

# 西藏尕尔穷铜金矿床发现罕见金属 (Ni-Cr-Fe, Cu-Zn)互化物

肖渊甫 孙 燕 王 强 李志军 王瑜亮 张世铭 龚婷婷 何佳乐

(成都理工大学, 四川 成都 6100659)

**摘要:**班公湖—怒江成矿带是西藏自治区重要的铜金多金属成矿带, 尕尔穷矿床是该成矿带中重要的矽卡岩型铜金矿床, 笔者通过野外地质调查采样、显微镜鉴定、扫描电镜观察和 X 射线能谱仪测试分析, 对矿石物质组分做了系统的研究。首次在矿石中发现了罕见的 Ni-Cr-Fe, Cu-Zn 互化物, 这也是矽卡岩型矿床中首次发现此类矿物, 在国内外尚无报道。这些金属互化物均属自然界罕见的矿物种类, 其生成条件独特, 是在缺氧、低硫的强还原环境中形成。首次在矽卡岩型矿床中发现与幔源岩浆有着成矿专属性的成矿元素, 在成矿理论、成矿物质来源、成矿条件、成矿环境、矿床成因等方面具有重要的科学意义。

**关键词:**金属互化物; 铜-金矿床; 班公湖—怒江成矿带; 尕尔穷; 西藏

**中图分类号:** P618.41, P618.51      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1000-3657(2012)05-1311-07

Fe-Ni-Co 金属互化物是 Melville(1892)在美国俄勒冈州仰冲蛇绿岩片橄榄岩中的首次发现<sup>[1]</sup>, 随后世界各地陆续发现了此类金属互化物, 它主要产于板块结合带蛇绿岩中<sup>[2-7]</sup>。Makeeb (1992)总结了乌拉尔地区产自蛇绿岩(阿尔卑斯型岩体)中的自然元素矿物及金属互化物超过了 200 种, 这些金属互化物主要与基性、超基性岩浆岩有关, 尤其是 Ni-Cr-Fe 系列金属互化物更是如此。近年来中国在西藏雅鲁藏布江罗布莎蛇绿岩中陆续发现了 Ni-Cr-Fe, Ni-Ir-Fe, Fe-Pd-Pt 等金属互化物<sup>[8-10]</sup>, 在与中酸性岩浆岩及有关的矿床中还未见有此类金属互化物报道。尕尔穷铜金矿床是班公湖—怒江成矿带中的重要且具有代表性的矿床, 许多学者对其做了大量工作, 已积累了矿床特征、成岩成矿年龄、含矿岩体地球化学等方面的研究成果<sup>[11-13]</sup>。但是对矿石组分及赋存状态还未做系统详细工作。笔者在对西藏尕尔穷矽卡岩型铜金矿床矿石成分系统研究中, 首次发现了 Ni-Cr-Fe, Cu-Zn 互化物, 其成果对矿床及此类矿物的

形成条件、环境、物质来源等具有重要的科学意义。

## 1 地质背景

尕尔穷铜金矿床大地构造位置处于班怒带和冈底斯北缘的结合带, 南侧为冈底斯—拉萨—腾冲地块, 北侧为南羌塘地块。矿区出露地层以白垩系多爱组( $K_1d$ )为主, 岩性为灰岩、大理岩、火山角砾岩、凝灰岩、角岩等。地层总体走向近东西向, 倾向北北西, 倾角在  $15^\circ \sim 85^\circ$  变化(图 1)。

断裂构造发育, 主要断裂  $F_1$  和  $F_2$  呈北东—南西向展布, 表现出多期活动的特性, 是主要的导矿、控矿构造, 其次为南北向断裂, 为成矿期后构造。

形成于燕山晚期的侵入岩分布广泛, 多以岩株、岩枝或岩脉等形态产出, 有花岗斑岩( $\gamma \pi_3^3$ )、闪长玢岩( $\delta \mu_3^3$ )、石英闪长岩( $\delta \sigma_3^3$ )、花岗闪长岩( $\gamma \delta_3^3$ )、花岗闪长斑岩( $\gamma \delta \pi_3^3$ )、细晶岩( $Z_3^3$ )等岩石类型<sup>[14]</sup>。花岗斑岩、石英闪长玢岩为主要的控矿岩体, 呈小岩株、岩枝或岩脉形态产出, 与 1、2 号矿体关系密切。含矿斑岩

收稿日期: 2012-06-05; 改回日期: 2012-08-06

基金项目: 国家公益性行业科研专项(201011013-3)和矿物学岩石学矿床学国家重点(培育)学科建设项目(SZD0407)资助。

作者简介: 肖渊甫, 男, 1957 年生, 教授, 研究方向: 岩石学及资源勘查与评价; E-mail: xyf@cdu.edu.cn。

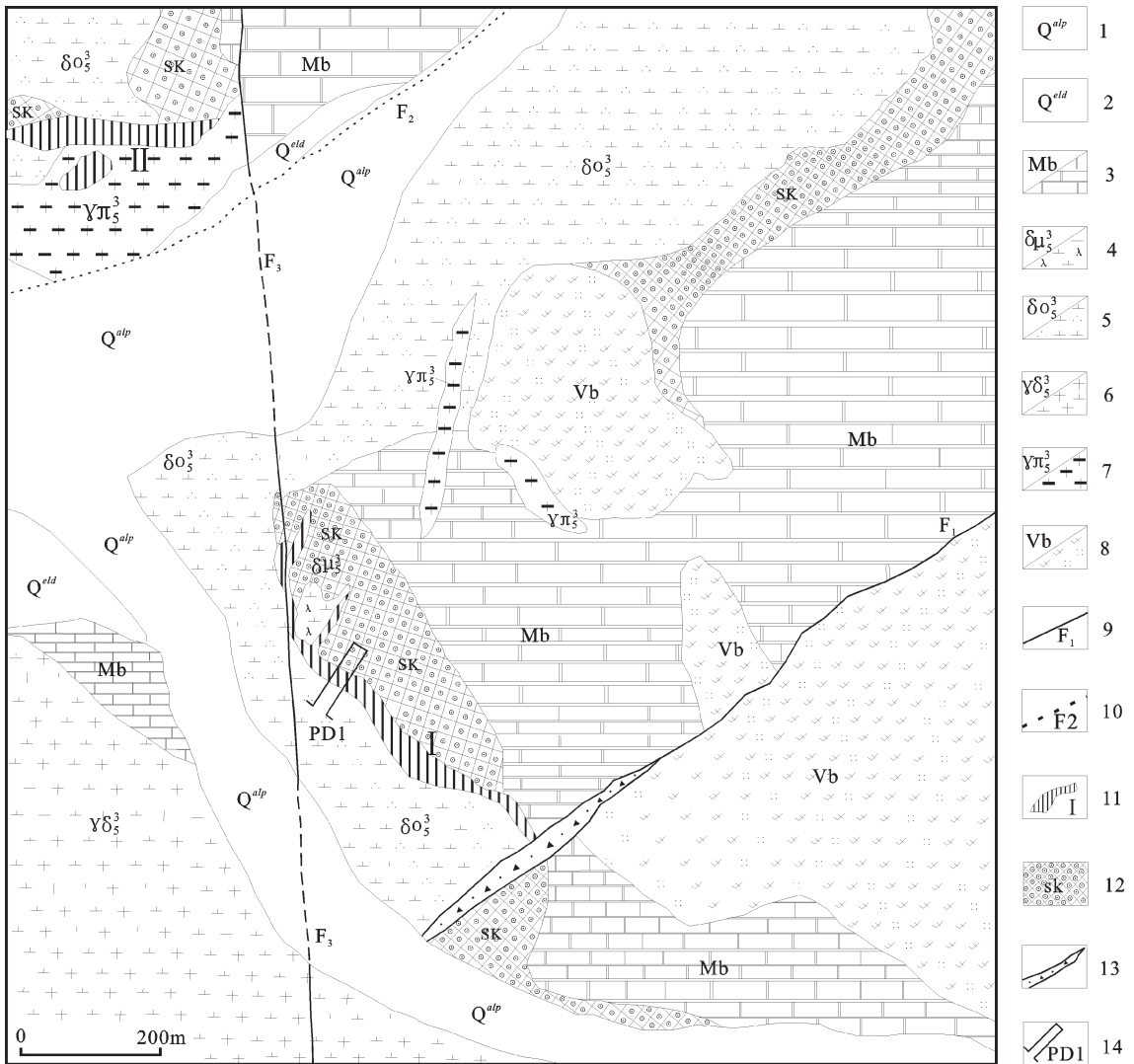


图1 尕尔穷铜金矿区地质图(据唐菊兴<sup>①</sup>修改)

1—第四系洪冲积物;2—第四系残坡积物;3—大理岩;4—闪长玢岩;5—石英闪长岩;6—花岗闪岩;7—花岗斑岩;8—安山质火山碎屑岩;9—性质不明断层;10—推测断层;11—矿体及编号;12—钙矽卡岩;13—断层破碎带;14—平硐及编号

Fig.1 Geological map of the Gaerqiong Cu -Au deposit(modified after Tang Juxing)

1- Quaternary alluvium and proluvium; 2- Quaternary residual and talus materials;3-Marble;4-Diorite porphyrite; 5-Quartz diorite;6-Granodiorite;7-Granite porphyry;8-Andesite volcanoclastic rock;9-Unknown fault;10-Inferred fault; 11-Ore body and its serial number; 12-Calc skarn;13-Fault fracture zone;14-Adit and its serial number

体 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄花岗斑岩 (83.2±0.7) Ma, 石英闪长玢岩(87.1±0.4)Ma(唐菊兴,2011), 辉钼矿 Re-Os 模式年龄 86.8~93.2Ma<sup>[113]</sup>。

## 2 矿床特征

### 2.1 矿体特征

现已发现矿体数量众多,其中主要矿体 2 个,另

有小矿体 25 个,主要分布在花岗斑岩与大理岩内外接触带及围岩断裂构造中。1 号矿体赋存于岩体与围岩接触带中,走向北西西,倾向北北东-北东,倾角在 32°~71°,在走向上长大于 900 m,沿倾向方向延伸大于 400 m,主要呈似层状、透镜状产出,铜平均品位 0.9%~1%<sup>①</sup>,整体产状受地层控制。2 号矿体主要受岩体内接触带矽卡岩控制,总体上为一透镜

<sup>①</sup>唐菊兴,李志军,刘文周,等.西藏自治区革吉县尕尔穷矿区铜矿详查报告,2009.

体状矿体。与成矿有关的围岩蚀变主要有石榴石化、透辉石化、阳起石化、绿泥石化、硅化、大理岩化等。

2.2 矿石特征

矿石类型按矿物组合分为磁铁矿-黄铁矿-黄铜矿-自然金-辉铋矿矿石, 磁铁矿-赤铁矿-自然金(银)矿石, 赤铁矿-黄铁矿-黄铜矿矿石, 黄铁矿-黄铜矿-斑铜矿矿石, 针铁矿-纤铁矿-赤铁矿矿石。

矿石构造有:块状矿石、浸染状矿石、斑杂状矿石、星点/尘点状矿石。矿石结构有结晶作用形成的自形晶-半自形晶结构、他形晶结构;交代作用形成的侵蚀结构、反应边结构、假象结构、网脉状结构;固溶体分离作用形成的格状-次格状结构、叶片状结构、乳滴状结构;生物沉积作用形成的球粒结构、草莓结构;风化作用形成的胶状结构等。

矿石成分复杂, 金属矿物主要有黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿、辉钼矿、辉铜矿、闪锌矿、方铅矿、自然铋、辉铋矿、硫铜铋矿、碲铋矿、含硫碲铋矿、未定名碲化物 BiTe<sub>2</sub>、自然金、银金矿、碲银矿、铜金矿、锌铜互化物、自然铁、磁铁矿、赤铁矿、穆磁铁矿、金红石、方铁矿、针铁矿、纤铁矿、蓝辉铜矿、铜蓝、自然铜等。

2.3 成矿期成矿阶段

据矿石组构、类型、矿物共生组合关系特征, 结合光片鉴定成果将矿床成矿过程划分为 2 个成矿期 3 个成矿阶段。

(1) 岩浆热液成矿期

① 矽卡岩-氧化物阶段:此阶段主要形成各种硅酸盐矿物, 岩浆气水热液沿接触带交代形成矽卡岩矿物, 同时形成大量磁铁矿、赤铁矿, 后期有少量硫化物

形成, 多为辉钼矿、黄铜矿、磁黄铁矿和毒砂等, 矿石类型以稀疏浸染状或星点状为主。

② 石英-硫化物阶段: 后期热液沿次级构造充填, 交代早期形成的矿物, 伴随该阶段与矿化密切相关的蚀变为硅化作用。矿石类型以细脉浸染状或角砾状充填为主, 金属矿物有黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、斑铜矿等。

③ 碳酸盐-铅锌硫化物阶段: 到成矿晚期伴随着大量方解石的形成, 矿化作用形成金属矿物有方铅矿、闪锌矿等。

(2) 表生风化期: 主要是浅部硫化物矿石经风化淋滤, 褐铁矿化及孔雀石化的过程, 与此同时在地下水潜水面附近有次生硫化物辉铜矿和铜蓝生成。

3 样品特征及测试分析

3.1 样品特征

样品采自花岗斑岩和大理岩接触带 1 号矿体中的浸染状铜矿石, 其中主要铜矿物为黄铜矿、斑铜矿等。首先将样品制成薄片、光片, 薄片经鉴定含矿岩石类型为含绿泥石硅灰石石英岩, 光片通过反射偏光显微镜鉴定, 金属矿物除了首次发现的 Ni-Cr-Fe, Cu-Zn 互化物外, 样品中还有自然铁、含铋自然铋等(表 1)。根据这些罕见矿物赋存的矿石类型、矿物组合、矿石组构关系, 认为其为热液成矿早阶段(矽卡岩-氧化物阶段)的产物。样品由成都理工大学四川省矿物学岩石学矿床学重点学科实验室 FEI-Nova NanoSEM 450 场发射扫描电子显微镜和 EDAX 公司 (AX E-650) 电制冷能谱与电子背散射

表 1 尕尔穷铜金矿床 Ni-Cr-Fe、Cu-Zn 互化物化学成分 (%) 及晶体化学式  
Table 1 Chemical composition and crystal chemical formulae of Ni-Cr-Fe, Cu-Zn intermetallic compound from the Garqiong Copper-Gold Deposit

样品编号	S	Bi	Cu	Fe	Zn	Cr	Ni	Co	Re	Os	总量	晶体化学式
G2051-135	—	—	53.45	0.7	45.85	—	—	—	—	—	100.09	Cu <sub>4.81</sub> Zn <sub>4</sub>
	—	—	59.52	—	38.63	—	1.18	—	—	—	99.33	Cu <sub>6.34</sub> Zn <sub>4</sub>
	—	—	59.73	—	40.04	—	—	—	—	—	99.77	Cu <sub>5.97</sub> Zn <sub>4</sub>
	—	—	59.51	—	38.77	—	1.09	—	—	—	99.37	Cu <sub>6.32</sub> Zn <sub>4</sub>
	—	—	55.67	—	36.91	—	—	—	7.21	—	99.79	Re <sub>0.27</sub> Cu <sub>6.19</sub> Zn <sub>4</sub>
	—	—	—	98.78	—	0.47	—	0.74	—	—	100	Fe
	—	—	—	73.33	—	14.64	12.03	—	—	—	99.36	Ni <sub>0.78</sub> Cr <sub>1.07</sub> Fe <sub>5</sub>
G2020-184	—	—	—	74.52	—	14.40	11.07	—	—	—	99.90	Ni <sub>0.71</sub> Cr <sub>1.06</sub> Fe <sub>5</sub>
	—	—	—	74.09	—	13.64	11.44	—	—	—	99.17	Ni <sub>0.73</sub> Cr <sub>0.98</sub> Fe <sub>5</sub>
	2.05	86.92	—	5.73	—	—	—	—	—	5.30	100	Bi
G2020-165	2.18	92.86	—	—	—	—	—	—	4.95	99.99	Bi	

衍射(EBSD)一体化系统测试分析(测试条件:20kV,测试温度:21℃,湿度:35%RH,分析依据:SY/T5162-1997岩石样品扫描电子显微镜分析方法)。

### 3.2 Ni-Cr-Fe 互化物

白文吉(2002)在西藏罗布莎铬铁矿床橄榄岩中发现的 Fe-Cr-Ni 互化物(铬铁镍矿)<sup>[10]</sup>,其化学成分为:Fe 35.58%~34.5%,Ni 41.62%~40.97%,Cr 22.72%~21.86%,平均成分晶体化学分子式: $Cr_{2.04}Ni_{3.37}Fe_3$ ,简式: $Cr_2Ni_3Fe_3$ 是一种富镍的 Fe-Cr-Ni 互化物。尕尔穷矿床中 Fe-Cr-Ni 互化物产于花岗斑岩中,矿物呈他形晶,反射色呈亮白色,反射率较高,粒度 $<5\mu m$ ,分布于透辉石、透闪石和石英等脉石矿物颗粒之间(图 2-A)。主要由 Fe,Cr,Ni 元素组成,化学成分为 Fe 74.52%~73.33%,Cr 14.64%~13.64%和 Ni 12.03%~11.07%。根据扫描电镜分析结果计算得到的平均化学分子式为  $Ni_{0.74}Cr_{1.04}Fe_8$ (表 1),简式: $NiCrFe_8$ 是一种新的富铁 Fe-Cr-Ni 互化物,与前者不同。

矿石中还发现自然元素矿物自然铁和含钷自然铋,自然铁呈他形晶产于透辉石、透闪石、石英等脉石矿物粒间,粒度小于  $5\mu m$ ,含微量的铬和镍(图 2-B)。化学成分 Fe 98.78%,Cr 0.47%,Ni 0.74%,也是 Fe-Cr-Ni 成分含量不同的互化物,共生在一起反映出成矿物质成分和形成条件的演化。铁是变价元素且化学性质较活泼,具有较强的亲硫性,同时也具有亲氧性。在自然界中容易形成各种价态的氧化物、硫化物及复杂化合物矿物。通常在极为还原环境下形成的自然金属、与铁族元素和铂族元素形成的金属互化物。尕尔穷矿床中同时出现自然铁和 Fe-Cr-Ni 互化物,及铁的氧化物、硫化物。反映出成矿过程中成矿条件的演化。含钷自然铋也是罕见的自然元素矿物,钷的含量 4.95%~5.30%(表 1),铂族元素钷也是一种与地幔物质相关的金属元素,反映出成矿物质具有深部的来源。

### 3.3 Zn-Cu 互化物

铜锌合金矿物最初发现于月岩(Apollo-11)样品中<sup>[14]</sup>,随后在陨石和多种地质体中相继发现。目前在中国已发现很多铜锌互化物,如安徽亳县陨石中的张衡矿( $Cu_3Zn$ )<sup>[15]</sup>;四川丹巴县铜镍硫化物矿床中的丹巴矿( $CuZn_2$ )<sup>[16]</sup>;四川盐源西范坪斑岩铜矿中的铜锌合金矿物( $Cu_{6-7}Zn_4$ )<sup>[17-18]</sup>;四川若尔盖金矿床铜锌合金矿物( $Cu_2Zn$ )<sup>[19]</sup>;西藏玉龙斑岩铜矿床和马拉松

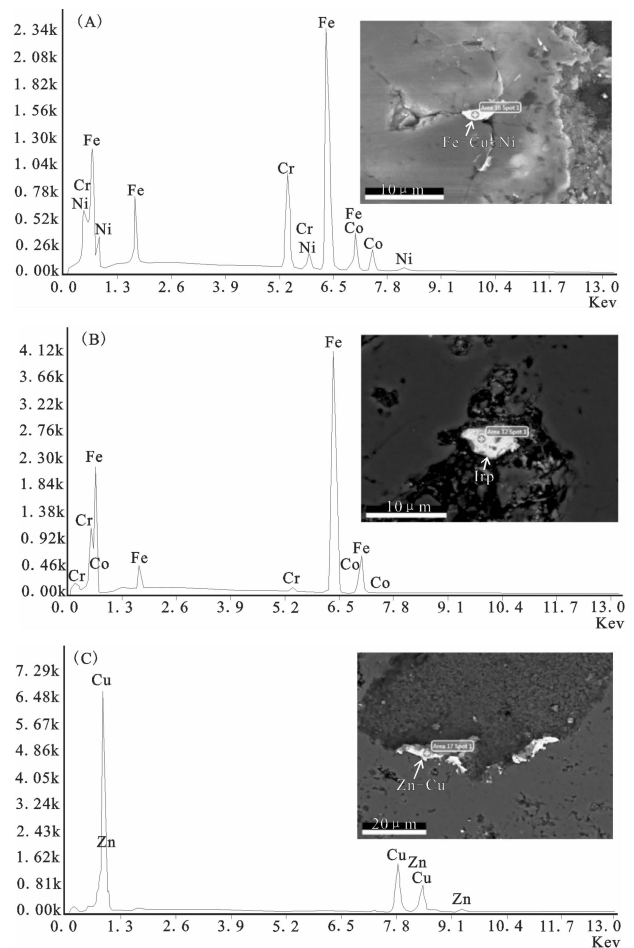


图 2 尕尔穷铜金矿床 Fe-Co-Ni 互化物(A)、自然铁(B)、Zn-Cu 互化物(C)扫描电镜图像与能谱分析谱线图  
Fig.2 Atomic percentage (%) based on SEM energy spectrum analyses of the Fe-Co-Ni intermetallic compound (A), the native iron (B) and the Zn-Cu intermetallic compound (C) from the Gaerqiong deposit

多斑岩铜矿床中铜锌合金矿物( $Cu_2Zn$ )<sup>[20]</sup>;新疆三岔口铜矿床含矿岩体石英闪长岩中铜锌合金矿物( $Cu_2Zn$ )<sup>[21]</sup>;新疆富蕴县喀拉通克铜镍硫化物矿床中铜锌合金矿物( $Cu_3Zn$ )<sup>[22]</sup>;东昆仑喷气沉积钴矿床中铜锌合金矿物( $Cu_2Zn$ )<sup>[23]</sup>;四川牦牛坪稀土矿床中  $Cu_2Zn$ <sup>[24]</sup>,甘肃寨上金矿床中锌铜互化物<sup>[25]</sup>。在矽卡岩型矿床中至今还未见有锌铜互化物的报道。

尕尔穷铜金矿床中锌铜互化物粒度大多小于  $5\mu m$ ,呈他形晶粒状赋存于石英等脉石矿物中,反射色呈亮黄色,反射率较高(图 2-C)。根据扫描电镜分析其质量分数分别为 Cu 59.73%~53.45%,Zn 45.85%~36.91%,含微量 Fe、Ni,个别样品含 Re 较高(7.21%)。计算获得平均化学分子式  $Cu_{5.95}Zn_4$ ,简式

$\text{Cu}_6\text{Zn}_4$ (表 1),与四川盐源西范坪斑岩铜矿中的锌铜互化物  $\text{Cu}_{6-7}\text{Zn}_4$  相似<sup>[17-18]</sup>,均属于  $\alpha$  相锌铜互化物。

### 3 讨论与结论

(1)自然界尤其在地幔内存在种类繁多的金属互化物,这可能与地球形成过程中滞留于地幔、地核中的物质有关,受研究手段的限制至今尚不清楚这些矿物准确的形成条件。然而它们带有地幔-地核的信息是毋庸置疑的,对它们形成条件尤其形成压力的探索具有重要的科学意义。 $\text{Fe-Cr-Ni}$  互化物、自然铁的形成条件相似,都是在较高温度、压力和强还原条件下形成的<sup>[20]</sup>,因此自然界相继在各种板块结合带蛇绿岩中发现了许多此类金属互化物。尕尔穷矿床是班公湖-怒江成矿带中具有代表性的矽卡岩型矿床,矿石中首次发现  $\text{Fe-Cr-Ni}$  互化物、自然铁,具有形成条件及物质来源的重要示踪性,揭示成矿过程经历了高温、高压、强还原的条件,同时还指示该矿床成矿流体可能具有地幔-地核物质的参与。因此, $\text{Fe-Cr-Ni}$  互化矿物与中酸性岩浆岩及相关矿床的成因关系有必要进一步深入研究。

(2)首次在矽卡岩型矿床中发现  $\text{Zn-Cu}$  互化物,具有重要的科学意义,丰富了这类矿物形成地质环境的界定。大量实验表明:锌、铜金属互化物都是在高温、较强的还原且缺硫条件下形成。这一点为该类药物主要与造岩矿物共生所证实,目前在中国发现的各类锌、铜金属互化物主要赋存于各种造岩矿物粒间。由此可以认为锌、铜金属互化物常常形成于成矿作用发生的早期,而且是在成矿体系中硫逸度较低、还原、高温的环境下。

(3)石英和方解石样品中的流体包裹体温度测试,结果可知成矿温度变化规律,流体包裹体的均一温度变化范围为:230~480℃;岩浆热液期与矽卡岩共生的含矿石英脉中流体包裹体的均一温度集中于310~455℃;含矿碳酸盐脉中的流体包裹体均一温度为245~300℃。 $\text{Fe-Cr-Ni}$ 、 $\text{Zn-Cu}$  互化物形成于岩浆热液成矿早期-矽卡岩-氧化物阶段,与其共生的还有自然铁、含钷自然铀等。该类矿物的出现反映出一种特定的高温、高压、极度还原成矿环境。

(4)目前发现的  $\text{Fe-Cr-Ni}$ 、 $\text{Zn-Cu}$  金属互化物大多产于板块构造缝合带及附近,如西藏玉龙斑岩铜矿和马拉松多斑岩铜矿位于印度-亚洲板块主碰撞带三江成矿带北段;四川盐源西范坪斑岩铜矿床

位于三江成矿带南段;西藏罗布莎铬铁矿矿床位于雅鲁藏布江缝合带;大地构造背景具有相似之处,均与相对应的板块俯冲和板块碰撞作用引起的深源基性-超基性岩浆活动有关。尕尔穷铜金矿床位于班公湖-怒江缝合带,与之相关的含矿岩体为花岗斑岩、石英闪长玢岩,矿石中出现  $\text{Fe-Cr-Ni}$ 、 $\text{Zn-Cu}$  互化物、含钷自然铀。众所周知铂族元素、铁、铬、镍、钨是典型的幔源成矿物质,首次在矽卡岩型矿床中发现这些与幔源岩浆有着成矿专属性的成矿元素,在成矿理论、成矿物质来源、成矿条件、成矿环境、矿床成因等方面具有重要的科学研究意义。

**致谢:**野外采样工作得到研究生张志、王红星、胡正华的帮助,镜下鉴定工作在帅德权老师指导下完成,样品测试得到余少雄老师的帮助,匿名审稿人对文章的修改提出了宝贵意见,在一并此致以诚挚的谢意。

### 参考文献(References):

- [1] Bird J M, Weathers M S. Josephinite:specimens from the earth's core? [J]. Earth Planet Sci. Lett., 1975, 28:51-64.
- [2] Makeev A B, Agafonov L V, Goncharenko A I. The relation of the chemical composition to the physical properties of chrome spinels in alpinotypic ultrabasites[J]. Sov. Geol. Geophys., 1984, 25(2):125-129.
- [3] Rudashevsky N S, Dmitrenko G G, Mochalov A G, et al. Native metals and carbides in alpine-type ultramafites of Koryak Highland [J]. Mineral Zh, 1983, 9(4):71-82(in Russian).
- [4] Rudashevsky N S, Mochalov A G, Budko I A, et al. Pt-Ir-bearing and Ir-Pt-bearing taenite and Fe-bearing iridosmine—New mineral species[J]. Mineral Zh. 1988, 10 (1):15-22(in Russian).
- [5] Mochalov A G, Dmitrenko G G, Zhernovskii I V, et al. A New Iridium-Osmium-Ruthenium Type (Solid Solutions of Rare Platinoids with Iron) of Platinoid Mineralization in Chrome-spinellids of Alpine-type Ultramafic Rocks of the Koryak Highlands[M]. Alexandria: Am. Geol. Inst., 1986:1-19.
- [6] Melcher F, Grum W, Simon G, et al. Petrogenesis of giant chromite deposits of Kempirsai, Kazakhstan:a study of solid and fluid inclusions in chromite[J]. J Petrol, 1997, 38:1419-1458.
- [7] 白文吉, 杨经绥, 方青松, 等. 西藏蛇绿岩地幔中的主要自然金属矿物[J]. 地学前缘, 2004, 11(1):179-187.  
Bai Wenji, Yang Jingsui, Fang Qingsong, et al. Some native metals from ophiolitic chromitites in Tibet [J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(1):179-187(in Chinese with English abstract).
- [8] 白文吉, 杨经绥, 方青松, 等. 西藏罗布莎蛇绿岩豆荚状铬铁矿石中的合金成分[J]. 地质学报, 2004, 78(10):676-684.  
Bai Wenji, Yang Jingsui, Fang Qingsong, et al. Chemical compositions of alloys from podiform chromitites in the Luobusa

- Ophiolite, Tibet Institute of Geology [J]. *Acta Geologica Sinica*, 2004, 78(10):676-684(in Chinese with English abstract).
- [9] 白文吉, 杨经绥, 施倪承, 等. 西藏罗布莎蛇绿岩地幔中首次发现超高压矿物方铁矿和自然铁[J]. *地质论评*, 2004, 50(2):184-188.  
Bai Wenji, Yang Jingsui, Shi Nicheng, et al. A discovery of ultrahigh pressure minerals—Wustite and native Iron from the mantle ophiolite, at Luobusa, Xizang [J]. *Geological Review*, 2004, 50(2): 184-188(in Chinese with English abstract).
- [10] 白文吉, 施倪承, 杨经绥, 等. 西藏蛇绿岩中二种合金矿物新变种[J]. *矿物学报*, 2002, 22(3):201-206.  
Bai Wenji, Shi Nicheng Yang Jingsui, et al. Two new varieties of iron nickel from ophiolites Tibet [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 2002, 22(3):201-206 (in Chinese with English abstract).
- [11] 李志军, 唐菊兴, 姚晓峰, 等. 班公湖-怒江成矿带西段尔穷铜金矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2011, 38(6):679-683.  
Li Zhijun, Tang Juxing, Yao Xiaofeng, et al. Re-Os isotope age and geological significance of molybdenite in the Gaerqiong Cu-Au deposit of Geji, Tibet, China[J]. *Journal of Chengdu University of Technology(Science & Technology Edition)*, 2011, 38(6):679-683(in Chinese with English abstract).
- [12] 邓世林, 唐菊兴, 李志军, 等. 西藏尔穷铜金矿床岩体地球化学特征[J]. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 2011, 38(1):85-91.  
Deng Shilin, Tang Juxing, Li Zhijun, et al. Geochemical characteristics of rock mass in the Gaerqiong Cu-Au deposit, Tibet [J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 2011, 38(1):85-91(in Chinese with English abstract).
- [13] 曲晓明, 辛洪波. 藏西班牙湖斑岩铜矿带的形成时代与成矿构造环境[J]. *地质通报*, 2006, 25(7):792-799.  
Qu Xiaoming, Xin Hongbo. Ages and tectonic environment of the Bangong Co porphyry copper belt in western Tibet, China [J]. *Geological Bulletin of China*, 2006, 25 (7):792-799 (in Chinese with English abstract).
- [14] Agrell S O, Scoon J H, Muir I D, et al. Mineralogy and petrology of some lunar samples [J]. *Science*, 1970, 167 (3918)(The Moon Issue):583-586.
- [15] 王奎仁. 新矿物——张衡矿[J]. *矿物学报*, 1986, 6(3):220-223.  
Wang Kuiren. Zhangheng—A new mineral [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1986, 6(3):220-223 (in Chinese with English abstract).
- [16] 岳书勤, 王文瑛, 刘金定, 等. 丹巴矿的研究 [J]. *科学通报*, 1982, 27(22):1382-1386.  
Yue Shuqing, Wang Wenyong, Liu Jinding, et al. Research on Danbaite[J]. *Chinese Science Bulletin*, 1982, 27(22):1382-1386 (in Chinese with English abstract).
- [17] Xiao Y F, Sun Y, Lu Y, et al. Zinccopperite—A new variety of zinc-copper intermetallic compounds discovered in a porphyry copper deposit[J]. *Acta Geologica Sinica*, 1998, 72(3):308-313.
- [18] 孙燕, 肖渊甫, 王浆臻, 等. 我国天然锌铜金属互化物的发现和特征[J]. *矿物岩石*, 2003, 23(2):11-14.  
Sun Yan, Xiao Yuanfu, Wang Jiangzhen, et al. The Discovery features of the native Zinc-Copper Intermetallic compounds in China[J]. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 2003, 23(2):11-14 (in Chinese with English abstract).
- [19] 罗梅, 王月文. 若尔盖巴西金矿床铜锌矿的发现及其地质意义[J]. *矿物学报*, 1999, 19(1): 20-22.  
Luo Mei, Wang Yuewen. The Discovery of Copper-Zinc(Cu<sub>2</sub>Zn) Ores of Baxi Gold Deposit in Roergai and its geologic significance [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1999, 19(1):20-22(in Chinese with English abstract).
- [20] 帅德权, 张如柏, 罗梅, 等. 天然铜锌系列中铜锌矿物的研究[J]. *矿物学报*, 1998, 18(4):509-512.  
Shuai Dequan, Zhang Rubo, Luo Mei, et al. The study of natural Cu-Zn Series Mineral-Tongxinite [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 1998, 18(4):509-512(in Chinese with English abstract).
- [21] 郎智君. 新疆哈密三岔口石英闪长岩体中发现锌铜矿[J]. *新疆地质*, 1990, 8(3):244-252.  
Lang Zhijun. Zinc-Coperite (Cu<sub>2</sub>Zn) discovery in Quartz Diorite at Sanchakou of Hami, Xinjiang[J]. *Xinjiang Geology*, 1990, 8(3): 244-252(in Chinese with English abstract).
- [22] 李本海, 薛秀娣, 易爽庭. 喀拉通克一号岩体发现锌铜矿 [J]. *地质实验室*, 1989, 5(4):239-241.  
Li Benhai, Xue Xiudi, Yi Shuangting. The Discovery of Zinc-Copperite in the NO.1 intrusive body Atkaratongke, Xinjiang [J]. *Geological Laboratory*, 1989, 5 (4):239-241 (in Chinese with English abstract).
- [23] 张德全, 王彦, 丰成友, 等. 驼路沟喷气沉积型钴(金)矿床的地质-地球化学[J]. *矿床地质*, 2002, 21(3):213-222.  
Zhang Dequan, Wang Yan, Feng, Chengyou, et al. The geologic geochemistry of cobalt and gold deposit in Tuolugou [J]. *Mineral Deposits*, 2002, 21(3):213-222(in Chinese with English abstract).
- [24] 谢玉玲, 侯增谦, 徐九华, 等. 四川冕宁-德昌稀土成矿带铜锌、铜锡合金矿物的发现及成因意义[J]. *中国科学(D辑)*, 2005, 35(6): 572-577.  
Xie Yuling, Hou Zengqian, Xu Jiuhua, et al. The discovery and genesis of zinccopperite and Copper-Tin in Mianning-Dechang REE metallogenic belt, Sichuan [J]. *Science in China (Series D)*, 2005, 35 (6):572-577(in Chinese with English abstract).
- [25] 刘家军, 毛光剑, 马星华, 等. 甘肃寨上金矿床中 Cu-Ni-Zn-Sn-Fe 多金属互化物、S 合金矿物的发现及其地质意义[J]. *中国科学(D辑)*, 2008, 38(4):414-423.  
Liu Jiajun, Mao Guangjian, Ma Xinghua, et al. The discovery and its geological significance of Cu-Ni-Zn-Sn-Fe intermetallic and S-alloy minerals of the Zhaishang gold area, Gansu [J]. *Science in China (Series D)*, 2008, 38(4):414-423 (in Chinese with English abstract).
- [26] Distler V V, Yudovskaya M A, Mitrofanov G L, et al. Geology, composition, and genesis of the Sukhoi Log noble metals deposit, Russia[J]. *Ore Geol. Rev.*, 2004, 24:7-44.

## The discovery of rare intermetallic compounds (Ni-Cr-Fe,Cu-Zn) in the Garqiong copper-gold deposit of Tibet

XIAO Yuan-fu, SUN Yan, WANG Qiang, LI Zhi-jun,  
WANG Yu-liang, ZHANG Shi-ming, GONG Ting-ting, HE Jia-le

*(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China)*

**Abstract:** The Bangong Lake-Nujiang River metallogenic belt is an important copper-polymetallic ore belt in Tibet, and Garqiong is the key skarn-type copper-gold ore deposit in this metallogenic belt. With the means of sampling based on field geological investigation, microscopic examination, SEM observation, X-ray energy spectrum test and analysis, and systematic research on material components of ores, the authors found for the first time rare intermetallic compounds (Ni-Cr-Fe, Cu-Zn), and this was also the first discovery of such intermetallic compounds in the skarn deposit, as there had been no such reports both in China and abroad. These intermetallic compounds are all rare minerals in nature, formed in a unique environment, i.e., a strong reducing environment of hypoxia and low sulfur. The ore-forming elements with metallogenic specialization of mantle-derived magma were found in the skarn-type deposit for the first time, which has important scientific and academic significance for the study of metallogenic theory, ore-forming materials, metallogenic conditions, metallogenic environment and ore genesis.

**Key words:** intermetallic compound; copper-gold deposit; Bangong Lake-Nujiang River metallogenic belt; Garqiong; Tibet

---

**About the first author:** XIAO Yuan-fu, male, born in 1957, professor, engages in the study of petrology and resources exploration and evaluation; E-mail: xyf@cdut.edu.cn.