南祁连党河南山花岗岩类地球化学及其金铜矿化

刘志武[1,2],王崇礼[2]

(1. 西北大学地质学系,西安 710069; 2. 长安大学国土资源部成矿作用及其动力学开放研究实验室,西安 710054)

[摘 要]南祁连党河南山地区地处南祁连重要成矿带,金铜矿化广布,该矿化与中酸性花岗岩类关系密切。为揭示区域成矿地质背景,查明大地构造的时空演化,并深入研究该地区金铜矿化的成矿规律与控矿因素,对区内主要花岗岩体及其金铜矿化进行了系统的地质地球化学研究。研究表明,区内花岗岩类岩体包括扎子沟岩体、鸡叫沟岩体及贾公台岩体。综合岩相学、岩石化学及微量稀土元素地球化学特征,区内 3个岩体均形成于 型活动陆缘环境,为中南祁连造山带加里东期构造岩浆活动的产物。扎子沟岩体与该区金铜矿化不构成物源关系,但其岩浆期后热水溶液可造成火山岩系金、铜组分活化迁移,并在有利构造场所富集成矿,鸡叫沟岩体和贾公台岩体分别是黑刺沟金矿和贾公台金矿的控矿母岩。

[关键词]党河南山 花岗岩类 地质地球化学 金铜矿化

[中图分类号]P588. 12; P632 [文献标识码]A [文章编号]0495 - 5331(2007)01 - 0064 - 10

0 前 言

党河南山地区位于南祁连党河河谷南侧,隶属甘肃省肃北蒙古族自治县盐池湾乡管辖,习惯上划归为秦祁昆地槽褶皱系南祁连地向斜构造带的西段[1],参与格尔木—额济纳旗地学断面多学科综合研究的学者把研究区称为中南祁连地体[2-4](图 1)。

南祁连构造带是甘肃省内以铜、金为主伴生砷、汞、锑、铅及锌的主要成矿带,目前已发现多处金铜矿点和矿化点,规模比较大的有黑刺沟金矿、贾公台金矿及小黑刺沟铜矿。区内花岗岩类岩体有 3个:扎子沟岩体、鸡叫沟岩体和贾公台岩体。3个岩体与区内金铜矿化在分布、时空演化和物质来源上关系密切[7,8,18],因此,要明确回答区内成矿地质背景,必须从这 3个岩体的研究入手。由于自然条件极其恶劣,区内地质研究程度很低,迄今为止,主要是 1∶100万、1∶20万区域地质调查及 1∶20万化探工作。笔者一行对区内花岗岩类岩体及其伴随的金铜矿化进行了系统野外调研、采样及测试(包括常量元素、微量元素、稀土元素、Rb - Sr同位素测年及勘查地球化学测试)等地质地球化学研究,对各岩体地球化学特征、形成大地构造背景及其与金铜矿化的关系进行了探讨。

1 基本地质特征

1.1 扎子沟岩体

扎子沟岩体分布于党河南山北坡扎子沟至大红沟一带(图 1),区内其主要侵位于岩体以南的震旦纪火山岩系,向北被第三系及第四系覆盖或呈断层接触,为一以花岗闪长岩为主体的复式岩基。区域上花岗闪长岩代表着研究区地质历史上规模最大的一次岩浆活动,在《1∶20万月牙湖幅区域地质调查报告》中,党河北侧野人达板花岗闪长岩岩基出露面积 100km^2,与扎子沟岩体在空间、岩性和时代划分上完全一致,侵位于元古宙地层及大道尔基超基性岩体中;《1∶20万肃北幅区域地质调查报告》《1∶20万当金山口幅区域地质调查报告》中的三个洼塘花岗闪长岩岩基和后塘北花岗闪长岩岩体则是扎子沟岩体的西延,侵入长城系党河群和震旦系多若诺尔群,被三叠纪砂砾岩所覆盖。

扎子沟岩体是由中粗粒花岗闪长岩、粗粒二长花岗岩及中细粒石英闪长岩—石英二长闪长岩组成的复式岩体。花岗闪长岩平均矿物组合为:中—奥长石 43%左右,钾长石 17%左右,石英 22%左右,黑云母 ≤9%,普通角闪石 ≥9%,副矿物以磷灰石、榍石、磁铁矿和褐帘石较为多见,含量至少 3% ~

[收稿日期]2005 - 10 - 13; [修订日期]2006 - 07 - 17; [责任编辑]曲丽莉。

[基金项目]原地质矿产部定向科研项目(编号:地科定 1998 - 16)和国土资源部成矿作用及其动力学开放研究实验室基金联合资助。

[第一作者简介]刘志武(1973年—),男,2000年毕业于长安大学,获硕士学位,在读博士生,讲师,现主要从事区域地质调查和岩石学教学科研工作。

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

5%,岩石平均色率在 18%左右。岩石结构以中粗

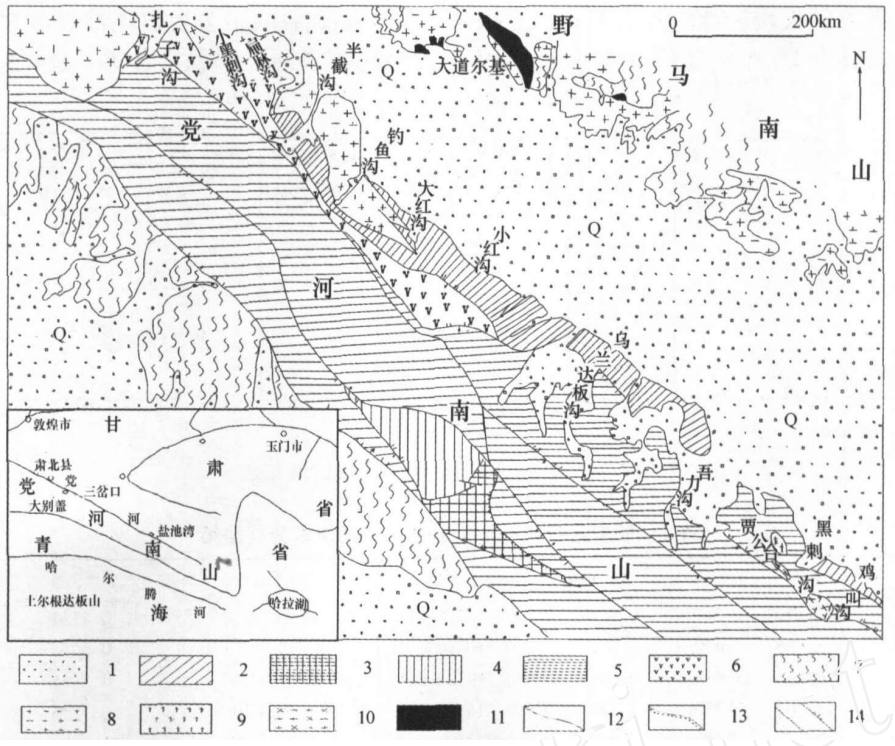


图 1　南祁连党河南山地区地质略图

1—第四系;2—第三系;3—上古生界;4—志留系;5—奥陶系;6—震旦系;7—元古宇;8—花岗闪长岩;9—斜长花岗岩;10—辉长—闪长岩;11—超基性岩;12—地层界线;13—超覆;14—断层

粒半自形粒状结构为主,局部为二长结构及嵌晶结构,体现了典型的岩浆结晶特征。岩体中富含深源包体,部分地段呈密集排列,岩性主要为细粒石英二长闪长岩及闪长岩。包体形态多呈浑圆状或椭圆状,略有拉长,有时则呈撕裂状,直径一般 5～15cm,个别可达 25cm,可能是酸性岩浆与中性岩浆混合的产物[5]。

扎子沟岩体全岩 Rb - Sr同位素地质测年为(510.85 ±14)Ma(表 1,图 2),《1∶20万月牙湖幅区域地质调查报告》资料,区内还有 502 Ma的年龄数据,地质年代对应于早—中寒武世。扎子沟岩体所侵位的震旦纪中—基性火山岩系 Rb - Sr同位素地质测年分别为 (684.89 ±71) Ma和 (666.63 ±1.6) Ma,归属晚震旦世,与中祁连构造带的多若诺尔群火山岩相当,具岛弧构造背景[6-7]。这样的测年也提示:在祁连褶皱带的南北基底,可能存在一期从晚震旦世到晚寒武世的构造岩浆活动,结合中南祁连缺失寒武纪沉积地层分析,可以推测,研究区震旦纪晚期可能曾有过闭合隆升的地质事件。

1.2　鸡叫沟岩体

鸡叫沟岩体是出露于鸡叫沟的岩株及出露于鸡叫沟—黑刺沟一带的岩脉、岩墙的总称,侵位于早奥陶世碎屑岩地层中(图 1),出露面积约 1.8km^2,为一由辉长岩、闪长岩、石英二长闪长岩及石英二长岩构成的杂岩体,以闪长岩—石英二长闪长岩为主体。石英二长闪长岩在《1∶20万盐地湾幅区域地质调查报告》区域地质测量报告中被定为二长花岗岩,实际上它的石英含量较低。该岩体与黑刺沟金矿化关系非常密切[8]。

在《1∶20万盐地湾幅区域地质调查报告》区域地质调查报告中,鸡叫沟岩体被视为由辉长岩、闪长岩和二长花岗岩组成的复式岩株,其中闪长岩被认为属于加里东晚期第一次侵位,而二长花岗岩为加里东晚期第二次侵位。据该次研究,鸡叫沟岩体石英二长闪长岩全岩 Rb - Sr同位素地质测年为(395.06 ±51)Ma(表 1,图 2),为加里东晚期岩浆活动的产物。

石英二长闪长岩平均矿物组合为:中长石 60%左右,钾长石 5%～20%,石英一般超过 5%,暗色矿物一般 25%～30%,以普通角闪石多见,普通辉石次之,黑云母少见,副矿物有磁铁矿、榍石及磷灰石,偶见褐帘石,副矿物总量不超过 1%。

1.3　贾公台斜长花岗岩岩体

贾公台岩体出露于黑刺沟主沟北侧,由贾公台岩体和振兴梁岩体两个小岩株所组成,侵位于早奥陶世碎屑岩系中(图 1),出露面积约 0.5km^2。在岩

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

性上,贾公台岩体主要由中粗粒斜长花岗岩组成,有花岗伟晶岩脉、石英闪长玢岩脉以及石英脉的穿插贯入。贾公台岩体与贾公台金矿空间上密切相伴[8]。

《1 20万盐地湾幅区域地质调查报告》区域地质调查报告中,贾公台岩体被表示为晚加里东第二次侵位的花岗岩,本次全岩 Rb - Sr同位素地质测年为

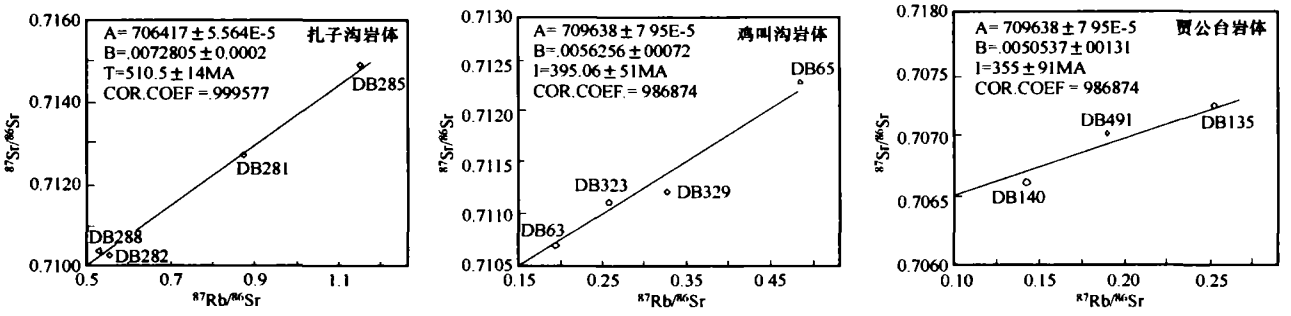


图 2 研究区花岗岩类 Rb - Sr等时线年龄

表 1 研究区花岗岩类全岩铷 - 锶同位素分析结果 $\omega_B/10^{-6}$

岩 体	样号	Rb	Sr	$^{87}Rb/^{86}Sr$	$^{87}Sr/^{86}Sr$	^{87}Rb	^{86}Sr	年龄 /Ma
扎子沟	DB281	111.2	367	0.8754	0.712728 ±11	0.361	0.4124	510.85 ±14
	DB288	82.86	449.8	0.532	0.710290 ±13	0.269	0.5056	
	DB282	84	458.2	0.5294	0.710322 ±15	0.2727	0.5151	
	DB285	132.6	332.5	1.151	0.714899 ±11	0.4301	0.3736	
鸡叫沟	DB323	109.2	1199	0.2629	0.711181 ±12	0.3544	1.348	395.06 ±51
	DB329	132	1121	0.3402	0.7111385 ±12	0.4287	1.26	
	DB63	104.4	1528	0.1975	0.710768 ±9	0.3391	0.717	
	DB65	150.8	907.2	0.48	0.71242 ±13	0.4896	1.02	
贾公台	DB135	53.14	610.2	0.2514	0.707227 ±7	0.1725	0.6852	355 ±91
	DB140	39.91	795.7	0.1448	0.706633 ±14	0.1296	0.8948	
	DB491	38.51	558.3	0.1991	0.707076 ±11	0.125	0.6278	

注:①数据来源:中国科学院地质与地球物理研究所同位素实验室;②测试仪器:VG354热电离质谱计。

(355 ±91)Ma(表 1,图 2),也应是加里东晚期岩浆活动产物。贾公台岩体与鸡叫沟岩体相距咫尺,但在岩石学、地球化学及矿化特征上相差极为悬殊[8],因此,将贾公台岩体与鸡叫沟岩体按时差分开也是比较合理的。

斜长花岗岩主要造岩矿物组合为:中奥—奥长石 45%～70%,钾长石 0%～5%,石英 15%～30%,暗色矿物(黑云母 +普通角闪石)占 10%～25%,其中,黑云母一般大于 10%,普通角闪石一般 0%～5%,副矿物可见磷灰石、磁铁矿及榍石,含量约 3%。

贾公台岩体内包体发育,除闪长岩包体及围岩角砾外,还有角闪岩包体,其多呈浑圆—次棱角状,直径一般 10～20cm。镜下研究发现,角闪岩包体矿物组成 95%为普通角闪石,含少量石英及磷灰石。结合格尔木—额济纳旗地学断面综合研究,祁连地区中地壳由角闪岩类和辉长岩类组成[3],可以推断贾公台岩体内的角闪岩包体很可能是酸性岩浆在上升侵位过程中从中地壳携带上来的捕虏体[5]。

2 主量元素地球化学

为了解 3个岩体的岩石化学特征,对各岩体进行了全岩化学分析(表 2)。为消除样品中方解石细脉的影响,在数据处理时,通过 CO_2 的含量进行换算,剔除了多余的 CaO,最后重新加权计算。结果表明:

扎子沟岩体 SiO_2 含量 62.86%～64.21%,K_2O+Na_2O 含量 6.81%～6.43%,K_2O/Na_2O 0.59～0.86,MgO含量 1.90%～2.41%,CaO含量 3.46%～4.03%,Al_2O_3 含量 15.56%～16.16%,全铁($FeO+Fe_2O_3$)含量 5.68%～6.12%,里特曼指数[7] σ 1.98～2.34,碱度指数 AR 1.99～2.06,为钙—钙碱性,在岩石系列 K_2O-SiO_2 图[9](图 3)上属于高钾钙碱性系列,含铝指数 A/NKC 0.91～1.01,为低铝型,分异指数 DI 66.1～68.5。

鸡叫沟岩体 SiO_2 含量 51.11%～60.61%,K_2O+Na_2O 含量 7.33%～9.28%,K_2O/Na_2O 0.72～1.04,MgO含量 1.74%～4.25%,CaO含量 3.34%～7.16%,Al_2O_3 含量 14.31%～17.73%,全铁(FeO

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

+ Fe_2O_3)含量 5.67%～10.52%,里特曼指数[7] σ 4.25～6.63, 碱度指数 AR 1.89～2.67,为碱钙性,在岩石系列 K_2O - SiO_2 图[9] (图 3)上,属于钾玄岩系列,含铝指数 A/NKC 0.70～0.97,为贫铝型,分异指数 DI 53～73.1。

贾公台岩体 SiO_2 含量 63.29%～65.24%, K_2O

表 2　研究区花岗岩类岩石化学分析结果　　ω_B/%

岩体	样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	CO_2	LOI	Σ
扎子沟	DB180	69.14	0.20	14.69	1.81	1.87	0.08	1.55	3.24	3.25	3.37	0.11	0.00	0.26	98.57
扎子沟	DB186	62.76	0.50	15.78	2.11	4.10	0.13	2.29	4.58	3.16	3.18	0.18	0.00	0.89	99.66
扎子沟	DB281	65.48	0.70	15.12	2.96	2.54	0.12	1.97	3.09	3.88	2.99	0.13	0.08	1.15	100.21
扎子沟	DB282	59.14	0.56	16.60	4.39	3.70	0.15	3.01	5.38	3.78	2.30	0.18	0.08	1.04	100.31
扎子沟	DB191	63.64	0.60	16.37	2.56	3.49	0.12	1.82	4.17	3.57	2.48	0.18	0.11	1.25	100.36
扎子沟	DB285	67.80	0.24	14.64	1.96	2.09	0.10	1.43	2.69	3.36	4.18	0.15	0.00	0.94	99.58
鸡叫沟	DB323	51.34	0.90	16.82	4.37	5.84	0.19	4.01	7.19	4.27	3.09	0.73	0.00	1.34	100.09
鸡叫沟	DB63	57.74	0.70	17.05	3.06	2.45	0.14	1.67	5.03	5.21	2.97	0.34	1.43	3.09	100.88
鸡叫沟	DB64	53.82	1.10	13.56	2.59	4.77	0.21	5.86	6.83	3.91	3.62	0.31	0.95	2.95	100.48
鸡叫沟	DB65	55.80	1.00	14.60	3.64	5.59	0.19	3.46	4.57	4.06	4.64	0.30	0.11	1.99	99.95
鸡叫沟	DB329	58.46	0.56	16.43	4.39	3.25	0.16	2.28	4.70	4.59	3.72	0.36	0.00	0.54	99.44
鸡叫沟	DB480	62.60	0.40	16.49	2.55	1.90	0.09	1.73	3.18	6.10	4.13	0.22	0.06	1.08	100.53
贾公台	DB123	63.10	0.44	17.33	2.39	1.75	0.09	1.25	3.64	5.33	2.05	0.14	0.46	2.52	100.49
贾公台	DB131	63.86	0.40	16.70	2.54	2.51	0.09	1.57	4.05	4.73	1.65	0.21	0.11	1.70	100.12
贾公台	DB135	64.64	0.76	15.09	3.45	2.69	0.10	2.00	3.85	4.10	1.78	0.18	0.11	1.49	100.24
贾公台	DB140	64.08	0.10	17.12	3.08	1.88	0.08	1.42	3.62	4.58	1.64	0.11	0.32	2.52	100.55
贾公台	DB491	63.50	0.60	13.94	2.60	2.11	0.08	1.48	3.93	5.11	1.40	0.14	1.65	2.88	99.42
贾公台	DB492	62.90	0.50	16.63	3.55	2.60	0.08	1.79	3.57	4.88	1.44	0.21	0.32	2.04	100.51

注:①数据来源:长安大学测试中心;②测试方法:容量滴定法。

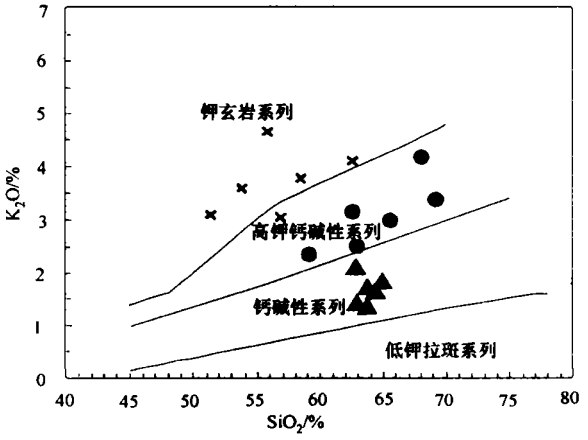


图 3　研究区岩石系列 K_2O - SiO_2 图

●扎子沟岩体;　×鸡叫沟岩体;▲贾公台岩体

(图 6～13图例同)

+Na_2O含量 5.89%～6.43%, K_2O/Na_2O 0.27%～0.43%, MgO 含量 1.43%～2.00%, CaO 含量 3.08%～3.72%, Al_2O_3 含量 15.12%～16.86%,全铁($FeO + Fe_2O_3$)含量 4.15%～6.10%,里特曼指数 σ 1.83～2.68[7], 碱度指数 AR 1.88～2.14,呈钙碱性,在岩石系列 K_2O - SiO_2 图(图 3)[9]上,也属于钙碱性系列,含铝指数 A/NKC 0.98～1.14,为低铝—饱铝过渡型,分异指数 DI为 68.5～77.1。

从演化序列来看,按时序关系,从扎子沟岩体、鸡叫沟岩体到贾公台岩体, SiO_2 先减少后增加, Na_2O、K_2O +Na_2O含量先增加后减少,即鸡叫沟岩体要偏中性及碱性一些; K_2O演化由中钾到高钾,又到低钾;含铝指数演化由贫铝型向饱铝型演化。

3　稀土元素地球化学

该次研究,3个岩体全岩稀土元素测试数据及稀土元素分布型式如表 3、图 4所示。

扎子沟岩体稀土元素总量(∑REE)为 90.34×10^{-6}～176.35×10^{-6}, Eu/Sm一般为 0.24～0.50, δEu = 1.01～1.53, 多具弱的铕正异常, LREE/HREE = 6.79～14.90, $(La/Lu)_N$ = 5.74～16.35,属轻稀土富集曲线, $(Gd/Lu)_N$ = 1.38～2.54,表现为稀土分布曲线在重稀土段比较平缓。

鸡叫沟岩体稀土总量(∑REE)约为 243.78×10^{-6}～845.05×10^{-6},为测区内稀土总量最高的中酸性岩体。 Eu/Sm一般为 0.182～0.265, δEu = 0.63～0.90,基本不显铕异常。 LREE/HREE = 14.54～20.17, $(La/Lu)_N$ = 19.80～33.29,具轻稀土中等富集的右倾分布曲线, $(Gd/Lu)_N$ = 3.81～5.10,表现为稀土分布曲线在重稀土段略右倾。

贾公台岩体稀土总量(∑REE) = 63.16×10^{-6}～99.70×10^{-6},为测区内稀土总量最少的中酸性岩体。 Eu/Sm一般为 0.239～0.529, δEu = 1.11～

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

1.65,具有比较明显的铕正异常。LREE/HREE = 13.23～24.06, $(La/Lu)_N$ = 20.34～36.67,也具轻稀土中等富集的右倾分布曲线。$(Gd/Lu)_N$ = 3.75～6.67,表现为稀土分布曲线在重稀土段略具右倾。

与各岩性世界平均稀土元素分布富集规律相对比,扎子沟岩体与贾公台岩体稀土元素总量远远偏低,而鸡叫沟岩体则远远偏高,稀土元素作为相容元素,在岩浆结晶过程中只有少量进入晶体相,大部分

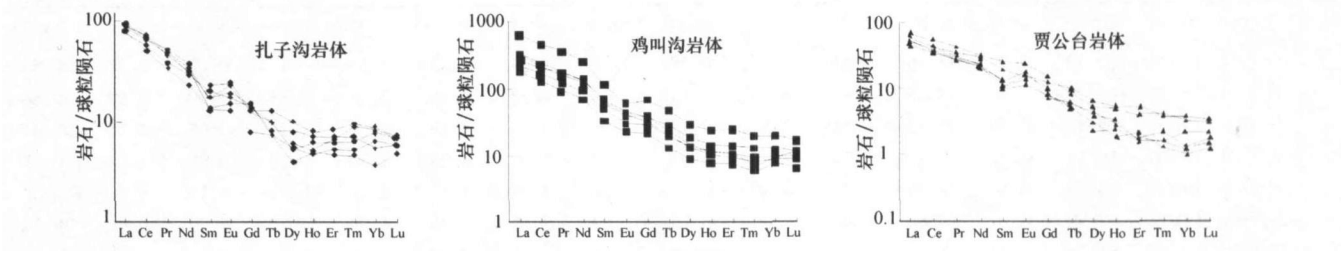


图 4 研究区花岗岩类稀土元素分布型式图

表 3 研究区花岗岩类稀土元素分析结果 $\omega_B/10^{-6}$

岩体	样号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
扎子沟	DB180	23.34	39.54	4.14	13.77	2.52	0.93	2.04	0.35	1.28	0.36	0.98	0.15	0.78	0.16
扎子沟	DB186	41.28	79.94	8.19	29.49	5.04	1.32	4.14	0.63	2.56	0.56	1.28	0.26	1.41	0.25
扎子沟	DB281	29.64	54.36	5.46	18.14	2.64	1.11	3.85	0.36	1.83	0.34	1.11	0.17	1.34	0.20
扎子沟	DB282	26.08	53.28	6.21	22.38	4.49	1.78	3.27	0.61	3.21	0.57	1.74	0.30	1.81	0.24
扎子沟	DB191	23.15	46.38	4.64	17.19	3.96	1.28	3.61	0.47	1.97	0.37	1.43	0.29	1.74	0.23
扎子沟	DB285	26.99	58.21	5.83	20.79	3.39	1.71	3.29	0.46	1.69	0.45	1.32	0.21	1.65	0.23
鸡叫沟	DB323	82.52	175.48	21.01	80.92	13.97	3.38	10.63	1.35	6.26	1.10	3.06	0.44	2.71	0.39
鸡叫沟	DB63	100.62	183.60	19.73	72.50	11.33	3.00	8.45	1.04	4.45	0.78	2.12	0.27	1.95	0.31
鸡叫沟	DB64	106.56	194.08	21.74	84.03	11.50	3.19	10.35	1.14	4.97	0.88	2.39	0.24	2.07	0.37
鸡叫沟	DB65	192.36	378.81	43.81	157.32	25.15	4.57	18.24	2.33	99.84	1.79	5.33	0.66	4.25	0.59
鸡叫沟	DB329	67.28	135.18	15.31	57.71	10.11	2.30	7.85	1.00	4.61	0.87	2.29	0.32	2.24	0.34
鸡叫沟	DB480	56.86	108.8	11.92	43.75	6.77	1.74	5.81	0.66	3.08	0.59	1.66	0.21	1.70	0.23
贾公台	DB123	13.64	26.43	3.21	12.82	2.42	0.82	2.02	0.24	0.72	0.17	0.33	0.05	0.24	0.05
贾公台	DB131	16.77	33.43	3.53	13.53	1.93	1.01	1.81	0.28	1.24	0.24	0.36	0.07	0.37	0.06
贾公台	DB135	20.16	42.12	5.05	17.99	4.89	1.70	3.70	0.39	1.66	0.34	0.83	0.13	0.64	0.10
贾公台	DB140	14.95	28.17	3.33	12.42	2.45	1.22	2.07	0.23	0.95	0.13	0.46	0.04	0.21	0.04
贾公台	DB491	15.03	30.13	3.29	13.47	2.39	0.87	2.40	0.27	0.72	0.17	0.41	0.03	0.09	0.06
贾公台	DB492	14.82	29.63	3.20	12.81	2.08	1.10	2.05	0.26	1.35	0.20	0.38	0.05	0.45	0.07

保留在熔体中,这与扎子沟岩体与贾公台岩体中富REE的矿物相(如榍石、褐帘石)含量相对较高,而鸡叫沟岩体中贫这些副矿物有关。3个岩体均为轻稀土富集型,而重稀土则表现为亏损,显示岩体分馏程度较高,这与各岩体矿物组合中富 HREE的矿物相(如石榴石)较少相一致。3个岩体 Eu/Sm值比平均值都大大偏高,扎子沟岩体与鸡叫沟岩体不显铕异常或具弱正铕异常,贾公台岩体则显相对较明显的正铕异常,显示各岩体结晶过程中并没有发生过大量斜长石的分离结晶作用。$(Gd/Lu)_N$反映出扎子沟岩体重稀土元素分异程度不高,鸡叫沟岩体及贾公台岩体重稀土元素分异程度相对较高。

4 微量元素地球化学

微量元素虽然在地壳中含量很少,但却是地壳形成演化的灵敏指示剂。该次研究,对代表性样品作了全岩微量元素分析(表 4)。

区内花岗岩类微量元素分配模式具有惊人的相似性(图 5)。其典型特征为:K、Rb、Ba、Th等大离子亲石元素相对于 Ta、Nb、Hf、Zr、Y、Yb强烈富集,Rb、Th相对于 Nb、Ta也有明显富集,Ce、Sm相对于相邻元素较富集,Y、Yb则普遍明显亏损。唯一有区别的是,扎子沟岩体 Ba相对于 Rb和 Th略有亏损,而鸡叫沟岩体和贾公台岩体 Ba相对于 Rb和 Th略有富集。

这种分配模式同标准曲线相比[10],具有火山弧型花岗岩的特点。Pearce[10]是利用元素的活动性来划分不同构造环境的,火山弧基性火山岩中低离子位的不相容元素(K、Ba、Rb、Th等)丰度较高。这是因为这些元素具活动性,易随板块消减而进入地幔楔形区,从而使火山弧岩浆岩的源区富集这些元素,而高离子位的元素(Nb、Ta、Zr、Hf)等不具有活动性,丰度也就低。由此可以推测区内 3个岩体源

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

区相似,它们的生成很可能与该区存在震旦纪晚期或更古老的基性火山岩有关。

5　成因类型与构造环境分析

表 4　研究区花岗岩类微量元素分析测试结果　　$\omega_B/10^{-6}$

岩体	样号	Cr	Co	Ni	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	Hf	Ta	Th	U
扎子沟岩体	DB281	27.83	10.51	12.27	100.22	344.17	11.72	90.91	7.84	3.88	994.17	3.11	0.68	16.56	3.16
	DB282	21.47	15.88	11.09	71.82	446.6	17.68	95.35	9.66	2.41	889.72	2.94	1.51	11.39	1.71
	DB285	14.69	6.34	6.45	118.65	313.06	12.25	127.31	12.50	3.22	1367.1	4.56	1.41	39.8	5.62
	DB288	26.7	13.49	15.67	73.71	439.23	13.24	100.70	6.59	3.56	1019.8	3.26	0.49	10.86	2.15
	DB180	2.79	8.05	13.96	73.98	316.38	8.53	55.92	5.37	1.92	732.82	2.42	0.53	27.61	5.83
	DB186	31.67	11.36	9.53	121.02	328.2	16.07	144.98	10.68	4.28	702.85	4.13	1.03	18.11	1.35
	DB181	31.18	9.11	10.46	93.36	332.92	13.11	131.98	10.73	2.62	703.57	4.01	1.06	11.97	1.66
鸡叫沟岩体	DB63	37.08	9.64	15.3	98.83	1491.34	16.19	83.46	11.66	3.57	3581.51	2.74	0.56	32.27	8.16
	DB64	168.03	21.84	133.62	132.31	1373.4	27.7	100.46	12.4	3.56	4486.78	3.34	0.32	43.47	6.46
	DB65	60.62	16.96	26.86	147.98	937.52	45.54	208.35	30.94	2.58	2990.82	5.43	1.63	53.12	8.94
	DB323	50.06	22.44	27.12	105.56	1218.67	26.91	122.6	15.29	7.81	1283.69	3.50	0.97	29.2	5.14
	DB329	52.78	13.21	19.34	125.86	1101.41	20.8	67.48	12.06	4.75	1933.43	2.43	0.79	38.82	4.65
	DB480	47.53	7.71	14.88	117.08	1109.3	14.86	68.88	10.16	2.55	1853.8	2.27	0.68	35.15	4.44
贾公台岩体	DB123	12.15	7.48	7.52	51.96	763.9	4.10	55.71	3.87	0.81	746.79	2.35	0.22	5.04	1.06
	DB131	13.65	8.27	8.08	35.25	742.4	5.03	64.97	3.84	1.08	954.08	2.59	0.27	6.12	1.03
	DB135	25.68	16.04	14.53	68.49	847.32	8.49	84.09	8.22	1.32	1476.38	2.90	0.34	6.70	1.64
	DB140	14.85	8.13	7.87	36.4	763.15	4.21	46.7	3.35	1.53	969.21	1.84	0.30	4.69	0.85
	DB492	20.83	10.44	8.55	34.13	584.53	5.18	74.4	3.25	1.80	787.13	2.94	0.27	5.14	1.03
	DB491	19.49	8.54	9.14	35.8	556.36	4.62	53.49	3.71	2.16	736.18	2.2	0.23	5.21	1.08

注:①表 3、表 4数据来源:中国科学院地质与地球物理研究所测定;②测试方法:等离子体质谱(ICP-MS)法。

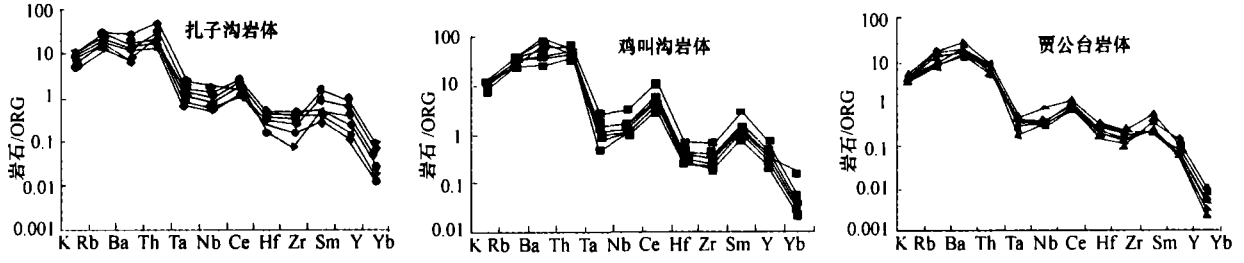


图 5　洋中脊花岗岩标准化的微量元素蛛网图

5.1　成因类型

从前述各岩体岩相学、岩石化学及微量稀土元素地球化学特征可以看出,区内3个花岗岩类岩体均具有 I-型花岗岩的特征,在 Ce - SiO_2、Nb - SiO_2、Y - SiO_2、Zr - SiO_2、Zr - SiO_2 及 ACF等系列花岗岩类成因类型判别图解(图 6～11)[11-12]上,同样表现为明显的 I-型花岗岩特征。此外,扎子沟岩体 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 初始值为 0.7064,鸡叫沟岩体为 0.7096,贾公台岩体为 0.7060,均处于壳幔混源范围[13]。

5.2　构造环境分析

Pearce对世界上 600多个产出构造环境明确的花岗岩的岩石化学和微量元素地球化学进行研究,发现不同构造环境下的花岗岩,具有不同的岩石化学,尤其是微量元素地球化学特征,据此提出了洋中脊花岗岩(ORG)、火山弧花岗岩(VAG)、板内花岗岩(WPG)和同构造碰撞花岗岩(syn - COLG)的微

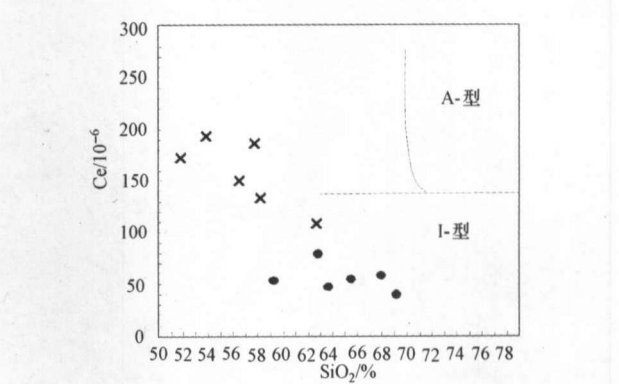


图 6　Ce - SiO_2 判别图

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

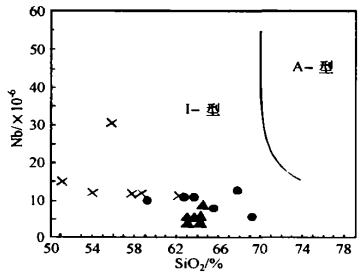


图 7 Nb – SiO_2 判别图

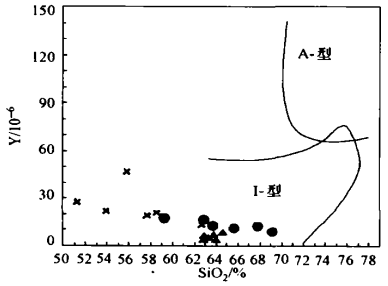


图 8 Y – SiO_2 判别图

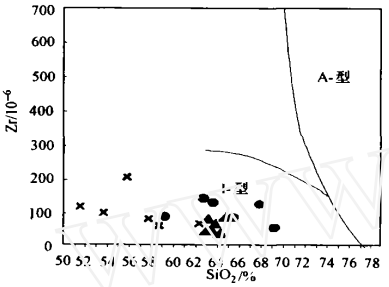


图 9 Zr – SiO_2 判别图

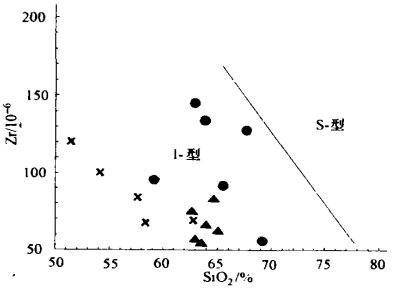


图 10 Zr – SiO_2 判别图

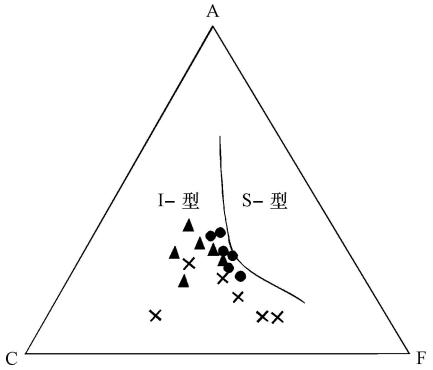


图 11 ACF判别图

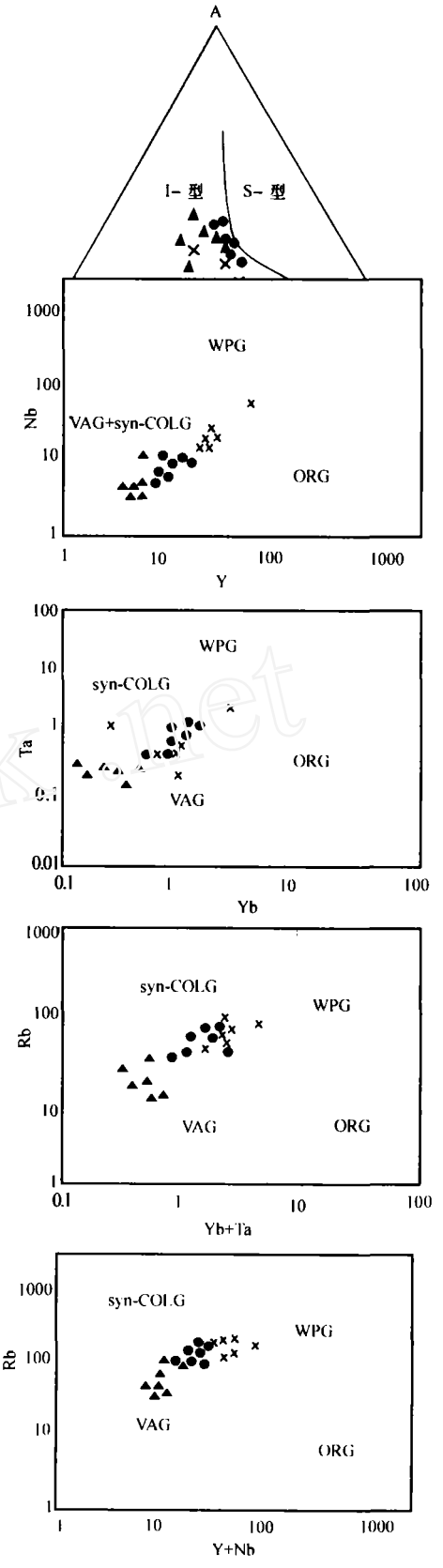


图 12 研究区花岗岩类微量元素构造环境判别图

syn - COLG—同碰撞花岗岩;WPG—板内花岗岩;ORG—洋中脊花岗岩;VAG—火山弧花岗岩

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

量元素判别图解[10]。最有效的判别图解是 Y - Nb、Yb - Ta、Rb - (Y +Nb)及 Rb - (Yb + Ta)图解。

在该系列图解上(图 12),3个岩体的样品均集中在火山弧区。火山弧花岗岩 Ta、Nb、Zr、Y、Yb等元素含量低, Rb、Th表现为略有富集。需要指出的是, Pearce指出,该环境判别体系不能把造山后隆起环境形成的花岗岩(加里东 I型)从火山弧花岗岩中区分出来,因为这种花岗岩的形成涉及到有关碰撞事件的岩石圈的厚度、组成及岩浆作用的确凿时间和部位,这种花岗岩既可以由造山后下地壳热释放而部分熔融形成,也可由于地幔上升,绝热减压,同时产生幔源和壳源岩浆,通过岩浆混合和分异作用还可产生更复杂的岩石组合[10]。在 Rb/30 - Hf - 3Ta花岗岩类构造环境判别图解[14]上(图 13),可以清楚看出,3个岩体均不属于碰撞后环境,结合前述成因类型分析,应属于 I-型科迪勒拉花岗岩(活动陆缘环境)。

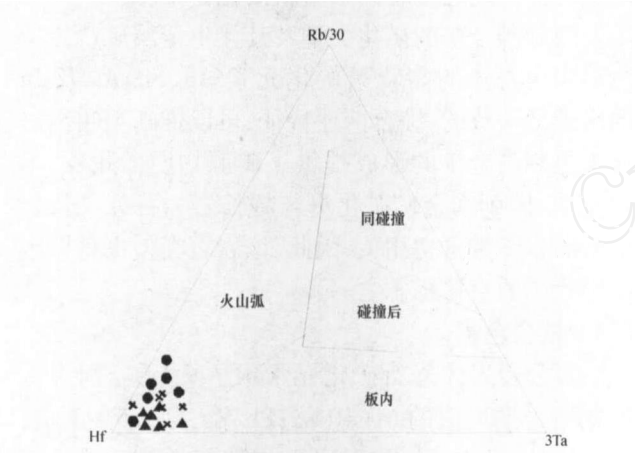


图 13　研究区花岗岩类 Rb/30 - Hf - 3Ta构造环境判别图

北祁连在寒武纪时期裂张,一直到中晚奥陶世达到高峰期,南祁连的北部边缘和中祁连的南缘在早奥陶世或更早进入扩张期。早古生代南祁连的扩张时间并不长,大约在早奥陶世晚期之后转化为压缩体制,沉积了以中—上奥陶统、中志留统为代表的活动型复理石建造。体制转化和北祁连中—晚奥陶世的持续扩张引起沿中祁连北缘断裂向南俯冲有关。志留纪末,祁连地区经过裂解、扩张、俯冲,最终碰撞造山,先后形成了区内系列活动陆缘型花岗岩类及中祁连的岛弧花岗岩、大陆弧花岗岩、碰撞花岗岩及造山后花岗岩类[2, 15, 16]。区内花岗岩类岩体作为发生在中祁连地块及南缘造山带上的火山弧花岗岩,结合其富含深源闪长质包体的特点,岩浆很可能起源于基性岩浆与古老火山岩地壳选择性重熔出的酸性岩浆的混合[5]。

6　金铜矿化

为研究各岩体的控矿专属性,查明区内金铜矿化与各岩体的关系,结合野外矿点与岩体的空间与成因联系,对研究区所采集的花岗岩类勘查地球化学样品,按岩体和岩石类型分别进行平均统计(表 5),并用标准花岗岩克拉克值进行标准化(图 14),用以了解岩体是否为控矿母岩以及可能的成矿类型。

6.1　扎子沟岩体

扎子沟岩体中细粒石英闪长岩、中—粗粒花岗闪长岩及粗粒二长花岗岩对各矿化元素具有相似的富集贫化规律,具体表现为:Au、Ag高出标准花岗岩平均值 2～3倍; Cu、Pb、Zn及 Mo与标准花岗岩平

表 5　研究区成矿元素标准化数据表　　ω(Au) /10^{-9};ω_B /10^{-6}

岩体	岩石类型	样品数	数据类型	Au	Ag	Cu	Pb	Zn	Hg	Sb	As	Bi	Mo
扎子沟岩体	石英闪长岩	4	平均含量	6.2	0.15	41.5	20	59	44	0.65	1.29	0.08	1.17
			标准化值	2.1	3	1.38	1	1.23	0.54	2.5	0.86	8	1.17
	花岗闪长岩	8	平均含量	8.63	0.14	16.3	20.8	51.5	2.14	0.46	2.2	0.03	0.66
			标准化值	2.9	2.8	0.54	1.04	1.07	0.26	1.77	1.47	3	0.66
	二长花岗岩	6	平均含量	5.18	0.10	21.8	31	46.6	66	1.96	5.22	0.09	0.54
			标准化值	1.7	2	0.73	1.55	0.97	0.80	7.54	3.48	9	0.54
鸡叫沟岩体	辉长岩	2	平均含量	22.13	0.14	25	25	66	43	3.56	11.3	0.49	0.92
			标准化值	7.4	2.8	0.83	1.25	1.38	0.52	13.69	7.53	49	0.92
	闪长岩	5	平均含量	12.1	0.19	41.2	46.8	47	7.4	10.3	27	0.63	1.25
			标准化值	4.0	3.8	1.37	2.34	0.98	0.09	39.6	18	63	0.92
	石英二长	7	平均含量	13	0.18	48	40	62.3	5.4	2.02	22.5	0.87	1.32
	闪长岩		标准化值	4.3	3.5	1.6	2	1.30	0.07	7.77	15	87	1.32
	石英二长岩	4	平均含量	4.3	0.11	18	45	22	186	2.78	4.08	0.18	1.59
			标准化值	1.4	2.2	0.6	2.25	0.46	2.27	10.69	2.72	18	1.59
贾公台岩体	斜长花岗岩	7	平均含量	30.6	0.29	33.8	29.6	83.6	136	0.25	0.13	0.08	1.06
			标准化值	10.02	5.8	1.13	1.48	1.74	1.66	0.96	0.086	8	1.06
标准花岗岩平均值				3	0.05	30	20	48	82	0.26	1.5	0.01	1

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

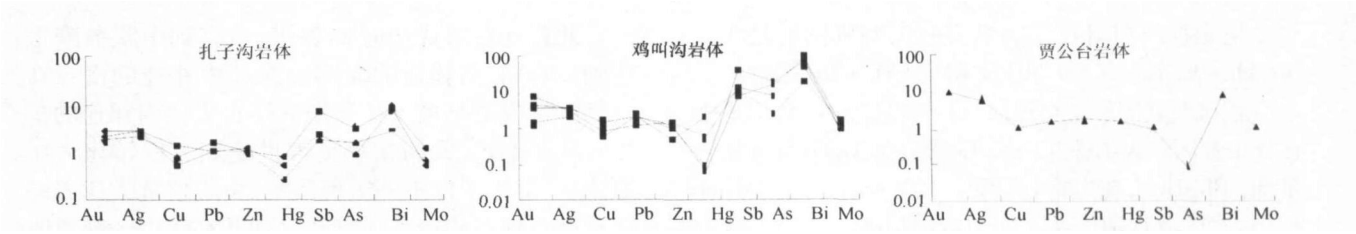


图 14 研究区各岩体矿化元素标准化蛛网图

均值接近;As、Sb、Bi含量较高,可达标准花岗岩平均值的 2～9倍。

经过对扎子沟岩体分布区内或近傍的已知 As8 - 1、As8 - 2、As9异常,小黑刺沟铜矿点,半截沟铜矿化点,钓鱼沟铜矿化点及白石头沟金矿化点的调研,可以发现:上述异常及矿化点与震旦纪中—基性火山岩分布形态大体一致,有时异常受震旦纪火山岩冰碛物干扰而远离扎子沟岩体,所见的铜矿化也是由基性火山岩中的石英脉所引起,同时,石英安山玢岩具有较高的金铜背景值[18]。区内唯一所见与扎子沟岩体有关的金矿化位于白石头沟内扎子沟岩体同第三系断裂接触带处,系为构造蚀变岩型金矿化,在扎子沟岩体内部或近傍尚未见到有其他矿化现象。

不难看出,扎子沟岩体 Cu、Pb、Zn含量并不高,Au、Ag含量虽略偏高,但野外未见岩浆期后热液富集的现象,而且已有矿化点均与基性、中性火山岩有关,所以扎子沟岩体与该区金铜矿化并不能构成物源关系,但由于扎子沟岩体的侵位,其期后岩浆热水溶液对火山岩的金、铜组分激励活化并使之运移,在有利构造场所富集成矿,伴随大型石英脉带的出现而出现金铜矿化。

6.2 鸡叫沟岩体

鸡叫沟岩体各主要岩石类型对成矿元素的富集与贫化规律也很相似,一般表现为 Sb、As、Bi的强烈富集,Ag、Pb、Mo相对富集,Cu、Zn相对亏损。金的相对富集程度随岩性的不同差异较大,标准化值范围 1.4～7.4。总体来说,随结晶阶段由老而新的演化,各成矿元素含量呈递减趋势,比如,石英二长岩中 Au、Ag、As、Bi、Cu及 Zn等含量较少,而辉长岩—闪长岩、石英闪长岩和二长岩中可富集 4～7倍的 Au、3～4倍的 Ag、15～40倍的 Sb、8～18倍的 As和 50～90倍的 Bi。

鸡叫沟岩体与黑刺沟金矿关系密切。空间上,鸡叫沟岩体主要呈岩株状及岩脉状产出,而沿北西向构造带零星出露的重要金矿体均位于该岩体的接触带及其附近,金矿化赋存于断裂破碎带中,发育两种金矿化类型,一种为含毒砂的构造蚀变岩型金矿化,一种为石英脉型金矿化(有时含辉锑矿),并以前者为主,岩体内外接触带的附近主要发育石英脉型金矿化,稍远处为构造蚀变岩型金矿化(以发育毒砂为特征),更远处则主要为锑金石英脉矿化。在矿化时间上,由于金矿化主要发育于岩体内外接触带,而且控岩构造同时也是控矿构造,因而岩体形成与矿化基本同时或矿化作用稍晚。此外,在热变质作用(角岩化)过程中金也稍有富集,表明岩浆活动也可促使地层中金元素重新活化富集。

黑刺沟金矿的矿化类型及其伴生金属矿产类型与鸡叫沟岩体的高背景矿化元素 Au、Sb、As及 Bi的出现是一致的,综合前述特征,可以推断鸡叫沟岩体为黑刺沟金矿的形成提供了矿源物质。此外,笔者发现,黑刺沟金矿矿化更与辉长岩—石英二长岩系列的岩脉带密切相关,因此,该岩石类型也是该区指导找矿的直接标志之一。

6.3 贾公台岩体

贾公台岩体岩石矿化元素中 Au、Ag分别为标准花岗岩平均值的 6～10倍;Pb、Zn为 1.5～2倍;Cu、Sb、Hg及 Mo与花岗岩平均值接近;As明显偏低,为该值的 1/10左右;Bi则明显远远高于该值,为其 8倍左右。

贾公台岩体与贾公台金矿关系密切,空间上,该岩体位于已知 As22异常北侧另外一个小异常之上,由于这些异常是用分散流法圈定,所以受到地形控制,从而造成该异常对岩体来说偏北一些,总的来说,该异常与贾公台岩体相关性较好。从已探采的工程来看,贾公台金矿主要分布于斜长花岗岩岩体与围岩的内外接触带上,如岩体边部、岩枝、围岩捕虏体及外接触带围岩或围岩接触带的破碎带中,在这些地段的石英脉及蚀变带岩石中金矿化品位最高,规模最大,而随着远离岩体接触带,石英脉逐渐变窄并变少,金的蚀变矿化作用也逐渐减弱。从矿化类型上看,贾公台含金石英脉型金矿属少伴生硫化物类型(可视为"白脉"型金矿),不仅黄铁矿少,黄铜矿也不多见,仅可见伴有方铅矿和闪锌矿,这种矿石矿物共生组合与岩体中 Cu元素无富集及 Pb、Zn元素仅略具富集是相一致的,因此也就不能形成

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

多金属型金矿。此外,贾公台金矿化同时伴随有明显的钾长石化、黄铁矿化及褐铁矿化,在岩浆晚期伟晶岩脉中往往也伴有金矿化,这些具有岩浆结晶演化晚期气液成矿的特点[17]。

综上所述,可以认为,贾公台岩体是贾公台金矿的直接控矿母岩,该岩体为成矿提供了矿源、热液、石英脉的硅质及热源,在时间上,成矿作用与岩浆作用同时或稍晚,成矿过程本身就是该岩体岩浆期后富 SiO_2 溶液对岩体中的成矿元素再度活化、迁移并富集的结果。

7　结论及认识

研究表明,区内花岗岩类岩体包括扎子沟岩体、鸡叫沟岩体及贾公台岩体。综合岩相学、岩石化学及微量稀土元素地球化学特征,区内 3个岩体均形成于 型活动陆缘环境,为中南祁连造山带加里东期构造岩浆活动的产物。扎子沟岩体与该区金铜矿化不构成物源关系,但其岩浆期后热水溶液可造成震旦纪中基性火山岩系中金、铜组分的活化迁移,在有利构造场所富集成矿,鸡叫沟岩体和贾公台岩体分别是黑刺沟金矿和贾公台金矿的控矿母岩。

孙继东、李厚民老师参加了科研工作,姜常义教授给予了热心指导,在此一并表示感谢。

[参考文献]

[1] 杨森楠,杨巍然. 中国区域大地构造学 [M]. 北京:地质出版社, 1985.
[2] 邓晋福,杨建军. 格尔木 —额济纳旗断面走廊域火成岩 —构造组合与大地构造演化 [J]. 现代地质, 1996, 10(3): 330 - 343.
[3] 崔作舟,李秋生. 格尔木 —额济纳旗岩石圈结构与深部构造 [M]. 北京:地质出版社, 1999.
[4] 吴功建. 格尔木 —额济纳旗地学断面综合研究 [J]. 地质学报, 1998, 72(4): 289 - 300.
[5] 马昌前. 花岗岩类岩浆动力学 —理论方法及鄂东花岗岩类例析 [M]. 北京:中国地质大学出版社, 1992.
[6] 赵　虹,金治鹏,王崇礼,等. 甘肃党河南山北坡早古生代火山岩时代探讨 [J]. 西安工程学院学报, 2001, 23(3): 26 - 29.
[7] 李厚民,王崇礼,刘继庆,等. 祁连党河南山中 —基性火山岩地质特征及时代 [J]. 矿物岩石, 2003, 23(1): 1 - 4.
[8] 李厚民,王崇礼,刘志武,等. 南祁连党河南山北坡两个不同性质的金矿床 [J]. 矿床地质, 2003, 22(2): 191 - 198.
[9] Middlemost E A K. A contribution to nomenclature and classification of vocanic rocks[J]. Geol Mag, 1980, 117(1): 51 - 57.
[10] Pearce J A. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granites rocks[J]. Jour. Petrol, 1984, 25: 956 - 983.
[11] Collins W T. Nature and origin of A - type granites with particular reference to Southeastern Australia[J]. Contrib. Min. Petrol, 1982, 80: 189 - 200.
[12] Tarney J. Geochemistry of Archean high grade gneisses with implications as to origin and evolution of the Precambrian crust [A]. Windlley B F. The early history of Earth[C]. London (Wiley), 1976: 405 - 417.
[13] 吴利仁. 中国东部中生代花岗岩类 [J]. 岩石学报, 1985, 1(1): 1 - 10.
[14] Harris N B W, Pearce J A, Tindle A G. Geochemical characteristics of collision - zone magmatism[A]. Coward M P, Ries A C. Collision Tec - tonics[C]. Geol Soc Spec Publ, 1986, 19: 67 - 81.
[15] 甘肃省地矿局. 甘肃省区域地质志 (中国地质矿产部地质专报)[M]. 北京:地质出版社, 1989.
[16] 宋忠宝,任有祥,李智佩,等. 北祁连山寒山金矿成矿时代讨论 [J]. 地质与勘探, 2005, 41(3): 12 - 15.
[17] 李文渊,赵东宏,申少宁. 西北地区有色金属矿床成矿条件约束及勘查潜力 [J]. 地质与勘探, 2003, 39(5): 11 - 17.
[18] 赵　虹,党　D,王崇礼,等. 甘肃党河南山北坡火山岩含矿性研究 [J]. 西安工程学院学报, 2002, 24(2): 29 - 32.

GRANITOID GEOCHEMISTRY AND GOLD - COPPER MINERALIZATION IN THE DANGHENANSHAN AREA, SOUTHERN QILIAN MOUNTAINS

LIU Zhi - wu[1,2], WANG Chong - li[2]

(1. *Department of Geology, Northwest University, Xi'an* 710069;
2. *Open Laboratory of Mineralization and Dynamics, Ministry of Land and Resources, Xi'an* 710054)

Abstract: Danghenanshan area in the southern Qilian Mountains is an important metallogenic belt. Gold and copper mineralization is common in the area, which is related with intermediate - acidic granitoids. In order to reveal the regional geologic setting of metallogenesis, find out the features of geotectonic evolvement, and study the metallogenic regularity and gold - copper ore - controlling factors, systematic geologic and geochemical studies of main granitic plutons as well as gold - copper mineralization have been made. It is concluded that granitoids include Zhazigou, Jijiaogou and Jiagongtai plutons in the area, and the granitoid characteristics of lithofacies, petrochemistry, trace element and REE geochemistry indicate that these three plutons are all I - type granitoids, formed in an active continental margin, and the results of tectonic movement and magmatism in the middle - south Qilian Mountains during Caledonian. Zhazigou pluton doesn't provide materials for gold and copper mineralization in the area, but its post - magmatic hydrothermal fluids can activate Cu and Au elements in volcanic rocks, and cause them to enrich in the advantageous place. Jijiaogou and Jiagongtai plutons are the ore - controlling rocks of Heicigou and Jiagongtai gold deposits respectively.

Key words: Danghenanshan area, granitoid, geology and geochemistry, gold and copper mineralization

© 1994-2008 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net