第 18 卷　第 34 期　2018 年 12 月
1671—1815(2018)034-0011-11

科　学　技　术　与　工　程
Science Technology and Engineering

Vol. 18　No. 34　Dec. 2018
ⓒ　2018　Sci. Tech. Engrg.

引用格式:牛宇奔, 刘文恒, 刘晓东, 等. 甘肃龙首山成矿带青山堡岩体地球化学特征及成因意义[J]. 科学技术与工程, 2018, 18(34): 11—21
Niu Yunben, Liu Wenheng, Liu Xiaodong, et al. Geochemistry and petrogenesis of Qingshanbao pluton of Longshoushan metallogenic belt in Gansu[J]. Science Technology and Engineering, 2018, 18(34): 11—21

甘肃龙首山成矿带青山堡岩体地球化学特征及成因意义

牛宇奔[1]　刘文恒[2*]　刘晓东[3]　王凯兴[1]　王　刚[4]

(东华理工大学地球科学学院[1],江西省数字国土重点实验室[2],南昌 330013;
九江学院[3],九江 332005;核工业二〇三研究所[4],咸阳 712000)

摘　要　青山堡岩体位于阿拉善地块西南缘,龙首山隆起带与走廊过渡带交界处,产有少量淋积型铀矿床及矿化点,为揭示其成因意义,并初步探讨其构造环境,对青山堡岩体进行地球化学研究。所采样品经野外与显微镜下鉴定分别为肉红色中粗粒钾长花岗岩、灰白色中粗粒二长花岗岩、黑云母花岗闪长岩、石英二长岩。通过对样品进行主量元素和微量元素的测试分析发现;SiO_2 质量分数变化范围为 62.79% ~78.51%,全碱(K_2O+Na_2O)含量除一个二长花岗岩样品外其他均大于 7.02%,钾长、二长花岗岩和花岗岩闪长岩里特曼指数为 1.01 ~2.47,为钙碱性岩列,石英二长岩里特曼指数 3.39 ~3.56,为碱性岩性;在 AR-SiO_2 图解上,大多样品点投影到钙碱性-碱性系列过渡区域;在微量元素组成上,石英二长岩、花岗闪长岩的稀土总量较高,为 204.0×10^{-6} ~289.5×10^{-6},而钾长花岗岩、二长花岗岩的稀土总量仅为 41.8×10^{-6} ~85.5×10^{-6},稀土元素球粒陨石标准曲线均均为右倾。样品微量元素均富集 Th、U、Nb、Zr、Hf 等大离子亲石元素(LILE)、稀土元素 La、Ce、Nd 等稀土元素、亏损 Ba、Ta、Nb、Ti、P、Y 等高场强元素(HFSE),暗示具有岛弧火山岩的特征。应用主、微量元素构造判别图解,并结合前人对该区构造-岩浆演化的研究,青山堡岩体形成于晚奥陶世北祁连洋岛弧与阿拉善地块碰撞,和之后早志留世造山带根部的岩石发生拆沉,引起造山带上不同块体的伸展、滑塌的构造环境。

关键词　青山堡岩体　岩矿鉴定　地球化学　构造环境
中图法分类号　P595;　　**文献标志码**　A

青山堡岩体为龙首山地区早古生代出露第二大岩体[1],其地理位置位于甘肃省中部地区,茨岭岩体东南缘,大地构造位置位于华北古板块阿拉善地块西南缘,河西走廊东段北缘,紧邻龙首山隆起带,是祁连-秦岭铀矿成矿省之龙首山-祁连山铀成矿带的重要组成部分[2]。前人对相邻的茨岭岩体及赋存钠交代型铀矿进行了深入广泛的研究,在地质地球化学、岩体成因、岩浆演化及其与钠交代型铀矿的成矿相关性等方面取得了诸多认识[3—5]。青山堡岩体紧邻茨岭岩体,岩体内产有淋积型铀矿床,受关注程度远低于茨岭岩体,研究程度薄弱[6—8]。且仅在早期开展了花岗岩的基础调查、花岗岩期次划分以及暗色包体的研究工作[9—11]。本文拟在前人研究基础上,通过系统的野外地质调查及采样,对青山堡花岗岩进行地质地球化学分析,理清岩石成因,还原大地构造背景及岩石演化特征,为今后对青山堡岩体内探寻铀矿提供找矿依据。

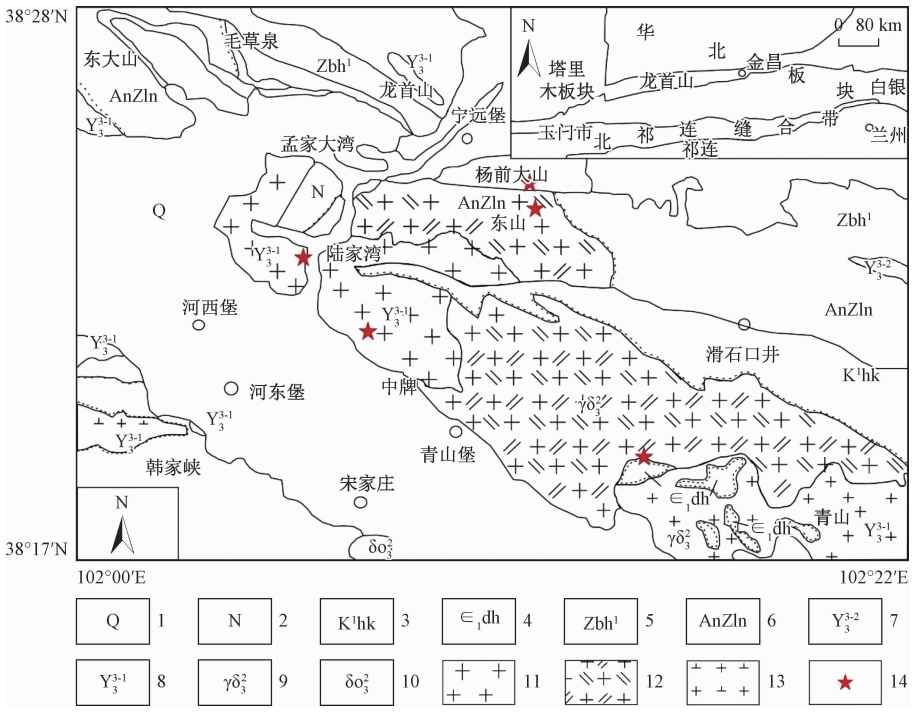
1　地质概况

龙首山东段早古生代的青山堡岩体位于华北板块阿拉善地块的西南缘,为早古生代大陆碰撞边缘隆起带(图 1[8])。呈楔形侵入前长城系龙首山群、震旦系韩母山群及寒武纪大黄山群中,为龙首山岩体内出入较大岩体之一,出露面积为 153 km^2[1,8]。青山堡岩体主要由四个系列组成:韩家峡石英闪长岩、角闪花岗闪长岩,中牌黑云花岗闪长岩,杨前大山花岗闪长岩及孟家大湾二长花岗岩[9]。区内侵入岩十分发育,既有产出超大铜镍矿床的超镁铁侵入岩,也有分布广泛的花岗岩侵入岩体。后者多数为复式岩体,演化分异充分,晚期花岗岩富碱,既有钾含量高的伟晶花岗岩、钾长花岗岩,也有钠含量高的花岗岩闪长岩和二长花岗岩。岩体内矿产资源丰富,有世界级储量的金川铜镍矿,岩体内也产有淋积型铀矿床(金边寺),并发育有较多的铀矿(化)点、异常点,具有较好的铀矿成矿背景。

2018 年 4 月 3 日收到　　东华理工大学核资源与环境重点实验室开放基金(NRE1613)和江西省数字国土重点实验室开放基金(DLLJ201708)资助

第一作者简介:牛宇奔(1993—),男,汉族,江西鹰潭人,硕士。E-mail:1256977542@qq.com。

*通信作者简介:刘文恒(1985—),男,汉族,湖南桃江人,博士,讲师。E-mail:6owenlwh@163.com。



1 为第四系;2 为第三系;3 为白垩系河口群;4 为寒武系大黄山群;5 为震旦系韩母山组;
6 为龙首山群;7 为加里东晚期二次花岗岩;8 为加里东一期花岗岩;9 为加里东中期花岗闪长岩;
10 为加里东;中期石英闪长岩;11 为中粒花岗岩;12 为中粒花岗闪长岩;13 为中粒石英闪长岩;14 采样点

图 1 青山堡区域地质简图(修改自文献[8])

Fig. 1 Qingshanbao regional geological map (modified from the Ret[8])

2 岩相学特征

岩体样品采自青山堡岩体内部分具有特征明显的露头,挑选新鲜样品进行薄片磨制及显微镜下观察。所采样品主要为花岗岩、石英二长岩、花岗岩闪长岩(表 1),其岩相学特征如下。

(1)灰白色二长花岗岩。岩石具中粗粒结构,主要由石英(21% ~28%)、斜长石(42% ~48%)、钾长石(11% ~16%)、黑云母组成,其次见榍石和呈针柱状磷灰石。斜长石斑晶成板状聚片双晶,其内部嵌有石英、钾长石、黑云母及钾长石[图 2(a)、图 3(a)]。

(2)肉红色钾长花岗岩。岩石具有粗粒结构、等粒结构,主由石英(24% ~26%)、钾长石(30% ~35%粒径 0.3 ~1.2 mm)、斜长石(20% ~24%)、微斜长石(10% ~16%)、条纹长石(12% ~15%)、黑云母、榍石组成;钾长石和微斜长石,半自形板状,微斜长石可见格子双晶。斜长石绢云母化明显自形-半自形,见聚片双晶。条纹长石,其内部镶嵌有石英、和斜长石[图 2(b)、图 2(b)]。

(3)石英二长岩。岩石具中粗粒二长结构,主要由石英(10% ~15%)、斜长石(25% ~40%)、钾长石(30% ~35%)、微斜长石(10% ~15%)和黑云母组成。斜长石表面发育弱的绢云母化。钾长石半自形-他形产出,其内部镶嵌有蠕虫状石英,为斜长石交代钾长石所致。微斜长石他形,为格子双晶。石英颗粒较大为他形。在野外见石英二长岩内包裹有闪长暗色包体,该现象为岩浆混合的有利证据[图 2(c)、图 3(c)]。

黑云母花岗闪长岩,岩石具有中粗粒结构,主要由石英(24% ~26%)、斜长石(50% ~53%)、钾长石(12% ~16%)、黑云母及角闪石组成,其次在镜下见锆石、榍石(粒径 3.5 mm)及黄铁矿。斜长石呈板状,部分发育弱绢云母化,有明显的聚片双晶;在镜下见有颗粒较大自行程度较高的角闪石,呈菱形、具有多色性,发育有角闪石 124°节理,其内部嵌有粒状石英[图 2(d)、图 3(d)]。

表 1 样品描述及采样位置

Table 1 Sample description and sampling location

编号	坐标	点性
GS-16-02	38°23′42.78″N,102°06′17.56″E	肉红色花岗岩
GS-16-03	38°23′42.78″N,102°06′17.56″E	肉红色钾长花岗岩
GS-16-04	38°25′22.52″N,102°12′26.00″E	石英二长岩
GS-16-07	38°25′22.52″N,102°12′26.00″E	灰白色花岗岩
GS-16-09	38°24′39.67″N,102°12′24.18″E	石英二长岩
GS-16-13	38°22′17.29″N,102°14′00.71″E	花岗闪长岩
GS-16-16	38°19′24.39″N,102°15′25.03″E	中粗粒似斑状黑云母花岗岩

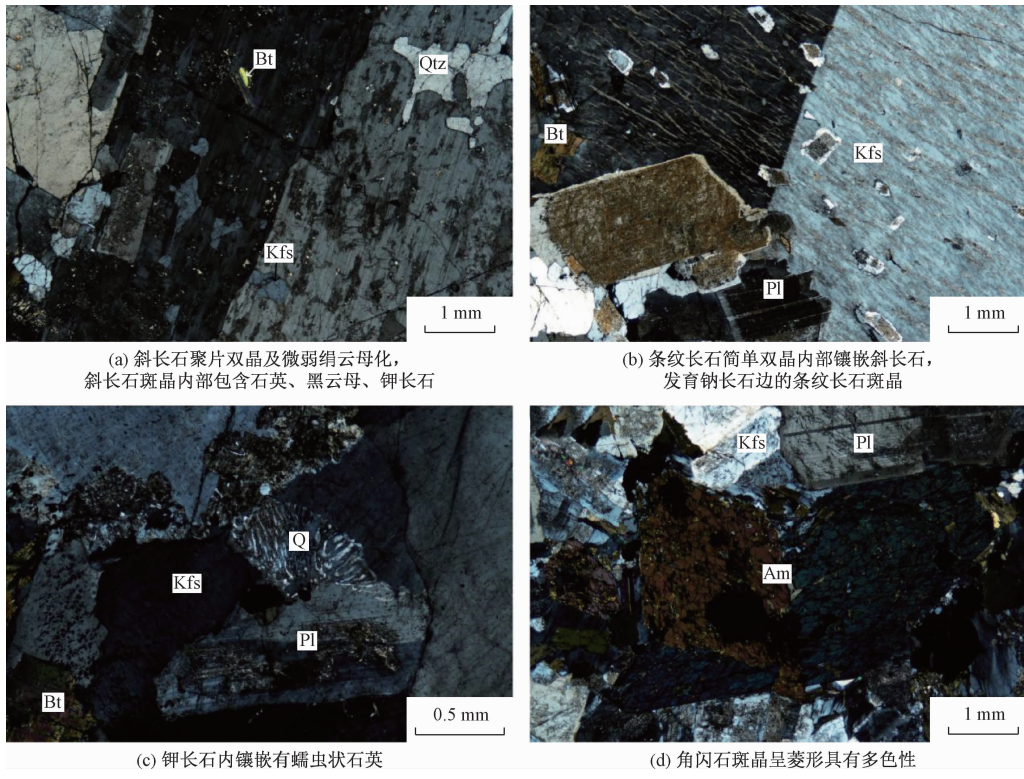


(a) 灰白色石英二长岩　(b) 中粗粒肉红色钾长花岗岩

(c) 中粗粒石英二长岩　(d) 黑云母花岗岩闪长岩

图 2　青山堡花岗岩岩体样品野外照片

Fig. 2　Qingshanbao granite rock sample field photo



(a) 斜长石聚片双晶及微弱绢云母化，斜长石斑晶内部包含石英、黑云母、钾长石

(b) 条纹长石简单双晶内部镶嵌斜长石，发育钠长石边的条纹长石斑晶

(c) 钾长石内镶嵌有蠕虫状石英

(d) 角闪石斑晶呈菱形具有多色性

Q 为石英;Pl 为斜长石;Bt 为黑云母;Kfs 为钾长石;Am 为角闪石

图 3　青山堡花岗岩岩体样品镜下显微照片

Fig. 3　Qingshanbao granite rock sample microscope photo

3 岩体地球化学特征

全岩主量与微量元素分析均在澳实分析测试(广州)有限公司进行。其中氧化物用 X 荧光光谱仪分析(XRF)测试。稀土元素和微量元素用电感耦合等离子体发射光谱(ICP-AES)、电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)测试。详细的样品分解处理过程同文献[12]。

3.1 主量元素特征

青山堡岩体内出露的岩石较为复杂,主要为钾长花岗岩、二长花岗岩、石英二长岩和花岗闪长岩。在火成岩系统全碱硅分类图(TAS)图解中(图 4[13])样品均分布于碱性系列和亚碱性系列之间的过渡带上。SiO_2 含量为 62.79% ~78.51%,全碱含量为 5.73% ~8.88%,GS-16-07 样品 K_2O 含量偏低 1.15%,使其全碱含量低于其他样品的平均值。样品 Al_2O_3 的含量为 11.31% ~12.96%,其中石英二长岩、花岗闪长岩 Al_2O_3 含量较高,介于 15.61% ~17.1% 之间;样品中 MgO(0.24% ~1.70%)、CaO(0.68% ~3.56%)、TiO_2(0.11% ~0.79%)和 P_2O_5(0.01% ~0.39%)的变化范围较大,以上元素在酸性至中性岩石中表现出含量逐渐增高的特征。钾长、二长花岗岩和花岗闪长岩为里特曼指数 σ 为1.01 ~2.47,石英二长岩为 3.39 ~3.56。按皮科克划分法,可将钾长、二长花岗岩和花岗闪长岩划入钙碱性岩系,石英二长岩划入碱性岩系。在 SiO_2-K_2O 图上(图 5[14]),石英二长岩投入钾玄岩系列;除 GS-16-07 样品投入低钾(拉斑)系列外,剩余样品点均落入高钾钙碱性系列。花岗岩碱度率 AR 为2.21 ~4.21,石英二长岩和花岗闪长岩为 2.33 ~2.40,均大于 1。在 AR-SiO_2 图上(图 6[15]),石英二长岩、花岗岩闪长岩投在钙碱性于碱性的过渡带上,其余样品均投入碱性区域内。在 ANK-A/CNK 图解中(图 7[16]),所有样品均投在准铝质与过铝质之间的过渡带上,其中石英二长岩和花岗闪长岩也都为准铝质,花岗岩显示出弱的过铝质。根据 Chappell 等[17]对花岗岩成因分类的研究,若样品中铝饱和指数 A/CNK 比值均小于 1.1,标准所采样品可能为 I 型花岗岩。岩石固结指数、分异指数分别为 2.88 ~22.53、56.28 ~94.69,变化范围较大,其特征表明该区为岩浆分异程度差异较大,且

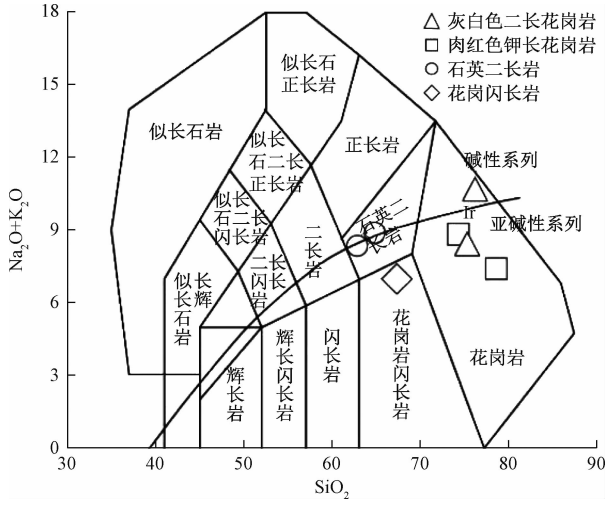


图 4 青山堡花岗岩 TAS 图(据文献[13]修改)

Fig. 4 TAS diagram of the Qingshanbao granite (modified from Ref[13])

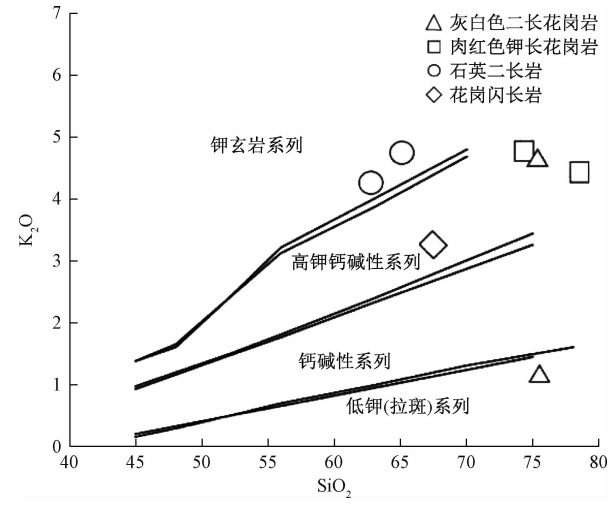


图 5 青山堡花岗岩 SiO_2-K_2O 图解(据文献[14]修改)

Fig. 5 SiO_2-K_2O diagram of the Qingshanbao granite (modified from Ref[14])

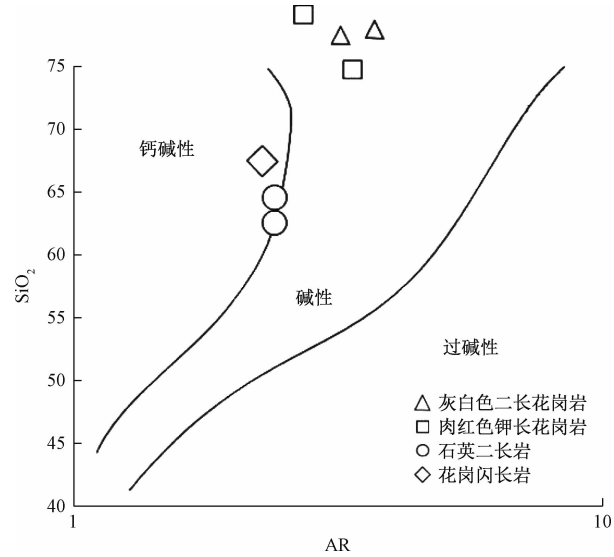


图 6 青山堡花岗岩 SiO_2-AR 图解(据文献[15]修改)

Fig. 6 SiO_2-AR diagram of the Qingshanbao granite (modified from Ref[15])

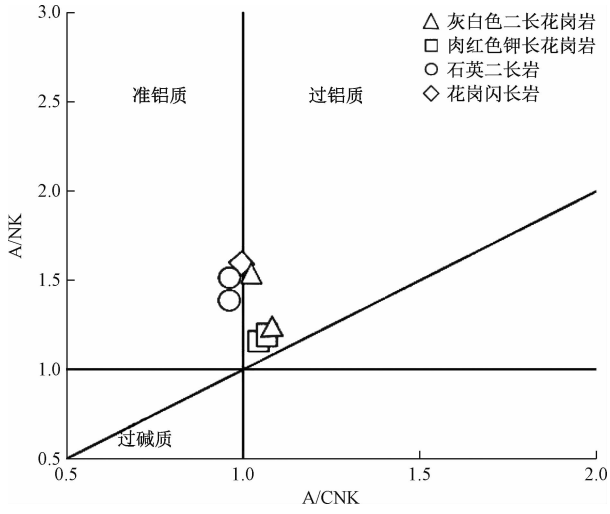


图 7　青山堡花岗岩 ANK-A/CNK 图解(据文献[16]修改)

Fig. 7　ANK-A/CNK diagram of the Qingshanbao granite (modified from Ref[16])

与岩性由酸性-中性的变化特征一致(表 2)。总体来说,青山堡岩体属于富硅富钾的钙碱性花岗岩类,于前人认识一致[8]。但笔者在其基础上增加了更多样品种类,丰富了对青山堡岩体的认识。

3.2　稀土元素、微量元素地球化学特征

青山堡岩体稀土元素、微量元素分析数据见表 3。从表 3 中可以明显看出石英二长岩、花岗闪长岩的稀土总量较高,为 $204.0\times10^{-6}\sim289.5\times10^{-6}$,而钾长花岗岩、二长花岗岩的稀土总量仅为 $41.8\times10^{-6}\sim85.5\times10^{-6}$。所有样品的轻重稀土比值较高,为 7.52 ~ 25.8;$(La/Yb)_N$ 为 7.46 ~ 34.9,平均值为 27.18;$(La/Sm)_N$ 为 4.28 ~ 11.15,平均值为 7.83,$(Gd/Yb)_N$ 为 1.17 ~ 2.73 平均值为 1.89,反映了所有样品轻稀土元素富集重稀土元素亏损、且轻稀土元素分异程度较高的特征。在稀土元素球粒陨石标准化曲线显示轻稀土元素均呈右倾趋势、重稀土元素平坦的配分特征(图 8[18])。样品中 δEu 值

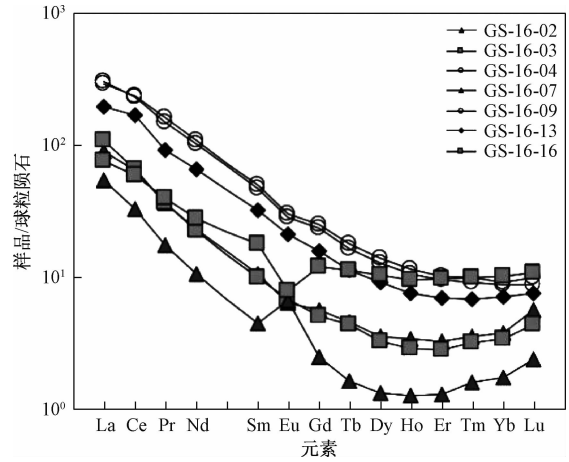


图 8　稀土元素球粒陨石标准化分布(据文献[18]修改)

Fig. 8　Rare earth element chondrite standard distribution pattern (modified from Ref[18])

表 2　样品主量元素岩石化学分析结果及特征参数

Table 2　Sample major element rock chemical analysis results and characteristic parameters

参数		二长花岗岩		钾长花岗岩		石英二长岩		花岗闪长岩
		GS-16-02	GS-16-07	GS-16-03	GS-16-16	GS-16-04	GS-16-09	GS-16-13
主量元素含量/wt%	SiO_2	75.37	75.41	74.33	78.51	62.79	64.93	67.42
	TiO_2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.8	0.6	0.5
	Al_2O_3	13.7	13.5	14	11.3	17.1	16.7	15.6
	TFe_2O_3	0.9	1.7	0.9	0.8	4.1	3.4	3.3
	K_2O	4.6	1.2	4.8	4.4	4	4.8	3.3
	Na_2O	3.81	4.58	4.03	2.95	4.25	4.05	3.77
	CaO	0.9	2.5	0.9	0.7	3.6	3	3.3
	MgO	0.3	0.5	0.3	0.2	1.8	1.3	1.7
	MnO	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1
	P_2O_5	0.03	0.08	0.04	0.01	0.3	0.3	0.2
K_2O+Na_2O 含量/wt%		8.45	5.73	8.81	7.39	8.25	8.88	7.02
K_2O/Na_2O		0	0.1	0.1	0	0.3	0.3	0.2
碱度(AR)		3.2	3.7	3.4	2.9	2.4	2.4	2.3
A/CNK		1.06	1.02	1.04	1.04	0.96	0.97	1
A/NK		1.2	1.5	1.2	1.2	1.5	1.4	1.6
烧失量(LOI)		0.95	0.59	0.88	0.83	1.32	0.73	1.3
分异指数(DI)		93.24	84.26	93.2	94.69	73.83	78.79	75.71
固结指数(SI)		3.03	6.36	3.39	2.87	12.58	9.77	14.31
刚玉(C)		0.87	0.39	0.62	0.41	0	0	0.37
σ		2.2	1.01	2.47	1.53	3.39	3.56	2

注:AR = $[Al_2O_3+CaO+(Na_2O+K_2O)]/[Al_2O_3+CaO-(Na_2O+K_2O)]$,当 $2.5>K_2O/Na_2O>1$ 时,Na_2O+K_2O 用 $2Na_2O$ 代替;ACNK = $Al_2O_3/(CaO+Na_2O+K_2O)$;$\sigma=[\omega(K_2O)+\omega(Na_2O)]/[\omega(SiO_2-43)]$。

为0.53 ~ 1.92(平均为0.95),均表现出中-弱的负Eu异常,只有一个二长花岗岩样品(GS-16-07)显示出正Eu异常,δEu值为1.92。钾长花岗岩、二长花岗岩与石英二长岩、花岗闪长岩在稀土元素总量上存在较大差距,两者应为不同期次岩浆活动形成,但从稀土元素球粒陨石标准化图中不难发现所有样品的曲线近于平行,可以推测所采岩石样品的物质来源具有相似或相同性,为同源岩浆结晶分异产物。

青山堡岩体样品的微量元素含量和原始地幔标准化蛛网图分别如表3和图9[18]所示。可以看出样品均显示出富集Th、U、Nd、Zr、Hf等大离子亲石元素(LILE)、稀土元素La、Ce、Nd等稀土元素、亏损Ba、Ta、Nb、Ti、P、Y等高场强元素(HFSE),这暗示青山堡岩体具有岛弧火山岩的特征[19]。

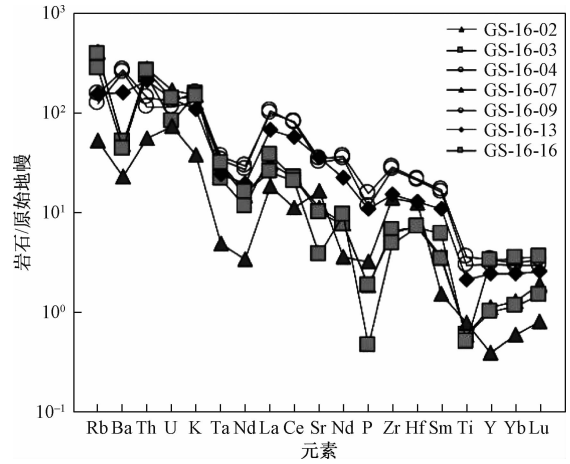


图9 微量元素原始地幔标准化蛛网图(据文献[18]修改)

Fig. 9 Primitive mantle-normalized trace-element spider diagrams (modified from Ref[18])

表3 样品稀土元素、微量元素岩石化学分析结果及特征参数

Table 3 Chemical analysis results of rare earth elements and trace elements in samples and characteristic parameters

参数		二长花岗岩		钾长花岗岩		石英二长岩		花岗闪长岩
		GS-16-02	GS-16-07	GS-16-03	GS-16-16	GS-16-04	GS-16-09	GS-16-13
稀土元素含量/10^{-6}	La	21.4	12.7	25.9	17.9	69.1	72	46.3
	Ce	39.6	19.9	40.4	36.4	145.5	142	103.5
	Pr	3.41	1.65	3.48	3.73	15.25	14.2	8.76
	Nd	10.6	4.9	10.4	12.8	50.4	47.5	30.4
	Sm	1.6	0.7	1.5	2.7	7.6	7.2	4.8
	Eu	0.37	0.38	0.39	0.45	1.73	1.62	1.22
	Gd	1.2	0.5	1	2.4	5.1	4.8	3.2
	Tb	0.2	0.1	0.2	0.4	0.7	0.6	0.4
	Dy	0.89	0.33	0.81	2.63	3.49	3.19	2.28
	Ho	0.2	0.1	0.2	0.5	0.7	0.6	0.4
	Er	0.5	0.2	0.5	1.6	1.7	1.6	1.1
	Tm	0.09	0.04	0.08	0.25	0.25	0.23	0.17
	Yb	0.6	0.3	0.6	1.7	1.6	1.5	1.2
	Lu	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.2	0.2
	Y	5.1	1.8	4.6	15	15.6	13.8	11.1
微量元素含量/10^{-6}	Rb	262	33.3	245	176.5	79.2	98.3	99.3
	Ba	341	159.5	358	307	1790	1 915	1 140
	Th	24.1	4.79	20	22.7	9.82	12.25	17.9
	U	3.6	1.54	1.74	2.95	2.42	2.79	2.96
	Ta	1.2	0.2	0.9	1.3	1.5	1.4	1
	Nb	10.7	2.4	8.3	11.5	21.3	19.6	13.8
	La	21.4	12.7	25.9	17.9	69.1	72	46.3
	Ce	39.6	19.9	40.4	36.4	145.5	142	103.5
	Sr	235	345	211	80.1	749	677	764
	Nd	10.6	4.9	10.4	12.8	50.4	47.5	30.4
	Zr	71	157	74	55	322	304	170
	Hf	2.3	3.9	2.2	2.2	6.7	6.5	4
	Sm	1.61	0.67	1.5	2.7	7.55	7.17	4.84
ΣREE		80.8	41.8	85.5	83.8	303.2	297.2	204
LREE		77	40.2	82.1	74	289.5	284.5	195
HREE		3.8	1.56	3.39	9.84	13.63	12.67	9
LREE/HREE		20.3	25.8	24.2	7.5	21.2	22.5	21.7
La_N/Yb_N		24	31.4	32.6	7.5	32	34.9	27.9
δEu		0.79	1.92	0.9	0.53	0.8	0.8	0.89
δCe		1	0.9	0.9	1	1.1	1	1.2

注:$\delta Eu = 2Eu_N/(Sm_N + Gd_N)$;$\delta Ce = 2\delta Ce_N/(La_N + Pr_N)$;下标N代表以球粒陨石标准化。

4　讨论

4.1　花岗岩的成因类型

通常情况下,按照花岗岩的源岩性质花岗岩分为 I 型、S 型、A 型花岗岩。各类花岗岩之间的区分特征已有诸多研究[20—25]。其中角闪石、堇青石和碱性暗色矿物石判别 I、S 和 A 型花岗岩的重要标志,而白云母和石榴石并不是鉴定 S 型花岗岩的有效标志[26]。根据岩石学、地球化学等角度,通过对比前人对 I 型花岗岩的总结[27,28],判断青山堡花岗岩的岩石成因类型。经上述分析,可以发现钾长花岗岩、二长花岗岩与花岗闪长岩、石英二长岩,在主量元素和稀土元素上有所区别,因此在岩石成因类型讨论中将两者分开讨论。

青山堡岩体中钾长花岗岩、二长花岗岩铝饱和指数(ASI)(1.02 ~ 1.06),属于弱的过铝质;其中 P_2O_5 含量极少(0.01 ~ 0.08),并呈随 SiO_2 的增加而减少的趋势;经标准矿物计算得刚玉(C),含量为 0.44 ~ 0.67;稀土配分曲线(图 8)显示出以富集轻稀土元素、且轻稀土元素分异明显重稀土元素分异不明显、不具有或具有弱负铕异常;微量元素以富集大离子亲石元素,亏损高场强元素为特征(图 9),且稀土元素元素总量偏低为(41.5 ~ 85.5) × 10^{-6}。其主要造岩矿物组成为斜长石、钾长石、石英、角闪石、黑云母,不出现富铝质矿物。在 SiO_2-Ce 图解中(图 10[29])钾长花岗岩和二长花岗岩均落入 I 型花岗岩区;在微量元素构造环境判别图解中(图 11[30]),样品点同时落入火山岛弧花岗岩(VAG)区内,且点都靠近火山岛弧花岗岩(VAG)和同碰撞花岗岩(syn-COLG)两个区的过渡带上。根

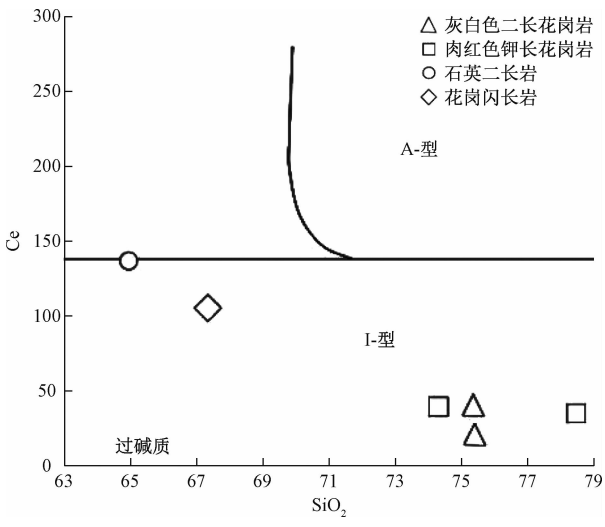
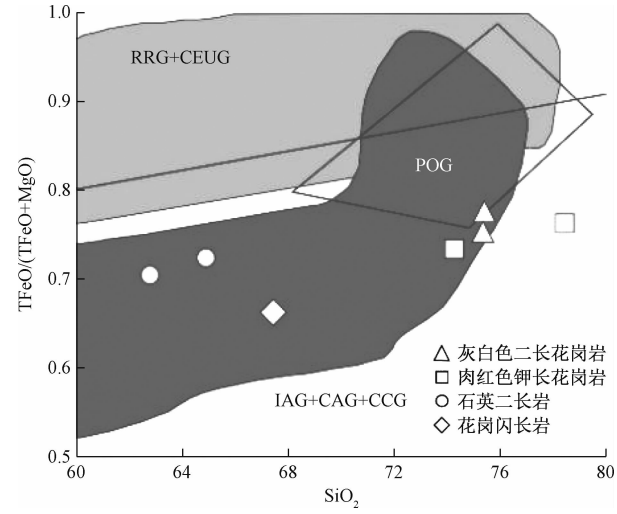


图 10　SiO_2-Ce 图解(据文献[29]修改)

Fig. 10　Diagram of SiO_2-Ce (modified from Ref[29])



灰色区域为 A 型花岗岩,黑色区域为科迪勒拉花岗岩;
IAG 为岛弧花岗岩类,CAG 为大陆弧花岗岩类,
CCG 为大陆碰撞花岗岩类,POG 为后造山花岗岩类,
RRG 为于裂谷有关的花岗岩类,CEUG 为于大陆的
造陆抬升有关的花岗岩类

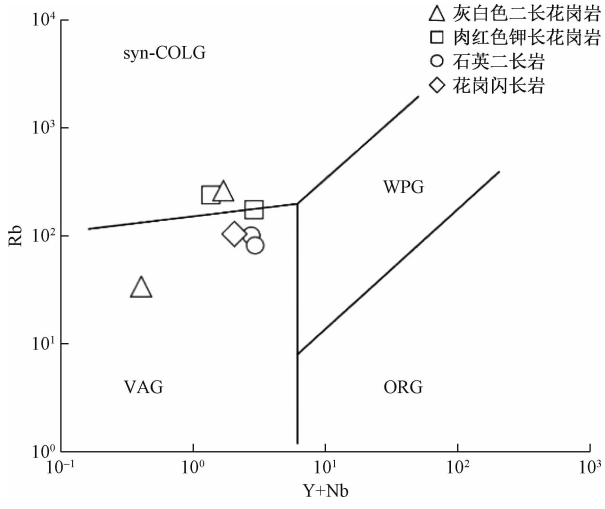
图 11　SiO_2-TFe(TFeO + MgO)图解(据文献[30]修改)

Fig. 11　Diagram of SiO_2-TFe/(TFeO + MgO)
(modified from Ref[30])

据以上特征判断青山堡地区所采钾长、二长花岗岩为 I 型花岗岩。

样品中石英二长岩、花岗闪长岩其属高钾钙碱性-钾玄岩系列,为准铝质(ASI 为 0.89 ~ 1.0)I 型花岗岩,具有低硅、K_2O/Na_2O < 1,在 SiO_2-TFeO/(TFeO + MgO)图解中(图 12[31]),落入科迪勒拉花岗岩区域[30],属 I 型花岗岩;稀土元素总量较高(297.2 × 10^{-6} ~ 303.2 × 10^{-6}),具有弱的负铕异常,微量元素表现为 Ta、Nb、P、Y、Ti 负异常。其主要造岩矿物组成为斜长石、钾长石、黑云母、石英、角闪石等,及少量辉石;不含富铝质矿物,可见榍石、磷灰石。在微量元素构造环境判别图解中(图 12[31]),二长岩类与闪长岩类所投点都落在火山岛弧花岗岩(VAG)区内。这些特征显示出其具有典型岛弧 I 型花岗岩的特征。

综上分析认为青山堡花岗岩属 I 型花岗岩。前人资料显示,I 型花岗岩可能有以下成因:①由于幔源分异的岩浆底侵,导致地壳物质发生部分熔融形成高分异 I 型花岗岩[32,33];②幔源分异的基性岩浆底侵下地壳并与壳源长英质岩浆混合在浅部形成混源岩浆房并在后期发生分离结晶作用形成的[15,34];③I 型花岗岩是岛弧或活动大陆边缘环境下生成的[21]。分析认为将青山堡花岗岩成因为岛弧或活动大陆边因板块俯冲、消减作用,产生大量的热,将下地壳熔融所致,并伴随有岩浆的混合的作用。



(VAG 为火山岛弧花岗岩;syn-COLG 为同碰撞花岗岩;
WPG 为板内花岗岩;DRG 洋脊花岗岩

图 12 Y + Nb-Rb 图解(据文献[31]修改)

Fig. 12 Diagram of Y + Nb-Rb (modified from Ref[31])

4.2 构造环境

周立发[35]指出,龙首山一带花岗岩的形成于北祁连洋的俯冲消减作用之后的-阿拉善地块碰撞运动引起的构造热事件。青山堡岩体为龙首山岩群的一部分,位于龙首岩体的东段。青山堡岩体钾长、二长花岗岩具有高硅、低铝,有弱的过铝质,为 I 型花岗岩;分异程度(DI 为 83.9 ~ 94.54)高;稀土元素总量较低($41.5 \times 10^{-6} \sim 85.5 \times 10^{-6}$),微量元素具有低 Sr、低 Yb、低 Y(图 9)的岩石特征。在微量元素构造环境判别图解中(图 12)样品所投点落入 *VAG* 和 syn-GOLG 两个区过渡带上,反映出挤压构造环境,主量元素构造判别图中[24](图 13[36]),点分布于同碰撞花岗岩的附近。可见,青山堡钾长、二长花岗岩很可能形成于北祁连洋壳向北俯冲导致北祁连岛弧与阿拉善地块碰撞的环境。

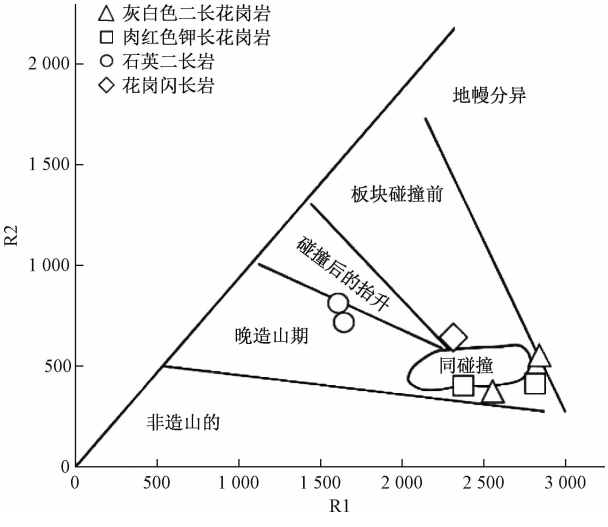


图 13 R1-R2 图解(据文献[36]修改)

Fig. 13 Diagram of R1-R2 (modified from Ref[36])

青山堡岩体石英二长岩具低硅、低铝,为准铝质,为 I 型花岗岩;稀土元素总量较高($297.2 \times 10^{-6} \sim 303.2 \times 10^{-6}$),微量元素表现为 Ta、Nb、P、Y、Ti 负异常。微量元素构造图解中(图 12[31])显示其具有火山岛弧花岗岩的特征,主量元素图解中(图 13[36]),样品投入晚期造山花岗岩中,该期花岗岩形成于晚造山阶段。后碰撞在时间上晚于碰撞事件形成时期,所以形成时间应晚于钾长、二长花岗岩。

古生代祁连造山带经历了复杂的构造演化过程,寒武纪北祁连洋向南俯冲,产生大量岛弧;早-中奥陶世北祁连洋向南俯冲受阻,转为向北俯冲,引起北祁连岛弧与阿拉善陆块的碰撞;晚奥陶世-晚志留世,北祁连洋盆闭合,柴达木陆块和阿拉善地块形成陆陆碰撞,形成北祁连造山带[37—41]。结合前人的研究成果进行对比分析,青山堡钾长、二长花岗岩与该区内同碰撞花岗岩的地球化学性质及岩石组构相似,魏俏巧等[8]测得该区同碰撞花岗岩年龄为(444 ±2) Ma。青山堡石英二长岩为造山后花岗岩应晚于同碰撞花岗岩成岩年龄,秦海鹏等[19]应用 U-Pb 测年法对青山堡岩体孟家湾地区的石二长花岗岩进行了测定,得到其年龄(421 ±3.5) Ma,晚于同碰撞时期,处于后碰撞阶段。一般认为造山后花岗岩是由造山带根部的岩石发生拆沉,引起造山带上不同块体的伸展、滑塌所形成。因此认为青山堡岩体形成于晚奥陶世北祁连洋岛弧与阿拉善地块碰撞,和之后早志留世造山带根部的岩石发生拆沉,引起造山带上不同块体的伸展、滑塌的构造环境。

5 结论

选取了青山堡岩体内孟家湾地区 7 个岩石样品,在野外工作的基础上,通过岩石的岩相学、岩石地球化学等研究,得出如下结论。

(1)青山堡岩体主要有钾长花岗岩、二长花岗岩、石英二长岩和黑云母花岗岩闪长岩等,其 SiO_2 含量变化范围为 62.79% ~ 78.51%,属于富钾的钙碱性花岗岩。

(2)稀土元素显示,石英二长岩、花岗闪长岩的稀土总量较高为 $204.0 \times 10^{-6} \sim 289.5 \times 10^{-6}$,而钾长花岗岩、二长花岗岩的稀土总量仅为 $41.8 \times 10^{-6} \sim 85.5 \times 10^{-6}$,稀土元素球粒陨石标准曲线均为右倾。微量元素特征显示,各样品均富集 Th、U、Nb、Zr、Hf 等大离子亲石元素(LILE)、稀土元素 La、Ce、Nd 等稀土元素、亏损 Ba、Ta、Nb、Ti、P、Y 等高场强元素(HFSE),暗示具有岛弧火山岩的特征。

(3)青山堡岩体是分别由晚奥陶世北祁连洋岛弧与阿拉善地块碰撞形成早期的同碰撞花岗岩-钾长花岗岩和二长花岗岩,再经过早志留世的造山带根部的岩石发生拆沉,引起造山带上不同块体的伸展、滑塌对早期岩体的改造所形成的造山后花岗岩-石英二长岩共同组成。

参 考 文 献

1 赵亚云, 张树明, 汤　淋, 等. 龙首山中段加里东期花岗岩浆作用与铀成矿作用研究述评. 甘肃地质, 2015; 24(2): 71—78
Zhao Yayun, Zhang Shuming, Tang Lin, *et al.* Caledonian granitic magmatism and uminralization in middle Longshoushan. Gansu Geology, 2015; 24(2): 71—78

2 黄净白, 黄世杰. 中国铀资源区域成矿特征. 铀矿地质, 2005; (3): 129—138
Huang Jingbai, Huang Shijie. Metallogenic characteristics of uranium resources in China. Uranium Geology, 2005; (3): 129—138

3 赵如意, 王　博, 陈敏川, 等. 甘肃省龙首山芨岭铀矿床成矿热液流体特征研究. 地球学报,2018; (3): 282—294
Zhao Ruyi, Wang Bo, Chen Minchuan, *et al.* Study on characteristics of ore-forming hydrothermal fluid in Jiling uranium deposit Longshoushan Gansu Province. Acta Geoscientica Sinica, 2018; (3): 282—294

4 张甲民, 赵如意, 王　刚, 等. 甘肃芨岭似斑状花岗岩地质特征及其地质意义. 地质论评, 2017; 63(增刊1): 89—90
Zhang Jiamin, Zhao Ruyi, Wang Gang, *et al.* The geological characteristics and their significances Jiling porphyritic granite in Gansu Province. Geological Review, 2017; 63(S1): 89—90

5 赵亚云, 张树明, 汤　琳, 等. 龙首山中段芨岭花岗岩体 Sr-Nd-Pb 同位素特征及意义. 地球科学, 2016; 41(6): 1016—1030
Zhao Yayun, Zhang Shuming, Tang lin, *et al.* Sr-Nd-Pb isotopic characteristics and its geological significance of the Jiling grantic pluton in middle Longshoushan. Earth Science, 2016; 41(6): 1016—1030

6 陈云杰, 赵如意, 李　涛. 甘肃省金边寺矿床铀矿化特征及成矿条件分析. 甘肃地质, 2011; 20(3): 46—50
Chen Yunjie, Zhao Ruyi, Li Tao. The characteristics of uranium mineralization and analysis of the metallogenic conditions of the Jingbianshi in Gansu Province. Gansu Geology, 2011; 20(3):46—50

7 陈云杰, 傅成铭, 王　伟, 等. 甘肃金边寺铀矿床成因及找矿方向讨论. 矿物学报, 2013; 33(增刊2): 747—748
Chen Yunjie, Fu Chengming, Wang Wei, *et al.* Discussion on the genesis and prospecting direction of uranium deposits Jinbiansi Gansu. Acta Mineralogica Sinica, 2013; 33(S2): 747—748

8 魏俏巧, 郝立波, 陆继龙, 等. 甘肃河西堡花岗岩 LA-MC-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义. 矿物岩石地球化学通报, 2013; 32(6): 729—735
Wei Qiaoqiao, Hao Libo, Lu Jilong, *et al.* Zircon U-Pb ages of the LA-MC-ICP-MS for Hexibao granites in Gansu Province and its geological significance. Mineral Rock Geochemical Bulletin, 2013; 32(6): 729—735

9 方同辉, 王崇礼, 王　荣. 河西堡花岗岩体中闪长质包体与岩浆混合作用. 地球科学与环境学报, 1997; (4): 53—61
Fang Tonghui, Wang Chongli, Wang Rong. The mixture of dioritic inclusions and magma in the Hexibao granite body. Journal of Geoscience and Environment, 1997; (4): 53—61

10 方同辉. 甘肃省河西堡地区花岗岩演化序列研究. 西安: 西安地质学院, 1994
Fang Tonghui. Study on the evolutionary sequence of granite in Hexipao area, Gansu Province. Xi'an: Chang'an University, 1994

11 甘肃省第一区域地质测量队 1∶20 万区测报告. 兰州: 甘肃省第一区域地质测量队, 1968
First District Geological Survey Team of Gansu Province. 1∶20 ten thousands regional measurement report. Lanzhou: First District Geological Survey Team of Gansu Province, 1968

12 Liu Y, Zong K, Kelemen P B, *et al.* Geochemistry and magmatic history of eologites and ultramafic rocks from the Chinese continental scientific drill hole: Subduction and ultrahigh-pressure metamorphism of lower crustal cumulates. Chemical Geology, 2008; 247: 133—153

13 Middlemost E. Naming materials in the magma/igneous rocks system. Earth Science Review, 1994; 37: 215—224

14 Peccerillo R, Taylor S R. Geochemistry of eocene calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area Northern Turkey. Contributions to Mineralogica & Petrology, 1976; 58: 63—81

15 Wright J B. A simple alkalinity ratio and its application to question of non-orogenic granite genesis. Geological Magazine, 1969; 106(4): 370—384

16 Maniar P D, Piccoli P M. Tectonic discrimination of granitoids. Geologlcal Society of America Bulletin, 1989; 101: 635—643

17 Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types. Pacific Geology, 1974; 8: 173—174

18 Sun S S, Mcdonough W F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes. London: Geological Society London, 1989; 42: 313—345

19 秦海鹏. 北祁连造山带早古生代花岗岩岩石学特征及其与构造演化的关系. 北京: 中国地质科学院, 2012
Qing Haipeng. The petrological characteristics of the early paleozoic granites in the Northern Qilian orogenic belt and their relationship with the tectonic evolution. Beijing: Chinese Academy of Geologecal Sciences, 2012

20 Champion D C, Chappell B W. Petrogenesis of felsic I-type granites: An example from northern queensland. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 1992; 83(1—2): 115—126

21 Chappell B W, White A J R. I-and S-type granites in the Lachlan fold belt. Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh, 1992; 83(1—2): 1—26

22 Chappell B W, White A J R. Two contrasting granite types: 25 years later. Australian Journal of Earth Sciences, 2001; 48(4): 489—499

23 Eby G N. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. Geology, 1992; 20(7): 641—644

24 King P L, Chappell B W, Allen C M, *et al.* Are A-type granites the high-temperature felsic granites? Evidence from fractionated granites of the Wangrah Suite. Australian Journal of Earth Sciences, 2001; 48(4): 501—514

25 Yang J H, Wu F Y, Chung S L, *et al.* A hybrid origin for the Qian-

shan A-type granite, northeast China: Geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic evidence. Lithos, 2006; 89(1—2): 89—106

26 吴福元, 李献华, 杨进辉, 等. 花岗岩成因研究的若干问题. 岩石学报, 2007; 23(6): 1217—1238
Wu Fuyuan, Li Xianhua, Yang Jinhui, *et al.* Discussions on the petrogenesis of granites. Acta Petrologica Sinica, 2007; 23(6): 1217—1238

27 王珍珍, 刘 栋, 赵志丹, 等. 冈底斯带南部桑日高分异 I 型花岗岩的岩石成因及其动力学意义. 岩石学报, 2017; 33(8): 2479—2493
Wang Zhenzhen, Liu Dong, Zhao Zhidan, *et al.* The Sangri highly fractionated I-type granites in Southern Gangdese. Acta Petrologica Sinica, 2017; 33(8): 2479—2493

28 陈璟元, 杨进辉. 佛冈高分异 I 型花岗岩的成因: 来自 Nb-Ta-Zr-Hf 等元素的制约. 岩石学报, 2015; 31(3): 846—854
Chen Jingyuan, Yang Jinhui. Petrogenesis of the Fogang highly fractionated I-type granitoids: Constraints from Nb, Ta, Zr and Hf. Acta Petrologica Sinica, 2015; 31(3): 846—854

29 Collins W J. Nature and origin of A type granites with particular reference to Southeastern Australia. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1982; 80: 189—200

30 Frost B R, Barnes C G, Collins W J, *et al.* A geochemical classification for granitic rocks. Journal of Petrology, 2001; 42: 2033—2048

31 Pearce J A, Harris N B W, Tindle A G. Fundamental science for national defense, trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. Journal of Petrology, 1984; 25: 956—983

32 Richards J P. Magmatic to hydrothermal metal fluxes in convergent and collided margins. Ore Geology Reviews, 2011; 40(1): 1—26

33 Wang X S, Bi X W, Leng C B, *et al.* Geochronology and geochemistry of late cretaceous igneous intrusions and Mo-Cu-(W) mineralization in the Southern Yidun Arc, SW China: Implications for metallogenesis and geodynamic setting. Ore Geology Reviews, 2014; 61: 73—95

34 邱检生, 肖 娥, 胡 建, 等. 福建北东沿海高分异 I 型花岗岩的成因: 锆石 U-Pb 年代学、地球化学和 Nd-Hf 同位素制约. 岩石学报, 2008; 24(11): 2468—2484
Qiu Jiansheng, Xiao E, Hu Jian, *et al.* Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the coastal area of Northeastern Fujian Procince: Constraints from zircon U-Pb geochemistry and Nd-Hf isotopes. Acta Petrologica Sinica, 2008; 24(11): 2468—2484

35 周立发. 阿拉善地块南缘早古生代大地构造特征和演化. 西北大学学报(自然科学版), 1992; (1): 107—115
Zhou Lifa. The characteristics and evolution of the early paleozoic tectonics in the southern margin of the Alashan block. Journal of Northwestern University (Natural Science Edition), 1992; (1): 107—115

36 Batchelor R A, Bowden P. Petrogentic interpret ation of granitoid rock series using multicationic paramers. Chemistry Geology, 1985; 48: 43—55

37 吴才来, 徐学义, 高前明, 等. 北祁连早古生代花岗质岩浆作用及构造演化. 岩石学报, 2010; 26(4): 1027—1044
Wu Cailai, Xu Xueyi, Gao Qianming, *et al.* Early paleozoic granitic magmatism and tectonic evolution in the North Qilian mountains. Acta Petrologica Sinica, 2010; 26(4): 1027—1044

38 吴才来, 姚尚志, 杨经绥, 等. 北祁连洋早古生代双向俯冲的花岗岩证据. 中国地质, 2006; 33(6): 1197—1208
Wu Cailai, Yao Shangzhi, Yang Jingsui, *et al.* The early Paleozoic bidirectional subduction of granite evidence from North Qilian ocean. Geology in China, 2006; 33(6): 1197—1208

39 夏林圻, 夏祖春, 徐学义. 北祁连山奥陶纪弧后盆地火山岩浆成因. 中国地质, 2003; 30(1): 48—60
Xia Linqi, Xia Zuchun, Xu Xueyi. Origin of volcanic magmatism in the ordovician backblast basin in the North Qilian mountains. Geology in China, 2003; 30(1): 48—60

40 杜远生, 朱 杰, 韩 欣, 等. 从弧后盆地到前陆盆地-北祁连造山带奥陶纪-泥盆纪的沉积盆地与构造演化. 地质通报, 2004; 23(增刊2): 911—917
Du Yuansheng, Zhu Jie, Han Xing, *et al.* From the back-arc basin to the foreland basin-Ordovician-Devonian sedimentary basins and tectonic evolution in the North Qilian orogenic belt. Geological Bulletin of China, 2004; 23(S2): 911—917

41 彭银彪, 于胜尧, 张建新, 等. 北祁连地区早古生代弧岩浆作用及变质作用事件: 以门源-柯柯里地区为例. 岩石学报, 2017; 33(12): 3925—3941
Peng Yinbiao, Yu Shengyao, Zhang Jianxin, *et al.* Early paleozoic are magmatism and metamorphism in the Northern Qilian block, Western China: A case study of Meyuan-Kekeli. Acta Petrologica Sinica, 2017; 33(12): 3925—3941

Geochemistry and Petrogenesis of Qingshanbao Pluton of Longshoushan Metallogenic Belt in Gansu

NIU Yun-ben[1], LIU Wen-heng[2*], LIU Xiao-dong[3], WANG Kai-xing[1], WANG Gang[4]

(School of Earth Sciences[1], Jiangxi Provincial Digital Territorial Laboratory[2], East China University of Technology, Nanchang 330013, China; Jiujiang University[3], Jiujiang 332005, China; No. 203 Research Institute of Nuclear Industy[4], Xianyang 712000, China)

[**Abstract**] The Qingshanbao rock mass is located at the southwestern edge of the Alxa Block, at the junction of the Longshoushan uplift zone corridor transition zone, and produces a small amount of uranium deposits and mineralization sites. This is to reveal the significance of the uranium deposit and to explore its tectonic setting, to conduct geochemical studies on Qingshanbao rock mass. The samples were identified by field and microscopy as The red medium coarse-grained long-grained granite, the gray-white medium coarse-grained monzonite granite, the biotite granodiorite, and the quartz monzonite. Through the analysis of the Major elements and trace elements in the sample, it was found that the SiO_2 mass fraction ranged from 62.79% to 78.51%, and the total alkali ($K_2O + Na_2O$) content was more than 7.02% except for one monzogranite sample. The Rittmann Index, K-feldspar granite and monzogranite granite diorite are 1.01 ~ 2.47 for calc-alkaline rocks, quartz monzonite 3.39 ~ 3.56 for alkaline lithology; In the AR-SiO_2 diagram, most of the sample points are projected onto the calcium alkaline-alkaline series transition region; In terms of trace element composition, the total rare earth content of quartz monzonite and granodiorite is higher than that of $204.0 \times 10^{-6} \sim 289.5 \times 10^{-6}$, but the total amount of rare earths of K-feldspar granite and monzonite granite is only $41.8 \times 10^{-6} \sim 85.5 \times 10^{-6}$, the standard curve of rare earth element chondrite are all right-dip. The trace elements in the sample are enriched with Th, U, Nb, Zr, Hf and other large ion lithophile elements (LILE) and rare earth elements such as La, Ce, Nd and other rare earth elements (such as La, Ce, Nd and other rare earth elements), lean Ba, Ta, Nb, Ti, P, and Y. The field strength element (HFSE) implies the characteristics of the island arc volcanic rock. Using the discriminant plots of major and trace elements, combined with previous research on tectonic-magmatic evolution of this area, Qingshanbao rock mass in the collision of the Late Ordovician North Qilian island arc with the Alxa block, and later the Silurian orogen Rocks with roots have undergone demolition, causing structural environments in which different blocks on the orogenic belt stretch and slide.

[**Key words**] Qingshanbao rock mass　　rock ore appraisal　　geochemistry　　tectonic environment