# 金属矿产〔

# 西天山可可萨拉铜铁钼多金属矿区石英闪长岩的 地球化学、SHRIMP U – Pb 年代学及形成环境

高景刚<sup>1,2</sup>,李文渊<sup>2</sup>,薛春纪<sup>3</sup>,周昌平<sup>4</sup>,赵 强<sup>4</sup>,张照伟<sup>2</sup>,曹 原<sup>1</sup> (1. 长安大学,西部矿产资源与地质工程教育部重点实验室,陕西西安 710054;2. 西安地质矿产研究所, 陕西西安 710054;3. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,地学院,北京 100083; 4. 新疆维吾尔自治区地质矿产勘查开发局第七地质大队,新疆乌苏 833000)

[摘 要]对西天山可可萨拉铜铁钼多金属矿区的石英闪长岩开展了岩石地球化学和定年工作。 岩石地球化学特征表明,石英闪长岩体具有较高的 SiO<sub>2</sub>、Al(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 14.13% ~ 15.10%)和碱总量,富 Na 贫 K,属准铝 - 弱过铝质岩石。微量元素和稀土元素分析结果显示,本区岩体具有高的 LREE/HREE 和 LILE/HFSE 比值,以富集大离子亲石元素(K、Rb、Ba、Th),而相对亏损高场强元素(Zr、Hf、Y、Yb), 与陆壳区(同碰撞花岗岩和后碰撞)花岗岩类似。石英闪长岩的锆石 SHRIMP U - Pb 测年结果表明,石 英闪长岩的形成年龄为 365.3 ± 2.8Ma, MSWD = 1.08,指示其形成于晚泥盆世。地球化学和铅同位素特 征暗示形成岩体的岩浆是地壳部分熔融形成,并混有少量的幔源物质,具有混源花岗岩的特点。结合邻 区岩浆岩的特征及其时代,石英闪长岩形成于碰撞构造事件,处于碰撞后期的隆升阶段。

[关键词] 石英闪长岩 SHRIMP U - Pb 定年 地球化学 西天山 新疆 [中图分类号]P597.3 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2014)06-1007-08

Gao Jing-gang, Li Wen-yuan, Xue Chun-ji, Zhou Chang-ping, Zhao Qiang, Zhang Zhao-wei, Cao Yuan. SHRIMP zircon U – Pb dating and geochemical characteristics of quartz diorite in the Kekesala Cu – Fe – Mo polymetallic deposit, West Tian Shan and its formation environment [J]. Geology and Exploration, 2014, 50(6):1007 – 1014.

1 引言

西天山可可萨拉铜铁钼多金属矿区位于新疆精 河县可可萨拉河上游(图1),是古生代博罗霍洛铁 铜钼铅锌矿集区的重要组成部分。近年来,新疆地 矿局第七地质大队在可可萨拉-莱利斯高尔一带开 展了铁铜钼铅锌矿产勘查工作,新发现多处铁铜、 钼、铅锌矿产地(冯京等,2011;程松林等,2009),区 域成矿规律显示,在研究区形成了晚泥盆世-早石 炭世和晚石炭世两个成矿期的多矿种、多成因,在空 间、时间分布与海西期构造岩浆作用关系密切的矿 床,其中区域上分布的晚泥盆世岩体控制着可可萨 拉、艾木斯呆依、哈勒尕提等砂卡岩型 Fe-Cu 多金 属矿床的分布(高景刚,2014),可可萨拉铜铁钼多金 属矿区就产于晚泥盆世侵入岩与上奥陶统呼独克达 坂组灰岩的接触带上。可可萨拉铜铁钼多金属矿床 明显受区内晚泥盆世岩体控制,但对于该岩体的形成 时代一直存在争议(陈哲夫等,1997)。为了获得准确 的成岩成矿年代学数据,本文采用 SHRIMP 锆石微区 U-Pb 测年技术,对可可萨拉铜铁钼多金属矿床的石 英闪长岩进行年代学研究,在准确厘定成岩年龄的基 础上,结合岩石地球化学特征,探讨成岩与成矿关系, 为可可萨拉一带多金属矿床的找矿提供重要信息。

2 地质概况与岩体特征

2.1 地质概况

可可萨拉铜铁钼多金属矿床位于博罗霍洛山坡 大断裂之北,大地构造位置处于西天山博罗霍洛古

<sup>[</sup>收稿日期]2014-06-15;[修订日期]2014-09-12;[责任编辑]郝情情。

<sup>[</sup>基金项目]中国地质调查局我国典型三稀金属矿床研究与靶区优选(12120113078200)和新疆北部晚古生代大规模岩浆作用与成矿耦合 关系研究(1212011121092)资助。

<sup>[</sup>第一作者]高景刚(1974年-),男,2008年毕业于长安大学,获博士学位,副教授,现从事矿床学、矿产普查与勘探专业教学和科研工作。 E-mail:jggao@chd.edu.cn



1-上奧陶统呼独克达坂组;2-上志留统博罗霍洛山组;3-上志留统库茹组;4-中泥盆统汗吉尕组;5-下石炭统阿恰勒组;6-断层/断裂 带;7-地质界线;8-不整合界线;9-同位素年龄;10-多金属矿床;11-泥盆纪花岗闪长岩/二长花岗岩;12-石炭纪花岗闪长岩、正长花 岗岩

1 - upper Ordovician Hudukedaban Formation; 2 - upper Silurian Boluohuoluoshan Formation; 3 - upper Silurian Kuru Formation; 4 - Diddle devonian Hanjiga Formation; 5 - lower Carboniferous Aqiale Formation; 6 - fault/fault zone; 7 - geologic boundary; 8 - unconformity boundary; 9 - isot opic age;10 - polymetallic deposit; 11 - Devonian granodiorite / monzonitic granite; 12 - Carboniferous granodiorite and syenogranite

生代复合岛弧带内。区内出露地层主要有奥陶系、 志留系、泥盆系、石炭系等地层。其中上奥陶统呼独 克达坂组由深灰一灰色碳酸盐岩为主夹少量中基性 火山岩组成,上志留统博罗霍洛山组为细碎屑岩,中 泥盆统汗吉尕组为一套火山碎屑岩 - 细碎屑岩,下 石炭统阿尔恰特组主要是一套灰色生物碎屑灰岩夹 砂岩、粉砂岩。区域上断裂较为发育,可分为北西 向、北东向和近东西向三组,其中北西向断裂控制了 区内花岗岩的分布。侵入岩主要为泥盆纪角闪石黑 云母二长花岗岩,角闪石黑云母花岗闪长岩和石炭 纪正长花岗岩等。岩体呈岩基状产出,延伸方向与 区域性断裂走向一致,个别浅成侵入体分布于大岩 体边部,呈岩枝、岩墙状产出。岩体与地层接触部位 多发生砂卡岩化,在区域上形成可可萨拉、艾木斯呆 依、哈勒尕提砂卡岩型铜铁钼多金属矿床(图1)。

#### 2.2 岩体分布及特征

可可萨拉铜铁钼多金属矿区出露晚泥盆世角闪 石黑云母二长花岗岩、角闪石黑云母花岗闪长岩和 石英闪长岩,前者控制了铁铜矿体的分布,石英闪长 岩与钼矿化关系密切。钼矿体主要分布在石英闪长 岩与上奥陶统呼独克达坂组的接触带上,目前共圈 1008

定1个矿体,均产于矿化石榴石透辉石砂卡岩中。 石英闪长岩呈北西向展布,长100m~120m,宽100 m 左右,主体向北西侧伏,倾角 70°~80°(图 2)。

石英闪长岩呈变余细粒半自形板粒结构,交代 结构、块状构造(图3)。由中更长石(30%~ 65%)、石英(20%~25%)、黑云母(10%±),少量 普通角闪石(<1%)、正长石(1%~2%)组成。岩 石发生轻度钾硅酸盐化。中更长石:An30 ±,0.2 × 0.5~0.5×1mm,半自形板状,略具环带,中心 An30 ±,外环 An20 ±,颗粒平均 An30 ±。内较多高岭 土、尘状黝帘石,少量绢云母。近半数晶粒有钾硅酸 盐化,表现为内部生成粒度 0.05mm 以下微粒集合 体,由新生的自形微板状更长石和少量微片状黑云 母组成,为钾硅酸盐进入斜长石晶粒,在其内部融蚀 而成。石英:0.5~0.8mm,次它形粒状,均匀分布斜 长石间,波形消光。黑云母:亮黄-浅茶褐色,片度 0.3~1mm,厚<0.3mm,多解体成0.1×0.2mm以 下的碎片集合分布。普通角闪石:淡黄-浅蓝绿色, 大小 0.05 × 0.1 mm 以下,融蚀半自形短柱粒状,无 定向,稀疏分布。副矿物:磁铁矿:0.3mm 以下,粒 状。磷灰石:0.05×0.3mm 以下,杆柱粒状。锆石: 0.05mm 以下,短柱粒状。榍石:0.1mm 以下,粒状。



 1-上奧陶统呼独克达坂组;2-二长花岗岩;3-花岗闪长岩;4-石英闪长岩;5-铁铜钼矿体;6-地质界线

1 - upper Ordovician Hudukedaban Formation; 2 - monzogranite; 3 - granodiorite; 4 - quartz diorite; 5 - Fe - Cu - Mo ore body; 6 - geologic boundary





Q - quartz ;Pl - plagioclase ;Bi - biotite

## 3 样品采集和分析方法

本文选取了可可萨拉铜铁钼多金属矿区的石英 闪长岩(KKZ1)进行锆石 U – Pb 定年分析,样品采 集于地理坐标:82°45′25″,44°07′12″,同时将剖面所 取得的6块样品进行岩石地球化学分析。

本次研究对象选择与钼矿化关系密切的石英闪 长岩,采集新鲜的样品(KKZ1),无风化、无矿化,样 品质量 10~15 kg,在河北省地勘局廊坊实验室内完 成处理。锆石阴极发光研究在中国地质科学院矿产 资源研究所电子探针研究室完成。锆石的 U – Pb 年龄数据是在中国地质科学院地质研究所北京离子 探针中心的网络虚拟实验室,通过 SHRIMP 远程共 享控制系统(SHRIMP Remote Operation System, SROS)远程控制位于澳大利亚 Curtin 理工大学 (Curtin University of Techonology)的 SHRIMP II 仪器 而获得的。相关仪器运行条件及详细分析流程见文 献(Compston *et al.*,1992)。主量元素和微量元素均 在核工业北京地质研究院分析中心测试,测试方法 及标准参见文献(高景刚,2013)。

## 4 分析结

#### 4.1.主元

新疆可可萨拉石英闪长岩分析样品具有较高烧 失量(1.32%~1.84%),显示岩石后期发生改造, 这与岩石学特征一致,主量元素分析结果及特征参 数见表1。

# 表 1 石英闪长岩的主量元素(%)分析结果表 Tablel The major elements(%) composition of

quartz diorite

样品号	KKG1	KKG2	KKG3	KKG4	KKG5	KKG6
$SiO_2$	67.32	67.60	66.48	67.23	67.13	68.17
${\rm TiO}_2$	0.67	0.62	0.65	0.63	0.56	0.60
$\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3$	15.10	14.77	14.88	14.66	14.13	14.85
$\rm FeO^{T}$	4.17	4.37	5.12	4.85	5.94	4.02
MnO	0.07	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08
MgO	1.85	1.77	1.90	1.84	1.40	1.65
CaO	3.67	4.61	4.00	4.43	4.42	3.98
$Na_2O$	3.81	3.59	3.46	3.40	3.41	3.88
$K_2 O$	1.30	0.99	1.50	1.15	1.03	1.29
$\mathrm{P}_{2}\mathrm{O}_{5}$	0.16	0.15	0.15	0.15	0.13	0.14
LOI	1.84	1.42	1.74	1.55	1.73	1.32
Total	99.96	99.95	99.96	99.96	99.95	99.98
$K_2 O/Na_2 O$	0.34	0.28	0.43	0.34	0.30	0.33
$K_2 O/TiO_2$	1.95	1.60	2.30	1.82	1.85	2.17
$\mathrm{K_2O/P_2O_5}$	8.13	6.74	9.74	7.77	7.74	9.15
ALK	5.11	4.58	4.96	4.55	4.44	5.17
A/CNK	1.05	0.96	1.02	0.98	0.96	0.99

测试单位:核工业北京地质研究院分析中心(2012)。

表1显示,可可萨拉石英闪长岩SiO<sub>2</sub>介于 66.48%~68.17%,碱总量4.44%~5.17%,K<sub>2</sub>O/ Na<sub>2</sub>O为0.28~0.43(富Na贫K),K<sub>2</sub>O/TiO<sub>2</sub>和 K<sub>2</sub>O/P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>比值分别为1.60~2.30、6.74~9.74,A/ CNK指数介于0.96~1.05。总的来看,可可萨拉石 英闪长岩均具有较高的SiO<sub>2</sub>、Al(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>=14.13%~ 15.10%)和碱总量,属准铝-弱铝质(A/CNK= 0.96~1.05)岩石。将所有样品投影到SiO<sub>2</sub>-K<sub>2</sub>O +Na<sub>2</sub>O图解上均落入花岗闪长岩区域,且在碱性-亚碱性分界线下方,属于亚碱性系列(图略)。结合 样品的岩石学、岩石地球化学以及宏观地质特征,岩 性鉴定为石英闪长岩。

4.2 微量元素和稀土元素

可可萨拉石英闪长岩微量元素分析结果及特征 参数见表 2。可可萨拉石英闪长岩  $\Sigma$ REE 186.32 ×10<sup>-6</sup> ~ 245.53 × 10<sup>-6</sup>,  $\delta$ Eu 为 0.49 ~ 0.55。总 体来看,本区石英闪长岩稀土总量较高,与地壳重 熔型(S – 型)花岗岩的较高稀土元素含量相似。 轻重稀土分异显著(LREE/HREE 介于 2.40 ~ 3.00 之间),销负异常明显。在球粒陨石配分型式 图上(图 4),(La/Yb)<sub>N</sub>5.64 ~ 7.75,呈明显的右倾 型,显示 LREE 富集和明显的 Eu 负异常。石英闪 长岩原始地幔标准化蛛网图显示,总体富集大离 子亲石元素(K、Rb、Ba、Th),而相对亏损高场强 元素(Nb、Ta、Yb), P、Sr 和 Ti 呈负异常(图 5)。 Eu 和 Sr 的特征暗示源区存在斜长石的分离结晶 或者斜长石残留的地壳物质的部分熔融(Green, 1994)。



图 4 石英闪长岩稀土元素球类陨石标准化配 分图(底图据 Sun S and Mcdonough,1989) Fig. 4 Chondrite-normalized REE patterns for quartz diorite(base diagram from Sum and Mcdonough,1989)

表 2	石	英闪长岩微量、稀土元素(×10 <sup>-6</sup> )分析结果表
Tabl	e2	The trace elements ( $\times 10^{-6}$ ) composition of
		4 11 14

		quart	2 410110	•		
样品号	KKG1	KKG2	KKG3	KKG4	KKG5	KKG6
Cs	2.71	2.52	2.23	3.71	1.92	2.26
Rb	55.6	51.2	56.9	68.1	48.5	59.3
Ba	513	499	614	481	206	275
$\mathbf{Sr}$	263	215	230	198	274	262
Nb	41.6	39.9	43.2	42.6	29.1	30.7
Та	3.07	3.03	3.25	3.34	2.61	2.48
Zr	208	201	244	280	261	273
Hf	6.25	6	7.76	8.17	7.8	7.97
Th	24.1	27.7	26.9	27.2	22	23.1
$\mathbf{Sc}$	9.67	8.74	9.78	9.68	8.01	9.03
U	4.72	5.62	6.02	7.46	5.5	5.28
La	38.9	41.9	48.8	49.9	36.6	43.1
Се	86.9	86.8	96.4	98.6	72.2	90
$\mathbf{Pr}$	9. 87	10. 2	11.5	11.7	8.63	10.3
Nd	37.3	39	44.5	42.7	34	39.5
Sm	7.76	8.3	8.99	8.59	7.32	7.69
Eu	1.41	1.32	1.53	1.42	1.28	1.34
Gd	7.88	7.91	8.64	7.76	7.06	6.93
ТЬ	1.25	1.37	1.57	1.46	1.19	1.2
Dy	8.05	8.04	8.71	8.02	6.86	7.42
Но	1.61	1.66	1.73	1.64	1.29	1.33
Er	4.97	5.32	5.73	5.31	4.28	4.17
Tm	0.814	0.781	0.806	0.838	0.672	0.602
Yb	4.95	5.3	5.76	5.55	4.3	3.99
Lu	0.7	0.759	0.868	0.778	0.641	0.624
Y	45	47.2	51	45.6	38.4	37.8
ΣREE	212.36	218.66	245.53	244. 27	186.32	218.20
LREE/HREE	2.42	2.39	2.50	2.77	2.47	3.00
(La/Yb) <sub>N</sub>	5.64	5.67	6.08	6.45	6.11	7.75
δEu	0.55	0.49	0.52	0.52	0.54	0.55
测计出合	拉工业	1 古地氏7	正安应八	振曲之(	2012)	

测试单位:核工业北京地质研究院分析中心(2012)。

#### 4.3 Pb 同位素特征

可可萨拉铜铁钼多金属矿区的石英闪长岩体的 (<sup>206</sup> Pb/<sup>204</sup> Pb), 分别为 17.1769~18.1911, (<sup>207</sup> Pb/<sup>204</sup> Pb), 分别为 15.4845~15.5602, (<sup>208</sup> Pb/<sup>204</sup> Pb), 分别 为 35.9449~37.4098(表 3)。在 Zartman *et al.*(1981)的地球不同区域铅模式图解上(图略), 岩体的投点分别落入造山带演化线与地幔演化线之间 和上地壳演化线下方, 显示侵入岩的物质来源与上

地壳密切相关,有幔源物质的参与。



图 5 石英闪长岩微量元素原始地幔标准化蛛网图 (底图据 Sun SS and Mcdonough,1989) Fig. 5 PM-normalized trace element patterns of quartz diorite(base diagram from Sun SS and Mcdonough,1989)

表	3 石英闪∜	<b>钅岩体的</b>	Pb分析	结果	
Table3	The Lead	isotope	Analysis	Results	of

quartz diorite

样品号	KKG1	KKG2	KKG3	KKG4	KKG5
Th	24.1	27.7	26.9	27.2	22
U	4.72	5.62	6.02	7.46	5.5
Pb	13.1	8.49	12.3	8.09	9.34
$^{206}\mathrm{Pb}/^{204}\mathrm{Pb}$	19.783	20.137	20. 038	21.842	20. 269
2σ	0.003	0.005	0.002	0.010	0. 003
$^{207}{ m Pb}/^{204}{ m Pb}$	15.646	15. 644	15.644	15. 722	15. 640
2σ	0.002	0.003	0.002	0.007	0.002
<sup>208</sup> Pb/ <sup>204</sup> Pb	39.971	40. 542	40. 236	41. 446	40.118
2σ	0.006	0.009	0.004	0.019	0.006
$({}^{206}{\rm Pb}/{}^{204}{\rm Pb})_{t}$	18. 1911	17. 1769	17.8609	17. 5752	17. 6459
$({}^{207}\rm{Pb}/{}^{204}\rm{Pb})_{t}$	15.5602	15.4845	15. 5267	15. 4921	15. 4987
$(^{208}\mathrm{Pb}/^{204}\mathrm{Pb})_{t}$	37. 4098	35.9449	37. 1706	36. 544	36. 8118

测试单位:核工业北京地质研究院分析中心(2012)。

#### 4.4 锆石 SHRIMP U - Pb 定年

采自可可萨拉铜铁钼多金属矿区的石英闪长岩 (KKZ1)锆石 SHRIMP U – Pb 年龄分析结果列于表 4,所分析的锆石为透明的自形晶体,为无色透明或 浅黄色,大部分锆石结晶较好,呈长柱状晶形,少数 为等粒。阴极发光电子图像特征均显示出典型的岩 浆结晶韵律环带结构(图 6)。样品锆石中的 Th/U 比值变化范围在 0.53~0.98 之间,均大于 0.1,清 楚地指示它们为典型的岩浆成因锆石 (Pidgeon, 1996)。样品的部分锆石颗粒的 CL 图像、锆石 U -Pb 同位素原位分析点见图 6,其锆石 U - Pb 年龄测 定结果列于表 4。



图 6 KKZ1 锆石阴极发光图像特征 Fig. 6 CL images of KKZ1 zircons

图7显示石英闪长岩样品中测定的8个点的分析结果在锆石 U - Pb 谐和图上几乎都落在谐和线附近,而且分布相对集中。所有测试点<sup>206</sup> Pb/<sup>238</sup> U 加 权平均年龄为 365.3 ± 2.8Ma, MSWD = 1.08, 代表 岩浆结晶年龄。

## 5 讨论与结论

5.1 岩体的形成时代

可可萨拉河上游一带的侵入岩体的年代学资料 较少,1990年新疆维吾尔自治区地质矿产局第一区 调大队五分队开展 1:20 万阿拉尔幅(L-44-XX X Ⅱ)地质填图工作,将研究区岩体侵入时代定为 石炭纪。陈哲夫等(1997)根据研究区西北侧的呼 斯特岩体锆石的 U-Pb 年龄 415 Ma,认为形成时间 可能为加里东期。可可萨拉铜铁钼多金属矿区的石 英闪长岩侵位于上奥陶统呼独克达坂组,呈热侵入 接触,接触带多发生砂卡岩化,钼矿体就产于内砂卡 岩化带中。本次获得的石英闪长岩的锆石具有震荡 环带生长边,结合高的 Th/U 比值,暗示它们是岩浆 结晶成因锆石,锆石 SHRIMP U - Pb 年龄为 365.3 ±2.8 Ma, MSWD = 1.08, 代表岩体固结时代, 该年 龄与本人测得的区内角闪石黑云母二长花岗岩的形 成时代一致(368.2±2.2 Ma),均形成于晚泥盆世。 同时,本次获得的年龄数据误差较小,可信度较高。

	Tabl	e4 SHR	IMP U – I	Pb isotop	oic analyses	$(^{206} \text{Pb}/^{238} \text{U})$	for zirco	ns from	Kekesala	quartz d	liorite	
如 泖 上	<sup>206</sup> Ph	U	Th	<sup>232</sup> Th	<sup>206</sup> Pb *	$^{206}\mathrm{Pb}/^{238}\mathrm{U}$	<sup>207</sup> Pb * /	<sup>206</sup> Pb *	$^{207}{\rm Pb}~^*$	/ <sup>235</sup> U	<sup>206</sup> Pb *	/ <sup>238</sup> U
观视点	a砌点 FD <sub>c</sub> (ug/g) (ug/g)	( ug/g)	<sup>238</sup> U	<sup>238</sup> U (ug/g)	年龄(Ma)	测值	误差	测值	误差	测值	误差	
KKZ2. 1	0.27	301	236	0.81	15.2	369. 4 ± 4. 1	0.05686	1.6	0.4570	1.9	0.05897	0.99
KKZ4. 1	0.01	189	122	0.66	9.45	364. 3 ± 4. 3	0.0563	2.0	0.446	2.3	0.05814	1.1
KKZ6. 1	0.54	153	105	0.71	7.73	367. 2 ± 4. 7	0.0574	2.2	0.448	2.5	0.05861	1.1
KKZ7. 1	1.13	76	54	0.74	3.76	361. 3 ± 5. 7	0.0632	2.9	0. 485	3.3	0.05764	1.4
KKZ9. 1	0.25	498	473	0. 98	25.1	368. 2 ± 3. 9	0. 05597	1.2	0.4610	1.5	0.05879	0.91
KKZ10. 1	0.27	175	119	0.71	8.85	371. 3 ± 4. 4	0.0581	2.0	0.511	2.1	0.05928	1.1
KKZ11.1	0.65	154	95	0.63	7.80	367.3 ± 4.6	0.0579	2.1	0.435	2.6	0.05863	1.1
KKZ12. 1	0.97	161	83	0.53	7.95	355. 2 ± 4. 9	0.0631	2.3	0.405	3.2	0.05665	1.2

	表 4	可可萨拉石英闪长岩的锆石 SHRIMP U – Pb 年龄( <sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U)测试结果
Table4	SHRI	MP U – Pb isotopic analyses $({}^{206}$ Pb $/{}^{238}$ U) for zircons from Kekesala quartz diori

测试单位:中国地质科学院地质研究所北京离子探针中心(2012),误差为1σ,Pb。和Pb\*分别表示普通铅和放射成因铅,普通铅用实测 的<sup>204</sup> Pb 校正。





该年龄数据进一步对区内晚泥盆世岩体的形成时代 提供了重要依据。

#### 5.2 岩浆源区与形成环境

研究区岩体发育,岩性由角闪石黑云母花岗闪 长岩、角闪石黑云母二长花岗岩和石英闪长岩组成, 根据野外实测剖面资料,三者呈侵入接触关系,黑云 母二长花岗岩侵入到角闪石黑云母花岗闪长岩中, 为同期多次侵入的复式岩体,石英闪长岩体为较晚 期侵入。石英闪长岩具有相对较高的 SiO<sub>2</sub>、较高的 Al 和碱总量,属于准铝质 - 弱过铝质的亚碱性系列 岩石,兼有 I 型和 S 型的双重属性。微量元素和稀 土元素分析结果显示,本区岩体具有高的 LREE/ HREE 和 LILE/HFSE 比值,以富集大离子亲石元素 (K、Rb、Ba、Th),而相对亏损高场强元素(Zr、Hf、 Y、Yb)与洋壳区形成的花岗岩明显不同,与陆壳区 1012

(同碰撞花岗岩和后碰撞)花岗岩类似(张旗等, 2007)。地球化学和铅同位素特征暗示形成岩体的 岩浆是地壳部分熔融形成,并混有少量的幔源物质, 具有混源花岗岩的特点。

将样品投影到 Nb - Y、Ta - Yb、Rb - (Yb + Ta) 和 Rb - (Y + Nb)图解中,发现样品投影点在 Nb - Y 和 Ta-Yb 图解中落入同碰撞花岗岩和板内花岗岩 的三角交汇区,在 Rb - (Yb + Ta)和 Rb - (Y + Nb) 图解中落入火山弧花岗岩、板内花岗岩的交汇区,可 能反映了岩浆源区是较为复杂的。研究区地处西天 山博罗科努构造带中西段,区域资料显示,古亚洲洋 盆在中奥陶统形成,向西与哈萨克斯坦楚-伊犁、肯 达塔奥陶 - 志留纪洋区相连(肖序常等,1992),向 东与干沟 - 康古尔塔格奥陶 - 志留纪洋(李文铅 等,2000)连成一体。早志留世开始洋盆开始向两 侧陆缘俯冲,造成志留系地层多呈断裂或不整合 与下伏地层接触,在博罗霍洛地区形成志留纪活 动陆缘火山弧(朱宝清等,2002)。同时,在构造带 东部的托克逊干沟一带发育干沟蛇绿混杂岩(Xiao, et al., 2004), 中天山干沟一带晚志留世眼球状 花岗岩和晚泥盆世细粒花岗岩的侵位分别代表了 米什沟 - 干沟洋盆的闭合时限和碰撞造山中晚期 的构造事件(石玉若等,2006),晚志留世洋盆的闭 合,造成构造带上下泥盆统地层的全面缺失。而 研究区内晚泥盆世复式岩体就是在该背景下形 成,结合地球化学、铅同位素以及地质背景,本区 晚泥盆世石英闪长岩应形成于碰撞构造事件,处 于碰撞后期的隆升阶段。

致谢 野外工作中得到新疆地矿局第七地质大

队可可萨拉项目人员的支持;感谢审稿人评阅了论 文,并提出了具体的修改意见。

#### [References]

- Compston W, Williams I S, Kirschvink J L. 1992. Zircon U Pb ages of early Cambrian time-scale[J]. Journal of Geological Society, 149: 171 – 184
- Chen Song-lin, Feng Jing, Tu Qin-jun, Xue Chun-ji, Wang Xiao-gang, Zhang Bing, Wang Yu. 2009. Geological characteristics and prospecting potential of copper-molybdenum mineralization in lalisgar, Xinjing[J]. Xinjiang Geology, 27 (3):236 - 240 (in Chinese with English abstract)
- Chen Zhe-fu, Cheng Shou-de, Liang Yun-hai . 1997. Opening-closing tectonics and mineralization in Xinjiang[M]. Utumchi:Health science and technology publishing housein Xinjiang:121 - 156( in Chinese )
- Feng Jing, Xue Chun-ji, Wu Gan-guo. 2011. Porphyry Cu Mo Au mineral prediction of Lailisigao' er-Dabate area in West Tianshan [M]. Beijing: Geological Publ. House: 1 - 317 (in Chinese)
- Gao Jing-gang, Li Wen-yuan, Zhou Yi, Liu Jian-chao, Fan Ting-bin, Lu Lin, Zhou Ru-hong. 2013. Studies on the geochemistry, zircon U
  Pb age and geological significance of Liushugou formation rhyolite in the Sepikou region, eastern Bogda, XinJing[J]. Geology and Exploration, 49(4):665 - 674(in Chinese with English abstract)
- Gao Jing-gang, Li Wen-yuan, Xue Chun-ji, Zhang Zhao-wei, Liu Tuo, Dong Fu-chen, Yan Yong-hong. 2014. SHRIMP zircon U - Pb and molybdenite Re - Os datings for the Halegati Cu - Fe polymetallic Deposit, West Tianshan and its geological implication [1]. Mineral Deposits, 33(2):386 - 396(in Chinese with English abstract)
- Green TH. 1994. Experimental studies of trace-element partitioning applicable to igneous petrogenesis at Sedona 16 years later[J]. Chemical Geology, 117:1-36
- Li Wen-qian, Dong Fu-rong, Zhou Ru-hong. 2000. Ophiolite discovered in Kangurtag regian and its characteristecs [J]. Xinjiang Geology, 18(2):121 - 128(in Chinese with English abstract)
- Pidgeon RT. 1996. Zircons: what we need to know [J]. Journal of the Royal Society of Western Australia, 79 (1):119-122
- Shi Yu-ruo, Liu Dun-yi, Zhang Qi, Jian Ping, Zhang Fu-qin, Miao Laicheng. 2006. SHRIMP U – Pb dating and its tectonic significance of granite at Gangou in Middle Tianshan, Xinjiang [J]. Chinese Science Bulletin, 51(22):2665 – 2672 (in Chinese with English abstract)
- Sun SS, Mcdonough WF. 1989. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. In: Sanuders AD and Norry Mj(eds.). Magmatism in the Ocean Basins [C]. Geol. Soc. London Spec. Pub. 42:313 – 345

- Xiao WJ, Windley BF, Badarch G, Sun S, Li JL, Qin KZ, Wang ZH. 2004. Palaeozoic accretionary and tectonics of the southern Altaids: implications for the lateral grouth of Central Asia[J]. Journal of the Geological Society, Lundon, 161:339-342
- Xiao Xu-chang, Tang Yi-min, Feng YM . 1992. Tectonic evolution of northern Xinjiang and Its Adjacent regions [M]. Beijing: Geology Publishing House:1 - 100(in Chinese)
- Zartman RE, Doe BR. 1981. Plumbotectonics-the model [J]. Tectonophysics, 75:135-162
- Zhang Qi, Pan Guo-qiang, Li Cheng-dong, Jin Wei-jun, Jia Xiu-qin. 2007. Are discrimination diagrams always indicative of correct tectonic settings of granites? Some crucial questions on granite study (3)[J]. Acta Petrologica Sinica,23(11):2683 - 2698(in Chinese with English abstract)
- Zhu Bao-qing, Feng Yi-ming, Yang Jun-lu, Zhang Kai-chun. 2002. Discovery of ophiolitic melange and silurian foreland basin at Gangou of Toksun, Xinjiang and their tectonic significance [J]. Xinjiang Geology, 20(4):326-330(in Chinese with English abstract)

[附中文参考文献]

- 陈哲夫,成守德,梁云海.1997. 新疆开合构造与成矿[M].乌鲁木 齐:新疆科技卫生出版社:121-156
- 程松林,冯,京,徐其军,薛春纪,王晓刚,张 兵,万 阈.2009.新疆 莱历斯高尔铜钼矿地质特征及找矿前景[J]. 新疆地质,27 (3):236-240
- 冯 京,薛春纪,吴淦国.2011.西天山莱历斯高尔-达巴特一带与斑 岩相关的铜钼金矿产预测[M].北京:地质出版社:1~317
- 高景刚,李文渊,薛春纪,张照伟,刘 拓,董福辰,闫永红.2014.新疆 哈勒尕提铜铁矿床的成矿年代学研究 [J].矿床地质,33(2): 386-396
- 高景刚,李文渊,周 义,刘建朝,范庭宾,鲁 麟,周汝洪.2013.新疆 博格达东缘色皮口地区柳树沟组流纹岩地球化学、LA - MC -ICP - MS 锆石 U - Pb 年代学及地质意义[J].地质与勘探,49 (4):665 - 674
- 李文铅,董富荣,周汝洪.2000. 新疆鄯善康古尔塔格蛇绿杂岩的发 现及其特征[J]. 新疆地质,18(2):121-128
- 石玉若,刘敦一,张 旗,简 平,张福勤,苗来成.2006.中天山干沟 一带花岗质岩类 SHRIMP 年代学及其构造意义[J].科学通报, 51(22):2665-2672
- 肖序常,汤耀庆,冯益民.1992.新疆北部及邻区大地构造[M].北京:地质出版社:1-100
- 张 旗,潘国强,李承东,金惟俊,贾秀勤.2007.花岗岩构造环境问题:关于花岗岩研究的思考之三[J].岩石学报,23(11):2683 2698
- 朱宝清,冯益民,杨军录,张开春.2002.新疆中天山干沟一带蛇绿混 杂岩和志留纪前陆盆地的发现及其意义[J].新疆地质,20 (4):326-330

# SHRIMP Zircon U – Pb Dating and Geochemical Characteristics of Quartz Diorite in the Kekesala Cu – Fe – Mo Polymetallic Deposit, West Tian Shan and its Formation Environment

GAO Jing-gang<sup>1,2</sup>, LI Wen-yuan<sup>2</sup>, XUE Chun-ji<sup>3</sup>, ZHOU Chang-ping<sup>4</sup>, ZHAO Qiang<sup>4</sup>, ZHANG Zhao-wei<sup>2</sup>, CAO Yuan<sup>1</sup>

 Earth Science and Resources College of Chang' an University, Key laboratory of Western Chinese Mineral Resources and Geological Engineering, Ministry of Education, Xi' an ,Shaanxi 710054;

 Xi' an Institute of Geology and Mineral Resources, Xi' an, Shaanxi 710054; 3. State Key Laboratory China University of Geosciences, Beijing 100083;4. No. 7 Geological Party, BGMERD of Xinjiang, Wusu, Xinjiang 833000)

Abstract: We have conducted lithogeochemical study and dating of the quartz diorite in the Kekesala Cu - Fe - Mo polymetallic deposit, West Tian Shan. Geochemical data show that the quartz diorite is characterized by high SiO<sub>2</sub>, Al(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 14.13% ~ 15.10%) and high alkali, rich potassium and poor sodium, and belongs to metaluminous-weakly peraluminous rock series. The analysis results of trace elements and rare earth elements indicate that the quartz diorite has high LREE/HREE and LILE/HFSE ratio, high contents of large ion lithophile elements such as K, Rb, Ba and Th, and low contents of high field strong elements such as Zr, Hf, Y and Yb, similar to crustal (syn-collision granites and post-collision granites) granitoids. The results of zircon SHRIMP U – Pb dating of the quartz diorite provides the age of quartz diorite as 365.3 ± 2.8Ma, with the MSWD value 1.08, implying that it was formed in Late Devonian. The characteristics of geochemistry and lead isotope suggest that the granite has the characters of mixed crust-mantle granites and the magma was formed by the partial melting of crustal rocks with a little mantle-derived material mixed. Combined with the characteristics and times of the magmatite of adjacent areas, we infer that the formation of this quartz diorite was associated with tectonic collision events when the crust uplifted in this region.

Key words: quartz diorite, Zircon SHRIMP U - Pb dating, geochemistry, West Tian Shan, Xinjiang

