

# 青海省柴南缘四角羊铁多金属矿区 岩浆岩特征及其成矿意义

李洪普<sup>1,2</sup>, 刘具仓<sup>2</sup>, 张喜全<sup>2</sup>, 曹永亮<sup>2</sup>, 雷延智<sup>2</sup>, 曲建明<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所 国土资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;  
2. 青海省柴达木综合地质矿产勘查院, 青海格尔木 816000)

[摘要] 通过野外地质观察、岩矿石光薄片鉴定、元素化学分析、微量及稀土元素分析后认为, 四角羊铁多金属矿区岩体中强不相容性的 Rb、Sr、Ba、Th 元素及易于与 K 容纳的 Pb 元素高于原始地幔岩; 稀土元素的总含量( $\Sigma$ REE)在  $90.41 \times 10^{-6}$  ~  $223.89 \times 10^{-6}$  之间,  $\Sigma$ REE /  $\Sigma$ HREE 在 5.48 ~ 11.11 之间,  $\delta$ Eu 在 0.66 ~ 1.02 之间; 锂氩法测定的岩浆岩年龄为 196 ~ 191 Ma。此外, 矿区矿石的一系列特点, 如矿石矿物为磁黄铁矿、磁铁矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿及微量碲铋矿、毒砂、辉钼矿等, 围岩蚀变为与矽卡岩有关的透辉石化、石榴石化等, 硫同位素  $\delta^{34}\text{S}$  值在 5.82% ~ 5.83% 之间, 碳同位素  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  在 4.32‰ ~ 34.51‰ 之间, 氧同位素  $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  在 -7.82‰ ~ -24.59‰ 之间等, 说明该矿区印支期具钙碱性的酸性岩体与成矿关系密切。

[关键词] 印支期花岗闪长岩 岩石地球化学特征 矽卡岩型铁多金属矿床 柴南缘四角羊矿区

[中图分类号] P62 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2011)06-1009-9

Li Hong-pu, Liu Ju-cang, Zhang Xi-quan, Cao Yong-liang, Lei Yan-zhi, Qu Jian-min. Characteristics of magmatic rocks from the Sijiaoyang Fe-polymetallic ore district in the southern margin of Qaidam, Qinghai Province and their metallogenic significance [J]. Geology and Exploration, 2011, 47 (6): 1009–1017.

四角羊铁多金属矿床自 2000 年以来在柴南缘地区找矿成果最显著<sup>①</sup>, 经 2004 ~ 2007 年普查、详查工作, 提交了一处超大型(含外围)可供开发的铁多金属矿产地, 期间对该矿床注重于勘查工作, 对成矿方面的研究工作比较少, 对成矿因素方面形成的资料更少, 这无疑影响了下一步勘查思路的形成。本文着重对矿区岩体地质-地球化学特征及其与成矿的关系进行了研究, 以期对今后的找矿方向有所指导。

## 1 成矿地质背景

四角羊铁多金属矿床处于昆中断裂与昆北断裂之间, 晚古生代-中生代岩浆弧带北缘(杨振宇等, 1998; 丰成友等, 2004; 张雪亭等, 2008)。矿区出露地层主要是晚奥陶世滩间山群碳酸盐岩、晚石炭世缔傲苏组碳酸盐岩和第四纪地层。其中晚石炭世

傲苏组碳酸盐岩主要分布于矿区北侧和南部, 岩性为灰岩、条带状灰岩、含炭质大理岩, 为一套浅海相碳酸盐沉积建造, 总体北倾, 产状( $10^\circ$  ~  $20^\circ$ )  $\angle$  ( $30^\circ$  ~  $50^\circ$ ), 在岩浆岩与围岩接触部位岩层产状有较大变化, 与晚奥陶世滩间山群碳酸盐岩组之间为断层接触(图 1)。矿区内地质构造比较简单, 从褶皱形迹看, 多为单斜构造, 断层构造主要为出露于地表的北西西向的 F1、F2 逆断层。岩浆岩主要为印支期灰白色花岗岩。

## 2 岩体地质-地球化学特征

研究区岩浆岩主要为黑云二长花岗岩和灰白色花岗闪长岩, 地表零星分布, 多呈隐伏状存在于深部(图 1, 2), 面积  $1\text{ km}^2$  ~  $2\text{ km}^2$ 。该岩体侵入于晚石炭世缔傲苏组碳酸盐岩, 与围岩呈锯齿状相互穿插, 界限较清晰, 边部发育深灰色中细粒角闪闪长岩捕虏体。

[收稿日期] 2011-01-04; [修订日期] 2011-05-08; [责任编辑] 郝情情。

[基金项目] 中国地质调查局青藏专项项目“青海省格尔木扎日根-开心岭铁多金属矿普查”项目资助(编号: 2007-22)。

[第一作者] 李洪普(1968 年—), 男, 博士, 教授级高工, 从事野外地质矿产勘查工作。E-mail: lihongpu1@yahoo.cn。

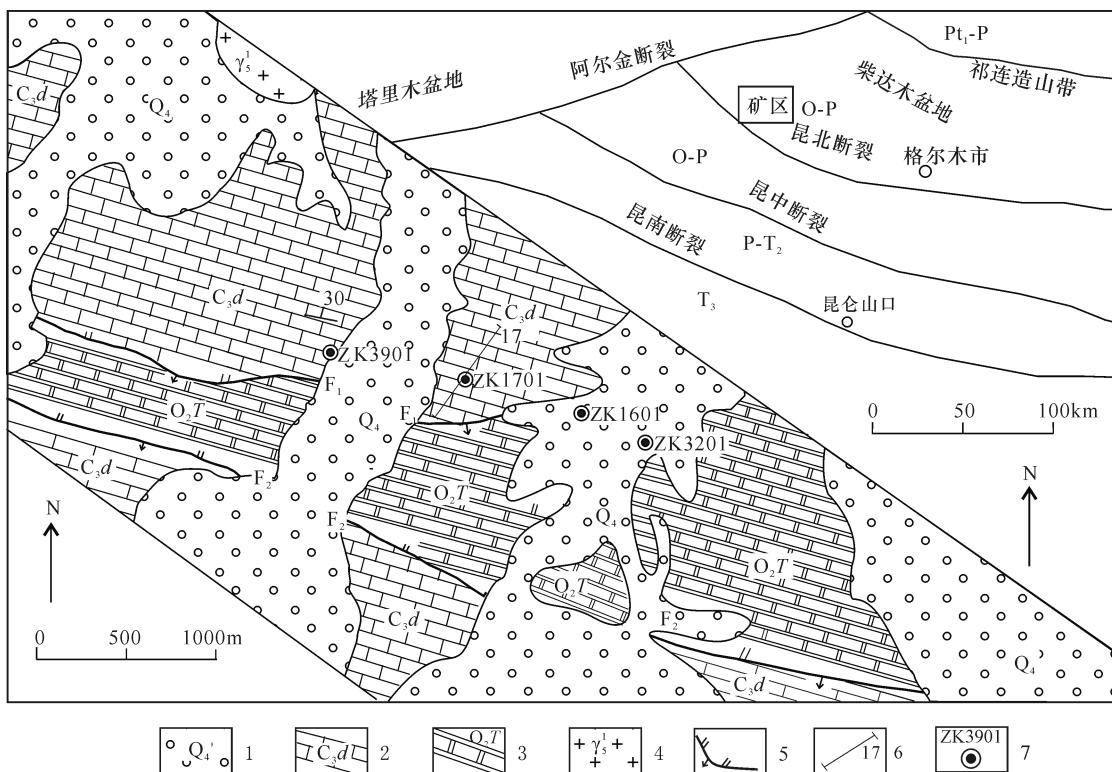


图 1 四角羊矿区地质图

Fig 1 Geological map of the Sijiaoyang ore district

1—第四纪冲洪积物;2—晚石炭世缔傲苏组碳酸盐岩;3—晚奥陶世滩间山群碳酸盐岩;4—印支期花岗岩;5—逆断层;6—勘探线;

7—钻孔位置及编号

1—Quaternary sediments;2—carbonatite in late Carboniferous Diaosug Formation;3—carbonatite in upper Ordovician Tanjianshan Formation;4—Indosian granite;5—reverse fault;6—exploration line;7—drill hole and number

## 2.1 样品采集

本文共引用 10 件分析样品,其中 7 件采集钻孔,3 件引用以往资料(采集于地表)。样品编号、采集位置、样品岩性特征及分析项目见表 1。

## 2.2 岩体地质特征

矿区岩体岩石主要由石英、碱性长石和酸性长石等矿物组成。其中碱性长石是钾长石和  $An < 5$  的钠长石。钾长石含量  $10\% \sim 25\%$ ,包括微斜长石、正长石、条纹长石,它形-半自形晶(1,2,GS<sub>1</sub>XT<sub>1</sub>, GS<sub>1</sub>XT<sub>2</sub>, GS<sub>1</sub>XT<sub>3</sub> 样品中钾长石含量较高)。斜长石  $35\% \sim 60\%$ (GS<sub>1</sub>XT<sub>4</sub>, GS<sub>1</sub>XT<sub>5</sub> 样品中斜长石含量较高),半自形板柱状晶,属钠长石、更中石及中长石,图 2 四角羊矿区 07 勘探线剖面图见环带构造,微具绢云母化。石英含量  $20\% \sim 30\%$ ,呈不规则它形晶体充填在其它矿物间。黑云母含量  $6\% \sim 9\%$ ,含副矿物包晶,具较强的绿泥石化;角闪石含量  $1\% \sim 5\%$ ,半自形柱状,见角闪石假象,多蚀变为次闪石和

碳酸盐等蚀变矿物的集合体,含副矿物包体。副矿物微量  $\sim 1\%$ ,自形柱状晶,多呈包体状。岩石具中细粒花岗结构,偶见蠕英结构和文象结构,块状构造,在岩体的边缘因受接触交代作用,岩石蚀变强烈,暗色矿物蚀变更甚,初步定名为黑云二长花岗岩(1,2,GS<sub>1</sub>XT<sub>1</sub>, GS<sub>1</sub>XT<sub>2</sub>, GS<sub>1</sub>XT<sub>3</sub> 样品)及花岗闪长岩(GS<sub>1</sub>XT<sub>4</sub>, GS<sub>1</sub>XT<sub>5</sub> 样品)。

岩石中  $SiO_2$  含量较高,在  $67.8\% \sim 72.24\%$  之间,属酸性岩。深成岩 Q-A-P 分类命名图解中,5 个样品(1,2,GS<sub>1</sub>XT<sub>1</sub>, GS<sub>1</sub>XT<sub>2</sub>, GS<sub>1</sub>XT<sub>3</sub>)落入 3b(二长花岗岩)区,2 个样品(GS<sub>1</sub>XT<sub>4</sub>, GS<sub>1</sub>XT<sub>5</sub>)落入 4(花岗闪长岩)区(图 3, 表 2),这和薄片定名较一致。里特曼(组合)指数( $\delta$ ),即  $\delta = [\omega(K_2O + Na_2O)^2] / [\omega(SiO_2) - 43]$  显示, $\delta$  在  $1.20 \sim 1.88$  之间;在  $Al_2O_3$  与  $Na_2O + K_2O$  的关系图中,各样品落入钙碱性区(图 4),以此划分为钙碱性岩(陈丹玲等,2004)。

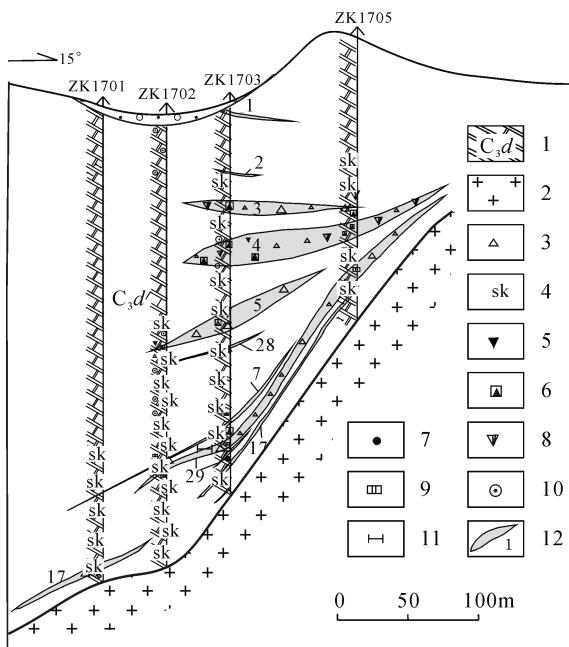


图2 四角羊矿区07勘探线剖面图

### Fig. 2 Geological section of exploration line No. 07 in the Sijiaoyang mining area

1-晚石炭世缔造苏组大理岩;2-印支期白云母花岗岩;3-碎裂岩;4-方铅矿化;5-闪锌矿化;6-黄铜矿化;7-磁铁矿化;8-黄铁矿化;9-矽卡岩化;10-石榴石化;11-透辉石化;12-矿体及编号  
1-marble; 2 - muscovite-granite; 3 - cataclasite; 4 - galenitization; 5 - zinc blendization; 6 - copper pyrritization; 7 - magnetitization; 8 - pyritization; 9 - skarnization; 10 - garnetization; 11 - diopsidization; 12 - ore body number

在主要花岗岩类岩石组合的示意(R1-R2)图解中,6个样品落入2区,属地幔分离期;1个样品落入6区,即碰撞期。这说明,该区花岗岩类岩石的形成与印支期古特提斯洋的闭合、俯冲作用有关(图5)(罗照华,2002)。在花岗质岩浆成因分析图解中(图6),样品落入低温槽者,被视为深熔岩浆的花岗岩,分散在低温槽外围的,则为交代成因的花岗岩。本次各样品落入低温槽外,其中两个样点落入低温槽较远,其它样点落入低温槽附近,这些可能与后期接触交代作用有关。

对所采5件样品的微量元素含量(表3、图7)和原始地幔岩比较结果显示,强相容元素Co、Ni远低于地幔岩,过渡元素Sc(易存于镁铁矿物)比原始地幔岩低,强不相容性元素Rb、Sr、Ba、Th高于原始地幔岩(Sr相对于其他元素亏损),高场强元素Y、Zr、Nb高于原始地幔岩,易被K容纳的元素Pb高于原始地幔岩,说明岩体形成环境为上陆壳。

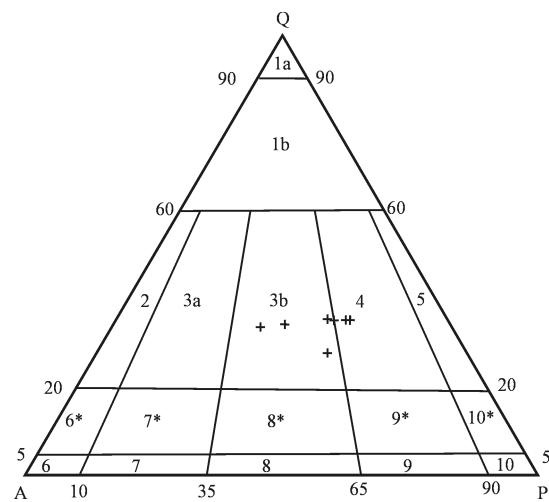


图3 四角羊矿区Q-A-P花岗岩分类图

(after Streckeisen, 1973; Maitre, 1989)

Fig. 3 Q-A-P diagram of classification for the granite in Sijiaoyang (after Streckeisen, 1973; Maitre, 1989)

Q-石英;A-碱性长石;P-斜长石;1a-硅英岩;1b-富石英花岗岩类;2-碱长花岗岩;3a-花岗岩(钾长花岗岩);3b-花岗岩(二长花岗岩);4-花岗闪长岩;5-英云闪长岩;6\*-石英碱长岩;6-碱长正长岩;7\*-石英正长岩;7-正长岩;8\*-石英岩;8-二长岩;9\*-石英二长岩、石英二长辉长岩;9-二长闪长岩、二长辉长岩;10\*-石英闪长岩、石英辉长岩、石英斜长岩;10-闪长岩、辉长岩、斜长岩

Q - quartz; A - alkali feldspar; P - plagioclase; 1a - quartz silica; 1b - granitoid with rich in quartz; 2 - alkali feldspar granitoid; 3a - granite (feldspar granite); 3b - granite (monzonite); 4 - granodiorite; 5 - tonalite; 6\* - quartz heumite; 6 - heumite-simaite; 7\* - quartz simaite; 7 - simaite; 8 - monzonite; 8\* - quartz; 9\* - quartz monzonite, quartz monzogabbro; 9 - monzodiorite, monzogabbro; 10\* - quartz-diorite, quartzgabbro, quartz-anorthosite; 10 - diorite, gabbro, plagioclase

从所采5个稀土元素样品含量(表2)中计算出,稀土元素的总含量( $\Sigma$ REE)在 $90.41 \times 10^{-6}$ ~ $223.89 \times 10^{-6}$ 之间,轻稀土总含量( $\Sigma$ LREE)在 $79.92 \times 10^{-6}$ ~ $206.48 \times 10^{-6}$ 之间,重稀土总含量( $\Sigma$ HREE)在 $10.49 \times 10^{-6}$ ~ $17.41 \times 10^{-6}$ 之间, $\Sigma$ LREE/ $\Sigma$ HREE = 5.48~11.11>1,(La/Yb)<sub>N</sub>在7.61~16.12之间,(Ce/Yb)<sub>N</sub>在5.48~11.11之间,(La/Lu)<sub>N</sub>在6.91~15.85之间,(La/Sm)<sub>N</sub>在3.80~5.73之间,(Gd/Yb)<sub>N</sub>在1.43~2.26之间,属轻稀土富集型。稀土元素分配模式图显示曲线向右倾,由于稀土样品属轻稀土富集型,且各样品稀土元素总量、轻稀土总量、重稀土元素总量变化较大,Ce无亏损,表现为典型的花岗岩浆岩的特征(图8)。

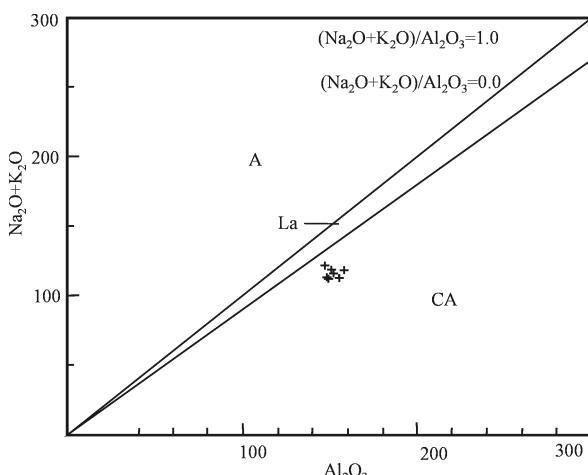


图4 四角羊矿区花岗岩碱度判别图(据洪大卫,1987 编)

Fig. 4  $\text{Al}_2\text{O}_3 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  diagram of granite in the Sijiaoyang Fe-polymetallic deposit (compiled after David, 1987)

A-碱性;La-偏碱性;CA-钙碱性  
A- alkalescence; La-paralkaline; CA-calc-alkaline

对矿区黑云二长花岗岩(09HX12768)中黑云母用钾氩法测定的年龄值为196Ma,从原青海省岩矿测试应用研究所收集的黑云二长花岗岩以钾氩法测定的黑云母年龄数据为196Ma,两次所测的时代都接近晚印支期,结合矿区隐伏岩体侵入晚石炭世缩

傲苏组及矿区外围各项研究成果(李洪普等,2009),说明岩浆活动时代晚于晚石炭世。

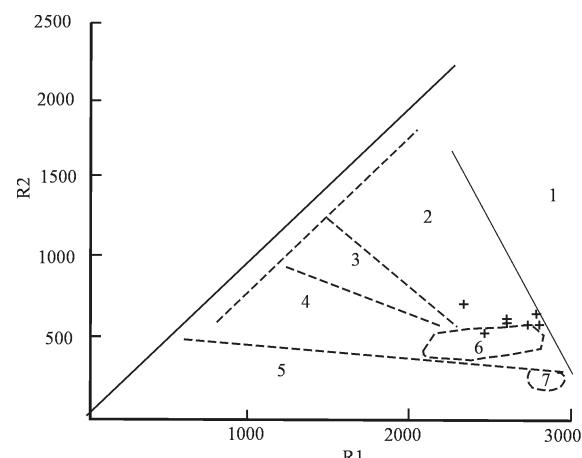


图5 四角羊矿区花岗岩 R1-R2 构造环境图  
(据 Batchelor & BoWDDen, 1985)

Fig. 5 R1-R2 correlation in different tectonic settings of granite (after Batchelor & BoWDDen, 1985)

1-地幔分离;2-板块碰撞前的;3-碰撞后的抬升;4-造山晚期的;5-非造山的;6-同碰撞期的;7-造山后的二云母淡色花岗岩

1-derived from mantle; 2-before plate collision; 3-uplift after plate collision; 4-late orogenic phase; 5-anorogenic time; 6-syn-orogenic period; 7-postorogenic phase

表1 四角羊矿区样品采集、分析情况一览表  
Table 1 Sample collection and analysis in the Sijiaoyang Fe-polymetallic ore district

原始编号	本次编号	采集位置	采样规格	分析项目	采样单位、时间	分析单位、时间	薄片鉴定名称	备注
09HX12768	GS <sub>1</sub> XT <sub>1</sub>	ZK1602	3×4×5	薄片鉴定, 主量元素、稀土、微量、年龄同位素分析	1	4	黑云二长花岗岩	Γ <sub>5</sub> <sup>1</sup>
09HX12769	GS <sub>1</sub> XT <sub>2</sub>	ZK1503	3×4×5	薄片鉴定, 主量元素、稀土、微量	1	4	黑云二长花岗岩	Γ <sub>5</sub> <sup>1</sup>
09HX12770	GS <sub>1</sub> XT <sub>3</sub>	ZK1604	2×3×4	薄片鉴定, 主量元素、稀土、微量分析	1	4	黑云二长花岗岩	Γ <sub>5</sub> <sup>1</sup>
09HX12771	GS <sub>1</sub> XT <sub>4</sub>	ZK3201	2×3×4	薄片鉴定, 主量元素、稀土、微量分析	1	4	花岗闪长岩	Γ <sub>5</sub> <sup>1</sup>
09HX12772	GS <sub>1</sub> XT <sub>5</sub>	ZK3901	2×3×4	薄片鉴定, 主量元素、稀土、微量分析	1		花岗闪长岩	Γ <sub>5</sub> <sup>1</sup>
26P <sub>4</sub> HX <sub>8-1</sub>	1	四角羊岩体		主量元素、稀土、微量、	2		黑云二长花岗岩	Γ <sub>5</sub> <sup>1</sup>
26P <sub>4</sub> HX <sub>10-1</sub>	2	四羊样岩体		主量元素、分析、稀土、微量	2		灰白色花岗岩	Γ <sub>5</sub> <sup>1</sup>
78YT(野) j1051,		四角羊岩体		年龄同位素	3		黑云二长花岗岩	Γ <sub>5</sub> <sup>1</sup>
09HX12763		ZK3901	3×4×5	光片鉴定,S、C 稳定同位素分析		4	灰色磁铁矿	
09HX12764		ZK1504	3×4×5	光片鉴定,S、C 稳定同位素分析		4	褐色闪锌矿、方铅矿矿石	

1 据青海省柴达木综合地质矿产勘查院(2009.10);2 据《1:20万区域地质调查报告》(1988);3 据1981年6月《青海省同位素年龄数据汇编》(1981.6);4 据北宜昌地质矿产研究所(2008-2009)。

表2 四角羊铁多金属矿区花岗岩主量元素分析结果( $\times 10^{-6}$ )Table 2 Major element analytical results of granite from the Sijiaoyang Fe-polymetallic ore district ( $\times 10^{-6}$ )

样品号	1	2	GS <sub>1</sub> XT <sub>1</sub>	GS <sub>1</sub> XT <sub>2</sub>	GS <sub>1</sub> XT <sub>3</sub>	GS <sub>1</sub> XT <sub>4</sub>	GS <sub>1</sub> XT <sub>5</sub>
SiO <sub>2</sub>	69.81	67.8	72.02	72.24	71.16	71.13	71.46
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.52	0.21	0.25	0.24	0.26	0.23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.25	14.33	13.17	13.79	13.67	13.33	13.46
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.43	0.19	0.45	0.08	0.03	0.13	0.4
FeO	2.49	3.37	2.55	2.19	1.98	2.37	3.59
MnO	0.03	0.1	0.04	0.04	0.05	0.04	0.08
MgO	1.25	2.13	0.74	0.89	0.81	0.93	0.84
CaO	2.54	3.39	2.22	2.45	3.52	3.51	2.78
Na <sub>2</sub> O	3.44	3.56	3.65	3.82	2.68	3.65	3.73
K <sub>2</sub> O	2.81	3.27	3.6	2.67	4.59	2.26	2.11
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.11	0.13	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
烧湿量	1.36	0.64	0.67	0.91	0.63	1.71	0.91
总和	99.09	100.45	99.74	100.02	99.8	100.45	100.12

测试单位:西安岩矿测试中心,2008年。

表3 四角羊多金属花岗岩矿区微量元素分析结果表( $\times 10^{-6}$ )Table 3 Trace element analytical results of granite in Sijiaoyang rail multi-metal ore district ( $\times 10^{-6}$ )

样品	1	2	3	4	5	样品	1	2	3	4	5
Rb	126	193	198	276	204	La	20.50	40.40	24.90	19.20	53.30
Sr	330	256	96.5	140	129	Ce	37.80	73.20	45.40	36.10	95.80
Ba	454	877	500	432	684	Pr	4.18	7.41	4.76	4.11	9.97
Y	16.70	19.20	16.10	14.50	23.60	Nd	16.60	27.00	18.20	16.30	39.00
Zr	132	206	127	138	195	Sm	3.38	4.44	3.35	3.18	6.98
Nb	9.2	13.6	10.5	8.9	13.5	Eu	1.11	1.22	1.06	1.03	1.43
Th	10.4	21.0	15.8	17.0	15.6	Gd	3.28	4.14	3.43	3.01	6.23
Ga	15.7	17.1	16.5	16.3	16.8	Tb	0.49	0.51	0.49	0.50	0.77
Pb	26.1	36.5	18.0	19.4	26.0	Dy	2.95	3.16	2.78	2.64	4.27
Zn	70.3	68.0	38.2	45.8	28.8	Ho	0.57	0.61	0.55	0.53	0.78
Sc	9.28	3.10	8.08	8.32	10.96	Er	1.60	1.92	1.66	1.56	2.40
Co	9.8	2.6	5.7	6.8	1.0	Tm	0.29	0.33	0.29	0.27	0.37
Ni	8.3	5.1	7.3	7.9	2.4	Yb	1.72	2.00	1.72	1.70	2.23
V	53.9	36.8	21.3	50.8	24.5	Lu	0.28	0.33	0.27	0.29	0.35
Cr	37.8	40.5	21.5	38.3	18.6						

测试单位:青海省岩矿测试应用研究所,2008年;1-GS<sub>1</sub> XT<sub>1</sub>,2-GS<sub>1</sub> XT<sub>2</sub>,3-GS<sub>1</sub> XT<sub>3</sub>,4-GS<sub>1</sub> XT<sub>4</sub>,5-GS<sub>1</sub> XT<sub>5</sub>。

### 3 矿体地质特征

目前为止,矿区圈出近200条铁多金属隐伏

矿体,呈似层状、透镜状,分布于岩体与大理岩间的外接触带内的矽卡岩中,矿体规模不一,长度、厚度变化较大,一般长50m以上,最长达2200m;厚度一

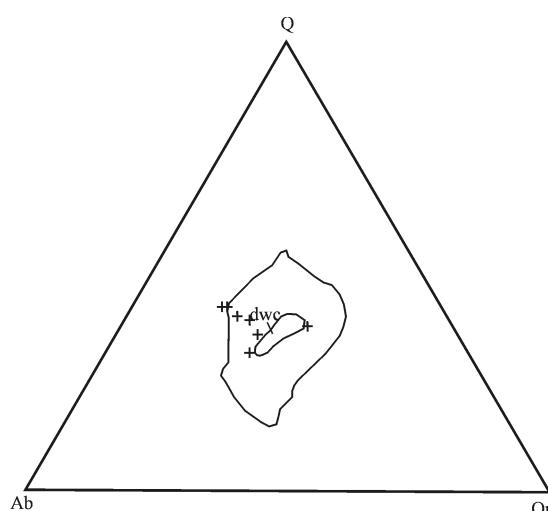


图 6 花岗岩成因判别图

Fig. 6 Diagram for determining the genetic types of granites (after Tuttle, 1958)

dwc—低温槽(中心圈)

dwc—cryostat (central circle)

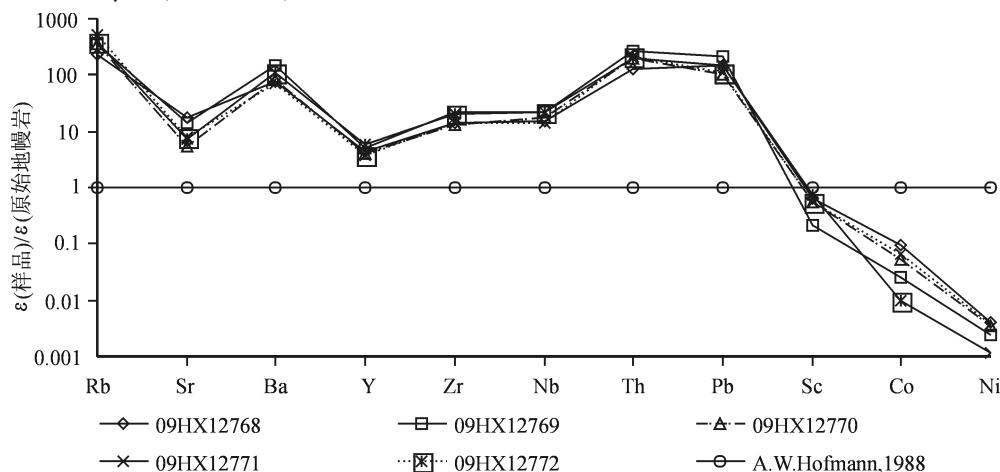


图 7 四角羊矿区微量元素蛛网结构图

Fig. 7 Spider diagram showing trace elements of the in the Sijiaoyang mining area

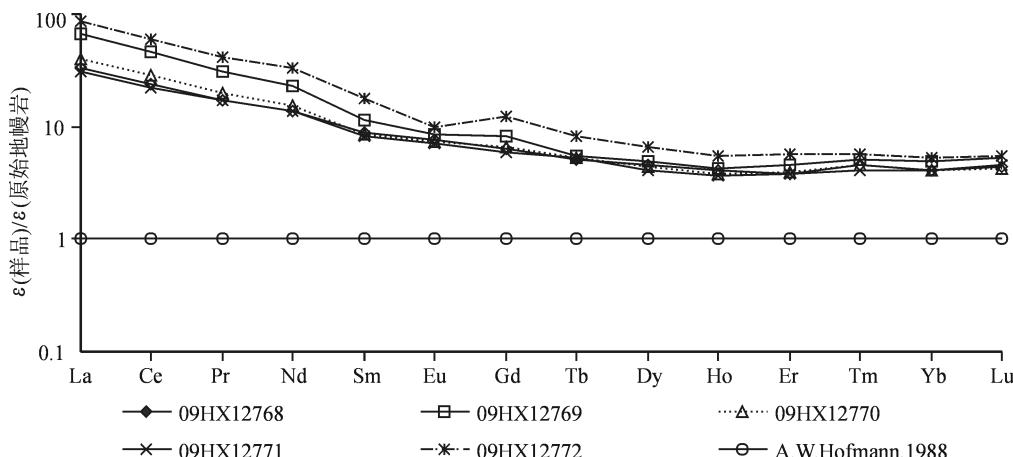


图 8 四角羊矿区稀土元素分配模式图

Fig. 8 REE pattern in the Sijiaoyang mining area

般在 1~15 m 之间, 最厚达 30.87 m, 明显受接触带控制。矿石矿物组合比较复杂, 为黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、磁黄铁矿、磁铁矿及微量碲铋矿、毒砂、辉钼矿和由黄铁矿及磁黄铁矿蚀变而成的白铁矿等。脉石矿物主要有石榴石、透辉石、石英、石墨、方解石以及蚀变黑云母、白云母等。矿石结构比较复杂, 以全自形-它形粒状结构为主, 其次为交代结构等。矿石构造主要有网脉状构造、脉状构造、(稠密)浸染状构造、块状构造(李洪普等, 2009; 葛良胜等, 2002)。

矿区内地质特征从闪锌矿交代黄铜矿, 黄铜矿交代磁铁矿、磁黄铁矿、黄铁矿可以看出, 矿石矿物生成顺序具有两个期次, 早期以磁铁矿、磁黄铁矿以及黄铁矿等组合为主, 晚期以闪锌矿、方铅矿等组合为主。铁多金属矿体的围岩主要为矽卡岩。围岩蚀变中透辉石化、石榴石化等较强, 绿泥石化、碳酸盐化等较弱。矿体围岩与矿体呈渐变接触关系, 界线不清。

## 4 岩浆岩与成矿关系探讨

(1) 在花岗质岩浆成因分析图解(图6)中,各样品位置留下了花岗岩“交代作用”的痕迹,这与研究区花岗岩属深熔作用而成(古凤宝等,1996;罗照华等,1999;袁万明等,2000)的观点看似相悖。但是,从本次样品采集于岩体与大理岩间接触带这一特定的条件分析,认为岩浆在侵入过程中,与大理岩相遇时发生了接触交代作用,在这种作用下,在接触带或远离接触带的构造裂隙内由于岩浆作用或岩浆气液作用产生了矽卡岩化作用,为成矿产生了重要物质载体—矽卡岩。

此外,研究区采集的岩浆岩样品中除极个别外,大部分样品无Eu亏损,这与前人在昆仑山地区印支期花岗岩中采集的稀土样品皆为Eu亏损型(张雪亭,2008)也似乎相矛盾。但是,前人采集样品的部位为岩浆岩发生一定的剥蚀,接近于岩体内部,而本次采集样品的部位为接触带。这从稀土分配关系说明岩浆与大理岩接触部位,产生接触交代作用,形成了与成矿有关的矽卡岩。

(2) 矿区脉石矿物主要有石榴石、透辉石、石英、石墨、方解石以及蚀变黑云母、白云母等,这些是典型的矽卡岩矿物(赵一鸣,1997)。矿区矿石矿物是在岩浆作用下,晚石炭世缔傲苏组碳酸盐岩和晚印支期灰白色黑云二长花岗岩、花岗闪长岩接触带产生接触交代作用的产物。岩浆作用或岩浆气液作用初期,形成磁铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿、毒砂等高温型矿石矿物(刘云华等,2006);岩浆热液作用形成方铅矿、白铁矿、黄铜矿、辉钼矿、辉铋矿、黝铜矿等中低温型矿石矿物(张儒媛等,1993;赵一鸣,1997;张寿庭等,2001;李胜荣,2008)。

(3) 对矿石中09HX12763和09HX12763两个样品用质谱测量仪测定的 $\delta^{34}\text{S}$ 值在5.82‰~5.83‰,与我国岩浆岩有成因联系的硫化物矿床硫同位素变化范围的数据5‰~6‰较一致;测定的碳同位素 $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}=4.32\text{\%o} \sim 34.51\text{\%o}$ ,此值与热流体系中火山喷气及热泉中 $\text{CO}_2$ 和少量的 $\text{CH}_4$ 共存条件下( $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}=-2\text{\%o} \sim 28\text{\%o}$ )碳同位素数值较一致;测定的氧同位素 $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}=-7.82\text{\%o} \sim -24.59\text{\%o}$ ,与热卤水、油田水等高盐度、高矿化度为特征( $\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}=-16\text{\%o} \sim +25\text{\%o}$ )氧同位素数值较一致。从而说明,成矿流体具有多源性,除与热卤水有关外,还与岩浆热液有关(李洪普,2010;高浩中等,1998;梅友松,2005)。

## 5 结论

(1) 研究区晚印支期钙碱性酸性岩体是深部熔融体结晶作用而形成,岩体侵入过程中与碳酸盐岩接触部位产生接触交代作用。

(2) 研究区晚印支期钙碱性酸性岩体是成矿的基本地质条件。矿区内的钙碱性岩系列,呈岩株状产生于地层的底部,一般在凹凸不平的接触面或距灰岩、大理岩地层较远的各类(构造)裂隙面,产生矽卡岩,然后再产生矿化,形成矽卡岩型矿体。

(3) 矿床的形成温度主要是在高温-中温阶段,矿床成因类型属矽卡岩型铁多金属矿床。

### [注释]

- ① 青海省柴达木综合地质矿产勘查院. 2009. 青海省格尔木市牛苦头-四角羊铁多金属矿区详查报告[R].
- ② 青海省柴达木综合地质矿产勘查院. 2010. 青海省格尔木市牛苦头-四角羊铁多金属矿区外围M4普查报告[R].
- ③ 青海省柴达木综合地质矿产勘查院. 2009. 青海省格尔木市牛苦头-四角羊铁多金属矿区外围M1详查报告[R].

### [References]

- Chen Dan-lin, Liu Liang, Che Zi-cheng, Luo Jin-hai, Zhang Yun-xiang. 2001. Determination and preliminary study of Indosian aluminous A-type granites in the Qimantage area, southeastern Xinjiang[J]. Geochimica, 30(6): 540-546 (in Chinese with English abstract)
- Feng Cheng-you, Zhang De-quan, Wang Fu-chun, Li Da-xin, and She Hong-quan. 2004. Geochemical characteristics of ore-forming fluids from the orogenic Au (and Sb) deposits in the eastern Kunlun area, Qinghai province[J]. Acta Petrologica Sinica, 20(4): 949-960 (in Chinese with English abstract).
- Gao Hao-zhong, Cai Xin-ping, Zhang Bao-lin, Qin Da-jun. 1998. Identification of the main ore-controlling factor and establishment of three factors, analysis in prognosis of ore deposits[J]. Geology and Prospecting, 34(5): 1-2 (in Chinese with English abstract)
- Ge Liang-sheng, Zhou Yi-lin, Li Zhen-hua, Guo Xiao-dong, Xing Jun-bing, Zhang Xiao-jun. 2002. Geological features and genesis of Machangqing Cu-Mo-Au deposit related to the rich-alkali magmatic rock, Yunnan Province[J]. Geology and Exploration, 38(5): 11-17 (in Chinese with English abstract).
- Gu Feng-bao, Wu Xiang-nong, and Jiang Chang-yi. 1996. The Variscan-Indosian granitoid association and its tectonic setting in eastern Kunlun mountain[J]. Qinghai geol, 5(1): 18-26 (in Chinese with English abstract)
- Mei You-song. 2005. Some question in mineralization regularity[J]. Geology and Prospecting, 41(6): 3-14 (in Chinese with English abstract)
- Li Hong-pu, Cao Yong-liang, Guan You-guo, Su Shun-shun and Xu Wen-ding. 2009a. Mineralization characteristics of iron-polymetallic deposits in the Sijiaoyang area, East Kunlun Mountain, Qinghai Province, China[J]. Geol Bull. China28(6): 53-61 (in Chinese)

with English abstract)

Li Hong-pu, Gao Yang, Zhang Shou-ting and Mao Xiao-long. 2009. 4. Relationship between magmatic activity of Zangmaxikong and the metallogenesis of Cu-Ag deposit in the north of Tanggula Mountain, Qinghai, China [J]. Chengdu University of Technology (Sci. & Techno. edition). 36 (2): 72-77 (in Chinese with English abstract)

Li Hong-pu, Zhang bing-wen, Ma Jin-yuan, Zhang Shou-ting, Song Zhong-bao. 2009. 6. Analysis of magnetic anomaly characteristics in East Nalingguole River Iron Deposit in East Kunlun Mountain, Qinghai Province [J]. Geology and Prospecting, 45 (14): 304-311 (in Chinese with English abstract)

Li Hong-pu. 2010. Metallogenic geological characteristics and metallogenetic prediction of Qimantage Iron and Polymetallic Deposit of East Kunlun Mountains [D]. Beijing: China University of Geosciences, 19-25 (in Chinese with English abstract)

Li Wen-hua. 1982. Petrochemical characteristics of porphyry-type copper-lead-polymetallic metallogenic belt in eastern Tibet-western Yun nan and its relation to mineralization [J]. Geology and Exploration, (4): 10-16 (in Chinese with English abstract)

Liu Yun-hua, Mo Xuan-xue, Zhang Xue-ting and Xu Guo-wu. 2006. The Geochemical characteristics and the meaning of Skarn-Type Deposits in Yemaquan Area, Eastern Kunlun [J]. Geology and Mineral Resources of South China. (3): 32-36 (in Chinese with English abstract)

Luo Zhao-hua, Deng Jing-fu, Cao Yong-qing, Guo Zheng-fu and Mo Xuan-xue. 1999. On late Paleozoic-early Mesozoic volcanism and regional tectonic evolution of Eastern Kunlun, Qinghai province [J]. Geoscince, 13 (1): 51-55 (in Chinese with English abstract).

Luo Zhao-hua, Ke Shan, Cao Yong-qing, Deng Jin-fu and Shen hong-wei. 2002. Late Indosian mantle-derived magmatism in the East Kunlun [J]. Geological Bulletin of China, 21 (6): 292-297 (in Chinese with English abstract)

Wen Han-Jie, Qiu Yu-zhuo, Hu Yao-guo, Yu Guang-jun. 2003. Geological, character and ore-control condition of porphyry type gold de-posits in Western-Northwestern Yunnan [J]. Geology and Exploration, 39 (3): 14-19 (in Chinese with English abstract)

Yuan Wan-ming, Mo Xue-xuan, Yu Xue-hui and Luo Zhao-hua. The record of Indosian tectonic setting from the granotoid of Eastern Kunlun mountains [J]. Geological review, 2000, 46 (2): 203-211 (in Chinese with English abstract)

Yang Zhen-yu, Jean besse, Sun Zhih-min, Zhao Yue. Tertiary squeeze-out of the Indo-China block and lithospheric evolution of the Qinghai-Tibetan plateau [J]. Acta Geologica Sinica. 1998, 72 (2): 112-125.

Zhang De-quan, Feng Cheng-you, Li Da-xin, Xu Wen-yi, Yan Shen-hao, She Hong-quan, Dun Ying-jun and Cui Yan-he. 2001. Oro-genic gold deposits in the North Qaidam and East Kunlun orogen, West China [J]. Mineral Deposits, 20 (2): 137-146 (in Chinese with English abstract)

Zhang Ru-yuan, Cong Bo-lin, Liu Zhong-guang, Su Lu. 1993. Ultra-high-pressure Metamorphic terrane and explanation of its origin [J]. Acta

Petrologica Sinica, (03): 2-10 (in Chinese with English abstract)

Zhang Shou-ting, Zhao Peng-da, Xu Zhan-zhang and Zhen Ming-hua. 2001. Metallotectonic dynamics enviroment of zeolite ore depists around the SongLiao basin [J]. Geoscience, 15, 4: 399-404 (in Chinese with English abstract)

Zhang Xue-ting. 2008. Study of plate tectonics in Qinghai Province -1: 100 10000 Manual [M]. Geological Publishing House, 20-80 (in Chinese with English abstract)

Zhao Yi-ming. 1997. Metasomatic Zoning in some Major Pb-Zn Poly-metallic Skarn Deposits of China [J]. Mineral Deposits, 16 (2): 120-129 (in Chinese with English abstract)

### [附中文参考文献]

陈丹玲, 刘良, 车自成, 罗金海, 张云翔. 2001. 邪漫塔格印支期铝质 A型花岗岩的确定及初步研究 [J]. 地球化学, 30 (6): 540-546

丰友成, 张德全, 王富春, 李大新, 余宏全. 2004. 青海东昆仑造山型金(锑)矿床成矿流体地球化学研究 [J]. 岩石学报, 20 (4): 949-960

高浩中, 蔡新平, 张宝林, 秦大军. 1998. 找出最主要的控矿因素, 建立三因控矿分析思路 [J]. 地质与勘探, 34 (5): 1-2

葛良胜, 邹依林, 李振华, 郭晓东, 刑俊兵, 张晓辉. 2002. 云南马厂箐(铜、钼)金矿床地质特征及成因研究 [J]. 地质与勘探, 38 (5): 11-17

古凤宝, 吴向农, 姜常义. 1996. 东昆仑华力西期-印支期花岗岩组合及构造环境 [J]. 青海地质, 5 (1): 18-26

梅友松. 2005. 成矿规律若干问题研究 [J]. 地质与勘探, 41 (6): 3-14

李洪普, 曹永亮, 关有国, 张寿庭, 苏顺顺. 2009. 4. 青海东昆仑山四角羊地区铁多金属矿床的成矿地质特征 [J]. 地质通报, 28 (6): 788-793

李洪普, 高阳, 张寿庭, 毛小龙. 2009. 4. 青海唐古拉山北藏麻西孔岩浆活动与铜银多金属矿的关系 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 36 (2): 182-187

李洪普, 张炳文, 马金元, 张寿庭, 张喜全, 宋忠宝. 2009. 5. 青海东昆仑那陵郭勒河东铁矿床磁异常特征分析 [J]. 地质与勘探, 45 (14): 304-311

李洪普. 2010. 东昆仑祁漫塔格铁多金属矿成矿地质特征与成矿预测 [D]. 北京: 中国地质大学(北京): 19-25

李文桦. 1982. 藏东-滇西班牙型铜、铅多金属矿带岩石化学特征及其与成矿的关系 [J]. 地质与勘探, (4): 10-16

刘云华, 莫宣学, 张雪亭, 许国武. 2006. 东昆仑野马泉地区矽卡岩矿床地球化学特征及其成因意义 [J]. 华南地质与矿产. (3): 32-36

罗照华, 邓晋福, 曹永清, 郭正府, 莫宣学. 1999. 青海省东昆仑地区晚古生代-早中生代火山活动与区域构造演化 [J]. 现代地质, 13 (1): 51-55

罗照华, 柯珊, 曹永清, 邓晋福, 谌宏伟. 2002. 东昆仑印支晚期幔源岩浆活动 [J]. 地质通报, 21 (6): 292-297.

温汉捷, 裘愉卓, 胡耀国, 俞广钧. 2003. 滇西-滇西北斑岩型金矿床成矿地质特征及控矿条件研究 [J]. 地质与勘探, 39 (3): 14-19

袁万明, 莫宣学, 喻学惠, 罗照华. 2000. 东昆仑印支期区域构造背景的花岗岩记录 [J]. 地质论评, 46 (2): 203-211

- 杨振宇, Jean besse, 孙知明, 赵越. 1998. 印度支那地块第三纪构造  
滑移与青藏高原岩石圈构造演化. 地质学报, 72(2):112-125.
- 张德全, 丰成友, 李大新, 徐文艺, 阎升好, 余宏全, 董英君, 崔艳  
合. 2001. 柴北缘-东昆仑地区的造山型金矿床[J]. 矿床地质,  
20(2):137-146.
- 张儒媛, 从柏林, 刘忠光, 苏鲁. 1993. 超高压变质地体及其成因解释  
[J]. 岩石学报, (03):2-10
- 张寿庭, 赵鹏大, 徐旗章, 郑明华. 2001. 松辽盆地周围沸石矿成矿构  
造动力学环境, 现代地质, 15(4): 399-404. vol. 15, No. 4, Dec.  
399-404
- 张雪亭. 2008. 青海省板块构造研究 1:100 万青海省大地构造说明  
书, 地质出版社, 50-60.
- 赵一鸣. 1997. 我国一些重要矽卡岩 Pb-Zn 多金属矿床的交代分带.  
矿床地质, 16(2):120-129

### Characteristics of Magmatic Rocks from the Sijiaoyang Fe-Polymetallic Ore District in the Southern Margin of Qaidam, Qinghai Province and Their Metallogenetic Significance

LI Hong-pu<sup>1,2</sup>, LIU Ju-cang<sup>2</sup>, ZHANG Xi-quan<sup>2</sup>, CAO Yong-liang<sup>2</sup>, LEI Yan-zhi<sup>2</sup>, QU Jian-ming<sup>2</sup>

(1. MLR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources, CAGS, Beijing 10037;  
2. Qaidam Integrated Geological Exploration Institute of Qinghai Province, Golmud 816000, Qinghai)

**Abstract:** This work is based on field geological observations, optical identification to thin sections of rocks and minerals, and analyses of elemental chemistry, trace elements and rare earth elements for the Sijiaoyang iron-multi-metal distinct in the southern margin of the Qaidam basin. The result suggests that strong incompatible elements in the magmatic rocks such as Rb, Sr, Ba and Pb compatible with K element are higher than the primitive mantle rock. The total content of rare earth elements ( $\Sigma$ REE) ranges from  $90.41 \times 10^{-6}$  ~  $223.89 \times 10^{-6}$ , with  $\Sigma$ LREE /  $\Sigma$ HREE 5.48 ~ 11.11,  $\delta$ Eu 0.66 ~ 1.02, and the K-Ar age between 196 and 191 million years. The minerals in the ore district include pyrrhotine, magnetite, chalcopyrite, sphalerite, galena and pyrite, with trace of joscite, arsenopyrite and molybdenite. Wall alteration contains garnetization. Values of  $^{34}\text{S}$  range from 5.82% to 5.83%;  $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$  are between 4.32‰ ~ 34.51‰; values of  $^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$  are between -7.82‰ to -24.59‰ in the ore. All of these analytical results illustrate that Indosinian acid rock bodies with cal-alkali nature have a close relationship with metallogenesis in the Sijiaoyang iron-multi-metal distict.

**Key words:** Indosinian granodiorite, geochemical characteristics and skarn-type Fe-polymetallic deposit, Sijiaoyang ore district, Qaidam basin

欢迎订阅

地质与勘探

双月刊 每年共6期 单价25元 全年定价150元

邮发代号:82-504

