

云南墨江金矿多种类型角砾岩及其 对深部找矿的指示意义

赵晨辉¹⁾, 王登红^{1)*}, 王成辉¹⁾, 刘善宝¹⁾, 郭娜欣¹⁾,
许建祥²⁾, 冯文杰³⁾, 李万平⁴⁾

1)中国地质科学院矿产资源研究所 自然资源部成矿作用与资源评价重点实验室, 北京 100037;

2)江西省自然资源厅, 江西南昌 330025; 3)云南省地质调查院, 云南昆明 650051;

4)墨江县矿业有限责任公司, 云南普洱 654899

摘要: 云南墨江金厂金镍矿是 20 世纪 80 年代勘查的大型矿床。经过四十多年的开发利用, 资源面临枯竭。通过与矿山合作勘查研究, 重新确认了角砾岩型矿石, 其金品位普遍较高, 最高达 12 g/t。含金角砾岩至少有两种, 即构造角砾岩和火山角砾岩。其中, 构造角砾岩位于金厂岩体、下泥盆统金厂组与上三叠统一碗水组之间的构造推覆带; 火山角砾岩出现在滴水坎矿段露天采场和 ZK74-52、ZK76-9 钻孔中。构造角砾岩分布在滴水坎矿段 68 线和猫鼻梁子矿段 94 线附近, 角砾成分以粉砂岩、炭质泥岩和石英为主, 胶结物为砂泥质。火山角砾岩也发生金矿化, 角砾成分更加复杂, 包括蚀变超基性岩、灰白色硅化粉砂岩、猪肝色石英砂岩、蛇纹石和石英, 基质中出现包括撕裂状玻屑的多种火山玻屑, 发生强烈硅化和碳酸盐化蚀变。火山角砾的成分指示火山角砾岩形成于金厂岩体就位之后, 一碗水组红色砂岩成岩之前。查明角砾岩型金矿体的分布特征及其成因, 对矿山增储上产具有重要意义, 有助于矿山开拓深部找矿新空间, 打开找矿新局面。

关键词: 角砾岩型金矿; 墨江(金厂)金镍矿; 火山角砾岩; 构造角砾岩

中图分类号: P618.51 文献标志码: A doi: 10.3975/cagsb.2024.111101

Various Types of Breccias and Their Implications for Deep Mineral Exploration in the Mojiang Gold Deposit, Yunnan Province

ZHAO Chenhui¹⁾, WANG Denghong^{1)*}, WANG Chenghui¹⁾, LIU Shanbao¹⁾,
GUO Naxin¹⁾, XU Jianxiang²⁾, FENG Wenjie³⁾, LI Wanping⁴⁾

1) MNR Key Laboratory of Metallogeny and Mineral Assessment, Institute of Mineral Resources,
Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037;

2) Department of Natural Resources of Jiangxi Province, Nanchang, Jiangxi 330025;

3) Yunnan Geological Survey, Kunming, Yunnan 650051;

4) Mojiang Mining Industry Co., Ltd., Pu'er, Yunnan 654899

Abstract: The Mojiang gold-nickel deposit in the Yunnan Province was identified through exploration efforts in the 1980s. However, after more than forty years of development and exploitation, the resources are becoming depletion. Through exploration and research in collaboration with the mining company, new breccia-type ores have been reidentified, generally showing high gold grades, reaching up to 12 g/t. The gold-bearing breccia can be classified into at least two types: tectonic and volcanic breccia. The tectonic breccia is located in the thrust zone between the Jinchang intrusive rock, the Lower Devonian Jinchang Formation, and the Upper Triassic Yiwanshui Formation. Volcanic breccia is found in the open pit and drill holes ZK74-52 and ZK76-9 of the

本文由中国地质科学院矿产资源研究所基本科研业务费“墨江金矿床矿化蚀变分带特征研究及靶区优选”项目(编号: KK2118)和中国地质调查局“中国矿产地志”项目(编号: DD20221695; DD20221684)联合资助。

收稿日期: 2024-07-29; 改回日期: 2024-10-20; 网络首发日期: 2024-11-12。责任编辑: 张改侠。

第一作者简介: 赵晨辉, 男, 1996年生。博士研究生。矿产普查与勘探专业。E-mail: GEOChenhui@163.com。

*通信作者: 王登红, 男, 1967年生。博士, 博士生导师, 研究员。主要从事矿产资源研究。E-mail: 847544588@qq.com。

Dishuikan section. The breccia-type gold orebodies are distributed near line 68 of the Dishuikan section and line 94 of the Maobiliangzi section. The breccia components mainly consist of siltstone, carbonaceous mudstone, and quartz, with sandy and mudstone cement. Gold mineralization also occurs in volcanic breccia, which have more complex compositions, including ultrabasic rocks, gray-white silicified siltstones, liver-colored quartz sandstones, serpentinite, and quartz. The matrix contains a ripped-up vitroclast and plastic shard. Volcanic breccia has been strongly affected by silicification and carbonation. The breccia components indicate that the volcanic breccia formed after the emplacement of the Jinchang intrusive rock and before the diagenesis of the red sandstone of the Upper Triassic Yiwanshui Formation. Identifying the distribution characteristics and genesis of breccia-type gold orebodies is crucial for increasing the reserves and production capacity of the Mojiang deposit. It also facilitates the exploration of new deep-level mineralization and opens up new prospects for mineral exploration.

Key words: breccia-type gold ores; Mojiang (Jinchang) gold-nickel deposit; volcanic breccia; tectonic breccia

1887年 Hunt 识别出矿化角砾岩。经过百余年研究,角砾岩与矿化关系的研究取得长足进步。角砾岩型金矿是金矿中的一种重要工业类型,一些世界级超大型金矿中都有角砾岩发育,并且角砾岩往往是重要的赋矿围岩(陈毓川等, 2001; 王登红等, 2024)。例如,著名的奥林匹克坝矿床中,容矿地质体就是巨型角砾岩体(Reeve et al., 1990)。Sillitoe(1985)将含矿角砾岩分为5类,即热液角砾岩、蒸汽岩浆爆发形成的角砾岩、火山角砾岩、与侵入岩有关的角砾岩和构造角砾岩。唐菊兴(1995)将含金热液隐爆角砾岩分为3类,岩浆热液隐爆角砾岩、岩浆-天水混合热液隐爆角砾岩和天水热液隐爆角砾岩。罗镇宽等(1999)将中国与角砾岩相关的金矿床分为4类,分别是与小侵入岩体有关的角砾岩型金矿床、与斑岩系统有关的角砾岩型金矿床、与火山-次火山岩有关的角砾岩型金矿床和产在不整合面或沉积间断面上的角砾岩型金矿床。

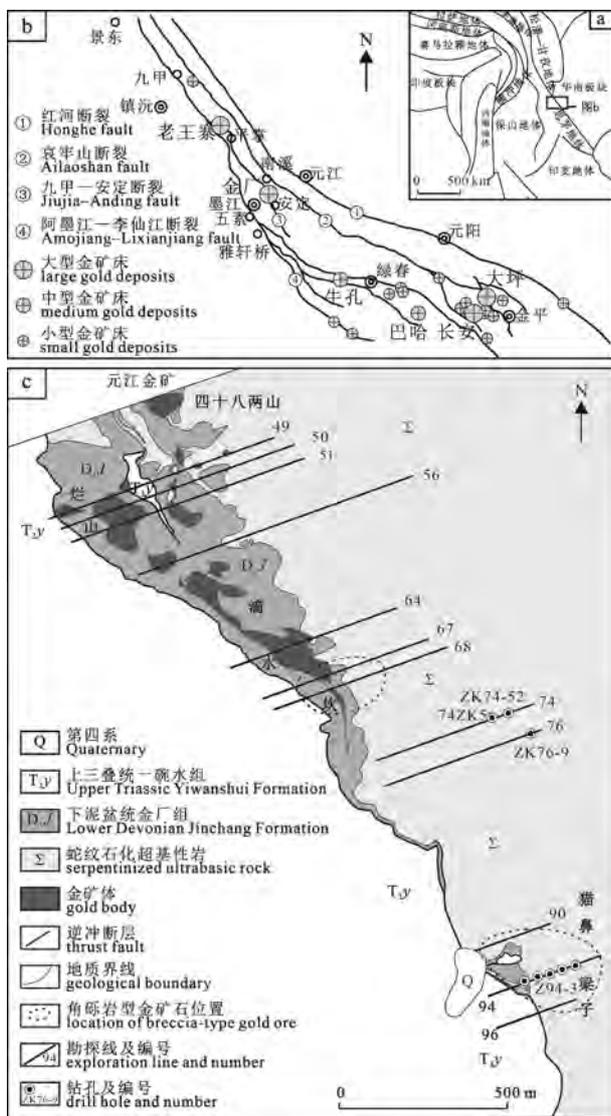
美国 Cripple Creek 金矿田,超过 800 t 金赋存在与渐新世碱性岩相关的火山角砾岩筒中(Kelly et al., 2020); 澳大利亚 Kidston 金矿,150 t 金产出在早石炭世火山角砾岩筒中(Baker et al., 1991); 智利 Productora 矿床中高品位 Habanero 金铜矿体(1% Cu, 0.3 g/t Au)产于构造角砾岩体内部及周围(Escolme et al., 2020); 土耳其 Kucukdag 矿床高品位金银矿体赋存在构造角砾岩带内部及附近(Smith et al., 2014)。在中国,河南祁雨沟和黑龙江团结沟金矿中金矿体规模、形态和产状受隐爆角砾岩控制,山东大庄子金矿中构造角砾岩控制着金矿体的产状(王登红等, 2024); 贵州水银洞金矿中多个金矿体分布在隐爆角砾岩附近(邱小平等, 2021)。以上实例表明火山角砾岩对金矿体控制作用更加明显,金矿化多发生在火山角砾岩内部和角砾岩体与围岩接触带。相比之下,金矿化可以发生在构造角砾岩和隐爆角砾岩内部、角砾岩体与围岩接触带和角砾岩外部一定范围内。

本文通过墨江金矿野外工作,查明矿区存在多种类型角砾岩,结合钻孔和坑道编录圈定出角砾岩型金矿体,并对这些角砾岩开展了岩矿鉴定和金元素分析。部分角砾岩型金矿体品位较高,探索角砾岩型金矿体对矿区深部找矿具有现实意义。

1 区域地质背景

金沙江—红河、哀牢山成矿带是云南省最重要的贵金属聚集区,查明金资源量超过 600 t(李建伟等, 2018)。带内分布有大型金矿床 6 个,分别是鹤庆北衙,镇沅老王寨,祥云马厂箐、墨江金厂、元阳大坪和金平长安(图 1a, b; 王登红等, 2006)。墨江金厂金矿位于哀牢山成矿带中部,此带经历了复杂的地质演化过程,包括多旋回构造运动和多期成矿作用,最终作为哀牢山—红河断裂活动的产物而定形,形成时限为 32~17 Ma(图 1a, b; Leloup et al., 1995; Cao et al., 2011)。哀牢山成矿带夹持于北西向哀牢山断裂和九甲—安定断裂之间。以哀牢山断裂为界,北东为古元古代深变质带,以哀牢山群发育为特点,南西为早古生代浅变质带,上覆有中生界和新生界。早古生代浅变质岩、碎屑岩和超基性岩是区内重要含矿建造,上三叠统一碗水组底部普遍发育底砾岩(叶庆同等, 1992)。

区内岩浆活动强烈且频繁,以基性-超基性岩浆为主,中酸性岩浆次之。超基性-基性岩体形成于晚古生代,分布在哀牢山成矿带北部。金厂岩体是带内 300 多个岩体中最大的超基性岩体(Jian et al., 2009)。区域上,在哀牢山成矿带基性-超基性岩之上以角度不整合覆盖有上三叠统一碗水组磨拉石建造,但金厂矿区的超基性岩又推覆到一碗水组之上。中酸性岩多发育在哀牢山成矿带的南段,岩体大小不一,沿构造线分布,其形成时代主要有新元古代、晚古生代—中生代以及新生代(叶庆同等, 1992)。此外,各类脉岩十分发育,岩性为煌斑岩、辉绿岩和花岗斑岩,整体呈北西向展布,富挥发分的煌斑岩



a—哀牢山成矿带大地构造位置(据许志琴等, 2016);

b—哀牢山成矿带金矿床分布图(据王登红等, 2024 修改);

c—墨江金矿地质图(据郭娜欣等, 2024 修改)。

a—location of Ailaoshan metallogenic belt (from XU et al., 2016);
b—distribution of gold deposits in the Ailaoshan metallogenic belt
(from WANG et al., 2024); c—geological map of the Mojiang gold
deposit (from GUO et al., 2024).

图 1 哀牢山成矿带大地构造位置、金矿床分布和墨江金矿地质图

Fig. 1 Location of Ailaoshan metallogenic belt, distribution of gold deposits within the belt, and geological map of the Mojiang gold deposit

脉形成于新生代, 与区内金矿床关系密切(Hou et al., 2023)。火山物质是哀牢山金矿带的重要物源, 小的环形构造是区内重要成矿标志, 此外, 遥感资料显示环状构造呈环结状出现在墨江地区, 但影像特征不甚清晰(胡云中等, 1995; 李建伟等, 2018)。

2 矿区地质特征

墨江金矿位于九甲—安定断裂上盘, 矿区主要出露两套地层, 上三叠统一碗水组和下泥盆统金厂组(图 1c)。一碗水组底部普遍发育底砾岩, 不整合

于金厂组或超覆于金厂岩体之上(叶庆同等, 1992)。超基性岩和金厂组砂岩以及晚二叠世凝灰岩是金矿体的赋矿围岩(郭娜欣等, 2024)。矿区断裂分为三组, 北西向、北北西向和东西向, 北西向断裂为主要的导矿和容矿构造。金厂岩体出露在矿区东部, 面积约 19 km², 原岩为斜辉橄榄岩和辉石岩, 岩体发生强烈的蚀变作用, 包括蛇纹石化、滑石化、菱镁矿化和硅化, 地表以下 800 m 范围内无新鲜原岩。金厂岩体位于金厂组之上, 二者共同推覆至一碗水组红层之上(胡云中等, 1995)。辉绿岩和煌斑岩零星见于矿区北部, 海西晚期花岗岩和凝灰岩出露在矿区西北部(郭娜欣等, 2024)。矿区由北向南分为四十八两山、烂山、滴水坎和猫鼻梁子 4 个矿段(图 1c), 矿石类型包括石英脉型、浸染型、角砾岩型和混合型, 角砾岩型矿石是新发现的矿石类型。与金矿化密切相关的围岩蚀变为硅化、黄铁矿化和铬云母化。在滴水坎矿段和猫鼻梁子矿段可见角砾岩型金矿石(图 1c, 图 2)。

3 角砾岩型金矿体地质特征

通过野外勘查和坑道编录, 笔者在矿山猫鼻梁子矿段 94 线厘定出角砾岩型金矿体(图 2), 角砾岩为构造成因, 受矿区北西向推覆构造控制, 夹在蛇纹石化超基性岩和一碗水组砂岩之间(图 3)。角砾岩宽度超过 500 m, 垂直深度超过 200 m。在猫鼻梁子矿段由浅到深, 海拔 1 840 m(图 4a)→1 783 m(图 4b)→1 753 m(图 4c), 角砾成分和粒度无变化规律。

角砾岩颜色为灰黑色, 角砾状构造。角砾成分以粉砂岩、炭质泥岩和石英为主, 这些角砾占比超过 85%(图 4a~d), 偶见泥岩、沉凝灰岩和蛇纹石化超基性岩角砾(图 4e~f)。角砾形态包括椭圆状、棱角状、块状、扁豆状和长条状, 以椭圆状和棱角状为主, 角砾大小 0.1~20 cm。角砾杂乱分布, 分选性差, 磨圆度差, 无拼接性, 定向性差。胶结物成分主要为砂泥质物质(图 4d~f), 其次为黄铁矿、蛇纹石和铬铁矿。从成分上来看, 角砾与金厂组和金厂岩体相差不多, “就地取材”特点显著。以上均为构造角砾岩的典型特征。

图 2 显示金矿体的产状与构造角砾岩联系密切, 金矿体的空间分布特征与构造角砾岩空间分布特征相似。角砾岩内广泛发育的裂隙为热液提供了良好的运移通道, 既形成导矿构造又形成储矿构造, 金矿体被限定在构造角砾岩内及附近。按照金品位圈出角砾岩型金矿体的形状分别呈筒状、囊状、透镜状, 前两种金矿体平均品位超过 1.5 g/t, 透镜状金矿体平均品位略低, 为 0.5~1.5 g/t(图 2)。透镜状金

矿体在空间上更加靠近蛇纹石化超基性岩。总的来看,角砾岩型金矿体走向北西,倾向北东,垂直高度超过 150 m,宽度 100~500 m。野外勘查和镜下观察未见明金。

4 火山角砾岩地质特征

4.1 火山角砾岩空间分布

在露天采场,火山角砾岩出露在滴水坎矿段 67 线~68 线(图 5a)。钻孔资料显示,74 线~76 线,在海拔 1 400~1 500 m 开始出现火山角砾岩(图 5b~d),例如 ZK76-9 钻孔(开孔高度 2 121 m)在 688~693 m、697~713 m 和 720~760 m 出现新鲜未蚀变的火山角砾岩,火山角砾岩与火山凝灰岩交互出现,显现出一定的旋回性(图 6)。因此,可以认为火山角砾岩分布在 67 线~76 线之间。

4.2 火山角砾岩物质组成

矿区火山角砾岩颜色鲜艳,包括深红色、灰绿色等,角砾自身颜色包括暗紫色、红色、黑色、墨绿色、灰白色等。火山角砾岩主要由火山碎屑物组成,可见少量熔岩物质(图 5,图 7)。这些火山碎屑物包括岩屑(70%~80%)、晶屑或玻屑(10%~20%)和火山灰(图 7a~h)。岩屑角砾包括各种粒径大于 2 mm 的刚性岩石、石英和蛇纹石角砾,刚性岩石角砾成分为蛇纹石化超基性岩(蛇纹岩)和赭石化超基性岩、硅化粉砂岩、猪肝色石英砂岩(图 5a~d)。显微镜下观察到一些老基底的岩石碎屑,例如变质变形长石石英砂岩和(红柱石?)变质石英砂岩(图 7i~l)。岩石中出现少量鸡骨状、撕裂状玻屑(图 7e~h),基质成分为火山灰等火山物质。火山角砾岩发生强烈硅化(图 7a~j)和碳酸盐化(图 7c~d),还有弱绿泥石化(图 7e~f)。

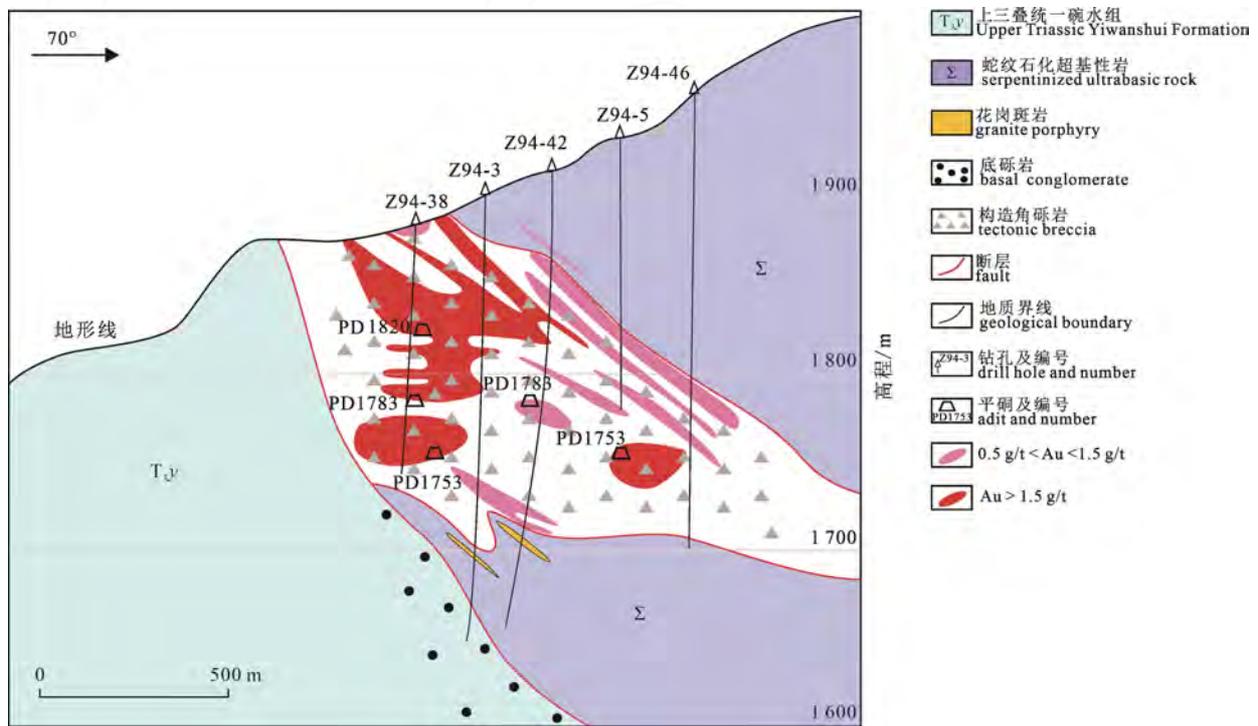


图 2 墨江金矿 94 号勘探线剖面图

Fig. 2 Profile of exploration line 94 of the Mojiang gold deposit

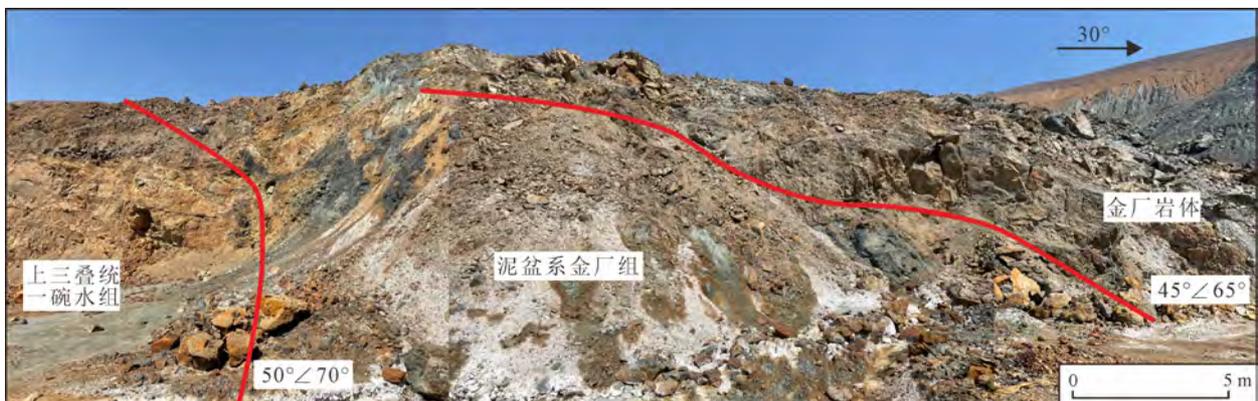


图 3 墨江金矿逆冲推覆构造简图

Fig. 3 Schematic diagram of the thrust nappe structure of the Mojiang gold deposit

4.3 火山碎屑物分布特点

不同矿段火山角砾岩中岩屑角砾成分显现一定变化。出露在采场滴水坎矿段的火山角砾岩, 岩屑成分多为蛇纹石化和赭石化超基性岩, 这种角砾占岩屑角砾的 75% 以上(图 5a)。在 74 线至 76 线火山角砾岩中, 岩屑角砾成分以硅化粉砂岩、猪肝色石英砂岩、蛇纹石化超基性岩和石英为主, 这四种角砾占岩屑的 85% 以上(图 5b~c)。

4.4 岩屑角砾粒度及形态

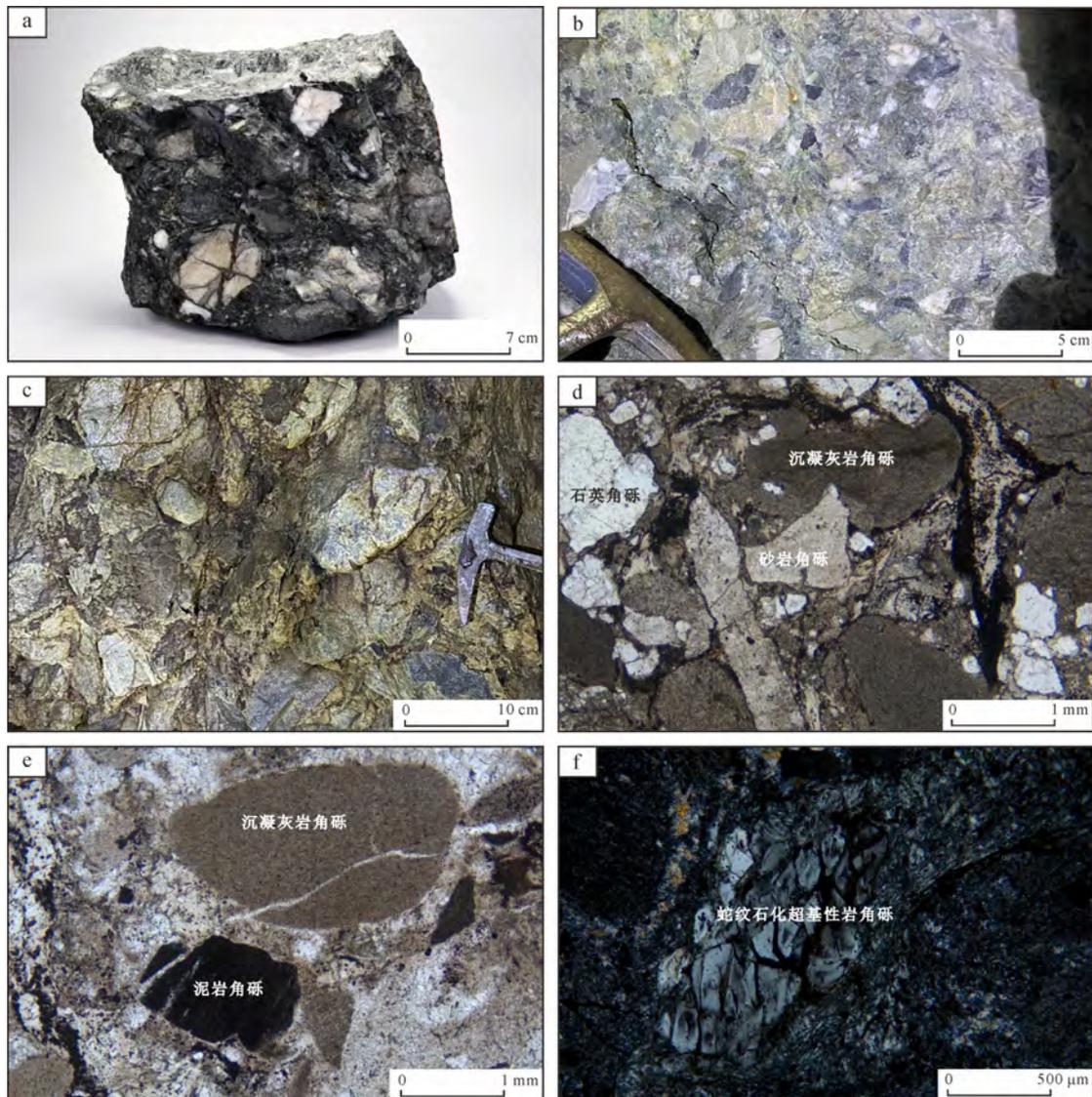
各岩屑角砾大小不一, 粒径在厘米级甚至数十厘米级, 一些粉砂岩的角砾可达 20~45 cm。超基性岩角砾以 1~10 cm 为主。在各种大角砾周围,

可见同种或不同种更小粒径的角砾。岩屑角砾棱角明显, 基质中出现鸡骨状、撕裂状玻屑(图 7e~h)。

4.5 角砾的成分特征

在矿区勘查和钻孔编录过程中, 针对角砾成分, 对不同颜色和结构构造的火山角砾统计后发现整个矿区蚀变超基性岩角砾约占岩屑角砾的 50%, 蚀变但未变形砂岩占 30%, 变质变形砂岩占 10%。值得注意的是, 我们在统计过程中未发现蚀变花岗斑岩和一碗水组红色砂岩的火山角砾。

将本次发现的火山角砾岩与区域上出露的上三叠统一碗水组底砾岩进行对比, 可见, 火山角砾



a—鼻梁子矿段 1840 构造角砾岩标本照片; b—猫鼻梁子矿段 1783 中段南 2 穿构造角砾岩野外照片;
c—猫鼻梁子矿段 1753 中段南 2 穿构造角砾岩野外照片; d—沉凝灰岩角砾、砂岩角砾、石英角砾和砂泥质胶结物镜下照片;
e—沉凝灰岩角砾、泥岩角砾和砂泥质胶结物镜下照片; f—蛇纹石化超基性岩角砾镜下照片。

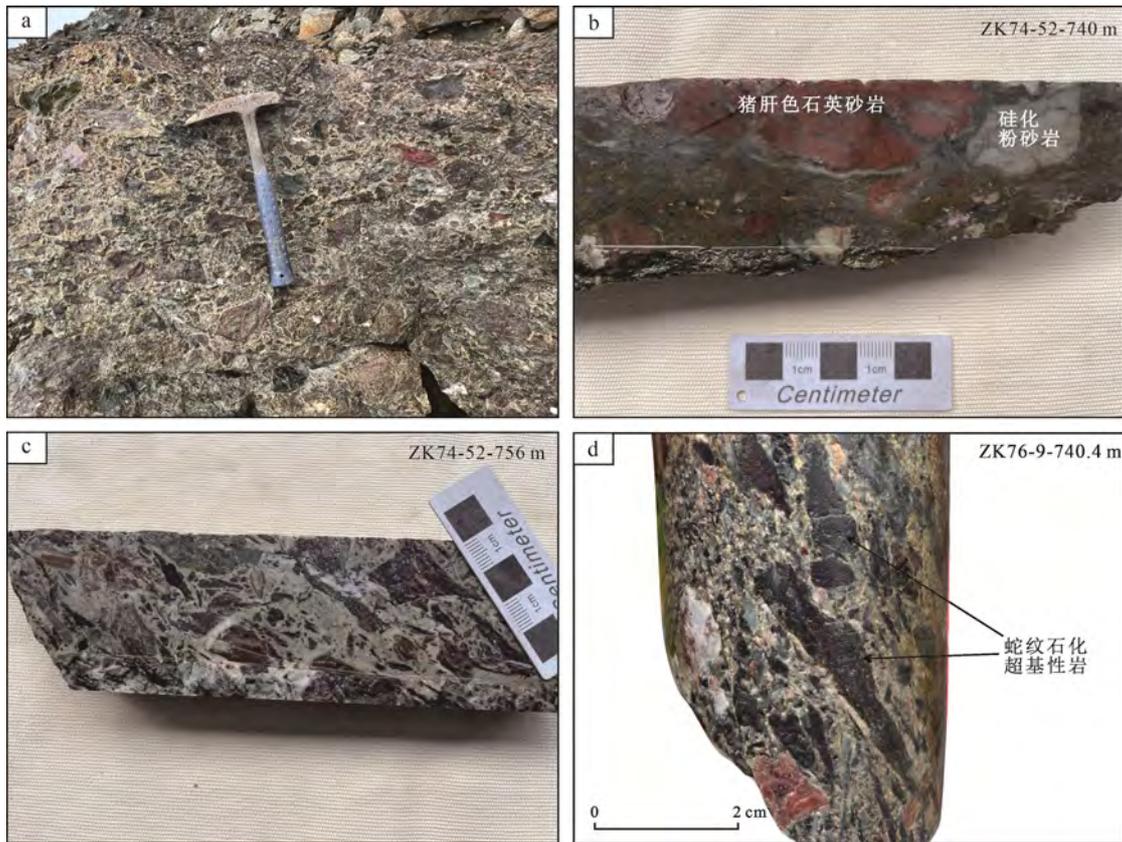
a—sample photo of tectonic breccia at 1 840 m in the Maobiliangzi section; b—field photo of tectonic breccia in the southern part of No. 2 transverse drift at 1 783 m level of the Maobiliangzi section; c—field photo of tectonic breccia in the southern part of No.2 transverse drift of 1 753 m level of the Maobiliangzi section; d—microscopic photo of sedimentary tuff breccia, sandstone breccia, quartz breccia, and sandy- muddy cement; e—microscopic photo of sedimentary tuff breccia, mudstone breccia, and sandy and muddy cement; f—microscopic photo of serpentinitized ultrabasic rock breccia.

图 4 墨江金矿角砾岩型矿石野外和镜下照片

Fig. 4 Field and microscopic photographs of breccia-type ore in the Mojiang gold deposit

岩与一碗水组底砾岩在颜色、磨圆度和结构构造方面存在明显不同。一碗水组底砾岩在矿区北段为暗紫色，砾石以变质岩成分为主，在矿区南段砾岩成

分渐以超基性岩砾石为主，是典型的陆相沉积成因，后经氧化岩石普遍发红。火山角砾岩中出现大量的蛇纹石化角砾，角砾的长条状和棱角状特征明显。



a—滴水坎矿段露天采场 1 950 m 平台火山角砾岩野外照片；b—火山角砾岩岩心照片，位置：ZK74-52 钻孔 740 m；
c—火山角砾岩岩心照片，位置：ZK74-52 钻孔 756 m；d—火山角砾岩岩心照片，位置：ZK76-9 钻孔 740.4 m。

a—field photo of volcanic breccia at 1 950 m bench of open-pit in the Dishuikan section;
b—core photo of volcanic breccia from drill hole ZK74-52 at 740 m; c—core photo of volcanic breccia from drill hole ZK74-52 at 756 m;
d—core photo of volcanic breccia from drill hole ZK74-52 at 740.4 m.

图 5 火山角砾岩野外和手标本照片

Fig. 5 Field and hand specimen photographs of volcanic breccias

表 1 墨江金矿含矿角砾岩金品位一览表

Table 1 Gold grade list of ore-bearing breccia in the Mojiang gold deposit

位置	岩性	样号	样长/m	品位/(g/t)	位置	岩性	样号	样长/m	品位/(g/t)
滴水坎矿段 采场 68 线	构造 角砾岩	H5	1.5	1.5	1753 中段南 2 穿(94 线)	构造 角砾岩	H25	1.5	4.1
		H6	1.5	11.9			H26	1.5	1.8
		H7	1.5	3.1			H27	1.0	1.2
		H8	1.5	0.4			H28	1.5	0.9
		H9	1.5	2.5			H29	2.2	2.5
		H10	1.5	1.5			H30	1.3	3.7
1783 中段南 2 穿(94 线)	构造 角砾岩	H1	1.5	1.7	H31	1.5	2.8		
		H2	1.5	3.3	H32	1.5	4.3		
		H3	1.5	4.7	H33	1.5	2.0		
		H4	1.5	3.2	H34	1.5	5.2		
钻孔 74ZK5	火山 角砾岩	H177	1.5	0.7	钻孔 74ZK5	火山 角砾岩	H192	1.5	0.4
		H178	1.4	3.0			H193	1.5	0.3
		H179	1.3	1.2			H194	1.15	0.5
		H190	1.5	0.6			H201	1.3	1.8
		H191	1.5	0.6			H202	1.2	2.1

注：数据由墨江县矿业公司提供。表中 1783 中段南 2 穿样品与图 4b 对应，1753 中段南 2 穿样品与图 4c 对应。

5 角砾岩的含矿性

墨江金矿至少存在 3 种类型角砾岩, 底砾岩、构造角砾岩和火山角砾岩, 后两者均有金矿化发育。墨江金矿现有 4 个富矿囊状体(图 1), 烂山矿段 49 线~51 线和 56 线、滴水坎矿段 64 线~68 线和猫鼻梁子矿段 90 线~96 线, 野外调查研究和金品位资料显示在 68 线和 94 线附近存在角砾岩型金矿体(图

2, 表 1)。对比表 1 中构造角砾岩和火山角砾岩的金品位, 可以得知角砾岩的金矿化并不稳定, 构造角砾岩的矿化略好于火山角砾岩。

石英脉型矿石是墨江金矿目前最重要的金矿石类型, 这种矿石位于猫鼻梁子矿段。野外工作中, 我们在猫鼻梁子矿段并未找到烟灰色或黄白色石英脉穿切火山角砾岩, 构造角砾岩中的石英角砾也并不含矿。



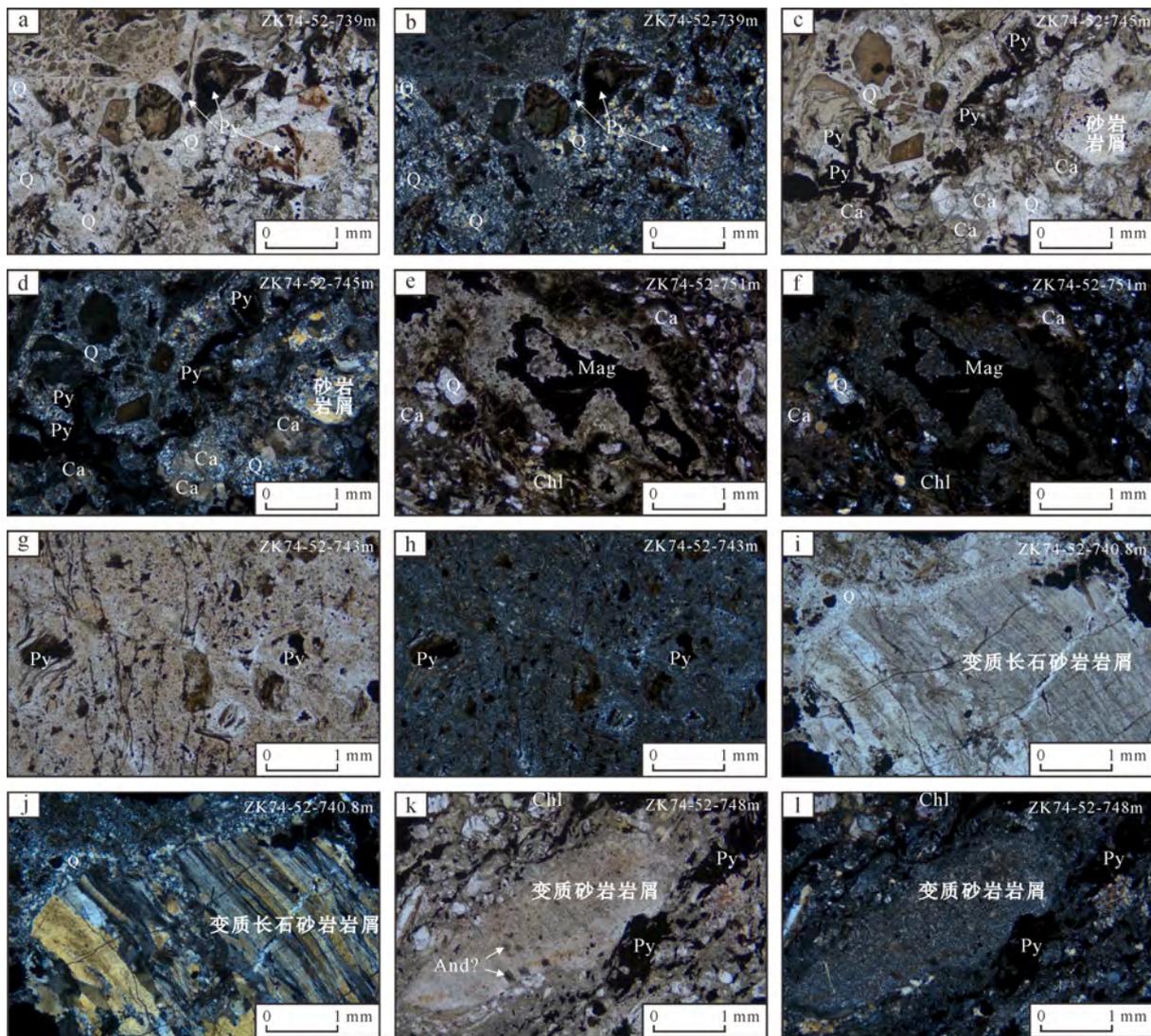
图 6 ZK76-9 钻孔柱状图
Fig. 6 Drillhole column of ZK76-9

6 火山角砾岩发现的找矿意义

火山角砾岩中火山碎屑物粒径半数以上为2~64 mm, 是寻找火山口的重要标志。区域上遥感资料解译出的模糊环状构造也暗示墨江地区可能存在火山口(胡云中等, 1995; 李建伟等, 2018)。墨江金矿火山角砾岩的发现, 证明深部或周边存在同期的火山岩或者次火山岩。火山角砾岩是爆发性很强的火山喷发物, 粗大的蛇纹岩、硅化粉砂岩角砾被胶结物胶结, 说明古火山通道穿过了金厂岩体。

6.1 角砾来源及形成时间探讨

通过观察和统计分析, 我们认为构造角砾岩中的角砾主要来源于矿区的金厂组和金厂岩体, 角砾岩形成于金厂岩体和金厂组推覆至一碗水组之上的过程中(图2)。火山角砾岩中角砾主要来自金厂岩体, 并未见一碗水组红色砂岩, 所以角砾岩的形成时间在金厂岩体就位之后, 一碗水组红色砂岩成岩之前。此外, ZK76-9 钻孔柱状图显示含有超基性岩角砾的火山角砾岩出现在金厂岩体下部(图6), 说明金厂岩体被推覆至火山角砾岩之上(图8)。一碗水组



a(-), b(+)-火山角砾岩, 可见砂岩和火山灰等碎屑, 叠加后期强烈硅化; c(-), d(+)-火山角砾岩, 可见火山灰碎屑, 叠加后期碳酸盐化和硅化; e(-), f(+)-火山角砾岩, 基质中可见鸡骨状玻屑, 岩石叠加碳酸盐化和绿泥石化; g(-), h(+)-火山角砾岩, 基质中可见撕裂状玻屑和塑变玻屑; i(-), j(+)-变质变形长石砂岩岩屑, 岩屑边缘叠加强烈硅化;

k(-), l(+)-变质砂岩岩屑, 岩屑中可见红柱石; (-)单偏光, (+)正交偏光。

And-红柱石; Ca-方解石; Chl-绿泥石; Mag-磁铁矿; Q-石英; Py-黄铁矿。

a(-) and b(+)-volcanic breccia, with some pyroclast such as sandstone and volcanic ash, superimposed with later strong silicification; c(-) and d(+)-volcanic breccia, with volcanic ash debris, superimposed with later carbonation and silicification; e(-) and f(+)-volcanic breccia, with chicken-bone like glass fragments in the matrix, and breccia overlaid with later carbonate and chlorite alteration; g(-) and h(+)-volcanic breccia, with ripped-up vitroclast and plastic shard in the matrix; i(-) and j(+)-metamorphic and deformed feldspar sandstone detritus, with strong silicification along the edges of the detritus; k(-) and l(+)-andalusites (?) within the metamorphic sandstone detritus.

(-)-single polarized light microscope; (+)-orthogonal polarizing microscope.

And-andalusite; Ca-calcite; Chl-chlorite; Mag-magnetite; Q-quartz; Py-pyrite.

图7 墨江金矿火山角砾岩镜下照片

Fig. 7 Microscopic photographs of volcanic breccias in the Mojiang gold deposit

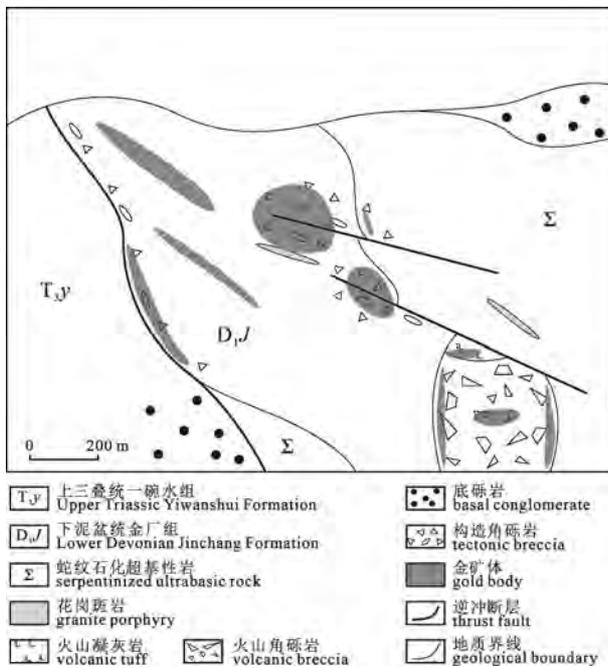


图8 墨江金矿勘查模式图

Fig. 8 Prospecting model of the Mojiang gold deposit

在哀牢山地区广泛出露, 形成时间为晚三叠世(胡云中, 1995)。金厂岩体作为哀牢山蛇绿岩中最大的岩体, 其形成时间在晚石炭世—晚泥盆世之间(杨岳清, 1993; Jian et al., 2009)。墨江—绿春地区在中晚二叠世存在大规模岩浆活动, 我们的工作在该区厘定的火山凝灰岩年龄为晚二叠世(郭娜欣等, 2024), 所以本次发现的火山角砾岩有可能与晚二叠世火山凝灰岩同期形成。但是具体的形成时间还需进一步工作。

6.2 对深部成矿的指示

墨江金矿以往工作中多侧重石英脉型和浸染型矿石的找矿勘查和成因研究, 并未重视角砾岩型矿石, 本次工作发现的角砾岩型矿石无疑给墨江金矿的找矿工作提升了信心。猫鼻梁子矿段 94 线角砾岩型金矿的成矿特征将为矿山其他矿段深部找矿尤其是开拓第二找矿空间提供依据。墨江金矿未来深部找矿工作中, 需要重点关注 3 种类型矿体, 高品位石英脉型金矿体, 金厂组与一碗水组、金厂岩体与金厂组之间的构造角砾岩型金矿体, 以及金厂岩体和金厂组下部火山角砾岩赋存的矿体(图 8)。

7 结语

云南墨江金矿, 存在多种角砾岩, 如一碗水组底部的底砾岩、金厂岩体和金厂组与一碗水组之间的构造角砾岩、穿过岩体的火山角砾岩等, 以构造角砾岩含矿性最好, 金品位可达 12 g/t。值得思考的是, 以超基性岩岩屑为主的火山角砾岩岩筒中并未见一碗水组的岩屑或角砾, 这表明角砾岩筒

的形成时间晚于金厂岩体而早于一碗水组, 并且随着金厂岩体一起推覆到现有位置, 并叠置在一碗水组之上。由此推测, 火山角砾岩筒也被推覆构造错断并“挪移”, 如果未来工作中能找到其根部或原始位置, 将对深部找矿的重大突破具有重要的指示意义。

致谢: 在陈毓川院士九十华诞来临之际, 仅以此文向陈先生表达崇高的敬意! 陈先生做人和做学问的精神引领着一代代矿床人向前! 感谢编辑部老师和评审专家的辛勤工作。

Acknowledgements:

This study was supported by Central Public-interest Scientific Institution Basal Research Fund (No. KK2118), and China Geological Survey (Nos. DD20221695 and DD20221684).

参考文献:

- 陈毓川, 李兆鼎, 毋瑞身, 等, 2001. 中国金矿床及其成矿规律[M]. 北京: 地质出版社.
- 郭娜欣, 刘善宝, 李万平, 等, 2024. 云南墨江金矿区凝灰岩的成因及对金成矿作用的意义[J]. 岩石学报, 40(8): 2503-2518.
- 胡云中, 唐尚鹤, 王海平, 等, 1995. 哀牢山金矿地质[M]. 北京: 地质出版社: 255-269.
- 李建伟, 程胜辉, 施玉北, 等, 2018. 中国矿产地质志·云南卷·贵金属矿产[M]. 北京: 地质出版社.
- 邱小平, 刘世川, 魏密, 2021. 黔西南水银洞爆破角砾岩筒与金元素超常富集[J]. 地球学报, 42(6): 849-858.
- 罗镇宽, 苗来成, 关康, 1999. 角砾岩型金矿床——一种值得重视的金矿床类型[J]. 地质找矿论丛, 14(4): 15-23.
- 唐菊兴, 1995. 含金热液隐爆角砾岩的特征及研究意义[J]. 成都理工学院院报, 22(3): 59-64.
- 王登红, 应汉龙, 梁华英, 等, 2006. 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿[M]. 北京: 地质出版社.
- 王登红, 王成辉, 王岩, 等, 2024. 中国矿产地质志·金矿卷[M]. 北京: 地质出版社.
- 许志琴, 王勤, 李忠海, 等, 2016. 印度-亚洲碰撞: 从挤压到走滑的构造转换[J]. 地质学报, 90(1): 1-23.
- 杨岳清, 田农, 1993. 金沙江-澜沧江-怒江地区金矿类型及成矿条件[J]. 地质学报, 67(1): 63-75.
- 叶庆同, 胡云中, 杨岳清, 等, 1992. 三江地区区域地球化学背景和金、银、铅、锌成矿作用[M]. 北京: 地质出版社.

References:

- BAKER E M, ANDREW A S, 1991. Geologic, fluid inclusion, and stable isotope studies of the gold-bearing breccia pipe at Kidston, Queensland, Australia[J]. Economic Geology, 86(4): 810-830.
- CAO Shuyun, LIU Junlai, LEISS B, et al., 2011. Oligo-Miocene

- shearing along the Ailao Shan-Red River shear zone: Constraints from structural analysis and zircon U/Pb geochronology of magmatic rocks in the Diancang Shan massif, SE Tibet, China[J]. *Gondwana Research*, 19(4): 975-993.
- CHEN Yuchuan, LI Zhaonai, WU Ruishen, et al., 2001. Gold deposits in China and their metallogenic laws[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- ESCOLME A, COOKE D R, HUNT J, et al., 2020. The productora Cu-Au-Mo deposit, Chile: A Mesozoic magmatic- hydrothermal breccia complex with both porphyry and iron oxide Cu-Au affinities[J]. *Economic Geology*, 115(3): 543-580.
- GUO Naxin, LIU Shanbao, LI Wanping, et al., 2024. Petrogenesis and mineralization implications of the tuff in Mojiang Au deposit, Yunnan Province[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 40(8): 2503-2518(in Chinese with English abstract).
- HOU Zengqian, WANG Qingfei, ZHANG Haijiang, et al., 2023. Lithosphere architecture characterized by crust-mantle decoupling controls the formation of orogenic gold deposits[J]. *National Science Review*, 10(3): nwac257.
- HU Yunzhong, TANG Shangchun, WANG Haiping, et al., 1995. *Geology of gold Deposits in Ailaoshan*[M]. Beijing: Geological Publishing House: 255-269(in Chinese).
- JIAN Ping, LIU Dunyi, KRÖNER A, et al., 2009. Devonian to Permian plate tectonic cycle of the paleo-Tethys orogen in Southwest China (II): Insights from zircon ages of ophiolites, arc/back-arc assemblages and within-plate igneous rocks and generation of the Emeishan CFB province[J]. *Lithos*, 113(3-4): 767-784.
- KELLEY K D, JENSEN E P, RAMPE J S, et al., 2020. Epithermal gold deposits related to alkaline igneous rocks in the Cripple Creek district, Colorado, United States[J]. *Society of Economic Geologists, Special Publication*, 23: 355-373.
- LELOUP P H, LACASSIN R, TAPPONNIER P, et al., 1995. The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China), Tertiary transform boundary of Indochina[J]. *Tectonophysics*, 251(1/4): 3-84.
- LI Jianwei, CHENG Shenghui, SHI Yubei, 2018. *Geology of mineral resources in China, Volume of Yunnan, Copper, Molybdenum, Nickel, and Cobalt Mineral Resources*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- LUO Zhenkuan, MIAO Laicheng, GUAN Kang, 1999. Breccia-hosted Au deposit—An Au deposit type to which attention should be paid[J]. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 14(4): 15-23(in Chinese with English abstract).
- QIU Xiaoping, LIU Shichuan, WEI Mi, 2021. Fluid explosion breccia pipe and gold supernormal enrichment in Shuiyindong gold ore deposit, southwest Guizhou Province[J]. *Acta Geoscientica Sinica*, 42(6): 849-858(in Chinese with English abstract).
- REEVE J S, CROSS K C, SMITH R N, 1990. Olympic Dam copper-uranium-gold-silver deposit[C]//HUGHES F E. *Geology of the Mineral Deposits of Australia and Papua New Guinea*. Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Monograph 14: 1009-1035.
- SILLITOE R H, 1985. Ore-related breccias in volcanoplutonic arcs[J]. *Economic Geology*, 80(6): 1467-1514.
- SMITH M T, LEPORÉ W A, INCEKARAOĞLU T, et al., 2014. Kükükdag: a new, high sulfidation epithermal Au-Ag-Cu deposit at the TV Tower property in Western Turkey[J]. *Economic Geology*, 109(6): 1501-1511.
- TANG Juxing, 1995. Characteristics and study significance of gold-bearing hydrothermal cryptoexplosion breccias[J]. *Journal of Chengdu Institute of Technology*, 22(3): 59-64(in Chinese with English abstract).
- WANG Denghong, YING Hanlong, LIANG Huaying, et al., 2006. *Cenozoic continental geodynamics and large-scale mineralization in the sanjiang (nujiang, langcangjiang, and jinshanjiang) region, China*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- WANG Denghong, WANG Chenghui, WANG Yan, et al., 2024. *Geology of mineral resources in China, Volume of Gold*[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).
- XU Zhiqin, WANG Qin, LI Zhonghai, et al., 2016. Indo-Asian collision: Tectonic transition from compression to strike slip[J]. *Acta Geologica Sinica*, 90(1): 1-23(in Chinese with English abstract).
- YANG Yueqing, TIAN Nong, 1993. Types and ore-forming conditions of gold deposits in the Jinsha River-Langcang River-Nujiang river Area of China[J]. *Acta Geologica Sinica*, 67(1): 63-75(in Chinese with English abstract).
- YE Qingtong, HU Yunzhong, YANG Yueqing, et al., 1992. Regional geochemical background and gold, silver and lead-zinc mineralization in the Nujiang-Langcangjiang-Jinshajiang Area[M]. Beijing: Geological Publishing House(in Chinese).