

文章编号: 1009-3850(2016)03-0008-08

## 川西里伍式富铜矿床成矿地质条件及找矿前景分析

李同柱<sup>1</sup>, 冯孝良<sup>1</sup>, 代堰锴<sup>1</sup>, 张惠华<sup>1</sup>, 唐高林<sup>2</sup>

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 四川里伍铜业股份有限公司, 四川 甘孜 626200)

**摘要:**川西江浪穹隆以发育里伍式富铜矿床而著称。本文在系统总结前人资料的基础之上,详细论述了富铜矿床的基本地质特征。江浪穹隆具有优越的成矿地质条件:里伍岩群为富铜矿床的形成提供充足的成矿物质,韧性剪切带及重力滑脱作用引起的脆、韧性变形为成矿过程提供有利的构造条件,燕山期花岗岩可能为成矿提供热动力来源和部分成矿流体。结合以往的物探、化探信息,提出江浪穹隆北部柏香林-挖金沟-中咀-笋叶林及南部黑牛洞-里伍一带的深部及边部找矿前景良好。

**关键词:**成矿地质条件;找矿前景;里伍式铜矿;江浪穹隆

中图分类号: P612

文献标识码: A

里伍铜矿位于四川省九龙县城东南约 50 km,大地构造位置地处扬子陆块西缘江浪穹隆内<sup>[1-2]</sup>。矿山自 1994 年投产以来,累计生产铜资源量 20 余万吨、锌 10 余万吨,是四川省内规模较大的铜锌金属原料生产基地。2007 年底,矿山保有矿石量 336.68 万吨,被列为重度危机矿山。为此,里伍铜矿于 2008 年启动了危机矿山接替资源勘查工作,在里伍铜矿外围的黑牛洞、中咀等地取得重大找矿突破,随后开展了商业性勘查工作。这些铜矿床的地质特征与成因类似,被统称为里伍式富铜矿床<sup>[3]</sup>。

近年来,里伍式富铜矿床的成矿作用及江浪穹隆的基础地质问题引起了地质学者的极大关注<sup>[1-9]</sup>。然而,受制于成矿规律认识的薄弱和勘查技术手段的匮乏,当前的勘查工作主要集中在 1000m 以浅,对深部可能存在的隐伏矿体认识不足。有鉴于此,本文详细论述了富铜矿床的基本地质特征、总结成矿地质条件、分析找矿前景并圈定重点

找矿靶区。

### 1 区域地质背景

里伍铜矿位于扬子陆块西缘与松潘-甘孜造山带东南缘结合带的江浪穹隆内,周围分布着恰斯、瓦厂、唐央、长枪、江浪、踏卡、三垭等一系列轴向 NNW-SN 向的穹隆状地质体(图 1a),被学者称为变质核杂岩带<sup>[10-11]</sup>或穹隆状变质体<sup>[12-13]</sup>。江浪穹隆总体为一个 NNW 向的短轴背斜,长 25 km 左右,宽 20 km 左右,分布面积约 500 km<sup>2</sup>。穹隆轴部面理倾角较为平缓,介于 14°~33°;两翼面理倾角变陡:东翼 22°~51°,西翼 21°~62°(图 1b)。

江浪穹隆核部地层里伍岩群为一套变质火山-沉积岩系,岩性以(石榴)云母片岩、(石榴)云母石英片岩、云母石英岩、石英岩为主,夹较多透镜条带状变基性火山岩,总厚度达 3600 m 以上。原岩主要为一套含火山凝灰质的砂、泥质浊流沉积岩夹基性

收稿日期: 2015-12-21; 改回日期: 2016-01-08

作者简介: 李同柱(1981-) 男,硕士,工程师,从事矿产勘查与研究。E-mail: 23000347@qq.com

通讯作者: 冯孝良(1968-) 男,教授级高级工程师,从事矿产开发工作。E-mail: feng\_xl@126.com

资助项目: 中国地质调查局矿产资源评价项目(1212011085139)、国家自然科学基金青年基金(41202067)、成都地质调查中心青年科学基金项目(所控基[2015]-05)资助

火山岩组合。翼部地层包括奥陶系江浪岩组、志留系甲坝岩组、二叠系乌拉溪组及三叠系西康群(图1b)。江浪岩组仅分布于江浪穹隆南缘甲坝、拖尼一带,与里伍岩群和甲坝岩组为滑脱断层接触。底部主要为一套含砾石英岩夹少量黑云石英岩、绢云(二云)石英片岩;上部为一套绢云石英千枚岩、绢云千枚岩及黑云石英岩,主体构成一个规模较大的韧性剪切滑脱带。甲坝岩组沿江浪穹隆周缘呈环状分布,为一套海相的变基性火山岩与变硅质(泥)岩及少量碳质板岩组合,厚度大于474.4 m。二叠系乌拉溪组主要分布于江浪穹隆外缘,与甲坝岩组呈滑脱断层接触,为一套海相的变基性火山岩(部分超基性)与大理岩、变硅质岩构成的喷发-沉积组合,厚度大于1047.8 m。三叠系西康群以变石英粉砂岩、黑云石英岩与黑云(二云)石英片岩为主,夹细粒变长石石英砂岩及厚层块状大理岩,与乌拉溪组为平行不整合接触或韧性剪切带接触。各地层内部具紧闭同斜褶皱、顺层掩卧褶皱、等厚开阔褶皱等,不同地层单元之间发育环状拆离断

裂带<sup>[1,10-11]</sup>。

江浪穹隆及周缘岩浆活动频繁,主要为花岗岩与少量中-新元古代及二叠纪的基性火山岩<sup>[10-11]</sup>。穹隆北侧出露燕山期文家坪及乌拉溪花岗岩体(图1b)均侵入二叠系乌拉溪组并在外接触带发育矽卡岩化,其中乌拉溪岩体南部伴有矽卡岩型钨矿化。

## 2 矿床地质特征

### 2.1 地层

里伍式富铜矿床赋矿地层为江浪穹隆核部的里伍岩群变质岩系,岩石中区域性面理已非原始沉积层理 $S_0$ ,而是经多次构造置换后的片理 $S_3$ 。区内不同的岩性条带常迅速地尖灭或侧现,导致横向上岩性条带不易依次对比,大套地层系统内岩性条带的层序表现为多次杂序重复和无序堆垛。四川省406地质队<sup>①</sup>曾把里伍岩群与德格群对比,称为江浪石英岩片岩组,并将其划分为志留系至下泥盆统系( $SD_1$ )。

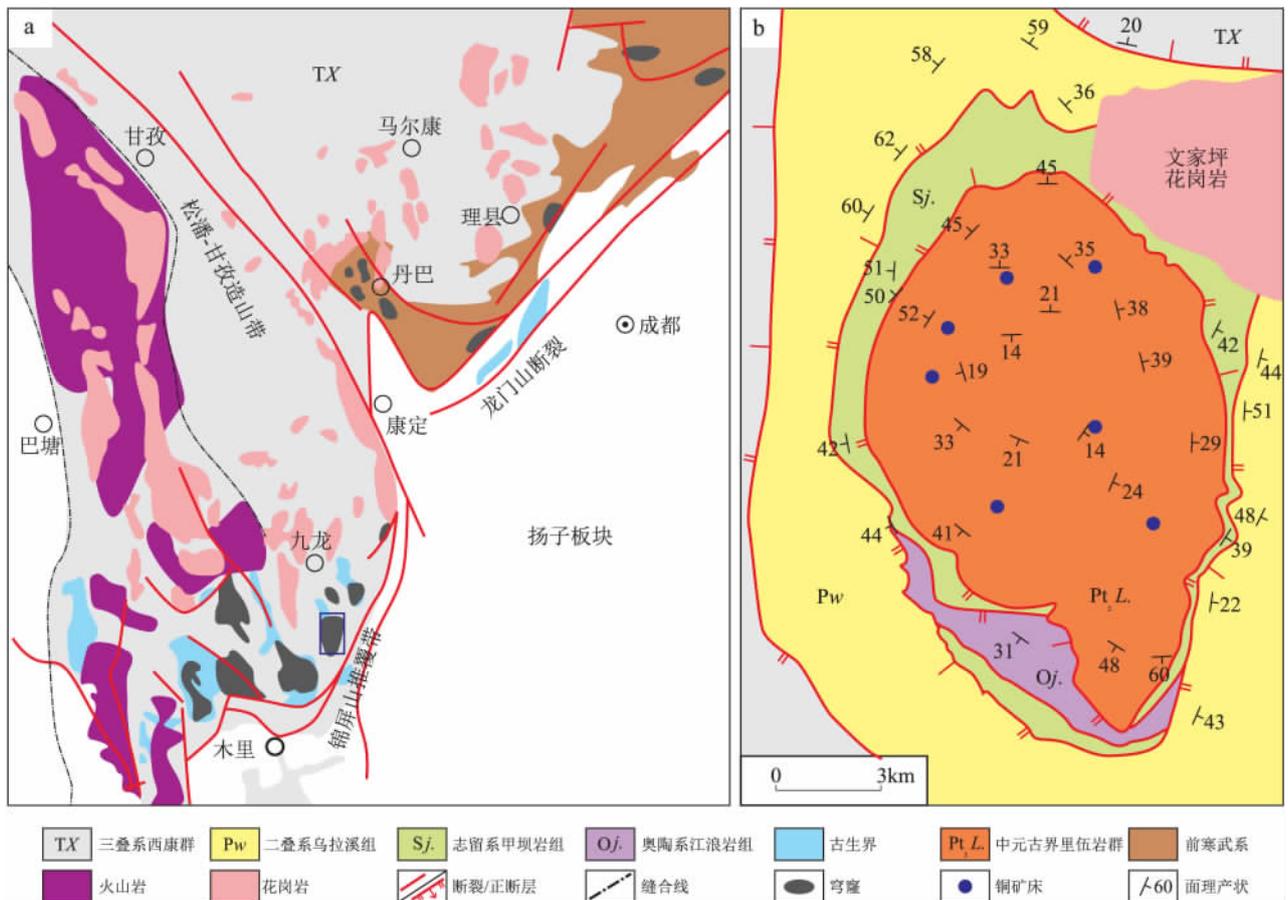


图1 江浪穹隆大地构造位置及区域地质图(据文献[1,5]修改)

Fig.1 Tectonic setting and regional geological map of the Jianglang dome in western Sichuan(modified from Yan D P et al. ,2003; Zhang Huihua et al. ,2013)

四川第一区域地质测量队<sup>②</sup>将其划分为下奥陶统( $O^{11}$ 、 $O^{12}$ 、 $O^{13}$ ) ,并称之为江浪群。四川省地质矿产局<sup>[14]</sup>对里伍岩群两个角闪岩脉中角闪石进行了K-Ar定年,年龄分别为1838.6 Ma和1930 Ma,从而将江浪岩组与里伍岩群一并划归为前震旦系;许志琴等<sup>[15]</sup>亦赞同该观点。颜丹平等<sup>[11]</sup>获得夹于云母石英片岩中的斜长角闪岩全岩Sm-Nd等时线年龄为 $1674 \pm 62.5$  Ma和 $1677 \pm 112$  Ma。李同柱等对里伍岩群变质较弱的黑云石英岩中碎屑锆石进行了U-Pb测年,年龄为 $552.8 \pm 5.7$  Ma(MSWD = 2.1),认为其形成于新元古代(待刊)。众所周知,K-Ar同位素体系封闭温度较低<sup>[16]</sup>,而Sm-Nd等时线年龄往往较实际偏老<sup>[17-18]</sup>。因此,本文将新元古代作为里伍岩群的形成时代。

## 2.2 构造

里伍铜矿构造主要由穹隆背斜及其内的环状韧性剪切滑脱带构造组成。环状韧性剪切滑脱带构造大致平行主变形面发育,在平面上围绕穹隆呈环形连续或断续展布,向外倾斜,倾角 $20^\circ \sim 40^\circ$ ,上盘向下作正滑运动。在前人工作基础上,通过野外构造解析并结合相关同位素测年资料,初步确定江浪穹隆经历至少6个世代的构造变形,野外宏观上能清晰识别的主要为 $S_2$ 、 $S_3$ 、 $S_4$ 、 $S_5$  4期面理。其中 $S_3$ 面理为里伍岩群中广泛发育的透入性主期面理,也是构成江浪穹隆的区域性面理。 $S_3$ 片理随同穹隆的形成被褶皱掀斜,构成现今似单斜构造面貌。

## 2.3 岩浆岩

矿区内岩浆岩主要为里伍岩群中的变基性火山岩,岩性为黑云绿泥透闪岩、斜长角闪岩。多呈层状、似层状或透镜状、扁豆状、条带状顺面理(或小角度斜交片理)产出,厚度从数厘米到 $20 \sim 30$  m不等,长数米到近百米不等,厚度和长度变化均较大,受后期变形改造呈薄夹层在岩层中常形成平卧褶皱,有的沿 $S_3$ 片理剪切拉断成不连续的岩块。李同柱<sup>[4]</sup>通过地球化学研究对其进行了原岩恢复,认为其为一套玄武岩。此外,在海底沟、笋叶林等地发育少量喜山期煌斑岩及海西期侵入相的角闪岩。

## 2.4 围岩蚀变及矿化

矿区蚀变类型主要有黑云母化、电气石化、斜长石化、硅化、绢云母化和绿泥石化等。根据野外及室内镜下观察,蚀变可分为早期黑云母化、斜长石化,中期电气石化、硅化,晚期绢云母化和绿泥石化。矿体与中—晚期蚀变作用关系密切,是重要的找矿标志。蚀变主要受层间韧性剪切或叠加于其

上的后期重力滑脱带控制,从大范围来说其带状分布特征比较明显,其分布也与区内的韧性剪切带分布范围一致。沿富含云母的二云母片岩、二云石英片岩中发育,富硅的片状石英岩蚀变微弱或基本不发生蚀变。蚀变带总体呈现出顺岩层片理方向展布,局部与岩层片理呈小角度斜交,或单条出现,或成群分布。在纵向上表现为平行或交错叠置,横向上具有明显的膨胀收缩及分枝复合现象。

矿化作用与热液蚀变关系密切,矿化作用不均匀地出现在热液蚀变带中。矿化类型简单,以铜矿化为主,锌矿化为次,具有典型的热液充填交代成因特征。金属矿物主要为磁黄铁矿、黄铜矿、闪锌矿及少量黄铁矿、方铅矿,在地表氧化带零星分布有褐铁矿、孔雀石、铜蓝等。硫化物主要呈块状、条带状、浸染状、角砾状分布,少量呈脉状-网脉状和团块状。从矿化分布特征看,铜、锌矿化主要受韧性剪切带及沿剪切带叠加的后期顺层重力滑脱带控制,沿 $S_4$ 剪切面理产生的滑脱构造、局部挠曲虚脱部位、能干性差异较大的岩性层间强变形带,是成矿热液充填交代和矿质沉淀的有利空间。

蚀变作用与矿化强度关系密切。近矿顶底板围岩蚀变强烈,普遍伴有星点状,局部为浸染状磁黄铁矿,偶见黄铜矿、闪锌矿;远矿部位围岩蚀变、矿化逐渐减弱,仅见有少量的磁黄铁矿。

## 3 成矿地质条件

### 3.1 地层条件

前人对里伍式富铜矿床的成因一直存在较大的争议,代表性观点包括沉积-变质说<sup>①</sup>、火山-沉积改造成矿说<sup>[19]</sup>、中-高温热液交代成矿说<sup>[20]</sup>以及变形-变质成矿说<sup>[2,10-11]</sup>。这几种观点虽有各自侧重点,但均承认在成矿作用之前就有成矿物质的预富集,即存在“矿源层”。据统计,里伍岩群变质岩中主要成矿元素Cu和Zn富集系数分别达到陆壳的9倍和2.8倍,而文家坪花岗岩中Cu和Zn富集系数分别仅为陆壳的0.24倍和1.27倍。同时,前者中常见沿其主要面理发育的星点状硫化物,尤其是在矿体顶底板中。由此可见,里伍岩群的含矿性远好于燕山期花岗岩体。近年来地球化学示踪结果显示,铜矿石稀土元素配分型式<sup>[21]</sup>、硅同位素、铅同位素、硫同位素特征<sup>[3]</sup>与里伍岩群基本一致,说明富铜矿床的形成很可能与里伍岩群具有成因联系。李同柱通过对里伍岩群年代学及构造背景研究,认为里伍岩群很可能产于弧后盆地背景(地质学报,

待刊) ,而弧后盆地岩浆活动能够带来巨量的成矿物质 ,甚至形成大型的金属矿床 ,例如华北的红透山 VMS 型铜矿<sup>[22]</sup>。综上所述 ,里伍岩群在弧后盆地沉积时很可能聚集了丰富的金属元素 ,为后期成矿作用奠定了良好的地层条件。

### 3.2 构造条件

前文已述 ,江浪穹隆共发育 6 个世代的构造变形-变质作用 ,其中 D<sub>4</sub> 世代(海西期)和 D<sub>5</sub> 世代(燕山期)变形-变质作用与成矿关系密切。张惠华等<sup>[5]</sup>认为 ,海西期伸展机制下的顺层水平韧性剪切作用不仅能形成控矿构造(矿液通道)和容矿空间 ,控制矿体的空间位置和形态 ,还能通过变质分异和变形

分解过程 ,导致固态差异活化和成矿物质的再活化 ,造成成矿物质的进一步富集 ,在韧性剪切带中形成以条带状为主的贫矿体。笋叶林、挖金沟、柏香林矿区多数矿体以条带状、网脉状和浸染状为主 ,且均分布在 D<sub>4</sub> 世代形成的韧性剪切带中 ,大多未发生变形 ,反应了后期主成矿期充填交代成矿的特征(图 2a)。部分地段条带状矿体中沿 S<sub>4</sub> 片理分布的硫化物条带具一定的韧性变形特征(图 2b) ,反应了该期变形作用对早期存在的矿体的改造。而黑牛洞、里伍矿区一些条带状矿体残留有韧性变形特征 ,则很可能为该期韧性剪切过程中硫化物再活化聚集的结果(图 2c) ,即反映了在 D<sub>4</sub> 世代存在与韧

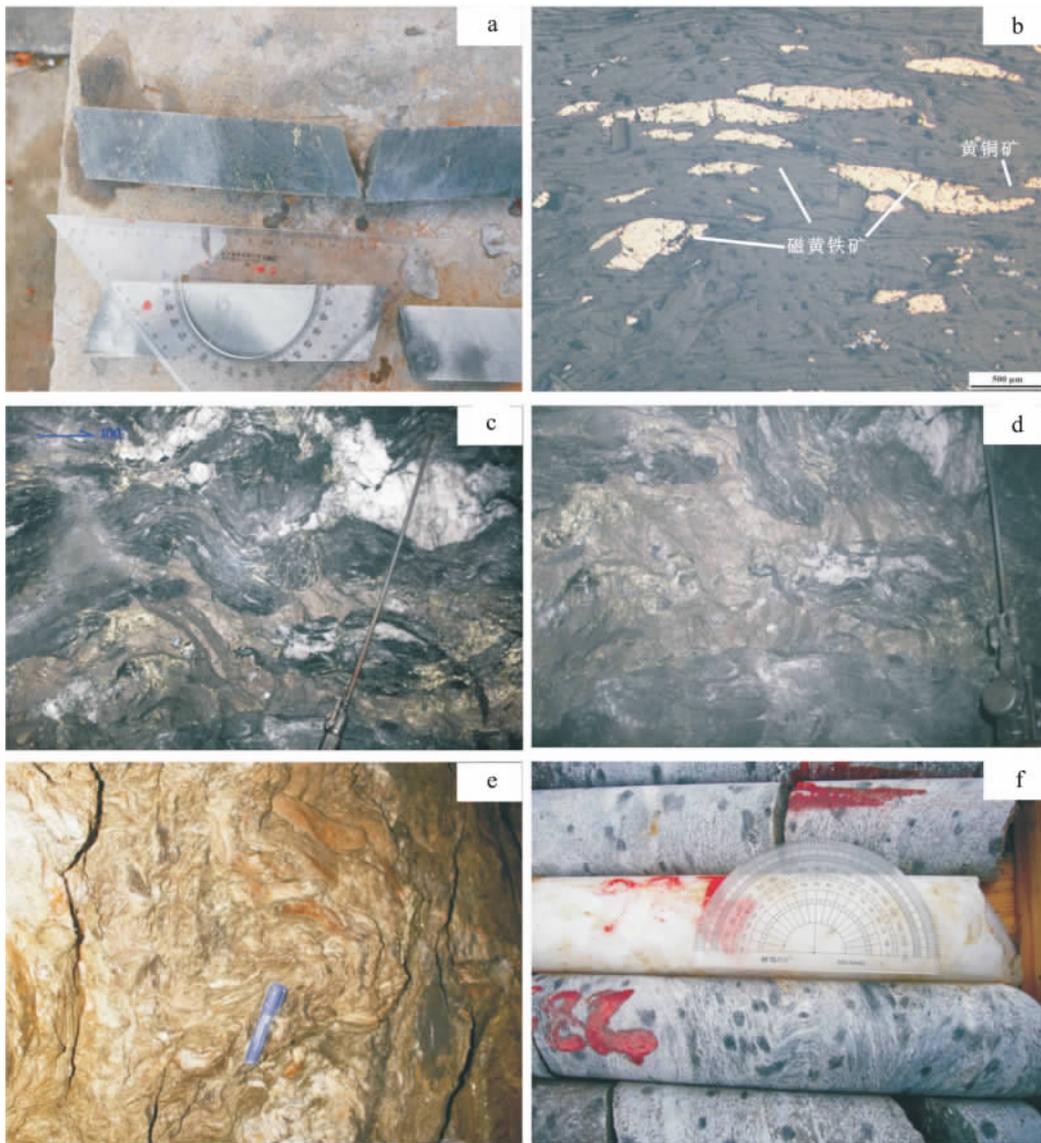


图 2 野外及镜下地质特征

(a) 沿 S<sub>4</sub> 剪切面理充填交代形成的条纹状矿化;(b) 早期形成的金属硫化物发生韧性变形;(c) 黑牛洞 I 3 矿体局部残留变形特征;(d) 后期热液充填在滑动破碎带中形成的块状矿体;(e) 重力滑脱带;(f) 重力滑脱带

Fig. 2 Field and microscopic pictures showing the mineralization of the copper-rich deposits within the Jianglang dome

性剪切有关的成矿作用。周清对条带状矿石中黄铜矿 Re-Os 测年( $343.0 \pm 11.0 \text{ Ma}$ ,  $\text{MSWD} = 2.9$ )也证实了该期成矿作用的存在(Zhou et al., *Mineralium Deposita*, 待刊)。

燕山期深部重熔岩浆上涌导致江浪穹隆的快速抬升,导致里伍岩群早期形成的 $S_3$ 、 $S_4$ 等面理全面拉张打开。同时沿 $D_4$ 世代形成的一些韧性剪切带发生重力下滑,形成一系列大小不同规模的重力滑脱带(图2e, 2f),继而形成各种张性裂隙的导矿和容矿系统。尤其是重力滑动破碎带为富铜矿体的赋存提供了很好的容矿空间,控制了块状矿体的空间分布位置和形态(图2d),这在中咀矿区尤为明显。该期成矿作用规模巨大,对早期不同阶段形成的矿体从空间位置、形态和品位等特征均产生了较彻底的改造,仅局部有少量得以残留,但识别起来较为困难。

### 3.3 岩浆岩条件

扬子陆块西缘和松潘-甘孜造山带东南缘的接合带发育的这些穹隆地质体应当形成于统一的地球动力学背景<sup>[11, 15]</sup>。然而,其他穹隆迄今尚未发现规模类似于里伍的铜矿床,说明江浪穹隆的金属矿化被特殊的地质因素控制。前人研究表明,松潘-甘孜造山带形成于古特提斯洋闭合阶段,其变形过程主要发生于印支期并发育大量的三叠纪花岗岩<sup>[15, 23-27]</sup>。许志琴等<sup>[15]</sup>基于大量的构造变形证据指出该造山带主造山作用介于晚印支期一早燕山期,地壳伸展应变始于 $\sim 160 \text{ Ma}$ 。锆石 U-Pb 定年结果表明,江浪穹隆北侧的文家坪花岗岩体结晶年龄为 $161.5 \pm 0.6 \text{ Ma}$ <sup>[28]</sup>,乌拉溪花岗岩体结晶年龄

为 $166.6 \pm 1.1 \text{ Ma}$ (李同柱, *高校地质学报*, 待刊),暗示二者均形成于松潘-甘孜造山带统一的岩石圈伸展构造背景。块状矿石中黄铜矿 Re-Os 定年显示,里伍式富铜矿主成矿作用发生于 $\sim 150.2 \text{ Ma}$ ( $\text{MSWD} = 10.8$ , Zhou et al., *Mineralium Deposita*, 待刊)略晚于花岗岩体的成岩年龄。从成岩成矿时空关系看,花岗岩体与里伍式富铜矿关系密切,可能为成矿作用提供了热动力来源和部分流体。值得注意的是,该造山带内极少发育 $\sim 160 \text{ Ma}$ 的花岗岩,上述两个花岗岩体与里伍式富铜矿床的关系尚需深入研究。

## 4 找矿前景

虽然在里伍铜矿外围已经取得了找矿突破,但目前的找矿工作主要是针对在地表有露头的矿体进行“就矿找矿”工作,并且黑牛洞、中咀等地的矿体并未完成圈边工作。因此,通过对里伍式富铜矿的成矿地质条件进行总结研究,认为在里伍铜矿的深部及边部仍然有很好的找矿前景。未来可以通过对主控矿因素、矿体空间几何学的解剖、岩石原生晕及相关地球物理方法如磁法、电法等对深部隐伏矿体进行定位预测工作。

在前人认识基础上,结合近年来的勘查工作,发现江浪穹隆主要发育3层矿带:(1)上部矿带以挖金沟铜矿为代表,主要产于变粒岩、黑云母片岩与石英片岩地层;(2)中部矿带以里伍与黑牛洞富铜矿床为代表,主要产于石英片岩与石英岩地层;(3)下部矿带以上海底、笋叶林矿点为代表,围岩主要为黑云角闪片岩、石英片岩、黑云石英岩(图3)。

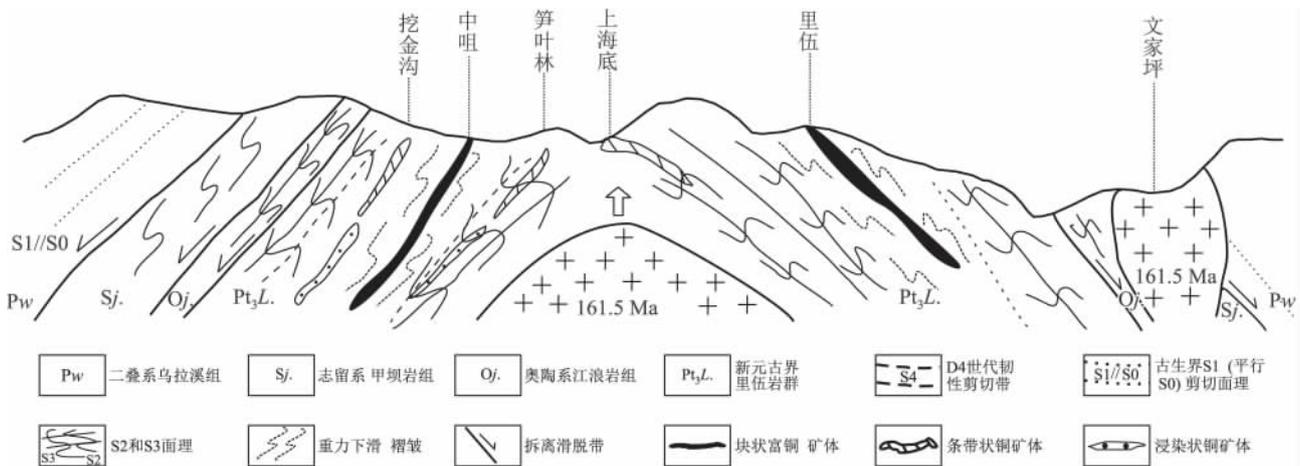


图3 江浪穹隆的成穹—成矿模式<sup>[5, 10]</sup>

Fig. 3 Model for the doming and mineralization within the Jianglang dome(modified from Zhang Huihua et al., 2013; Fu Zhaoren et al., 1997)

上海底位于江浪穹隆核部,由于地层抬升,其上部及中部的矿带已被剥蚀殆尽,因而可能出露的是里伍地区最下部的铜矿带。相对而言,位于穹隆翼部的里伍、黑牛洞、柏香林、挖金沟及中咀等矿区的铜矿体可能被深埋地下,保存较为完整,具有较好的深部找矿前景。

#### 4.1 穹隆北部

柏香林、挖金沟、中咀及笋叶林矿区位于江浪穹隆北部。目前的勘查工作在挖金沟矿区共发现 3 个铜矿体,自下而上分别为 IV、II、III 号矿体,中咀共发现 11 个铜矿体,其中 Z1 为主矿体。近年施工

的钻探工程揭示,挖金沟 II 号矿体与中咀 Z1 矿体为同一矿体,该矿体目前控制的走向长大于 3km,而倾向长不到 700m,深部尚待进一步控制。同时,挖金沟最下部的 IV 号矿体在中咀矿区局部深切割地段已有槽探工程揭露(S1-2 矿体),该矿体在深部的分布情况尚不明朗。此外,通过含矿层位对比连接,笋叶林矿区钻探工程揭露在 IV 号矿体垂深 200m 之下还存在富铜矿体(S-1、S-2 矿体)。1:20 万化探扫面资料显示,穹隆北西部具有大范围明显的 Cu、Zn、Ag 异常。以上均说明在江浪穹隆北部很可能存在多层隐伏铜矿体(图 4),深部找矿潜力巨大。

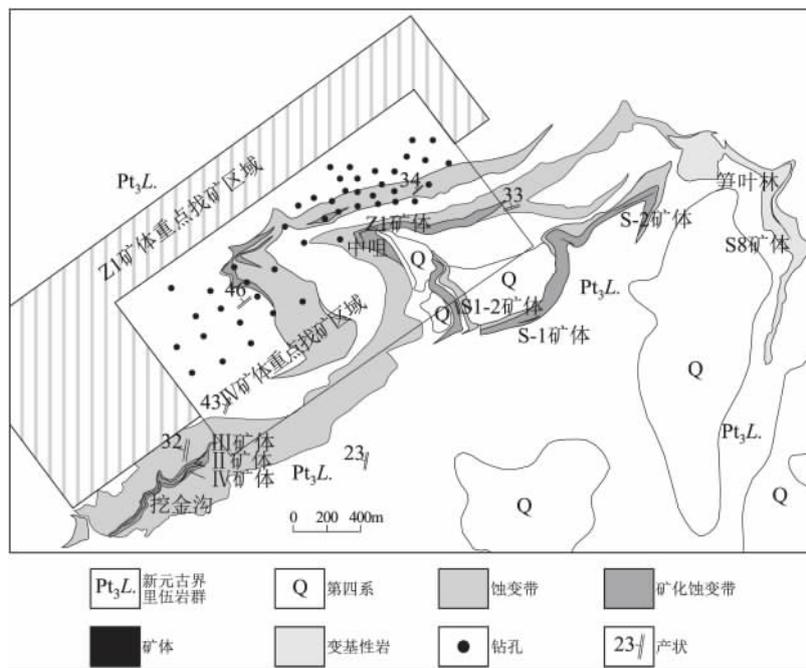


图 4 江浪穹隆北部重点找矿区域分布图

Fig. 4 Distribution of the key exploration prospects in the north of the Jianglang dome

#### 4.2 穹隆南部

里伍和黑牛洞富铜矿床位于江浪穹隆南部,矿体常成群出现。里伍矿区矿体在垂向上大致可分为 A、B、D、E 4 个层位,矿区北侧的下海底新发现的 F 矿体位于最深部的 E 矿体之下。黑牛洞矿区矿体在垂向上大致可分为上部的 II 矿体和下部的 I 3 矿体。最近的勘查工作在 2 勘探线至 10 勘探线范围内、I 3 矿体之下 ~100 m 又发现了新的规模较大的 I 1 矿体。通过对含矿层位对比连接,上海底 I、II 矿体均位于黑牛洞 I 1 矿体之下。因此,在里伍、黑牛洞深部很可能还存在新的隐伏矿体(图 5)。

原四川省地质局 406 地质队在上世纪 70 年代,曾对黑牛洞 I 3 矿体进行了物探充电测量,在矿体外围探测到一规模较大、强度较低、向四周梯度缓变

的等电位充电异常。黑牛洞经钻探工程验证有隐伏矿体存在,黑牛洞至打老熊沟之间是否也由隐伏矿体引起有待进一步工作证实,可能有较大的找矿潜力,是未来找矿工作的重点区域。

### 5 结论

(1) 里伍岩群为里伍式富铜矿床的形成提供了丰富的成矿物质,韧性剪切带及重力滑脱作用引起的脆、韧性变形为成矿过程提供了有利的构造条件,燕山期花岗岩可能为成矿提供了热动力来源和部分流体。综合认为,江浪穹隆成矿地质条件优越。

(2) 物探、化探信息显示,江浪穹隆未来找矿方向主要集中在穹隆北部柏香林-挖金沟-中咀-笋叶林及南部黑牛洞-里伍一带的深部及边部,找矿潜力巨大。

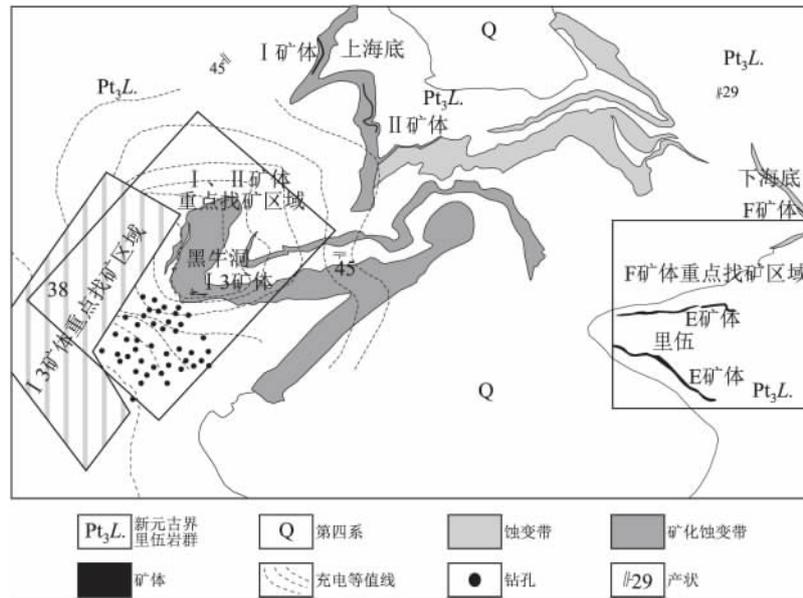


图5 江浪穹隆南部重点找矿区域分布图

Fig. 5 Distribution of the key exploration prospects in the south of the Jianglang dome

#### 注释:

- ①四川省地质局 406 地质队. 李伍矿区铜矿详细勘探地质报告 [R]. 1976, 1-191.  
 ②四川省地质局第一区域地质测量大队. 1:20 万区域地质调查报告(金矿幅) [R]. 1974, 1-134.

#### 参考文献:

- [1] YAN D P, ZHOU M F, SONG H L, et al. Structural Style and Tectonic Significance of the Jianglang Dome in the Eastern Margin of the Tibetan Plateau, China [J]. *Journal of Structural Geology*, 2003, 25(5):765-779.  
 [2] YAN D P, ZHOU M F, SONG H L, et al. Tectonic Controls on the Formation of the Liwu Cu-rich Sulfide Deposit in the Jianglang Dome, SW China [J]. *Resource Geology*, 2003, 53(2):89-100.  
 [3] 姚鹏,汪名杰,李建忠,等. 里伍式富铜矿床同位素示踪及其成矿地质意义[J]. *地球学报*, 2008, 29(6):691-696.  
 [4] 李同柱,冯孝良,张惠华,等. 四川里伍铜矿含矿岩系地球化学特征及成因分析[J]. *地质与勘探*, 2010, 46(5):921-930.  
 [5] 张惠华,冯孝良,唐高林,等. 四川省九龙县中咀铜矿构造与成矿关系研究[J]. *高校地质学报*, 2013, 19(1):95-108.  
 [6] 冯孝良,刘伊松,张惠华,等. 四川九龙县里伍铜矿包裹体研究[J]. *沉积与特提斯地质*, 2008, 28(2):1-11.  
 [7] 马国桃,汪名杰,姚鹏,等. 四川省九龙县黑牛洞富铜矿床黑云母<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar 测年及其地质意义[J]. *地质学报*, 2009, 83(5):671-679.  
 [8] 李建忠,汪名杰,王发清,等. 四川省九龙县黑牛洞韧性剪切带型浸染状铜矿床的特征及其矿床学意义[J]. *矿床地质*, 2010, 29(5):853-868.  
 [9] 李建忠,刘宇平,沈战武,等. 四川省九龙县黑牛洞铜矿的矿床地质特征、成因及其成矿时代[J]. *地质学报*, 2012, 86(12):1972-1993.  
 [10] 傅昭仁,宋鸿林,颜丹平. 扬子地台西缘江浪变质核杂岩结构及对成矿的控制[J]. *地质学报*, 1997, 71(2):113-122.  
 [11] 颜丹平,宋鸿林,傅昭仁,等. 扬子地台西缘变质核杂岩带[M]. 北京:地质出版社, 1997. 18-78.  
 [12] HUANG M, MAAS R, BUICK I S, et al. Crustal Response to Continental Collisions Between the Tibet, Indian, South China and North China Blocks: Geochronological Constraints from the Songpan-Garze Orogenic Belt, Western China [J]. *Journal of Metamorphic Geology*, 2003, 21:223-240.  
 [13] 游振东,程素华,赖兴运. 四川丹巴穹状变质体[J]. *地学前缘*, 2006, 13(4):148-159.  
 [14] 四川省地质矿产局. 四川省区域地质志[M]. 北京:地质出版社, 1991. 1-680.  
 [15] 许志琴,侯立玮,王宗秀,等. 中国松潘-甘孜造山带的造山过程[M]. 北京:地质出版社, 1992. 1-190.  
 [16] 蒋少涌,戴宝章,姜耀辉,等. 胶东和小秦岭:两类不同构造环境中的造山型金矿省[J]. *岩石学报*, 2009, 25(11):2727-2738.  
 [17] 陆松年,杨春亮,李怀坤,等. 华北地台前寒武纪变质基底的 Sm-Nd 同位素地质信息[J]. *华北地质矿产杂志*, 1995, 10(2):143-153.  
 [18] 李曙光,安诗超. 变质岩同位素年代学:Rb-Sr 和 Sm-Nd 体系[J]. *地学前缘*, 2014, 21(3):246-255.  
 [19] 姚家栋. 试论李伍铜矿床成因[J]. *四川地质学报*, 1990, 10(4):251-258.  
 [20] 宋铁和,幸石川. 李伍铜矿床成因探讨[J]. *西南矿产地质*, 1990, 4(4):1-4.  
 [21] 马国桃,马东方,高大发,等. 四川九龙黑牛洞铜矿床地

- 质特征及成因探讨[J]. 沉积与特提斯地质, 2010, 30(2): 84-90.
- [22] ZHU M T, ZHANG L C, DAI Y P, et al. In situ zircon U-Pb dating and O isotopes of the Neoproterozoic Hongtoushan VMS Cu-Zn deposit in the North China craton: Implication for the ore genesis [J]. *Ore Geology Reviews*, 2015, 67:354-367.
- [23] HUANG M H, BUICK I S, HOU L W. Tectonometamorphic evolution of the eastern Tibet Plateau: Evidence from the central-east Songpan-Garze orogenic belt, western China [J]. *Journal of Petrology*, 2002, 44:225-278.
- [24] 胡健民, 孟庆任, 石玉若, 等. 松潘—甘孜地体内花岗岩锆石 SHRIMP U-Pb 定年及其构造意义[J]. *岩石学报*, 2005, 21(3):867-880.
- [25] DE SIGOYER J, VANDERHAEGHE O, DUCHENE S, et al. Generation and emplacement of Triassic granitoids within the Songpan-Ganze accretionary-orogenic wedge in a context of slab retreat accommodated by tear faulting, Eastern Tibetan plateau, China [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2014, 88:192-216.
- [26] ROGER F, MALAVIEILLE J, LELOUP P H, et al. Timing of granite emplacement and cooling in the Songpan-Garzê fold belt (eastern Tibetan Plateau) with tectonic implications [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2004, 22(5):465-481.
- [27] 袁静, 肖龙, 万传辉, 等. 松潘—甘孜南部放马坪—三岩花岗岩的成因及其构造意义[J]. *地质学报*, 2011, 85(2):195-206.
- [28] 周家云, 谭洪旗, 龚大兴, 等. 川西江浪穹隆核部新火山花岗岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素研究[J]. *矿物岩石*, 2013, 33(4):42-52.

## The geology and exploration potential of the Liwu-type copper-rich deposits in western Sichuan

LI Tong-zhu<sup>1</sup>, FENG Xiao-liang<sup>1</sup>, DAI Yan-pei<sup>1</sup>, ZHANG Hui-hua<sup>1</sup>, TANG Gao-lin<sup>2</sup>

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Sichuan Liwu Copper Mining Co., Ltd., Garze 626200, Sichuan, China)

**Abstract:** The Jianglang dome located in western Sichuan is famous for the occurrence of the Liwu-type copper-rich deposits. Referenced to the previous data, the present paper focuses on the geological characteristics and exploration potential of the Liwu-type copper-rich deposits. The Liwu Group Complex within the Jianglang dome is interpreted to be the sources of the ore-forming matter enough for the formation of the copper-rich deposits. The brittle and ductile deformations caused by ductile shear zones and gravity slipping may be considered to be favourable structural conditions for the mineralization of the copper-rich deposits. The Yanshanian granites may contribute to the thermodynamic sources and partial ore-forming fluids for the mineralization of the copper-rich deposits. The potential exploration areas are delineated in the Boxianglin-Wajingou-Zhongzui-Sunyelin zone in the north and the Heiliudong-Liwu zone in the south of the Jianglang dome.

**Key words:** geology; exploration potential; Liwu-type copper deposit; Jianglang dome