

华北板块西南缘河西堡中酸性侵入岩 岩石地球化学和环境演化特征

丑永魁,张翔,马永东,杨涛,王玉玺

(甘肃省地质调查院,甘肃 兰州 730000)

摘 要:河西堡中酸性侵入岩体位于华北板块西南缘龙首山和祁连山造山带的结合部,岩性为细粒石英闪长岩、中细粒花岗闪长岩、中粗粒似斑状花岗闪长岩、中粗粒似斑状二长花岗岩,均具有富钾、硅,贫铝、钙、镁和负 Eu 异常,富含稀土铈、钍矿物等特点。稀土元素配分模式呈轻稀土富集型;地球化学特征显示 SiO_2 、 ΣREE 、 $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ 、La/Yb 逐渐增高和 δEu 增大的演化趋势, $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 的变化范围为 0.706 0~0.707 8,岩体由早期的 I 型逐渐过渡为 I-S 到 S 型,反映构造环境由块体挤压至碰撞造山的过程。结合区域资料,认为加里东早期北祁连向华北板块俯冲形成沟弧体系,在挤压作用下导致北祁连走廊过渡带与龙首山在加里东中期碰撞造山,碰撞造山作用于加里东晚期终止,较为系统的反映了龙首山造山带的构造演化过程。

关键词:中酸性侵入岩;河西堡;弧后扩张;碰撞造山

中图分类号:P588.121

文献标志码:A

文章编号:1009-6248(2018)02-0057-12

Geochemical and Environmental Characteristics of Hexipu Medium-acid Intrusive Rocks in the Southern Margin of North China Plate

CHOU Yongkui, ZHANG Xiang, MA Yongdong, YANG Tao, WANG Yuxi

(Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The Hexipu medium-acid intrusive rock is located at the intersection area between the Qilian orogenic belt and the Longshou mountain of the southwestern margin of North China Craton, which is composed of fine grained quartz diorite, medium-fine grained granodiorite, medium-coarse grained porphyritic granodiorite and medium-coarse grained porphyritic monzogranite. The Hexipao granitic plutons are enriched in K and Si, but depleted in Al, Ca and Mg, having weakly negative Eu anomalies. Chondrite-normalized REE patterns show that all samples are enriched in LREEs. The δEu values of the plutons are rising with the increasing of the SiO_2 , ΣREE , $\Sigma\text{LREE}/\Sigma\text{HREE}$ and La/Yb. The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of all samples vary from 0.706 0 to 0.707 8, these plutons have been transited from early I type to I-S type to S type, showing a complete process of transiting from plate compression to collisional orogeny. Combined with the regional

收稿日期:2017-12-20;修回日期:2018-03-06

基金项目:中央财政出资的基础地质研究类项目“J48E009001(西坡幅)、J48E010001(河西堡幅)、J48E011001(东寨乡幅)1:5万区域地质调查项目(2001GB13)”

作者简介:丑永魁(1964-),男,高级工程师,1987年毕业于成都理工大学,长期从事地质矿产、工程勘察等方面工作。E-mail:earth1985@yeah.net

geological data, the results show that the North Qilian was subducted into the North China craton in Early Caledonian to form a trench-arc-basin system, the compression was led to the mid-Caledonian collisional orogeny between the North Qilian and Longshou mountain, and this collisional stage was terminated in Late Caledonian, systematically reflecting the tectonic evolution of the Longshoushan orogenic belt.

Keywords: medium-acid intrusive rock; Hexipu; back-arc spreading; collisional orogeny

华北板块西南缘龙首山地区经历了元古宙龙首山边缘沉降带形成和发展、古生代边缘沉降带活化隆起和陆缘带局部拗陷、中生代断块活动等主要构造期(张新虎等, 1992; 李文渊, 2015; 安国堡等, 2016)。分布有自古元古代以来多期次侵入岩体, 位于金昌西北部 207 铀矿区石英闪长岩-斜长花岗岩体侵入于龙首山群, 形成于 $(2147 \pm 74) \text{ Ma}$, 是陆块碰撞的结果(马章海等, 1986)。中新元古代随着板块裂解, 龙首山地区在边缘沉降过程中伴随着局部褶皱隆起, 引起较为强烈的岩浆活动, 以金川铜镍矿赋存的超基性岩体为代表(李献华等, 2004; 李文渊等, 2012)。加里东期花岗岩是龙首山花岗岩类的主體(赵亚云等, 2015), 出露面积 588.35 km^2 。自 20 世纪末至今, 对河西堡中酸性侵入体的研究不断深入, 方同辉等(1997)对花岗岩体中闪长质包体进行了研究; 魏俏巧等(1997)对河西堡花岗岩杂岩体中的孟家大湾岩体进行了年代学研究, 探讨了花岗岩成因及大地构造意义。

河西堡中酸性杂岩体中各岩体的岩石学、地球化学系统研究欠深入, 岩体之间的时空演化序列及时代有待进一步确定。笔者选择河西堡中酸性杂岩体作为研究对象, 通过开展岩石学、矿物学和地球化学的研究, 分析岩石特征及成因, 并结合年代学研究, 总结研究区时空演化规律, 探讨龙首山陆缘带和祁连造山带之走廊过渡带结合部位的大地构造环境演化。

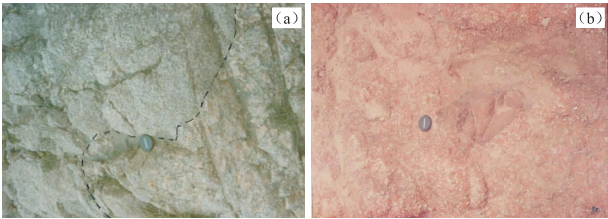
1 地质特征

研究区位于龙首山陆缘带和祁连造山带之走廊过渡带, 地层分属华北地层区阿拉善分区龙首山小区和祁连地层区河西走廊-六盘山分区武威-中宁小区(汤中立等, 1993; 朱士兴等, 1994; 张本旗等, 2005)。地层有上太古宇龙首山群白家嘴子岩组和东大山岩组、下元古界塔马子沟岩组、长城系牛圈沟组、震旦系烧火筒群、寒武系韩母山群(李文渊,

1991; 校培喜等, 2011)、泥盆系臭牛泉组、石炭统太原组、二叠系山西组和下石盒子组、侏罗系泉脑组和青土井组、白垩系红潮泉组及新近系、第四系。

岩浆岩在区内出露有超基性、基性、中酸性岩, 主要分布于宁远堡-河西堡-青山堡北一带, 其次零星出露于白家嘴子、哈哈泉、白尔泉沟、金川峡、坟门山一带。超基性塔马子沟超基性岩和白家嘴子超基性杂岩体等; 白家嘴子超基性杂岩体(Rb-Sr 年龄 1509 Ma)(汤中立等, 1993), 代表了地幔上涌和地壳裂解前阶段的产物。中酸性侵入岩主要有河西堡花岗岩质深成岩体、哈哈泉钾长花岗岩等, 空间上主要分布于南部祁连造山带之走廊过渡带和北部龙首山造山带(左国朝等, 1987), 均侵入于祁连造山带走廊过渡带和龙首山造山带之间的同心-固原大断裂(图 1)。中酸性侵入岩岩石由石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩组成, 自祁连造山带之走廊过渡带到龙首山造山带依次分布石英闪长岩、英云闪长岩、花岗闪长岩和二长花岗岩(张本旗等, 2005); 岩石结构由细粒、中粒到中粗粒似斑状结构为变化特征, 形成明显的岩石、结构的序列演化特征; 岩体 Rb-Sr 同位素年龄为 $592 \sim 403 \text{ Ma}$, 形成时代为加里东期(邢凤鸣等, 1987)。

龙首山地区构造总体呈北西-南东向展布, 褶皱、断裂及变形构造极为发育, 自南向北展布有一系列同斜褶皱, 褶皱总体为一轴线呈北西、轴面向南西倾斜的倒转复式向斜, 南北界分别由南缘和北缘断裂相向倾斜组成。由于后期断裂构造的破坏及两翼次级褶皱的叠加, 使其形态很不完整(张新虎等, 1992)。区内断裂有北西西向、北东向及东西向和近南北向, 其中, 以北西西向断裂为主。由于受古板块碰撞(指华北古板块与柴达木-祁连古板块)的影响及青藏高原整体抬升产生侧压力的作用, 龙首山地区早期的张性构造形迹被改造变形为与原来断面相反的高角度逆冲断层, 这是古裂谷与现代裂谷的一个区别特征。沿龙首山南缘发育有一条构造岩带,



a. 二长花岗岩侵入花岗闪长岩;b. 中粗粒似斑状花岗闪长岩中的中细粒花岗岩闪长岩包体

图 2 河西堡花岗岩岩石学特征图

Fig.2 Petrologic feature of Hexipu granites

3 岩石化学、岩石地球化学特征

由宜昌地质矿产研究所中南实验检测中心对采集的样品进行了常量元素、微量元素、稀土元素的分析测试。

3.1 岩石化学特征

岩体中各类岩石的常量元素分析结果见表 1。其中 SiO₂ 为 65.49%~75.54%，在 QAP 图(图 3)

表 1 河西堡岩体主量元素分析结果表(10⁻²)
Tab.1 Geochemical composition of major elements of Hexipu granites(10⁻²)

岩性	样号	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O ⁺	A. R	δ	NHK	ANKC
中细粒石英闪长岩、英云闪长岩	B206	68.65	0.48	15.15	0.49	2.98	0.11	2.04	1.99	3.95	2.38	0.14	1.64	2.17	1.56	0.60	1.20
	B210	69.01	0.14	15.35	0.96	1.93	0.09	1.43	3.24	4.02	3.11	0.10	0.34	2.24	1.95	0.65	0.96
	B216	67.87	0.46	15.32	1.28	2.22	0.10	1.49	3.47	4.39	2.68	0.07	0.65	2.21	2.01	0.66	0.93
	B221	68.74	0.44	15.31	0.84	2.33	0.09	1.54	3.28	3.80	3.10	0.14	0.38	2.18	1.85	0.63	0.99
	B246	65.56	0.57	15.89	1.29	2.74	0.12	2.39	3.49	3.81	3.06	0.17	0.92	2.10	2.09	0.60	1.00
中粒花岗岩闪长岩	B148	68.31	0.40	15.55	1.30	1.75	0.10	1.55	2.92	3.96	3.42	0.17	0.56	2.33	2.15	0.66	1.00
	B163	66.74	0.44	16.01	1.39	1.79	0.09	1.69	3.43	4.16	3.71	0.24	0.31	2.36	2.61	0.68	0.94
	B302	66.26	0.48	15.85	1.49	1.98	0.10	1.78	3.77	4.02	3.64	0.27	0.36	2.28	2.52	0.66	0.91
	B383	67.85	0.49	15.60	1.20	1.59	0.11	1.65	3.16	4.10	3.49	0.22	0.54	2.36	2.32	0.67	0.96
	B387	67.13	0.41	15.43	1.51	2.00	0.10	1.63	3.51	4.12	3.47	0.20	0.49	2.34	2.39	0.68	0.91
中粗粒似斑状花岗岩闪长岩	B173	65.49	0.67	16.25	1.13	2.30	0.9	1.41	3.33	4.70	3.93	0.24	0.46	2.58	3.31	0.74	0.90
	B199	65.99	0.65	15.49	2.15	2.74	0.11	1.39	2.99	4.43	3.50	0.20	0.36	2.50	2.74	0.71	0.94
	B290	69.23	0.54	15.22	0.56	1.90	0.09	0.94	2.01	4.26	4.59	0.15	0.50	2.96	2.99	0.79	0.97
	B309	62.43	0.80	17.86	1.30	2.79	0.10	1.78	3.86	4.667	3.88	0.00	0.52	2.30	3.76	0.66	0.95
二长花岗岩	B263	72.89	0.23	14.47	0.31	1.43	0.06	0.51	1.49	4.10	3.85	0.06	0.60	2.99	2.11	0.75	1.06
	B525	72.84	0.22	13.95	0.82	0.98	0.09	0.48	1.56	4.22	4.27	0.06	0.50	3.39	2.42	0.82	0.97
	B180	72.78	0.32	13.69	0.87	1.09	0.08	0.65	1.55	4.05	4.30	0.08	0.54	3.27	2.34	0.83	0.96
	B189	75.54	0.21	12.90	0.59	0.86	0.08	0.38	1.33	3.80	3.79	0.06	0.46	2.83	1.77	0.80	1.02
	B234	73.61	0.36	13.06	0.94	1.19	0.08	0.70	1.88	3.81	3.83	0.08	0.46	3.08	1.91	0.80	0.95
	B260	74.74	0.21	12.81	0.71	0.82	0.08	0.44	1.39	3.92	4.35	0.05	0.48	3.47	2.15	0.87	0.94
	B42	71.73	0.21	14.45	0.69	0.74	0.06	0.44	1.42	4.15	5.59	0.05	0.48	3.19	3.30	0.89	0.94

注:测试单位:宜昌地质研究所。

上投影在石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩区域内,并形成由英云闪长岩-二长花岗岩的连续演化趋势。

各岩石碱度率为 2.10~3.47,平均为 2.63,在 A. R - SiO₂图解(图 4)中,自石英闪长岩-花岗闪

长岩-二长花岗岩由钙碱性过渡为碱性区。里特曼指数(δ)为 1.57~3.76,属钙碱性岩石系列。含铝指数(ANKC)为 0.91~1.06,大多为 0.9~1.1,属低铝型,仅二长花岗岩少数属饱铝型。氧化系数(OX₀/OX₁)为 0.87~1.5,自早到晚氧化程度减弱。

3.2 岩石地球化学特征

岩体中各类岩石的微量、稀土元素分析结果见表 2、表 3。通过地质填图划分 4 个侵入岩单元:中细粒

石英闪长岩(金川峡单元)、中粒花岗闪长岩(西红岭单元)、中粗粒似斑状花岗闪长岩(东山单元)和二长花岗岩(北山单元),各单元的稀土元素平均参数见表 4。

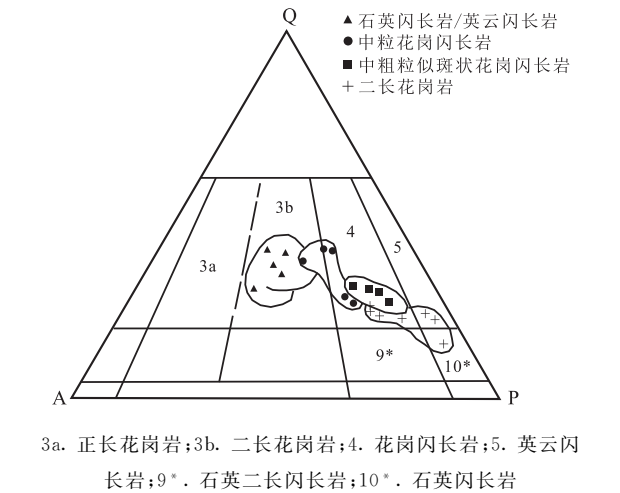


图 3 QAP 分类图解

Fig. 3 QAP classification diagrams for Hexipu granites

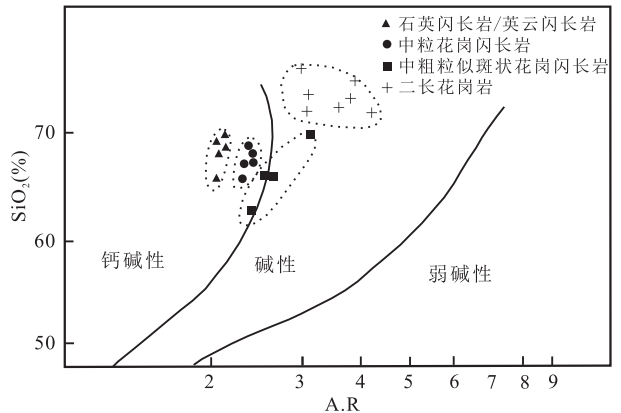


图 4 A. R - SiO₂ 图解

Fig. 4 A. R - SiO₂ diagrams for Hexipu granites

表 2 河西堡岩体微量元素分析结果表(10⁻⁶)
Tab. 2 Geochemical composition of trace elements of Hexipu granites(10⁻⁶)

岩性	样号	Zr	Nb	Ta	Rb	Sr	Cr	Hf	V	Ni	Sc	Nb/Ta	Rb/Sr	Rb/Zr	Zr/Hf
中细粒石英闪长岩	B206	128	10.6	0.8	132.8	507.8	28	3.4	1.88	20	11.5	13.25	0.26	1.04	37.6
	B210	115	11.4	0.8	107.1	494.5	15	3.9	1.37	18	7.4	14.25	0.22	0.93	29.5
	B216	150	12.5	0.8	127.0	510.3	11	4.4	1.14	13	7.7	15.63	0.25	0.85	34.1
	B221	125	11.7	0.8	123.7	489.4	—	—	1.37	—	—	14.63	0.25	0.99	—
	B246	175	11.2	0.8	87	490	—	—	2.22	—	—	14.00	0.18	0.50	—
中粒花岗闪长岩	B148	160	13.0	0.8	113.3	716.1	16	3.6	3.41	12	1.8	16.25	0.16	0.71	44.4
	B163	130	12.0	0.8	112.3	865.1	—	—	2.28	—	—	15.00	0.13	0.86	—
	B302	195	18.5	0.8	127.2	1135.6	—	—	3.42	—	—	23.13	0.11	0.65	—
	B383	141	16.2	0.8	121.43	803.8	—	—	2.06	—	—	20.25	0.15	0.86	—
	B387	162	14.6	0.8	111.3	879.1	—	6.2	2.66	—	—	18.25	0.13	0.69	—
中粗粒似斑状花岗闪长岩	B173	280	17.2	0.8	99.0	713.5	8	—	2.36	18	5.8	21.50	0.14	0.35	45.2
	B199	240	17.5	0.8	95.1	653.9	—	—	1.90	—	—	21.88	0.15	0.40	—
	B290	195	13.4	0.8	146.6	349.0	—	—	2.66	—	—	16.75	0.42	0.75	—
	B309	290	25.4	1.2	108.3	989.6	—	—	1.90	—	—	21.17	0.11	0.37	—
二长花岗岩	B263	148	13.6	0.8	138	340	—	—	1.29	—	—	17.00	0.41	0.93	—
	B525	124	15.6	0.8	220	300	—	—	5.78	—	—	19.50	0.73	0.77	—
	B180	130	17.0	0.8	211.2	311.6	—	—	3.87	—	—	21.25	0.68	1.63	—
	B189	85	10.5	0.8	205.1	232.0	—	—	2.47	—	—	12.88	0.88	2.41	—
	B234	160	17.8	0.8	180.3	314.4	—	—	3.88	—	—	22.25	0.57	1.13	—
	B260	98	17.1	0.8	261.1	231.6	—	—	2.74	—	—	21.38	1.13	2.66	—
	B42	96	13.1	0.8	239.3	337.4	—	—	3.82	—	—	16.38	0.71	2.49	—

注:测试单位:宜昌地质研究所。

表 3 河西堡岩体稀土元素分析结果表(10⁻⁶)

Tab. 3 Geochemical composition of race earth elements of Hexipu granites(10⁻⁶)

岩性	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
中细粒石 英闪长岩	B206	13.700	24.500	2.890	10.800	2.300	0.980	1.490	0.260	1.770	0.380	1.070	0.160	1.000	0.140	8.970
	B210	33.500	65.000	6.840	23.100	4.320	0.920	2.360	0.420	2.040	0.410	1.000	0.140	0.870	0.120	8.970
	B216	38.700	72.600	7.760	27.300	4.480	0.970	2.290	0.390	1.900	0.390	0.980	0.140	0.870	0.130	14.200
	B221	29.200	59.400	6.830	23.400	4.390	1.040	2.670	0.440	2.490	0.490	1.190	0.160	0.940	0.140	9.160
	B246	45.000	79.600	9.170	30.600	5.000	1.310	2.940	0.450	2.530	0.510	1.360	0.200	1.170	0.170	9.270
中粒花岗 闪长岩	B148	45.500	82.300	9.580	29.600	5.420	1.080	2.540	0.440	1.930	0.390	0.840	0.120	0.770	0.110	8.120
	B163	43.400	71.400	8.750	76.500	4.610	1.170	7.570	0.430	1.970	0.380	0.790	0.170	0.690	0.100	7.740
	B302	86.900	157.000	19.400	60.100	9.470	1.810	4.240	0.680	2.890	0.550	1.200	0.180	1.100	0.150	10.100
	B383	48.400	106.000	11.000	39.100	6.560	1.340	3.050	0.510	2.410	0.530	1.090	0.160	1.000	0.140	9.650
	B387	76.200	149.000	14.400	45.300	7.730	1.430	3.110	0.520	2.340	0.510	0.930	0.140	0.820	0.120	8.490
中粗粒似 斑状花岗 闪长岩	B173	77.000	162.000	18.600	63.100	9.860	1.800	4.800	0.750	3.730	0.680	1.590	0.250	1.540	0.220	12.300
	B199	62.000	129.000	15.800	55.200	8.740	1.650	3.960	0.620	3.430	0.640	1.440	0.210	1.290	0.190	11.200
	B290	88.200	185.000	19.900	63.500	10.300	1.130	3.970	0.670	2.440	0.470	1.080	0.140	0.790	0.110	8.640
	B309	74.000	163.000	21.000	68.900	10.400	2.020	4.700	0.840	3.770	0.800	2.020	0.300	1.740	0.240	14.800
二长花 岗岩	B263	40.300	75.300	8.000	26.400	4.560	0.780	2.130	0.350	1.650	0.360	0.730	0.110	0.650	0.090	7.010
	B525	44.800	77.500	7.360	74.300	4.040	0.700	1.710	0.770	1.090	0.700	0.460	0.060	0.370	0.050	4.770
	B180	54.600	101.000	9.080	28.500	5.060	0.840	2.120	0.340	1.580	0.310	0.850	0.130	0.770	0.110	7.760
	B189	35.400	69.800	5.930	17.400	3.310	0.620	1.220	0.180	1.030	0.180	0.500	0.070	0.370	0.050	4.770
	B234	51.300	87.200	10.500	31.000	5.140	0.880	2.400	0.370	1.710	0.360	0.820	0.130	0.770	0.110	7.790
	B260	34.300	58.300	6.680	15.400	4.550	0.650	1.570	0.280	1.150	0.240	0.560	0.080	0.470	0.060	5.480
	B42	31.100	62.700	6.010	18.200	3.290	0.720	1.470	0.250	1.270	0.300	0.580	0.080	0.490	0.070	6.080

注:测试单位:宜昌地质研究所。

表 4 稀土元素平均参数表(10⁻⁶)

Tab. 4 Average parameter of rare earth elements(10⁻⁶)

项目	细粒石英 闪长岩	中粒花岗 闪长岩	中粗粒似 斑状花岗 闪长岩	二长 花岗岩
ΣREE	144.95	262.43	352.11	171.98
ΣLREE	127.12	134.08	328.02	152.64
ΣHREE	17.83	17.21	24.09	11.33
ΣLREE/ΣHREE	7.1304	13.5998	13.6166	13.4674
ΣCe	121.98	225.97	316.55	147.62
ΣSm	10.47	14.49	20.54	8.75
ΣYb	12.50	10.83	15.02	7.61
δEu	0.953	0.799	0.674	0.704
δCe	1.047	1.070	1.132	1.076
Sm/Nd	0.178	0.168	0.157	0.186
La/Yb	33.010	68.584	56.194	75.013
La/Sm	7.814	8.890	7.664	9.743
Ce/Yb	62.082	129.155	119.216	135.424

稀土元素总量 ΣREE 变化范围在 70.41×10⁻⁶~386.34×10⁻⁶,平均为 221.39×10⁻⁶,集中于 130×10⁻⁶~360×10⁻⁶,从石英闪长岩到花岗闪长岩 ΣREE 逐渐增加,而至二长花岗岩则呈下降趋势。稀土分配曲线均为右倾斜的平滑状曲线,在重稀土部分稍有曲折。石英闪长岩到花岗闪长岩 ΣREE、ΣLREE/ΣHREE、La/Yb 升高,分配曲线由缓变陡。二长花岗岩负 Eu 异常较为明显,ΣREE 显著增加(图 5a)。

在微量元素原始地幔蛛网图上(图 5b),岩石均富集 Rb、K 等大离子亲石元素,贫 Nb、Ta、P、Y 和 Ti 等高场强元素,与活动陆缘岛弧区岩浆产物地球化学特征一致(PEARCE et al.,1984)。元素含量上从石英闪长岩—花岗闪长岩—二长花岗岩 Zr、Nb、Sr、U 趋向富集,Ta、Rb、Cr、Hf、Sc 等变化不大,Rb/Sr、Nb/Ta 值明显增高。

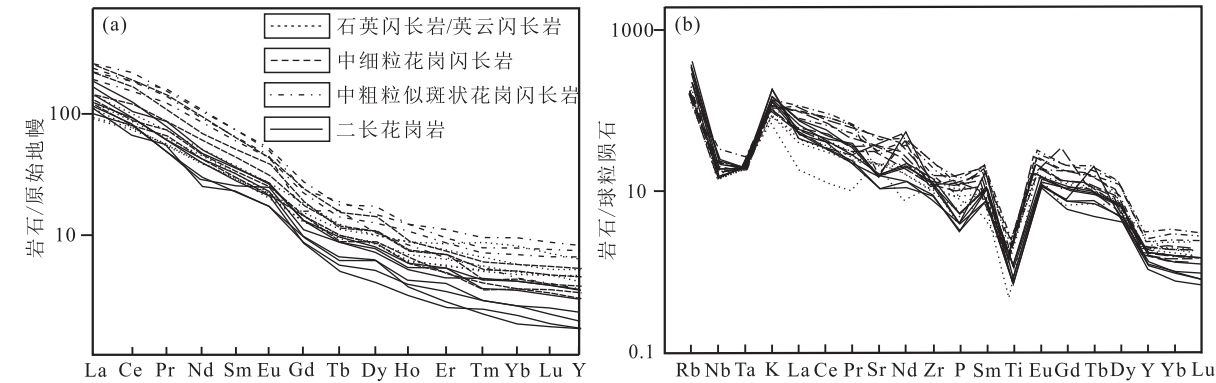


图 5 (a)河西堡中酸性侵入岩稀土分配曲线和(b)微量元素蛛网图(标准化值见 SUN et al. , 1984)

Fig. 5 (a)Chondrite-normalized REE distribution patterns and (b)primitive mantle-normalized trace element spidergrams of the Hexipu granites(Standardized values after SUN et al. ,1984)

3.3 锶同位素地球化学特征

研究区花岗岩 Sr 同位素(⁸⁷Sr /⁸⁶Sr)的变化范围为 0.706 0~0.707 8,石英闪长岩⁸⁷Sr /⁸⁶Sr 最低,二长花岗岩⁸⁷Sr /⁸⁶Sr 而明显较高,在锶同位素演化图上,由玄武岩顶部渐变为过渡区,利用(邢凤鸣,1987)估算壳幔物质混合比例的简单公式。

$$u=100\times(Ic-Ii)/(Ic-Im)$$

其中:*u*——壳幔混源中幔源物质的比例;*Ic*=0.702 9—0.000 0024 7×*t*(Ma);*Ii*——实测同位素

初始比值;*Im*=0.704—0.000 001 1×*t*(Ma)。
计算出 *u* 值为 36.36% 渐变为 22.235%、28.26%、8.7%,反映了幔源物质的逐渐减少。

4 成因分析

反映岩体成因特征见表 5,石英闪长岩和中粒花岗岩为 I 型,似斑状花岗闪长岩为 I-S 过渡型,似斑状二长花岗岩为 S 型。

表 5 河西堡花岗岩成因类型特征表
Tab. 5 The characteristics of genetic types for Hexipu granites

项目	石英闪长岩	中粒花岗闪长岩	似斑状花岗闪长岩	似斑状二长花岗岩
结构	中粒少斑	中细粒	中粗粒似斑状	中粗粒似斑状
黑云母成分	镁黑云母 FM=2. 15	镁黑云母 FM=2. 30	FM=2. 90	FM=2. 60
氧化系数	0. 33	0. 42	0. 16	0. 01
⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	0. 706 0	0. 706 8	0. 706 8	0. 707 8
<i>u</i>	36. 36%	22. 73%	28. 26%	8. 7%
Rb-Sr 全岩等时线(Ma)	(592+82)	(577+59)	(427+14)	(403+18)
包体	二长岩 石英二长岩	二长岩、石英二长 岩、石英闪长岩		
含铝指数	1. 01	0. 94	0. 96	0. 96
Rb/Sr	0. 232	0. 136	0. 205	0. 703
岩浆形成深度	上地幔顶部或下地壳底部		下地壳-上地壳	上地壳
源岩	中基性变质火山岩		变质基性火山岩 及少量碎屑岩	基底变质岩系 中低共熔组分
岩石分类	I 型		I-S 过渡型	S 型

锆石在花岗岩中可作为岩浆来源提供岩浆起源的线索(PUPIN, 1980),通过对 239 粒晶形完整的锆石统计表明,主要单形有{001}、{101}、{110}、{211}等,锆石的分布集中在类型图的中下部(54.4%)和上部(36.0%)(图 6),根据锥面指数和柱面指数,对各岩石求值在锆石演化图上石英闪长岩属 4C 区,为地壳+地幔成因,花岗闪长岩属 4A 区,靠近 3 区,说明以地壳为主加有地幔成分,二长花岗岩位于 3 区(图 7),以地壳成因为主。

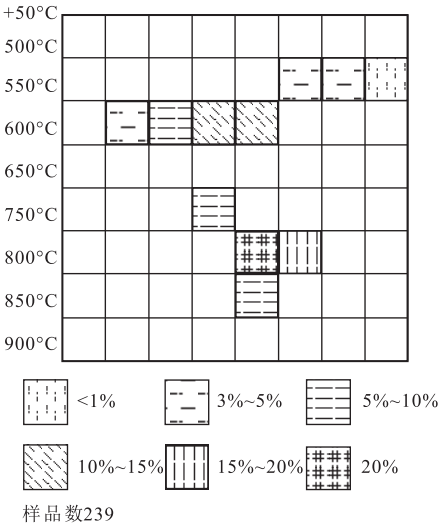
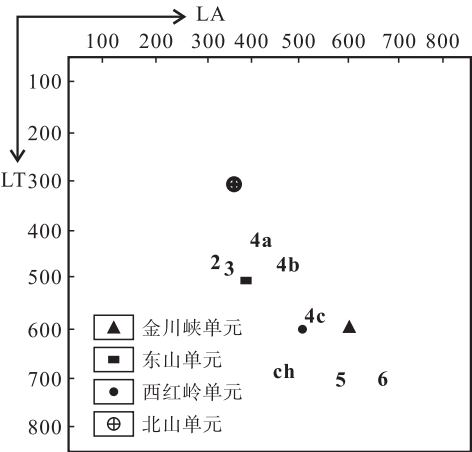


图 6 河西堡花岗岩锆石群型分布图(据 PUPIN, 1980)

Fig. 6 Zircon group distribution type of Hexipi granites(After PUPIN, 1980)



1、2、3. 地壳或主要为地壳成因;4a、4b、4c、5. 地壳+地幔成因;
6. 地幔或主要为地幔成因;ch. 紫苏花岗岩区

图 7 锆石群在锆石演化趋势图上投影图(据 PUPIN, 1980)

Fig. 7 Projections of zircon groups in zircon evolution trend of map(After PUPIN, 1980)

在 Sm-Nd 图解(图 8)上,各单元样品构成一条线性较好的直线,表明各岩石岩浆演化基本一致,但北山单元样品偏离这条曲线,反映了演化的独特性。

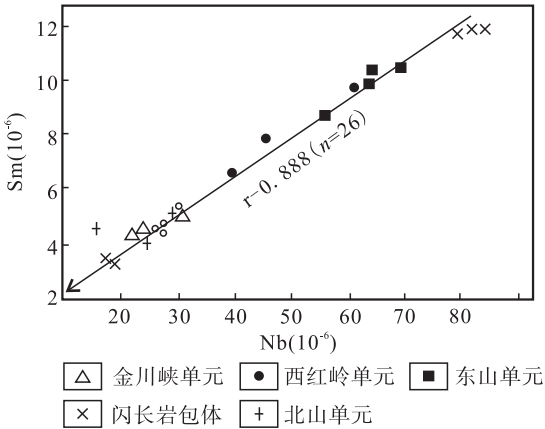


图 8 河西堡花岗岩 Sm-Nd 图解

Fig. 8 Sm-Nd diagram of Hexipi granites

在(Gd/Yb)_N-(La/Yb)_N相关图解(图 9)上,金川峡单元、西红岭单元构成一条线性较好的直线,反映了中基性熔浆与酸性熔体混合的产物,中基性熔浆聚集于上地幔与下地壳之间,多次向上贯入诱发酸性熔体与之混合,东山单元构成一条线性尚好的直线,亦反映了基底变质岩中碎屑组分的同化混染。北山单元已构不成直线,说明可能为基底酸性岩或变质岩组分再次重熔形成。在 SiO₂-Mg[#] 图上(图 10),样品基本落在增厚下地壳熔融区域,但分布区域存在较大差异,部分北山单元样品落在范围下方,表明 4 个单元的侵入岩不仅存在时代差异、源岩成分不同,而且形成的源区压力条件存在差异。

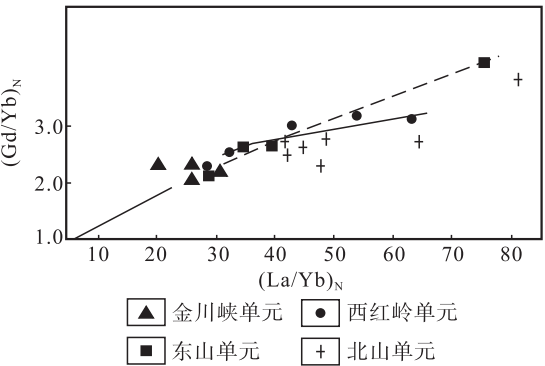


图 9 河西堡花岗岩 (Gd/Yb)_N-(La/Yb)_N 图解

Fig. 9 (Gd/Yb)_N-(La/Yb)_N diagram of Hexipi granites

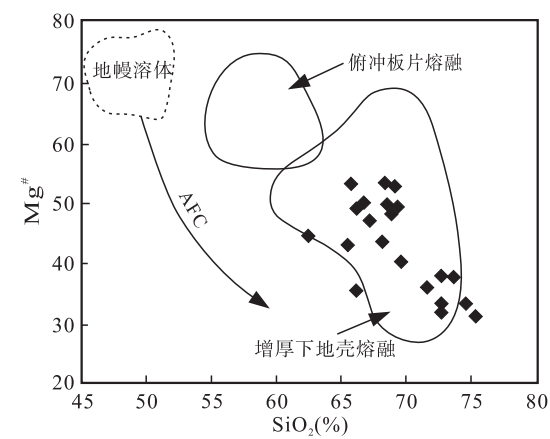


图 10 河西堡花岗岩源区 SiO_2 - $\text{Mg}^\#$ 判别图

Fig. 10 SiO_2 vs. $\text{Mg}^\#$ diagrams for Hexipu granite

5 构造环境

河西堡中酸性侵入岩在微量元素 Rb - Hf - Ta 三角图解(图 11)和 Ta - Yb、Nb - Y、Rb - (Yb + Ta)和 Rb - (Y + Nb)判别图解(图 12)中,显示出较

为一致的落点,金川峡单元和西红岭单元均落入火山岛弧花岗岩区,东山单元落入火山岛弧花岗岩区,

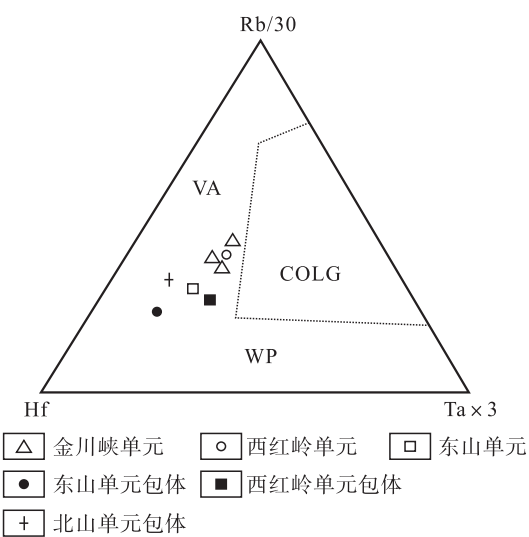
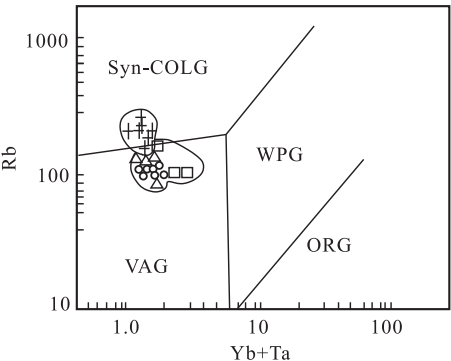
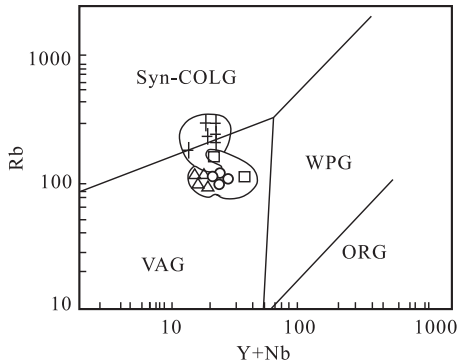
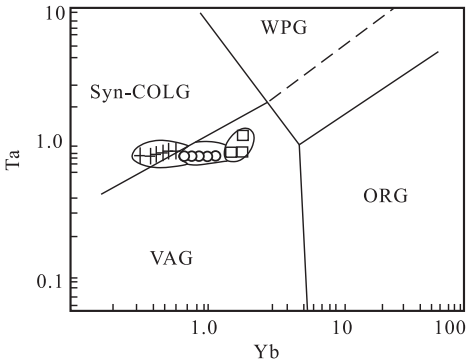
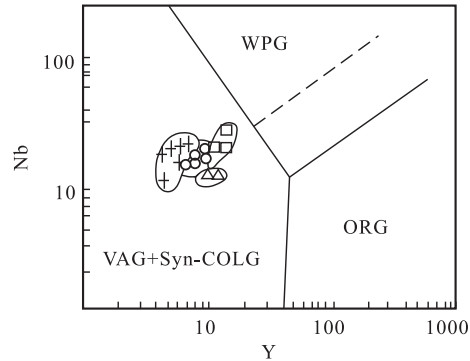


图 11 Rb - Hf - Ta 三角图解(据 HARRIS et al. , 1986)

Fig. 11 Rb - Hf - Ta triangular diagram (After HARRIS et al. , 1986)



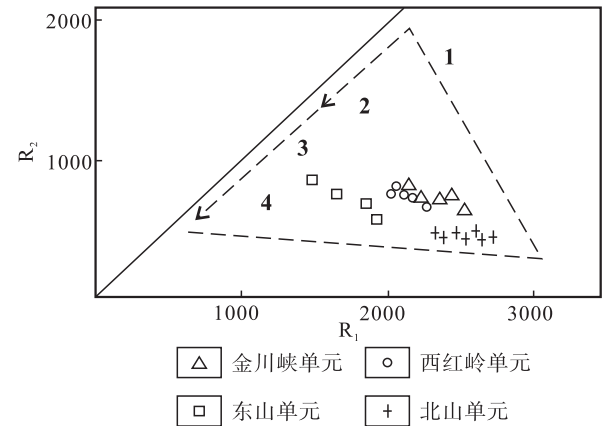
△ 金川峡单元 ○ 西红岭单元 □ 东山单元 + 北山单元

ORG. 洋脊花岗岩; WPG. 板内花岗岩; VAG. 火山弧花岗岩; syn - COLG. 同碰撞花岗岩

图 12 花岗岩形成的大地构造环境判别图解(据 PEARCE et al. , 1984)

Fig. 12 Discrimination diagrams of tectonic setting(After PEARCE et al. , 1984)

北山单元落入火山岛弧区和同构造碰撞花岗岩区。在 R_1-R_2 图解(图 13)中,金川峡单元和西红岭单元落入消减的活动板块边缘或板块碰撞前的消减地区,东山单元落入造山晚期花岗岩,北山单元落入地壳熔融的花岗岩-同碰撞花岗岩区。表明在 591~402 Ma,华北板块西南缘发生了强烈的区域性构造岩浆过程;新元古代中晚期,华北板块、塔里木板块和柴达木板块的碰撞和拼合作用不太强烈,使得祁连地区出现明显的裂隙,伴随裂隙沉降的加剧,在震旦纪末伴随着大规模的中基性、酸性火山活动发生;此时华北板块西南缘龙首山隆起带南侧的走廊过渡带正处于北祁连海底火山-岩浆岛弧的弧后拉张阶段,金川峡单元和西红岭单元的中酸性岩为这一阶段岩浆活动的产物,表现出火山岛弧花岗岩特征。早古生代,北祁连洋持续消减使得阿拉善地块边缘发生碰撞造山运动(夏林圻等,2003),北大山-龙首山一带花岗岩形成于阿拉善地块碰撞运动引起的构造热事件(周立发,1992),东山单元花岗岩可能是不规则碰撞过程中具火山弧特征的基性火山岩部分熔融形成。北山单元花岗岩是强烈的碰撞造山作用导致基底变质岩系发生重熔形成,反映了早古生代晚期碰撞造山作用仍在持续,且局部区域较为强烈。



- 1. 地幔斜长花岗岩(拉斑玄武质)-幔源花岗岩(T型花岗岩);
- 2. 钙碱性更长花岗岩(消减的活动板块边缘)-板块碰撞前消减地区(I型);
- 3. 高钾钙碱性花岗岩(加里东型深熔花岗岩)-板块碰撞后期(I型加里东);
- 4. 二长岩(造山晚期花岗岩-晚造山期花岗岩);
- 5. T. 碱性、强碱性花岗岩;
- 6. 地壳熔融的花岗岩(同造山花岗岩)-同碰撞花岗岩(S型)

图 13 R_1-R_2 图(据 BATCHELOR et al, 1985)

Fig.13 R_1 vs. R_2 diagrams
(After BATCHELOR et al, 1985)

6 结论

(1)宁远堡—河西堡—青山堡一带中酸性侵入岩形成于龙首山陆缘带和祁连造山带之走廊过渡带,岩石由石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩组成,具中细粒、中粒、中粗粒似斑状结构,石英闪长岩和中粒花岗岩靠近祁连造山带之走廊过渡带一侧;似斑状花岗闪长岩和二长花岗岩靠近龙首山陆缘带。

(2)河西堡岩体中石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩具连续的演化趋势,各岩石岩浆演化基本一致,自石英闪长岩、花岗闪长岩、二长花岗岩岩石由钙碱性到碱性具稀土总量逐渐增高、 δEu 变大的趋势,反映了在岩浆演化中岩浆侵入深度的变浅和地壳物质的增加。

(3)岩体中石英闪长岩和中粒花岗岩为 I 型花岗岩,源岩为上地幔顶部或下地壳底部中基性火山岩;似斑状花岗闪长岩为 I-S 过渡型花岗岩,源岩为下地壳—上地壳中基性火山岩和少量碎屑岩;似斑状二长花岗岩为 S 型花岗岩,源岩为上地壳基底变质岩系中低共熔组分。

(4)河西堡一带中酸性侵入岩体侵入于前震旦—寒武纪地层中,形成于加里东期。石英闪长岩、中粒花岗岩构造环境为火山岛弧区,可能是在北祁连向华北板块俯冲形成沟弧体系,在火山弧环境下形成。似斑状花岗岩为加里东中期挤压作用下导致碰撞造山深部重熔岩浆侵位形成的造山晚期花岗岩。二长花岗岩是龙首山在加里东晚期终止碰撞造山作用时由基底变质酸性组分等低共熔组分发生部分熔融的结果,为地壳熔融的碰撞型花岗岩。

以上研究成果为华北板块西南缘阿拉善地块与祁连造山带地质走廊的形成和演化研究提供了基础数据。

致谢:感谢审稿专家提出的宝贵意见和编辑部李辉老师的付出,特别感谢甘肃省地矿局野外工作项目组所有成员的辛勤工作。

参考文献(References):

张新虎. 龙首山裂谷带的基本特征及演化历史[J]. 西北地质, 1992,13(1):6-13.

- ZHANG Xinhui. The basic characteristics and evolution history of the Longshoushan rift belt[J]. *Northwestern Geology*, 1992, 13(1):6-13.
- 李文渊. 中国西北部成矿地质特征及找矿新发现[J]. *中国地质*, 2015, 42(3):365-380.
- LI Wenyuan. Metallogenic geological characteristics and newly discovered orebodies in Northwest China[J]. *Geology in China*, 2015, 42(3):365-380.
- 安国堡, 辛存林, 杨涛, 等. 甘肃龙首山成矿带地质构造演化及其对铀矿成矿的控制作用[J]. *地球科学与环境学报*, 2016, 38(6):803-812.
- AN Guobao, XIN Cunlin, YANG Tao, et al. Geotectonic evolution of Longshoushan metallogenic belt in Gansu and its control function on uranium mineralization[J]. *Journal of Earth Science and Environment*, 2016, 38(6):803-812.
- 马章海, 李继刚. 龙首山铀矿带 207 矿床初步勘探总结报告[R]. 武威:核工业部西北地质勘查局二一二大队, 1986.
- 李献华, 苏犁, 宋彪, 等. 金川超镁铁侵入岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄及地质意义[J]. *科学通报*, 2004, 49(4):401-402.
- LI Xianhua, SU Li, SONG Biao, et al. SHRIMP U-Pb age of zircon and geological significance of Jinchuan ultrafine [J]. *Science Bulletin*, 2004, 49(4):401-402.
- 李文渊, 汤中立, 张照伟, 等. 对小岩体成矿的认识及其找矿意义[J]. *西北地质*, 2012, 45(4):61-68.
- LI Wenyuan, TANG Zhongli, ZHANG Zhaowei, et al. The concept of mineralization of the small rock mass and prospecting significance [J]. *Northwestern Geology*, 2012, 45(4):61-68.
- 赵亚云, 张树明, 汤琳, 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[J]. *甘肃地质*, 2015, 24(2):71-78.
- ZHAO Yayun, ZHANG Shuming, TANG Lin, et al. Caledonian granitic magmatism and uranium mineralization in middle Longshoushan[J]. *Gansu Geology*, 2015, 24(2):71-78.
- 方同辉, 王崇礼, 王瑄荣. 河西堡花岗岩体中闪长质包体与岩浆混合作用[J]. *西安地质学院学报*, 1997, 19(4):53-61.
- FANG Tonghui, WANG Chongli, WANG Dangrong. Dioritic enclaves and magma mingling in Hexibao granite [J]. *Journal of Xian College of Geology*, 1997, 19(4):53-61.
- 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[J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2013, 32(6):729-735.
- WEI Qiaoqiao, HAO Libo, LU Jilong, et al. LA-MC-ICP-MS zircon U-Pb dating of Hexipu granite and its geological implications[J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2013, 32(6):729-735.
- 汤中立, 李文渊. 金川硫化铜镍(含铂)矿床成矿模式及地质对比[D]. 甘肃地矿局, 金川有色金属公司, 1993.
- TANG Zhongli, LI Wenyuan. Metallogenic model and geological comparison of gold and copper nickel sulfide (platinum) deposit[D]. *Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration & Development, Jinchuan nonferrous metals company*, 1993.
- 朱士兴, 程裕琪, 张鹏远, 等. 华北地台中、上元古界生物地层序列[M]. 北京:地质出版社, 1994.
- ZHU Shixing, CHENG Yuqi, ZHANG Pengyuan, et al. The sequence of biostratigraphy in the Mesozoic and upper Paleozoic strata in North China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994.
- 张本期, 张翔. 西坡幅、河西堡幅、东寨幅 1:5 万区域地质调查报告[R]. 甘肃省地矿局第二地质勘查院, 2005.
- 李文渊. 龙首山震旦纪砾状白云岩成因探讨[J]. *甘肃地质*, 1991, 12(2):81-88.
- LI Wenyuan. Preliminary study on the origin of the carbonate fragmental flow sedimentary of the simian period in Longshou mountain[J]. *Gansu Geology*, 1991, 12(2):81-88.
- 校培喜, 由伟丰, 曹宣铎, 等. 甘肃中西部龙首山一带“韩母山群”的重新厘定[J]. *地质通报*, 2011, 30(8):1228-1232.
- XIAO Peixi, YOU Weifeng, CAO Xuanduo, et al. Redefining of the Hanmushan Group in Longshoushan, central-western Gansu Province[J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(8):1228-1232.
- 左国朝, 刘寄陈. 北祁连早古生代大地构造演化[J]. *地质科学*, 1987, (1):14-24.
- ZUO Guochao, LIU Jichen. The evolution of tectonic of early Paleozoic in north Qilian range, China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 1987, (1):14-24.
- 邢凤鸣. 锶同位素初始比值在划分花岗岩成因类型上的应用探讨[J]. *岩石学报*, 1987, (2):75-78.
- XING Fengming. On the application of initial strontium isotope ratios in division of granite genetic types[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 1987, (2):75-78.
- 冯益民, 吴汉泉. 北祁连山及其邻区古生代以来的大地构造演化初探[J]. *西北地质科学*, 1992, 13(2):61-71.

FENG Yimin, WU Hanquan. Tectonic evolution of north Qilian mountains and its Neighborhood since Paleozoic [J]. Northwest Geoscience, 1992, 13(2):61-71.

许志琴, 徐惠芬, 张建新, 等. 北祁连走廊南山加里东俯冲杂岩增生地体及其动力学[J]. 地质学报, 1994, 68(1): 1-15.

XU Zhiqin, XU Huifen, ZHANG Jianxin, et al. The Zhoulangnanshan Caledonian subductive complex in the northern Qilian mountains and its dynamics[J]. Acta Geologica Sinica, 1994, 68(1): 1-15.

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[J]. 中国地质, 2003, 30(1):48-60.

XIA Linqi, XIA Zuchun, XU Xueyi. Magmagenesis of Ordovician back-arc basins in the Northern Qilian mountains[J]. Geology in China, 2003, 30(1):48-60.

周立发. 阿拉善地块南缘早古生代大地构造特征和演化[J]. 西北大学学报, 1992, 22(1):107-115.

ZHOU Lifa. Early Paleozoic tectonic features and evolutions in the Southern margin of Alaxa massif[J]. Journal of Northwest University(Natural Science Edition), 1992, 22(1):107-115.

PEARCE J A, HARRIS N B W, TINDLE A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks[J]. Journal of Petrology, 1984, 25(4): 956-983.

SUN S S, MCDONOUGH W F. Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: Implications for mantle composition and processes[J]. Geological Society London Special Publications, 1989, 42(1):313-345.

PUPIN J P. Zircon and granite petrology[J]. Contributions to Mineralogy and Petrology, 1980, 73(3):207-220.

HARRIS N B W, PEARCE J A, TINDLE A G. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward M P, Ries A C (eds) Collision Tectonics[J]. Geological Society London Special Publication, 1986, 19, 67-81.

BATCHELOR R. A., BOWDEN P. Petrogenetic interpretation of granitic rock series using multicaticonic parameters[J]. Chemical Geology, 1985, 48, 43-55.

大红柳滩式锂矿床

成矿区带:南巴颜喀拉-雅江成矿带(Ⅲ-31)。

建造构造:晚三叠世末期花岗岩体(二长花岗岩锆石 U-Pb 年龄为 $(217.4 \pm 2.2) \sim (220 \pm 2.2)$ Ma(乔耿彪等,2015);二云母花岗岩体锆石 U-Pb 年龄为 (209.6 ± 1.3) Ma(魏小鹏等,2017)侵入于古元古界和三叠系地层中,外接触带发育 7 000 余条花岗伟晶岩脉,其中锂辉石伟晶岩脉 124 条。大红柳沟矿区圈定伟晶岩脉 99 条,富含锂辉石的伟晶岩脉都远离花岗岩,查明有 24 条锂辉石伟晶岩脉,稀有金属矿物集中于石英-锂辉石带中。

成矿时代:侏罗纪。伟晶岩中白云母 Ar-Ar 同位素年龄为 185~156 Ma(周兵等,2011)。

成矿组分:Li,(伴生 Be,Ta,Rb,Cs ,白云母)。

矿床(点)实例:(新)皮山县大红柳滩锂矿床,和田市大红柳滩西、阿合栏杆锂矿床,和田县阿克沙依、阿克塔斯锂矿床。此外还有锂矿点 15 处。

简要特征:锂辉石矿主要分布于中粗粒伟晶结构带中。矿石矿物主要为锂辉石,少量锂云母、绿柱石及铌钽铁矿;非金属矿物主要为石英、钠长石、白云母、微斜长石等。平均品位:Li₂O 为 1.179%,BeO 为 0.061%,Ta₂O₅ 为 0.007%。

成因认识:晚三叠世末期造山运动,使陆壳重熔分异的花岗岩浆向上侵位,非常缓慢地结晶分异,当残余富含流体岩浆聚集于岩浆房顶部,受北西向断裂破碎带影响向上贯入,并随伟晶岩浆温度和压力缓慢下降,最终在侏罗纪早期形成伟晶岩型锂矿床。

(中国地质调查局西安地质调查中心 杨合群)