

西南三江北段纳日贡玛铜钼矿床地质特征与成矿模式

陈建平^{1,2}, 唐菊兴³, 陈勇^{1,2}, 李葆华⁴, 尚北川^{1,2}

(1. 中国地质大学 国土资源与高新技术研究中心, 北京 100083; 2. 中国地质大学 北京市国土资源信息开发研究重点实验室, 北京 100083; 3. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037; 4. 成都理工大学 地球科学学院, 四川 成都 610059)

摘要: 纳日贡玛铜钼矿床是位于三江成矿带的大型铜(钼)矿床。虽然该矿床在找矿工作上取得重大突破, 但关于矿床成矿模式的理论研究较少。在总结矿床地质特征的基础上, 对矿区内花岗斑岩的矿物岩石化学成分、微量元素和稀土元素特征进行分析, 测试包裹体均一温度、盐度、化学成分及 C、H、O 同位素组成, 探讨其热液蚀变类型及分带特征。结果表明: 该矿床为斑岩型铜钼矿床, 其成矿物质主要来源于花岗斑岩体, 成矿流体为岩浆水和大气降水组成的混合热液。在此基础上, 提出了纳日贡玛铜钼矿床的成矿模式, 利用 Micromine 软件建立了矿床三维立体模型, 其成果为矿床成因的认识与找矿工作提供了参考。

关键词: 纳日贡玛铜钼矿床; 成矿模式; 斑岩型矿床; 三维矿床模型; 三江成矿带

中图分类号: P618.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-8527(2008)01-0009-09

Geological Characteristics and Metallogenic Model of the Narigongma Copper-Molybdenum Deposit in the North Part of the Sanjiang Region, Southwest China

CHEN Jian-ping^{1,2}, TANG Ju-xing³, CHEN Yong^{1,2}, LI Bao-hua⁴, SHANG Bei-chuan^{1,2}

(1. Institute of Land Resources and High Techniques, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Beijing Key Laboratory of Research and Exploration Information of Land Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

3. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China;

4. College of Earth Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Narigongma is a large Cu-Mo deposit found in the Sanjiang metallogenic belt. Although breakthrough has been made in the exploration work, few studies have been devoted to the theoretical research for the mineralization. Based on the study of the geological characteristics of the Narigongma Cu-Mo deposit, the authors analyze the geochemical components of the ore-bearing rock, characteristics of trace elements and rare earth elements, measure the homogenization temperature, salinity, chemical composition, as well as C, H, and O isotopic composition of the fluid inclusions, and also discuss the characteristics of the hydrothermal alteration. The result shows that this deposit belongs to porphyry-type Cu-Mo deposits. The ore-forming source comes from the granite porphyry. Metallogenic fluid is composited with magmatic water and atmospheric precipitation. The authors propose the metallogenic model of this deposit, establish the three dimensional model of ore deposit using the Micromine software. The results are significant for realization of the deposit genesis and mineral exploration.

Key words: Narigongma Cu-Mo deposit; metallogenic model; porphyry Cu-Mo deposit; three dimensional deposit model; Sanjiang metallogenic belt

收稿日期: 2007-11-20; 改回日期: 2008-01-05; 责任编辑: 戚开静。

基金项目: 中国地质调查局“西南三江北段重大成矿疑难问题研究”项目(200110200010)。

作者简介: 陈建平, 男, 教授, 博士生导师, 1959 年出生, 地球探测与信息技术专业, 主要从事矿产资源预测与评价研究。

Email: 3s@cugb.edu.cn.

0 引言

纳日贡玛铜钼矿床位于三江北段、唐古拉山脉东段、青海省玉树藏族自治州杂多县境内,是在三江成矿带内发现的又一大型铜钼矿床。从1978年矿区地质普查工作开展至今,找矿工作取得重大进展,该区逐渐成为地质工作者研究的热点,并有大量的认识和研究成果报道^[1-6],但前人这些研究主要是从区域上或矿床某一特定方面展开,缺乏系统性。本文通过对该矿床多方面的特征进行系统分析与研究,提出矿床成矿模式,建立矿区三维数字矿床模型,以期促进矿床理论与矿产勘探工作的深入展开。

1 地质背景

矿区出露二叠系杂岩组(Pgd)中基性火山岩夹碎屑岩,下部主要为紫红色灰绿色玄武岩,上部为杂色玄武质凝灰集块岩、玄武质凝灰岩夹泥质灰岩及泥质粉砂岩。区内岩浆岩发育,有黑云母花岗斑岩、浅色细粒花岗斑岩、石英闪长玢岩等,侵入于二叠系火山岩,其同位素地质年龄为37.2 Ma^[7-8],属喜山期产物;基性、中性和酸性脉岩均有出现,其中基性脉岩为华力西期产物。黑云母花岗斑岩和浅色细粒花岗斑岩为赋矿岩石。含矿岩体、围岩、玄武岩普遍遭受变质和蚀变,形成青磐岩化玄武岩、黄铁矿青磐岩化玄武岩、

角岩化玄武岩、角岩、夕卡岩化等蚀变和变质岩石。矿区构造简单,总体为走向北西、倾向南西的单斜构造。小型断裂和裂隙发育,断裂分为 $\pm 20^\circ$ 、 $35^\circ \sim 50^\circ$ 、 $350^\circ \sim 360^\circ$ 、 $80^\circ \sim 100^\circ$ 共4组,规模均较小(图1)。

2 矿床地质特征

2.1 矿体特征

纳日贡玛铜钼矿床地处三江断裂带西侧格尼涌大断裂与北西向断裂交切部位^[9-10]。矿体主要产于喜山期早期的黑云母花岗斑岩体内($\gamma\pi_6^1$)。该矿区经地表工程共圈出10个矿体,其中铜矿体6个,钼矿体4个。钼矿体主要呈透镜状、条带状赋存于硅化绢云母化黑云母花岗斑岩中,矿体与围岩呈渐变过渡关系。铜矿体主要产于接触带的蚀变玄武岩和硅化高岭土化黑云母花岗斑岩中,一般不与钼矿体重合,形态比较复杂。对各个矿体的储量进行初步计算,结果表明:铜总储量为61.7万t,钼总储量为17.3万t,属大型铜钼矿床。

2.2 矿石特征

根据槽探工程所圈定的10个矿体统计数据,钼平均品位为0.022%~0.229%,达到了工业矿体的品位要求。该矿床的矿石蚀变类型主要为蚀变斑岩型和蚀变玄武岩型。其中,蚀变斑岩型矿石是纳日贡玛铜钼矿床的主要矿石类型,主要产于黑云母二长花岗斑岩体内,除已圈出数个矿体

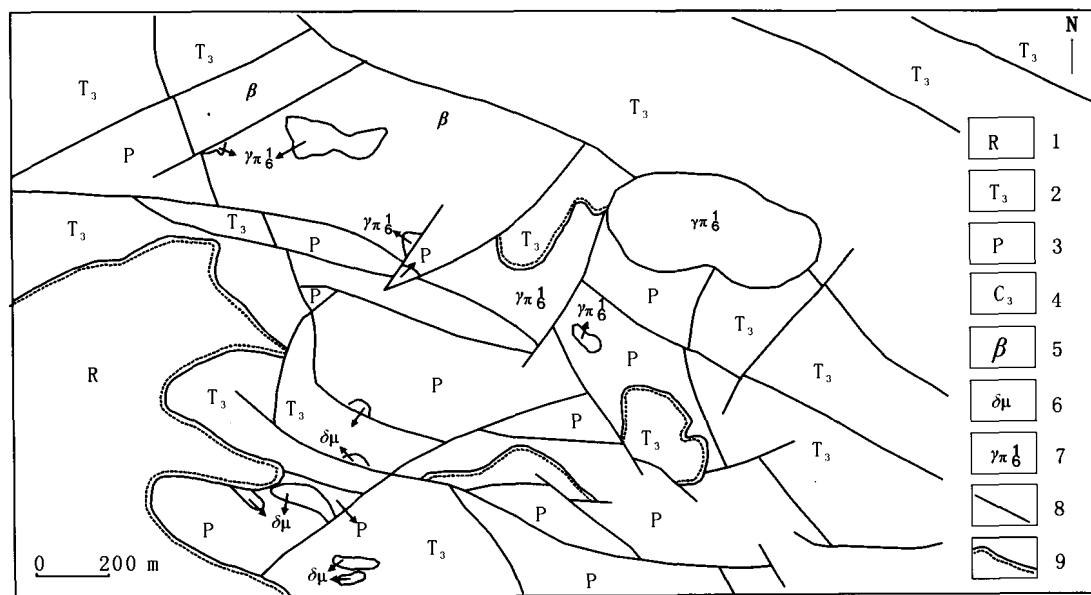


图1 纳日贡玛矿区地质略图

Fig. 1 Schematic geological map of the Narigongma Cu-Mo deposit

1. 第三系; 2. 上三叠统; 3. 二叠系; 4. 上石炭统; 5. 基性熔岩; 6. 闪长玢岩; 7. 喜山早期花岗斑岩; 8. 断裂; 9. 不整合界线

外, 岩体普遍具有弱铜钼矿化; 变玄武岩型矿石产于外接触带, 由玄武岩经夕卡岩化、青磐岩化和矿化而形成。矿石的矿物组成复杂, 矿石矿物主要有辉钼矿、黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿; 脉石矿物主要有黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、磁黄铁矿、毒砂、石英、长石、绢云母、方解石和绿泥石等。同时还有新发现的一些矿物, 如黄锡矿($\text{Cu}_2\text{SnFeS}_4$)、硫锑铅矿($\text{Pb}_3\text{Sb}_4\text{S}_{11}$)、硫铜银矿($\text{Cu}_2\text{Ag}_2\text{S}_2$)、锌锰矿(ZnMn_2O_4)和白钛矿(CaTiSiO_5)等。

该矿床中常见的矿石构造有浸染状、块状、细脉状、土状(粉末状)构造。浸染状构造是矿石的主要构造, 主要表现为辉钼矿、黄铁矿和黄铜矿等硫化物在蚀变黑云母二长花岗斑岩、蚀变玄武岩和石英脉中呈稀疏的星点状分布。

2.3 主要矿物的标型特征

纳日贡玛铜钼矿床的金属矿物主要为辉钼矿和黄铜矿。辉钼矿在矿石中的产出方式主要有: (1)呈细脉浸染状分布于石英绢云母化二长花岗岩中, 并常与石英、黄铁矿和黄铜矿等矿物伴生; (2)断续地分布在石英细脉的两侧边缘或呈星散状分布于石英细脉中。辉钼矿的粒度较小, 一般为 $20\ \mu\text{m} \times 100\ \mu\text{m} \sim 50\ \mu\text{m} \times 250\ \mu\text{m}$, 大者可达 $200\ \mu\text{m} \times 1\ 500\ \mu\text{m}$ 。辉钼矿在反光显微镜下呈白色, 反射率 R 在不同方位时变化很大, $R \approx 22 \sim 44$, 双反射和非均质性都很强, $Ar = 6^\circ 40' \sim 9^\circ$, 相差 $SP = +$, $DAR = V \approx r$, $DRr = V \approx r$, 负突起。一般 2H 型辉钼矿中的 $Ar = 10^\circ 57'$, 反射旋转色散 $DRr = r > V$, 非均质旋转色散 $DAR = r > V$; 3R 型辉钼矿的 $Ar = 9^\circ 34'$, $DRr = r \approx V$, $DAR = r \approx V$ 。可见纳日贡玛矿床中的辉钼矿属 3R 型, 该型矿物一般形成于斑岩型 Cu-Mo 矿床或中—低温热液矿床。

黄铜矿一般呈浸染状或细脉状不均匀地分布在矿石中。黄铜矿粒度大小不一, 粒径约为 $5 \sim 600\ \mu\text{m}$ 。磨光性好, 反射色呈非常鲜艳的黄色或黄绿色, 黄铜矿的颜色越深(即 λ_d 偏大, P_e 也偏大), 其成矿温度越低。本矿区黄铜矿的颜色鲜艳, 反映成矿温度在 $550\ ^\circ\text{C}$ 以下, 集中于 $300\ ^\circ\text{C}$ 左右。

2.4 蚀变类型与分带

纳日贡玛铜钼矿床的热液蚀变类型有: 夕卡岩化、黑云母化、硅化、绢云母化、青磐岩化、粘土化和碳酸盐化, 其中硅化和绢云母化最为发育, 其次是青磐岩化, 其他蚀变较弱且分布不普

遍。根据热液蚀变的发育程度和空间分布特征, 从花岗斑岩中心向玄武岩围岩, 将蚀变分为似千枚岩化带和青磐岩化带。岩体内千枚岩化强烈, 黄铁矿化分布广泛。与典型的斑岩型矿床的蚀变分带相比, 本矿床缺少钾化带和泥化带。钻探揭示, 岩体中心未见新鲜花岗斑岩和钾化带, 这可能是本矿床的剥蚀较浅、钾化带和新鲜岩石尚未出露的缘故。野外观察到的实际上是斑岩系列的中、上部, 而泥化带则易被风化剥蚀。依据含矿岩体的矿物组成、矿化类型、剥蚀深度以及流体包裹体特征建立纳日贡玛铜钼矿床热液蚀变带的理想剖面如图 2 所示。

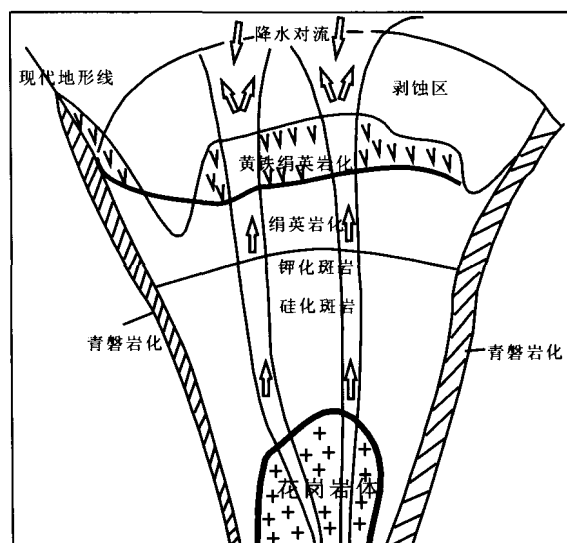


图2 纳日贡玛铜钼矿床热液蚀变带理想剖面

Fig. 2 The ideal hydrothermal alteration zoning profile of the Narigongma Cu-Mo deposit

3 地球化学特征

3.1 花岗斑岩化学特征

矿区中花岗斑岩的 CIPW 标准矿物含量及有关岩石化学指数见表 1, 可以看出花岗斑岩的里特曼指数 δ 变化范围为 $0.71 \sim 2.13$, $\delta < 4$, 属钙碱性。 $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/w(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 比值为 $0.35 \sim 0.51$, < 0.85 , 为钙碱性岩。按斯特雷凯森的 $Or - Ab - An$ 三角图(图 3), 对本区花岗斑岩分类命名, 投点落入碱长花岗岩、钾长花岗岩、二长花岗岩区, 即岩石具有较多的钠长石和钾长石标准矿物分子, 这与岩石富含钾、钠的特点是吻合的。另外, 大多数投点位于中国主要含钼花岗岩分布区, 说明本区花岗斑岩含矿性好。

表 1 纳日贡玛铜钼矿床花岗斑岩 CIPW 标准矿物岩石化学参数

Table 1 CIPW standard mineral petrochemistry parameters of granite porphyry from the Narigongma Cu-Mo deposit

岩石名称	CIPW 标准矿物 ($w_B/\%$)										岩石化学参数	
	Qz	Co	Or	Ab	An	Hy	Mt	Il	Hm	Ap	δ	$w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})/$ $w(\text{Al}_2\text{O}_3)^{[1]}$
黑云二长花岗斑岩	34.42	3.39	28.04	19.44	4.60	5.26	0.45	0.93	0.76	0.37	1.77	0.42
黑云二长花岗斑岩	26.93	1.18	22.84	30.60	7.99	5.79	0.25	1.01		0.41	2.13	0.40
二长花岗斑岩	35.61	3.32	28.92	20.88	2.22	6.05	0.62	0.93		0.37	1.82	0.41
花岗斑岩	40.55	3.45	37.31	13.19	1.77	1.59	0.48	0.15		0.24	1.91	0.51
花岗斑岩	51.79	7.71	25.03	1.69	1.03	1.98	2.40	0.80	0.21	0.10	0.71	0.35

注：数据由四川省冶金地质矿产测试中心测定。

表 2 纳日贡玛铜钼矿床花岗斑岩微量元素含量

Table 2 Trace element content of granite porphyry from the Narigongma Cu-Mo deposit

样号	As	Ba	Cr	Cs	Fe	Hf	K	Na	Rb	Sb	Sc	Ta	Th	U
P8Tc3-4	5.7	477	13.1	9.5	1.84	5.4	4.95	1.170	388	0.97	4.4	1.7	30.7	8.0
NS-15	5.0	498	15.2	4.8	2.91	6.1	2.46	2.380	177	3.90	6.0	1.6	29.4	6.0
P8QJ5-1	5.8	456	9.7	3.0	2.42	5.3	3.66	1.910	181	0.63	3.7	1.9	28.6	3.5
P8Tc3-5	4.7	442	7.3	3.9	0.76	4.4	6.00	1.110	289	1.00	2.1	1.4	30.7	8.4
P8QJ3-1	21.0	475	7.6	6.5	2.75	4.0	3.96	0.119	323	6.80	3.2	0.9	14.3	3.5
玉龙 TR-1		342	59.0				3.96		335					
花岗岩(维)	1.5	830	25.0	5.0	2.70	1.0	3.34	2.770	200	0.26	3.0	3.5	18.0	3.5

样号	Mo	Cu	Au	Ag	Co	Ni	Pb	Zn	Mn
P8Tc3-4	298.00	2 025	0.01	0.64	7.30	20.90	31.3	55.0	292.4
NS-15	6.30	300	0.01	0.43	7.03	14.30	36.0	55.9	156.0
P8QJ5-1	10.80	1 933	0.01	3.16	5.95	10.20	24.4	47.0	36.2
P8Tc3-5	77.90	378	0.01	0.07	4.32	14.30	30.8	75.7	68.4
P8QJ3-1	185.00	2 664	0.01	2.43	10.50	5.62	67.3	56.8	22.4
玉龙 TR-1	86.00	2 379		1.00	11.00	10.00	48.0	12.0	252.0
花岗岩(维)	1.0	20	0.004 5	0.05	5.00	8.00	20.0	60.0	600.0

注：数据由四川省冶金地质矿产测试中心测定，其中 Na、K、Fe 含量单位为%，其余元素含量单位为 10^{-6} 。

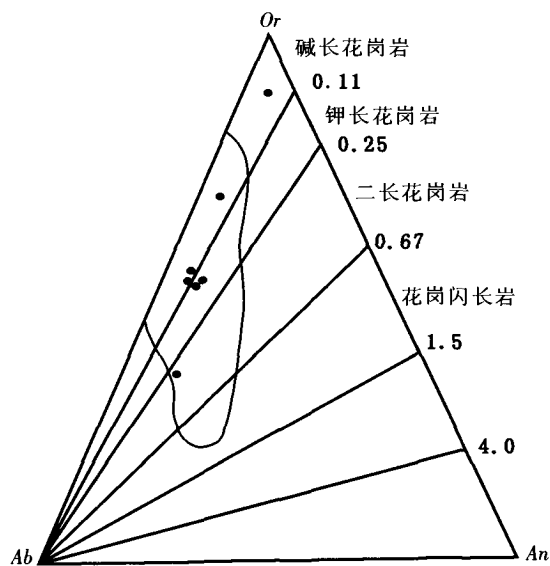


图 3 纳日贡玛铜钼矿床花岗斑岩的 Or-Ab-An 三角图

Fig. 3 Or-Ab-An triangular diagram of granite porphyry from the Narigongma Cu-Mo deposit

3.2 花岗斑岩微量元素特征

本区花岗斑岩的微量元素含量(表 2)特点表明：花岗斑岩、石英二长斑岩中的 Mo、Cu、Au、Ag、Pb、Rb、Cs、Sb、Th、U 等成矿微量元素均高于花岗岩克拉克值，其余微量元素与花岗岩克拉克值相近，说明本区花岗斑岩的含矿性较好。从各种岩石的微量元素含量特征来看，花岗斑岩、石英二长斑岩、黑云母二长斑岩微量元素含量具有一致性，说明它们具有相同的来源和成因特征。

3.3 稀土元素特征

稀土元素具有独特的地球化学特征，在成矿过程中起到“示踪剂”的作用，为成矿物质来源研究提供依据。本研究对矿石、花岗斑岩、玄武岩中稀土元素的含量进行测定(表 3)，花岗斑岩的稀土总量为 $185.120 \times 10^{-6} \sim 271.910 \times 10^{-6}$ ，平均为 228.515×10^{-6} (2 个样品)，明显高于玄武岩的稀土总量($128.315 \times 10^{-6} \sim 137.34 \times 10^{-6}$ ，平均

表 3 纳日贡玛铜钼矿床稀土元素分析结果及其有关计算参数($w_B/10^{-6}$)

Table 3 Trace elements analysis result and related calculated parameters from the Narigongma Cu-Mo deposit

样号	样品名	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm
tc3-4	矿石	47.0	92.1	8.774	29.6	3.79	0.782	2.421	0.414	2.691	0.567 3	1.573	0.230
qj5-1	矿石	46.4	111.0	10.608	39.6	5.02	1.160	3.582	0.566	3.400	0.662 4	1.697	0.229
qj3-1	矿石	39.2	80.0	7.301	24.6	3.35	0.559	1.254	0.211	1.350	0.280 3	0.765	0.110
np1-3	玄武岩	25.0	60.0	6.200	23.0	5.30	1.500	5.200	1.000	4.000	0.940 0	2.600	0.350
qj1-1	玄武岩	23.9	54.8	6.390	25.8	4.85	1.470	2.962	0.497	3.170	0.656 0	1.784	0.256
ns-15	花岗斑岩	69.4	138.0	11.967	38.8	4.09	1.140	2.006	0.353	2.362	0.513 0	1.463	0.220
tc3-5	花岗斑岩	48.4	95.7	7.704	24.0	2.95	0.600	1.403	0.244	1.613	0.346 0	0.975	0.145

样号	样品名	Yb	Lu	ΣREE	ΣLREE	ΣHREE	ΣLREE/ ΣHREE	δEu	δCe	$w(\text{La})_{\text{N}}/$ $w(\text{Yb})_{\text{N}}$	$w(\text{Ce})_{\text{N}}/$ $w(\text{Yb})_{\text{N}}$
tc3-4	矿石	1.400	0.231	191.573	182.046	9.527	19.108	0.739	1.020	22.634	17.016
qj5-1	矿石	1.290	0.184	225.398	213.788	11.610	18.414	0.798	1.161	24.250	22.257
qj3-1	矿石	0.660	0.095	159.735	155.010	4.725	32.807	0.691	1.063	40.043	31.353
np1-3	玄武岩	1.750	0.500	137.340	121.000	16.340	7.405	0.864	1.130	9.631	8.868
qj1-1	玄武岩	1.530	0.249	128.315	117.210	11.105	10.555	1.102	1.048	10.532	9.265
ns-15	花岗斑岩	1.380	0.217	271.910	263.397	8.513	30.941	1.080	1.061	33.905	25.866
tc3-5	花岗斑岩	0.898	0.142	185.120	179.354	5.766	31.105	0.795	1.080	36.337	27.566

注: 样品 np1-3 由西南冶金地质矿产测试中心分析, 其余样品由成都理工大学应用核技术研究所分析。

为 132.828×10^{-6} , 矿石的稀土元素总量与花岗斑岩的一致, 变化范围为 $159.735 \times 10^{-6} \sim 225.398 \times 10^{-6}$, 平均为 192.235×10^{-6} (3 个样品)。

花岗斑岩、玄武岩及矿石中轻稀土含量均明显高于重稀土元素含量。从花岗斑岩、矿石到玄武岩, 其稀土平均值依次减小, 即由 $221.376 \times 10^{-6} \rightarrow 183.615 \times 10^{-6} \rightarrow 119.105 \times 10^{-6}$, 其 $w(\Sigma \text{LREE})/w(\Sigma \text{HREE})$ 比值也依次降低, 即为 $31.023 \rightarrow 23.443 \rightarrow 8.980$, 表明它们均有轻稀土元素富集的特点, 其稀土元素配分型式为右倾型。矿石的稀土元素配分型式明显不同于玄武岩, 而是接近于花岗斑岩, 表明铜钼矿化可能主要与花岗斑岩有关。

$w(\text{Ce})_N/w(\text{Yb})_N$ 和 $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 比值均大于 1, 为轻稀土富集型, 其稀土配分曲线呈右倾, 其中, 花岗斑岩的该比值最大, 分别为 26.716、35.121, 玄武岩的最小, 分别为 9.067、10.082, 矿石的该比值介于两者之间, 分别为 23.542、28.976, 但矿石的 $w(\text{Ce})_N/w(\text{Yb})_N$ 和 $w(\text{La})_N/w(\text{Yb})_N$ 比值与花岗斑岩的比值相一致, 故认为成矿元素 Cu、Mo 主要来源于花岗斑岩。

4 包裹体地球化学特征

4.1 均一温度特征

对本矿床脉石矿物石英中的 137 个包裹体作

了均一温度测定(表 4), 测得变化范围为 $208 \sim 361^\circ\text{C}$, 峰值在 $230 \sim 330^\circ\text{C}$ 之间; 各样品的均一温度平均值为 $246 \sim 300^\circ\text{C}$, 属于典型的中温热液矿床; 同一样品(如样品 P8Tc2-1)中, 花岗斑岩石英斑晶的包裹体均一温度略高于脉石英的包裹体均一温度。在加热过程中气液包裹体中的气泡随着温度升高而逐渐缩小, 最后消失, 均一为液相; 而液气包裹体通常是气相扩大, 均一成气相; 含子矿物的多相包裹体都是均一成液相。这些包裹体均一化状态反映出铜钼矿化作用发生在气相和液相共存的条件下, 但以液相条件为主。

4.2 盐度特征

成矿溶液的盐度一般是指其含盐量, 用所含的 NaCl 质量百分比来表示。各样品的盐度测定结果如表 5 所示。本矿床具有高盐度的特点, NaCl 含量一般为 $31.3\% \sim 42.2\%$, 而且其矿体均产于有高盐度包裹体分布的范围内, 由矿体向外包裹体内的盐度迅速降低。纳日贡玛铜钼矿床矿物中的包裹体特征表明, 它是一个典型的斑岩型矿床。

4.3 成矿流体成分特征

气液包裹体是其所捕获的成矿溶液的天然样品, 对气液包裹体进行液相和气相成分分析, 可以了解成矿流体的化学组成。作者对本矿床中 2 个石英脉取样, 并取 1 个黄铁矿样品, 在双目镜下挑纯, 粒度为 $30 \sim 50$ 目, 质量为 $10 \sim 20$ g, 经

表 4 纳日贡玛铜铅矿床气液水包裹体均一温度测定结果

Table 4 Homogeneous temperature measurements of gas-liquid-water inclusions from the Narigongma Cu-Mo deposit

样号	主矿物	温度范围/℃	测定包裹体数/个	温度平均值/℃	均一相态
P8c1-1	石英	233~338	9	298	液相
NS-11	石英	253~307	9	288	液相
NS-8	石英	230~315	16	281	液相
ZK301-24-2	石英	226~322	10	276	液相
P8Te1-5	石英	208~346	9	268	液相
P8Te2-1	石英斑晶	280~306	4	293	液相或气相
P8Te2-1	石英	232~356	7	277	液相
ZK301-11-10	石英	234~281	12	246	液相
ZK301-11-11	石英	220~320	13	272	液相
ZK301-22-2	石英	257~313	12	271	液相
ZK301-24-9	石英	250~349	11	300	液相
ZK301-24-8	石英	260~361	13	288	液相
P8Te1-5(2)	石英	234~336	12	273	液相或气相

注：数据由成都理工大学包裹体实验室于 2004 年测定。

表 5 纳日贡玛铜铅矿床包裹体盐度测定结果

Table 5 The measured salinity results of inclusions from the Narigongma Cu-Mo deposit

样号	主矿物	盐度变化范围/%	测定包裹体数/个	盐度平均值/%	测定方法
P8c1-1	石英	31.95~36.35	3	34.86	加热法, 测定石盐熔化温度
NS-11	石英	35.51~40.60	5	38.60	加热法, 测定石盐熔化温度
NS-8	石英	33.31~35.07	2	34.19	加热法, 测定石盐熔化温度
P8Te1-5	石英	33.88~38.27	5	35.58	加热法, 测定石盐熔化温度
P8Te1-5(2)	石英	34.11~35.01	2	34.56	加热法, 测定石盐熔化温度
P8Te2-1	石英	32.51~42.22	7	38.47	加热法, 测定石盐熔化温度
ZK301-11-10	石英	31.41~36.41	3	33.14	加热法, 测定石盐熔化温度
ZK301-11-11	石英	31.32~34.29	5	32.91	加热法, 测定石盐熔化温度
ZK301-22-2	石英	32.25~34.95	3	33.85	加热法, 测定石盐熔化温度
ZK301-24-8	石英	25.38~25.46	2	25.42	冷冻法, 测定 NaCl·2H ₂ O 熔化温度
ZK301-11-10	石英	8.27~9.07	3	8.67	冷冻法, 测定冰的融化温度

注：数据由成都理工大学包裹体实验室于 2004 年测定。

表 6 纳日贡玛铜铅矿床包裹体成分分析结果($w_B/10^{-6}$)

Table 6 Inclusion component analysis results of samples from the Narigongma Cu-Mo deposit

样号	主矿物	Li ⁺	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻
P8Te1-5	石英	0.02	1.74	8.07	3.12	0.295	0.44	11.75
ZK301-24	石英	0.01	1.82	9.43	3.15	0.190	0.40	12.78
P8Te3-5	黄铁矿	0.01	1.95	1.85	5.45	0.640	0.21	3.65
样号	主矿物	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	H ₂ O
P8Te1-5	石英	0.00	0.00	0.11	0.90	78.65	0.020	520.25
ZK301-24	石英	0.00	0.00	0.13	0.75	81.24	0.015	550.00
P8Te3-5	黄铁矿	105.60	0.00	0.07	0.55	11.20	0.010	341.37

注：数据由宜昌地质研究所测定。

热爆裂-超声波提取液相成分, 其阳离子含量用日立 180-80AAS 原子吸收光谱法测定; 阴离子含量用日立 220A 紫外/可见光光度计分析, 气相成分用 SP-3420 气相色谱仪分析, 其结果列于表 6 中。由表 6 可知: 液相成分中阳离子以 Na⁺ 为主,

其次是 Ca²⁺ 和 K⁺, 含少量 Mg²⁺ 和微量 Li⁺; 阴离子主要为 Cl⁻, 含少量 F⁻。在 P8Te3-5 样品中, SO₄²⁻ 含量非常高, 原因是受主矿物(黄铁矿)热分解的影响。气相成分以 H₂O 为主, 其次是 CO₂, 含微量 H₂、CO 和 CH₄。根据库尔洛夫分类法, 该矿床

成矿流体属于 Cl-Na-Ca 型水溶液。

4.4 成矿流体的稳定同位素特征

作者对本矿床的主要脉石矿物石英和黄铁矿中的流体包裹体做了碳、氢、氧同位素测定, 其结果列于表 7 中。

表 7 纳日贡玛铜钼矿床流体包裹体的碳、氢、氧同位素组成(‰)

Table 7 The composition of C, H, O isotopes of liquid inclusions from the Narigongma Cu-Mo deposit

样号	主矿物	$\delta^{18}\text{O}_{\text{水}}$	$\delta\text{D}_{\text{水}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{CO}_2}$	计算的沸腾前的 δD
P8Te1-5	石英	2.29	-109.1	2.25	-102.5
ZK301-24	石英	-12.44	-96.9	-2.54	-90.2
P8Te3-5	黄铁矿	9.04	-115.2		-108.7

注: 数据由宜昌地质研究所同位素实验室测试。

从表 7 可以看出: (1) 石英中流体包裹体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-2.54\text{‰} \sim +2.25\text{‰}$, 高于岩浆中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值 ($-8\text{‰} \sim -5\text{‰}$), 这说明成矿流体中的碳可能是岩浆源和沉积源的混合碳^[6]。(2) 所测石英和黄铁矿中流体包裹体的 δD 值均低于岩浆水的 δD 值 ($-80\text{‰} \sim -50\text{‰}$)^[12-13], 在 $\delta^{18}\text{O}$ 值与 δD 值的关系图上(图 4), 投绘点都落在岩浆水的下方。由图中的理论曲线和成矿流体的氢、氧同位素值, 可以得出 2 种水-岩交换的模式: (1) 混合模式, 由两点连接, 其中一个点为岩浆水与花岗斑岩同位素平衡交换的变化区间(M 点), 另一个点为在大气降水 G 变化曲线上取 R 值(水/岩质量比)为 0.1 的点。据杠杆原理, 求得落在该连线上成矿流体的氢、氧同位素组成和成分相当于二端元混合的比例, 确定岩浆水与大气降水混合比例为岩浆水占 28%, 大气降水占 72%。(2) 大气降水模式, 有一个投点落在雨水线上, 其余 2 个点落在 G 变化曲线附近, 即使没有岩浆水, 通过大气降水与花岗斑岩发生同位素交换, 也可得出相当于成矿流体的同位素组成。该区花岗斑岩的副矿物有黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿等硫化物, 而且石英脉中有熔体-流体包裹体, 显示出该斑岩体与成矿作用有关。该斑岩体出露面积约为 1 km^2 , 若岩浆中含有 2%~3% 的水, 能产生一定数量的岩浆期后热流体并参与成矿作用, 同时在此过程中还有大量大气降水参与; 因此, 作者认为关于纳日贡玛矿床的成矿流体, 岩浆水与大气水组成混合热流体的模式, 比纯粹由大气降水参与成矿作用更能解释客观地质现象。

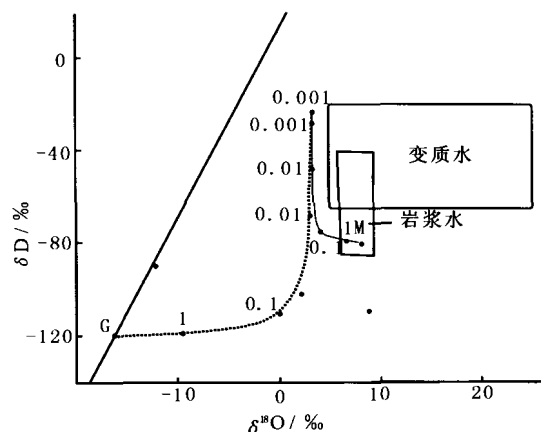


图 4 纳日贡玛铜钼矿床成矿流体与岩浆水、大气降水对比

Fig. 4 Comparison of the ore-forming liquid with magmatic and meteoric waters from the Narigongma Cu-Mo deposit

5 成矿模式

综上所述, 通过对纳日贡玛铜钼矿床实地观察及室内研究分析, 作者认为它属于斑岩型铜钼矿床。其主要依据为: (1) 铜钼矿化与花岗斑岩有关, 即矿体均产于花岗斑岩体内或者花岗斑岩与玄武岩的接触带。(2) 矿石具有细脉浸染状构造。(3) 具有斑岩型矿床的热液蚀变, 含矿斑岩体的蚀变、矿化及其分带特征与国内外典型的斑岩型铜矿床极为相似, 同样遵循“大白菜模式”, 即从岩体中心→岩体边部内外接触带→外接触带围岩, 通常出现钾化、硅化带→绢英岩化带、硅化、粘土化带→青磐岩化带的蚀变分带, 相应的主要金属矿物组合由辉钼矿、黄铜矿→黄铜矿、黄铁矿→黄铁矿(黄铜矿)、方铅矿、闪锌矿, 矿化元素组合由 Mo、Cu→Cu(Mo)→(Cu)、Fe、W、Bi、Co、Pb、Zn、Au、(Ag), 矿石构造从浸染状→细脉浸染状→细脉、网脉状, 表明此类矿化是斑岩体岩浆-热液系统演化的产物。(4) 矿石矿物的标型特征。纳日贡玛铜钼矿床中的辉钼矿为 3R 型, R 型辉钼矿一般形成于斑岩型 Cu-Mo 矿床或中-低温热液矿床。黄铜矿的颜色鲜艳, 反映成矿温度一定在 $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下, 可能在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右。在反光显微镜下, 硫铜银矿与辉钼矿共生在一起, 组成固溶体分离结构, 说明其形成温度为 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。从上述矿物的标型特征可以看出, 纳日贡玛铜钼矿床应为斑岩型。(5) 流体包裹体研究表明, 本矿床是在较浅的地质环境中形成的, 成矿温度主要

为 246~300 ℃；包裹体类型复杂多样，出现大量高盐度的含石盐、钾盐子晶的包裹体，并与气体包裹体和气液包裹体共存，显示成矿流体具有沸腾特征；本矿床具有高盐度特点，NaCl 含量一般为 31.3%~42.2%，矿体均产于有高盐度包裹体分布的范围内，由矿体向外包裹体的盐度迅速降低。纳日贡玛铜钼矿床中矿物的包裹体特征表明，它是一个典型的斑岩型矿床。(6) 矿脉的稀土元素特征及稀土配分型式与花岗斑岩的一致，说明成矿元素主要来源于花岗斑岩；碳、氢、氧同位素研究结果表明，成矿流体为岩浆水和大气降水组成的混合热液。基于上述认识，用图 5 来表述纳日贡玛铜钼矿床的成矿模式。

6 三维数字矿床模型

数字矿床就是数字化的矿床，可以理解为矿床的信息模型，即一个以地理坐标为依据的、数字化的、三维显示的虚拟的矿床。地质模型与成矿规律的研究是建立数字矿床模型的基础。具备研究区地质地质特征及其空间位置资料，对矿床成矿规律有深入认识与理解是建立精确数字矿床模型的前提条件。在纳日贡玛铜钼矿床系统研究

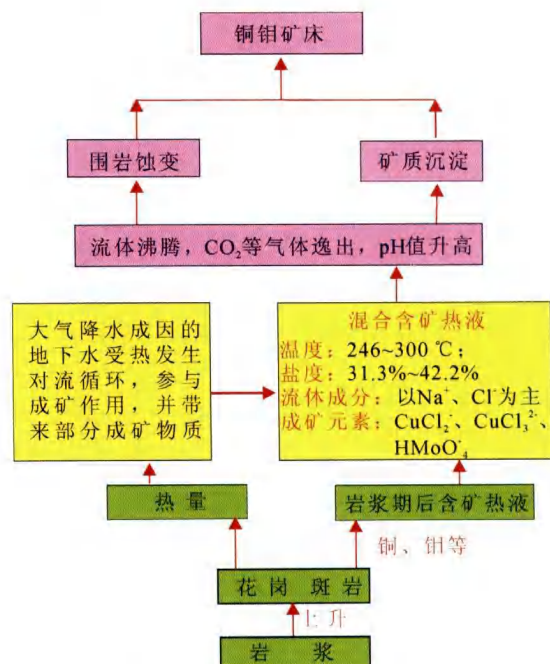


图 5 纳日贡玛铜钼矿床成矿作用模式

Fig. 5 Metallogenic model of the Narigongma Cu-Mo deposit

的基础上，利用已有的勘探剖面图，在 Micromine 软件平台上建立了纳日贡玛铜钼矿床三维实体模型(图6)。从图6看出，含矿岩体侵入二叠系火山

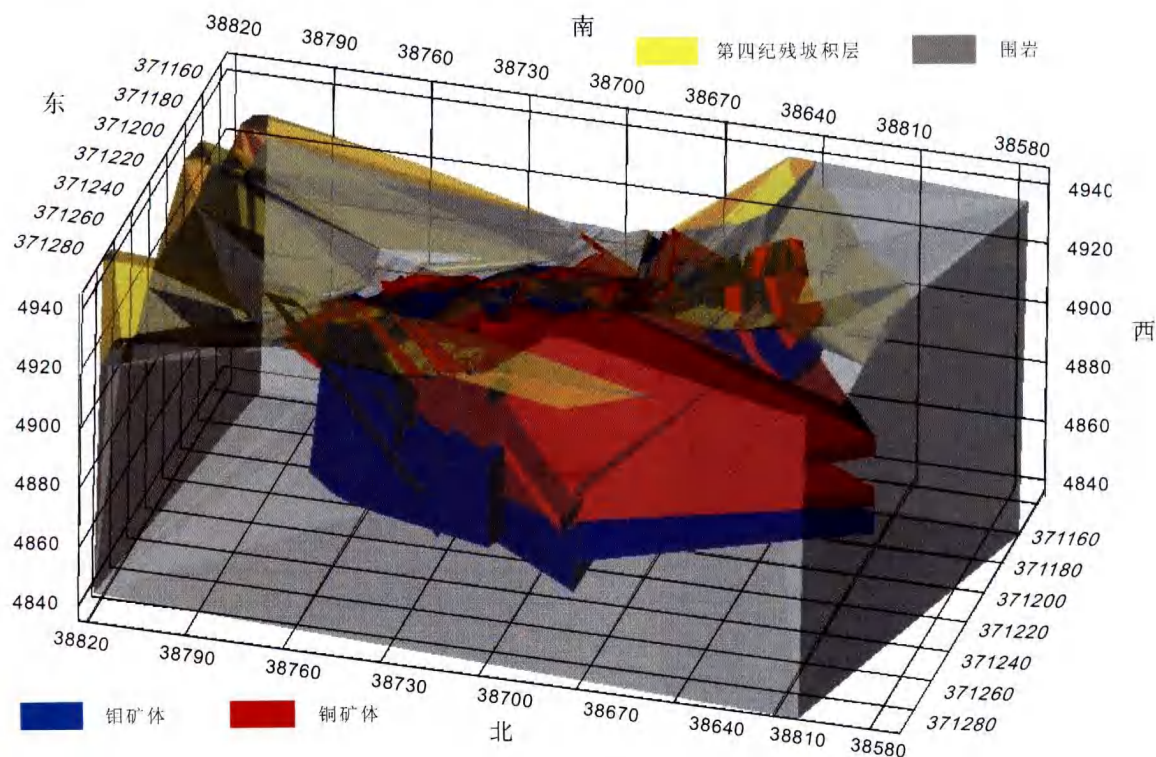


图 6 纳日贡玛铜钼矿床三维立体模型

Fig. 6 The three dimensional stereomodel of the Narigongma Cu-Mo deposit

岩围岩,成矿元素具有一定的分带性,富钼矿体位于矿体中、下部的西南侧,在矿体顶部的西南侧主要为铜矿体。纳日贡玛铜铅矿床三维数字矿床模型的建立,使得矿床信息得以通过信息处理的手段综合处理与表达,有助于提高矿床勘查的水平与效益。

7 结 论

通过上述研究,认为纳日贡玛铜铅矿床为斑岩型铜铅矿床,具有斑岩型矿床典型的矿石与热液蚀变特征。该矿床的主要成矿物质来自花岗斑岩体,成矿深度较浅,成矿温度在 246 ~ 300 ℃ 之间。随着岩浆结晶作用的不断进行,硅酸盐矿物不断析出,岩浆中的 H_2O 、 CO_2 、S、P、F、B、Cl 等挥发组分以及 Cu、Mo 等成矿元素逐渐富集,在岩浆结晶作用的晚期变成岩浆—热液过渡性流体,成矿流体为岩浆水和大气降水组成的混合热液,赋存于已结晶的岩浆矿物之间,成为粒间流体。在酸性条件下,成矿元素在流体中主要以 $CuCl_2^-$ 、 $CuCl_3^{2-}$ 、 $HMoO_4^-$ 等络离子形式存在,由于流体发生剧烈沸腾,致使 pH 值升高,造成络合物失稳分解,与硫结合形成黄铜矿、辉钼矿,流体沿已结晶的硅酸盐矿物的裂隙和孔隙充填并交代硅酸盐矿物,形成细脉浸染型铜铅矿床,其成矿元素的分布具有空间分带性,矿床具有下部富钼、上部富铜的特征。

参考文献:

- [1] 罗建宁,张正贵,陈明,等. “三江”特提斯沉积地质与成矿 [M]. 北京:地质出版社,1992.
- [2] 李金高,周祖翼,彭勇民,等. 三江地区北段江达弧间盆地的沉积演化 [J]. 沉积学报,2001,19(2): 200-205.
- [3] 潘桂棠,徐强,侯增谦,等. 西南“三江”多岛弧造山过程成矿系统与资源评价 [M]. 北京:地质出版社,2003.
- [4] 陈建平,唐菊兴,李志军. 混沌理论在西南三江北段成矿地质条件研究上的应用 [J]. 地质与勘探,2003,39(3): 1-4.
- [5] 白云,唐菊兴,郭文铂,等. 纳日贡玛(铜)矿床地质特征及成矿作用初探 [J]. 矿业快报,2007,23(4): 75-78.
- [6] 南征兵,唐菊兴,李葆华,等. 青海纳日贡玛斑岩铜矿流体包裹体地球化学特征 [J]. 新疆地质,2005,23(4): 373-377.
- [7] 莫宣学,赵志丹,邓晋福,等. 青藏新生代钾质火山活动的时空迁移及向东部玄武岩省的过渡:壳幔深部物质流的暗示 [J]. 现代地质,2007,21(2): 255-264.
- [8] 沈敢富,吕伯西. 西南三江地区新生代侵入岩的成岩与成矿 [M]. 北京:地质出版社,2000.
- [9] 陈炳蔚. 三江地区主要大地构造问题及其与成矿的关系 [M]. 北京:地质出版社,1991.
- [10] 侯增谦. 三江地区义敦岛弧构造—岩浆演化特征 [M]. 北京:地质出版社,1991.
- [11] 黎彤,饶纪龙. 中国岩浆岩的平均化学成分 [J]. 地质学报,1962,43(3): 271-280.
- [12] Taylor H P Jr. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [M]. New York: John Wiley and Sons, 1967.
- [13] 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用 [M]. 西安:陕西科技出版社,1985.