

新疆塔什库尔干斯如依迭尔铅锌矿区花岗闪长岩 锆石 U-Pb 定年及其意义*

于晓飞^{1,2,3} 孙丰月^{2**} 侯增谦¹ 陈静⁴ 钱烨²

YU XiaoFei^{1,2,3}, SUN FengYue², HOU ZengQian¹, CHEN Jing⁴ and QIAN Ye²

1. 中国地质科学院地质研究所,北京 100037

2. 吉林大学地球科学学院,长春 130061

3. 内生金属矿床成矿机制研究国家重点实验室,南京 210093

4. 青海省地质调查院,西宁 810012

1. Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

2. College of earth sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

3. State Key Laboratory for Mineral Deposits Research, Nanjing 210093, China

4. Qinghai geological survey institute, Xi'ning 810012, China

2012-02-13 收稿, 2012-11-11 改回.

Yu XF, Sun FY, Hou ZQ, Chen J and Qian Y. 2012. Zircon U-Pb age and its significance of the granodiorite from Siruyidieer Pb-Zn deposit, Taxkorgan, Xinjiang, China. *Acta Petrologica Sinica*, 28(12):4151-4160

Abstract This paper gave detailed studies on the chronology, petrology and geochemistry of the granodiorites, which are related to the mineralization in Siruyidieer Pb-Zn deposit, Taxkorgan, Xinjiang, China. Zircon LA-ICP-MS U-Pb results yield a concordance age of 12.7 ± 0.13 Ma for the granodiorites, is consistent with the existing age (11Ma). Based on these, the Siruyidieer Pb-Zn was formed during Himalayan Period. The rocks are weak aluminum, are characterized by enrichment in aluminium and kalium, and belong to high-K calcic-alkaline-shoshonite series. In addition, the rocks have high large ion lithophile elements (LILE) (Rb, Ba, Th, U, etc.) and total rare earth element, low high field strength elements (HFSE) (Zr, Y, Ta, Nb, etc.). The granodiorites were derived from post-orogenic extensive setting. The distinctive metallogenic characteristics in study area are good record for the respond between tectonic transition zone and major collision zone in northwest of Qinghai-Tibet Plateau. Moreover, the mineralization events in this area are the result of alkali-rich magmatism and minerogenesis in different tectonic setting. The distribution of alkali-rich magama and deposits in study area are controlled by main and secondary faults.

Key words Granodiorite; Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating; Himalaya; Siruyidieer Pb-Zn deposit; Taxkorgan

摘要 对塔什库尔干斯如依迭尔铅锌矿点与成矿作用有关的花岗闪长岩开展了系统的年代学、岩石地球化学研究工作。LA-ICP MS 锆石 U-Pb 定年结果表明,花岗闪长岩成岩年龄为 12.7 ± 0.13 Ma,与前人在塔什库尔干地区获得的苦子干和卡日巴生岩体(11Ma)年龄在误差范围内相一致,表明斯如依迭尔铅锌矿点成矿作用发生于喜山期;岩石地球化学分析结果表明,它们为弱过铝质,富含 Al、K,属于高钾钙碱性-钾玄岩系列,相对富集 Rb、Ba、Th、U 等大离子亲石元素(LILE)、亏损 Zr、Y、Ta、Nb 等高场强元素(HFSE)和稀土总量相对较高,形成于造山后伸展构造体制。区内独特的成矿特征,是青藏高原西北缘构造转换带对主碰撞带造山作用过程响应的记录;区内独特的成矿事件,是该区在喀喇昆仑走滑断裂系统早期挤压、晚期拉张影响下,是强烈的富碱岩浆活动和成矿作用的产物。区内主干断裂及其次级断裂常常控制富碱岩浆岩体及相关矿床定位和分布。

关键词 花岗闪长岩; LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年;喜山期;斯如依迭尔铅锌矿;塔什库尔干

中图法分类号 P588.122; 597.3

* 本文受中国博士后科学基金(2012M510510)、吉林省自然科学基金项目(201115034)、南京大学内生金属矿床国家重点实验室开放基金(16-1011-6)及中国地质调查局国土资源调查项目(1212010630708)联合资助。

第一作者简介:于晓飞,男,1970年生,博士后,副教授,从事矿床地质学的教学和研究, E-mail: xfyu@jlu.edu.cn

** 通讯作者:孙丰月,男,1963年生,博士,教授,从事矿床地质学的教学和研究, E-mail: sfy@jlu.edu.cn

1 引言

青藏高原是印度板块与欧亚板块自 65Ma 以来强烈碰撞而形成的活动大陆碰撞造山带,经历了主碰撞、晚碰撞和后碰撞过程,每一阶段均发生独具特色的成矿作用(Hou *et al.*, 2006, 2007; 侯增谦等, 2006a, b; 侯增谦和王二七, 2008),表现出独特的构造形迹,形成了冈底斯碰撞构造带、喜马拉雅前陆冲断带和“三江”构造转换带。在其东北缘构造转换带内,发育着与晚碰撞阶段有关的、长达 3700km 的哀牢山-金沙江新生代含矿富碱性钾质岩浆岩带,该岩带沿金沙江-红河走滑断裂带展布,向北进入青海沱沱河一带,并向西延伸至新疆塔什库尔干地区(张玉泉和谢应雯, 1994, 1997)。

塔什库尔干地区位于青藏高原的西北部帕米尔构造结

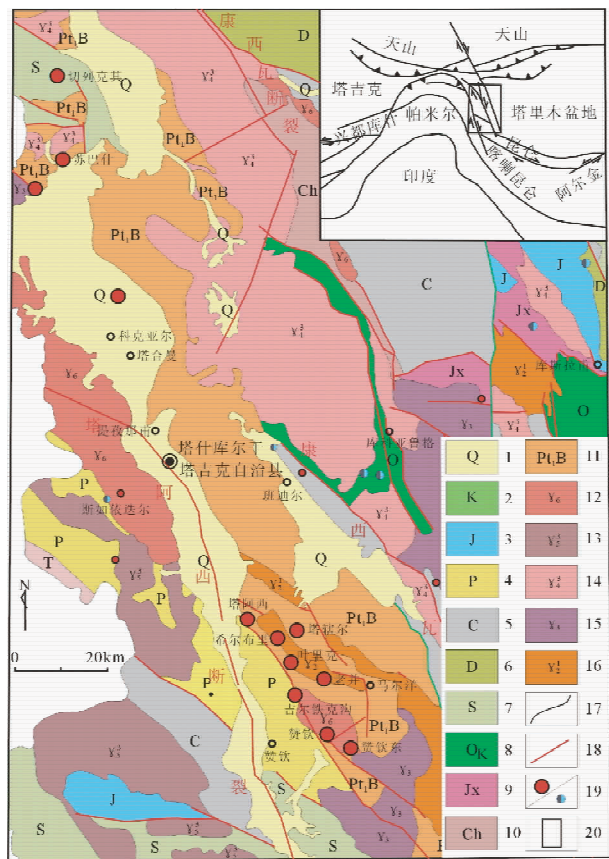


图1 新疆塔什库尔干地区地质简图(据胡建卫等, 2010)

1-第四系;2-白垩系;3-侏罗系;4-二叠系;5-石炭系;6-泥盆系;7-志留系;8-奥陶系;9-蓟县系;10-长城系;11-古元古界布伦库勒群;12-喜山期侵入岩;13-燕山期侵入岩;14-海西期侵入岩;15-加里东期侵入岩;16-新元古代侵入岩;17-地质界线;18-断裂;19-矿点;20-工作区

Fig. 1 Geological sketch map of Taxkorgan area, Xinjiang (after Hu *et al.*, 2010)

的中东部,喀喇昆仑、西昆仑和帕米尔三大构造单元的结合部位,是青藏高原几个大面积出露新生代富碱侵入岩的地区之一(柯珊等, 2006, 2008)。该区富碱侵入岩的系统研究对重新厘定和划分岩体形成时代和类型,以及探讨青藏高原地壳缩短增厚及壳幔相互作用等深部动力学问题具有重要意义,因此得到广泛的关注(姜春发等, 1992; 张玉泉和谢应雯, 1994, 1997; 丁道桂等, 1996; 谢应雯和张玉泉, 1998; 姜耀辉和杨万志, 2000; 潘裕生, 2000; 罗照华等, 2003; 柯珊等, 2006, 2008)。目前,在塔什库尔干地区已发现 6 个富碱性侵入岩体,前人通过同位素年代学、岩石地球化学以及成因矿物学(罗照华等, 2003; 林清茶等, 2006; 柯珊等, 2006, 2008)等方面研究,认为塔什库尔干富碱侵入岩带作为昆仑山-阿尔金山地区三条富碱侵入岩带之一,是我国最年轻的富碱侵入岩带(王中刚等, 2002)。但前人的研究中,岩体形成年龄变化范围较大(54~11Ma),测年方法为多 K-Ar 法和 Ar-Ar 法,且针对与成矿有关的碱性侵入岩体的研究较少,这在一定程度上制约了对该地区成矿动力学背景的全面认识;迄今为止,在哀牢山-金沙江新生代富碱性侵入岩岩浆岩带的南段滇西地区,发现了与富碱性侵入岩有关的金、多金属矿床 50 余处,但是,在这个新生代富碱性钾质岩浆岩带西北端的塔什库尔干地区(张玉泉和谢应雯, 1994, 1997),与碱性侵入岩有关的成矿作用研究和地质找矿程度很低,亟待加强。

鉴于此,本文选取与碱性侵入岩有关的斯如依迭尔铅锌矿点,在成矿地质特征研究的基础上,开展了成矿岩体 LA-ICP MS 锆石 U-Pb 定年和岩石地球化学特征研究,确定了与成矿有关的花岗闪长岩的形成时代,明确了成矿成矿的大地构造背景,为塔什库尔干地区碱性侵入岩及其相关成矿作用的研究提供了基础资料和新的思路。

2 区域及矿区地质概况

研究区位于青藏高原的西北缘,处于喀喇昆仑-羌塘地体和南昆仑地体之间的塔什库尔干-甜水海地体中,其北邻麻扎-康西瓦断裂带,南以塔阿西-乔尔天山-红山湖断裂为界(林清茶等, 2006)。区域出露地层以古元古界布伦库勒群变质岩系和中生代二叠系为主。布伦库勒群为一套变质的中基性火山岩-碎屑岩-碳酸盐岩建造,新疆地质矿产局二大队(1985^①)获得 Rb-Sr 等时线年龄为 2130~2700Ma。二叠系以陆源碎屑岩建造为主,夹火山岩、硅质岩,向上逐渐过渡为碳酸盐岩夹石膏岩系,分布于西南部的晚古生代中生代裂陷盆地中(图 1)。

区域岩浆侵入活动以燕山期和喜山期最为强烈。喜山期岩浆岩以塔什库尔干碱性岩浆岩带为主,由东向西主要有羊湖岩体(16.8Ma, 黑云母⁴⁰Ar-³⁹Ar 法, 林清茶等, 2006)、答

① 新疆地质矿产局二大队. 1985. 新疆南疆西部地质图(1: 50 万)及说明书. 251-361

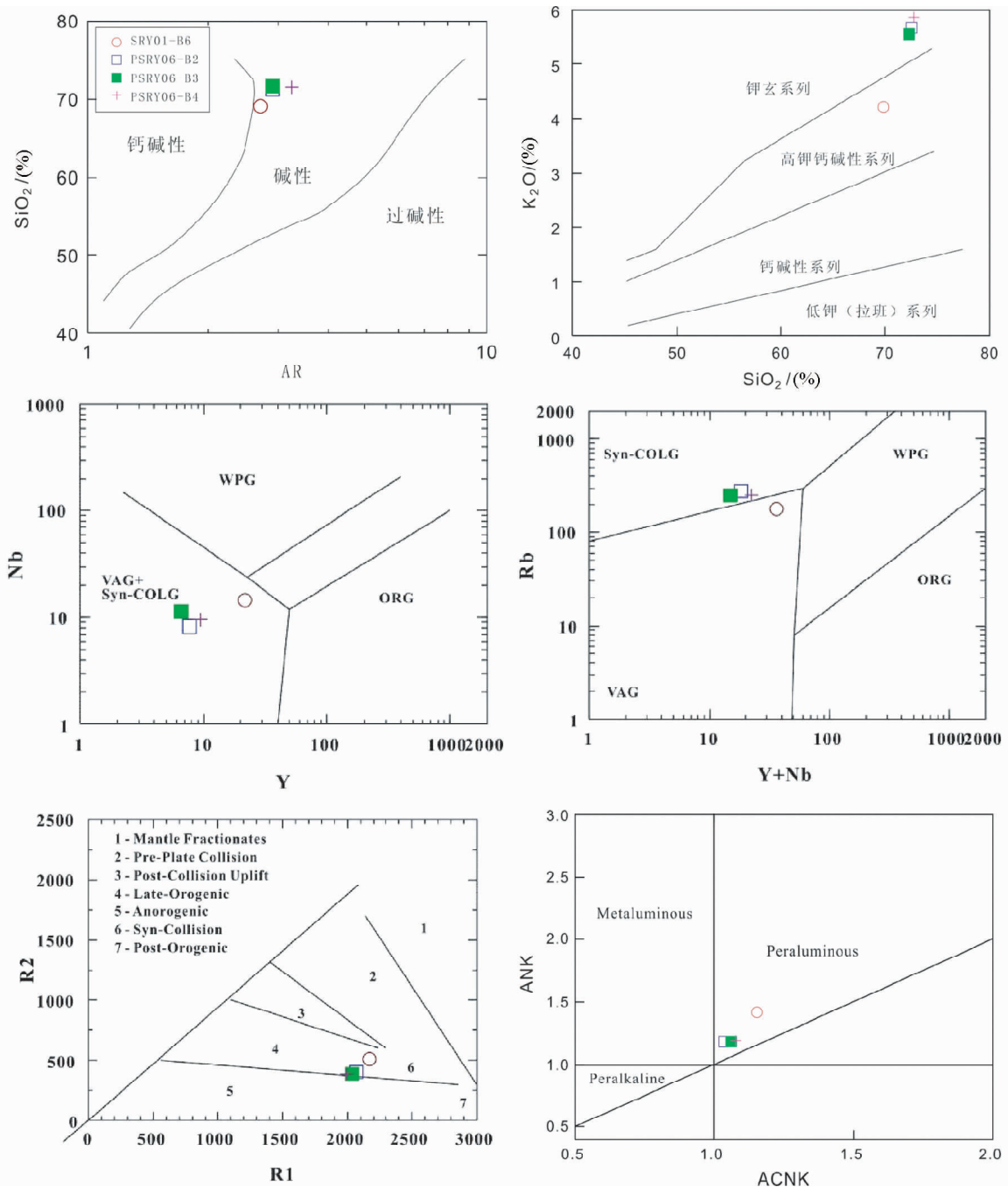


图2 斯如依迭尔花岗闪长岩的地球化学图解

(a)-AR-SiO₂ 碱度率关系图(据 Wright, 1969); (b)-K₂O-SiO₂ 图解; (c)-Nb-Y 图解(据 Pearce *et al.*, 1996); (d)-Rb-Y + Nb 图解(据 Pearce *et al.*, 1996); (e)-主量元素 R1-R2 因子判别图(据 Batchelor and Bowden, 1985); (f)-ACNK-ANK 图解

Fig. 2 Geochemistry diagrams of the granodiorite in Siruyidieer

坎岩体(12.1Ma, 钾长石⁴⁰Ar-³⁹Ar 法, 林清茶等, 2006)、苦子干和卡日巴生岩体(11Ma, SHRIMP 锆石 U-Pb, 柯珊等, 2006)、塔吐鲁沟岩体等。

受喀喇昆仑巨型走滑断裂的影响, 区内断裂构造十分发育。呈 NW 向的塔什库尔干大断裂, 安达力塔克-库浪拉古河大断裂、库马断裂、喀拉塔什-玖依大断裂、红其拉甫-克勒

青河断裂、塔西土路克断裂等区域性断裂控制了本区构造单元和成矿带的划分; 这些断裂的次级断裂, 主要呈 EW 向、SN 向、NNW 和 NNE 向, 为成矿提供通道和场所。

斯如依迭尔矿点位于塔什库尔干铁、铜、铅锌多金属成矿区的西北部, 是近年来发现的热液脉型小型铅锌矿点。矿区内岩浆岩以花岗闪长岩为主, 出露于塔什库尔干杂岩体北

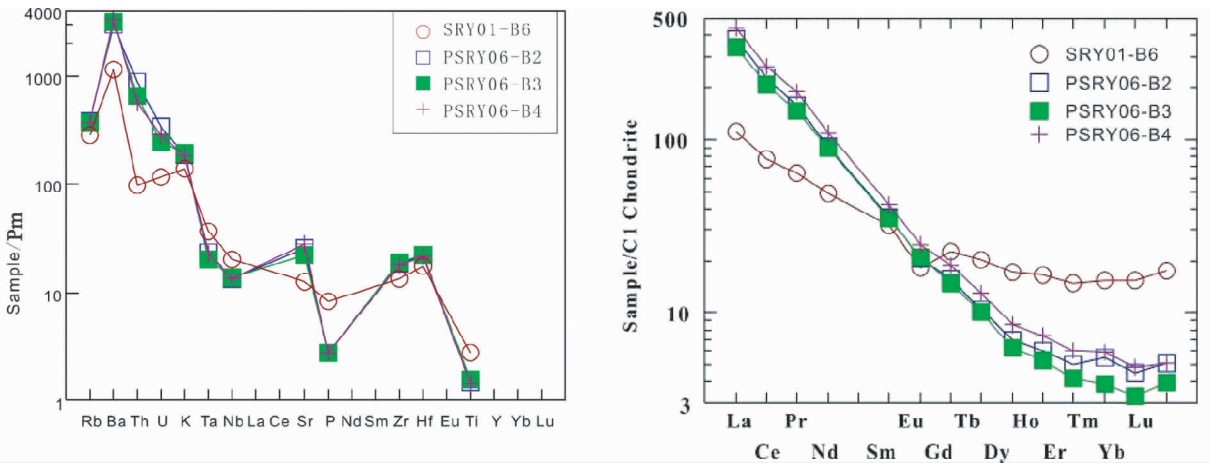


图3 微量元素原始地幔标准化蛛网图(a, 标准化值据 Sun and Mcdonough, 1989)与稀土元素球粒陨石标准化配分曲线图(b, 标准化值据 Boynton, 1984)

Fig.3 Primitive mantle normalized trace element spider diagram (a, normalization values after Sun and Mcdonough, 1989) and chondrite-normalized REE patterns diagram (b, normalization values after Boynton, 1984)

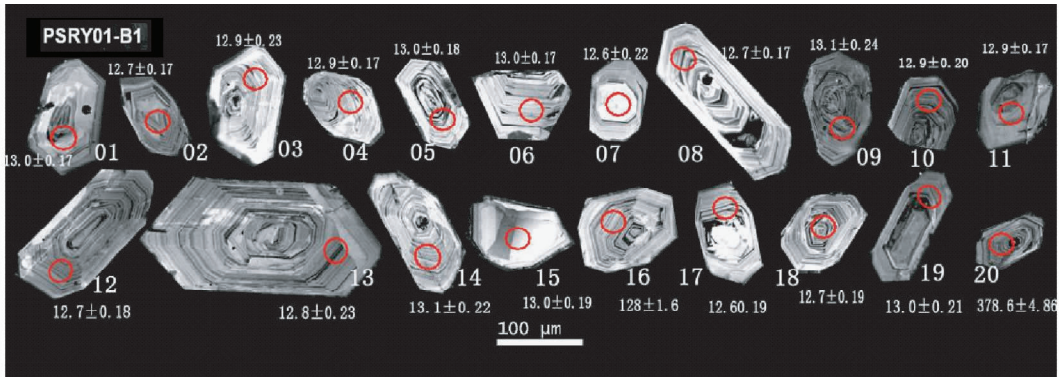


图4 斯如依迭尔花岗闪长岩锆石阴极发光(CL)图像

Fig.4 Cathodoluminescence (CL) images of zircon grains from the Siruyidieer granodiorite

端,岩体呈北西-南东方向展布,略呈弧形,为一不规则的楔状透镜体,两端尖,中间宽,侵入于二叠系地层中。该类岩石为灰色,块状构造,显微镜下观察,主要矿物为斜长石、角闪石、石英及少量的黑云母和钾长石,副矿物主要为磷灰石、锆石和榍石。岩体中发育1条近南北向断裂,宽约5m。断裂带近上盘处有宽20~30cm的蚀变带,可见细粒黄铁矿化、褐铁矿化、硅化、碳酸盐化、萤石化等蚀变。

矿区共发现2个锌矿化体,产于花岗闪长岩体与围岩外接触带上,成矿与岩体关系密切。这两条矿化体为两条含石英脉,矿石成分简单,主要金属矿物为闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、黄铁矿;脉石矿物主要为石英、方解石、萤石等。矿石具有压碎结构、交代残余结构,块状构造。矿石有用化学成分为Pb、Zn,伴生有用组分主要为Ag(3.4g/t)、Au(0.11g/t)等。

3 样品采集及分析测试方法

本文所分析的样品采自新疆塔什库尔干县斯如依迭尔矿区5件与成矿有关的花岗闪长岩样品,其中4个用于岩石化学分析,1个用于锆石U-Pb同位素测年。样品受后期热液的影响,硅化较强。

样品经显微镜鉴定后磨制成200目,用于岩石化学分析测试,分析测试是在国土资源部武汉综合岩矿测试中心进行的,主量元素分析采用Magix-pro2440 X荧光光谱仪,微量元素分析采用ThermoElemental X7质谱仪,稀土元素分析采用JY38S等离子直读光谱仪,检测温度为25℃。主量元素分析精度一般优于2%,微量元素分析精度优于10%,稀土元素的分析精度优于5%,REE模式采用Boynton(1984)球粒陨石推荐值REE数据标准化。

表 1 斯如依迭尔花岗闪长岩主量 (wt%) 和微量元素含量 ($\times 10^{-6}$)Table 1 Contents of elements (wt%) and trace elements ($\times 10^{-6}$) of Siruyidieer granodiorite

样品号	SRY01-B6	PSRY06-B2	PSRY06-B3	PSRY06-B4
SiO ₂	69.17	71.3	71.75	71.55
TiO ₂	0.59	0.32	0.34	0.31
Al ₂ O ₃	15.35	14.41	14.79	14.81
Fe ₂ O ₃	1.01	1.1	0.57	0.97
FeO	1.98	0.45	0.52	0.52
MnO	0.04	0.02	0.01	0.02
MgO	1.32	0.38	0.29	0.47
CaO	1.35	0.94	0.79	0.65
Na ₂ O	3.85	3.75	3.80	4.08
K ₂ O	4.18	5.57	5.79	5.47
P ₂ O ₅	0.18	0.06	0.06	0.06
LOI	0.55	1.28	0.87	0.63
Total	99.57	98.3	99.58	99.54
Sc	16	4.86	3.88	3.76
Co	8.67	1.21	0.53	1.39
Ta	1.51	0.96	0.82	0.93
Th	8.22	75.4	55.6	48
U	2.42	7.13	5.16	5.99
Cr	20.5	3.5	5.2	3.9
Nb	14.4	9.6	9.8	9.5
Pb	43	28	26.2	28.9
Rb	179	241	237	238
Zr	149	204	212	199
Hf	5.4	6.9	6.9	6.7
Ba	792	2060	2149	2290
Cu	3.68	4.13	2.94	4.05
Ni	13.4	2.54	1.38	2.59
Sr	266	547	465	584
V	64.3	21.7	21.4	21.7
Zn	36.3	25.6	9.05	14.9
Y	21.56	7.66	6.56	9.43
La	26.22	89.41	80.71	104.4
Ce	47.01	139.5	127	160.9
Pr	6.06	14.94	13.95	17.9
Nd	22.7	42.61	41.77	50.89
Sm	4.87	5.43	5.32	6.45
Eu	1.06	1.2	1.21	1.43
Gd	4.67	3.22	3.02	3.84
Tb	0.76	0.39	0.38	0.49
Dy	4.39	1.77	1.58	2.17
Ho	0.94	0.34	0.3	0.42
Er	2.45	0.83	0.69	1
Tm	0.39	0.14	0.1	0.15
Yb	2.61	0.76	0.56	0.83
Lu	0.44	0.13	0.1	0.13
ΣREE	124.6	300.7	276.7	351.0
(La/Yb) _N	6.77	79.31	97.16	84.8
LREE/HREE	6.48	38.66	40.11	37.87
δEu	0.67	0.81	0.84	0.81
(Gd/Yb) _N	1.44	3.41	4.35	3.73
(La/Sm) _N	3.38	10.35	9.54	10.18

测年锆石的分选工作由河北省区域地质调查大队地质实验室完成。锆石 U-Pb 同位素定年在西北大学大陆动力学

国家重点开放实验室利用 LA-ICP MS 分析完成。采用 ComPex102ArF 准分子激光器 (波长 193nm) 和带有动态反应池的四级杆 Elan6100DRC 型 ICP-MS 进行锆石 U 和 Pb 测定。试验中采用 He 作为剥蚀物质载气,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 NISTSRM610 进行仪器最佳化,采样方式为单点剥蚀,每测定 5 样品点,加测标样一次。样品测定时用哈佛大学标准锆石 91500 作为外部校正。本次实验所采用的激光束斑直径为 30 μ m,能量为 80mJ。样品的同位素比值和元素含量计算采用 GLITTER 软件处理,普通铅的校正根据 Andersen (2002),锆石的谐和曲线和加权平均年龄的计算采用 Isoplot3.2 程序完成。

4 分析结果

4.1 常量元素

斯如依迭尔花岗闪长岩主量分析结果见表 1。样品的 SiO₂ 含量相对较高, SiO₂ 在 69.17% ~ 71.75% 之间, 平均为 70.94%; Ti 含量较低, TiO₂ = 0.31% ~ 0.59%, 平均为 0.39%; 相对富碱, K₂O 在 4.18% ~ 5.79% 之间, 平均 5.25%, Na₂O 在 3.75% ~ 4.08% 之间, 平均 3.87%, K₂O/Na₂O = 1.09 ~ 1.52, 平均 1.36, K₂O + Na₂O = 8.03% ~ 9.59%, 平均 9.12%, 且 K₂O 均大于 Na₂O, 明显富碱、富钾。其里特曼指数 (σ) 在 2.46 ~ 3.20 之间, 平均 2.98。此外, 碱度率 (AR) 在 2.71 ~ 3.24 之间, 平均 2.84。在硅-碱度率图解上, 样品全部落入碱性区域, 但接近钙碱性区域 (图 2a), 在 K₂O-SiO₂ 图解中投影点主要落在高钾钙碱性-钾玄岩系列范围 (图 2b)。

其 SiO₂ 含量较高, 可能与后期硅化作用较强有关。Al₂O₃ 含量相对较高, Al₂O₃ 在 14.41% ~ 15.35%, 平均为 14.84%, 所有样品铝指数 (A/KNC) 均大于 1 (1.00 ~ 1.25, 平均 1.12), 在铝饱和指数图解中斯如依迭尔花岗闪长岩投影到弱过铝质区域 (图 2f)。

4.2 微量元素及稀土元素地球化学特征

斯如依迭尔花岗闪长岩微量元素以富集 Rb、Ba、Th、U 和 K 等大离子亲石元素 (LILE) 和贫高场强元素 Ti、Zr、Y、Ta、Nb (HFSE) 为特征, 在原始地幔标准化蜘蛛图上 (图 3a), 与花岗岩类微量元素配分模式一致。岩石具有明显的 K、Rb、Th 等正异常, 显示 Nb、Ta 负异常, 尤其亏损 P、Ti。

斯如依迭尔闪长岩稀土总量相对较高, ΣREE 在 124.6 $\times 10^{-6}$ ~ 351.0 $\times 10^{-6}$ 之间 (表 1), 平均 263.2 $\times 10^{-6}$, 反映轻重稀土分馏程度的 (La/Yb)_N 值较高, 在 6.77 ~ 97.16 之间 (平均 67.01), 与 LREE/HREE 值 (6.48 ~ 40.11, 平均 30.78) 较高是一致的。稀土元素配分模式表明 (图 3b), 岩石强烈富集 LREE, 具 Eu 负异常, δEu 在 0.67 ~ 0.84 之间, 平均为 0.78, 并且曲线模式协调一致。反映重稀土元素之间分馏程度的 (Gd/Yb)_N 值在 1.44 ~ 4.35 之间, 平均为 3.23, 相

表2 斯如依迭尔花岗闪长岩 LA-ICP MS 锆石 U-Pb 分析结果

Table 2 The zircon LA-ICP MS U-Pb analysis of Siruyidieer granodiorite

测点号	含量 ($\times 10^{-6}$)		同位素比值及误差							年龄及误差 (Ma)	
	^{238}U	^{232}Th	$^{232}\text{Th}/^{238}\text{U}$	$^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$	1σ	$^{207}\text{Pb}/^{235}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ	$^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$	1σ
1	1094.2	417.8	0.38	0.0758	0.0011	0.02108	0.00069	0.002	0.00003	13.0	0.17
2	1534.6	904.3	0.59	0.0448	0.00093	0.01213	0.00053	0.002	0.00003	12.7	0.17
3	1006.3	482.3	0.48	0.0568	0.0009	0.01572	0.00108	0.002	0.00004	12.9	0.23
4	1122.3	528.9	0.47	0.0492	0.00137	0.01355	0.00064	0.002	0.00003	12.9	0.17
5	1551.3	835.1	0.54	0.0572	0.00097	0.01592	0.00072	0.002	0.00003	13.0	0.18
6	1379.3	1144.9	0.83	0.063	0.00095	0.01754	0.00062	0.002	0.00003	13.0	0.17
7	1269.7	571.7	0.45	0.0587	0.00102	0.01583	0.00101	0.002	0.00003	12.6	0.22
8	1544.6	806.3	0.52	0.0574	0.00094	0.01559	0.00065	0.002	0.00003	12.7	0.17
9	1141.1	625.9	0.55	0.0782	0.00101	0.02192	0.00128	0.002	0.00004	13.1	0.24
10	1331.2	749.9	0.56	0.0595	0.0014	0.01642	0.00082	0.002	0.00003	12.9	0.2
11	1295.3	631.9	0.49	0.0524	0.00143	0.01443	0.00057	0.002	0.00003	12.9	0.17
12	860.31	386.8	0.45	0.0373	0.00099	0.01337	0.00372	0.0021	0.00004	12.7	0.18
13	1341.1	1627.2	1.21	0.1063	0.00113	0.01904	0.00142	0.002	0.00004	12.8	0.23
14	1267.6	632.1	0.50	0.128	0.00114	0.01592	0.00154	0.002	0.00003	13.1	0.22
15	1515.4	857.5	0.57	0.066	0.00105	0.01838	0.0008	0.002	0.00003	13.0	0.19
16	816.3	322.7	0.40	0.0687	0.00118	0.18993	0.00587	0.0201	0.00025	128.0	1.6
17	1585.5	1098.8	0.69	0.06	0.00126	0.01619	0.00078	0.002	0.00003	12.6	0.19
18	1376.6	1434.5	1.04	0.0879	0.00128	0.0239	0.00104	0.002	0.00003	12.7	0.19
19	1089.9	1157.1	1.06	0.0959	0.00121	0.02669	0.00124	0.002	0.00003	13.0	0.21
20	344.8	10.3	0.03	0.0618	0.00119	0.51458	0.01827	0.0605	0.00082	378.6	4.96

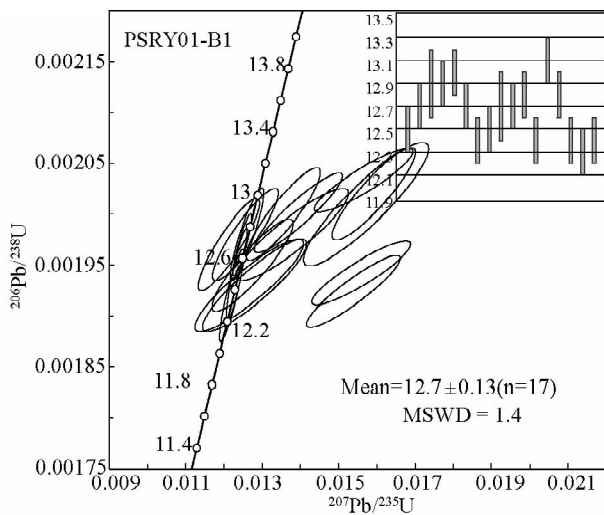


图5 斯如依迭尔花岗闪长岩锆石 LA-ICP MS U-Pb 谐和图

Fig. 5 U-Pb concordia plots of zircons from the Siruyidieer granodiorite

对较高,其 $(\text{La}/\text{Sm})_N$ 在3.38~10.35之间,平均为8.36,稀土元素配分模式为中等向右倾斜曲线,与塔什库尔干苦于干碱性岩相似,表明它们可能形成于相似的构造环境。

4.3 锆石 U-Pb 测年

本次测年样品采自与矿化关系密切的花岗闪长岩

(PSRY01-B1)。样品锆石的阴极发光图像见图4, LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 同位素测定结果见表2,其谐和图见图5。

样品 PSRY01-B1 (花岗闪长岩) 中锆石多为短柱状,长宽比多为1.5:1左右,锥面和柱面发育完善,晶体自形程度好,无色或浅黄色,透明。锆石阴极发光图像揭示锆石较明亮,岩浆震荡韵律环带极为发育且较狭窄,显示岩浆锆石特征。前19个分析点显示锆石具有变化的U含量($816.3 \times 10^{-6} \sim 1586 \times 10^{-6}$)、Th含量($322.7 \times 10^{-6} \sim 1627 \times 10^{-6}$), Th/U(0.4~1.2)比值都比较高,大部分测点的Th/U比值为0.40以上,表明这些锆石为典型的岩浆成因锆石(吴元保和郑永飞,2004)。所有测点的U-Pb同位素组成在误差范围内非常谐和, $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 加权平均年龄为 $12.70 \pm 0.13\text{Ma}$ (图4a), MSWD = 1.4,代表花岗闪长岩的岩浆结晶年龄。另外,测点16和20的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 的年龄值分别为 $128 \pm 1.6\text{Ma}$ 和 $378.6 \pm 4.96\text{Ma}$,可能是岩浆侵位时捕获的燕山期和海西期岩浆岩的锆石。

5 讨论

5.1 岩体成因及形成的大地构造背景

斯如依迭尔花岗闪长岩的里特曼指数 σ 在2.46~3.20之间,平均2.98($n=2$),属于钙碱性岩。Barbarin(1999)将混合源钙碱性岩分为KCG和ACG两类,KCG贫CaO、富 K_2O ,主要来源于地壳,而ACG贫 K_2O 、富CaO,主要来源于地幔(Depaolo and Farmer,1984;Giret,1990),在本次研究中,

我们选取的 4 个全岩样品的 CaO 含量在 0.65 ~ 1.35 之间,平均为 0.93, K₂O 含量在 5.79 ~ 4.18 之间,平均为 5.25, 应属于 KCG 岩类,从而表明了斯如依迭尔花岗闪长岩岩浆主要来源于壳源。然而,富碱岩体相对富集 LILE、相对亏损 HFSE, La/Ce = 0.4 ~ 0.64, Ce/Nd = 2.7 ~ 3.27, Sm/Nd = 0.13 ~ 0.21, 显示出未受外来物质混染和岩浆源区具有壳幔混源的地球化学特征(邓万明等,1998;Hou *et al.*, 2007)。

该类岩石的化学组成以稀土总量相对较高、亏损高场强元素(Ti、Zr、Y、Ta、Nb)和富集大离子亲石元素(Rb、Ba、Th、U、K)为特征,与滇西碱性岩体地球化学特征相似,表明它们可能形成于相似的构造环境,这些结果表明斯如依迭尔花岗闪长岩的形成与俯冲相关(Miller *et al.*, 1999)。该类岩石在花岗岩的(Y + Nb)-Rb 和 Nb-Y 判别图解中(图 2),所有样品均落在火山弧花岗岩(或同碰撞花岗岩)区域,而在主量元素的 R₁-R₂ 多阳离子构造环境判别图解中,花岗闪长岩的投影点多落在晚造山范围,可以看出斯如依迭尔花岗闪长岩体的形成大地构造背景为晚造山-岛弧环境,这与柯珊等(2006)对塔什库尔干地区苦子干碱性岩体的研究获得的结论相一致,因此,斯如依迭尔花岗闪长岩与苦子干和卡日巴生岩体为同源演化关系,斯如依迭尔花岗闪长岩体应形成于碰撞后伸展环境。

研究证实,自新生代欧亚板块碰撞以来,帕米尔构造成为青藏高原构造挤压最强烈的地区之一(肖序常等, 2002)。印度-亚洲大陆的最终俯冲、碰撞和陆壳消减,部分壳源物质被带入下插的地幔楔中,并与地幔物质发生混合,在大规模走滑断裂系统作用下发生部分熔融(Hou *et al.*, 2003),并沿有利构造部位上侵形成钾质、超钾质富碱岩浆岩(莫宣学等,2006,2007;Hou *et al.*, 2006,2007)。在碰撞后的伸展环境下,青藏高原西北缘由挤压转为引张,岩石圈底部由于受到拉张而发生拆沉作用,引起软流圈上涌(丁林等, 1999),发生部分熔融而形成高钾富碱岩浆活动。显然,塔什库尔干地区碱性岩体与青藏高原西北缘大规模走滑逆冲作用有关的地壳部分熔融以及壳幔混合作用密切相关(罗照华等,2007a,b),同时,边界断裂的活化又导致断裂深部幔源岩浆的侵入。

5.2 岩体年龄时限及对成矿时代的限制

如前所述,塔什库尔干地区的碱性岩,不同时期、不同单位,采用 K-Ar 法和 Ar-Ar 法定测的同位素年龄相差较大(姜春发等,1992;潘裕生,2000;罗照华等,2003;林清茶等,2006;柯珊等,2006)。柯珊等(2006)在对组成塔什库尔干碱性岩带的苦子干岩体和卡日巴生岩体进行高精度锆石 SHRIMP U-Pb 测年,获得锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为 11Ma,并与部分钾长石⁴⁰Ar-³⁹Ar 法进行对比,发现苦子干岩体中的钾长石含有过剩的 Ar,认为钾长石不宜作为⁴⁰Ar-³⁹Ar 定年对象。塔什库尔干地区经历了复杂的地质演化历史,碱性岩体的形成与演化不可避免的受到多期次的构造活动的影响,其原有的同

位素体系可能会遭到破坏,因此应用上述方法不能获得准确的年龄数据。目前,被广大地质学家接受的是 SHRIMP U-Pb 法和 LA-ICP MS U-Pb 法,由于锆石 U-Pb 体系具有封闭温度高、富含 U 和 Th、低普通 Pb 以及较高的矿物稳定性,使得锆石 U-Pb 定年成为同位素年代学研究中最为有效的方法之一,并已得到广泛应用(刘玉平等,2006)。

本文对塔什库尔干斯如依迭尔矿区花岗闪长岩中锆石 LA-ICP MS U-Pb 年代学研究结果显示 18 个测点分析结果十分集中,且具有很高的协和度,由此拟合的谐和年龄精度很高。CL 图像显示锆石晶形良好,并且具有韵律环带,表现出岩浆锆石的特征(图 4)。采用 Andersen(2002)方法对锆石颗粒 U-Pb 同位素 LA-ICP MS 定年结果进行普通铅校正后,可见所测锆石年龄较年轻,适合于采用²⁰⁶Pb/²³⁸U 年龄(Griffin *et al.*, 2004)。因此,本文获得 LA-ICP MS U-Pb 年龄为 12.7 ± 0.13Ma,该年龄可以代表斯如依迭尔花岗闪长岩体的侵入年龄,与柯珊等(2006)应用 SHRIMP U-Pb 法获得的苦子干和卡日巴生岩体的侵入年龄(11Ma)在误差范围内基本一致,说明了塔什库尔碱性杂岩体形成于中新世中期,并可能为幕式岩浆涌动的结果。本次测年结果还表明,有两个岩浆锆石测点 U-Pb 年龄值分别为 128 ± 1.6Ma 和 378.6 ± 4.8Ma,可能为岩浆上升侵位过程中俘获中生代和古生代花岗岩锆石的年龄,反映出这些继承性锆石来源与多种不同时代的岩石有关。

区域上,由南向北不同地段碱性岩的侵入年龄具有一定的变化规律。在南段,滇西、藏东一带为 40 ~ 30Ma(张玉泉和谢应雯,1997;林清茶等,2005;万哨凯等,2005);在中段,青海南部碱性岩为 36 ~ 33Ma(邓万明等,1998,1999)、可可西里风火山碱性岩为 31Ma(张玉泉和谢应雯,1997)、藏北火车头山碱性岩为 33 ~ 20Ma(刘红英等,2004)、南羌塘走构油茶和纳丁错碱性岩为 34.64 ± 0.55Ma 和 35.03 ± 0.54Ma(刘建峰等,2009);在北段,西昆仑-喀喇昆仑山地区羊湖、管坎和苦子干碱性岩为 18 ~ 11Ma(林清茶等,2006;柯珊等,2006)、斯如依迭尔花岗闪长岩体为 12.7Ma。另外,邻区的 Dunkeldik 山谷也发育一系列 11Ma 左右的碱性火山岩,Ar-Ar 年龄为分别为 10.8 ~ 11.1 ± 0.15Ma, 11.2Ma 和 11.5 ± 0.2Ma(Ducea *et al.*, 2003)。显示出哀牢山-金沙江新生代代碱性岩浆岩带的岩浆作用东南早西北晚的特征。亦充分说明了在中新世中期(13 ~ 11Ma),塔什库尔干地区广泛和强烈的富碱性岩浆活动,可能携带了大量的成矿物质,为成矿奠定了基础。

地质研究表明,铅锌矿化分布在花岗闪长岩体与围岩的外接触带上,矿化蚀变带发育于岩体边部,受破碎带控制,矿化为石英脉型。另外,在岩体内部见有含铜铀矿化的石英脉,成矿与花岗闪长岩在空间和时间关系最为密切。所以,斯如依迭尔铅锌矿点矿化作用最早应该发生于喜山期晚期-中新世中期,同时也是塔什库尔干铜、铁、铅锌多金属矿带一次重要的矿化事件。

5.3 成矿构造背景及意义

研究表明,形成于65Ma的印度-欧亚大陆正向碰撞造山带(Hou *et al.*, 2003; Yin and Harrison, 2000),控制着含矿岩浆活动的走滑断裂系统,形成了3期分别为58~56Ma, 27~22Ma, 13~12Ma的变形(张进江等, 2006)。另外,至中新世(24~17Ma)压力场由压扭状态转为明显的张应力状态(Wang *et al.*, 2001),为后碰撞伸展环境。主要体现在青藏高原西北缘,自23Ma以来,帕米尔-西昆仑前陆地带沉降速度突然加快,可能是喀喇昆仑走滑断裂系的影响,导致岩石圈更容易变形,在强大的构造及压力作用下的反应(李向东和王克卓, 2000),压力松弛可能导致了含矿岩浆沿大规模走滑断裂的脉动性和周期性侵位,诱发了岩浆-热液-成矿事件(侯增谦等, 2006a, b; 侯增谦和王二七, 2008)。本次锆石 LA-ICP MS U-Pb 测年证实,本次岩浆活动可能与第3期13~12Ma的变形有关,塔什库尔干碱性杂岩及有关的构造运动在本区有一定的显现,区内与碱性侵入体有关的铜、铅锌多金属矿化主要成矿期为喜马拉雅期,其成矿时代上限为13Ma左右,与青藏高原西北部喜山期钾质富碱岩浆活动高峰期一致,是印-亚大陆碰撞造山过程在青藏高原西北缘-帕米尔构造结,构造转换带内岩浆作用的产物。青藏高原西北缘喜山期构造-岩浆-成矿事件,导致阿尔金、喀喇昆仑走滑断裂系统早期挤压,晚期拉张,控制了青藏高原西北缘的碱性岩浆岩带及与之相关的金属矿床成矿作用。因此,巨型走滑断裂带是富碱岩浆的运移通道,主干断裂及其次级断裂常常控制富碱岩体及相关矿床定位和分布。

构造背景与成矿关系的研究表明,块体边缘与缝合带通常是大规模成矿的有利地带,造山带由挤压到伸展的转变期是大规模成矿的有利时期(陈衍景, 2006; 王京彬和徐新, 2006),塔什库尔干地区位于喀喇昆仑、西昆仑和帕米尔三大构造单元的结合部位,具备良好的成矿位置条件。近年来,先后在塔什库尔干地区发现大量的沉积变质型矿床、矽卡岩型、热液脉型等铁、铜、铅锌多金属矿床(胡建卫等, 2010),在找矿方面取得了重大突破。前人认为成矿时代主要为太古代、加里东期、海西-印支期、燕山期,以及喜山期(河南地质调查院, 2004^①),但大多是根据地体之间接触关系判断的,还不能准确确定成矿年龄。本文最新获得的与成矿有关的花岗闪长岩锆石 LA-ICP MS U-Pb 年龄,确定了塔什库尔干地区确实存在着喜山期成岩成矿事件。因此,在塔什库尔干地区存在着一期与喜山期碱性岩浆活动相伴的铅锌成矿作用,碱性岩浆活动发育地区是今后重要的有利的找矿靶区。

6 结论

本文通过对斯如依迭尔铅锌矿点含矿的花岗闪长岩进行研究,得出如下认识:

(1)斯如依迭尔铅锌矿点含矿花岗闪长岩的锆石 LA-ICP MS U-Pb 年龄为 12.7 ± 0.13 Ma, 岩体形成于喜山晚期(中新世晚期)。矿化与碱性侵入体关系密切,因此,花岗闪长岩锆石 LA-ICP MS U-Pb 年龄也表明斯如依迭尔铅锌矿点成矿作用发生在喜山期,成矿年龄等于或者略小于13Ma左右。

(2)花岗闪长岩的主量、微量和稀土元素特征表明,铝指数(A/KNC)均大于1(平均1.12),为弱过铝质;属于碱性-高钾钙碱性、高钾岩系列岩石。富碱岩体相对富集 LILE、相对亏损 HFSE, $La/Ce = 0.4 \sim 0.64$, $Ce/Nd = 2.7 \sim 3.27$, $Sm/Nd = 0.13 \sim 0.21$, 花岗闪长岩形成于后碰撞伸展环境。青藏高原的西北缘的富碱岩浆,是在喀喇昆仑走滑断裂系统早期挤压、晚期拉张的构造转化,以及第3期(13~12Ma)走滑变形的影响下,上升侵位形成的。

(3)斯如依迭尔铅锌矿点的成矿母岩体的地球化学性质表明,该区富碱性侵入体可能有利于成矿,可作为进一步找矿方向。

References

- Andersen T. 2002. Correction of common lead in U-Pb analyses that do not report ^{204}Pb . *Chemical Geology*, 192(1-2): 59-79
- Barbarin BA. 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, 46(3): 605-626
- Batchelor RB and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 48: 43-55
- Boynnton WV. 1984. Geochemistry of the rare elements: Meteorite studies. In: Henderson P (ed.). *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, 63-114
- Chen YJ. 2006. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential. *Geology in China*, 33(6): 1181-1196 (in Chinese with English abstract)
- Depaolo DJ and Farmer GL. 1984. Isotopic data bearing on the origin of Mesozoic and Tertiary granitic rocks in the western United States. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 310(1514): 743-753
- Deng WM, Huang X and Zhong DL. 1998. Petrological characteristics and genesis of Cenozoic alkali-rich porphyry in west Yunnan, China. *Scientia Geologica Sinica*, 33(4): 412-425 (in Chinese with English abstract)
- Deng WM, Sun HJ and Zhang YQ. 1999. K-Ar dating of Cenozoic volcano rock in Qinghai Nangqian basin. *Chinese Science Bulletin*, 44(23): 2554-2558 (in Chinese)
- Ding DG, Wang DX, Liu WX and Sun SW. 1996. *The West Kunlun Orogenic Belt and Basin*. Beijing: Geological Publishing House, 183-217 (in Chinese)
- Ding L, Zhang JJ, Zhou Y, Deng WM, Xu RH and Zhong DL. 1999. Tectonic implication on the lithosphere evolution of the Tibet Plateau: Petrology and geochemistry of sodic and ultrapotassic volcanism in Northern Tibet. *Acta Petrologica Sinica*, 15(3): 408-421 (in Chinese with English abstract)
- Ducea MN, Lutkov V, Minaev VT, Hacker B, Ratschbacher L, Luffi P,

① 河南地质调查院. 2004. 克克吐鲁幅和塔什库尔干塔吉克自治县幅 1:250000 区域地质调查报告

- Schwab M, Gehrels GE, McWilliams M, Vervoort J and Metcalf J. 2003. Building the Pamirs: The view from the underside. *Geology*, 31(10): 849–852
- Giret A. 1990. Typology, evolution, and origin of the Kerguelen Plutonic Series, Indian Ocean; A review. *Geological Journal*, 25(3–4): 239–247
- Griffin WL, Belousova EA, Shee SR, Pearson NJ and O'Reilly SY. 2004. Archean crustal evolution in northern Ylarn Craton; U-Pb and Hf-isotope evidence from detrital zircons. *Precambrian Research*, 131(3–4): 231–282
- Hou ZQ, Ma HW, Zaw K, Zhan YQ, Wang MJ, Wang ZN, Pan GT and Tang RL. 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet. *Economic Geology*, 98(1): 125–145
- Hou ZQ, Zeng PS, Gao YF, Du AD and Fu DM. 2006. Himalayan Cu-Mo-Au mineralization in the eastern Indo-Asian collision zone: Constraints from Re-Os dating of molybdenite. *Mineralium Deposita*, 41(1): 33–45
- Hou ZQ, Yang ZS, Xu WY, Mo XX, Ding L, Gao YF, Dong FL, Li GM, Qu XM, Zhao ZD, Jing SH, Meng XJ, Li ZQ, Qin KZ and Yang ZM. 2006a. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: I. Mineralization in main collisional orogenic setting. *Mineral Deposits*, 25(4): 337–358 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Pan GT, Wang AJ, Mo XX, Tian SH, Sun XM, Ding L, Wang EQ, Gao YF, Xie YL, Zeng PS, Qin KZ, Qu XM, Yang ZM, Yang ZS, Fei HC, Meng XJ and Li ZQ. 2006b. Metallogenesis in Tibetan collisional orogenic belt: II. Mineralization in late-collisional transformation setting. *Mineral Deposits*, 25(5): 521–543 (in Chinese with English abstract)
- Hou ZQ, Zaw K, Pan GT, Mo XX, Xu Q, Hu YZ and Li XZ. 2007. Sanjiang Tethyan metallogenesis in S. W. China: Tectonic setting, metallogenic epochs and deposit types. *Ore Geology Reviews*, 31(1–4): 48–87
- Hou ZQ and Wang EQ. 2008. Metallogenesis of the Indo-Asian collisional orogen; New advances. *Acta Geoscientia Sinica*, 29(3): 275–292 (in Chinese with English abstract)
- Hu JW, Zhuang DZ and Yang WZ. 2010. The integrated information predicting model of the Zankan iron deposit, Tashikuergan area, southwestern Xinjiang, China and its application in regional metallogenic prognosis. *Geological Bulletin of China*, 29(10): 1495–1503 (in Chinese with English abstract)
- Jiang CF, Yang JS, Feng BG, Zhao M and Chai YC. 1992. Opening-Closing Tectonics of Kunlun Mountains. Beijing: Geological Publishing House, 1–224 (in Chinese)
- Jiang YH and Yang WZ. 2000. Geochemical characteristics and rock series of Himalayan granulites in western Qinhai-Xizang Plateau. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 19(4): 289–296 (in Chinese with English abstract)
- Ke S, Mo XX, Luo ZH, Zhan HM, Liang T, Li L and Li WT. 2006. Petrogenesis and geochemistry of Cenozoic Taxkorgan alkalic complex and its geological significance. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 905–915 (in Chinese with English abstract)
- Ke S, Luo ZH, Mo XX, Zhang WH, Liang T and Zhan MH. 2008. The geochronology of Taxkorgan alkalic complex, Pamir syntax. *Acta Petrologica Sinica*, 24(2): 315–324 (in Chinese with English abstract)
- Li XD and Wang KZ. 2000. The Tethys framework and its tectonic significance of Southwest Tarim and the adjacent region. *Xinjiang Geology*, 18(2): 113–120 (in Chinese with English abstract)
- Lin QC, Xia B, Zhang YQ and Wang YB. 2005. Zircon SHRIMP dating of the Bayicun potassic alkali-granite, Jinping, Yunnan, in the southern segment of the Ailaoshan-Jinshajiang alkaline rock belt. *Regional Geology of China*, 24(5): 420–423 (in Chinese with English abstract)
- Lin QC, Xia B and Zhang YQ. 2006. Ar-Ar dating of potassic alkali-rocks in the western Kunlun-Kalakovum Mountains; Example for the rocks of Yanghu, Zankan and Kuzigan. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 26(2): 66–70 (in Chinese with English abstract)
- Liu HY, Xia B, Deng WM and Zhang YQ. 2004. Study of ^{40}Ar - ^{39}Ar and K-Ar dating on the high-K volcanic rock from Bamaoqiongzong to Qiangbaqian in the northern Tibet. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 24(1): 71–75 (in Chinese with English abstract)
- Liu JF, Chi XG, Zhao XY, Zhao Z, Dong CY, Li GY and Zhao YD. 2009. Chronology, geochemistry and tectonic significances of the Cenozoic Zougouyouchacuo and Nadingcuo volcanic rocks in northern Tibetan Plateau. *Acta Petrologica Sinica*, 25(12): 3259–3274 (in Chinese with English abstract)
- Liu YP, Ye L, Li CY, Song B, Li TS, Guo LG and Pi DH. 2006. Discovery of the Neoproterozoic magmatites in southeastern Yunnan: Evidence from SHRIMP zircon U-Pb dating and litho-geochemistry. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 916–926 (in Chinese with English abstract)
- Luo ZH, Mo XX and Ke S. 2003. Ages of Taxkorgan alkaline intrusive complex and their geological implications. *Xinjiang Geology*, 21(1): 46–50 (in Chinese with English abstract)
- Luo ZH, Mo XX, Lu XX, Chen BH, Ke S, Hou ZQ and Jiang W. 2007a. Metallogeny by trans-magmatic fluids-theoretical analysis and field evidence. *Earth Science Frontiers*, 14(3): 165–183 (in Chinese with English abstract)
- Luo ZH, Xin HT, Chen BH, Ke S and Huang JX. 2007b. On the crust-mantle transition layer and its implications in continental geodynamics. *Geoscience*, 21(2): 421–425 (in Chinese with English abstract)
- Miller C, Schuster R, Klötzli U, Frank W and Purtscheller F. 1999. Post-collisional potassic and ultrapotassic magmatism in SW Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-O isotopic constraints for mantle source characteristics and petrogenesis. *Journal of Petrology*, 40(9): 1399–142
- Mo XX, Zhao ZD, Depaolo DJ, Zou X and Dong GC. 2006. Three types of collisional and post-collisional magmatism in the Lhasa block, Tibet and implications for India intra-continental subduction and mineralization: Evidence from Sr-Nd isotopes. *Acta Petrologica Sinica*, 22(4): 795–803 (in Chinese with English abstract)
- Mo XX, Zhao ZD, Deng JF, Yu XH, Luo ZH and Dong GC. 2007. Migration of the Tibetan Cenozoic potassic volcanism and its transition to eastern basaltic province: Implications for crustal and mantle flow. *Geoscience*, 21(2): 255–264 (in Chinese with English abstract)
- Pan YS. 2000. Geological Evolution of the Karakorum-Kunlun Mountains. Beijing: Science Press, 1–258 (in Chinese with English abstract)
- Pearce JA. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19: 120–125
- Sun SS and McDonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Saunders SD and Norry MJ (eds.). *Magmatism in Ocean Basins*. Geological Society of London Special Publication, 42(1): 313–345
- Wan SK, Xia B and Zhang YQ. 2005. SHRIMP zircon U-Pb dating of Laojunshan syenite. *Geotectonica et Metallogenia*, 29(4): 522–526 (in Chinese with English abstract)
- Wang JB and Xu X. 2006. Post-collisional tectonic evolution and metallogenesis in northern Xinjiang, China. *Acta Geologica Sinica*, 80(1): 23–31 (in Chinese with English abstract)
- Wang JH, Yin A, Harrison TM, Grove M, Zhang YQ and Xie GH. 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo-Asian collision zone. *Earth and Planetary Science Letters*, 188(1–2): 123–133
- Wang ZG, Wang YL, Bi H and Zhu XQ. 2002. Three alkali-rich intrusive rock belts in Kunlun Mountain and Altun Mountain area. *Geology and Mineral Resources of South China*, (3): 2–8 (in Chinese with English abstract)
- Wright JB. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to question of non-orogenic granite genesis. *Geological Magazine*, 106(4): 370–384
- Wu YB and Zheng YF. 2004. Genesis of zircon and its constraints on interpretation of U-Pb age. *Chinese Science Bulletin*, 49(15): 1554

- 1569

- Xiao XC, Liu X, Gao R and Luo ZH. 2002. Lithospheric structure and tectonic evolution of the West Kunlun and its adjacent areas—brief report on the South Tarim-West Kunlun multidisciplinary geo-science transect. *Regional Geology of China*, 21(2): 63–68 (in Chinese with English abstract)
- Xie YW and Zhang YQ. 1998. Amphiboles and pyroxenes in alkali-rich intrusions in eastern Qinghai-Xizang Plateau and its adjacent areas. *Acta Mineralogica Sinica*, 18(1): 90–96 (in Chinese with English abstract)
- Yin A and Harrison TM. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 28: 211–280
- Zhang YQ and Xie YW. 1994. Alkali-rich intrusive rocks in the Qinghai-Xizang Plateau and its vicinities as exemplified by Kuzigan and Taihe plutons. *Science in China (Series B)*, 24(10): 1102–1108 (in Chinese)
- Zhang YQ and Xie YW. 1997. Geochronology of Ailaoshan-Jinshajing alkalic intrusive rocks and their Sr and Nd isotopic characteristics. *Science in China (Series D)*, 27(4): 289–293 (in Chinese)
- Zhang JJ, Zhong DL, Sang HQ and Zhou Y. 2006. Structural and geochronological evidence for multiple episodes of deformation since Paleocene along the Ailao Shan-Red River Shear Zone, southeastern Asia. *Chinese Journal of Geology*, 41(2): 291–310 (in Chinese with English abstract)
- 附中文参考文献**
- 陈衍景. 2006. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力. *中国地质*, 33(6): 1181–1196
- 邓万明, 黄莹, 钟大赉. 1998. 滇西新生代富碱斑岩的岩石特征与成因. *地质科学*, 33(4): 412–425
- 邓万明, 孙宏娟, 张玉泉. 1999. 青海囊谦盆地新生代火山岩的 K-Ar 年龄. *科学通报*, 44(23): 2554–2558
- 丁道桂, 王道轩, 刘伟新, 孙世群. 1996. 西昆仑造山带与盆地. 北京: 地质出版社, 183–217
- 丁林, 张进江, 周勇, 邓万明, 许荣华, 钟大赉. 1999. 青藏高原岩石圈演化的记录: 藏北超钾质及钠质火山岩的岩石学与地球化学特征. *岩石学报*, 15(3): 408–421
- 侯增谦, 杨竹森, 徐文艺, 莫宣学, 丁林, 高永丰, 董方浏, 李光明, 曲晓明, 赵志丹, 江思宏, 孟祥金, 李振清, 秦克章, 杨志明. 2006a. 青藏高原碰撞造山带: I. 主碰撞造山成矿作用. *矿床地质*, 25(4): 337–358
- 侯增谦, 潘桂棠, 王安建, 莫宣学, 田世洪, 孙晓明, 丁林, 王二七, 高永丰, 谢玉玲, 曾普胜, 秦克章, 许继峰, 曲晓明, 杨志明, 杨竹森, 费红彩, 孟祥金, 李振清. 2006b. 青藏高原碰撞造山带: II. 晚碰撞转换成矿作用. *矿床地质*, 25(5): 521–543
- 侯增谦, 王二七. 2008. 印度-亚洲大陆碰撞成矿作用主要研究进展. *地球学报*, 29(3): 275–292
- 胡建卫, 庄道泽, 杨万志. 2010. 新疆西南部塔什库勒干地区赞坎铁矿综合信息预测模型及其在区域预测中的应用. *地质通报*, 29(10): 1495–1503
- 姜春发, 杨经绥, 冯秉贵, 赵民, 柴耀楚. 1992. 昆仑开合构造. 北京: 地质出版社, 1–224
- 姜耀辉, 杨万志. 2000. 青藏高原西部喜马拉雅期花岗岩类特征及岩石系列. *岩石矿物学杂志*, 19(4): 289–296
- 柯珊, 莫宣学, 罗照华, 詹明华, 梁涛, 李莉, 李文韬. 2006. 塔什库勒干新生代碱性杂岩的地球化学特征及岩石成因. *岩石学报*, 22(4): 905–915
- 柯珊, 罗照华, 莫宣学, 张文会, 梁涛, 詹明华. 2008. 帕米尔构造结塔什库勒干碱性杂岩同位素年代学研究. *岩石学报*, 24(2): 315–324
- 李向东, 王克卓. 2000. 塔里木盆地西南及邻区特提斯格局和构造意义. *新疆地质*, 18(2): 113–120
- 林清茶, 夏斌, 张玉泉, 王彦斌. 2005. 哀牢山-金沙江碱性岩带南段云南金平八一村钾质碱性花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄. *地质通报*, 24(5): 420–423
- 林清茶, 夏斌, 张玉泉. 2006. 西昆仑-喀喇昆仑地区钾质碱性岩 Ar-Ar 年龄: 以羊湖、笄坎和苦子干岩体为例. *矿物岩石*, 26(2): 66–70
- 刘红英, 夏斌, 邓万明, 张玉泉. 2004. 藏北巴毛穷宗-羌巴欠火山岩 K-Ar 和 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学研究. *矿物岩石*, 24(1): 71–75
- 刘建峰, 迟效国, 赵秀羽, 赵芝, 董春艳, 黎广荣, 赵院东. 2009. 青藏高原北部新生代走构油茶错、纳丁错火山岩年代学、地球化学特征及其构造意义. *岩石学报*, 25(12): 3259–3274
- 刘玉平, 叶霖, 李朝阳, 宋彪, 李铁胜, 郭利果, 皮道会. 2006. 滇东南发现新元古代岩浆岩: SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学证据. *岩石学报*, 22(4): 916–926
- 罗照华, 莫宣学, 柯珊. 2003. 塔什库勒干碱性杂岩体形成时代及其地质意义. *新疆地质*, 21(1): 46–50
- 罗照华, 莫宣学, 卢欣祥, 陈必河, 柯珊, 侯增谦, 江万. 2007a. 透岩浆流体成矿作用-理论分析与野外证据. *地学前缘*, 14(3): 165–183
- 罗照华, 辛后田, 陈必河, 柯珊, 黄金香. 2007b. 壳幔过渡层及其大陆动力学意义. *现代地质*, 21(2): 421–425
- 莫宣学, 赵志丹, Depaolo DJ, 周萧, 董国臣. 2006. 青藏高原拉萨地块碰撞-后碰撞岩浆作用的三种类型及其对大陆俯冲和成矿作用的启示: Sr-Nd 同位素证据. *岩石学报*, 22(4): 795–803
- 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 喻学惠, 罗照华, 董国臣. 2007. 青藏高原新生代钾质火山活动的时空迁移及向东部玄武岩省的过渡: 壳幔深部物质流的暗示. *现代地质*, 21(2): 255–264
- 潘裕生. 2000. 喀喇昆仑山-昆仑山地区地质演化. 北京: 科学出版社, 1–258
- 万哨凯, 夏斌, 张玉泉. 2005. 老君山正长岩锆石 SHRIMP 定年. *大地构造与成矿学*, 29(4): 522–526
- 王京彬, 徐新. 2006. 新疆北部后碰撞构造演化与成矿. *地质学报*, 80(1): 23–31
- 王中刚, 王元龙, 毕华, 朱笑青. 2002. 昆仑山-阿尔金山地区的三条富碱侵入岩带. *华南地质与矿产*, (3): 2–8
- 吴元保, 郑永飞. 2004. 锆石成因矿物学研究及其对 U-Pb 年龄解释的制约. *科学通报*, 49(16): 1589–1604
- 肖序常, 刘训, 高锐, 罗照华. 2002. 西昆仑及邻区岩石圈结构构造演化: 塔里木南-西昆仑多学科地学断面简要报道. *地质通报*, 21(2): 63–68
- 谢应雯, 张玉泉. 1998. 青藏高原东部及邻区富碱侵入岩中的角闪石和辉石. *矿物学报*, 18(1): 90–96
- 张玉泉, 谢应雯. 1994. 青藏高原及邻区富碱侵入岩——以苦子干和太和二岩体为例. *中国科学(B辑)*, 24(10): 1102–1108
- 张玉泉, 谢应雯. 1997. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd, Sr 同位素特征. *中国科学(D辑)*, 27(4): 289–293
- 张进江, 钟大赉, 桑海清, 周勇. 2006. 哀牢山-红河构造带古新世以来多期活动的构造和年代学证据. *地质科学*, 41(2): 291–310