得了与四顶黑山杂岩体相邻伴生的一些花岗岩的年龄值,即黄山—镜儿泉断裂带以北的下泥盆统大南湖组岛弧火山岩中侵入的斜长花岗岩—花岗闪长岩的锆石U-Pb定年结果为(414.0 ± 3.5)Ma(未发表),表明火山岩和花岗岩均具有明显的岛弧岩浆岩的特征;断裂带南侧与杂岩体呈侵入接触关系的一套具糜棱岩化强变形的二长花岗岩体的锆石U-Pb定年结果为(383.4 ± 2.7)~(379.5

± 2.6)Ma(未发表),属高钾钙碱性系列,具碰撞—活动陆源花岗岩特征;与杂岩体在空间上呈密切共生关系的哈尔欣花岗岩体,岩石组合以钾长花岗岩和二长花岗岩为主,含少量碱长花岗岩,具A型花岗岩特征,其中钾长花岗岩的锆石年龄为(357.7 ± 3.5)Ma,与镁铁质—超镁铁岩在形成时代上相当,构成具双峰式特征的伸展背景的岩浆岩组合。由此可见,四顶黑山一带从早泥盆世开始到早石炭世,经历了岛弧—碰撞—碰撞后伸展的构造演化过程。

参考文献:

- [1] 张耀华. 新疆黄山东基性—超基性杂岩体地质特征及其含矿性[J]. 西北地质, 1987(4): 15—32.
- [2] 钟应先. 新疆黄山东铜镍矿镁铁—超镁铁杂岩体的岩石学特征及其形成演化规律[J]. 成都地质学院学报, 1989, 16(3): 50—58.
- [3] 徐明星, 李忠权. 新疆黄山东含矿镁铁—超镁铁杂岩体的岩石学特征及成因探讨[J]. 成都地质学院学报, 1992, 19(1): 77—84.
- [4] 毛景文, 杨建民, 屈文俊, 等. 新疆黄山东铜镍硫化物矿床Re-Os同位素测定及其地球动力学意义[J]. 矿床地质, 2002, 21(4): 923—923.
- [5] Li J Y, Xiao W J, Wang K Z, et al. Neoproterozoic-Paleozoic tectonostratigraphy, magmatic activities and tectonic evolution of Eastern Xinjiang, NW China [C] // Mao J W, Goldfrab R, Seltmann R, et al. Tectonic evolution and metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan. London: IAGOD Guidebook Series 10, CERCAMS/NHM, 2003: 227—248.
- [6] Han B F, Ji J Q, Song B, et al. SHRIMP zircon U-Pb ages of Kalatongke No. 1 and Huangshandong Cu-Ni-bearing mafic-ultramafic complexes, North Xinjiang, and geological implications [J]. Chinese Science Bulletin, 2004, 49(22): 2 424—2 429.
- [7] Zhou M F, Leshner C M, Yang Z X, et al. Geochemistry and petrogenesis of 270 Ma Ni-Cu-(PGE) sulfide-bearing mafic intrusions in the Huangshan district, Eastern Xinjiang, Northwest China: Implications for the tectonic evolution of the Central Asian orogenic belt [J]. Chem. Geol., 2004, 209: 233—257.
- [8] 顾连兴, 张遵忠, 吴昌志, 等. 关于东天山花岗岩与陆壳垂向增生的若干认识[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1 103—1 119.
- [9] 冯益民, 朱宝清, 杨军录, 等. 东天山大地构造及演化——1: 50万东天山大地构造图简要说明[J]. 新疆地质, 2002, 20(4): 309—314.
- [10] 秦克章, 方同辉, 王书来, 等. 东天山板块构造分区、演化与成矿地质背景研究[J]. 新疆地质, 2002, 20(4): 302—308.
- [11] 徐兴旺, 秦克章, 王瑜, 等. 东天山四顶黑山地区545 Ma层状镁铁质—超镁铁质岩体的发现及其大地构造学和成矿学意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(11): 2 665—2 676.
- [12] 史文全, 代文军. 四顶黑山镁铁质—超镁铁质岩Sm-Nd等时线年龄及其意义[J]. 甘肃地质, 2008, 17(1): 13—17.
- [13] 李亚萍, 孙桂华, 李锦铁, 等. 吐哈盆地东缘泥盆纪花岗岩的确定及其地质意义[J]. 地质通报, 2006, 25(8): 932—936.
- [14] 刘明强, 王建军, 代文军. 甘肃北山红石山地区马鞍山北花岗

- 岩体的单颗粒锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 岩石矿物学杂志, 2006, 25(6): 374-974.
- [15] Horn I, Rudnick R L, Mcdonough W F. Precise elemental and isotope ratio determination by simultaneous solution nebulization and laser ablation-ICP-MS; Application to U-Pb geochronology[J]. *Chem. Geol.*, 2000, 167: 405-425.
- [16] Kosler J, Fonneland H, Sylvester P, et al. U-Pb dating of detrital zircons for sediment provenance studies-a comparison of laser ablation ICP-MS and SIMS techniques[J]. *Chem. Geol.*, 2002, 182: 605-618.
- [17] Yuan H L, Wu F Y, Gao S. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating and REE analysis of Cenozoic intrusion from northeastern region of China[J]. *China Sciences Bulletin*, 2003, 48(14): 1 511-1 520.
- [18] Anderson T. PBI: An EXCEL workbook for interactive graphical modelling of lead isotope data on minerals and rocks [J]. *Computers & Geosciences*, 1998, 24(2): 197-199.
- [19] Anderson T. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb [J]. *Chem. Geol.*, 2002, 192: 59-79.
- [20] Ludwig K R. *User's manual for isoplot 3.6: A geochronological toolkit for microsoft excel* [M]. Berkeley: Berkeley Geochronology Centre Special Publications, 2008.
- [21] Vavra G. On the kinematics of zircon growth and its petrogenetic significance; A cathodoluminescence study[J]. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 1990, 106: 90-99.
- [22] Hoskin P W O, Schaltegger U. The composition of zircon and igneous and metamorphic petrogenesis[J]. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*, 2003, 53: 27-62.
- [23] 吴利仁. 论中国基性、超基性岩成矿专属性[J]. 地质科学, 1963(1): 29-41.
- [24] Irvine T, Baragar W. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks[J]. *Canadian Journal of Earth Science*, 1971(8): 523-548.
- [25] Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: Meteorite study[M]//Henderson P. *Rare earth element geochemistry*. [S. l.]: Elsevier, 1984: 63-114.
- [26] Sun S S, Mcdonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[M]//Saunders A D, Norry M J. *Magmatism in Ocean Basins*. London: Geological Society of Special Publication, 1989: 313-345.
- [27] 孙赫, 秦克章, 徐兴旺, 等. 东天山镁铁质-超镁铁质岩带岩石特征及铜镍成矿作用[J]. 矿床地质, 2007, 26(1): 98-108.
- [28] 孙赫, 秦克章, 李金祥, 等. 东天山图拉尔根铜镍钴硫化物矿床岩相、岩石地球化学特征及其形成的构造背景[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 606-617.

Characteristics and Tectonic Significances of the Mafic-Ultramafic Rocks from Sidingheishan Area in Hami, Xinjiang

LI Qi-xiang¹, LIAO Qun-an¹, SAN Jin-zhu², ZHANG Jia-xin², SHI Wen-xiang¹, GUO Dong-bao¹

(1. Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;
2. 704 Team, Xinjiang Nonferrous Geological Prospecting Bureau, Hami Xinjiang 839000, China)

Abstract: An age of $(351.5 \pm 1.9)\text{Ma}$ was obtained from the gabbro of Sidingheishan in the Eastern Tianshan Massif using LA-ICP-MS U-Pb method. It is different from the ages previously obtained using $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ or Sm-Nd method, and also apparently different from the ages of Early Permian ore complex rocks from the Eastern Huangshan and Tulaergen in the same tectonic belt. The petrologic and geochemical characteristics show that the main component of the complex is gabbro consisting of highly differentiated plagioclase and diorite. The complex is characterized by high SiO_2 , Al_2O_3 and CaO values and low TiO_2 , m/f , ΣREE and incompatible elements and obviously negative Nb and Ta anomaly which can be distinguished from the nearby Tulaergen complex. Combined with the dating results of the granitic rocks in this area, it is suggested that the intergrowth of the complex with the A-type granite of $(357.7 \pm 3.5)\text{Ma}$ after the Early Devonian island-arc granite and the Late Devonian collisional granite may have resulted from the post-collisional extension setting.

Key words: Sidingheishan; mafic-ultramafic rock; zircon dating; post-collisional extension