

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.03.005

# 四川会理河口地区辉长岩地质特征 及其成矿作用

龚晓波, 胡阳, 廖阮颖子, 郭道军

(四川省地质矿产勘查开发局一〇六地质队, 成都 611130)

**摘要:** 扬子地台西缘的四川会理河口地区广泛出露辉长岩, 呈岩墙、岩床状侵入于河口群中, 且被认为与拉拉铁铜矿的成矿有密切联系。本文对侵入于河口群中的辉长岩进行地质特征研究, 采用锆石 LA-ICP-MS 测年方法, 获得了  $1728 \text{ Ma} \pm 19 \text{ Ma}$  和  $1037 \text{ Ma} \pm 22 \text{ Ma}$  两期锆石 U-Pb 年龄。结合河口群的年龄资料和区域构造演化背景, 对辉长岩成岩背景、形成时代及演化等进行了研究, 结合辉长岩与区域铁铜矿的时空关系探讨了区域辉长岩的成矿作用。

**关键词:** 河口群; 辉长岩; 地质特征; 成矿作用; 四川省

**中图分类号:** P588.124 **文献标识码:** A

## 0 引言

四川会理黎溪镇至河口乡一带出露的古元古代河口群, 曾先后被命名为“河口层”、“河口组”、“河口群”等<sup>[1]</sup>, 是一套由石英钠长岩(细碧-角斑岩系)、片岩、大理岩等组成的, 且具有3个典型旋回特征的变质火山-沉积岩系。由于经历了多期次的构造岩浆活动, 河口群现表现为以钠长岩、钠长斑岩、钠长浅粒岩、细碧岩、变火山角砾岩等火山岩与石英片岩、云母片岩等副变质岩系呈“整合”层状赋存。而拉拉式铁铜矿的铜矿体即赋存于中部旋回的上部钠质火山岩中(落函岩组), 矿体呈层状、似层状、透镜状产出, 叠瓦式排列, 与围岩产状基本一致, 因此曾被认为火山喷发-沉积成矿形成<sup>[2]</sup>, 但近年来的研究表明, 拉拉式铁铜矿应为 IOCG 矿床<sup>[3-4]</sup>。众多学者采用锆石 U-Pb、K-Ar、Rb-Sr 等测年手段, 对河口群中的富钠质火山岩、变质凝灰岩、石英钠长岩、凝灰质

片岩、石英角斑岩等进行年代学研究, 获得的大量数据基本一致地将河口群的形成时代限定于  $1.72 \text{ Ga} - 1.65 \text{ Ga}$  左右(古元古代末—中元古代早期)<sup>[5-11]</sup>。

笔者在开展中国地质调查局项目“龙门山-滇中成矿带通安和宁蒗地区地质矿产调查”工作中发现, 河口群中有大量的辉长岩体呈岩墙和岩床状侵入, 多具顺层贯入之势, 局部可见有铜矿化现象。研究区辉长岩与拉拉式铁铜矿在时空上具有密切关系, 尤其是在落函等矿区辉长岩与矿体在空间上紧密相伴。前人认为拉拉式铁铜矿的主成矿时期限定于  $1000 \text{ Ma} - 900 \text{ Ma}$ , 与 Rodinia 超大陆有关<sup>[12-13]</sup>; 辉长岩与成矿关系不大, 仅起到局部改造或破坏作用<sup>[10]</sup>。为了弄清楚研究区内各类辉长岩的形成、演化特征, 以及与区域铁铜矿床成矿的时空关系和成矿作用, 基于前人在河口群已有大量研究的基础上, 本文采集了侵入于河口岩群的辉长岩样品进行岩石化学、年代学研究, 以期对河口群的时代及地质特征、成矿作用进行探讨。

**收稿日期:** 2021-04-04; **改回日期:** 2021-06-21; **责任编辑:** 赵庆

**基金项目:** 中国地质调查局“龙门山-滇中成矿带通安和宁蒗地区地质矿产调查”项目(编号:DD20160017)资助。

**作者简介:** 龚晓波(1986—), 男, 高级工程师, 硕士研究生, 主要从事基础地质调查、水工环地质及遥感地质研究工作。通信地址: 成都市温江区柳城大道西段6号百利大厦; 邮政编码: 611130; E-mail: 165622527@qq.com

**通信作者:** 胡阳(1988—), 男, 工程师, 本科, 主要从事地质调查和矿产勘查工作。通信地址: 成都市温江区柳城大道西段6号百利大厦; 邮政编码: 611130; E-mail: 276130309@qq.com

## 1 地质背景

河口群整体呈近东西向延伸展布,西为昔格达断裂所切,东被三叠系地层覆盖,由变质火山岩层和变质沉积岩层组成,自下而上分为大营山(岩)组、落鹇(岩)组、长冲(岩)组三个旋回(或岩性组合)。其中变质火山岩层主要由角斑岩、角斑质凝灰岩、(石英)钠长岩、钾长石英变粒岩等角斑质岩石组成;变质沉积岩层主要由(石英)云母片岩、二云片岩、石榴石二云片岩夹碳质板岩、绢云千枚岩、绢云板岩、透镜状大理岩、变砂岩等组成。其中落鹇(岩)组的变质火山岩层是落鹇式大型铜矿床和石龙式铁矿床的含矿层位(图1)。

研究区内辉长岩在会理县黎溪镇以南西的白云山一带和绿水镇拉拉铜矿区周边广泛出露,主要呈岩墙、岩床状产出,少量呈岩脉、岩枝状侵入。尤其是拉拉铜矿区内出露的辉长岩,受断裂构造控制呈东西向延伸,长度达4.5 km,南北最宽2~3 km,局部可见顺层贯入的趋势,且局部发育有铜矿化现象。

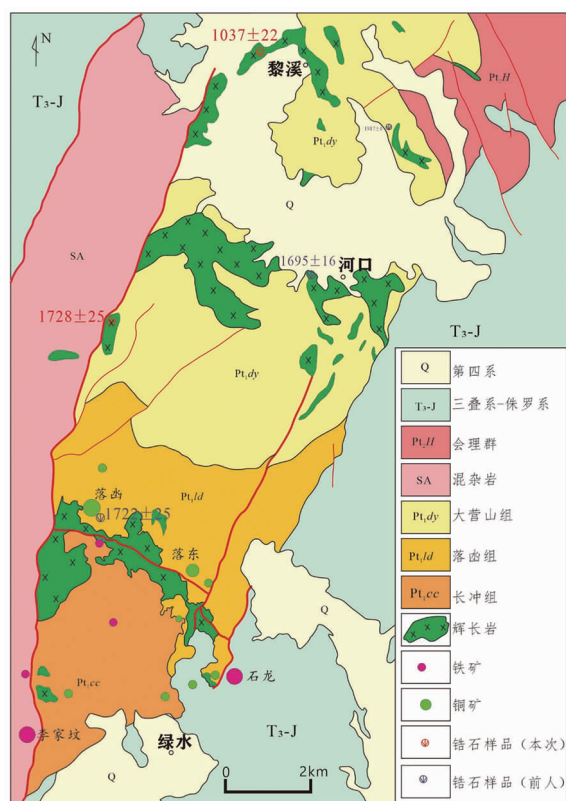


图1 河口群地质简图

Fig. 1 The geological sketch of Hekou group

在岩体边缘的围岩中常有同化混染现象,对矿体有破坏和捕虏作用。

## 2 样品采集及测试分析

笔者采集了侵入于河口群的辉长岩样品开展岩石化学分析和锆石 U-Pb 测年分析,样品岩石类型均为变辉长岩,呈块状构造,由普通角闪石,斜长石,石英及不透明金属矿物等组成,具有变余辉长结构。其中普通角闪石呈 0.1~2.03 mm 他形-半自形柱状,以细粒为主,强烈阳起石化仅存其假象,均匀分布;斜长石呈 0.05~1.61 mm 他形-半自形板状,部分呈自形板状,以细粒为主,强烈钠长石化,可见聚片双晶,较均匀分布;石英呈 0.23~0.45 mm 他形粒状,零星分布;不透明金属矿物呈 0.01~0.14 mm 他形-半自形粒状,零星分布。个别岩石中约 80% 以上矿物已蚀变。

样品岩石化学测试全部由四川地矿局德阳化探队测试中心完成。其中,硅酸盐测试采用重量法、容量法、ICP-AES 法完成;稀土元素分析采用 ICP-MS 法检测;微量元素采用 ICP-MS 法及 XRF 法检测完成。

样品岩石分选的锆石样经制靶、阴极发光下的锆石结构观察与拍照后,选择确定最佳的待测锆石部位进行 LA-ICP-MS 测年;LA-ICP-MS 测年工作由中国冶金地质总局山东测试中心完成。

## 3 岩石地球化学特征

结合前人对拉拉铜矿区的辉长岩测试结果,辉长岩样品中  $w(\text{SiO}_2)$  一般为 47.14%~50.74%,平均为 47.45%。D1-1—D1-3 号样品中的  $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 、 $w(\text{TiO}_2)$  值最低, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  平均为 3.29%、 $w(\text{TiO}_2)$  平均为 0.48%;D3-1—D3-8 号样品中的  $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 、 $w(\text{TiO}_2)$  值最高, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$  平均为 6.13%、 $w(\text{TiO}_2)$  平均值为 1.70%。D1-1—D1-3 号样品  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  值最高,平均为 17.13%;D2-1、D2-2 号样品中  $w(\text{Al}_2\text{O}_3)$  值最低,平均为 12.13%。周家云等<sup>[8]</sup> 采自拉拉铜矿区的辉长岩(样品号 D3-1—D3-8)的岩石化学特征具有总体上接近于弱碱性玄武岩、明显不同于岛弧玄武岩的特点。

岩石的稀土元素总量具有较明显的分带性,越靠近矿区含量越高。在黎溪镇一带采集的 D1-1、D1-2、D1-3 号样品,  $w(\Sigma\text{REE}) = 45.7 \times 10^{-6} \sim 71.7 \times 10^{-6}$ ,  $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 3.63 \sim 4.99$ ,  $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 2.62 \sim 6.54$ ,  $\delta\text{Eu} = 1.15 \sim 1.21$ ,  $\delta\text{Ce} = 1.32 \sim 1.68$ ;而在石头沟一带采集的 D2-1、D2-2 样品,  $w(\Sigma\text{REE}) = 102.79 \times 10^{-6} \sim 111.24 \times 10^{-6}$ ,  $w(\text{LREE})/w(\text{HREE}) = 4.21 \sim 5.64$ ,  $w(\text{La})_{\text{N}}/w(\text{Yb})_{\text{N}} = 3.05 \sim 4.81$ ,  $\delta\text{Eu} = 0.87 \sim 0.94$ ,  $\delta\text{Ce} = 1.08 \sim 1.13$ 。矿区采集的 D3-1—D3-8 号样品,  $w(\Sigma\text{REE})$  明显高于前 2 组样品,  $w(\Sigma\text{REE}) = 255.83 \times 10^{-6} \sim 591.52 \times 10^{-6}$ ;  $w(\text{LREE})/w(\text{HREE})$  值除 2 个样品为  $3.25 \sim 3.60$  外,其余均大于前 2 组样品,最大值为 14.92;  $\delta\text{Eu}$  有 6 个样品为正异常;  $\delta\text{Ce}$  普遍小于 1,处于  $0.85 \sim 0.95$  之间。在岩石稀土元素球粒陨石标准化图解(图 2a)中,所有样品均具右倾的配分模式特征,说明岩石具有相似的源区和岩浆演化特征。配分曲线具有略大的斜率,说明岩石轻、重稀土元素分馏较强烈,岩浆发生长时间的分馏作用。

岩石微量元素组成相对于原始地幔来说均表现为不同程度的富集,在标准化配分蛛网图(图 2b)上,曲线呈右倾、驼峰状, K、U、Sr、Nb、P 等在曲线上呈谷值深陷,且不存在负相关性。

#### 4 锆石 LA-ICP-MS 测年

对采集的新鲜辉长岩样品进行破碎、锆石单矿

物的挑选,并进行透射光锆石研究、制靶和锆石阴极发光(CL)图的摄制。

辉长岩中的多数锆石颗粒长宽比介于  $2:1 \sim 3:1$ ,部分颗粒接近  $1:1$ ,仅少数颗粒长宽比达  $4:1 \sim 5:1$ 。CL 图显示多数长轴状锆石均具有完好的核边结构特征,其中核部具有残余岩浆锆石的震荡环带结构特征。应用 LA-ICP-MS 技术对核部残余岩浆锆石进行测试,其数据显示,多数具岩浆环带核部锆石的  $w(\text{Th})/w(\text{U})$  值在  $0.4 \sim 4.8$  左右,进一步确定了其核部锆石的岩浆成因特点。

选取较为集中的数据求其加权平均年龄值,获得 2 个样品的年龄值分别为  $1728 \text{ Ma} \pm 19 \text{ Ma}$ (图 3a)和  $1037 \text{ Ma} \pm 22 \text{ Ma}$ (图 3b),均代表了多期岩体岩浆的结晶年龄。

#### 5 讨论与结论

前人认为河口群的火山岩具有无混染作用的玄武岩特征<sup>[14]</sup>,形成于大陆岛弧的拉张环境<sup>[10]</sup>。辉长岩的岩石地球化学特征和部分图解表明岩石样品与洋中脊玄武岩、陆内及陆缘裂谷拉斑玄武岩等环境的岩石具有相似性,且具过渡型地幔岩浆源区特征和部分熔融岩浆特征。而在矿区的辉长岩则显示为碱性玄武岩成分,具有板内裂谷环境成因特征。

前人采用不同的测年方法对河口群的各种岩石进行了研究,主要方法包括 K-Ar 法、Rb-Sr 法、Pb-Pb 法和 U-Pb 法等。李复汉等<sup>[14]</sup>在河口群中获得

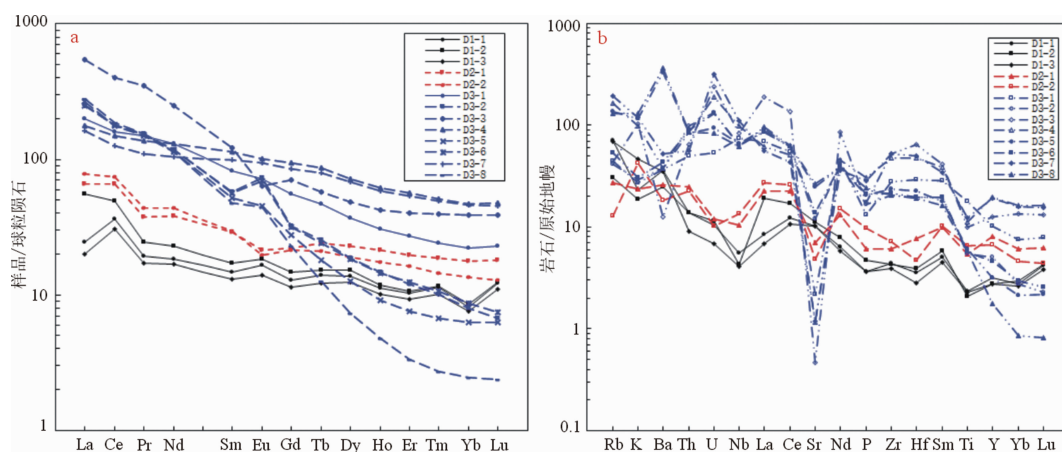


图 2 辉长岩的稀土元素配分模式图(a)和微量元素原始地幔标准化蛛网图(b)

(标准化值据 Sun 和 McDonough, 1989)

Fig. 2 Chondrite-normalized REE pattern (a) and primitive mantle-normalized trace element spider diagram (b) of the gabbro

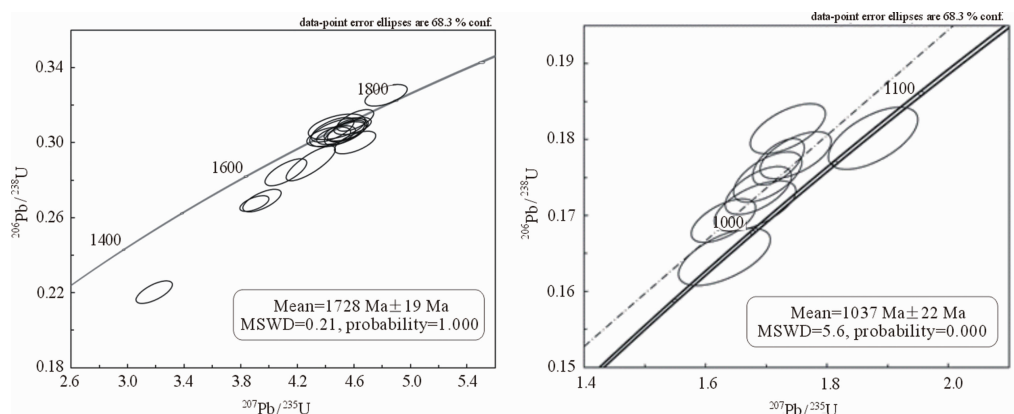


图3 变辉长岩锆石 U-Pb 谐和年龄图

Fig.3 Zircon U-Pb age concordance diagram of metagabbro

1987 Ma $\pm$ 8 Ma( $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ )、1712Ma、1725Ma(锆石 U-Pb)、1235 Ma $\pm$ 66 Ma、969 Ma $\pm$ 52 Ma、1006 Ma $\pm$ 60 Ma(Rb-Sr)等年龄数据;王奖臻等<sup>[3]</sup>获得拉拉铜矿辉钼矿的 Re-Os 同位素年龄为 928 Ma—1005 Ma,认为其代表了拉拉铜矿的成矿时代;周家云等<sup>[8]</sup>在石英钠长岩样品中获得 SHRIMP U-Pb 年龄为 1680 Ma $\pm$ 13 Ma;宋昊<sup>[5]</sup>在钠长岩中获得 1725 Ma $\pm$ 98 Ma 的锆石 U-Pb 年龄,其代表岩浆的结晶成岩年龄。上述年龄值明显地集中在 1700 Ma—2000 Ma 和 800 Ma—1000 Ma 两个年龄区段,与康滇地轴上元古代的 3 次重大地质事件对应<sup>[16]</sup>,也分别代表了河口群的生成年龄和变质作用事件时间<sup>[15,17]</sup>。

出露于河口群中的侵入岩体,周家云等采用 Sm-Nd 同位素定年法获得侵入于拉拉矿区的辉长岩 850 Ma $\pm$ 10 Ma 的等时线年龄,并认为其代表了拉拉矿区辉长岩的年龄,属于扬子地台西缘新元古代 Rodinia 超大陆裂解期<sup>[9]</sup>,指示了新元古代辉长岩浆活动对矿床的形成具有重要意义<sup>[18]</sup>。笔者在黎溪镇一带采集的一件变辉长岩样品显示具有 1037 Ma $\pm$ 22 Ma 的锆石 U-Pb 年龄;1:5 万河口幅区调获得了辉长岩体 1695 Ma $\pm$ 16 Ma 的锆石 U-Pb 年龄<sup>[19]</sup>;关俊雷等在变辉绿岩样品中获得了 1710 Ma $\pm$ 8 Ma 的不一致线与谐和线的上交点年龄<sup>[19]</sup>,与本次获得锆石 U-Pb 年龄(1728 Ma $\pm$ 19 Ma)大致相当。宋昊<sup>[5]</sup>对拉拉矿区附近河口群的花岗斑岩开展锆石测年获得 1647 Ma $\pm$ 23 Ma 的花岗岩成岩年龄,认为由于辉长岩岩体 Sm-Nd 同位素体系存在较大的不均一性或其同位素封闭体系在后期遭受了破坏,拉拉地区的侵入岩均形成于早元古代

末期。以上这些数据从一定程度上也印证了河口群原岩成岩时代在早元古代晚期的观点。

李复汉等在河口群的辉长岩、辉绿岩中获得了 1137 Ma、1488 Ma、1004 Ma、1145 Ma 等 K-Ar 年龄,与笔者在黎溪镇采集的辉长岩锆石年龄大致相近。王奖臻等<sup>[3]</sup>认为拉拉铜矿具有 2 期成矿作用,第 1 期(集中在 1712 Ma—1680 Ma BP)是康滇裂谷事件的产物,与拉拉矿床火山喷发成矿期对应;第 2 期(1000 Ma—900 Ma BP)是 Rodinia 超大陆裂解的响应,与拉拉铜矿变质热液成矿期<sup>[16]</sup>相对应。

综上,前人在河口群中获得的年龄数据大致相近,其中绝大多数年龄样品采集于河口群第二旋回(落幽组),用这些获得的具体年龄数据可以将河口群的主要形成限定于古元古代晚期—中元古代,而拉拉铁铜矿的成矿年龄明显晚于河口群的形成年龄,从而也否定了拉拉铁铜矿属于火山喷发-沉积成矿的说法。

本次研究获得的年龄数据反映了研究区主要的区域岩浆构造热事件,1728 Ma $\pm$ 19 Ma 年龄样品采集自侵入于河口群最下部的第一个岩性旋回中的辉长岩,其年龄数据与 1:5 万河口幅区调、关俊雷等<sup>[19]</sup>获得的年龄数据在误差范围内一致;在黎溪镇附近采集的辉长岩样品中获得 1037 Ma $\pm$ 22 Ma 的侵位年龄并发现其岩浆锆石边部较窄的变质边;而拉拉矿区还存在 850 Ma $\pm$ 10 Ma<sup>[9]</sup>的辉长岩,拉拉矿区铜矿体在石英钠长岩与黑云片岩的接触处和交替频繁的部位尤为富集。因此,可以认为河口群中的钠质火山岩为拉拉式铁铜矿的形成提供了物质来源,不同时期的辉长岩先后为成矿提供了动力,并对矿体进行了一定的富集改造。

## 参考文献:

- [1] 辜学达,刘啸虎.四川省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1997.
- [2] 刘肇昌,等.扬子地台西缘构造演化与成矿[M].成都:电子科技大学出版社,1996.
- [3] 王奖臻,李泽琴,黄从俊.康滇地轴元古代重大地质事件与拉拉 IOCG 矿床成矿响应[J].地球科学进展,2012,27(10):1074-1079.
- [4] 王赓.四川会理拉拉铁氧化物-铜-金-铀(IOCG)矿床稳定同位素地球化学研究[D].成都:成都理工大学,2013.
- [5] 宋昊.扬子地块西南缘前寒武纪铜-铁-金-铀多金属矿床及区域成矿作用[D].成都:成都理工大学,2014.
- [6] 尹福光,孙志明,任光明,等.上扬子陆块西南缘早一中元古代造山运动的地质记录[J].地质学报,2012,86(12):1917-1932.
- [7] 王冬兵,孙志明,尹福光,等.扬子地块西缘河口群的时代:来自火山岩锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄的证据[J].地层学杂志,2012,36(3):630-635.
- [8] 周家云,毛景文,刘飞燕,等.扬子地台西缘河口群钠长岩锆石 SHRIMP 年龄及岩石地球化学特征[J].矿物岩石,2011,31(3):66-73.
- [9] 周家云,郑荣才,朱志敏,等.四川会理拉拉铜矿辉长岩群地球化学与 Sm-Nd 同位素定年[J].矿物岩石地球化学通报,2009,28(2):111-122.
- [10] 周家云.四川会理拉拉铜矿地球化学特征及其大陆动力学背景[D].成都:成都理工大学,2008.
- [11] 武希彻,段锦荪.元谋姜驿大红山亚群地层、岩石特征及其时代的讨论[J].云南地质,1982(2):112-128.
- [12] 王红军,李巨初,薛钧月.康滇地轴元古代成矿作用对 Rodinia 事件的响应[J].四川地质学报,2009,29(1):11-15.
- [13] 朱志敏.拉拉铁氧化物铜金矿:成矿时代和金属来源[D].成都:成都理工大学,2011.
- [14] 李复汉.康滇地区的前震旦系[M].重庆:重庆出版社,1988.
- [15] 李泽琴,王奖臻,刘家军,等.拉拉铁氧化物-铜-金-钼-稀土矿床 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J].地质找矿论丛,2003,18(1):39-42.
- [16] 陈好寿,冉崇英,等.康滇地轴铜矿床同位素地球化学[M].北京:地质出版社,1992.
- [17] 周家云,毛景文,朱志敏,等.四川会理拉拉铜矿与矿区辉长岩的关系探讨[J].矿床地质,2010,29(Z6):357-358.
- [18] 阚泽忠,乔正福.四川会理一河口地区褶皱基底的双层结构[J].四川地质学报,1999(3):3-5.
- [19] 关俊雷,郑来林,刘建辉,等.四川省会理县河口地区辉绿岩体的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J].地质学报,2011,85(4):482-490.

## Geological characteristics and mineralization of gabbro in Huili county, Sichuan province

GONG Xiaobo, HU Yang, LIAO Ruanyinzi, GUO Daojun

(106 Geological Brigade of Sichuan Bureau of Geology and Mineral Resources, Chengdu 611130, China)

**Abstract:** Gabbro is widely exposed in Hekou area of Huili county at the Western margin of the Yangtze platform occurring as dykes and sills intruding in strata of Hekou group. The gabbro is considered to be closely related to Lala Fe-Cu deposits. U-Pb age dated by LA-ICP-MS method is  $1728 \text{ Ma} \pm 19 \text{ Ma}$  and  $1037 \text{ Ma} \pm 22 \text{ Ma}$ . Based on age data of the Hekou group and the regional tectonic evolution background, the rock-forming time and evolution of the gabbro are studied; based on the regional temporal and spatial relation of the gabbro and Fe-Cu deposits, the regional ore-forming process of the gabbro studied.

**Key Words:** Hekou group; gabbro; geological characteristics; mineralization; Sichuan province