

新疆西南天山霍什布拉克碱长花岗岩体岩石学及地球化学特征

——岩石成因及其构造与成矿意义

黄河 张招崇 张舒 张东阳

(中国地质大学 地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

摘要: 位于中国西南天山南缘的霍什布拉克岩体, 由碱长花岗岩和碱长花岗斑岩组成。岩石化学成分比较均一, 具有富 SiO_2 、 Al_2O_3 , 贫 $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$ 、 MgO 、 TiO_2 、 P_2O_5 等特点。AR - SiO_2 图解中, 样品均落入碱性区间, 在 A/CNK - A/NK 图解中, 样品主要为准铝质。微量元素总体表现为高场强元素 (HFSE) 相对于大离子亲石元素的富集以及高场强元素 P、Ti 和大离子亲石元素 Sr、Ba 的明显亏损。稀土元素中轻稀土元素相对于重稀土元素富集, Eu 的负异常十分明显。岩体含副矿物萤石, 并具有高 $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ 、低 CaO 等特征, 10 000 Ga/Al 的比值和 Zr + Ni + Sr + Y 的含量亦较高。岩石学和地球化学特征表明它为典型的 A1 型花岗岩, 是铁镁质地壳在低压条件下部分熔融的产物。岩体具有极低的 Ti 含量是由于源区部分熔融过程中大量磁铁矿的残留所致, 而较高的 Nb-Ta 含量则与岩浆中富含 F 有关。岩体产出于板内环境, 在构造岩体的形成上受到塔里木板块内部裂谷体系的影响。岩体对霍什布拉克铅锌矿成矿意义不大, 但具有 Sn 元素的成矿潜力。

关键词: 碱长花岗岩; 西南天山; 塔里木盆地; A 型花岗岩; 板内环境

中图分类号: P588.12⁺1; P618

文献标识码: A

文章编号: 1000-6524(2010)06-0707-12

Petrology and geochemistry of the Huoshibulake alkali feldspar granite pluton in Southwest Tianshan Mountains, Xinjiang: implications for petrogenesis, tectonic setting and mineralization

HUANG He, ZHANG Zhao-chong, ZHANG Shu and ZHANG Dong-yang

(State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resource, China University of Geosciences, Beijing 10083, China)

Abstract: Located in the south margin of the Chinese Southwest Tianshan area, the Huoshibulake alkali feldspar granite pluton is composed mainly of alkali feldspar granite with a small amount of alkali feldspar granite porphyry. All samples from the pluton are characterized by high values of SiO_2 and Al_2O_3 and low values of $\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}}$, MgO , TiO_2 , P_2O_5 . All samples are of alkaline affinities based on AR versus SiO_2 diagram, and chiefly fall into the metaluminous area in the A/CNK versus A/NK diagram. The primitive mantle normalized trace element diagrams are characterized by the enrichment of the HFSE relative to the LILE, and negative anomalies of Sr, Ba, P, Ti. The samples exhibit a relative enrichment of LREE as well as strong negative anomalies of Eu, contain fluorite and have high ratios of $\text{FeO}^{\text{T}}/\text{MgO}$ and low values of CaO. The alkali feldspar granite pluton is also characterized by high 10 000 Ga/Al ratios and Zr + Ni + Sr + Y values. Petrology and geochemistry of the pluton

收稿日期: 2010-05-09; 修订日期: 2010-08-08

基金项目: 国家科技支撑计划资助项目(2007BAB25B05); 111 计划资助项目(B07011); 斯伦贝谢-中国地质大学(北京)教育基金(SLBX0904)

作者简介: 黄河(1986-), 男, 硕士, 矿物学、岩石学、矿床学专业, E-mail: huanghecugb@126.com; 通讯作者: 张招崇, E-mail: zczhang@cugb.edu.cn

show that it belongs to typical A1-type granite, and is a product of the partial melting of the mafic lower crust in an intraplate environment. The low content of Ti results from a large quantity of residual magnetite minerals in the source area, and the high Nb-Ta value is caused by the enrichment of F in magmas. The tectonic setting is affected by the rift system within the Tarim Block. The pluton is rather insignificant in the study of the genesis of the Huoshibulake Pb-Zn deposit but displays Sn mineralization potential.

Key words: alkali feldspar granite; Southwest Tianshan; Tarim Block; A-type granite; intraplate environment

横贯乌兹别克斯坦、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦直至我国新疆境内的中亚南天山位于著名的中亚造山带(CAOB)南缘,是一个由古生代陆壳残片、蛇绿岩套、岛弧杂岩体等组成的复杂的陆-陆碰撞造山带,具有中亚造山带典型的多块体镶嵌和地壳双向增生等特征(Zhao *et al.*, 2000; 高俊等, 2006; 韩宝福等, 2006; Zhang *et al.*, 2008; Zhou *et al.*, 2008; 左国朝等^①)。大致以塔拉斯-费尔干纳右旋走滑断裂为界,中亚南天山可分为东、西两段,延伸至中国境内的部分主要在该断裂的东侧,国内文献一般称为西南天山(李锦轶等, 2005)。中国西南天山位于卡拉库姆-塔里木板块与哈萨克斯坦-准噶尔板块的汇聚地带(图 1a),依据何国琦等(2001)以及左国朝等^①,这两个板块以中-南天山缝合带(中天山南缘断裂带)为界。在碰撞发生之前,两大板块被古亚洲洋(亦有文献称为南天山洋、古突厥斯坦洋、土库曼斯坦洋等)所分隔。古亚洲洋出现于早古生代,使得西南天山地区进入多陆块(微板块)及多岛弧古亚洲洋演化阶段,经历了多期多阶段演化及俯冲、闭合、缝合过程,至晚古生代最终闭合消失,形成了现今由北向南断续展布的早、中、晚 3 条时代逐渐变新的蛇绿混杂岩带。中泥盆世晚期到早石炭世,全区洋区最终被俯冲消减而殆尽(高俊等, 2006; Qian *et al.*, 2009; Yang and Zhou, 2009; 康健丽等, 2010; 黄河等, 2010)。晚石炭世和二叠纪为该区域岩浆作用最强烈的时期(姜常义等, 1999; Konopelko *et al.*, 2007; 汪超等, 2007; 张招崇等, 2009)。晚二叠世塔拉斯-费尔干纳右旋走滑断层经历强活动期,断层西侧造山带发生进一步的向北逆掩推覆。中生代西南天山地区进入板内陆块构造伸展与构造推覆的交换期。新生代该地区则受到印度板块与欧亚大陆碰撞效应,西南天山再一次发生汇聚、走滑变动而抬升,造就了现今的高耸的山峰、丘陵、盆地相间的地貌景

观(左国朝等^①; 课题组未发表资料)。

值得注意的是,中亚南天山带蕴含丰富的金、钨、锡、钼、铜、铅、锌、汞、锑矿产资源,其中乌兹别克斯坦和吉尔吉斯斯坦境内大型金矿床星罗棋布,具有“金腰带”的美称,乌兹别克斯坦境内的穆龙套金矿床储量超过 5 000 吨,是世界顶尖的超大型金矿(蔡宏渊等, 1993; Berggaut *et al.*, 1996; Wilde *et al.*, 2001; 毛景文等, 2002; 张招崇等, 2009)。通过对比境内外资料,发现南天山造山带晚古生代大规模成矿事件与同时期的岩浆作用有着良好的时空耦合关系(蔡宏渊等, 1995a, 1995b; 作者及所属课题组未发表数据),包括著名的穆龙套金矿床深部也存在隐伏的岩体。一般而言,岩浆作用受到构造单元的控制,霍什布拉克碱长花岗岩体位于塔里木-卡拉库姆北缘陆缘活动带和塔里木-卡拉库姆陆块两个次级构造单元的结合部,其构造属性尚不清楚,岩体紧邻著名的霍什布拉克铅锌矿矿体,二者之间的关系历来存在争议。对霍什布拉克岩体的研究有助于揭示霍什布拉克铅锌矿床的构造属性和矿床成因,并对研究晚古生代西南天山构造演化有一定的意义。

1 研究区地质背景

霍什布拉克碱长花岗岩岩体位于新疆阿图什市境内,大地构造位置上属泽拉夫尚-南天山-霍拉山陆缘裂谷南缘,紧邻柯坪陆缘浅海盆(图 1a),著名的霍什布拉克大型铅锌矿矿床位于岩体北部,距岩体直线距离约 4 km。霍什布拉克地区断裂十分发育,总体构造线方向呈北东东向展布。研究区内地层发育完全,从寒武系到新生代地层都有出露,其中,晚古生代地层主要有:石炭系巴什索贡组,出露于研究区南东部,由厚-巨厚层状灰岩夹灰质砾岩组成,厚度达千米,其倾向南东,倾角 $45^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。其北西面与

① 左国朝,刘义科,张招崇等. 2010. 中亚地区中、南天山造山带构造演化及成矿背景分析. 现代地质(修改中).

二叠纪地层之间为断层接触，附近岩石较为破碎，褐铁矿化现象较普遍，并呈明显的条带状展布。在其与花岗岩接触部位白色碳酸盐化(图中碳酸岩脉)发育，其厚度达80~150 m。石炭系喀拉冶加尔组，分布于研究区北部，是研究区分布最广泛的地层。该层岩石成分较简单，为暗灰色薄层状灰质细砂岩、砂质泥质和页岩夹灰岩，受区域上构造作用，岩石较为破碎，局部形成明显的破碎带。倾向330°~360°，倾角30°~60°，厚度大于1000 m；石炭系康克林群，位于研究区东南部，为一套灰岩，与上覆的二叠系别良金群角度不整合。二叠系别良金群，位于研究区中部及南部，岩性为杂色钙质泥岩、粉砂岩、生物碎屑

灰岩与灰质泥岩、页岩互层，倾向变化较大，倾角约80°。二叠系库铁热克群，位于研究区中部，岩性为灰色、绿灰色、紫红色泥质或砂质泥质页岩，灰黑色薄-中层状砂岩、粉砂岩。岩层倾向北北西，倾角在50°~85°之间，靠近岩体附近的酸性岩墙也较为发育。

研究区岩浆岩比较发育，除霍什布拉克岩体外，规模较大的岩体还有古尔拉勒岩体和克兹尔克兹岩体，规模较小的有塔木岩体。根据前人的研究结果(杨富全等，2001；新疆地矿局，内部报告^①)，各岩体形成的时代接近，均为二叠纪花岗岩岩体，年龄为260 Ma左右，且岩性和岩石化学特征相近，应为同源岩浆演化的不同侵入体。

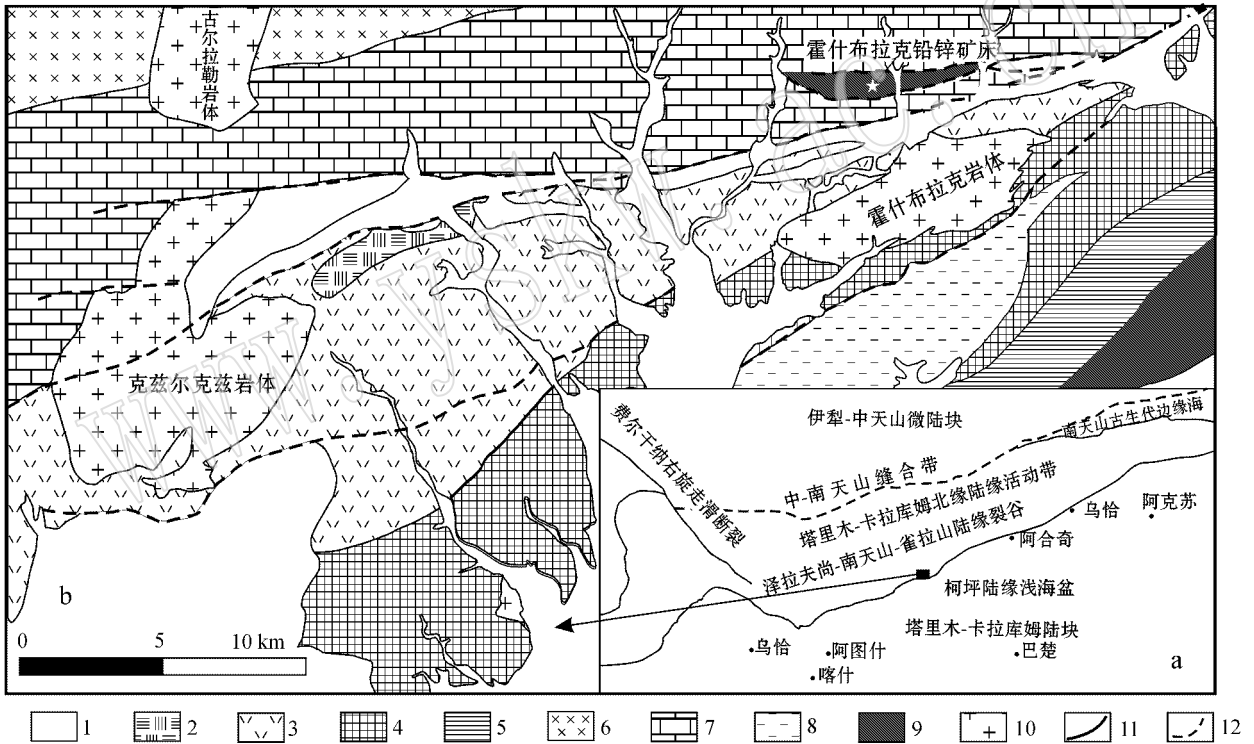


图1 中国西南天山地区构造略图(a,据课题组未发表资料简化)和霍什布拉克岩体地质略图(b,据新疆地矿局第八地质大队相关资料^①简化)

Fig. 1 Sketch tectonic map of Southwest Tianshan area (a, after unpublished geological data) and sketch geological map of the Huoshibulake pluton (b, after No. 8 Party of Xinjiang BGMS^①)

- 1—新生代地层与沉积物；2—白垩系；3—二叠系库铁热克群；4—二叠系别良金群；5—石炭系康克林群；6—石炭系萨斯克布拉克组；7—石炭系喀拉冶加尔组；8—石炭系巴什索贡组；9—寒武-泥盆纪地层；10—碱长花岗岩岩体；11—地质界线；12—断层
- 1—Cenozoic strata and sediments；2—Cretaceous；3—Permian Kutiereke Group；4—Permian Bieliangjin Group；5—Carboniferous Kangkelin Group；6—Carboniferous Sasikebulake Formation；7—Carboniferous Kalayejaer Formation；8—Carboniferous Bashigongsuo Formation；9—Cambrian-Devonian；10—syenogranite pluton；11—geological boundary；12—fault

① 新疆地矿局第八地质大队，2001. 新疆阿图什市霍什布拉克一带地质矿产图. 内部资料.

2 岩体地质及岩相学

霍什布拉克碱长花岗岩岩体在平面上呈椭圆形,其长轴的延长线方向与构造线基本一致,为北东东向。岩体出露面积为 22.5 km^2 ,与围岩呈侵入接触关系(图 1b)。侵入的围岩地层为二叠系库铁热克群、二叠系别良金群和石炭系巴什索贡组。岩体与地层接触界线清晰,有与岩体相连的酸性岩墙侵入到岩体附近的地层中。在岩体与地层外接触带发育角岩化和夕卡岩化,并伴随有锡、钼、铁、金、锌、铜等矿化(杨富全等, 2001),其中,铜矿化最为常见,蚀变晕宽度达到 $500 \sim 2500 \text{ m}$ 。岩体形成后受构造运动的影响,平行六面体的节理或球状节理十分常见,矿物受风化蚀变作用明显。沿节理有萤石电气石石英脉充填,在岩体边缘处尤其明显。

霍什布拉克岩体总体上矿物成分比较均一,几乎全部由碱长花岗岩所组成,仅在岩体西部发现规模很小的花岗斑岩。

碱长花岗岩的风化面呈肉红色,新鲜面为黄褐色,中细粒花岗结构,块状构造。主要造岩矿物为钾长石($70\% \sim 75\%$,体积分数,下同)和石英($20\% \sim 25\%$),斜长石含量很低($< 5\%$),此外,还偶见钠质角闪石、黑云母、次生白云母等。斜长石呈半自形板状,聚片双晶发育,粒度为 $0.5 \sim 1 \text{ mm}$;碱性长石为正条纹长石,有明显的高岭土化,呈他形粒状,粒度变化较大,在 $0.5 \sim 3 \text{ mm}$ 之间。副矿物中萤石、磁铁矿、锆石、榍石、电气石、黄铁矿等都比较常见,其中萤石呈颗粒状填充在造岩矿物间隙中。

花岗斑岩呈褐色,为斑状结构,块状构造,斑晶为钾长石与石英,占到矿物含量的 50% 左右,基质为细粒结构或微粒结构,包括钾长石、斜长石、石英等。

根据矿物形态及相互间的穿插关系,岩体中造岩矿物形成的先后顺序为:角闪石/黑云母-斜长石-钾长石-石英。

3 岩石化学

对样品在偏光显微镜下进行详细的薄片检查后,选取了 9 件具有代表性且风化蚀变程度相对较低的样品进行全岩地球化学分析。所分析样品均是在切除表皮风化物后洗净晾干,在玛瑙乳钵中研磨至 200 目粉末样,其中,主量元素分析在中国科学院

地质与地球物理研究所岩矿分析实验室完成,分析方法为 XRF。微量元素和稀土元素分析在中国地质科学院国家地质实验测试中心完成,分析方法为 ICP-MS。具体方法可见 Zhang 等(2008)。分析结果列于表 1。

3.1 主量元素

从表 1 中可以看出,霍什布拉克碱长花岗岩岩体具有较高的 SiO_2 含量,所有 9 个样品 SiO_2 含量均大于 75% ,平均值为 76.67% 。 Al_2O_3 含量亦较高($11.46\% \sim 12.45\%$,平均含量为 12.04%)。全碱含量中等($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 7.85\% \sim 8.72\%$),相对富钾($\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O} = 1.07 \sim 1.58$)。贫铁($\text{Fe}_2\text{O}_3^{\text{T}} = 0.96\% \sim 1.92\%$)、锰($\text{MnO} = 0.01\% \sim 0.06\%$)、镁($\text{MgO} = 0.03\% \sim 0.17\%$)、磷($\text{P}_2\text{O}_5 \leq 0.01\%$)和钛($\text{TiO}_2 = 0.04\% \sim 0.06\%$)。在哈克图解中(图略), SiO_2 与其他主量元素均不显示明显的相关性。根据 AR-SiO₂ 图解(图 2a),所有样品都落入碱性区域,因而整个

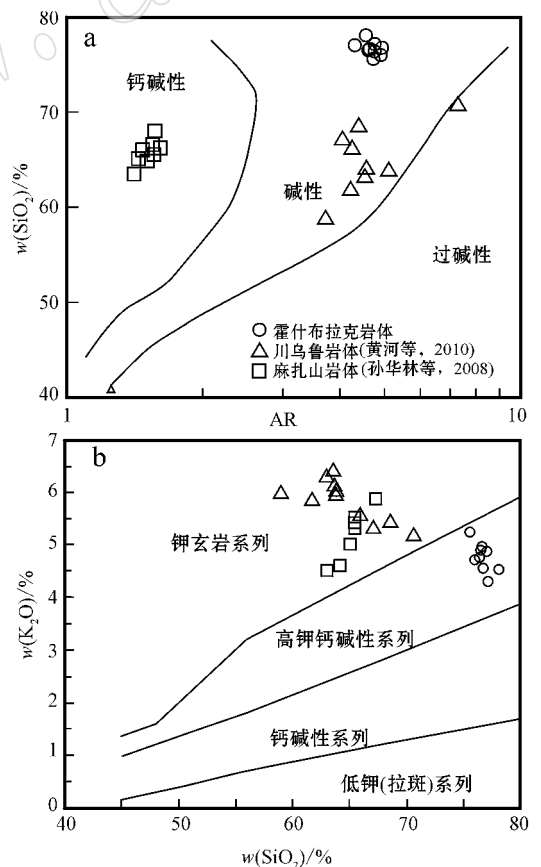


图 2 霍什布拉克岩体 SiO_2 -AR 图解(a, 底图据 Wright, 1969)和 $\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ 图解(b, 底图据 Ewart, 1982)
Fig. 2 Diagram of SiO_2 versus AR (a, after Wright, 1969) and diagram of K_2O versus SiO_2 (b, after Ewart, 1982) for the Huoshibulake pluton

表 1 霍什布拉克岩体主量($w_B/\%$)和微量元素($w_B/10^{-6}$)分析结果

Table 1 Major ($w_B/\%$) and trace ($w_B/10^{-6}$) element compositions of the Huoshibulake pluton

	YTHS-03	YTHS-04	YTHS-08	YTHS-09	YTHS-12	YTHS-14	YTHS-18	YTHS-20	YTHS-21
SiO ₂	76.42	77.15	78.05	75.96	76.50	77.05	76.65	75.52	76.71
TiO ₂	0.06	0.05	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Al ₂ O ₃	12.29	12.27	11.46	12.08	12.00	11.82	11.99	12.45	12.01
FeO	1.22	0.92	0.31	1.01	0.87	0.54	0.61	0.16	0.74
Fe ₂ O ₃	0.51	0.40	0.76	0.37	1.05	0.42	0.77	0.82	0.58
MnO	0.02	0.02	0.06	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
MgO	0.03	0.03	0.11	0.06	0.13	0.17	0.12	0.05	0.08
CaO	0.60	0.48	0.79	0.61	0.53	0.93	0.56	0.95	0.54
Na ₂ O	3.67	4.03	3.31	3.69	3.18	3.08	3.16	3.49	3.78
K ₂ O	4.75	4.30	4.54	4.71	4.90	4.88	4.96	5.23	4.56
P ₂ O ₅	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
LOI	0.58	0.54	1.02	0.88	0.74	1.06	0.78	0.96	0.64
TOTAL	100.16	100.19	100.46	99.45	99.97	100.02	99.67	99.69	99.71
Y	50.20	108.00	110.00	66.70	65.20	124.00	47.10	70.60	49.40
La	25.60	41.30	54.30	50.70	56.30	107.00	50.50	92.80	35.00
Ce	70.60	78.20	96.70	88.20	95.90	208.00	72.50	156.00	46.90
Pr	5.66	9.81	12.70	10.70	21.90	23.90	10.60	19.00	6.95
Nd	18.50	33.10	44.90	35.80	39.30	80.10	36.60	63.50	23.40
Sm	4.06	8.09	10.10	7.37	8.66	16.20	7.48	11.70	5.17
Eu	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	0.07	<0.05
Gd	4.50	9.14	11.30	7.75	8.68	15.10	6.69	11.20	5.50
Tb	0.90	1.90	2.15	1.51	1.62	2.78	1.24	1.77	1.04
Dy	6.36	13.20	14.20	9.52	10.10	16.50	7.28	9.76	6.76
Ho	1.46	2.94	3.08	2.05	2.10	3.35	1.54	1.95	1.46
Er	5.04	9.74	9.46	6.44	6.56	10.20	5.07	6.41	4.94
Tm	0.83	1.59	1.40	1.00	0.99	1.50	0.81	0.96	0.81
Yb	6.22	11.20	9.25	6.45	7.00	9.76	5.77	6.58	5.43
Lu	0.99	1.72	1.35	0.97	1.06	1.47	0.86	1.04	0.83
Rb	569.00	531.00	385.00	391.00	469.00	418.00	412.00	261.00	376.00
Sr	3.21	3.68	13.80	5.64	13.10	12.90	8.69	8.61	3.35
Ba	5.11	3.43	19.00	10.00	12.10	11.80	7.07	15.90	5.23
Th	34.70	48.30	30.00	23.40	34.00	58.40	25.20	25.10	18.20
U	6.93	4.49	8.85	13.60	4.11	3.79	5.29	5.51	5.33
Nb	201.00	158.00	134.00	123.00	135.00	134.00	145.00	60.60	162.00
Ta	12.60	8.69	7.66	7.73	8.51	7.37	9.65	4.06	7.39
Zr	291.00	202.00	220.00	229.00	250.00	179.00	238.00	364.00	263.00
Hf	17.80	12.30	10.90	12.10	12.90	10.30	12.90	15.60	13.50
Sc	0.88	1.58	1.59	1.27	2.30	1.43	1.71	1.65	1.07
Cr	0.43	3.22	1.51	0.68	0.50	0.42	1.06	0.39	0.72
Co	0.25	0.18	0.25	0.14	0.15	0.17	0.12	0.17	0.19
Ni	0.56	1.23	0.63	0.07	<0.05	0.32	<0.05	0.28	0.20
Ga	34.50	33.80	29.90	29.90	31.20	33.60	29.40	33.50	32.50
Pb	16.10	17.20	31.30	97.90	21.80	12.20	15.60	4.15	5.50
Zn	21.90	21.30	147.00	171.00	42.20	29.40	34.40	8.57	22.20
W	7.53	4.07	6.12	6.21	16.10	5.94	11.00	2.95	10.90
Mo	0.32	0.35	4.62	1.03	1.19	0.44	1.27	0.95	0.56
Sn	6.50	3.92	8.17	10.50	12.00	9.39	9.25	6.39	3.07
Cu	2.45	2.98	22.80	39.20	19.40	9.43	11.10	3.43	11.60

岩体应属于碱性岩岩体。在 K₂O - SiO₂ 图解中(图 2b)所有样品都投点在高钾钙碱性系列。铝饱和指数中等偏高(A/CNK = 0.95 ~ 1.04),在 A/CNK -

A/NK 图解中(图 3),样品分布范围比较集中,大多数样品落入准铝质区域,少数样品为弱过铝质。

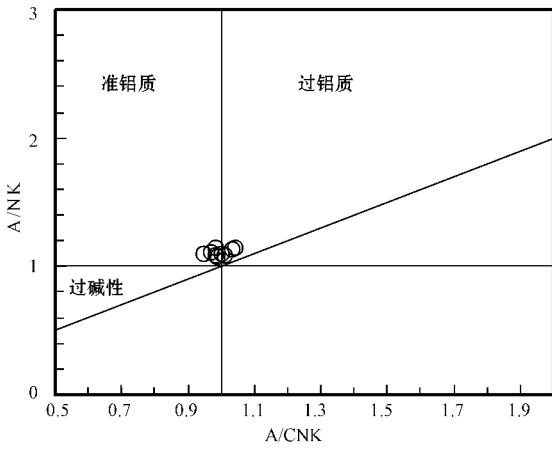


图 3 霍什布拉克岩体 A/NK - A/CNK 图解
Fig. 3 Diagram of A/NK versus A/CNK for the
Huoshibulake pluton

3.2 微量元素及稀土元素

所有 9 个样品均表现出比较一致的微量元素特征,高场强元素(HFSE,如 Th、U、Nb、Ta、Zr、Hf、REE 等)相对于大离子亲石元素(LILE)具有明显富集的特征,而大离子亲石元素中,明显亏损 Ba、Sr 而富集 Rb、K。在微量元素原始地幔标准化蛛网图中(图 4a),Ba、Sr、P、Ti 具有明显的负异常。样品的

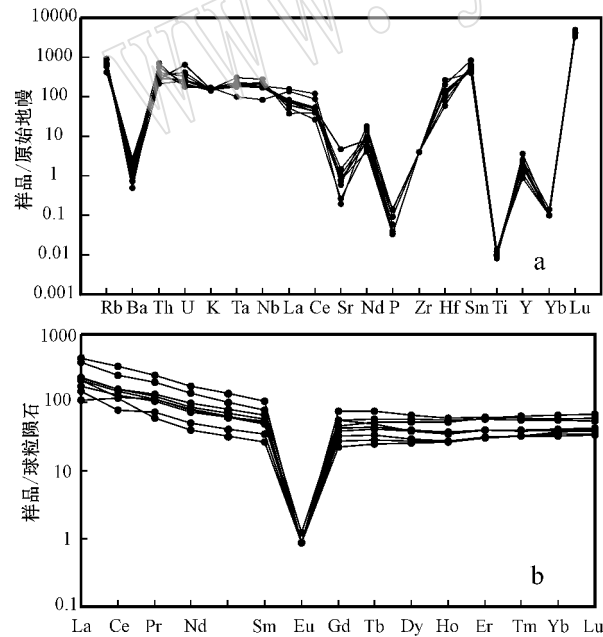


图 4 霍什布拉克岩体微量元素原始地幔标准化蛛网图(a)和稀土元素球粒陨石标准化图解(b)(标准化数据引自 Sun 和 McDonough, 1989)

Fig. 4 Primitive-mantle normalized trace element patterns (a) and chondrite-normalized REE patterns for the Huoshibulake pluton (b) (normalized value from Sun and McDonough, 1989)

Nb/Ta 值变化范围在 14.93~21.92, $10\ 000\ Ga/Al = 4.63\sim 5.37$, Rb/Sr 和 Rb/Ba 值较大且变化范围大。此外,所有样品都不具有明显的 Nb-Ta 负异常。

岩体稀土元素总体含量较高,其 ΣREE 值介于 $144.2\times 10^{-6}\sim 495.9\times 10^{-6}$ 之间。在稀土元素球粒陨石标准化图解中(图 4b)均表现为较为平缓、轻微右倾的海鸥型分布模式。轻稀土元素相对重稀土元素富集。LREE/HREE(3.32~8.64)和 $(La/Yb)_N$ (2.65~10.12) 比值变化不大,暗示各样品都是岩浆演化到同一阶段的产物。Eu 的负异常非常明显,有 8 个样品 Eu 的含量低于检测限(0.05×10^{-6} ,作标准化图解假设含量为该值),这与西南天山地区其他岩体相比,具有较大的不同,绝大多数采自西南天山地区的中酸性侵入岩样品都不具有如此强烈的 Eu 的负异常(姜常义等,1999;汪超等,2007;张招崇等,2009;黄河等,2010)。

4 讨论

4.1 岩石成因类型

尽管存在一些不足,但 ISMA 花岗岩成因分类方案无疑仍然是目前运用最广泛的分类方案,在揭示岩石物源、成因及其构造背景方面具有重要意义(Chappell and White, 1974; Loiselle and Wones, 1979; Pitcher, 1983, 1993; Creaser *et al.*, 1991; King *et al.*, 1997; 袁忠信, 2001; 吴福元等, 2007)。岩体中萤石作为副矿物非常常见,这与 A 型花岗岩特征相一致。同时,岩体具有高 FeO^T/MgO (基本在 8 以上,最高为 51.89) 低 CaO 含量均低于 1.8% 的特征,全碱的含量也处于 7.85%~8.72% 之间,均属于 A 型花岗岩的常见分布范围(Eby, 1990)。在微量元素和稀土元素特征上,霍什布拉克岩体具有富集 REE (Eu 除外), Th、U、Zr、Nb 和 Ta, 强烈亏损 Ba、Sr、Eu、P、Ti, 相容元素如 Cr、Co、Ni 等含量较低,这些特征与 A 型花岗岩也非常一致。

一般认为,Whalen 等(1987)提出的一套判别图解可以比较好地将 A 型花岗岩和高分异 I 型或 S 型花岗岩区分开来。从图 5 和图 6 可以看到,所有样品均投点落入 A 型花岗岩的范围内。

尽管 A 型花岗岩概念再提出时被限定为非造山环境的花岗岩,但现在大多数学者倾向将 A 型花岗岩再细分为 A1 型和 A2 型。其中 A1 型是在板内岩浆作用或大陆裂谷体系期间侵入, A2 型则产生于陆

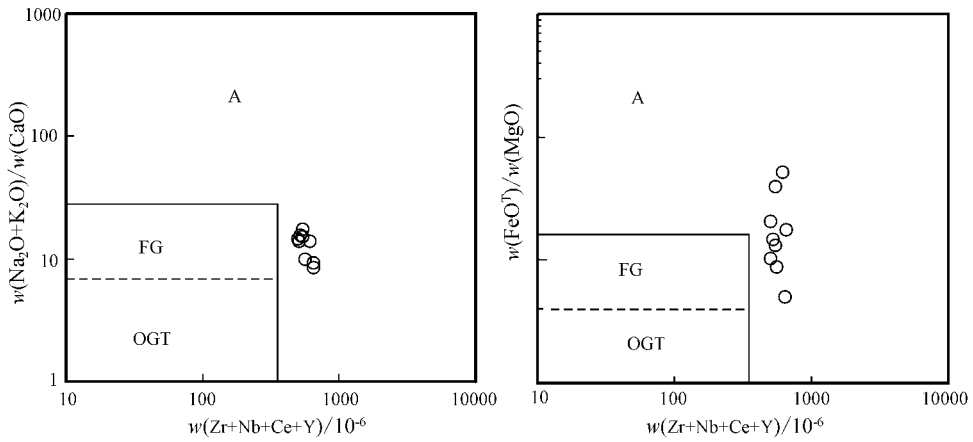


图 5 霍什布拉克岩体 Zr + Nb + Ce + Y 和 $(Na_2O + K_2O)/CaO$ 、 FeO^T/MgO 图解 (底图据 Whalen 等, 1987)
 Fig. 5 Diagrams of Zr + Nb + Ce + Y versus $(Na_2O + K_2O)/CaO$ and FeO^T/MgO for the Huoshibulake pluton (after Whalen *et al.*, 1987)

A—A 型花岗岩；FG—分异型 I、S 或 M 型花岗岩；OGT—未分异的 I、S 或 M 型花岗岩
 A—A-type granite；FG—M + I + S-type fractional granite；OGT—non-fractional M + I + S-type granite

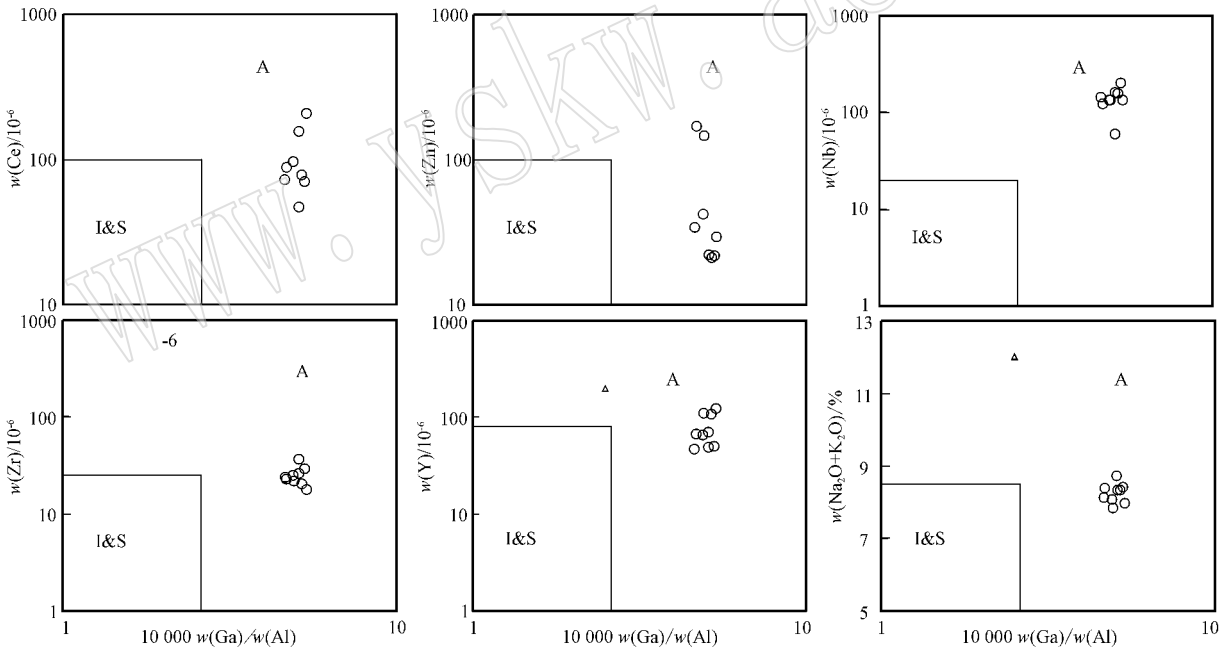


图 6 霍什布拉克岩体 $10000 Ga/Al$ -Ce、Zn、Nb、Zr、Y 和 $Na_2O + K_2O$ 图解 (底图据 Whalen 等, 1987)
 Fig. 6 Diagrams of $10000 Ga/Al$ versus Ce, Zn, Nb, Zr, Y and $Na_2O + K_2O$ for the Huoshibulake pluton (after Whalen *et al.*, 1987)

—陆碰撞造山的构造背景下。一般用 Eby (1990) 一组图解加以区分, 霍什布拉克岩体样品都落入 A1 型区域 (图 7) 表明其形成于板内环境。

4.2 源区特征

对于 A 型花岗岩的成因, 目前主要认为有 4 种模式: ① 幔源岩浆直接结晶分离 (Loiselle and

Wones, 1979; Crrrie *et al.*, 1986); ② 幔源岩浆混染地壳物质后分离结晶 (Frost and Frost, 1997); ③ 长英质地壳物质重熔 (Collins *et al.*, 1982; Anderson, 1983; Harries and Marriner, 1980); ④ 铁镁质底侵基性下地壳重熔 (Trua *et al.*, 1999; 孙林华等, 2008)。

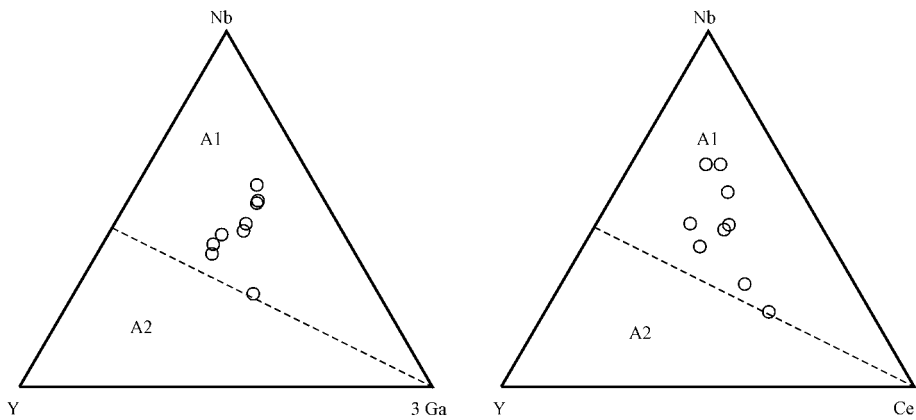


图 7 霍什布拉克岩体的 Nb - Y - 3Ga 和 Nb - Y - Ce 图解(底图据 Eby, 1990)

Fig. 7 Nb - Y - 3 Ga and Nb - Y - Ce diagrams for the Huoshibulake pluton

研究区的库铁热克群地层中,发现有少量基性岩墙,但综合考虑,对于霍什布拉克岩体而言,前两种成因模式基本可以排除。首先,该区域所有大型岩体均为 SiO_2 含量在 65% 以上的酸性岩(新疆地矿局,内部报告^①),而基性岩墙不仅数量极少,且成分均为 SiO_2 含量很低的辉绿岩,研究区缺乏中性岩的过渡,地球化学间隙的存在暗示酸性岩不可能是从基性岩直接分异而来(孙林华等, 2008);其次,霍什布拉克岩体样品在哈克图解中, SiO_2 与其他主量元素均未显示相关性, LREE/HREE 和 $(\text{La}/\text{Yb})_N$ 的值变化不大,这些特征也暗示了岩体形成演化的过程中没有发生强烈的分离结晶作用。另一方面,岩体样品不具有明显的 Nb、Ta 负异常,且强不相容元素 La/Nb 、 Zr/Nb 和 Ta/Nb 的比值远低于整体地壳的值,暗示了岩体成因并非与长英质地壳物质的重熔有关(模式③)。

研究区的辉绿岩岩墙与霍什布拉克岩体侵入在同一套地层中,形成时代略早于岩体,暗示二者之间有着成因上的联系。孙林华等(2008)通过对巴楚县麻扎山正长岩岩体的研究,认为晚二叠世西南天山地区 A1 型花岗岩为底侵的基性下地壳重熔后叠加一定程度结晶分异的产物。霍什布拉克岩体与麻扎山岩体在形成年代、构造背景、成因类型等方面均具有一定的可比性。综合考虑,霍什布拉克岩体的形成应该为铁镁质底侵基性下地壳重熔(模式④所致)。

由于研究区基性岩地球化学资料的匮乏,本文无法对形成霍什布拉克岩体的岩浆作用过程进行量化的模拟,但可以利用样品的微量元素特征进行定性的探讨。样品均为 A1 型花岗岩,加之所有样品中含水矿物都非常少见,暗示源区的部分熔融作用发生在干的或不饱和水体系中。所有样品均具有低 Sr 和强烈的 Eu 的负异常,暗示源区存在大量斜长石的残留,极低的 Sr/Yb 比值暗示了一个非常低压的熔融环境,这也与 A 型花岗岩特征一致。较高的 Nb-Ta、Zr-Hf 和 Sm 的含量,暗示源区基本没有角闪石残留,因而,源岩残留应为辉长岩相。

值得注意的是,所有样品都表现出极低的 Ti 含量和非常高的 Nb-Ta 含量,二者间发生“脱偶”现象,这在花岗岩中比较少见。据 Nielsen 等(1994)、刘永胜等(2005)的论述,岩浆体系中 Ti 与 Nb-Ta 的非耦合性与磁铁矿在部分熔融过程中的地球化学行为密切相关,由于 Ti 在磁铁矿中的分配系数远高于 Nb-Ta,磁铁矿矿物与熔体相的分离会造成 Ti 的含量迅速降低,而对 Nb-Ta 含量影响不大。霍什布拉克岩体 TiO_2 的含量极低,单纯地通过磁铁矿的分离结晶也难以达到如此低的 TiO_2 含量,因而,最有可能是源区部分熔融过程中即有大量的磁铁矿进入残留相。而据赵振华等(2008)的研究,花岗岩中 Nb-Ta 的富集与岩浆形成后的分异演化密切相关,特别是熔体中 F 的存在,会大大加速 Nb-Ta 的富集。Xiong 等(1999)认为 F 在残留岩浆熔体中富集会显著改变

① 新疆地矿局第二地质大队, 2002. 霍什布拉克铅锌矿补勘及外围矿产普查地质报告.

岩浆熔体结构,降低 Nb、Ta 的晶体/熔体分配系数,抑制富 Nb-Ta 矿物的生长和晶出。霍什布拉克岩体含一定量的萤石和电气石脉,这些特征暗示了岩体是富 F 的。杨富全等(2001)也报道该岩体具有富 F 的特征,这可能是造成霍什布拉克岩体富集 Nb-Ta 的原因。

4.3 构造意义

二叠纪是西南天山地区发生大规模岩浆事件的年代。杨富全等(2001)通过单颗粒锆石 U-Pb 同位素稀释法测得霍什布拉克岩体的形成年代为 261.5 ± 2.1 Ma,此年龄与西南天山地区其他二叠纪中酸性侵入岩体相比明显较晚(高俊等,2006;王超

等,2007;张招崇等,2009;黄河等,2010)。而从成因类型的角度,霍什布拉克岩体与本区大多数后碰撞岩浆岩亦有很大区别:本区大多数中酸性侵入岩为 I 型或 S 型,姜常义等(1999)和黄河等(2010)研究的南天山花岗岩类中,有部分岩石属于具有 A2 型花岗岩特征的 I 型花岗岩,但总体上都产出于陆-陆碰撞有关的造山环境。而据孙华林等(2008)和张招崇等(2009),巴楚县境内麻扎山正长岩体与霍什布拉克岩碱长花岗岩体同属 A1 型花岗岩,产出于非造山环境。将霍什布拉克岩体样品在 Nb-Y 和 Rb-Y+Nb 图解上投点,均落入板内花岗岩区域(图 8)。

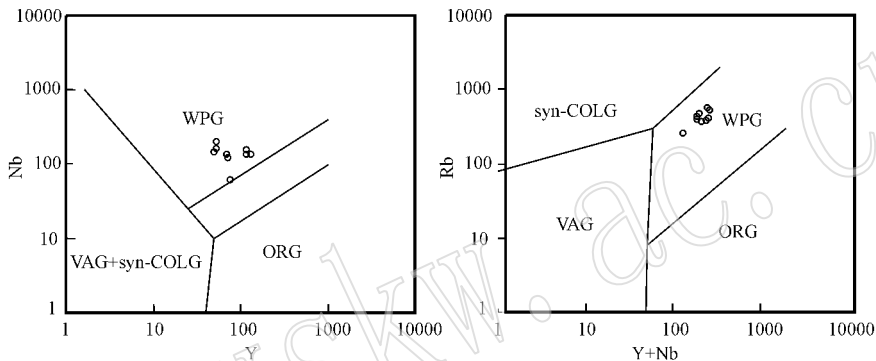


图 8 Yb-Nb 和 Yb+Nb-Rb 构造判别图(据 Pearce 等,1984)

Fig. 8. Discrimination diagrams of Yb versus Nb and Yb+Nb versus Rb (after Pearce *et al.*, 1984)

WPG—板内花岗岩;VAG—火山弧花岗岩;ORG—洋中脊花岗岩;Syn-COLG—同造山花岗岩

WPG—intraplate granite;VAG—volcanic arc granite;ORG—oceanic ridge granite;Syn-CLOG—syn-collisional granite

综上所述,霍什布拉克岩体产出于与西南天山后碰撞花岗岩不同的构造体系中。根据地球物理资料,二叠纪时塔里木盆地和南天山造山带已经具有了近一致的区域重力场和磁场(滕吉文,1991,转引自孙华林等,2008)。霍什布拉克岩体位于南天山造山带与塔里木盆地北缘的界线附近,因而在西南天山地区进入板内阶段后,研究区的岩浆作用过程受制于塔里木盆地发生于二叠纪的大火成岩省事件,属于软流圈物质上涌所诱发的陆内裂谷体系(杨树锋等,1996,2005;孙华林等,2008;张招崇等,2009)。

如果以上结论成立,则对于约束西南天山地区晚古生代构造演化具有一定的意义。首先,如果晚二叠世时南天山造山带南缘的岩浆活动已经受制于塔里木盆地陆内裂谷体系,则大规模陆-陆碰撞的时限不可能为部分学者所主张的二叠纪末—三叠纪(Brookfield,2000;Li *et al.*,2005;Zhang *et al.*,2007);另一方面,研究本区晚古生代构造演化和大

规模成矿时间,不仅要考虑碰撞造山作用的影响,非

4.4 岩体与研究区矿产资源

造山环境的大规模岩浆/成矿作用也应是今后研究中值得注意的方面。

霍什布拉克碱长花岗岩体北部约 4 km 处即为著名的霍什布拉克铅锌矿矿床,二者之间是否存在成因上的联系,向来是该铅锌矿床研究的焦点之一,并存在较大争议。20 世纪 50 年代该矿床被认为是岩浆热液成因;彭守晋等(1985)和陈哲夫(2003)则认为该矿属沉积改造型矿床;大多数学者认为该矿为 SEDEX 型(喷流-沉积型矿床,邓贵安等,2003;张志斌等,2007),并认为岩浆热的叠加使矿体富化。然而,本文作者通过对霍什布拉克铅锌矿床的研究,认为该矿属 MVT 型矿床,而岩浆热液对该矿的叠加作用可能极其有限。

根据样品成矿元素分析测试结果,虽有 YTHS-08 和 YTHS-09 具有相对比较高的 Pb、Zn 含量,但总体而言,Zn 含量平均值只是大致与全球酸性岩平均值相等,Pb 含量比平均值还要低(转引自邓贵安

等 2003)。铅锌矿主要赋矿地层是泥盆系坦盖塔尔组灰岩,与岩体并没有直接的接触,而在岩体侵入的石炭系和二叠系中,也没有发现相应的 Pb、Zn 矿化线索。此外,从花岗岩成矿专属性角度而言,与铅锌矿床成矿关系密切的主要是 I 型和 S 型花岗岩,而 A 型花岗岩与铅锌矿床成矿关系不大,碱性花岗岩主要与钨锡矿床关系密切。

尽管霍什布拉克碱长花岗岩体与研究区铅锌矿成矿关系不大,然而,岩体相对富 Sn ($3.07 \times 10^{-6} \sim 12.00 \times 10^{-6}$, 平均值为 7.69×10^{-6}), 并且含有大量粒间萤石和萤石电气石脉,暗示岩体富 F 和 B, 而挥发分 F 对 Sn 又是良好的矿化剂,这些特征暗示霍什布拉克岩体属于较为富锡的花岗岩(杨富全等, 2001), 同时,在同一地区塔木岩体的外接触带中,已经发现具有工业价值的中型 Sn 矿床,霍什布拉克岩体是否具有类似的成矿潜力,是在今后工作中可以注意的方向。

5 结论

西南天山地区的霍什布拉克碱长花岗岩体是典型的 A1 型花岗岩,是基性下地壳在高温低压的环境中重熔的产物,属于板内阶段的岩浆作用,在大地构造上受到塔里木板块内部裂谷体系的影响,与西南天山地区大多数后碰撞花岗岩有着不同的特点。岩体对研究区霍什布拉克大型铅锌矿成矿贡献有限,但具有形成锡矿床的潜力。

致谢 新疆地矿局地质二大队冯昌荣等人为本人的野外工作给予了大力帮助,并无偿提供了基础资料,李志丹等为本文写作提供了其未发表资料。匿名评审为本文提出了大量宝贵的修改意见,在此一并致谢。

References

Anderson J L. 1983. Proterozoic anorogenic granite Plutonism of North America [J]. Geological Society of American Memoir, 161: 133~154.
 Bergkaut V, Singer A, Drew L J, et al. 1996. Geology and structural evolution of the Muruntau gold deposit, Kyzylkum desert, Uzbekistan [J]. Ore Geology Reviews, 11(4): 175~196.
 Brookfield M E. 2000. Geological development and Phanerozoic crustal accretion in the western segment of the southern Tien Shan (Kyrgyzstan, Uzbekistan and Tajikistan) [J]. Tectonophysics 328(1~

2): 1~14.
 Cai Hongyuan and Li Fuchun. 1995a. Geological features of Almalyk porphyry copper deposit: geology of the deposit [J]. Mineral Resources and Geology, 9(2): 84~97 (in Chinese).
 Cai Hongyuan and Li Fuchun. 1995b. Geological features of Almalyk porphyry copper deposit: condition of mineralization and metallogenic mode [J]. Mineral Resources and Geology, 9(3): 180~184 (in Chinese).
 Cai Hongyuan and Ma Xueyu. 1993. Field work on Muruntau gold deposit [J]. Mineral Resources and Geology, 7(6): 408~413 (in Chinese).
 Chappell B W and White A J R. 1974. Two contrasting granite types [J]. Pacific Geology, 8: 173~174.
 Chen Zhefu. 2003. The discussion on types of copper deposits and copper target [J]. Xinjiang Geology, 21(2): 190~194 (in Chinese with English abstract).
 Collins W J, Beams S D, White A J K, et al. 1982. Nature and origin of A type granites with particular reference to southeastern Australia [J]. Contrb. Mineral. Petrol., 80: 189~200.
 Creaser R A, Price R C and Wormald R J. 1991. A-type granites revisited: Assessment of a residual-source mode [J]. Geology, 19: 163~166.
 Currie K L, Eby G N and Gittins J. 1986. The petrology of the Mount Saint Hilaire complex, southern Uqbeec: an alkaline gabbro peralkaline syenites association [J]. Lithos, 19: 67~83.
 Deng Gui'an and Cai Hongyuan. 2003. Genesis of the Huoshibulake lead-zinc deposit [J]. Mineral Resources and Geology, 17(6): 687~691 (in Chinese with English abstract).
 Eby G N. 1990. The A-type granitoids: A review of their occurrence and chemical characteristics and speculations on their petrogenesis [J]. Lithos, 26: 115~134.
 Ewart A. 1982. The mineralogy and petrology of Tertiary-Recent orogenic volcanic rocks with special reference to the andesitic-basaltic compositional range [A]. Thorpe R S. Andesites [C]. Wiley: Chichester: 25~87.
 Frost C D and Frost B R. 1997. Reduced rapakivi-type granites: the tholeiite connection [J]. Geology, 25: 647~650.
 Gao Jun, Long Lingli, Qian Qing, et al. 2006. South Tianshan: a late Paleozoic or Triassic orogen? [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1049~1061 (in Chinese with English abstract).
 Han Baofu, Ji Jianqing, Song Biao, et al. 2006. Late Paleozoic vertical growth of continental crust around the Junggar Basin, Xinjiang, China (Part I): Timing of post-collisional plutonism [J]. Acta Petrologica Sinica, 22(5): 1077~1086 (in Chinese with English abstract).
 Harries N B W and Marriner G F. 1980. Geochemistry and petrogenesis of a peralkaline granite complex from the Midian Mountains, Saudi Arabia [J]. Lithos, 13: 325~337.
 He Guoqi and Li Maosong. 2000. New achievement in researching ophiolitic belts in Central Asia and its significance in the links of tectonic belts between northern Xinjiang and adjacent area [J]. Xinjiang Geology, 18(3): 193~202 (in Chinese with English abstract).
 He Guoqi, Li Maosong and Han Baofu. 2001. Geotectonic research of southwest Tianshan and its west adjacent area, China [J]. Xinjiang

- Geology, 19: 7~11(in Chinese with English abstract).
- He Guoqi and Zhu Yongfeng. 2006. Comparative study of the geology and mineral resources in Xinjiang, China, and its adjacent regions[J]. Chinese Geology, 33(3): 451~460(in Chinese with English abstract).
- Huang He, Zhang Dongyang, Zhang Zhaochong, *et al.* 2010. Petrology and geochemistry of the Chuanwulu alkaline complex in South Tianshan: Constraints on petrogenesis and tectonic setting[J]. Acta Petrologica Sinica, 26(3): 947~962(in Chinese with English abstract).
- Jiang Changyi, Mu Yanmei, Bai Kaimei, *et al.* 1999. Chronology, petrology geochemistry and tectonic environment of granitoids in the southern Tianshan Mountain, western China[J]. Acta Petrologica Sinica, 15(02): 298~308(in Chinese with English abstract).
- Kang Jianli, Zhang Zhaochong, Dong Shuyun, *et al.* 2010. Geochemistry of cherts from Madaer area in Southwest Tianshan Mountains: Implications for deposition environments[J]. Acta Petrologica et Mineralogica, 29(1): 79~89(in Chinese with English abstract).
- King P L, White A J R, Chappell B W, *et al.* 1997. Characterization and origin aluminous A-Type granites from Lachlan Fold Belt. Southeastern Australia[J]. J. Petrol., 38(3): 371~391.
- Konopelko D, Biske G, Seltmann R, *et al.* 2007. Hercynian post-collisional A-type granites of the Kokshaal Range, Southern Tien Shan, Kyrgyzstan[J]. Lithos, 97: 140~160.
- Li Jinyi, Wang Kezhao, Li Yaping, *et al.* 2006. Geomorphological features, crustal composition and geological evolution of the Tianshan Mountains[J]. Geological Bulletin of China, 25(8): 895~909(in Chinese with English abstract).
- Li Yuejun, Sun Longde, Wu Haoruo, *et al.* 2005. Permo-carboniferous radiolarians from the Wupata'erkan Group, western South Tianshan, Xinjiang, China[J]. Acta Geologica Sinica, 79(1): 16~23.
- Liu Yongsheng, Zhang Zeming, Lee C T, *et al.* 2005. Decoupled high-Ti from low-Nb(Zr) of eclogites from the CCSD: Implications for magnetite fractional crystallization in basalt chamber[J]. Acta Petrologica Sinica, 21(2): 339~346(in Chinese with English abstract).
- Loiselle M C and Wones D S. 1979. Characteristics and origin of an orogenic granites[J]. Geological Society of America, 11: 468.
- Mao Jingwen, Han Chunming, Wang Yitian, *et al.* 2002. Geological characteristics, metallogenic model and criteria for exploration of the large South Tianshan gold metallogenic belt in Central Asia[J]. Geological Bulletin of China, 21(12): 612~618(in Chinese with English abstract).
- Nielsen R G, Forsythe L M, Gallahan W E, *et al.* 1994. Major- and trace-element magnetite-melt equilibria[J]. Chem. Geol., 117(1~4): 167~191.
- Pearce J A, Harris N B W and Tindle A G. 1984. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 25(4): 956~983.
- Peng Shoujin, Zhang Xixuan and Zhou Zicheng. 1985. The lead-zinc ore type, ore forming law and direction of prospecting, Xinjiang[J]. Xinjiang Geology, (3): 88~95(in Chinese with English abstract).
- Pitcher W S. 1983. Granite type and tectonic environment. Mountain Building process[M]. London: Academic Press, 19~40.
- Pitcher W S. 1993. The Nature and Origin of Granite[M]. Blackie: Academic and Professional, 1~316.
- Qian Q, Gao J, Klemd R, *et al.* 2009. Early Paleozoic tectonic evolution of the Chinese South Tianshan Orogen: constraints from SHRIMP zircon U-Pb geochronology and geochemistry of basaltic and dioritic rocks from Xiata, NW China[J]. International Journal of Earth Sciences, 98(3): 551~569.
- Sun Linhua, Wang Yuejun, Fan Weiming, *et al.* 2008. A further discussion of the petrogenesis and tectonic implication of the Mazhashan Syenites in the Bachu area[J]. Journal of Jilin University (Earth Science edition), 38(1): 8~10(in Chinese with English abstract).
- Sun S S and McDonough W F. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society, 42: 313~345.
- Teng Jiwen. 1991. Geophysical Field and Oil Gas of the Tarim Area[M]. Beijing: Science Press, 5~10(in Chinese).
- Trua T, Deniel C and Mazzuoli R. 1999. Crustal control in the genesis of Plio-Quaternary bimodal magmatism of the Main Ethiopian Rift (MER): geochemical and isotopic (Sr, Nd, Pb) evidence[J]. Chemical Geology, 155: 201~231.
- Wang Chao, Liu Liang, Luo Jinhai, *et al.* 2007. Late Paleozoic post-collisional magmatism in the Southwestern Tianshan orogenic belt, take the Baleigong pluton in the Kokshal region as an example[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(8): 1 830~1 840(in Chinese with English abstract).
- Whalen J B, Currie K L and Chappell B W. 1987. A-Type granites: Geochemical characteristics discrimination and petrogenesis[J]. Contrib. Mineral. Petrol., 95: 407~419.
- Wilde A R, Layer P, Mernagh T, *et al.* 2001. The Giant Muruntau Gold Deposit: Geologic, Geochronologic, and Fluid Inclusion Constraints on Ore Genesis[J]. Society of Economic Geologists, 96(3): 633~644.
- Wright J B. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis[J]. Geological Magazine, 106: 370~384.
- Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, *et al.* 2007. Discussions on the petrogenesis of granites[J]. Acta Petrologica Sinica, 23(06): 1 217~1 238(in Chinese with English abstract).
- Xiong X L, Zhao Z H, Zhu J C, *et al.* 1999. Phase relations in albite granite-H₂O-Hf system and their petrogenetic applications[J]. Geochem. J., 33(3): 199~214.
- Yang Fuquan and Wang Liben. 2001. Geochemistry and metallogenesis of Huoshibulake alkali-feldspar granite, Xinjiang[J]. Geology and Resources, 10(4): 199~203(in Chinese with English abstract).
- Yang S H and Zhou M F, 2009. Geochemistry of the ~430 Ma Jingbulake mafic-ultramafic intrusion in Western Xinjiang, NW China: Implications for subduction related magmatism in the South Tianshan orogenic belt[J]. Lithos, 113: 259~273.
- Yang Shufeng, Chen Hanlin, Dong Wanchuan, *et al.* 1996. The discovery of Permian syenites inside Tarim basin and its geodynamic significance[J]. Geochemica, 25(2): 121~128(in Chinese with Eng-

- lish abstract).
- Yang Shufeng, Chen Hanlin, Ji Dengwu, *et al.* 2005. Geological Process of Early to Middle Permian Magmatism in Tarim Basin and Its Geodynamic Significance[J]. Geological Journal of China Universities, 11(4): 504~511 (in Chinese with English abstract).
- Yuan Zhongxin. 2001. A Discussion on the Naming of A-type Granite [J]. Acta Petrological et Mineralogica, 20(3): 293~296 (in Chinese with English abstract).
- Zhang L F, Ai Y L, Li X P, *et al.* 2007. Triassic collision of western Tianshan orogenic belt, China: evidence from SHRIMP U-Pb dating of zircon from HP/UHP eclogitic rocks[J]. Lithos, 96: 266~280.
- Zhang Z C, Mao J W, Cai J H, *et al.* 2008. Geochemistry of picrites and associated lavas of a Devonian island arc in the northern Junggar terrane, Xinjiang (NW China): Implications for petrogenesis, arc mantle sources and tectonic setting[J]. Lithos, 105(3~4): 379~395.
- Zhang Zhaochong, Dong Shuyun, Huang He, *et al.* 2009. Geology and geochemistry of the Permian intermediate-acid intrusions in the southwestern Tianshan, Xinjiang, China: implications for petrogenesis and tectonics[J]. Geological Bulletin of China, 28(12): 1 827~1 839 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Zhibin, Ye Lin, Li Wenqian, *et al.* 2007. Geological and Geochemical characteristics of Huoshibulake Pb-Zn deposit in Xinjiang [J]. Geotectonica et Metallogenia, 31(2): 205~217 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Z H, Bai Z H, Xiong X L, *et al.* 2000. Geochemistry of Alkali-rich Igneous rocks of Northern Xinjiang and its implications for Geodynamic[J]. Acta Geologica Sinica, 74(2): 321~328.
- Zhao Zhenhua, Xiong Xiaolin, Wang Qiang, *et al.* 2008. Some aspects on geochemistry of Nb and Ta[J]. Geochemica, 37(4): 307~320 (in Chinese with English abstract).
- Zhou T F, Yuan F, Fan Y, *et al.* 2008. Granites in the Sawuer region of the west Junggar, Xinjiang Province, China: Geochronological and geochemical characteristics and their geodynamic significance [J]. Lithos, 106: 191~206.
- 韩宝福, 季建清, 宋 彪, 等. 2006. 新疆准噶尔晚古生代陆壳垂向生长(I)——后碰撞深成岩浆活动的时限[J]. 岩石学报, 22(5): 1 077~1 086.
- 何国琦, 李茂松. 2000. 中亚蛇绿岩带研究进展及区域构造连缀[J]. 新疆地质, 18(3): 183~202.
- 何国琦, 李茂松, 韩宝福. 2001. 中国西南天山及邻区大地构造研究[J]. 新疆地质, 19(1): 7~11.
- 何国琦, 朱永峰. 2006. 中国新疆及其邻区地质矿产对比研究[J]. 中国地质, 33(3): 451~460.
- 黄河, 张东阳, 张招崇, 等. 南天山川鲁碱性杂岩体的岩石学和地球化学特征及其岩石成因[J]. 岩石学报, 24(3): 947~962.
- 姜常义, 穆艳梅, 白开寅, 等. 1999. 南天山花岗岩类的年代学、岩石学、地球化学及其构造环境[J]. 岩石学报, 15(2): 298~308.
- 康健丽, 张招崇, 董书云, 等. 2010. 西南天山马达尔地区硅质岩地球化学特征及其沉积环境[J]. 岩石矿物学杂志, 29(1): 79~89.
- 李锦轶, 王克卓, 李亚萍, 等. 2006. 天山山脉地貌特征、地壳组成与地质演化[J]. 地质通报, 25(8): 895~909.
- 刘勇胜, 张泽明, Lee Cui-Ty, 等. 1994. CCSD 主孔高 Ti 榴辉岩非耦合高 Ti、低 Nb (Zr) 特征: 对玄武质岩浆房中磁铁矿分离结晶作用的指示[J]. 岩石学报, 21(2): 339~346.
- 毛景文, 韩春明, 王义天, 等. 2002. 中亚地区南天山大型金矿带的地质特征、成矿模型和勘查准则[J]. 地质通报, 21(12): 858~868.
- 彭守晋, 张希宣, 周自成. 1985. 新疆铅锌矿类型、成矿规律及找矿方向[J]. 新疆地质, 3: 88~95.
- 孙林华, 王岳军, 范蔚茗, 等. 2008. 再论巴楚麻扎山正长岩体岩石成因和构造意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 38(1): 8~20.
- 滕吉文. 1991. 塔里木地球物理场与油气[M]. 北京: 科学出版社, 5~10.
- 王超, 刘良, 罗金海, 等. 2007. 西南天山晚古生代后碰撞岩浆作用: 以阿克萨彦岭地区巴雷公花岗岩为例[J]. 岩石学报, 23(9): 1 830~1 840.
- 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 2007. 花岗岩成因研究的若干问题[J]. 岩石学报, 23(6): 1 217~1 238.
- 杨富全, 王立本. 2001. 新疆霍什布拉克碱长花岗岩地球化学及成矿作用[J]. 地质与资源, 10(4): 199~203.
- 杨树锋, 陈汉林, 冀登武, 等. 塔里木盆地早-中二叠世岩浆作用过程及地球动力学意义[J]. 高校地质学报, 11(4): 504~511.
- 杨树锋, 贾承造. 1996. 塔里木盆地二叠纪正长岩的发现及其地球动力学意义[J]. 地球化学, 25(2): 121~128.
- 袁忠信. 2001. 关于 A 型花岗岩命名问题的讨论[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 293~296.
- 张招崇, 董书云, 黄河, 等. 2009. 西南天山二叠纪中酸性侵入岩的地质学和地球化学: 岩石成因和构造背景[J]. 地质通报, 28(12): 1 827~1 839.
- 张志斌, 叶霖, 李文铅, 等. 2007. 新疆霍什布拉克铅锌矿床地质、地球化学特征研究[J]. 大地构造与成矿学, 31(2): 205~217.
- 赵振华, 熊小林, 王强, 等. 2008. 铋与钽的某些地球化学问题[J]. 地球化学, 37(4): 307~320.

附中文参考文献

- 蔡宏渊, 李福春. 1995a. 阿尔玛雷克斑岩铜矿地质特征——矿床地质特征[J]. 矿产与地质, 9(2): 84~97.
- 蔡宏渊, 李福春. 1995b. 阿尔玛雷克斑岩铜矿地质特征——矿化富集条件及成矿模式[J]. 矿产与地质, 9(3): 180~184.
- 蔡宏渊, 马学玉. 1993. 穆龙套金矿地质考察[J]. 矿产与地质, 7(6): 408~413.
- 陈哲夫. 2003. 新疆铜矿类型与找矿靶区[J]. 新疆地质, 21(2): 190~194.
- 邓贵安, 蔡宏渊. 2003. 霍什布拉克铅锌矿床成因研究[J]. 矿产与地质, 17(6): 688~691.
- 高俊, 龙灵利, 钱青, 等. 2006. 南天山晚古生代还是三叠纪碰撞造山带?[J]. 岩石学报, 22(5): 1 049~1 061.