

# 滇西北羊拉大型铜矿床深部高品位锑矿体的发现及意义

王新富<sup>1,2</sup>, 李波<sup>1\*</sup>, 刘月东<sup>3</sup>, 叶霖<sup>4</sup>, 刘凤泽<sup>3</sup>,  
尹佳明<sup>5</sup>, 黄智龙<sup>4</sup>, 胡登攀<sup>5</sup>

(1. 昆明理工大学 国土资源工程学院, 云南 昆明 650093; 2. 云南大学 地球科学学院, 云南 昆明 650500;  
3. 云南迪庆矿业开发有限责任公司, 云南 香格里拉 674400; 4. 中国科学院 地球化学研究所, 矿床地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081; 5. 云南铜业矿产资源勘查开发有限公司, 云南 昆明 650000)

**摘要:**金沙江成矿带矿产资源以铜、铅、锌矿为主, 之前尚未发现具有经济价值锑矿床。云南羊拉铜矿床为该成矿带内的代表性大型铜多金属矿床, 近期在其深部新发现高品位锑矿体, 在金沙江铜多金属成矿带内属首次报道。该类锑矿体主要呈似层状和不规则脉状及团块状产出, 空间形态严格受 NE 向断裂及其节理裂隙的控制。已控制的锑矿体长约 300 m, 厚 3~15 m, 矿石品位变化范围为 11.14%~21.17%, 局部富集地段矿石品位可达 45.75%, 初步估算新发现锑矿体可达到中型矿床规模。研究表明, 该矿床锑矿成矿作用与铜矿成矿作用差异明显, 对新发现锑矿体和已知铜矿体的成因联系研究, 不仅可以丰富完善羊拉铜矿床成矿理论, 亦可开拓矿区深部与外围锑资源地质勘探的思路。

**关键词:** 锑矿体; 高品位; 羊拉铜矿床; 滇西北

中图分类号: P612 文献标志码: A 文章编号: 1001-1552(2023)05-1063-06

## 0 引言

锑(Sb)广泛应用于催化剂、阻燃剂、新能源电池等领域, 是高科技领域和新兴产业的必需战略性金属矿产资源之一(郑有业等, 2022)。全球锑资源主要分布在中国、俄罗斯、玻利维亚、吉尔吉斯斯坦等国家和地区(United States Geological Survey, 2022), 而我国锑资源主要分布在湖南、广西、西藏、贵州等地(王岩等, 2021)。我国西南“三江”地区的锑矿床主要产

出于金沙江成矿带西侧的昌都盆地和兰坪-思茅盆地内, 而金沙江成矿带则以铜、铅、锌矿产著称, 之前尚未发现具有经济价值锑矿床(李文昌等, 2010)。羊拉大型铜矿床位于金沙江铜多金属成矿带内(图 1), 学者们已开展研究工作, 积累了丰富的研究成果(Zhu et al., 2015; Li et al., 2021; 黄智龙等, 2022)。近期, 笔者所在研究团队于羊拉矿床深部发现单独产出的高品位锑矿体, 该发现在金沙江成矿带内属首次, 具有重要的科学研究价值和经济价值。

收稿日期: 2022-10-12; 改回日期: 2022-10-29; 网络首发日期: 2022-11-03

项目资助: 国家自然科学基金项目(41862007)、云南省万人计划青年拔尖人才项目(YNWR-QNBJ-2018-093)和昆明理工大学重点学科建设项目(14078384)联合资助。

第一作者简介: 王新富(1990-), 男, 博士后, 从事矿产普查与勘探研究。E-mail: xinfuwang2022@126.com

通信作者: 李波(1981-), 男, 教授, 博士生导师, 从事成矿规律与找矿预测研究。E-mail: libo8105@kust.edu.cn

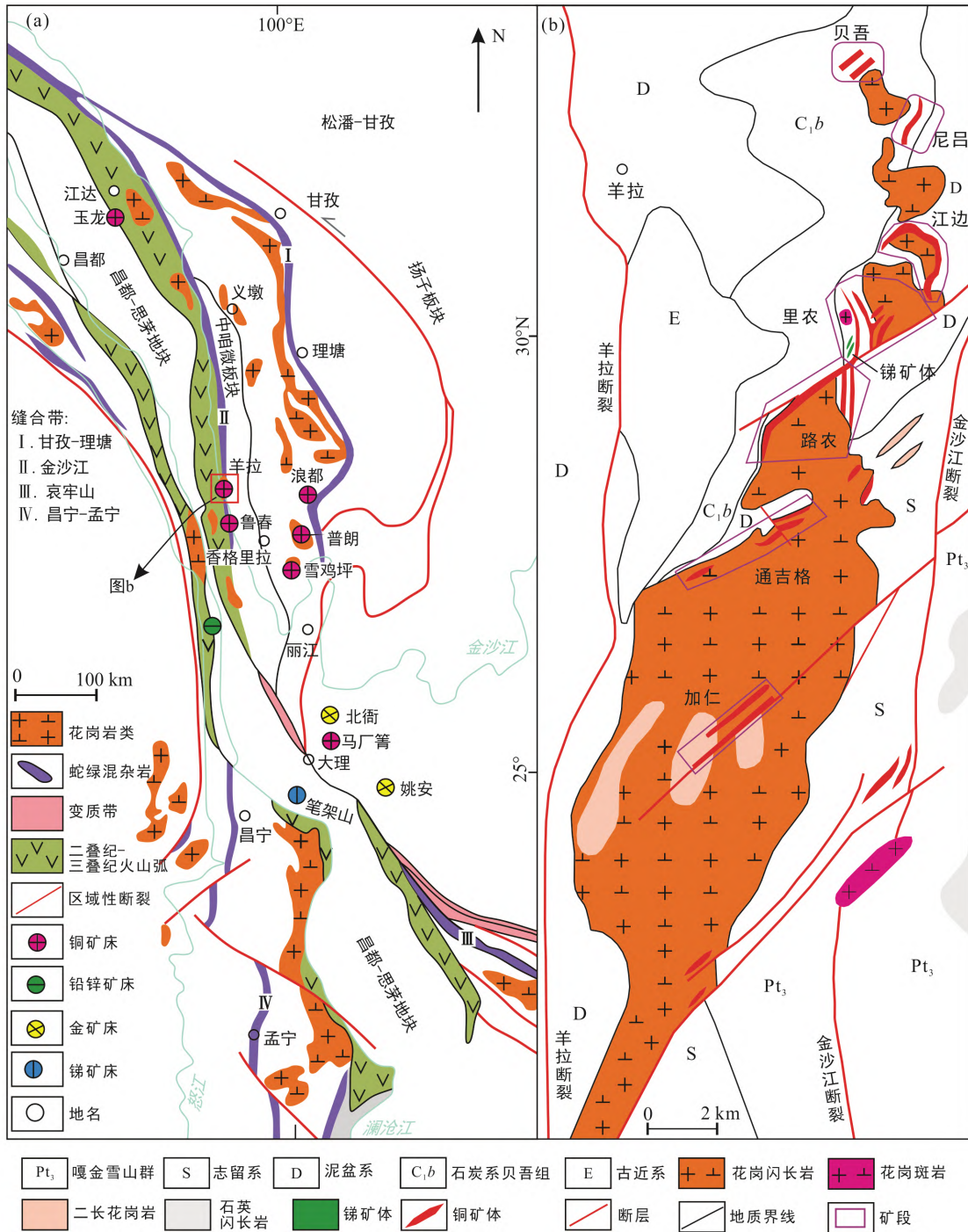


图 1 西南“三江”地区构造单元简图(a; 据 Zhu et al., 2015 修改)和羊拉铜矿床地质简图(b; 据 Li et al., 2021 修改)  
 Fig.1 Tectonic framework of the Sanjiang region, SW China (a) and geologic map of the Yangla Cu deposit (b)

### 1 锑矿体地质特征

新发现的锑矿体位于里农矿段 3250 m 中段的 39<sup>#</sup>、43<sup>#</sup>和 45<sup>#</sup>穿脉, 产出于泥盆系里农组二段 (D<sub>2+3</sub><sup>l2</sup>) 灰白色大理岩内的后期断裂内。矿体主要呈似层状、不规则脉状及团块状产出, 其空间形态严

格受 NE 向断裂及其节理裂隙的控制(图 2), 总体走向 NE30°~55°, 倾向 NW、倾角 38°~55°。已控制的锑矿体长约 300 m, 厚 3~15 m, 矿石平均品位 11.14%~21.17%, 局部富集地段锑矿石品位可达 45.75%。目前该锑矿体的走向延长、垂向延深均未完全控制, 根据已有探矿工程预测, 新发现锑矿体的资源量超过 1 万吨, 已达到中型矿床规模。



已有研究表明, 羊拉铜矿床的矽卡岩型铜矿石中含极少量辉锑矿, 粒径 0.01~0.8 mm, 与磁黄铁矿共生, 主要呈长柱状、针状、它形粒状充填于磁黄铁矿裂隙内(云南省地质调查院, 2004)。不同于前人

报道的锑矿化, 本次新发现为工业锑矿体, 其矿石矿物主要为辉锑矿(图 3), 含少量方铅矿、黄铁矿, 靠近断裂带附近可见少量锑华; 而脉石矿物主要为石英(图 3), 其次为方解石。笔者初步研究(课题组

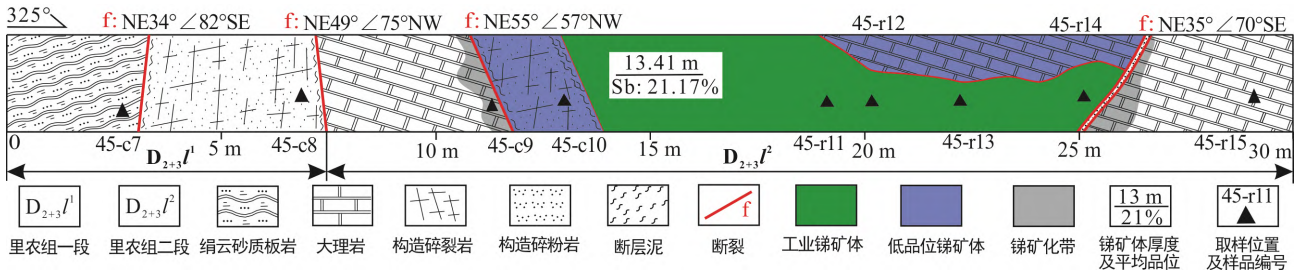
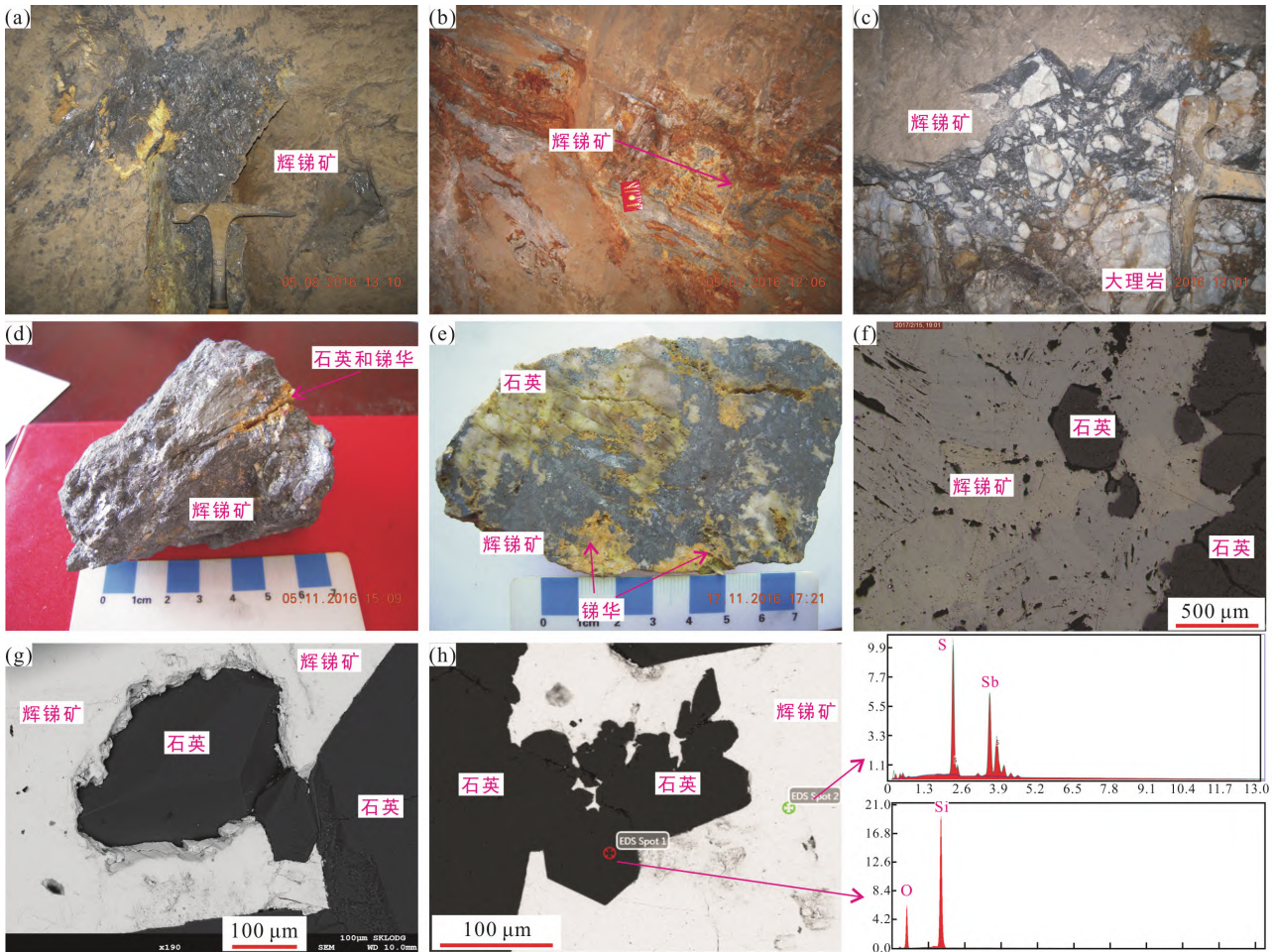


图 2 羊拉铜矿床 3250 m 中段 45#穿脉坑道素描图

Fig.2 Sketch map of the 45# prospecting line in the 3250 m level tunnel of the Yangla Cu deposit



(a) 厚层状富锑矿体; (b) 断裂破碎带内呈不规则脉状锑矿体; (c) 大理岩内的网脉状、角砾状锑矿石, 胶结物为辉锑矿; (d) 致密块状锑矿石, 矿石矿物主要为辉锑矿, 脉石矿物极少(石英、方解石)(No.45-r13); (e) 块状锑矿石, 矿石矿物为辉锑矿, 少量锑华; 脉石矿物为石英和方解石(No.45-r14); (f) 显微镜下辉锑矿和石英呈共边结构(No.45-r17); (g) 扫描电镜下辉锑矿和石英呈共边结构, 显示为同时结晶而成, 且石英呈明显的自形晶粒状结构(No.45-r22); (h) 扫描电镜下脉石矿物和矿石矿物界线截然, 两者为同时形成; 能谱图显示矿石矿物为辉锑矿, 脉石矿物为石英(No.45-r18)。

图 3 羊拉铜矿床辉锑矿的宏观和微观特征

Fig.3 Macroscopic and microscopic characteristics of stibnite in the Yangla Cu deposit

未发表数据)表明,辉锑矿  $\delta^{34}\text{S}$  值介于 10.42‰~19.15‰之间,平均 13.73‰( $n=6$ ),呈现正值和强烈富集重硫特征,且明显高于矽卡岩型铜矿石中硫化物的硫同位素组成,指示锑成矿流体中的硫可能主要来源于矿区赋矿围岩,属上地壳源硫。辉锑矿  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18.532\sim 18.785$ (平均 18.680),  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.780\sim 15.980$ (平均 15.914),  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.907\sim 39.403$ (平均 39.221)( $n=6$ ),指示锑成矿体系中的成矿金属铅主要来源于上地壳,属上地壳源铅。羊拉矿床矽卡岩铜矿石中硫化物  $\delta^{34}\text{S}$  值主要为  $-6.90\text{‰}\sim 3.30\text{‰}$ ,平均  $-0.17\text{‰}$ ( $n=122$ ),明显具塔式分布特征,集中分布于零值附近,指示铜成矿流体中的硫主要来源于矿区岩浆岩(Zhu et al., 2015; Li et al., 2021; 黄智龙等, 2022);铜矿石中硫化物  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.985\sim 19.039$ ,平均 18.350;  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.434\sim 15.737$ ,平均 15.651;  $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=37.833\sim 38.799$ ,平均 38.541( $n=41$ );指示铜成矿流体中铅主要来源于矿区岩浆岩和赋矿地层的双重贡献(Zhu et al., 2015; Li et al., 2021; 黄智龙等, 2022)。因此,羊拉矿床锑矿石中的硫和铅来源明显不同于矽卡岩型铜矿石。此外,辉锑矿中流体包裹体均一温度为  $172.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (1个测温数据;图 4)、共生脉石矿物石英中流体包裹体均一温度为  $138.5\sim 165.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (5个测温数据;图 4),亦明显低于矽卡岩型铜矿体的主成矿期温度(均一温度为  $148\sim 398\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,平均  $269\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;陈思尧等,

2013)。且锑矿体远离花岗闪长岩体,空间产出严格受断裂构造的控制。上述证据均显示锑矿成矿作用有别于铜矿成矿作用。此外,矿田构造体系亦反映其成矿时代可能为燕山期-喜马拉雅期,故笔者推测该锑矿体可能是构造动力条件下中低温热液成矿作用的产物,但还需要同位素年代学的精确制约。

## 2 地质意义

金沙江成矿带分布有羊拉大型铜矿床、通吉格中型铜矿床、拖顶中型铜矿床、纳交系中型铅锌矿床和三家村中型铅锌矿床等(李文昌等, 2010),本次新发现的锑矿体,在金沙江成矿带内为一种独特的矿化类型。对羊拉铜矿床深部锑矿体和已知铜矿体成因联系的深入研究,不仅可以丰富和完善羊拉铜矿床的成矿模式,而且可为探讨金沙江成矿带的成矿作用演化提供重要支撑。

此外,锑矿体的深部延深、矿区内其他地段及其外围地区是否也可能形成锑矿体,成为矿山企业所急需解决的现实问题。1:20万水系沉积物地球化学特征(曾普胜等, 2015)显示,羊拉矿区北部的羊拉乡和南部的加仁存在明显的锑异常,可能预示着具备形成锑矿的潜力。对羊拉矿床新发现锑矿体成矿时代及成因的研究,亦可助推矿区深部和外围的锑矿找矿勘探。

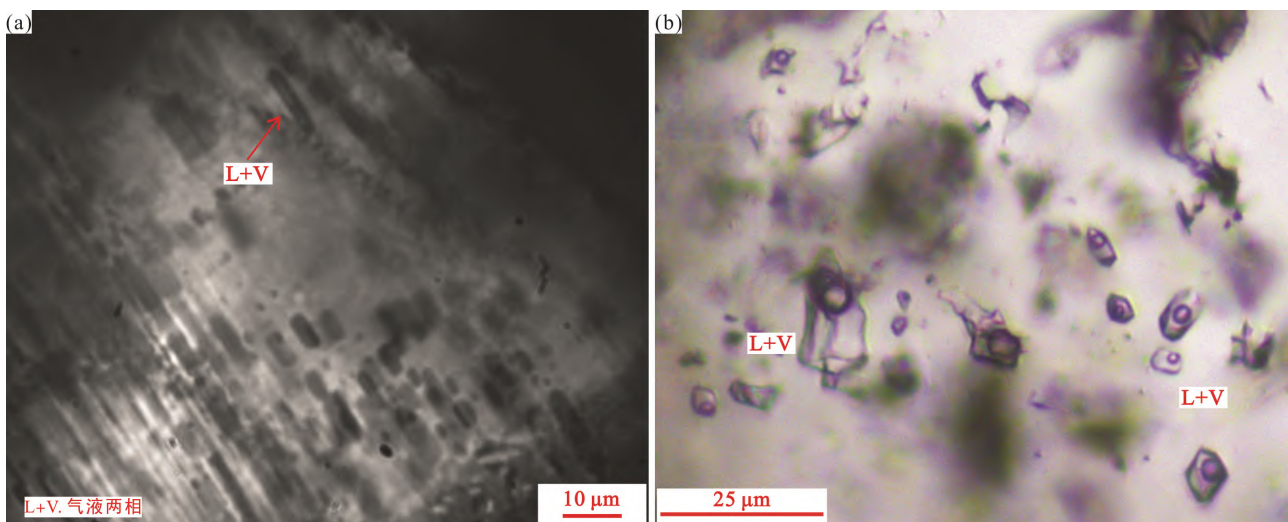


图 4 羊拉铜矿床辉锑矿(a)及脉石矿物石英(b)中的流体包裹体

Fig.4 Fluid inclusions in stibnite (a) and gangue mineral quartz (b) of the Yangla Cu deposit



致谢:北京大学许成教授和中国地质科学院矿产资源研究所张长青研究员对本文进行了认真审阅,并提出了建设性修改意见,在此致以特别谢意!

#### 参考文献(References):

- 陈思尧,顾雪祥,程文斌,郑谔,韩思宇,彭义伟. 2013. 云南羊拉铜矿床成矿流体特征及成矿过程. 地学前缘, 20(1): 82-91.
- 黄智龙,李波,邹国富,杜丽娟,刘月东,毕献武,唐果,朱经经,杨喜安,罗诚,刘家军,李建飞,王新富,周家喜,陈军,方中有,刘小青,李红飞,刘凤泽,杨一帆,李在早. 2022. 滇西羊拉大型铜矿床成矿与预测. 北京: 科学出版社: 1-439.
- 李文昌,潘桂棠,侯增谦,莫宣学,王立全,丁俊,徐强,李兴振,李定谋,杜德勋,江新胜,胡云中,吕庆田,杨伟光,卢映祥,范玉华,杨夕辉,沈上越,徐启东,朱勤文,周耀军,李晓明,郭远生,张翼飞,罗君烈,任治机,曾普胜,杨岳清,汪民杰,尹光侯. 2010. 西南“三江”多岛弧盆-碰撞造山成矿理论与勘查技术. 北京: 地质出版社: 232-238.
- 王岩,王登红,王永磊,黄凡. 2021. 基于地质大数据的中国锑矿空间分布规律定量研究. 中国地质, 48(1): 52-67.
- 云南省地质调查院. 2004. 云南省德钦县羊拉铜矿里农矿段首采区勘探报告.
- 曾普胜,尹光侯,李文昌,朱俊,余海军,王彦斌,王勇,李红,胡永斌. 2015. 金沙江造山带德钦-羊拉矿集区构造-岩浆-成矿系统. 北京: 地质出版社: 1-229.
- 郑有业,王达,易建洲,余泽章,蒋宗洋,李晓霞,史功文,许剑,梁遇春,豆孝芳,任欢. 2022. 西藏北喜马拉雅成矿带锑金属成矿作用及找矿方向. 地学前缘, 29(1): 200-230.
- Li B, Wang X F, Tang G, Liu Y D, Zou G F. 2021. S-Pb isotopes and tectono-geochemistry of the Lunong ore block, Yangla large Cu deposit, SW China: Implications for mineral exploration. *Ore Geology Reviews*, 136: 1-24.
- United States Geological Survey. 2022. Mineral Commodity Summaries 2022. U.S. Geological Survey: 1-202.
- Zhu J J, Hu R Z, Richards J P, Bi X W, Zhong H. 2015. Genesis and magmatic-hydrothermal evolution of the Yangla skarn Cu deposit, Southwest China. *Economic Geology*, 110(3): 631-652.

## Discovery of High Grade Antimony Orebody in the Depth of Yangla Large Cu Deposit, Northwest Yunnan, China, and its Geological Significance

WANG Xinfu<sup>1,2</sup>, LI Bo<sup>1\*</sup>, LIU Yuedong<sup>3</sup>, YE Lin<sup>4</sup>, LIU Fengze<sup>3</sup>,  
YIN Jiaming<sup>5</sup>, HUANG Zhilong<sup>4</sup>, HU Dengpan<sup>5</sup>

(1. Faculty of Land and Resource Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, Yunnan, China; 2. School of Earth Science, Yunnan University, Kunming 650500, Yunnan, China; 3. Yunnan Diqing Mining Industry Group, Shangri-La 674400, Yunnan, China; 4. State Key Laboratory of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, Guizhou, China; 5. Yunnan Copper Industry Mineral Resources Exploration Development Co. Ltd., Kunming 650000, Yunnan, China)

**Abstract:** Mineral resources in the Jinshajiang metallogenic belt are predominated by Cu, Pb, and Zn, and no antimony deposits have been found yet. The Yangla Cu deposit is a representative large Cu-polymetallic deposit in the belt. Recently, high-grade antimony orebodies have been discovered at the depth of the Linong ore section, the Yangla Cu deposit, which is the first report in the Jinshajiang Cu-polymetallic metallogenic belt. The antimony orebodies are mainly stratified, irregular veined and clumped, and their spatial morphology is strictly controlled by NE-trending fracture zone and joints. This newly discovered antimony orebody was about 300 m in length and 3 m to 15 m in thickness. The antimony grades of the ores vary from 11.14% to 21.17%, and can be as high as 45.75% locally. The antimony reserves of the newly discovered antimony orebodies can reach the scale of medium-sized ore deposit. Our preliminary study shows that the antimony mineralization is obviously different from copper in the Yangla deposit. The study of the genetic relationship between antimony and copper can enrich the metallogenic theory of the Yangla Cu deposit, and broaden the geological exploration ideas of antimony in the depth and periphery of the Yangla mining district as well.

**Keywords:** antimony orebody; high grade; Yangla Cu deposit; Northwest Yunnan