

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2018.03.006

新疆四顶黑山花岗岩体锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄及地质意义

王静¹, 王学武², 邓明国¹, 孙涛³

(1. 昆明理工大学国土资源工程学院, 昆明 650093;

2. 云南省核工业二〇九地质大队, 昆明 650032;

3. 云南大学资源环境与地球科学学院, 昆明 650091)

摘要: 新疆东天山位于中亚造山带南缘, 天山—兴安造山系北天山造山带东段, 发育大量泥盆纪—石炭纪花岗岩, 其形成过程多与觉罗塔格洋的俯冲作用有关。四顶黑山花岗岩体位于东天山觉罗塔格构造岩浆带的东端, 岩体在地表呈不规则状产出, 侵位于元古界片岩—变火山岩、奥陶系变玄武岩和泥盆系雀儿山群火山岩; 主要岩石类型为花岗岩和花岗闪长岩。花岗岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $380.4 \text{ Ma} \pm 3.7 \text{ Ma}$, 表明岩体形成于晚泥盆世。岩石表现出高硅 ($w(\text{SiO}_2) = 64.87\% \sim 74.71\%$)、高碱 ($w(\text{K}_2\text{O}) = 3.35\% \sim 4.68\%$, $w(\text{Na}_2\text{O}) = 2.26\% \sim 3.85\%$)、富铝 ($w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 11.82\% \sim 14.13\%$) 和低 MgO ($w(\text{MgO}) = 0.56\% \sim 2.12\%$)、 CaO ($w(\text{CaO}) = 1.68\% \sim 3.74\%$)、 TiO_2 ($w(\text{TiO}_2) = 0.26\% \sim 0.57\%$)、 P_2O_5 ($w(\text{P}_2\text{O}_5) = 0.01\% \sim 0.19\%$) 特征, $A/\text{CNK} = 0.83 \sim 1.00$; 富集 Ba、K、La、Ce、Nd, 亏损 Th、Nb、Ta、Sr、Ti, 铕负异常较明显 ($\delta\text{Eu} = 0.70 \sim 0.73$); 具有岛弧型花岗岩特征。四顶黑山花岗岩体形成于岛弧环境, 属于觉罗塔格洋向南俯冲过程中的产物。四顶黑山花岗岩体两侧的镁铁—超镁铁质岩体的形成时代应晚于晚泥盆世。

关键词: 岛弧型花岗岩; 四顶黑山; 花岗岩; 东天山; 新疆

中图分类号: P588.12 **文献标识码:** A

0 引言

新疆东天山地处中亚造山带南缘, 天山—兴安造山系的北天山造山带东段(图 1a), 是西伯利亚古板块与塔里木古板块之间或西伯利亚、哈萨克斯坦和塔里木 3 个古板块之间的陆缘碰撞带, 其古生代构造格局及演化对亚洲大陆的形成和对该地区成矿作用的认识, 一直是许多学者关注的重大地质问题^[2-4]。

东天山岩浆岩较发育, 以中酸性岩类最多, 其次为基性—超基性岩类。侵入岩体多呈 EW 向和 NEE 向带状产出, 受深断裂控制(图 1b)。基性—超基性

岩浆活动主要集中在晚石炭世—早二叠世之间, 并发育众多铜镍硫化物矿床, 如土墩、香山、黄山南、黄山、黄山东、葫芦、图拉尔根、天宇、白石泉等^[5-11]。中、酸性岩浆活动在各时代均有发育, 以华力西中期为主, 次为华力西早期和晚期, 加里东晚期亦有产出; 并发育有众多与花岗岩有关的金属矿产, 如与泥盆纪—早石炭世俯冲带岛弧区斑岩有关和与石炭纪末期—早二叠世碰撞后剪切走滑—伸展作用有关的铜、金、银、铅、锌等^[12-17]。因此, 研究东天山不同时期花岗岩类岩石的形成年龄、岩石学和地球化学特征及其构造背景, 不仅对研究花岗岩起源、岩浆地球动力学本身具有重要价值, 而且对研究该地区的地壳演化具有重要意义。

收稿日期: 2017-03-04; **改回日期:** 2018-06-06; **责任编辑:** 王传泰

基金项目: 国家自然科学基金青年基金项目(编号:41402070)、中国地质调查局项目(编号:DD20160346)联合资助。

作者简介: 王静(1983—), 女, 硕士研究生, 从事花岗岩及其成矿作用的研究工作。E-mail: wangjing_good@126.com

通讯作者: 王学武(1966—), 男, 地质高级工程师, 主要从事区域地质调查、矿产地质和放射性地质勘查及相关科研工作。通信地址: 昆明市大观路 152 号, 云南省核工业二〇九地质大队; 邮政编码: 650031; E-mail: 984293023@qq.com

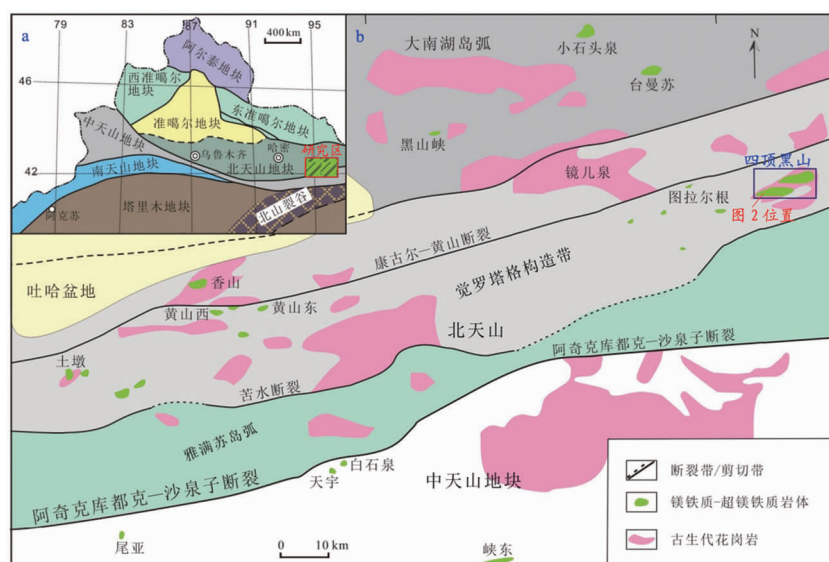


图1 研究区位置(a)及其区域地质简图(b)(据文献[1],修改)

Fig. 1 The location map (a) of the study area and regional geological sketch (b)

四顶黑山花岗岩体位于东天山觉罗塔格构造带的东段(见图 1b),新疆、甘肃两省交界处。前人对此处的研究工作主要集中在其附近的镁铁-超镁铁质岩体的形成年龄、岩石成因、地球化学特征及其成铜镍矿潜力^[18-22]方面,对花岗岩体研究相对较少。王国强等^[22]获得了四顶黑山北侧花岗岩的锆石 U-Pb 年龄 $369.2 \text{ Ma} \pm 2.75 \text{ Ma}$,认为花岗岩属于碰撞环境的产物。施文翔等^[23]对四顶黑山北侧的花岗岩体进行了 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年 $414.0 \text{ Ma} \pm 3.5 \text{ Ma}$,属早泥盆世,并指出四顶黑山北侧的花岗岩体具有岛弧花岗岩特征。本文将对四顶黑山镁铁-超镁铁质岩体之间的花岗岩体进行地球化学特征分析、锆石 U-Pb 测年,探讨花岗岩成因,以期对东天山地区的地壳演化提供证据,也对该地区镁铁-超镁铁质岩体的形成时代进行约束。

1 岩体地质概况

东天山地区断裂构造发育,主要为 NE—SW 向的康古尔—黄山深大断裂和阿其克库都克—沙泉子深大断裂及其由它们派生的次级断裂,其中阿其克库都克—沙泉子断裂将东天山分为北天山和中天山地块(见图 1b)。古生代花岗岩主要沿着康古尔—黄山深大断裂两侧分布在北天山和中天山造山带内。

四顶黑山花岗岩体位于最东端,地表呈不规则状出露,总体呈 NE 向展布(见图 1b),侵位于元古

界片岩-变火山岩、奥陶系变玄武岩和泥盆系雀儿山群火山岩中(图 2)。花岗岩体被以辉长岩为主体的镁铁-超镁铁质岩体侵入,在两岩体接触边部呈不规则港湾状,边部多处见有花岗岩脉呈捕虏体出露在辉长岩中(图 2,图 3a)。

2 岩石组合及岩石学特征

通过野外对四顶黑山花岗岩体进行地质调查发现,岩体主要岩石组合为花岗岩和花岗闪长岩组成,两者之间具有相互穿插关系,总体为花岗岩在中部,花岗闪长岩在边部(见图 2)。

(1)花岗岩:占岩体面积的 $45\% \pm$,岩石风化色为浅灰白色(图 3a),新鲜色均为浅肉红色,细中粒花岗结构,块状构造。岩石由斜长石($20\% \sim 25\%$)、钾长石($40\% \sim 45\%$)和石英($35\% \pm$)组成。斜长石呈板条状,聚片双晶发育(图 3b),常不均匀分布,少数为绢云母替代;微斜长石呈它形不规则状。石英呈它形粒状和填隙状分布(图 3b)。有少量褐色黑云母和绿色角闪石(图 3c)。

(2)花岗闪长岩:占岩体面积的 $55\% \pm$,出露在花岗岩边部。岩石风化色为灰白色—浅肉红色,新鲜面颜色为浅灰色;岩石具有块状构造,花岗结构。由斜长石(45%)、角闪石(15%)、钾长石($10\% \sim 15\%$)和石英(20%)组成。斜长石具环带结构,呈板条状,常不均匀分布,嵌布于石英、微斜长石之中。

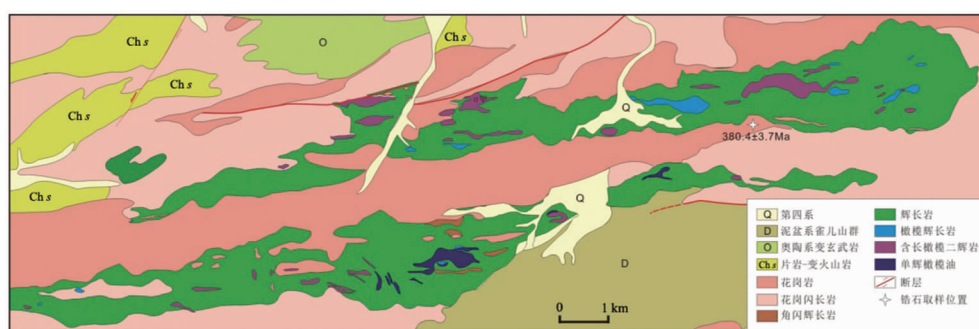


图2 四顶黑山花岗岩体地质简图(据文献[19],修改)

Fig. 2 The simplified geological map of Sidingheishan granitic pluton

钾长石呈不规则状或板条状,发生高岭土化(图3d)。石英呈它形粒状和填隙状分布。角闪石部分发生纤闪石化,呈纤维状分布。

3 样品采集与分析方法

3.1 样品采集和处理

本次工作中锆石 U-Pb 测年的样品采自出露在四顶黑山镁铁-超镁铁质南北岩体之间的花岗岩(见图2),岩石具块状构造,中粒花岗结构;样品新鲜,重 10kg±。锆石单矿物分离工作在河北廊坊完成,根据矿物的颜色、晶体自形程度、透明度等特征在双目镜下挑选出有代表性的锆石备用。

3.2 分析方法和数据成果

花岗岩岩石的锆石 U-Pb 定年在中国地质科学

院矿产资源研究所国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室完成,分析所用仪器为 Finnigan Neptune 型 LA-MC-ICP-MS 及与之配套的 Newwave UP213 激光剥蚀系统,U-Pb 测年的标样为 GJ-1,详细实验测试过程可参见文献[24]。

花岗岩岩石主微量元素测试分析在长安大学西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室完成。其中,主量元素测试采用熔片法,用 X 射线荧光光谱(XRF)方法测定,测试仪器为日本岛津 XRF-1800 型波长色散 X 射线荧光光谱仪,参照标准 GB/14506.28—1993,分析精度一般优于 2%;微量元素分析利用酸溶法,测试仪器为美国 X-7 型 ICP-MS。

本次工作进行时花岗岩锆石 U-Pb 定年测试数据和主微量元素测试分析结果,如表 1 和表 2 所述。

4 成果数据分析

4.1 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 测年

本次工作所获得的花岗岩中锆石大多为无色透明或浅黄色,晶形发育较好,多呈长柱状、正方双锥状自形晶体,长 100~200 μm ,宽 70~120 μm ,长宽比 23:1~1:1。大部分锆石的阴极发光图像(图4)表现出清晰的明暗相间的条带结构和典型的岩浆震荡环带,表明锆石应该属于岩浆结晶锆石。

19 颗锆石 U-Pb 测试分析结果表明(见表 1),锆石 Th 含量为 $w(\text{Th}) = 59 \times 10^{-6} \sim 397 \times 10^{-6}$,U 含量为 $w(\text{U}) = 104 \times 10^{-6} \sim 463 \times 10^{-6}$, $w(\text{Th})/w(\text{U})$ 值为 0.50~0.95,为典型的岩浆锆石比值特征。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 值为 0.059 256~0.062 041, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 371.1 Ma—388.0 Ma;19 个测点的平均年龄值为 $380.4 \text{ Ma} \pm 3.7 \text{ Ma} (n=19)$, MSWD=0.32(图 5)。该年龄值代表了岩体的结晶年龄,表明岩体形成于晚泥盆世。

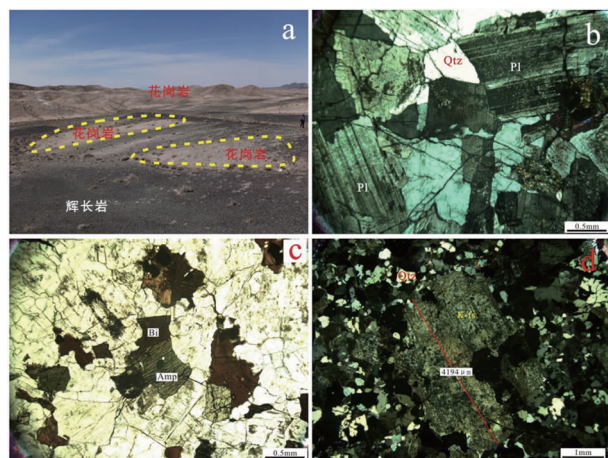


图3 四顶黑山花岗岩体野外照片和显微照片

Fig. 3 The field photo and microphotos of the Sidingheishan granitic pluton

a. 花岗岩被辉长岩体捕掳;b. 斜长石聚片双晶;
c. 褐色的黑云母和绿色的角闪石;d. 钾长石斑晶发生高岭土化

表 1 四顶黑山岩体花岗岩 LA-ICP-MS 锆石中 U、Th、Pb 含量和年龄

Table 1 Concentrations of U, Th, Pb, and zircon U-Pb age of granite from the Sidingheishan pluton

样品编号	$w(\text{U})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/10^{-6}$	$w(\text{Pb})/10^{-6}$	$w(\text{Th})/w(\text{U})$	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$t_{206/238}/\text{Ma}$	1σ
SDGT-1	104	71	7	0.68	0.477163	0.031618	0.061595	0.001021	0.057386	0.003857	385.3	6
SDGT-2	231	181	15	0.78	0.429656	0.047257	0.059761	0.001804	0.053244	0.005811	374.2	11
SDGT-3	144	77	9	0.54	0.483747	0.088432	0.061784	0.001696	0.057118	0.010506	386.5	10
SDGT-4	130	123	9	0.95	0.410458	0.039113	0.061069	0.002127	0.048803	0.004683	382.1	13
SDGT-5	442	377	31	0.85	0.456092	0.028031	0.060845	0.000950	0.053979	0.003285	380.8	6
SDGT-6	351	300	24	0.86	0.433878	0.043696	0.060593	0.001829	0.051751	0.005131	379.2	11
SDGT-7	160	83	11	0.52	0.468722	0.054331	0.061577	0.001919	0.055124	0.006425	385.2	12
SDGT-8	151	125	10	0.82	0.494665	0.066004	0.059680	0.002521	0.060715	0.008511	373.7	15
SDGT-9	210	122	14	0.58	0.479811	0.024605	0.061121	0.000933	0.057177	0.003060	382.4	6
SDGT-10	117	59	8	0.50	0.490591	0.033946	0.061466	0.001153	0.058134	0.003948	384.5	7
SDGT-11	197	124	13	0.63	0.483640	0.039698	0.061007	0.001443	0.057896	0.004827	381.7	9
SDGT-12	201	107	13	0.53	0.456889	0.034517	0.059744	0.001026	0.055736	0.004276	374.1	6
SDGT-13	210	104	14	0.49	0.403841	0.035411	0.060750	0.001216	0.048529	0.004277	380.2	7
SDGT-14	170	90	11	0.53	0.465579	0.053232	0.059930	0.001159	0.056383	0.006301	375.2	7
SDGT-15	463	397	33	0.86	0.473038	0.038206	0.059655	0.001297	0.058131	0.004824	373.5	8
SDGT-16	195	121	14	0.62	0.507530	0.073477	0.062041	0.003646	0.060194	0.009939	388.0	22
SDGT-17	219	145	15	0.66	0.461260	0.036753	0.061763	0.001277	0.055105	0.004823	386.3	8
SDGT-18	175	107	12	0.61	0.416055	0.061853	0.059256	0.002287	0.049879	0.006582	371.1	14
SDGT-19	250	169	17	0.68	0.440962	0.058612	0.060818	0.002260	0.052466	0.007221	380.6	14

表 2 四顶黑山花岗岩体主量元素和微量元素及稀土元素含量分析结果

Table 2 Analysis of the major and trace elements, REE for the Sidingheishan granitic pluton

岩石名称	w(SiO ₂)	w(TiO ₂)	w(Al ₂ O ₃)	w(TFe ₂ O ₃)	w(MnO)	w(MgO)	w(CaO)	w(Na ₂ O)	w(K ₂ O)	w(P ₂ O ₅)	w(LOI)	w(Total)	A/CNK	A/NK	AKL	σ						
花岗岩	74.62	0.28	11.84	1.63	0.04	0.59	1.73	2.35	4.64	0.02	1.32	99.06	0.98	1.33	0.75	1.55						
	74.58	0.29	11.88	1.64	0.04	0.63	1.68	2.41	4.53	0.01	1.57	99.26	1.00	1.34	0.75	1.53						
	74.71	0.26	11.82	1.63	0.03	0.56	1.78	2.26	4.68	0.02	1.49	99.24	0.98	1.35	0.74	1.52						
花岗岩 长岩	66.42	0.48	14.08	4.11	0.08	2.03	3.66	3.08	3.35	0.18	1.56	99.03	0.92	1.62	0.62	1.77						
	67.66	0.41	13.31	3.78	0.07	1.89	3.74	3.36	3.43	0.19	1.89	99.73	0.83	1.44	0.69	1.87						
	64.87	0.57	14.13	4.35	0.09	2.12	3.52	3.85	3.49	0.16	2.01	99.16	0.86	1.40	0.72	2.46						
岩石名称	w(Sc)	w(V)	w(Cr)	w(Co)	w(Rb)	w(Sr)	w(Y)	w(Zr)	w(Nb)	w(Ba)												
花岗岩	6.84	85.64	3.88	3.02	29.40	246.43	9.38	85.72	8.21	661.10												
	7.04	88.79	4.01	3.11	30.20	252.29	9.71	88.92	7.49	677.54												
	6.68	82.53	3.70	2.89	25.50	238.11	8.99	82.24	7.88	638.05												
花岗岩 长岩	6.03	74.34	4.85	3.96	28.60	184.35	8.88	73.32	6.90	551.00												
	6.21	76.59	5.03	4.11	26.40	190.71	9.21	75.34	8.36	568.79												
	5.86	71.43	4.68	3.79	24.90	178.13	8.57	69.92	8.96	536.92												
岩石名称	w(La)	w(Ce)	w(Pr)	w(Nd)	w(Sm)	w(Eu)	w(Tb)	w(Gd)	w(Ho)	w(Er)	w(Tm)	w(Yb)	w(Lu)	w(Hf)	w(Ta)	w(Th)	w(ΣREE)	w(La) _N / w(Sm) _N	w(Gd) _N / w(Yb) _N	δEu		
花岗岩	39.28	68.86	7.11	24.54	3.91	0.78	2.63	0.28	1.88	0.33	1.02	0.13	0.92	0.14	3.12	0.78	4.42	161.19	6.30	2.36	29.56	0.70
	40.72	70.41	7.32	25.12	4.02	0.80	2.68	0.29	1.95	0.34	1.05	0.13	0.95	0.14	3.21	0.81	4.08	165.63	6.35	2.33	29.68	0.70
	37.91	66.83	6.84	23.43	3.77	0.75	2.51	0.27	1.81	0.32	0.98	0.12	0.89	0.13	2.98	0.69	3.99	155.55	6.30	2.33	29.49	0.70
花岗岩 长岩	29.13	55.83	6.12	20.49	3.62	0.76	2.58	0.26	1.86	0.31	1.01	0.12	0.91	0.13	2.95	0.54	3.83	132.01	5.04	2.34	22.16	0.72
	30.21	57.82	6.30	21.21	3.74	0.79	2.62	0.27	1.91	0.32	1.04	0.12	0.94	0.14	3.04	0.62	3.91	136.64	5.06	2.30	22.25	0.73
	27.98	53.56	5.89	19.54	3.51	0.73	2.49	0.25	1.80	0.30	0.96	0.11	0.87	0.12	2.83	0.59	4.58	126.68	5.00	2.37	22.27	0.71

量单位:主量元素 w_B/%,微量元素 w_B/10⁻⁶

量单位:主量元素 w_B/%,微量元素 w_B/10⁻⁶



图 4 四顶黑山花岗岩中锆石阴极发光图像

Fig. 4 CL images of the zircons from granite of the Sidingheishan pluton

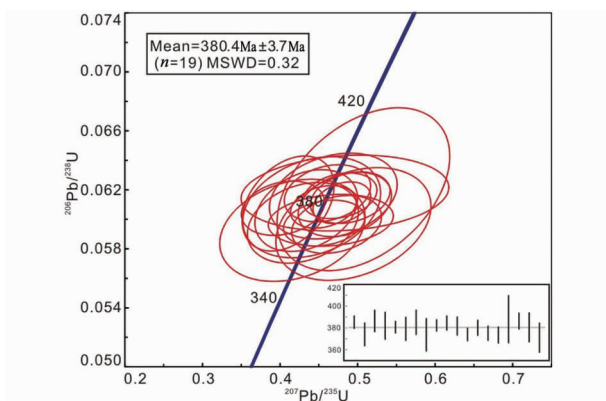


图 5 四顶黑山花岗岩中锆石 U-Pb 年龄谱和图

Fig. 5 Concordia of zircon U-Pb age for granite of the Sidingheishan pluton

4.2 主微量稀土元素特征分析

对四顶黑山花岗岩体中花岗岩和花岗闪长岩进行了主微量元素测试分析,结果见表 2。

花岗岩体具有高硅 ($w(\text{SiO}_2) = 64.87\% \sim 74.71\%$)、高碱 ($w(\text{K}_2\text{O}) = 3.35\% \sim 4.68\%$), $w(\text{Na}_2\text{O}) = 2.26\% \sim 3.85\%$)、富铝 ($w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 11.82\% \sim 14.13\%$) 和低 MgO ($w(\text{MgO}) = 0.56\% \sim 2.12\%$)、 CaO ($w(\text{CaO}) = 1.68\% \sim 3.74\%$)、 TiO_2 ($w(\text{TiO}_2) = 0.26\% \sim 0.57\%$)、 P_2O_5 ($w(\text{P}_2\text{O}_5) = 0.01\% \sim 0.19\%$) 特征; 铝饱和指数 $A/\text{CNK} = 0.83 \sim 1.00$, 为准铝质特征 (图 6a), $A/\text{NK} = 1.33 \sim 1.62$, 过碱指数 $\text{AKL} = 0.62 \sim 0.75$, 里特曼指数 $\sigma = 1.52 \sim 2.46$; 在 $w(\text{SiO}_2) - w(\text{K}_2\text{O})$ 关系图上 (图 6b) 显示高钾钙碱性特点。

花岗岩稀土元素总量相对较高, $w(\Sigma\text{REE}) = 126.68 \times 10^{-6} \sim 165.63 \times 10^{-6}$, 平均 146.28×10^{-6} ; $w(\text{La})_N/w(\text{Sm})_N = 5.00 \sim 6.35$, 平均 5.67; $w(\text{Gd})_N/w(\text{Yb})_N = 2.30 \sim 2.37$, 平均 2.34;

$w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N = 22.16 \sim 29.68$, 平均 25.90; 表明轻稀土元素内部分馏程度高于重稀土元素内部的分馏程度, 轻、重稀土元素之间分馏程度很高。花岗岩具有较明显的铈负异常 ($\delta\text{Eu} = 0.70 \sim 0.73$)。在稀土元素球粒陨石标准化配分曲线 (图 7a) 中, 呈明显的轻稀土元素富集的右倾型。在全岩微量元素的原始地幔标准化配分图解上 (图 7b), 整体呈现出右倾的多峰谷模式, 表现为 Ba 、 K 、 La 、 Ce 、 Nd 的正异常, Th 、 Nb 、 Ta 、 Sr 、 Ti 的负异常。花岗岩与泥盆系雀儿山群火山岩^[26]的稀土、微量元素配分曲线相似 (见图 7), 表明岩体具有岛弧花岗岩的特征。

5 讨论

四顶黑山花岗岩体具有高硅、高碱、富铝、低镁、低钛、低磷的特点, 铝饱和指数 $A/\text{CNK} = 0.83 \sim 1.00$, 为准铝质特征 (见表 2); 轻稀土元素富集的右倾型配分曲线 (见图 7a), Ba 、 K 、 La 、 Ce 、 Nd 的富集和 Th 、 Nb 、 Ta 、 Sr 、 Ti 的亏损以及铈的负异常 ($\delta\text{Eu} = 0.70 \sim 0.73$) 反映了岩体应该为岩浆高分异的产物 (见图 7b)。在花岗岩的构造环境判别图解 (图 8) 中, 样品全部落入在岛弧花岗岩范围内 (见图 8a—图 8d); 岩石微量元素呈现右倾的多峰谷模式, 与泥盆系岛弧环境火山岩的配分曲线相似 (见图 7b), 表明四顶黑山花岗岩体形成于岛弧环境。

在东天山地区泥盆纪—石炭纪岩浆活动广泛存在。李亚萍等^[29]在吐哈盆地东缘的四顶黑山超单元中获得黑云母花岗岩的侵位年龄为 $386 \text{ Ma} \pm 5 \text{ Ma}$; 朱彪等^[30]获得大南湖岩基的二长花岗岩的侵位年龄为 $383 \text{ Ma} \pm 9 \text{ Ma}$; 朱增伍等^[31]获得阿齐山地区钾长花岗岩的锆石 U-Pb 年龄形成于 $313.8 \text{ Ma} \pm 0.8 \text{ Ma} - 351.8 \text{ Ma} \pm 0.9 \text{ Ma}$ 之间, 认为岩体形成于岛弧环境; 李文铅等^[32]对彩霞山一带的彩中岩体进行了锆石 U-Pb 测年, 获得了黑云母二长花岗岩的形成年龄为 $316 \text{ Ma} \pm 4 \text{ Ma}$, 认为彩中岩体形成于岛弧环境; 吴昌志等^[33]测得红云滩花岗岩的形成年龄为 $328.5 \text{ Ma} \pm 9.3 \text{ Ma}$, 并推测在早古生代时觉罗塔格洋由北向南俯冲并形成了中天山岛弧, 而在晚古生代时该洋盆发生极性反转, 并由南向北俯冲于准-吐-哈地块之下。泥盆纪岩体大多数断续出露在康古尔塔格断裂两侧, 而石炭纪岩体则沿阿奇克库都克—沙泉子断裂呈线状分布。前人研究结果表明, 在泥盆纪—石炭纪期间, 东天山地区广泛存在洋壳

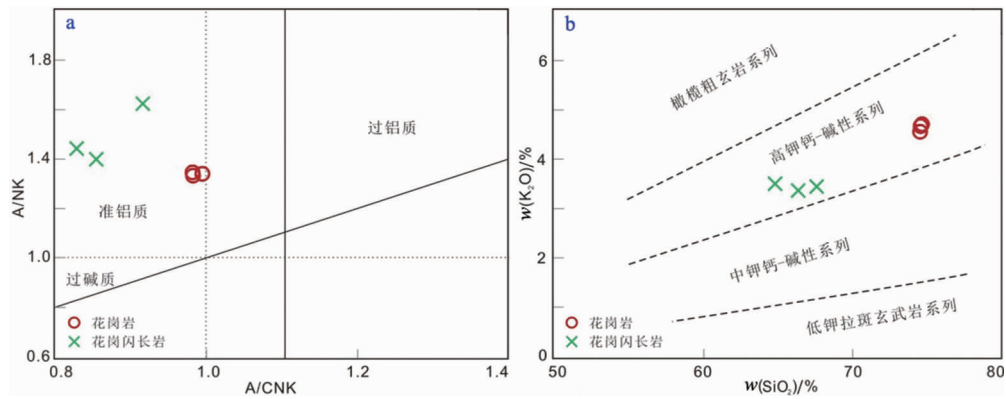
图 6 四顶黑山花岗岩主量元素岩石类型图解^[25]

Fig. 6 Major element diagrams for rock types of the sidingheishan granites in east Tianshan

a. A/CNK—A/NK 图解; b. $w(K_2O)$ — $w(SiO_2)$ 图解

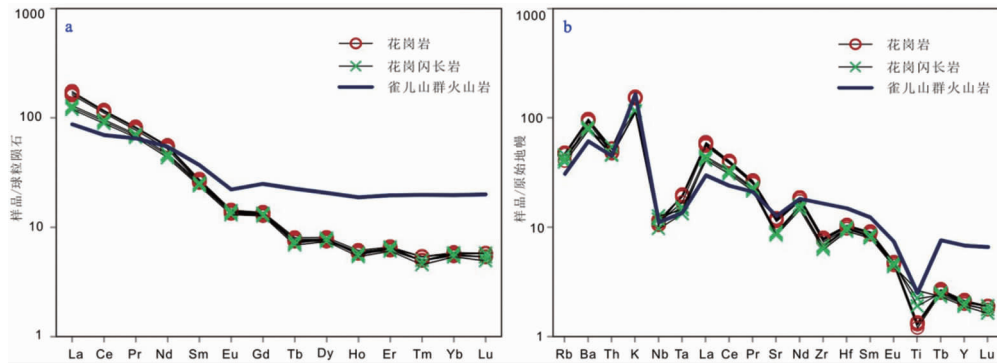


图 7 稀土元素球粒陨石标准化图解(a)和微量元素原始地幔标准化图解(b)

Fig. 7 Chondrite-normalized REE patterns (a) and PM-normalized trace elements spider diagram (b)

(泥盆系雀儿山群火山岩数据[26],球粒陨石标准数据[27],微量元素标准数据[28])

俯冲作用,并形成一系列岛弧花岗岩和火山岩^[26]。

东天山地区主要经历了三阶段演化过程,并形成不同的矿产:1)奥陶-泥盆纪吐哈盆地南缘活动大陆边缘,主要特点为洋陆并存的构造格局,并形成了从北往南 3 个“有限洋盆”,即卡拉麦里洋盆、中天山北缘洋盆和南天山洋盆^[34];该阶段形成了大量 VMS 型铜锌矿床和斑岩型铜矿床^[35]。2)晚泥盆世末—早石炭世初期洋壳向北俯冲造山,晚石炭世碰撞—伸展转折阶段^[36];该阶段形成大量的 VMS 型铜锌矿床、火山岩型铁(铜)矿床和自然铜矿床;3)晚石炭世末—晚二叠世为碰撞后伸展阶段,发育大量与幔源岩浆有关的岩浆铜镍硫化物矿床和与剪切活动有关的金矿床。

本次研究获得四顶黑山花岗岩体中花岗岩的锆石 U-Pb 年龄为 $380.4 \text{ Ma} \pm 3.7 \text{ Ma}$,形成于晚泥盆世,代表了岩体的结晶年龄;岩石具有岛弧花岗岩的

地球化学特征,属觉罗塔格洋向南俯冲过程中的产物。花岗岩呈捕虏体分布在四顶黑山辉长岩中(见图 3a),表明四顶黑山镁铁-超镁铁质岩体的形成时代应晚于晚泥盆世。

6 结语

本次研究通过对东天山四顶黑山花岗岩体的研究,取得以下认识:

(1)四顶黑山花岗岩体的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄为 $380.4 \text{ Ma} \pm 3.7 \text{ Ma}$,代表了岩体的结晶年龄,表明岩体形成于晚泥盆世。

(2)四顶黑山花岗岩体地表呈不规则圆状,岩石普遍具有花岗结构;岩石表现出高硅、高碱、富铝、低镁、低钛、低磷, Ba、K、La、Ce、Nd 富集, Th、Nb、Ta、

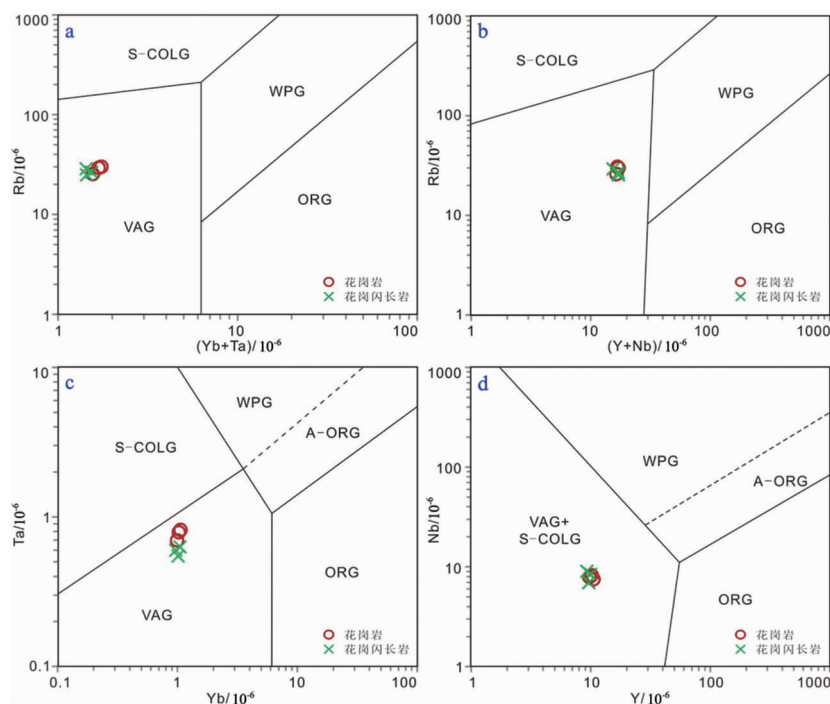


图 8 四顶黑山花岗岩微量元素判别图解

Fig. 8 The trace element discrimination diagrams for granites of the

Sidingheishan pluton

VAG. 火山弧花岗岩; ORG. 洋中脊花岗岩; WPG. 板内花岗岩;

S-COLG. 同碰撞花岗岩; A-ORG. 异常洋中脊花岗岩

Sr、Ti 亏损,以及轻稀土元素富集的右倾型配分曲线、铕负异常的岛弧型花岗岩特征。

(3) 四顶黑山花岗岩体形成于岛弧环境,属觉罗塔格洋向南俯冲过程中的产物。

(4) 四顶黑山花岗岩体两侧的镁铁-超镁铁质岩体的形成时代应晚于晚泥盆世。

致谢: 锆石测年过程中得到了中国科学院矿产资源研究所的侯可军副研究员的帮助,野外工作过程中得到了新疆有色 704 队三金柱总工程师的帮助,在此一并谢致。

参考文献:

- [1] 秦克章, 丁奎首, 许英霞, 等. 东天山图拉尔根、白石泉铜镍钴矿床钴、镍赋存状态及原岩含矿性研究[J]. 矿床地质, 2007, 26(1): 1-14.
- [2] 李春昱, 王荃, 刘雪亚, 等. 亚洲大地构造图及其说明书[M]. 北京: 地图出版社, 1982: 1-49.
- [3] 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.
- [4] 李锦轶, 王克卓, 李文铅, 等. 东天山晚古生代以来大地构造与矿产勘查[J]. 新疆地质, 2002, 20(4): 295-301.
- [5] 王润民, 刘德权, 殷定泰, 等. 新疆哈密土墩—黄山一带铜镍

硫化物矿床成矿控制条件及找矿方向的研究[J]. 矿物岩石, 1987, 7(1): 1.178.

- [6] 钱壮志, 孙涛, 汤中立, 等. 东天山黄山东铜镍矿床铂族元素地球化学特征及其意义[J]. 地质论评, 2009, 55(6): 873-884.
- [7] 孙涛, 钱壮志, 汤中立, 等. 新疆葫芦铜镍矿床锆石 U-Pb 年代学、铂族元素地球化学特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2010, 26(11): 3339-3349.
- [8] Qin K Z, Su B X, Sakyi P A, et al. SIMS zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of Ni-Cu-bearing mafic-ultramafic intrusions in eastern Tianshan and Beishan in correlation with flood basalts in Tarim Basin (NW China): constraints on a ca. 280 Ma mantle plume [J]. American Journal of Science, 2011, 311: 237-260.
- [9] Tang D M, Qin K Z, Li C, et al. Zircon dating, Hf-Sr-Nd-Os isotopes and PGE geochemistry of the Tianyu sulfide-bearing mafic-ultramafic intrusion in the Central Asian Orogenic Belt, NW China[J]. Lithos, 2011, 126: 84-98.
- [10] Sun T, Qian Z Z, Deng Y F, et al. PGE and isotope (Hf-Sr-Nd-Pb) constraints on the origin of the Huangshandong magmatic Ni-Cu sulfide deposit in the Central Asian Orogenic Belt, NW China [J]. Economic Geology, 2013, 108: 1849-1864.
- [11] Sun T, Wang D H, Qian Z Z, et al. A preliminary review of the metallogenic regularity of nickel deposits in China [J]. Acta

- Geologica Sinica (English Edition), 2015, 89(4): 1375–1397.
- [12] 刘德权, 陈毓川, 王登红, 等. 土屋—延东铜铅矿田与成矿有关问题的讨论[J]. 矿床地质, 2003, 22(4): 334–344.
- [13] 吴华, 李华芹, 陈富文, 等. 东天山哈密地区赤湖铜矿矿区斜长花岗斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄[J]. 地质通报, 2006, 25(5): 549–552.
- [14] 周涛发, 袁峰, 张达玉, 等. 新疆东天山觉罗塔格地区花岗岩类年代学、构造背景及其成矿作用研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(2): 478–502.
- [15] Yuan C, Sun M, Wilde S, et al. Post-collisional plutons in the Balikun area, East Chinese Tianshan: Evolving magmatism in response to extension and slab break-off [J]. Lithos, 2010, 119: 269–288.
- [16] Ma X, Shu L, Meert J G. Early Permian slab breakoff in the Chinese Tianshan belt inferred from the post-collisional granitoids [J]. Gondwana Research, 2013, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gr.2013.09.018>.
- [17] Mao Q, Xiao W, Fang T, et al. Geochronology, geochemistry and petrogenesis of Early Permian alkaline magmatism in the Eastern Tianshan: Implications for tectonics of the Southern Altaids[J]. Lithos, 2014, 190–191: 37–51.
- [18] 徐兴旺, 秦克章, 三金柱, 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): 2665–2676.
- [19] 代文军. 甘肃北山四顶黑山镁铁、超镁铁质岩地球化学特征及其地质意义[J]. 甘肃地质, 2010, 19(2): 8–17.
- [20] 李奇祥, 廖群安, 三金柱, 等. 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[J]. 地质科技情报, 2010, 29(4): 14–20.
- [21] 孙涛, 钱壮志, 汤中立, 等. 东天山四顶黑山层状岩体地质特征及成矿潜力分析[J]. 地球学报, 2012, 33(1): 38–48.
- [22] 王国强, 李向民, 徐学义, 等. 甘肃新疆交界地区四顶黑山镁铁质-超镁铁质岩的锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. 地质通报, 2012, 31(12): 2046–2051.
- [23] 施文翔, 廖群安, 李奇祥, 等. 东天山东段四顶黑山一带早泥盆世岛弧花岗岩年龄、特征及构造意义[J]. 新疆地质, 2015, 33(1): 21–26.
- [24] 侯可军, 李延河, 田有荣. LA-MC-ICP-MS 锆石微区原位 U-Pb 定年技术[J]. 矿床地质, 2009, 28(4): 481–492.
- [25] Peccerillo R, Taylor S R. Geochemistry of Eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, northern Turkey[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1976, 58: 63–81.
- [25] 陈玉良, 康文彬, 梅华平, 等. 甘肃北山北部红石山地区泥盆系雀儿山群火山岩地球化学特征及构造环境分析[J]. 西北地质, 2015, 48(4): 50–60.
- [27] Anders E, Grevesse N. Abundances of the elements; meteoritic and solar [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1989, 53: 197–214.
- [28] 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 (eds.). Magmatism in the ocean basins, Geological Society Publication, 1989, 42: 313–345.
- [29] 李亚萍, 孙桂华, 李锦轶, 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.
- [30] 宋彪, 李文铅. 吐哈盆地南缘克孜尔卡拉萨依和大南湖花岗岩质基岩锆石 SHRIMP 定年及其地质意义[J]. 新疆地质, 2002, 20(4): 342–345.
- [31] 朱增伍, 毛归来, 吴丽云, 等. 东天山阿齐山地区石炭纪汇宇岛弧花岗岩的厘定及意义[J]. 陕西地质, 2006, 24(1): 27–36.
- [32] 李文铅, 夏斌, 王克卓, 等. 新疆东天山彩中花岗岩体锆石 SHRIMP 年龄及地球化学特征[J]. 地质学报, 2006, 80(1): 43–52.
- [33] 吴昌志, 张遵忠, Khin Z, 等. 东天山觉罗塔格红云滩花岗岩年代学、地球化学及其构造意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(5): 1121–1134.
- [34] 吴华. 东天山地壳演化及内生金属成矿作用[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2006, 1–158.
- [35] 王京彬, 王玉往, 何志军. 东天山大地构造演化的成矿示踪[J]. 中国地质, 2006, 33(3): 461–467.
- [36] 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): 1103–1120.

LA-ICP-MS zircon U-Pb age of the Sidingheishan granitic pluton from east Tianshan, Xinjiang, China, and its geological implications

WANG Jing¹, WANG Xuewu^{2*}, DENG Mingguo¹, SUN Tao³

(1. Faculty of Land Resource Engineering, Kunming University of Science
and Technology, Kunming 650093, China;

2. No. 209 Geological Party, Geological Bureau of Yunnan Nuclear Industry,
Kunming, 650032, China;

3. School of Resource Environment and Earth Sciences, Yunnan University,
Kunming, 650091, China)

Abstract: The east Tianshan orogenic belt, Xinjiang, NW China, is located at east part of the north orogenic belt of Tianshan-Xinganling orogenic system in the south margin of the Central Asian Orogenic Belt (CAOB). The Jueluotage palaeocean crust subduction-related Devonian-Carboniferous granites are well developed here. The Sidingheishan granitic pluton in the eastern part of the Jueluotage tectonic belt, east Tienshan emplaced in Proterozoic shist and metavolcanic rocks, Ordovician metabasalt and Devonian volcanic-sedimentary rocks of the Que'rshan group and outcrops irregularly at surface. It is composed mainly of granite and granodiorite. The LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of the granite is 380.4 ± 3.73 Ma reflecting that it was formed at late Devonian period. Petrological and geochemical data show that the pluton is characterized by high silicon ($w(\text{SiO}_2) = 64.87\% \sim 74.71\%$), high alkali ($w(\text{K}_2\text{O}) = 3.35\% \sim 4.68\%$, $w(\text{Na}_2\text{O}) = 2.26\% \sim 3.85\%$), abundant aluminum ($w(\text{Al}_2\text{O}_3) = 11.82\% \sim 14.13\%$) and low MgO ($w(\text{MgO}) = 0.56\% \sim 2.12\%$), CaO ($w(\text{CaO}) = 1.68\% \sim 3.74\%$), TiO_2 ($w(\text{TiO}_2) = 0.26\% \sim 0.57\%$), P_2O_5 ($w(\text{P}_2\text{O}_5) = 0.01\% \sim 0.19\%$), ratio of A/CNK = $0.83 \sim 1.00$. enrichment of Ba, K, La, Ce, Nd, depletion in Th, Nb, Ta, Sr and Ti, and low δEu value ($\delta\text{Eu} = 0.70 \sim 0.73$). All of these show that the Sidingheishan granitic pluton formed in the island arc environment and related with the S-dipping subduction of the Jueluotage palaeocean. The mafic-ultramafic intrusion on either side of the granitic pluton should be formed after the late Devonian.

Key Words: Island arc granite; Sidingheishan; granite; east Tianshan; Xinjiang