金属矿产

青海纳日贡玛斑岩钼(铜)矿含矿斑岩矿物学特征及成岩成矿意义

郝金华[1,2]， 陈建平[1,2]， 田永革[3]， 李玉龙[3]， 尹京武[1]

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083;
2. 中国地质大学国土资源与高新技术研究中心,北京 100083;
3. 青海地质调查研究院, 西宁 810012)

[摘 要]本文侧重于矿物学特征分析对纳日贡玛赋矿斑岩进行了研究,结果表明:斑岩中黑云母斑晶种属为含铁金云母和富镁黑云母,角闪石种属为镁角闪石、透闪石与阳起石。纳日贡玛含矿斑岩属于I型花岗岩类,由幔源岩浆同熔壳源物质而形成;斑岩结晶压力值为1.18×10^8 ~ 1.39×10^8Pa;闪长玢岩和黑云母花岗斑岩的结晶温度为550℃ ~650℃,而浅色花岗斑岩则下降为500℃ ~550℃。斑岩中黑云母的Mg/Fe、Ti、Al、K、Na、Ca及F、Cl等元素含量及比值可以显示纳日贡玛具有良好的含矿性。纳日贡玛结晶压力、温度都较玉龙矿带低,反映纳日贡玛结晶岩浆房更靠近地表。纳日贡玛岩浆源区向壳源区靠近,而玉龙矿带则更靠近幔源区,表明成岩源区中壳幔物质混合比例的不同。

[关键词]矿物学特征 黑云母 成岩成矿 纳日贡玛 青海南部
[中图分类号]P618.65+P581 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2010)03-0367-10

Hao Jin-hua, Chen Jian-ping, Tian Yong-ge, Li Yu-long, Yin Jing-wu. Mineralogical features of porphyries in the Narigongma Mo(-Cu) deposit, southern Qinghai and their implications for petrogenesis and mineralization[J]. Geology and Exploration, 2010, 46(3): 0367-0376.

0 前言

西南三江地区为中国乃至世界上具有重要地位的新生代巨型多金属成矿带。国内外地质学家对三江地区斑岩铜钼金多金属矿床特别是玉龙斑岩铜矿带的岩石学、地球化学、成岩成矿年代学等进行了大量的研究,并对其构造背景、岩浆演化、成矿模式等方面进行了广泛探讨(马鸿文,1990;唐仁鲤等,1995;姜耀辉等,2006;侯增谦等,2006;芮宗瑶等,2006)。侯增谦等提出大陆碰撞造山环境下的斑岩成矿理论,认为三江斑岩铜多金属矿床形成于印度-欧亚大陆碰撞造山背景下,受新生代陆内走滑断裂系统控制,含矿斑岩属于高钾钙碱性-钾玄岩系列(张玉泉,2000;邓万明等,2001;Jiang,2006),岩石圈地幔(Jiang,2006)或加厚下地壳部分熔融(侯增谦等,2006)为含矿斑岩主要成岩机制。

随着地质矿产工作的深入,在青海南部金沙江缝合带以南,发现了以纳日贡玛含矿斑岩体为中心的又一大型斑岩-矽卡岩型钼铜矿带,初步认为是玉龙铜矿带的北延(王召林等,2008)。近年来对纳日贡玛斑岩岩石地球化学、成岩成矿年代学等方面进行了初步研究并陆续见有相关研究成果报道(陈建平等,2008;杨志明等,2008;王召林等,2008;张信等,2008)。鉴于前人多仅涉及含矿斑岩年代学与同位素地球化学特征,而对含矿斑岩矿物学缺乏系统研究,本文重点对赋矿斑岩矿物特征进行分析,结合斑岩岩石学、地球化学特征,以期对矿床斑岩研究及矿产勘探开发有所帮助。

1 地质背景

纳日贡玛钼(铜)矿床位于青海省玉树州杂多县北西方向,距县城约185km,地理座标为东经94°46′、北纬33°31′。大地构造位置属于欧亚大陆南缘、金沙江缝合带与班公湖-怒江缝合带所夹持

[收稿日期]2010-01-05;[修订日期]2010-05-04;[责任编辑]郑 杰。
[基金项目]国家科技支撑计划子课题项目(2006BAB01A08)、中国地质大调查项目(1212010630804)资助。
[第一作者简介]郝金华(1978年—),男,在读博士,讲师,矿产普查与勘探专业,E-mail: Haojh@cugb.edu.cn。

的羌塘地体,位于三江成矿带的囊谦-昌都-兰坪-思茅成矿带中的纳日贡玛-妥坝铜多金属成矿带的西北端(图 1a)。研究区先后主要经历了晚古生代-中生代古特提斯洋盆扩张-俯冲造山作用和新生代陆陆碰撞造山作用(Hou,2003;Yin,2000)。新生代以来研究区为吸纳和调节印度-欧亚大陆碰撞应力应变的构造转换带,产生大规模的陆内变形构造,发育以纳日贡玛-色的日为中心的众多新生代斑岩岩体并控制着区内斑岩型金属矿床的分布(Hou,2003;Yin,2000)。

2　矿床及矿体特征

纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床地处三江断裂带西

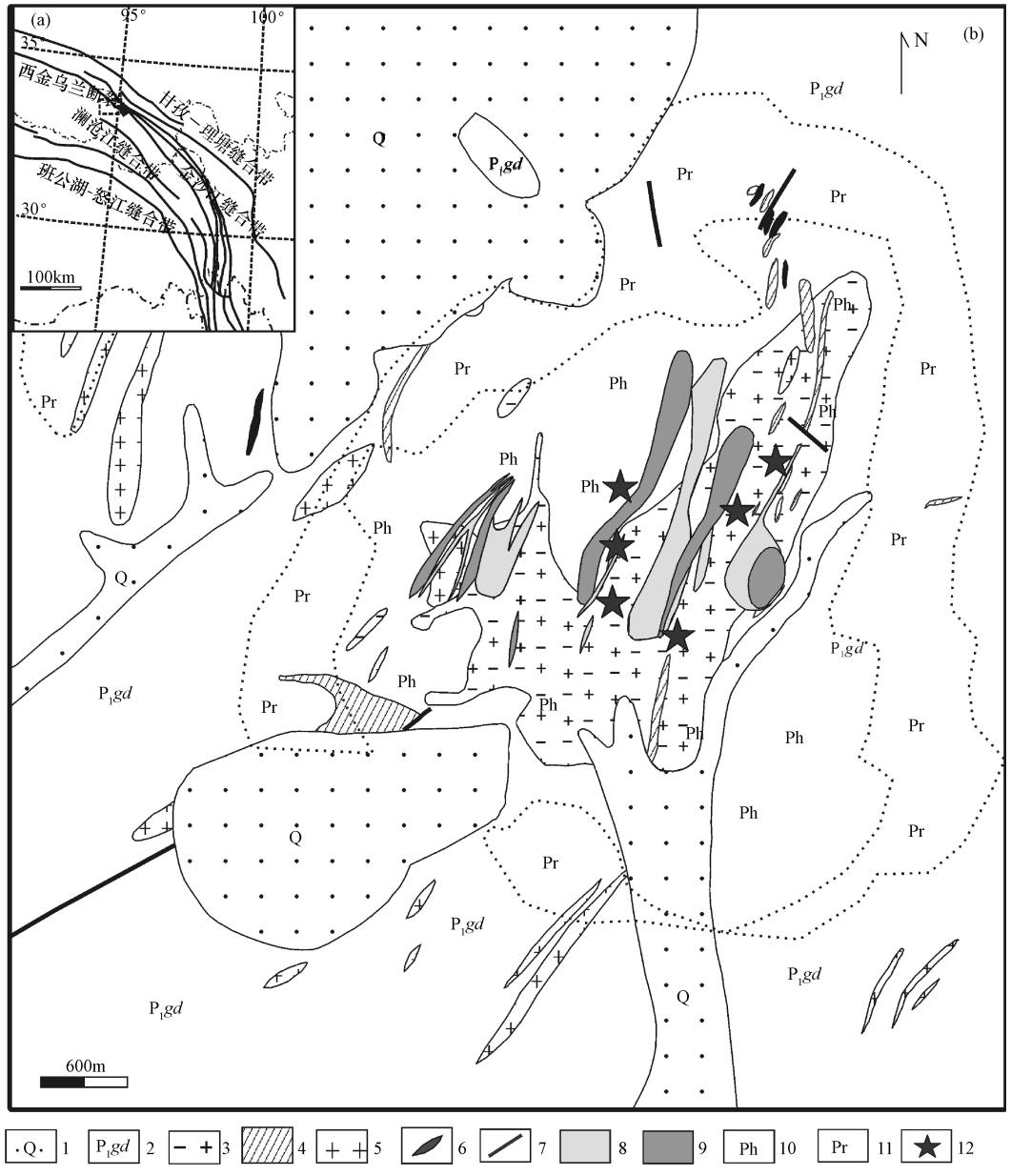


图 1　纳日贡玛斑岩钼(铜)矿地质简图(据青海地调院,2007 修改)

Fig. 1　Geological map of Narigongma porphyry molybdenite-copper deposit (after Qinghai geological survey institute,2007)

1-第四系;2-二叠系玄武岩;3-黑云母花岗斑岩;4-石英闪长玢岩脉;5-花岗斑岩;6-细晶岩脉;7-断层;-8—Mo 矿体;9—Cu 矿体;10-绢英岩化;11-青磐岩化;12-采样位置

1-quaternary sediment;2-basalt of Permian;3-biotite porphyry;4-quartz diorite;5-porphyry;6-Fine-grained -rock;7-fault;8-Mo orebody;9-Cu orebody;10-sericite rock;11-propylite;12-sample location

侧北西西向格尼涌大断裂与北北东向纳日贡玛断裂交切部位,杂多复式背斜的北翼。矿区内断裂及节理裂隙相当发育,按其展布方向可分为北西西向、北东向、近东西向和近南北向四组断裂,其中北东向断裂为矿区内的主干断裂,控制着区内岩浆活动、变质改造。

矿区斑岩出露地表形态为不规则的小岩枝状,长轴北北东向,出露面积约为 0.96km^2。纳日贡玛斑岩钼(铜)矿区内共圈出 22 个铜钼矿体(图 1b)。铜矿体主要产于斑岩体内的黑云母花岗斑岩及斑岩体外接触带的蚀变玄武岩中,形态比较复杂,一般长 75.5 ~ 400m,平均宽 27 ~ 91.1m,铜平均品位 0.43% ~0.65%。钼矿体产于斑岩体内轻微蚀变的黑云母花岗斑岩、细粒花岗斑岩,少量产于斑岩体外接触带的青磐岩化的玄武岩中,主要呈现为透镜状、条带状,矿体与围岩呈渐变关系,其中Ⅳ号矿体最大长 912m,宽 75 ~170m,总体走向 10° ~20°,钼平均品位 0.047% ~0.229%。

纳日贡玛钼(铜)矿床斑岩主要蚀变类型有硅化、绢云母化、粘土化、碳酸盐化及矽卡岩化等,地表从岩体到围岩依次发育绢英岩化带和青磐岩化带(图 1b),斑岩体钻孔表明其深部发育有钾化带,表现为钾长石化和次生黑云母化。

3　样品与分析方法

3.1　斑岩岩石学特征

本次研究样品采自与成矿作用密切相关的斑岩体,主要采样位置为地表探槽及钻孔(见图 1b)。经系统的采样,选择没有蚀变或蚀变较弱的样品进行分析。

纳日贡玛钼(铜)矿体与成矿关系较为密切的斑岩岩性为黑云母二长花岗斑岩、浅色细粒花岗斑岩及石英闪长玢岩。经过较为详细的手标本和显微镜观察,成矿斑岩体的岩相学特征如下:

黑云母二长花岗斑岩:斑岩呈现灰色、浅灰色、浅黄色,具典型斑状结构。斑晶主要为石英、斜长石、钾长石和黑云母组成,斑晶含量大于 30%,钾长石斑晶大小一般在 0.5 ~2cm,并可见有大于 5cm 的巨斑晶存在,石英斑晶颗粒一般变化为 0.1 ~1cm。基质具有微粒-不等粒结构,由石英、斜长石、正长石、黑云母以及少量黄铁矿组成;副矿物为磷灰石、金红石、钛铁矿、榍石等。

浅色细粒花岗斑岩表现为灰白色、浅灰色,具斑状到不等粒结构。斑晶主要为石英、斜长石、钾长石,斑晶颗粒相对较小,且钾长石、斜长石自形程度不高。基质为微晶结构,组成矿物为石英、斜长石、钾长石及少量的黄铁矿。副矿物有锆石、榍石、磷灰石等。手标本及镜下观察硅化、绢云母化明显。

石英闪长玢岩具有典型的斑状结构。斑晶主要以斜长石为主,含钾长石,暗色矿物为黑云母、角闪石。岩石发生了弱绢云母化,其内含有少量的浸染状黄铁矿。

3.2　测试方法

采集样品经处理后,磨制标准探针片。电子探针测试在中国地质大学(北京)电子探针实验室测试完成,仪器型号为 EPMA-1600;测试电压为 15kV,电流为 10nA,束斑为 1μm;所采取标准样品为石英、金红石、斜长石、铁铝榴石、蔷薇辉石、镁橄榄石、方解石、钠长石、钾长石、萤石等。主要氧化物的分析误差约为 1%,测试结果见表 1 ~4。

4　斑岩矿物学特征

4.1　黑云母

黑云母是纳日贡玛含矿斑岩中最主要的暗色矿物,黑云母斑晶粒度变化较大,主要以不规则板状、片状为主,常被熔蚀成不规则状,边部常见被熔蚀成港湾状结构(图 2a)。透射光下常为黄褐色,具明显的多色性,解理发育,长片状黑云母常发生折断现象,沿解理缝或裂隙常被绿泥石交代并析出铁质、金红石等小颗粒(图 2b)。此外斑岩中还存在后期钾化而形成的热液型黑云母,主要呈现细小长片状、鳞片状,解理不明显,为热液蚀变的产物。本次工作主要测试研究岩浆成因黑云母,化学成分测试表明斑岩中的黑云母斑晶成分高 MgO 而低 FeO,具有较高的 Mg/(Mg+Mn+TFe)($Mg^{\#}$)比值(0.54 ~0.77,平均 0.65),TiO_2 含量较高(1.36% ~3.97%,平均为 3.04%),Al_2O_3 含量基本低于 15%,CaO 含量较低(0.10% ~0.25%);并且含有较高的挥发份成分(F:0.41% ~2.02%;Cl:0.09% ~0.27%)(表 1)。随着酸度的升高(闪长玢岩-黑云母花岗斑岩-浅色花岗斑岩),三种岩性中黑云母 SiO_2 的含量在升高,F 的含量在降低(1.39%、1.23%、1.08%),但含镁系数($Mg^{\#}$)变化不大(平均值分别为 0.66、0.63、0.68)。依据 Foster(1960)云母分类,纳日贡玛斑晶黑云母种属为含铁金云母和富镁黑云母(图 3)。

表 1 黑云母电子探针分析结果(w_B/%)

Table 1 Electron microprobe analyses of biotite

样品	岩性	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	F	Cl	Σ
802-B1-4-1	1	37.48	2.94	14.05	14.53	0.18	14.98	0.04	0.15	9.87	0.76	0.10	95.08
802-B1-5-2		37.29	2.74	13.88	15.26	0.32	14.37	0.10		9.77	1.70	0.09	95.52
004-463A-10-1	2	38.75	2.07	13.80	13.19	0.15	16.72	0.03	0.22	9.84	1.06	0.12	95.95
004-463A-10-3		38.10	2.05	13.67	13.28	0.16	16.23	0.05	0.00	9.75	2.02	0.17	95.48
004-463A-10-4		39.68	1.89	12.84	12.16	0.23	17.43	0.11	0.05	10.02	1.54	0.11	96.06
004-497-12-1		37.82	3.82	15.16	16.70	0.40	11.18	0.18	0.28	9.45	1.21	0.22	96.42
004-497-12-2		37.17	3.66	15.70	15.94	0.30	11.22	0.09	0.33	9.52	0.77	0.27	94.97
004-497-12-3		37.30	3.52	15.44	16.28	0.45	11.85	0.07	0.23	9.57	1.35	0.09	96.15
004-497-12-4		38.54	3.12	15.96	15.61	0.32	11.86	0.08	0.40	9.78	0.62	0.15	96.44
004-497-15-1		38.27	3.52	14.59	11.68	0.12	15.04	0.19	0.25	10.21	1.71	0.09	95.67
004-536-1-13		37.81	3.59	12.88	15.95	0.28	14.77	0.10	0.09	9.58	0.41	0.11	95.57
004-536-2-2		37.86	3.36	12.56	15.82	0.48	14.26	0.08	0.34	9.46	0.89	0.16	95.27
004-536-3-1		36.67	3.46	12.56	16.10	0.48	14.17	0.12	0.12	9.62	1.23	0.24	94.77
409-B28-1-4		37.43	3.80	12.96	15.97	0.34	14.09	0.07	0.23	9.62	1.56	0.18	96.25
409-B29-5		36.80	3.68	12.93	16.22	0.45	14.02	0.12	0.30	9.42	1.73	0.21	95.88
409-B29-6-4		37.48	3.57	13.25	15.29	0.18	14.42	0.08	0.26	9.73	1.50	0.16	95.92
805-311-1-2		37.58	3.33	13.43	15.50	0.44	13.68	0.11	0.27	9.44	1.29	0.16	95.23
805-311-1-Bi		37.19	3.97	12.84	16.18	0.36	13.77	0.05	0.08	9.30	1.91	0.17	95.82
B29-5-2		38.13	3.57	12.76	15.36	0.20	14.32	0.08	0.04	9.72	1.00	0.22	95.40
004-77-1-4	3	39.43	2.30	14.55	11.18	0.17	17.79	0.25		9.46	0.87		96.00
004-77-1-5		40.18	1.64	14.52	9.98	0.04	18.10	0.15		10.18	0.66	0.18	95.63
005-B14-1-7		38.31	1.36	15.18	13.83	0.12	16.03	0.12	0.14	10.06		0.12	95.27
005-B27-1-2		37.29	2.98	13.65	15.61	0.18	14.22	0.05	0.13	9.83	1.40	0.13	95.47

注:1:为闪长玢岩,2:为黑云母二长花岗斑岩,3:浅色花岗斑岩。测试单位:中国地质大学(北京)电子探针实验室,仪器型号为 EPMA-1600,主要氧化物分析误差约为 1%,2009.5,下同。

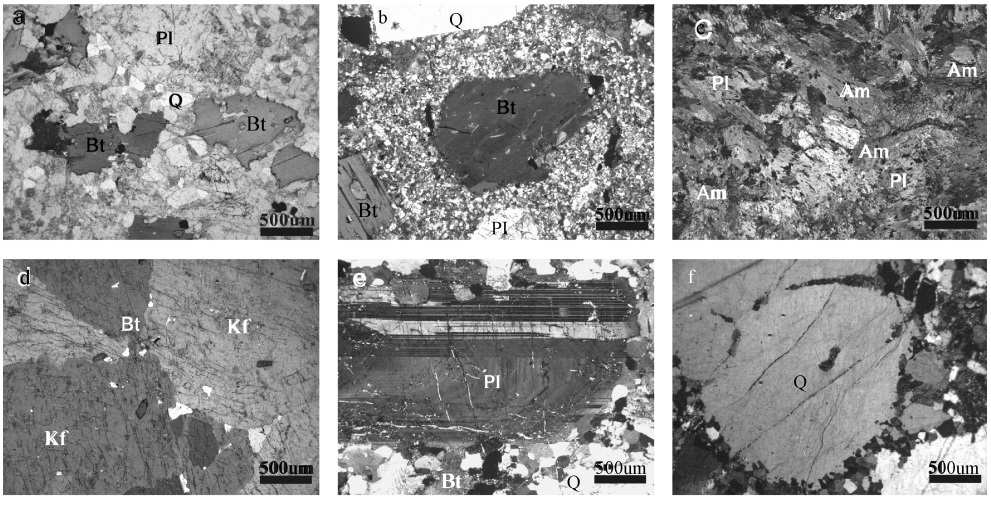


图 2 纳日贡玛斑岩样品显微照片

Fig . 2 Microphotographs of ore-bearing porphyry

a-黑云母花岗斑岩中黑云母(Bt),并被熔蚀成港湾状;b-黑云母花岗斑岩中的黑云母(Bt),并发生弱的绿泥石化;c-闪长斑岩中的角闪石(Am)及弱的绿泥石化蚀变;d-. 黑云母花岗斑岩中钾长石(Kf)斑晶,并包裹黑云母等斑晶;e-黑云母花岗斑岩中斜长石(Pl),双晶与环带结构发育;f-斑岩中熔蚀的石英(Q)及再生长现象

a-corrosion of biotite(Bt) in biotite granite-porphyry;b-chloritization of biotite(Bt) in biotite granite-porphyry;c-chloritization of amphibole in diorite porphyry;d-feldspar phenocryst(Kf) in biotite granite-porphyry;e-twin and zonal struture of plagioclase(Pl) in biotite granite-porphyry;f-corrosion and regrowth of quartz(Q) in granite-porphyry

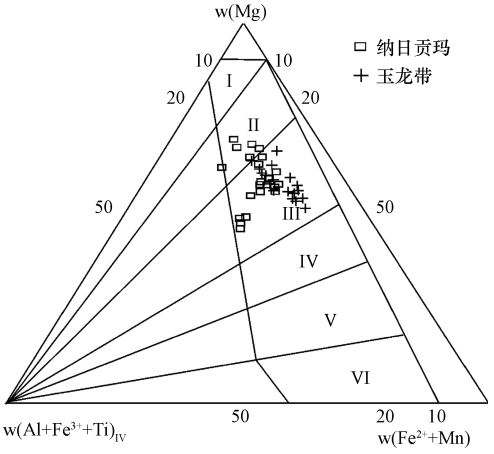


图 3　黑云母分类图解(底图据 Foster,1960)(玉龙铜矿带岩石数据来自马鸿文(1990);姜耀辉(2008),下同。)

Fig. 3　Classification diagram of biotite (after Foster, 1960) (Rock data of Yulong Cu Ore-belt from Ma (1990); Jiang (2008), The same below.)

Ⅰ-金云母;Ⅱ-铁金云母;Ⅲ-富镁黑云母;Ⅳ-镁铁黑云母;Ⅴ-富铁黑云母;Ⅵ-铁叶云母

Ⅰ-phlogopite; Ⅱ-ferro-phlogopite; Ⅲ-Mg-biotite; Ⅳ-Ma-Fe-biotite; Ⅴ-ferro-biotite; Ⅵ-siderophyllite

4.2　角闪石

纳日贡玛角闪石主要存在于石英闪长玢岩中,黑云母花岗斑岩仅含有少量的角闪石。角闪石呈现不规则片状,解理并不明显,具有鲜艳的干涉色(图 2c)。角闪石中常包裹有小颗粒的磷灰石、榍石及磁铁矿等矿物。电子探针测试分析角闪石化学成分 SiO_2 含量为 50.64% ~54.65%,平均为 52.89%;MgO 含量为 16.27% ~19.80%,平均为 17.74%;CaO 的含量变化不大为 10.70% ~11.87%,平均值为 11.41%;FeO 含量变化为 6.70% ~11.42%(见表 2)。角闪石同样具有较高的 Mg/(Mg+TFe)比值为 0.72 ~0.82,平均为 0.76。从测试成分可以看出,由闪长玢岩到浅色花岗斑岩,其含的角闪石的 SiO_2、MgO 含量在升高,而 FeO、Al_2O_3 含量降低。依据 Leake 等(1997)的分类方案,这些闪石全为钙质闪石亚族,由于受到后期成矿热液蚀变的影响,角闪石种属有从镁角闪石变化到透闪石、阳起石的趋势。

4.3　钾长石

钾长石斑晶较大,最大值可达 10mm×50 mm,也可见有部分小斑晶长石(图 2d);手标本为肉红色,部分钾长石因粘土化颜色变浅;呈自形板柱状,表面或边部具灰白色点,常见细粒土状质点(泥化),为后期蚀变产物,部分颗粒局部表现较强烈绢云母化。主要为单个斑晶,少见聚斑晶,但可见变斑晶结构,部分钾长石斑晶颗粒有熔蚀再生长现象,在钾长石颗粒边缘中常包含基质中的细粒石英或/和小钾长石。钾长石化学成分表明其基本不含 CaO(0.06% ~0.38%),Ab 端元组分(4.47% ~18.77%),Or 为(80.23% ~95.19%)(表 3)。同时黑云母花岗斑岩中钾长石含有 Sr、Ba,而浅色花岗斑岩中不含,可能反映了其形成环境中流体的差异。

表 2　角闪石电子探针分析结果(w_B/%)

Table 2　Electron microprobe analyses of amphibole

样品	岩性	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	Σ	P/kbar
802-B1-1-1	1	53.28	0.39	2.73	10.86	0.35	17.20	11.23	0.61	0.30	96.95	
802-B1-2-3		50.92	0.40	5.44	11.42	0.18	16.40	11.62	0.97	0.54	97.89	1.38
802-B1-2-6 *		52.59	0.59	3.83	10.35	0.40	16.73	11.63	0.62	0.26	97.00	
802-B1-2-7 *		50.64	0.54	5.42	10.81	0.26	16.27	11.68	1.07	0.51	97.20	1.39
802-B1-3-3		52.65	0.13	4.45	10.17	0.26	16.75	11.87	0.63	0.17	97.08	
802-B1-5-1		53.34	0.21	3.27	10.30	0.21	17.36	11.50	0.63	0.28	97.10	
005-B14-1-1	3	54.18	0.35	2.77	8.55	0.29	19.13	10.98	0.73	0.20	97.18	
005-B14-1-4		54.65	0.40	2.12	10.20	0.44	18.20	10.89	0.31	0.25	97.46	
005-B14-2-1		54.50	0.25		8.01	0.49	19.80	11.51	0.39	0.25	95.20	
005-B14-5-1		52.77	0.45	2.77	10.33	0.16	18.36	10.70	0.82	0.14	96.50	
004-77-1-1 *		52.23	0.47	5.26	6.70	0.24	18.97	11.86	0.62	0.23	96.58	1.18

* 为用于角闪石全铝压力计算样品。

表 3 钾长石电子探针分析结果(w_B/%)

Table 3 Electron microprobe analyses of feldspar

样品	岩性	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	Na_2O	K_2O	SrO	BaO	Σ	Ab	Or	An
004-465-6-2	2	63.52		18.06	0.67	0.12	0.71	15.57		0.52	99.17	6.44	92.96	0.60
004-497-13-8		64.95	0.06	17.84	0.07	0.10	1.52	14.44	0.78		99.76	13.72	85.78	0.50
004-505A-1-15		65.27		17.49	0.20	0.07	0.50	16.19	0.62	0.16	100.50	4.47	95.19	0.35
004-536-1-14		65.39	0.09	17.65			1.72	14.81			99.66	15.00	85.00	0.00
409-B28-1-5		64.36	0.22	18.46	0.31	0.06	2.09	13.70		1.10	100.30	18.77	80.94	0.30
409-B14-1-2	3	65.35		17.82		0.12	1.62	14.84			99.75	14.15	85.27	0.58
409-B14-1-6		64.12	0.05	17.67		0.13	1.76	14.68			98.41	15.32	84.06	0.63
409-B19-1-1		64.74	0.04	18.09	0.19	0.29	1.61	14.99			99.95	13.84	84.78	1.38
409-B9-7-2		65.82		18.17			1.25	15.04			100.28	11.21	88.79	0.00
409-B14-1		66.00		18.19	0.04	0.38	2.22	14.99			101.82	18.06	80.23	1.71

4.4 斜长石

斜长石斑晶的粒度大小不一,自形到它形板状、粒状,镜下为无色透明,可见有小颗粒斜长石组成的聚斑晶;由电子探针测试数据可知纳日贡玛斜长石斑晶主要为中长石、更长石和钠长石,且各岩性中的斜长石成分组成变化不大(表 4),其中斜长石斑晶边缘和基质中的斜长石为钠长石,为纳长石化蚀变的产物。斜长石双晶发育,表现为聚片双晶和卡式复合双晶。斜长石斑晶中的环带极为发育(图 2e),电子探针化学测试成分表明为正环带;斜长石大斑晶较为新鲜,部分发生绿泥石化、绢云母化、绿帘石化、高岭土化等蚀变。

4.5 石英

纳日贡玛斑岩中石英斑晶粒度变化比较大,以等轴粒状或浑圆状为主;手标本为乳白色,镜下观察无色透明;熔蚀强烈,颗粒边部常呈港湾状;各种形式的再生长现象也较为常见,边部常包含基质中的细粒石英颗粒(图 2f);熔蚀部分被基质所充填,波状消光强烈;局部微裂隙发育并被绢云母所充填,一般较洁净,含细小的气液包裹体。

4.6 其他副矿物

磁铁矿:常呈黑色或黑褐色,多为细小的粒状,分布于斑岩中,常与石英、长石等共生;一般情况下,磁铁矿容易被氧化为褐铁矿。

磷灰石:多为半自形-自形柱状或针状,也有被熔蚀浑圆状,六方柱发育。

金红石:斑岩中金红石呈灰白色,非均质性强,可见橘红色内反射,或仅透明而无色。多为它形-

表 4 斜长石电子探针分析结果(w_B/%)

Table 4 Electron microprobe analyses of plagioclase

样品	岩性	SiO_2	Al_2O_3	FeO	CaO	Na_2O	K_2O	Σ	Ab	Or	An
802-B1-1-3	1	58.95	24.98	0.27	6.54	8.90	0.16	99.80	70.53	0.83	28.64
802-B1-2-8		58.34	25.35	0.43	7.27	8.12	0.14	99.65	66.40	0.75	32.85
802-B1-3-4		59.16	25.33	0.25	7.21	8.42	0.14	100.51	67.38	0.74	31.88
802-B1-5-4		66.09	18.74	0.09	1.12	12.76	0.20	99.00	94.44	0.97	4.58
004-536-1-10	2	61.90	22.66	0.08	4.12	9.86	0.77	99.39	77.99	4.01	18.01
004-536-2-1		61.72	22.61	0.18	4.42	10.26	0.65	99.84	78.14	3.26	18.60
005-B27-1-1		63.99	21.28	0.19	2.60	10.71	0.33	99.10	86.62	1.76	11.62
409-B29-3-1		56.55	26.93		8.49	7.39	0.35	99.71	60.02	1.87	38.11
409-B29-3-2		58.78	25.23	0.29	6.57	8.60	0.10	99.57	69.94	0.54	29.53
409-B29-4-1		61.50	22.69	0.16	4.68	10.65	0.26	99.94	79.43	1.28	19.29
409-B29-7-1		66.20	20.15		1.88	11.84	0.17	100.24	91.14	0.86	8.00

半自形柱状及针状,常沿黑云母解理裂隙充填分布。

5　讨论

5.1　岩石成因

西南三江斑岩铜矿带形成于陆-陆碰撞造山背景下,地质工作者们已对其开展了较为系统的地质勘探和科学研究工作,但针对成矿带中含矿斑岩成因仍存在较大的争议,现在主要存在以下几种认识:幔源岩浆同化混染模式、加厚下地壳部分熔融模式、俯冲板片部分熔融模式、壳幔过渡带部分熔融模式等(姜耀辉等,2006;杨志明等,2008;张玉泉等,2000;邓万明等,2001;Hou,2003)。

Whalen 与 Chappell(1988)提出以黑云母的 Al^{VI} 的含量来划分 S 型与 I 型花岗岩,认为 S 型花岗岩中的黑云母具有较高的 Al^{VI}(0.353 ~ 0.561),而 I 型花岗岩中黑云母则具有较低的 Al^{VI}(0.144 ~ 0.224)。纳日贡玛黑云母斑晶化学测试表明,Al^{VI} 含量为(0.000 ~ 0.199),平均为 0.054。因此可认为其属于 I 型花岗岩的黑云母。徐克勤等(1982)依据岩石中黑云母的氧化系数($Fe^{3+}/(Fe^{2+}+Fe^{3+})$)和 $Mg^{\#}(Mg/Mg+Fe^{2+}+Fe^{3+})$ 的比值划分 I 型与 S 型花岗岩,I 型花岗岩中黑云母具有较高的氧化系数(0.252 ~ 0.121)及同样高的 $Mg^{\#}$ 比值(0.384 ~ 0.626),而 S 型花岗岩中则较低。纳日贡玛黑云母斑晶氧化系数为(0.130 ~ 0.484)及 $Mg^{\#}$ 为(0.544 ~ 0.764),同样表明纳日贡玛斑岩属于 I 型花岗岩。化学成分测试表明纳日贡玛斑岩中的角闪石具有低的 Ti(<0.06)、高的 Mg/(Mg+Fe)值(0.59 ~ 0.71),同样指示其为 I 型花岗岩,而非 S 型或 A 型(Clemens,1984;White,1983)。

据丁孝石(1988)研究,典型幔源黑云母中 MgO >15%,壳源黑云母中 MgO<6%,本次工作所测样品中 MgO 的含量变化于 11.18% ~ 18.10%,平均为 14.54%,可见具有壳幔过渡特点。在黑云母 TFeO/(TFeO + MgO) - MgO 图解中(图 4),纳日贡玛钼(铜)矿床斑岩中的黑云母主要投点于壳幔混源区,部分样品落入幔源区。同样于角闪石 $w(Al_2O_3)/\%$ -$w(TiO_2)/\%$ 图解中(图 5),本区角闪石主要落于壳幔混源区,部分测点落在壳源区,对角闪石的的投点可能要考虑到后期热液蚀变影响。

角闪石及黑云母为岩体岩浆结晶过程的产物,其化学成分组成受岩浆结晶物理化学条件的限定;如温度压力的变化将导致角闪石中 Al 和 Ti 的变化,因此可利用角闪石、黑云母的化学成份对岩体岩浆结晶时的物理化学条件进行约束。

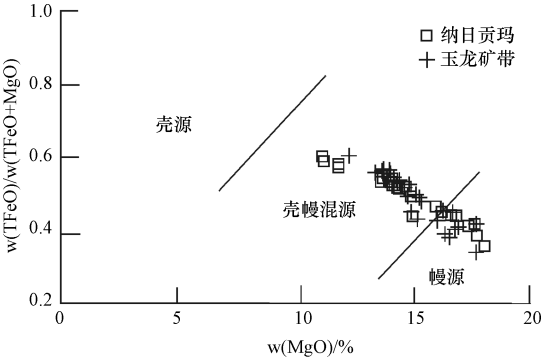


图 4　黑云母 TFeO/(TFeO+MgO)-MgO 图解(底图据周作侠,1986)

Fig4　TFeO/(TFeO+MgO)-MgO diagram of biotites (after Zhou,1986)

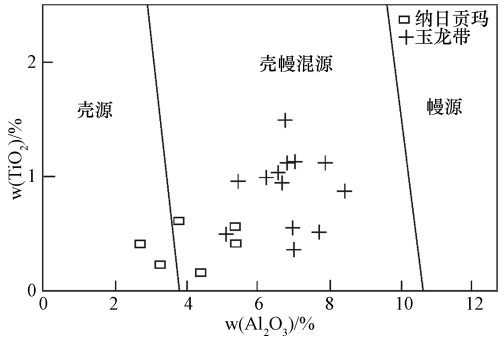


图 5　角闪石 $w(Al_2O_3)/\%-w(TiO_2)/\%$ 图解(底图据陈光运等,1993)

Fig 5　$w(Al_2O_3)/\%-w(TiO_2)/\%$ diagram of amphibole (after Chen *et al.*,1993)

本文角闪石结晶压力计算采用 Schmidt(1992)通过实验对 Hammarstrom 和 Zen(1986)铝压力计公式改进后的压力方程:$P = (-3.01 + 4.76Al^T) \times 10^8$ Pa,计算结果显示其结晶时的压力值为 1.18 ~ 1.39×10^8 Pa,大致相当于 3.89 ~ 4.58km 深度,这说明岩浆房深度为 5km 左右;采用 Herry(2005)提出的 Ti-Mg/(Fe+Mg)图解研究岩体的结晶温度,闪长玢岩和黑云母花岗斑岩的计算温度为 550℃ ~ 650℃,而浅色花岗斑岩则下降为 500℃ ~ 550℃,但考虑到花岗岩的固相线温度,本文所计算的黑云母结晶温度值可能因岩浆演化过程中黑云母 TiO_2 含量的逐渐降低而比实际值偏低。

5.2　构造背景

Abdel 与 Rahman(1994)统计了世界很多不同类型花岗岩中黑云母的化学组成,认为非造山碱性花岗岩产于高温、无水的环境,不利于早期磁铁矿及

钛铁氧化物的晶出,故晚期晶出的黑云母具有富 Fe 的特征;而造山带的钙碱性岩系则与俯冲有关,俯冲过程中产生富水流体从而有利于磁铁矿的早期晶出,导致晚期晶出的黑云母具有富 Mg、相对富 Al 和贫 Ti 的特征,从而提出利用黑云母的 TFeO-MgO-Al_2O_3 组成来划分花岗岩的成岩构造背景。将纳日贡玛黑云母投影于 TFeO-MgO-Al_2O_3 图解上(图 6),发现其均投入到造山带钙碱性花岗岩(C)中。

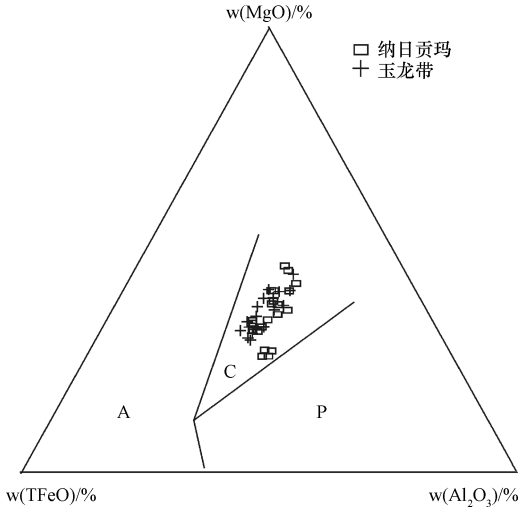


图 6 黑云母 TFeO-MgO-Al_2O_3 图解

(底图据 Abdel and Rahman,1994)

Fig 6 TFeO-MgO-Al_2O_3 diagram of biotites

(after Abdel and Rahman,1994)

A-非造山带碱性花岗岩中黑云母区;P-过铝性花岗岩(包括 S 型)中黑云母区;C-造山带钙碱性花岗岩中黑云母区

A-area of biltite in alkali granite of the non-orogenic;P-area of biotite in peraluninous(including S-type);C-area of biotite in calc-alkaline granite of the orogenic belt

研究表明,自始新世以来,在印度-亚洲大陆的持续会聚和南北挤压背景下,构造上夹持于金沙江缝合带与班公湖-怒江缝合带之间的羌塘地体,以大陆内部地体间的相对运动为主,以此来吸纳和调节印度-亚洲大陆碰撞应力应变的构造转换,构造上以陆内俯冲和逆冲-推覆-走滑活动为特征。Hou 等(2003)认为研究区内(纳日贡玛-玉龙)走滑断裂系统导致了应力的释放及走滑拉分盆地的形成,地壳深大尺度的走滑断裂导致减压作用而引发富含挥发份的含矿岩浆上涌,控制着新生代含矿斑岩的侵入分布。

王召林等(2008)测试纳日贡玛辉钼矿 Re-Os 年龄为 40.86±0.85Ma;杨志明等(2008)测试锆石 U-Pb 年龄为 43.3±0.5Ma。综上分析,可认为纳日贡玛斑岩源区存在俯冲板片的交代及软流圈物质的注入,壳幔过渡带岩浆源区的部分熔融形成含矿斑岩岩浆,富含挥发份的含矿岩浆沿深大尺度的走滑断裂上侵就位成矿。

5.3 指示找矿意义

由于黑云母、角闪石具有特殊的层状、链状结构和多元素的广泛类质同像替换,其化学成分特点及其演化与寄生岩浆物理化学条件的变化息息相关。如 Takahashi 等(1980)即提出由于含矿斑岩 f(O_2)高,故斑岩中黑云母斑晶均为富镁系列(如镁黑云母和金云母等)。因此斑岩中的黑云母可以灵敏地指示不同矿化类型及其成矿关系,并可作为某些矿床的找矿标志,为找矿提供指示意义(吕伯西等,1993)。

化学成分测试表明纳日贡玛黑云母斑晶成分高 MgO 而低 FeO,具有较高的 Mg/(Mg+Mn+TFe)比值(0.54~0.77,平均 0.65);TiO_2 含量较高(1.36%~3.97%,平均 3.04%);Al_2O_3 含量基本低于 15%;CaO 含量较低(0.10%~0.25%);并且含有较高的挥发份(F:0.41%~2.02%;Cl:0.09%~0.27%)。纳日贡玛含矿斑岩体中黑云母 Mg/Fe、Ti、Al、K、Na、Ca 及 F、Cl 等元素含量/比值,完全符合秦克章等(2009)所总结的利用黑云母的化学组成及主要元素的相关比值来判别斑岩铜矿含矿性的相关规律,展现了纳日贡玛矿区良好的含矿性。

青海南部以纳日贡玛含矿斑岩体为中心的斑岩-矽卡岩型铜钼矿带经岩石地球化学、成矿年代学及构造演化等方面研究(王召林等,2008;杨志明等,2008),认为与玉龙矿带受控于统一的动力学机制,具有统一的源区,具有明显的时空与成因关系,初步认为其为玉龙铜矿带的北延。但对两者之间的相关性及差异性还缺乏深入的认识。经收集玉龙矿带的矿物学数据及与纳日贡玛进行对比,可以看出两者斑岩矿物学特征具有相似性,但同时也存在着差异。如两斑岩体中主要的矿物类型及种属是相似的,黑云母斑晶为含铁金云母和富镁黑云母;角闪石为镁角闪石、透闪石、阳起石;斜长石主要为钠长石,中更长石(图 3)。黑云母及角闪石所反映的岩浆源区主要投入壳幔混源区,但纳日贡玛更向壳源区靠近,而玉龙矿带则更靠近幔源区(图 4、图 5)。角闪石结晶压力计算纳日贡玛压力值为 1.1810^8~1.39×10^8Pa,大致相当于 5km 深度;而玉龙为 1.40×10^8~3.00×10^8Pa,大致相当于 7km 深度(姜耀辉等,2006)。黑云母结晶温度计算纳日贡玛为 500℃~

650℃,而玉龙则为 860℃ ~960℃(马鸿文,1990)。上述纳日贡玛与玉龙矿带矿物学特征的差异可能反映了两者于岩浆源区、成岩物质来源及岩浆结晶时温压条件等方面的差异,这与杨志明等(2008)通过岩石地球化学研究认为纳日贡玛、玉龙带、囊谦火山岩岩石地球化学特征的差异反映了成岩源区中壳幔物质混合比例的不同是一致的,而这种差异是否直接导致了纳日贡玛矿种以钼为主,而玉龙以铜为主还有待进一步的研究。

6　结论

(1) 纳日贡玛钼(铜)矿床含矿斑岩为黑云母花岗斑岩、浅色细粒花岗斑岩及石英闪长玢岩。斑岩中黑云母斑晶种属为含铁金云母和富镁黑云母,角闪石种属为镁角闪石、透闪石、阳起石。矿物学特征表明,纳日贡玛含矿斑岩属于 I 型花岗岩类,由幔源岩浆同熔壳源物质而形成;斑岩结晶压力值为 1.18×10^{8} ~ 1.39×10^{8}Pa;闪长玢岩和黑云母花岗斑岩的结晶温度为 550℃ ~650℃,而浅色花岗斑岩则下降为 500℃ ~550℃。

(2) 斑岩中黑云母的 Mg/Fe、Ti、Al、K、Na、Ca 及 F、Cl 等元素含量及比值可以显示出纳日贡玛具有良好的含矿性。与玉龙成矿带相比,纳日贡玛结晶压力、温度都较玉龙矿带低,反映纳日贡玛结晶岩浆房更靠近地表。纳日贡玛岩浆源区向壳源区靠近,而玉龙矿带则更靠近幔源区,表明两者在成岩源区壳幔物质混合比例的不同。

致谢　本研究的野外工作得到青海地调院王富春、王贵仁等工程师的帮助,室内工作得到曾敏博士等的帮助,同时匿名审稿人对稿件提出了宝贵的修改意见,在此一并表示感谢。

[References]

Chen Jian-ping, Tang Ju-xing, Chen Yong, Li Bao-hua, Shan Beichuan. 2008. Geological Characteristics and Metallogenic Model of the Narigongma Copper-Molybdenum Deposit in the North Part of the Sanjiang Region, Southwest China[J]. Geoscience, 22(1): 1-9

Clemens JD WV. 1984. Origin and evolution of a peralum ignous silicic ignimbrite suite: the violet town volcanics[J]. Contrib Mineral Petrol, 88: 354-371

Deng Wan-ming, Sun Hong-juan, Zhang Yu-quan. 2001. Petrogenesis of cenozoic potassicbolcanic rocks in Nangqen basin [J]. Chinese Journal of Geology, 36 (3): 304-318

Ding Xiao-shi. 1988. various types of biotite granite characteristics and its geological significance, central and southern Tibet[J]. Pub Institute of Geology, Chinese Academy of Geological, 1: 33-50

Hou Zeng-qian, Yang Zhu-shen, Xu Wen-yi, Mo Xuan-xue, Ding Lin, Gao Yong-feng, Dong Fang-liu, Li Guang-ming, Qu Xiao-ming, Li Guang-ming, Zhao Zhi-dan, Jiang Si-hong, Meng Xiang-jin, Li Zhen-qing, Qin Ke-zhang, Yang Zhi-zing. 2006. Metallogenesis in Tibetan coll isional orogenic belt: Ⅰ. Mineral izationin main coll isional orogenic setting[J]. Mineralium Deposita, 25(4): 337-357

Hou ZQ MH, Zaw K. 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: produced by large-scale strike-slip faulting at Eastern Tibet[J]. Economic Geology, 98: 125-145

Jiang Yao-hui, Jiang Shao-yong, Dai Bao-zhang, Ling Hong-fei. 2006. Comparisopn on elemental and isotopic geochemistry of ore-bearing and barren porphyries. Acta Petrologica Sinica, 22 (10): 2561 - 2566.

Jiang Yao-hui, Jiang Shao-yong, Ling Hong-fei, Dai Bao-zhang. 2006. Petrogenesis of Cu-bearing porpyry associated with continent-continent collisional setting: Evidence from the Yulong porphyry Cu Ore-belt, east Tibet. Acta Petrologica Sinica, 22(3): 697-706

Jiang Yao-hai, Jiang Shao-yong, Liang Hong-fei. 2006. Low-degree melting of a metasomatized lithospheric mantle for the origin of Cenozoic Yulong monzogranite-porphyty, east Tibet: Geochemical and Sr-Nd-Pb-Hf isotopic constraints[J]. Earth and Planetary Science Letters, 241: 617-633

Leake BE WA, Arps CES. 1997. Nomenclature of amphiboles: report of the Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association, Commission on New Mineral and Mineral names[J]. American Mineralogist, 82: 1019-1037

Lu Bo-xi, Wang Zheng, Zhang Neng-de. 1993. Granitoids in the Sanjiang Region and Their Metallogenic Specialization[M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-337

Ma Hong-wen. 1990. Granitoid and mineralization of the Yulong porphyry copper belt in eastern Tibet[M]. Wuhan: China university of Geoscience Publishing House: 1-157

Qin Ke-zhang, Zhang Lian-chang, Ding Kui-shou, Ding Kiu-shou, Xu Ying-xia, Tang Dong-mei, Xu Xing-wang, Ma Tian-lin, Li Guang-ming. 2009. Mineralization type, Petrogenesis of ore-bearing intrusions and mineralogical characteristics of Sanchakou copper deposits in eastern Tianshan[J]. Acra Petrologica Sinica, 25(4): 845-861

Rui Zong-yao, Hou Zeng-qian, Li Guang-ming. 2006. Subdution, collision, deep fracture, Adakite and porphyry copper deposits. [J]. Geology and prospecting, (1): 1-6

Schmidt M. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: An experimental colibration of the Al-in-hornblende barometer [J]. Contribution to Mineralogy and Petrology, 110: 304-310

Takahashi M AS, Ishihara S. 1980. Magnetite-series/ilmenite-series vs I-type/S-type granitoids[J]. Mining Geology Special Issue8 (13-28)

Tang Ren-li, Luo Huai-song. 1995. The geology of Yulong porphyry copper(molybdenum) ore belt, Xizang(Tibet) [M]. Beijing: Geological Publishing House: 1-320

Wang Zhao-lin, Yang Zhi-ming, Yang Zhu-sen , Tian Shi-hong, Liu Ying-chao, Ma Yan-qing, Wang Gui-ren, Qu Wen-jun. 2008. Narigongma prophery molybdenite copper deposit, northern extension of Yulong copper belt: evidence from the age of Re-Os isotope[J]. Ac-

ta Petrologica Sinica,24(3):503-510

Whalen JB CB. Opaque mineralogy and mafic mineral chemistry of I-ad S-type granites of Lachlan fold belt, southeast Australia[J]. American Mineralogist,1988,73(3):281-296

White AJR CB. 1983. Granitoid types and their dirtribution in the Lachlan Fold Belt, southeastern Australia[J]. MemGeol Soc Am,159(21-34)

Xu Ke-qin, Sun Ding, Wang De-zi, Ye Jun. 1982. Characteristics of two different granite rock in South China[J]. Rocks, Minerals and Testing,1(2):1-12

Yang Zhi-ming, Hou Zeng-qian, Yang Zhu-sen, Wang Shu-xian, Wang Gui-ren, Tian Shi-hong, Wen De-yin, Wang Zhao-lin, Liu Ying-chao. 2008. Genesis of porphyries and tectonic controls on the Narigongma prophyry Mo-Cu deposit, southern Qinghai[J]. Acta Petrologica Sinica,24(3):489-502

Yin A. 2000. Geologic evolutin of the Himalayan-Tibetan orogen[J]. Earth Planet sci,28: 211-280.

Zhang Xin, Zhang Han-cheng, Zhang Bao-chen. 2008. Ponderation of mineral resources exploration in the western China: A case study from Qinghai probince.[J]. Geology and prospecting,44(5):37-42

Zhang Yu-quan, Xie Ying-wen, Li Xian-hua. 2003. Isotope characteristics of Shoshonitic rocks in eastern Qinghai-Tibet Plateau magmatic rocks: Petrogenesis and tectonic significance[J]. Science in China, Ser. D,30(5):493-499

[附中文参考文献]

陈建平,唐菊兴,陈 勇,李葆华,尚北川. 2008. 西南三江北段纳日贡玛铜钼矿床地质特征与成矿模式[J]. 现代地质,22(1):1-9

邓万明,孙宏娟,张玉泉. 2001. 囊谦盆地新生代钾质火山岩成因岩石学研究[J]. 地质科学, 36(3):304-318

丁孝石. 1988. 西藏中南部各类花岗岩中黑云母标型特征及其地质意义[J]. 中国地质科学院矿床地质研究所所刊,1:33-50

侯增谦,杨竹森,徐文艺,莫宣学,丁 林,高永丰,董方浏,李光明,曲晓明,赵志丹,江思宏,孟祥金,李振清,秦克章,杨志明. 2006. 青藏高原碰撞造山带:I. 主碰撞造山成矿作用[J]. 矿床地质,25(4):337-357

姜耀辉,蒋少涌,戴宝章,凌洪飞. 2006. 玉龙斑岩铜矿含矿与非含矿斑岩元素和同位素地球化学对比研究[J]. 岩石学报,22(10):2561-2566

姜耀辉,蒋少涌,凌洪飞,戴宝章. 2006. 陆-陆碰撞造山环境下含铜斑岩岩石成因-以藏东玉龙斑岩铜矿带为例[J]. 岩石学报,22(3):697-706

吕伯西,王 增,张能德. 1993. 三江地区花岗岩类及其成矿专属性[M]. 北京:地质出版社:1-337

马鸿文. 1990. 西藏玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿[M]. 北京:中国地质大学出版社:1-157

秦克章,张连昌,丁奎首,丁奎首,许英霞,唐冬梅,徐兴旺,马天林,李光明. 2009. 东天山三岔口铜矿床类型、赋矿岩石成因与矿床矿物学特征[J]. 岩石学报,25(4):845-861

芮宗瑶,侯增谦,李光明. 2006. 俯冲、碰撞、深断裂和埃达克岩与斑岩铜矿[J]. 地质与勘探,(1):1-6

唐仁鲤,罗怀松. 1995. 西藏玉龙斑岩铜(钼)矿带地质[J]. 北京:地质出版社:1-320

王召林,杨志明,杨竹森,田世洪,刘英超,马彦青,王贵仁,屈文俊. 2008. 纳日贡玛斑岩钼铜矿床:玉龙铜矿带的北延-来自辉钼矿 Re-Os 同位素年龄的证据[J]. 岩石学报. 24(3):503-510

徐克勤,孙 鼐,王德滋,叶 俊. 1982. 华南两类不同成因花岗岩岩石学特征[J]. 岩石矿物及测试,1(2):1-12

杨志明,侯增谦,杨竹森,王淑贤,王贵仁,田世洪,温德银,王召林,刘英超. 2008. 青海纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床:岩石成因衣构造控制[J]. 岩石学报,24(3):489-502

张 信,张汉成,张宝琛. 2008. 对青海省矿产资源勘查的思考[J]. 地质与勘探. 44(5):37-42

张玉泉,谢应雯,李献华. 2000. 青藏高原东部钾玄岩系岩浆岩同位素特征:岩石成因及其构造意义[J]. 中国科学 D 辑,30(5):493-499

Mineralogical Features of Porphyries in the Narigongma Mo(-Cu) Deposit, Southern Qinghai and their Implications for Petrogenesis and Mineralization

HAO Jin-hua[1,2], CHEN Jian-ping[1,2], TIAN Yong-ge[3], LI Yu-long[3], YIN Jing-wu[1]

(1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resource, China University of Geosciences, Beijing* 100083;
2. *Institute of Land Resources and High Techniques, China University of Geosciences, Beijing* 100083;
3. *Qinghai Geological Survey Institute, Xining* 810012)

Abstract: This paper focuses on the study of the ore-bearing porphyry of the Narigongma deposit through mineralogical and geochemical analyses. The result reveals that the biotite phenocrysts in the deposit are ferri-phologopite or magnesium-rich biotite and the amphiboles are magnesium amphiboles, tremolites or actinolites. The porphyry should be classified as I-type granite, which was originated from the mantle, meanwhile assimilated crustal material is also present. The crystallization pressure of the porphyry is 1.18 ~ 1.39×108Pa. The crystallization temperature of the biotite porphyry is estimated to be 550℃ ~ 650℃, whereas that of the leucogranitic porphyry is about 500℃ ~ 550℃. The geochemical characteristics regarding ratio Mg/Fe and contents of Ti, Al, K, Na, Ca, F and Cl suggest favorable ore-forming potential in the Narigongma deposit. The crystallization temperature and pressure are both lower than that in the Yulong ore-forming belt, which indicates that the former was probably developed shallower than the latter. Besides, the inferred difference in the forming depth also suggests that more crustal material had contributed in the formation of the shallower Narigongma deposit.

Key words: mineralogy, biotite, petrogenetic and metallogenic, Narigongma, Southern Qinghai