

青海纳日贡玛斑岩铜钼矿床地球 化学特征及成矿作用

智超¹, 廖昆²

(1. 甘肃有色金属地质勘查局张掖矿产勘查院, 甘肃 张掖 734012;

2. 四川省地质矿产勘查开发局物探队, 四川 成都 610000)

摘 要: 纳日贡玛矿床是我国著名“三江”北段成矿区带中最典型的斑岩型 Cu-Mo 矿床。在总结矿床地质特征的基础上, 通过系统总结该矿床的矿床地球化学及成矿作用相关资料, 得出以下结论: ①纳日贡玛矿床形成于喜马拉雅运动早期, 纳日贡玛铜钼矿床成矿物质主要来自花岗斑岩体, 成矿花岗斑岩源于下地壳; 成矿流体为岩浆期后热液, 矿床硫是由岩浆硫(为主)和成矿流体萃取围岩中的硫所组成的 1 种混合硫源。矿床的形成与青藏高原东缘区域构造和应力转换密切相关。②基于已有认识, 建立了纳日贡玛铜钼矿床的成矿理想模式, 认为矿体形成背景可能为逆冲挤压推覆条件下的局部拉张环境, 拉张降压以及围岩的性质导致了该矿床富钼贫铜现况; 矿床热液蚀变发育, 绢云岩化与矿体较为密切, 钾化带范围小, 与成矿关系不大; 纳日贡玛矿区剥蚀程度大, 纳日贡玛矿床东南部剥蚀程度相对较小, 在东南部外围找矿过程中, 应该兼顾矽卡岩型矿体。

关键词: 矿床地球化学; 成矿作用; 斑岩铜钼矿; 成矿模式; 纳日贡玛; 青海南部

中图分类号: P618.41, P618.65

文献标识码: A

文章编号: 1009-6248(2014)03-0026-09

Geochemical Characteristics and Mineralization of Narigongma Porphyry Cu-Mo Deposit in Qinghai Province

ZHI Chao¹, LIAO Kun²

(1. Zhangye Geo-mine Survey Institute, Non-ferrous Metal Geological Exploration Bureau of Gansu Province, Zhangye 734012, China; 2. Geophysical Survey Party, Sichuan Bureau of Geological Exploration of Mineral Resources, Chengdu 610000, China)

Abstract: The Narigongma deposit is a typical porphyry Cu-Mo deposit located in the north metallogenic belt of Sanjiang Plain. Based on the features of Narigongma deposit, and through a systematic summary of the deposit geochemistry characteristics as well as mineralization information, following results are obtained: ① The Narigongma deposit formed in the early Himalayan movement. The metallogenic material was mainly composed of granitic porphyry from lower crust. The ore-forming fluids derived from magmatic hydrothermal. The sulfur in the deposit is originated from a mixed sulfur source that consisted of magmatic sulfur (mainly) and the extracted sulfur by ore-forming fluid from the adjacent rock. Deposit formation is related to transformation of regional tectonic and stress of eastern margin of the Tibetan Plateau. ② Based on the results, an ideal metallogenic model of Narigongma Cu-Mo deposit is established, and it is

收稿日期: 2014-01-05; 修回日期: 2014-06-11

基金项目: 中国地质调查局资源评价项目(12120113088900)资助成果

作者简介: 智超(1986-), 男, 甘肃民乐人, 助理工程师, 硕士研究生, 主要从事矿产勘查与资源评价研究工作。E-mail: zhcug@163.com

considered that the deposit forming background may be partial extensional environment under thrust nappe squeezed conditions. The tensile antihypertensive and the properties of the surrounding rock caused the current situation of rich-molybdenum and poor-copper. Hydrothermal alteration is developed in the deposit, and sericitization is closely related to ore body, while the potassic alteration range is small, having little relationship with mineralization. The erosion degree of Narigongma mining area is strong, while the erosion degree in southeast of Narigongma deposit is relatively small. So in the peripheral exploration process, we should take into account the skarn-type ore bodies.

Key words: geochemistry of mineral deposits; mineralization; porphyry Cu-Mo deposit; metallogenic model; Narigongma; Southern Qinghai

纳日贡玛铜钼矿床位于我国西南三江新生代巨型多金属成矿带的北段青海省杂多县境内。目前该矿床的钼达大型规模,铜达中型,是继玉龙特大型斑岩铜相矿之后在三江北段发现的又一大型矿床,与著名的玉龙超大型斑岩铜矿同属一个成矿带(郝金华等,2012)。有关纳日贡玛斑岩型铜钼矿的研究主要有深入的岩石学、岩石地球化学、同位素年代学及基础地质研究,已经取得了一些重要的研究成果(陈建平等,2008)。笔者总结了前人有关纳日贡玛铜钼矿床的矿床地球化学研究成果,对其成矿物质来源、成矿流体来源、成矿时代以及其地质构造指示意义做了较为详细的总结,最终建立纳日贡玛成矿模式,为在研究区进一步开展找矿工作奠定基础。

1 地质背景

纳日贡玛铜钼矿床地处玉树藏族自治州杂多县境内,位于西南“三江”北段成矿带(图1)。构造上位于金沙江缝合带与班公湖-怒江缝合带所夹持的羌塘地块之上。该区是吸纳和调节印度-亚洲大陆碰撞应力应变的构造转换带(Yin et al., 2000),先后经历了晚古生代—中生代古特提斯洋盆扩张、俯冲造山作用及新生代大规模陆内变形。在晚古生代—中生代古特提斯洋扩张、俯冲造山作用主要表现为金沙江、澜沧江古特提斯洋盆的发育及其随后的俯冲消减和江达-维西弧发育(莫宣学等,1993),该系列事件基本奠定了区内一级地质框架,造就了区内地层主要为晚古生界(石炭系和二叠系)浅海相、三叠系—侏罗系浅海碳酸盐岩夹陆相碎屑和火山碎屑层建造的主体格架(刘增乾,1988)。受印度-亚洲大陆斜向碰撞事件的影响,新生代该区构造变形异常

复杂,至51 Ma以来,该区至少经历了2次逆冲和4次走滑事件(Spurlin MS et al., 2005),从而形成了一系列北西—南东向的逆冲断裂系统、走滑断裂系统,以及由其引发的褶皱、走滑拉分盆地等,该系列事件基本奠定了区内现存的主体构造格架。从晚古生代以来,受区域构造控制的影响,岩浆活动在区内有不同程度的发育,但以喜山期、燕山期岩体活动较为频繁(杨志明等,2008)。而区内喜山期侵位的高钾钙碱性花岗斑岩与铜、银矿化有关,整体形态呈北西—南东向产出,受北西—南东向深大断裂控制明显。目前以纳日贡玛斑岩(铜)矿床为中心,在区内已经形成了一条呈北西—南东向产出的斑岩铜(钼)矿带,从南东至北西依次为亨赛青、陆日格、纳日贡玛、打古贡卡等斑岩铜(钼)矿床(点),与铜钼矿化有关的主要为喜山期侵位的高钾钙碱性花岗斑岩,整体呈北西—南东向产出,受北西—南东向深大断裂控制明显。

2 矿区及矿床地质

2.1 矿区地质特征

本区大地构造位置处于欧亚大陆南缘、扬子古陆西缘的古特提斯构造域,位于三江成矿带西北端。出露地层主要为二叠系开心岭群杂组(Pgd),主要岩性为灰绿色、紫红色夹杂色火山碎屑岩、火山岩夹灰岩、砂岩及砾岩等,是一套海陆交互的碎屑岩建造和碳酸盐岩建造,也是本区主要含矿地层,地层倾向北,倾角 $20^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 。矿区构造较发育,除北西—南东向主体构造外,矿区还发育北东、近东西、近南北向断裂。区内岩浆岩主要为酸性侵入岩(图2),岩性主要为黑云母花岗斑岩,以及随后侵位

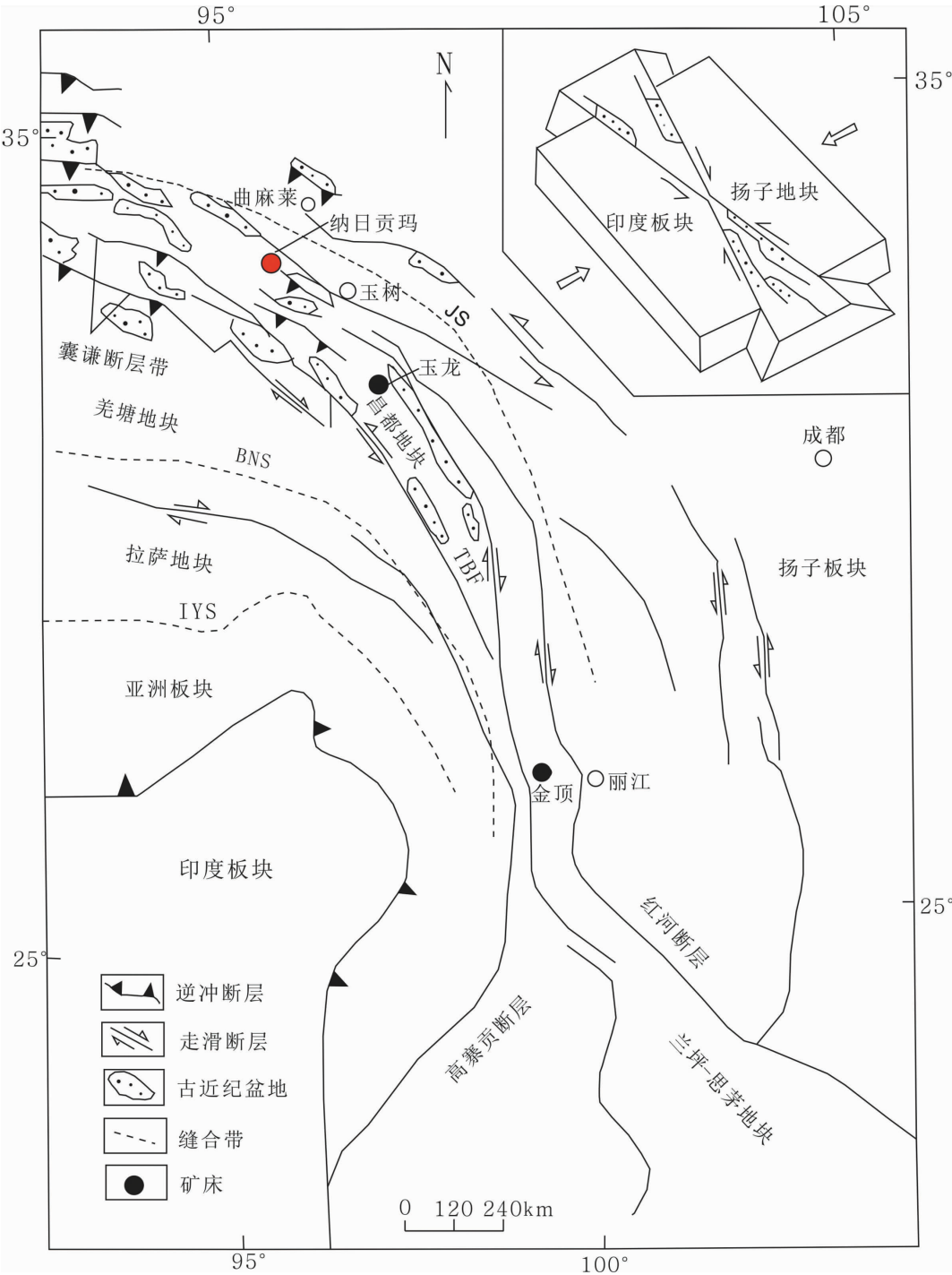


图 1 纳日贡玛斑岩铜矿带区域大地构造位置图(据杨志明等,2008;Hou. et al. ,2003 改)

Fig. 1 Regional tectonic location of Narigoogma porphyry copper belt(After Yang,2008;Hou. et al. ,2003)
JS. 金沙江缝合带;IYS. 印度河-雅鲁藏布江缝合带;BNS. 班公湖-怒江缝合带;TBF. 妥坝断层

的浅色细粒花岗斑岩和石英闪长玢岩。其中黑云母花岗斑岩在矿区出露范围最大,约为 0.7 km²,主体呈北东向展布,受纳日贡玛断裂控制,长约 1.2 km,宽度变化大;浅色细粒花岗斑岩出露范围小,除局部

以小岩枝产出外,多以北东的岩脉侵位于下二叠统玄武岩及黑云母花岗斑岩中,在矿区西部出露密集。矿体赋存于花岗斑岩岩体内部及与围岩接触带的蚀变玄武岩中,形状呈带状、厚板状、不规则状。在圈

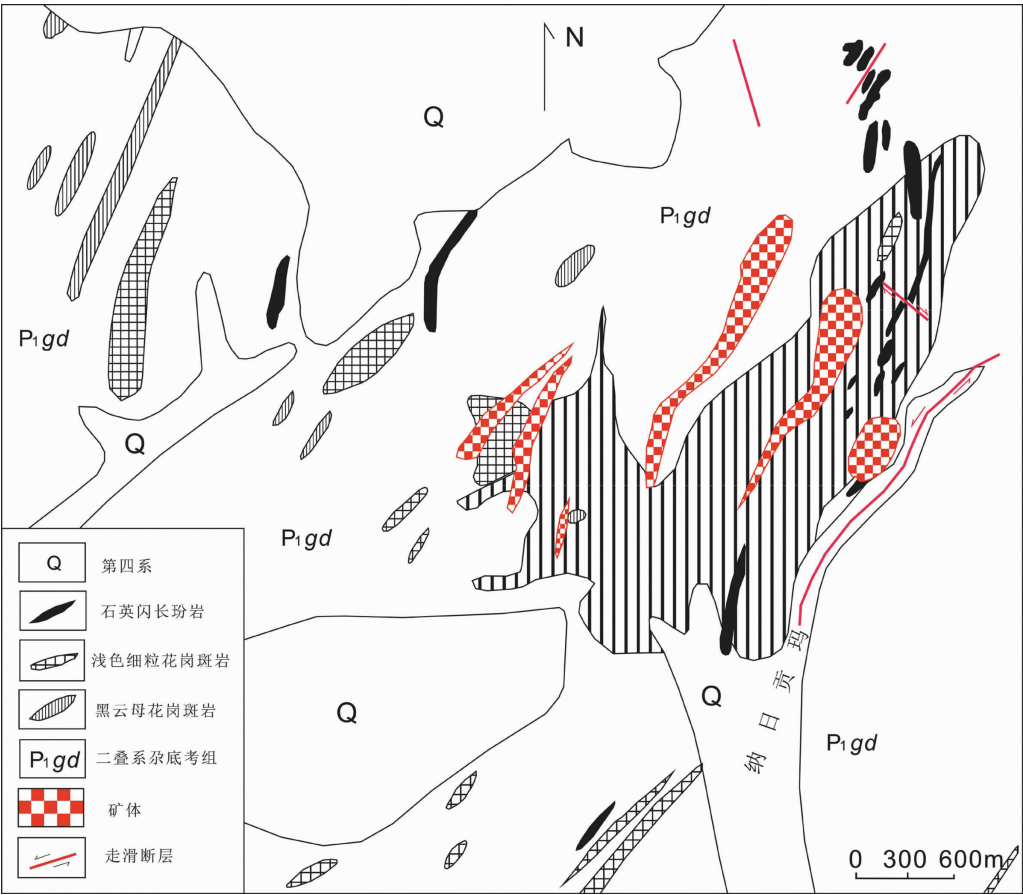


图 2 纳日贡玛斑岩钼-铜矿床地质简图(据杨志明,2008)

Fig. 2 Geological map of the Narigongma porphyry molybdenite-copper deposit(After Yang,2008)

定异常远景区时,综合区域化探异常与矿床伴生组分特点,认为纳日贡玛钼铜矿的化探元素组合为Mo-Cu-Ag-W-Bi-Pb-Zn,具低氟斑岩型特征(许光,2012)。

2.2 矿床特征

纳日贡玛钼铜矿床矿石类型具网脉状/脉状矿化、细脉浸染状、稀疏浸染状矿化,矿石矿物主要有辉钼矿、黄铜矿、黝铜矿、斑铜矿以及孔雀石、蓝铜矿等。矿区内的蚀变带分布有一定的规律,含矿斑岩体蚀变带由内向外为钾化带和黄铁绢云岩化带,斑岩体内具有黏土化、较强而普遍的硅化、绢云母化、较弱的钾化,环绕斑岩体的围岩则呈现出面型的青磐岩化、黄铁绢青磐岩化及局部的矽卡岩化等蚀变特征(图 3)。矿区剥蚀程度大,蚀变带及岩体地表容易观察到。从区域上看,沿东南方向,剥蚀程度逐渐降低,笔者认为在外围勘查过程中,要兼顾矽卡岩型矿体。

3 成矿物质

利用矿床地球化学方法,主要是利用矿物中的微量元素、稀土元素和同位素测试,结合矿床地质特征对成矿物质来源进行分析讨论。

3.1 铜钼来源

金属来源是斑岩铜矿成矿作用的关键问题之一,南征兵等(2007)利用微量元素测试对 Cu、Mo 进行示踪表明:①花岗斑岩的稀土总量明显高于玄武岩的稀土总量,矿石的稀土元素总量与花岗斑岩的一致。②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。矿石的稀土元素配分形式明显不同于玄武岩,而接近于花岗斑岩,从而表明铜钼矿化可能主要与花岗斑岩有关。③ Ce_N/Yb_N 和 La_N/Yb_N 值均大于 1,为轻稀土富集型,分配曲线右倾。其中,花岗斑岩的最大(分别为

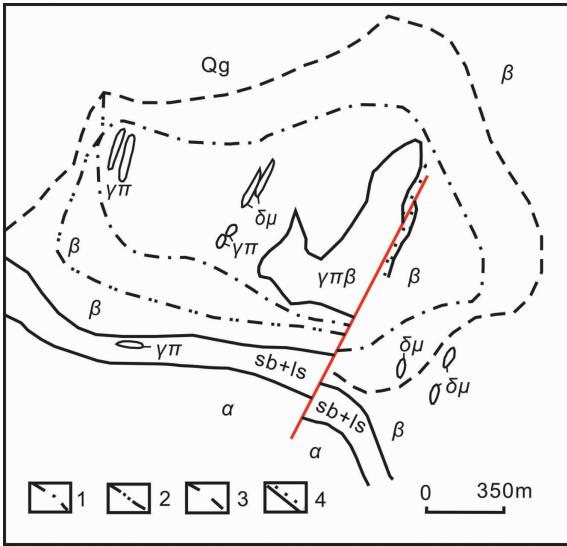


图3 纳日贡互斑岩体的蚀变分带示意图
(据周伟,2007 改)

Fig.3 Zonation of the alteration in the Narigongma porphyry(After Zhou,2007)

- 1. 黄铁矿化青磐岩化范围;2. 青磐岩化范围;
- 3. 矽卡岩化范围;4. 角岩化范围

Qg. 现代冰川;sb+ls. 板岩夹灰岩;α. 安山岩;β. 玄武岩;γπβ. 黏土化、硅化、绢云母化花岗岩;γπ. 花岗岩;δμ. 闪长玢岩

26.716,35.121),玄武岩的最小(分别为 9.067,10.082),矿石介于两者之间(分别为 23.542,28.976),但矿石的 Ce_N/Yb_N 和 La_N/Yb_N 值与花岗斑岩的比值相一致,故认为成矿元素 Cu、Mo 可能主要源于花岗斑岩(马鸿文等,1990)。这与金章东等(1998)的研究结论一致。南征兵等(2007)曾指出本区花岗斑岩稀土元素总含量较高,稀土分布模式为轻稀土富集的右倾型,负 Eu 异常不明显。这一特点与呈左倾型轻稀土亏损,具轻微 Eu 异常、稀土总量较低的标准幔源型塞浦路斯斜花岗岩明显不同,与有明显负 Eu 异常、轻稀土富集特点的标准壳源型(或重熔型)花岗岩亦有一定差异,认为本区花岗斑岩应为壳幔混染型或混合型。这一观点在 2013 年中国矿物岩石地球化学学会会议上得到了公认(栗雅芝,2013)。

周伟等(2007)通过 Sr 初始值、 $\epsilon Nd(t)$ 、 $\epsilon Sr(t)$ 和 REE 等资料,指出斑岩与大洋玄武岩(上地幔)比较接近,由其推测斑岩主要是上地幔部分熔融的产物,但也有部分下地壳混合的证据,更详细的指出了斑岩的原岩。

郝金华等(2010)曾用矿物学证据(据前人研究,典型幔源黑云母中 MgO 含量大于 15%,壳源黑云母中 MgO 含量小于 6%)同样证明了成矿花岗斑岩来自壳幔混源区。卞雄飞(2012)在前人 Sr-Nd-Pb 同位素研究基础上,首次获得了纳日贡玛矿区斑岩的锆石 Hf 同位素组成。研究表明,纳日贡玛岩浆的形成卷入了亏损地幔组分。综合分析已有的 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素系统,笔者认为纳日贡玛岩浆起源于加厚的新生下地壳,新生组分主要以亏损地幔为特征。

3.2 成矿 S 源

对于成矿 S 源,鲁海峰等最早进行了相关的讨论分析(鲁海峰等,2006)。其对纳日贡玛铜钼矿床矿石硫化物 S 同位素进行了分析测试,结果发现 S 同位素组成具有以下特征:①硫化物 $\delta^{34}S$ 值变化范围窄,说明 S 源单一。②样品 S 与陨石 S 和地幔 S 源比较接近,说明矿床 S 源来自深部(郝金华,2011)。结合岩石化学特征和 S、Pb 同位素及包裹体特征分析,本区的花岗斑岩可能是壳幔混合型,这一点也与其产出的地质背景相吻合。南征兵等(2007)测试分析了矿石中黄铁矿的硫同位素组成,其 $\delta^{34}S$ 值变化于 7.16‰~7.50‰,平均值为 7.35‰,与鲁海峰等的结果非常接近。南征兵等(2007)认为由于本矿床主要含 S 矿物为黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿等硫化物,未见硫酸盐矿物,这说明成矿流体的 S 以还原 S 占绝对优势,含 S 原子团活度计算结果也证明了这一点,而且本矿床硫化物的 S 同位素组成变化范围很窄。因此,硫化物的 S 同位素组成基本上能代表成矿流体的 S 同位素组成。据 Taylor 的研究,与含水花岗质熔体处于平衡的岩浆 S 的 $\delta^{34}S$ 值为 4.0‰,而本矿床硫化物的平均 $\delta^{34}S$ 值为 7.35‰,比岩浆硫的 $\delta^{34}S$ 值大(Taylor H P Jr, 1990)。因此,笔者推测本矿床 S 是由岩浆 S(为主)和成矿流体萃取围岩中的 S 所组成的一种混合 S 源。这个结果与鲁海峰等(2006)的研究结果完全一致。

4 成矿流体特征及其来源

对流体包裹体的分析和测试提供了一种重建古成矿流体化学特征与演化的直接方法。南征兵等(2007)曾对纳日贡玛铜钼矿床的主要脉石矿物石英

和黄铁矿中的流体包裹体做过简要分析,认为纳日贡玛矿床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符合客观地质事实。南征兵等(2005)曾对纳日贡玛矿床的2个石英脉和1个黄铁矿样品进行热爆裂超声波提取液相试,结果表明该矿床成矿流体属于Cl-Na-Ca型水溶液,且认为成矿流体为岩浆水与大气降水混合热液。

郭贵恩等(2010)也曾提到,花岗斑岩体侵入后,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间,成为粒间流体。这与南征兵等的观点一致。

姚春亮等(2007)也曾提到,近年来,许多专家学者利用H、O同位素示踪成矿溶液来源和水岩交换反应的研究取得了较多的成果,H、O同位素特征表明地热水均由当地大气降水转化而来;郝金华(2012)对纳日贡玛、陆日格开展了S、C-H-O同位素、包裹体等矿床地球化学研究,研究表明随着深度的加大, $\delta^{18}O$ H_2O 逐渐变大, δD 变小,成矿流体更偏向于岩浆水。成矿后期流体中的 $\delta^{13}C$ 的分布范围也与岩浆/地幔源的 $\delta^{13}C$ 近似。

5 成矿时代及地质意义

成矿时代的确定不仅对认识纳日贡玛铜钼矿床的特征、成因、成矿事件与其他异常事件的耦合关系、解释成矿热液来源、总结区域乃至三江地区的成矿演化规律具有重要的理论意义,而且对矿床的预测和勘查具有很高的价值。从区域上看,研究纳日贡玛花岗闪长斑岩可以证实三江北段在喜马拉雅早期有一次重要的地质热事件,该阶段铜钼矿的形成对于三江北段找矿有重要意义。

鲁海峰等(2006)最早对纳日贡玛铜钼矿床成矿年龄进行了初步探讨:采用钾氩法对4件黑云母花岗斑岩进行同位素年龄测定,结果分别为49.4 Ma、37.2 Ma、33.9 Ma、22.0 Ma,为喜山期产物。但是,4个年龄跨度较大,并未进行更为深入的分析,对地质构造意义指示不明确。周伟等(2007)引用鲁海峰等的年龄数据,指出纳日贡玛矿床形成地质时代为

始新世—渐新世,为喜马拉雅期印度与欧亚大陆碰撞及青藏高原隆升相伴的重要产物。王召林等(2008)做了更为详细的研究:纳日贡玛矿床的6件辉钼矿样品的模式年龄为 (40.86 ± 0.85) Ma,并结合玉龙斑岩铜矿带的年龄数据,可以发现由玉龙斑岩铜矿带至北向南到纳日贡玛铜钼矿床矿年龄有逐渐变新的趋势。同样,通过岩体年龄由北向南逐渐变新,成矿年龄比岩体年龄稍晚的趋势,可以推测与纳日贡玛铜钼矿床有关的黑云母花岗斑岩年龄应该在 $(41 \sim 43)$ Ma,与Hou et. al(2003)认为自印亚碰撞以来在青藏高原东南部存在挤压向伸展的过渡的观点一致,即在玉龙斑岩铜矿带存在一个约41 Ma左右的应力释放和由此引发的岩浆高峰期也与鲁海峰等的研究结果一致。

杨志明等(2008)利用锆石U-Pb SHRIMP定年表明,纳日贡玛成矿斑岩的结晶年龄 (43.3 ± 0.5) Ma早于玉龙铜矿带各成矿斑岩。郭贵恩等(2010)对纳日贡玛黑云母花岗斑岩中3颗锆石进行了U-Pb同位素测试,分别获得21 Ma、39 Ma和66 Ma的 $^{206}Pb/^{238}U$ 表面年龄,确定纳日贡玛斑岩体形成的时代主要为喜马拉雅早—中期,认为纳日贡玛斑岩体侵位至少有3期。但测试样品较少,得出的结论值得商榷。

宋忠宝等(宋忠宝等,2011,2012)利用锆石U-Pb方法测得纳日贡玛黑云花岗斑岩的形成年龄为 (41.53 ± 0.24) Ma,属于喜马拉雅早期。郝金华等(2012)亦对青海省纳日贡玛斑岩铜钼矿床开展了锆石LA-ICP-MS U-Pb同位素定年研究,结果表明,纳日贡玛矿区2个黑云母花岗斑岩样品的锆石 $^{206}Pb/^{238}U$ 同位素加权平均年龄分别为 (43.4 ± 0.4) Ma和 (42.9 ± 0.3) Ma,锆石形态、结晶振荡环带结构及元素含量均显示出岩浆成因特点。因此,锆石U-Pb年龄可代表斑岩的岩浆结晶年龄。利用(粟亚芝,2014)锆石U-Pb同位素方法(LA-MC-ICP-MS)测得纳日贡玛花岗闪长斑岩的成岩年龄为 (41.44 ± 0.23) Ma,斜长花岗斑岩的生成年龄为 (41.00 ± 0.18) Ma,斑状花岗闪长岩黑云母花岗斑岩的成岩年龄 (41.53 ± 0.24) Ma。纳日贡玛含矿斑岩体的形成时代在41 Ma左右,为青藏高原碰撞造山形成的,是新生代主碰撞陆-陆聚合和晚碰撞构造转换的产物,属于喜马拉雅运动早期。

根据最新同位素年龄测试结果,确定属于喜马

拉雅运动早期。即：纳日贡玛斑岩型铜钼矿形成于喜马拉雅运动早期，纳日贡玛岩浆成矿序列为侵入岩(41.53 Ma)—浅成侵入斑岩(41.0~41.4 Ma)—矿体形成(40.8 Ma)。其成岩成矿系统时间跨度小 1 Ma。

6 结论

通过上述分析，认为纳日贡玛为典型斑岩型矿床，其成矿理想模式见图 4。

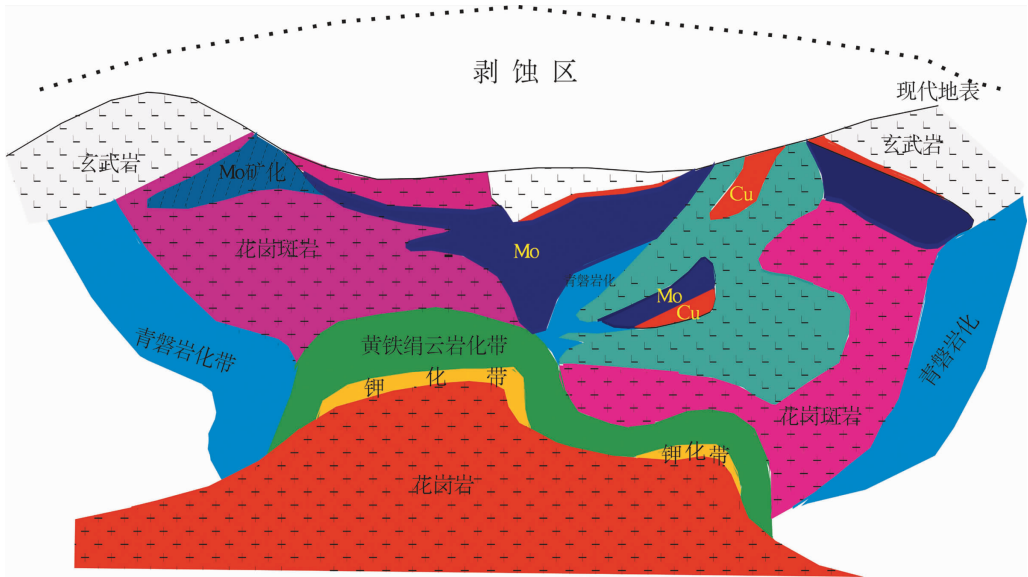


图 4 纳日贡玛铜钼矿床的成矿理想模式图

Fig. 4 Mineralization ideal model of Narigongma copper-molybdenum deposit

研究认为：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；矿石具有细脉浸染状构造，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；矿床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钼矿床极为相似，其中绢云岩化与钼矿化最为密切，钾化范围较小，与成矿关系不密切。②矿床形成于喜马拉雅运动早期。③矿床成矿金属物质来源于壳幔混源区岩浆形成的花岗斑岩，纳日贡玛岩浆起源于加厚的新生下地壳，新生组分主要以亏损地幔为特征；矿床 S 是由岩浆 S(为主)和成矿流体萃取围岩中的 S 所组成的一种混合 S 源，成矿流体为岩浆期后岩浆水与大气降水混合热液。在成矿流体的演化过程中，温度降低、压力降低、pH 值增大是本矿床中黄铜矿、辉钼矿等硫化物沉淀的主要原因，纳日贡玛主成矿期所对应的应力场背景可能是总体逆冲挤压推覆条件下的局部拉张环境，拉张降压以及围岩的性质导致了该矿床富钼

贫铜现况。④基于上述认识，用图 4 来表述纳日贡玛铜钼矿床的成矿理想模式。据地质资料发现纳日贡玛矿床剥蚀程度大，在其外围找矿要同时兼顾矽卡岩型矿体的勘查。

参考文献(References)：

卞雄飞. 青海省纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床的成因研究 [D]. 昆明理工大学, 2012: 1-66.
Bian Xiongfei. Genesis of the Narigongma porphyry molybdenum(-copper)deposit in Qinghai [D]. Kunming University of Science and Technology, 2012: 1-66.
陈乘芳. 青海省杂多县纳日贡玛矿区外围找矿潜力分析 [D]. 中国地质大学(北京), 2013: 1-43.
Chen Bingfang. Potential analysis of ore prospecting at adjacent area in Narigongma mining area of Zaduo county of Qinghai [J]. China University of Geosciences, Beijing, 2013: 1-43.
陈建平, 唐菊兴, 陈勇, 等. 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, 2008, 22(01): 9-17.
Chen Jianping, Tang Juxing, Chen Yong, et al. Geological

- characteristics and metallogenic model of the Narigongma copper-molybdenum deposit in the norther part of the Sanjiang region, southwest China [J]. *Geoscience*, 2008, 22(01): 9-17.
- 邓会娟, 姚聿涛, 彭光雄, 等. 青海纳日贡玛斑岩型 Cu-Mo 矿床遥感蚀变异常提取与找矿预测 [J]. *国土资源遥感*, 2014, 26(02): 154-161.
- Deng Huijuan, Yao Yutao, Peng Guangxiong, et al. Extraction of remote sensing alteration anomalies and prospecting prediction of porphyry Cu-Mo deposits in Narigongma, Qinghai Province [J]. *Remote Sensing for Land & Resources*, 2014, 26(02): 154-161.
- 郭贵恩, 马彦青, 王涛, 等. 纳日贡玛含矿斑岩体形成机制及其成矿模式分析 [J]. *西北地质*, 2010, 43(03): 28-35.
- Guo Guien, Ma Yanqing, Wang Tao, et al. The formation mechanism and mineralization pattern of ore-bearing granite-porphyry in Narigongma [J]. *Northwest Geology*, 2010, 43(3): 28-35.
- 郝金华, 陈建平, 田永革, 等. 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 [J]. *地质与勘探*, 2010, 46(03): 367-376.
- Hao Jinhua, Chen Jianping, Tian Yongge, et al. 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(03): 367-376.
- 郝金华, 陈建平, 董庆吉, 等. 青海省纳日贡玛斑岩铜钼矿床成矿花岗斑岩锆石 LA-ICP-MSU-Pb 定年及地质意义 [J]. *现代地质*, 2012, 26(01): 45-53.
- Hao Jinhua, Chen Jianping, Dong Qingji, et al. Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating for Narigongma porphyry molybdenite-copper deposit in southern Qinghai province and its geological implication [J]. *Geoscience*, 2012, 26(01): 45-53.
- 金章东, 李福春. 斑岩型铜矿床成矿过程中铜的迁移与沉淀机制研究新进展 [J]. *矿产与地质*, 1998, 12(02): 2-7.
- Jin Zhangdong, Lu Fuchun. New progress of copper migration and precipitation mechanism during porphyry ore-forming process [J]. *Mineral Resources and Geology*, 1998, 12(02): 2-7.
- 刘增乾. 青藏高原及邻区地质图(比例尺: 1:5000) [M]. 北京: 地质出版社, 1988.
- Liu Zengqian. Geological map of the Tibetan Plateau and adjacent areas(scale 1:5000) [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1988.
- 鲁海峰, 薛万文, 王贵仁. 纳日贡玛铜钼矿床地质特征及成因类型探讨 [J]. *青海国土经略*, 2006, (03): 37-40.
- Lu Haifeng, Xue Wanwen, Wang Guiren. Discussion on geological characteristics and genetic type of Narigongma porphyry copper-molybdenum deposit in Qinghai Province [J]. *Qinghai Homeland Economic Strategy*, 2006, (03): 37-40.
- 马鸿文. 西藏玉龙斑岩铜矿带花岗岩类与成矿 [M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1990.
- Ma Hongwen. Yulong porphyry copper belt granitoids and mineralization [M]. China University of Geosciences House, Wuhan, 1990.
- 莫宣学. 三江特提斯火山作用与成矿 [M]. 北京: 地质出版社, 1993.
- Mo Xuanxue. Sanjiang Tethyan volcanism and mineralization [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1993.
- 南征兵, 唐菊兴, 李葆华. 青海纳日贡玛斑岩铜(钼)矿地质地球化学特征及成因探讨 [J]. *新疆地质*, 2007, 25(02): 199-203.
- Nan Zhengbing, Tang Juxing, Li Baohua. Discussion on geological and chemical characters and origin of narigongma porphyry copper-molybdenum deposit in qinghai province [J]. *Xinjiang Geology*, 2007, 25(2): 199-203.
- 南征兵, 唐菊兴, 李葆华. 青海省纳日贡玛斑岩铜钼矿成矿物源分析 [J]. *矿业研究与开发*, 2007, 27(05): 1-3, 19.
- Nan Zhengbing, Tang Juxing, Li Baohua. Analysis of ore-forming material sources of Narigongma porphyry copper-molybdenum deposit in Qinghai province [J]. *Mineral R&D*, 2007, 27(5): 1-3, 19.
- 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(04): 373-377.
- Nan Zhengbing, Tang Juxing, Li Baohua, et al. Fluid inclusion geochemical characteristics of the Narigongma porphyry copper deposit, Zaduo county, qinghai province [J]. *Xinjiang Geology*, 2005, 23(4): 373-377.
- 潘桂棠, 徐强, 王立全. 矿产资源预测评价的理论和实践——以西南“三江”研究为例 [J]. *矿床地质*, 2002, 21(增刊): 40-43.
- Pan Guitang, Xu Qiang, Wang Liquan. Theory and practice of mineral resource prognosis and evaluation: from research on “Sanjiang” Region, West-eastern China [J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(sup.): 40-43.
- 芮宗瑶, 黄崇珂, 齐国明, 等. 中国斑岩铜(钼)矿床 [M].

- 北京:地质出版社,1984.
- Rui Zongyao, Huang Chongke, Qi Guoming, et al. China porphyry copper (molybdenum) deposit [M]. Geological Publishing House, Beijing, 1984.
- 宋忠宝,贾群子,张雨莲,等. 三江北段纳日贡玛黑云母花岗斑岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年及其地质意义 [J]. 地质通报, 2012, 31(2/3): 439-447.
- Song Zhongbao, Jia Qunzi, Zhang Yulian, et al. LA-ICP-MS zircon U-Pb dating of Narigongma biotite granite porphyry in northern Sanjiang region and its geological significance [J]. Geological Bulletin of China, 2012, 31(2/3): 439-447.
- 宋忠宝,贾群子,陈向阳,等. 三江北段纳日贡玛花岗闪长斑岩成岩时代的确定及地质意义 [J]. 地球学报, 2011, 32(02): 154-162.
- Song Zhongbao, Jia Qunzi, Chen Xiangyang, et al. The petrogenic age of Narigongma granitic diorite-porphyry in the northern part of the Sanjiang region and its geological implications [J]. Acta Geoscientica Sinica, 2011, 32(2): 154-162.
- 栗亚芝,贾群子,宋忠宝,等. 青海省纳日贡玛斑岩型铜钼矿床成矿岩体的物质来源 [J]. 高校地质学报, 2013, 19(增刊): 525-526.
- Li Yazhi, Jia Qunzi, Song Zhongbao, et al. Analysis of ore-forming material sources of Narigongma porphyry copper-molybdenum deposit in Qinghai province [J]. Geological Journal of China Universities, 2013, 19(supplement): 525-526.
- 王召林,杨志明,杨竹森,等. 纳日贡玛斑岩铜钼矿床: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, 2008, 24(03): 503-510.
- Wang Zhaolin, Yang Zhiming, Yang Zhusen, et al. Narigongma porphyry molybdenite copper deposit, northern extension of Yulong copper belt: evidence from the age of Re-Os isotope [J]. Acta Petrological Sinica, 2008, 24(3): 503-510.
- 许光. 青海省铜地球化学特征及其资源定量预测 [D]. 中国地质大学(北京), 2012, 1-131.
- Xu Guang. Copper geochemical characteristics and quantitative resource prediction in Qinghai Province [D]. China University of Geosciences, Beijing, 2012: 1-131.
- 杨志明,侯增谦,杨竹森,等. 青海纳日贡玛斑岩钼(铜)矿床:岩石成因及构造控制 [J]. 岩石学报, 2008, 24(03): 489-502.
- Yang Zhiming, Hou Zengqian, Yang Zhusen, et al. Genesis of porphyries and tectonic controls on the Narigongma porphyry Mo(-Cu) deposit, southern Qinghai [J]. Acta Petrological Sinica, 2008, 24(03): 489-502.
- 姚春亮,陆建军,郭维民,等. 斑岩铜矿若干问题的最新研究进展 [J]. 矿床地质, 2007, 26(02): 221-229.
- Yao Chunliang, Lu Jianjun, Guo Weimin, et al. The latest advances in researches on porphyry copper deposits [J]. Mineral Deposits, 2007, 26(02): 221-229.
- 周伟,王玉德,曹德智,等. 青海纳日贡玛始新世—渐新世含矿斑岩体地球化学特征 [J]. 沉积与特提斯地质, 2007, 27(04): 99-105.
- Zhou Wei, Wang Yude, Cao Dezhi, et al. Geochemistry of the eocene-ligocene porphyry in the Narigongma region, Qinghai [J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2007, 27(04): 99-105.
- Hou Z Q, Ma H W, Khin Z, et al. The Himalayan Yulong porphyry Copper Belt: Product of Large-Scale Strike-Slip Faulting in Eastern Tibet [J]. Economic Geology, 2003, 98(02): 125-145.
- Spurlin M S, Yin A, Horton B K, et al. Structural evolution of the Yushu-Nangqian region and its relationship to syncollisional igneous activity, east-central Tibet [J]. GSA Bulletin, 2005, 117(03): 1293-1317.
- Taylor H P Jr. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits [M]. John Wiley and Sons, New York, 1990.
- Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen [J]. Annu. Rev. Earth Planet. Sci., 2000, 28(02): 211-280.