

滇西北衙金矿矿床类型与结构模型^{*}

徐兴旺 蔡新平 张宝林 梁光河 杜世俊 王 杰

(中国科学院地质与地球物理研究所, 中国科学院矿产资源研究重点实验室, 北京 100029)

摘 要 北衙金矿区作为藏东—川滇西—滇东南喜马拉雅期富碱斑岩带的一部分, 发育有 3 期成分不同的碱性斑岩, 并经历了多期成矿作用。北衙金矿有 3 种成因不同的矿床: ①与碱性斑岩有关的铜金多金属矿, 包括与石英钠长斑岩和石英正长斑岩有关的斑岩型铜金矿床和矽卡岩型多金属矿床; ②与辉长-玄武岩浆有关的铁金矿床, 包括熔浆型铁金矿床和喷流沉积型多金属矿床, 后者又有洞穴和湖相沉积环境之分; ③古砂矿, 有古风化壳型砂矿、河湖相古砂矿和洞穴沉积古砂矿。北衙矿区复杂多样、多期叠加活动的岩浆与成矿作用, 造就了矿区大规模的成矿作用。

关键词 地质学; 矿床类型; 结构模型; 北衙金矿; 滇西

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

Genetic types and framework model of Beiya gold ore district in western Yunnan

XU XingWang, CAI XinPing, ZHANG BaoLin, LIANG GuangHe, DU ShiJun and WANG Jie

(Key Laboratory of Mineral Resources, Institute of Geology & Geophysics, CAS, Beijing 100029, China)

Abstract

The Beiya ore district, as a part of the Cenozoic alkali-rich porphyry belt in the eastern Tibet-western Yunnan-southeastern Yunnan area, possesses three types of alkaline porphyries formed at three stages, and has experienced repeated mineralization. There are three genetic types of mineral deposits in the Beiya ore district: ① Cu-Au polymetallic deposits related to alkaline porphyries, comprising porphyritic Cu-Au deposits and polymetallic skarn deposits related to quartz-albite porphyry and quartz-K-feldspar porphyry; ② Fe-Au deposits related to gabbro or basalt magma, consisting of magmatic Fe-Au deposits and sedimentary polymetallic deposits formed in caves and lakes; and ③ palaeo-placers formed at the weathering surface, in lakes and in karsts. Complex and superimposed magmatism and hydrothermal processes resulted in the formation of a superlarge gold and polymetallic ore district in the Beiya area.

Key words: geology, deposit type, framework model, Beiya gold deposit, western Yunnan

滇西北衙金矿原名为北衙铅矿, 明代万历至清朝嘉庆年间就有采铅炼银, 建国后历经 20 世纪 50 至 60 年代勘探铁矿和铅锌矿, 在红泥塘和笔架山矿段获得铅锌矿石近 393 万吨(云南省地质厅第十四地质队, 1959)。80 年代早期武警黄金十三支队

(1982~1985 年)最先在北衙地区开展金矿地质普查, 获金远景储量 1 880 kg, 并认为矿体小而分散, 无工业价值。20 世纪 80 年代后期蔡新平等(1988 年)在开展“国家紧缺矿种”攻关项目“三江金矿成矿规律及靶区优选”课题过程中进入北衙矿区, 追踪粗

^{*} 本文得到国家 973 项目(2002CB412605)与国家自然科学基金项目(40572131 和 40272090)的联合资助

第一作者简介 徐兴旺, 男, 1966 年生, 副研究员, 主要从事构造地质、矿床地质学和流体构造动力学研究。E-mail: xuxw@mail.igcas.ac.cn

收稿日期 2006-09-25; 改回日期 2007-01-13。李 岩编辑。

铅含金信息,查明了该区的主要金矿石类型——铁金矿,建立了金的成矿模型;在此基础上,蔡新平 1989 年首次向云南省黄金局和大理州政府提交了该区成矿远景的初步评价报告和开展勘探工作的建议,1990 年再次提交成果报告,提交科研预测储量(Au 68.83 t、Ag 839.28 t)和相关的选矿试验报告,并认为北衙金矿为一喜马拉雅期斑岩型复合式金矿床(蔡新平,1991;蔡新平等,1991)。在蔡新平研究成果的推动下,1992 年在北衙铅矿的基础上增建了北衙金矿。1993 年北衙铅矿投产金矿,并更名为大理金矿(亦称北衙金矿)。

鉴于北衙金矿良好的找矿潜力,云南省政府 1998 年在实施“科技兴滇”发展战略规划过程中设立了省-院、省-校合作攻关项目“云南黄金找矿战略规划和矿山增储研究”,并将北衙金矿作为重点攻关研究矿区。蔡新平等(1998~2002 年)在执行“北衙金矿成矿预测和找矿研究”课题攻关研究过程中,对矿区成矿地质背景、矿床地质特征和控矿条件等开展了系统调查与研究,在矿区系统开展了地震勘探等综合地球物理勘查,厘定了金矿床的工业类型,提交各种类型不同级别的金矿找矿靶区共 17 个,预测金矿资源量超过 120 t^{*}。同期(1998 年)云南地质三大队开始兼并北衙金矿,并开始较大规模的金矿勘查与开采。

鉴于北衙金矿区丰富的地质与成矿现象,20 世纪 90 年代以来大量科研人员到北衙金矿考察,对北衙金矿矿区斑岩的岩石类型与年龄、矿床类型、成矿特征及成矿预测等进行了讨论与研究(蔡新平,1993;蔡新平等,1991a;1991b;2002;甫为民等,1994;甫为民,1994;邓万明等,1998a;1998b;张学书,1998;刘秉光等,1999;李元等,1999;梁光河等,2000;钟昆明等,2000;崔银亮等,2001;马德云等,2001;2003;任治机等,2001;杨建民等,2001;葛良胜等,2002a;2002b;李晓勇,2002;晏建国等,2002;2003;杨世瑜等,2002;刘建云,2003;2004;王顺英,2003;张继荣等,2004)。2003 年开始实施的国家 973 项目“印度与亚洲大陆主碰撞带成矿作用”子专题“滇西喜马拉雅期碱性斑岩 Cu-Au 成矿作用”将北衙金矿区作为重点矿区,对矿区喜马拉雅期斑岩类型与成因、矿区

热水角砾岩特征及其对矿床的保护作用和矿床类型等方面开展了深入系统的研究(肖骑彬等,2003;徐兴旺等,2003;2006;Xu et al.,2007a)。

本文基于蔡新平等多年的成果积累和笔者近年所获得的新资料与分析数据,并结合北衙矿区万洞山矿段和红泥塘矿段露采过程所揭露的新现象,对北衙金矿的矿床类型进行系统总结,建立北衙金矿的结构模型,以期对在滇西地区寻找同类型矿床有借鉴作用。

1 矿区地质概况

北衙金矿区位于滇西大理古城之北约 90 km,藏东—川滇西—滇东南喜马拉雅期富碱斑岩带中段滇西地区、金沙江缝合带东侧及扬子板块西缘(图 1a)。金沙江缝合带是古特提斯金沙江大洋俯冲消减带,也是三叠纪扬子板块与羌塘—兰坪—思茅地块间的碰撞对接带,该缝合带在喜马拉雅期印度大陆与欧亚大陆俯冲碰撞过程中活化并叠加形成一系列逆冲推覆构造与走滑断裂。

滇西地区喜马拉雅期富碱斑岩岩石类型多样,有花岗斑岩(如马厂箐斑岩体)、二长斑岩(如巍山和小桥头斑岩体)、正长斑岩(如六合斑岩体)、霞石正长岩和碱性辉石岩(见于永平杂岩体中)和霞石辉长岩(大荒田岩体),岩体的形成年龄为 23~62 Ma(曾普胜等,2002)。其中部分斑岩伴生有 Cu-Au 多金属成矿作用,典型矿床除北衙金矿外有马厂箐 Cu-Mo-Au 矿床(葛良胜等,2002)、马头湾 Cu 矿床、姚安老街子 Pb-Zn 矿床和明珠 Au 矿床(毕献武等,2001)、宝丰寺 Pb-Zn 矿床、巍山扎村 Au 矿床(王勇等,2003)、中甸甬哥 Au 矿床(杨岳清等,2002)、宁蒗萝卜地 Cu-Au 矿床(胡受权等,1998)、盐源西饭坪 Cu-Au 矿床(徐士进等,1997)、金丝厂 Cu-Au 多金属矿和弥渡黄厂 Pb-Zn-Fe-Mn 矿等。

北衙金矿区位于南无山复式背斜东翼北衙 NNE 向次级向斜构造,在向斜核部叠加发育了新生代盆地构造。矿区地表出露的沉积建造除第四系外,有晚古生代二叠系峨眉山玄武岩、三叠系下统砂岩和三叠系中统北衙组灰岩,及第三系河湖相沉积

* 此资源量未包括隐伏斑岩型 Cu-Au 矿的资源量。另外,云南地矿资源股份有限公司北衙分公司对万洞山一带的勘探结果在埋深 500 m 以上已获金资源量 60 t,这与“北衙金矿成矿预测和找矿研究”课题的预测结果吻合。

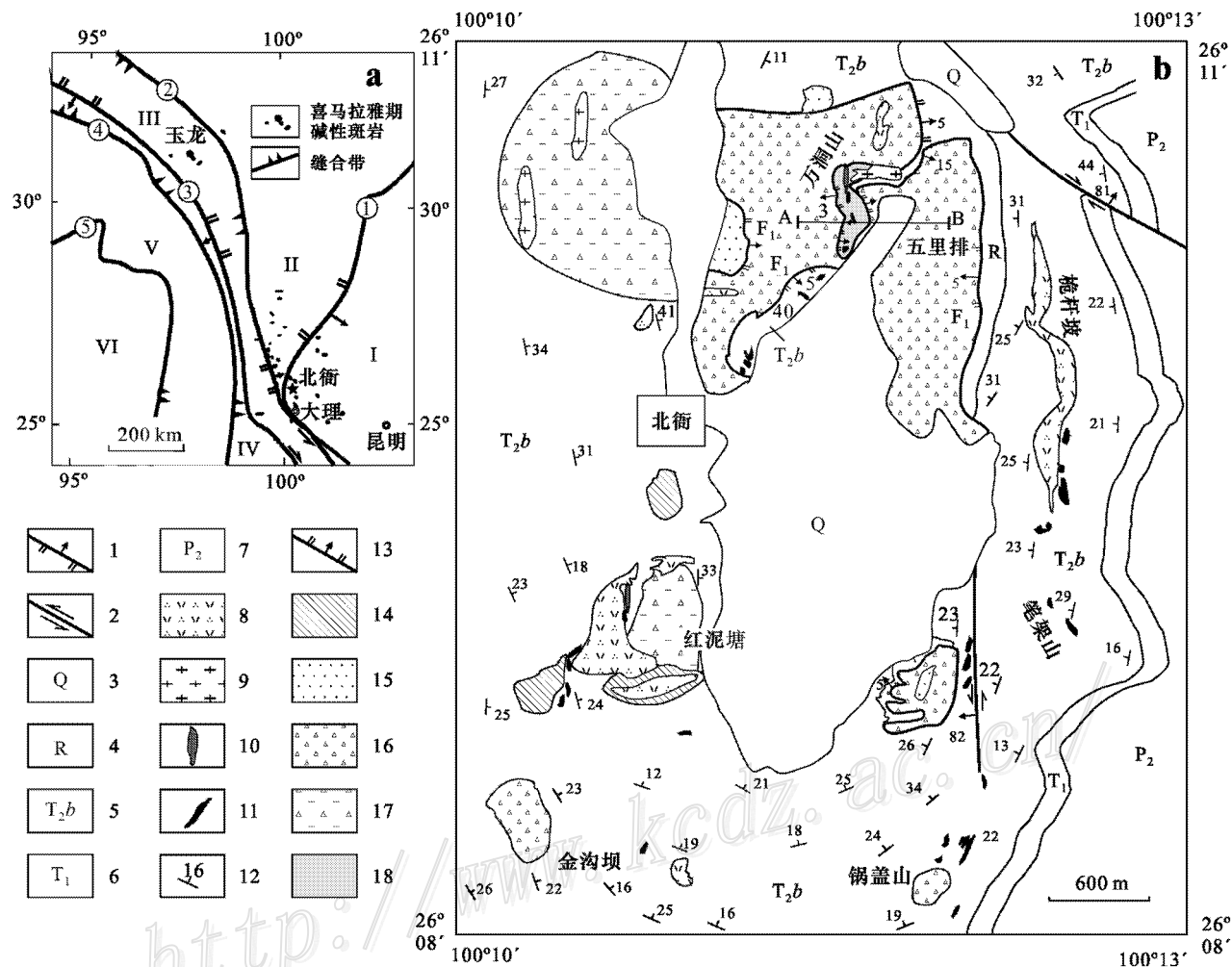


图 1 滇西北銜区域构造背景 (a) 和矿区地质图 (b)

①龙门山断裂 ②金沙江缝合带 ③澜沧江缝合带 ④怒江缝合带 ⑤雅江缝合带。I—扬子板块；II—松潘-甘孜地块；III—羌北-思茅地块；IV—羌南-保山地块；V—冈底斯-腾冲地块；VI—印度板块。1—逆冲断裂(推覆构造) 2—走滑断裂 3—第四系 4—第三系 5—中三叠统北衙组灰岩 6—下三叠统砂岩 7—二叠系玄武岩 8—石英正长斑岩 9—黑云正长斑岩 10—煌斑岩脉 11—铁矿体 12—地层产状 13—滑覆断层 14—岩溶灰岩角砾岩 15—热水爆破沉积成因的灰岩碎粒岩 16—热水灰岩角砾岩 17—隐爆角砾岩筒 18—糖粒状灰岩。线段 AB 示

图 2a 剖面 AB 位置

Fig. 1 Tectonic setting (a) and geological map (b) of Beiya area, western Yunnan

①Longmenshan thrust fault; ②Jinshajiang suture; ③Langchangjiang suture; ④Nujiang suture; ⑤Yarlungzangbojiang suture. I—Yangtze plate; II—Songpan-Ganzi block; III—Qianbei-Simao block; IV—Qiangnan-Baoshan block; V—Gangdese-Tengchong block; VI—Indian plate. 1—Thrust fault; 2—Strike-slip fault; 3—Quaternary sediments; 4—Tertiary lacustrine sediments; 5—Middle Triassic limestone (Beiya Formation); 6—Lower Triassic sandstone; 7—Upper Permian basalt; 8—Quartz-K-feldspar porphyry; 9—Biotite-K-feldspar porphyry; 10—Lamprophyre vein; 11—Gold-bearing iron ore body; 12—Attitude of bedding; 13—Detachment fault; 14—Karst collapsed breccia; 15—Hydrothermal explosive deposit; 16—Hydrothermal breccia; 17—Hydrothermal breccia pipe; 18—Yellow saccharoidal limestone. Line AB shows location of geological section of Fig. 2a

岩和热水角砾岩(图 1b)。其中北衙组灰岩可分 5 段,底部为浅褐色角砾状碎屑灰岩夹网纹状厚层灰岩,下部为浅灰色蠕虫状灰岩夹薄层泥质条带及泥灰岩,中部为浅灰色厚层状生物碎屑微晶灰岩,上部为灰黑色中厚层重结晶铁化灰岩,顶部为角砾状白云质灰岩和含砂屑白云质灰岩,地层厚 320~550 m。

第三系河湖相沉积岩由下部的砾岩和上部的泥岩与含铁矿角砾泥岩组成,沉积层理构造清楚(图 2a、图 2b)。岩石呈半固结状态,锅厂河一带的砾岩中含有大量石英正长斑岩的砾石。热水角砾岩是一套以北衙组灰岩为母岩的热水角砾岩系,类型多样;万洞山—五里排一带叠覆于北衙组灰岩和第三系河湖相沉

积之上的席状热水角砾岩为源于陈家庄热水隐爆角砾岩筒的热水角砾岩滑体(徐兴旺等,2003)。矿区内断裂构造除角砾岩滑覆构造外,还发育大量挤压走滑与逆冲断裂。万洞山大采坑新揭露了一组 NS 向低角度从西往东逆冲推覆的断裂系,断层上盘北衙组糖粒状灰岩与含金铁矿体逆冲叠覆于第三系河湖相含矿沉积与古风化壳之上(图 2c)。红泥塘岩体东接触带也发育强烈的挤压滑动与剪切构造。

矿区喜马拉雅期富碱斑岩发育。按岩石成分与矿物组成为钠长斑岩、石英正长斑岩、黑云正长斑岩和云煌岩;从形成时间上看,矿区的斑岩有 3 期:

早期的钠长斑岩和云煌岩、中期的石英正长斑岩和晚期的黑云正长斑岩。其中钠长斑岩钠长石的年龄为 65.56 Ma,石英正长斑岩的年龄介于 25~33 Ma 之间,黑云正长斑岩的形成和侵位年龄非常小,两个岩体黑云母的年龄分别为 3.66 Ma 和 3.78 Ma;矿区煌斑岩也是多期的,早期 2 条煌斑岩脉的年龄分别为 59.44 Ma 和 60.85 Ma,与石英正长斑岩共生的煌斑岩的年龄介于 27~33 Ma 之间(徐兴旺等,2006)。黑云正长斑岩侵位于河湖相砂砾岩和粘土岩中,并形成丰富多样的构造成因混积岩(Xu et al., 2007b)。

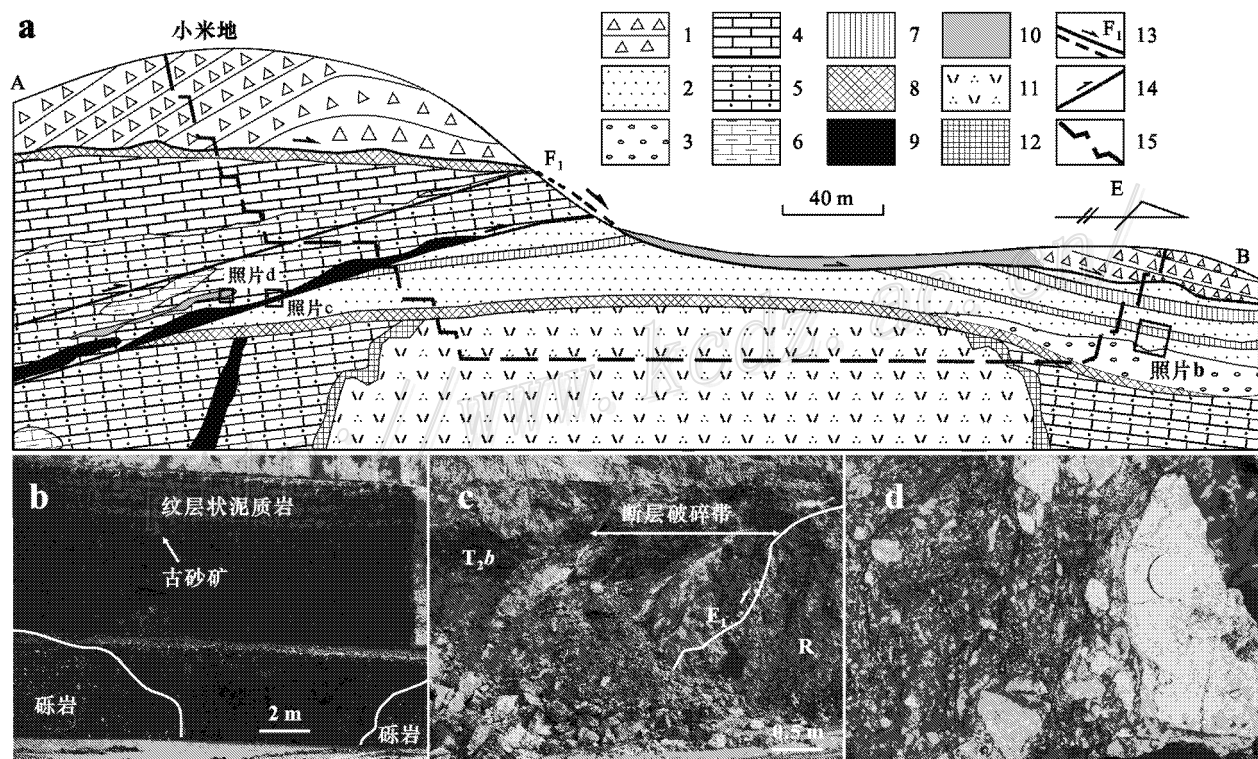


图 2 万洞山采坑剖面 AB(a)与局部地质现象照片(b,c 和 d)

图 a 为万洞山采坑东西向剖面,剖面位置见图 1。照片 b 示河湖相沉积体的内部结构,照片 c 示糖粒状灰岩与河湖相沉积泥质岩间的逆冲断层构造,照片 d 示微细粒黄铁矿赤铁矿胶结的隐爆角砾岩,角砾为新鲜的白云质灰岩。1—第三系(R)热水角砾岩;2—第三系(R)河湖相泥质岩与粉砂岩;3—第三系(R)河湖相砾岩;4—中三叠统北衙组(T_2b)灰黑色灰岩;5—中三叠统北衙组(T_2b)黄色糖粒状灰岩;6—中三叠统北衙组(T_2b)青灰色含硫化物细脉的灰岩;7—河湖相古砂金矿体;8—古风化壳型砂金矿;9—铁矿体;10—微细粒黄铁矿赤铁矿胶结的隐爆角砾岩;11—石英正长斑岩;12—矽卡岩型矿体;13—实测及推测滑覆断层;14—逆冲推覆断裂;15—剥离区

Fig. 2 Geological profile AB crossing Wangdongshan open pit(a) and three local geological photographs(b, c and d). Location of profile AB shown in Figure 1. Image b showing Tertiary lacustrine sedimentary rocks, image c showing thrust fault between yellow saccharoidal limestone of Beiya Formation and Tertiary lacustrine sediments, image d showing explosive breccia cemented by fine pyrite-bearing hematite. 1—Tertiary hydrothermal breccia; 2—Tertiary lacustrine pelite and fine sandstone; 3—Tertiary lacustrine conglomerate; 4—Black limestone of Beiya Formation(T_2b); 5—Yellow saccharoidal limestone(T_2b); 6—Gray fine sulfide veins-bearing limestone(T_2b); 7—Lacustrine placer; 8—Paleo-weathering Fe-Au ore body; 9—Iron ore body; 10—Explosive breccia cemented by fine pyrite and hematite; 11—Quartz-K-feldspar porphyry; 12—Skarn-type ore body; 13—Measured and inferred detachment fault; 14—Thrust fault; 15—Removal area

2 北衙金矿的成因类型

北衙金矿矿床类型多样,从成因上看,可分为 3 大类,即与碱性斑岩有关的金矿、与铁质热液或铁矿浆有关的金矿及表生成因金矿。

2.1 与碱性斑岩有关的金矿床

北衙金矿与碱性斑岩有关的金矿体,从产出部位与矿石的结构构造分,有产于接触带的矽卡岩型矿体、产于内接触带和岩体中的浸染状和细脉浸染状矿体及产于外接触带灰岩中的硫化物细脉状矿体。成矿岩体为石英钠长斑岩和石英正长斑岩。

石英钠长斑岩及其伴生的斑岩型 Cu-Au 矿是徐兴旺等 1999 年在观察和研究云南有色 310 地质队在万洞山矿段施工的几个较深钻孔岩芯的过程中发现的(徐兴旺等,2006)。该含矿岩体已被强烈钾化,

钠长石斑晶与石英多金属硫化物细脉被钾长石所交代(徐兴旺等,2006)。矿石类型有细脉状、细脉浸染状和单一浸染状矿石。细脉厚 0.5~5 cm(图 3a),主要由石英、黄铁矿、黄铜矿、斑铜矿和辉铜矿构成(图 3b)。一般含铜 0.1%~0.5%,高达 4%,含金 0.03~3.3 g/t,Pb、Zn 含量不高,一般低于 1%。矿体厚几米到几十米。浸染状矿石石英中流体包裹体为含石盐子晶的多相流体包裹体(图 3c),流体包裹体总盐度高, $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 一般 34.5%~44.0%;其中石盐子晶粒度大,体积百分含量可达 45%;与多金属硫化物细脉有关的流体包裹体出现不同类型包裹体共生的现象(图 3d),意味着流体的沸腾作用;从下至上流体包裹体的含盐度具减低的特征,表明成矿过程中有浅层地下水的加入。流体包裹体均一温度为 320~430℃。黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值为 -2.4‰~4.5‰,均值 0.22‰。

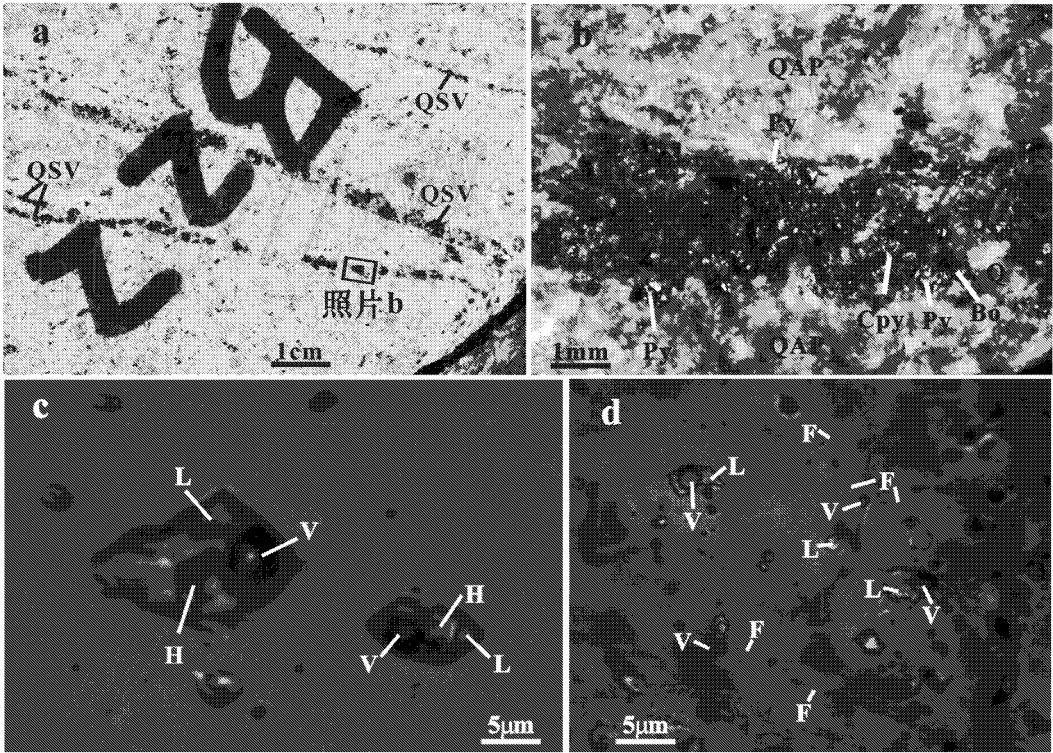


图 3 石英硫化物细脉(a与b)及其中的流体包裹体(c与d)

Bo—斑铜矿 Cpy—黄铜矿 F—微破裂 H—石盐子晶 L—液相 Py—黄铁矿 Q—石英 QSV—石英硫化物脉;
V—气相 QAP—石英正长斑岩

Fig. 3 (a) and (b): Photographs showing veinlets of porphyry Cu-Au ores, Beiya district. The inset in (a) corresponds to photograph (b). (c) and (d): Three-phase fluid inclusions (c) and vapour-rich and liquid-rich fluid inclusions (d) in quartz from a mineralized veinlet

Bo—Bornite; Cpy—Chalcopyrite; F—Microfracture; H—Halite; L—Liquid; Py—Pyrite; Q—Quartz; QAP—Quartz-albite porphyry;
V—Vapour; QSV—Quartz-sulfide vein

北衙矿区矽卡岩型金矿按矿石的矿物组合,可分为红泥塘和万洞山 2 种不同的类型。在红泥塘西矿段,斑岩与灰岩接触带中发育的矽卡岩为透辉石矽卡岩,伴生的金属矿物为磁铁矿,矿体产状受接触带产状和围岩中次级褶皱构造控制,主要受背斜或向斜构造的层间滑脱空间和边缘张性断裂的联合控制(蔡新平等,1991,1993)。在万洞山小米地隐伏斑岩的西接触带,钻探结果显示矽卡岩类型为石榴石矽卡岩,累计视厚度逾 80 m,伴生的金属矿物为黄铜矿和黄铁矿等硫化物。矽卡岩型磁铁矿体含金较低,一般 0.21~2.16 g/t,平均 0.67 g/t,而石榴石硫化物矿体为 Cu-Au 矿体,Cu 品位 0.2%~1.1%,Au 品位 0.5%~3.6 g/t^①。

含褐铁矿脉的糖粒状蚀变灰岩是北衙金矿区重要的金矿类型,其以发育褐铁矿细脉和呈黄色糖粒

状为特征(图 4a)。此类矿体规模大但品位相对较低,含金一般 0.3~0.5 g/t,地表局部采样含金可达 3~6 g/t,主要发育于万洞山斑岩的上部。新近对万洞山大采坑的考察发现,这些褐铁矿的原生矿物为黄铁矿,即万洞山隐伏斑岩外接触带灰岩中发育黄铁矿细脉(图 4b);黄色糖粒状灰岩与原生的含黄铁矿细脉的青灰色灰岩的界线截然并呈不规则港湾状(图 4c),青灰色灰岩中黄铁矿细脉进入黄色糖粒状灰岩即为褐铁矿细脉(图 4d),这表明黄色糖粒状灰岩及其中褐铁矿细脉的成因可能与热水蚀变有关,而不是氧化的结果。含黄铁矿细脉青灰色灰岩出露的标高为 1 815 m,其埋深约 50 m,因此若以硫化物的保存作为氧化带底界的话,可以推断北衙矿区的氧化深度可能小于 50 m,而不是矿山地质工程师认为的 200 m,万洞山矿段深部部分矿体的褐铁矿化可

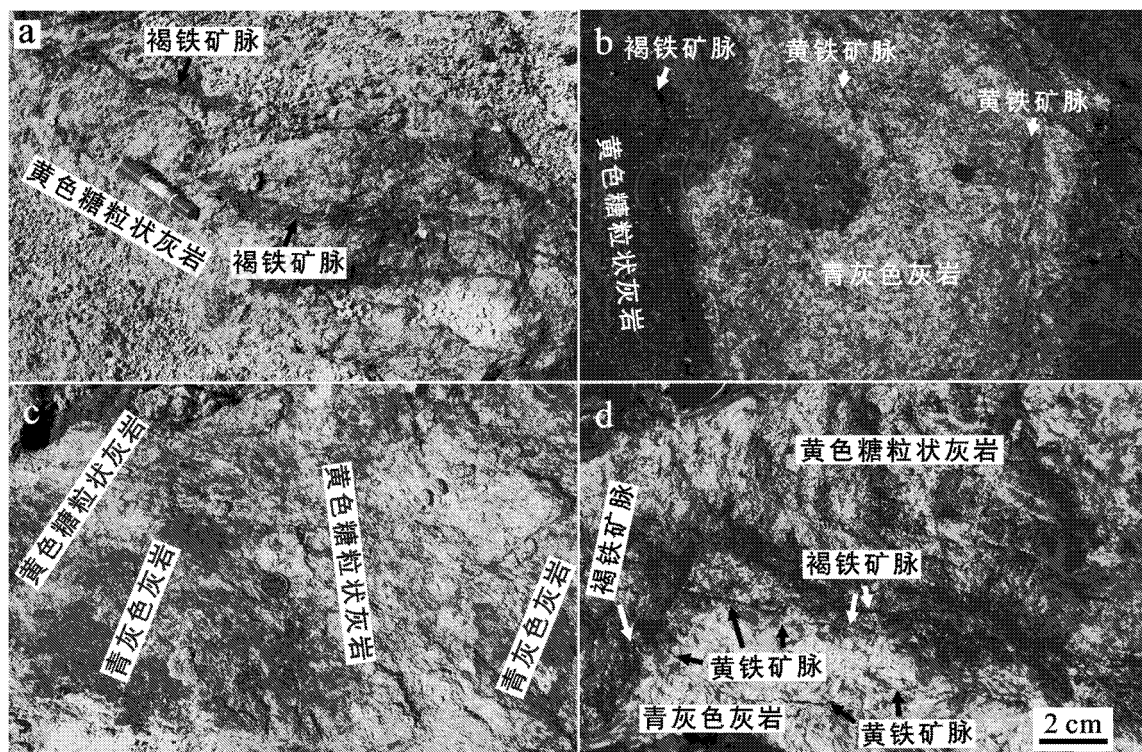


图 4 蚀变的含褐铁矿脉黄色糖粒状灰岩与原生的含黄铁矿脉的青灰色灰岩

a. 黄色糖粒状灰岩中的褐铁矿脉;b. 含褐铁矿脉的黄色糖粒状灰岩与含黄铁矿脉青灰色灰岩的接触关系;c. 黄色糖粒状灰岩与青灰色灰岩的接触关系;d. 青灰色灰岩中的黄铁矿脉在黄色糖粒状灰岩中为褐铁矿脉

Fig. 4 Relationship between altered limonite veinlet bearing yellow saccharoidal limestone and primary pyrite veinlet-bearing gray limestone

a. Limonite veinlets in yellow saccharoidal limestone;b. Limonite veinlets in yellow saccharoidal limestone and pyrite veinlets in gray limestone;c. Contact between yellow saccharoidal limestone and gray limestone;d. Pyrite veinlets altered into limonite veinlets during the alteration of their host gray limestone into yellow saccharoidal limestone

① 据云南地矿资源股份有限公司北衙分公司刘宝林和苏钢生提供的资料。

能与后期强烈的热水蚀变有关。

2.2 与铁质热液或铁矿浆有关的金矿床

北衙矿区有大量铁矿产出,有的发育于斑岩体的接触带中并与矽卡岩伴生,为矽卡岩型铁矿,而有相当一部分铁矿远离岩体分布,沿构造裂隙或岩溶洞穴充填,过去多认为是热液型铁矿(蔡新平,1993),但热液的性质与成因一直不清楚。

新的研究结果发现一些热液型铁矿具熔浆型铁矿的结构构造和接触关系,主要包括:

(1) 呈不规则脉状穿插分布于不同岩性地层中,并含有围岩的残留体(Xu et al., 2007)。一些规模较大的矿体(如万洞山矿段厚达10余米致密块状的50[#]赤铁矿矿体)多由一系列板状和透镜状矿体组成(图5a),小矿体呈完整的块状构造,内部破裂等变形构造不发育,相邻小矿体间的界面为构造滑动面,据此推测这些小矿体可能是脉动强力侵位的。

(2) 鸡鸣寺和铅矿厂一带一些充填于洞穴中的铁矿,其与洞壁间发育有擦面和擦沟构造,一些分布于铁矿与洞壁间的粘土(洞穴沉积物)已强烈地片理化并伴生有密集的擦线构造。这些擦面和擦沟构造仅发育于铁矿体的接触带,这意味着铁矿体与洞壁间曾有差异性剪切运动,进一步说明部分铁矿是强力侵位的。

(3) 部分赤铁矿矿体中发育柱状节理构造,其截面形态呈不规则四边形和五边形(图5b);

(4) 部分赤铁矿矿体中发育气孔构造和杏仁体构造(图5c、图5d、图5e)。笔者在万洞山发现一内部发育有环状气孔构造带的方柱状矿石(图5d),矿石外圈呈块状结构,这种气孔构造的形成可能与包含气的铁矿浆旋转上升有关。杏仁体中矿物主要为阳起石和方解石(图5e)。

(5) 在赤铁矿体中发现硅酸盐岩浆残留体。笔者在铅矿厂之南的一赤铁矿体中发现微-隐晶质辉长岩角砾(图5f),其由透辉石微晶(8~10 μm)和隐晶质斜长石组成,角砾外边界呈不规则港湾状,辉长岩角砾与周边赤铁矿体界线截然,角砾内部含有赤铁矿的微粒,这些特征说明微-隐晶质辉长岩角砾可能是与赤铁矿矿浆共生的辉长岩质岩浆的残留体。另外,笔架山一赤铁矿体中的微-细晶质橄榄石、透辉石角闪石集合体(图5c)可能也富铁镁质组分的硅酸盐岩浆残留体。

(6) 有的富含气孔构造的赤铁矿体,具斑状构造,竹叶状赤铁矿、他形黄铁矿和气孔呈斑状分布于

隐晶质赤铁矿中(图5g)。

(7) 一些块状矿石具褶曲状流动构造(图6a)。在万洞山还发现块状赤铁矿体中的黄铁矿定向排列并构成旋卷和流动构造(图6b、图6c),这说明成矿流体是曾发生流动的且较稠密的流体。

(8) 有的铁矿体与灰岩之间发育厚数厘米至50 cm不等的带状隐爆角砾岩(图6d),大理岩化边(图6e)或烘烤边(图6g)。隐爆角砾岩的形成通常与岩浆体边部逸出小气泡的爆破有关(Llambias et al., 1969; Norton et al., 1973; Norman et al., 1985; Sillitoe, 1985; Mader et al., 1994; 徐兴旺等, 2000; 2001),这意味着形成这些铁矿的流体可能也是岩浆流体(铁矿浆)。在铅矿厂附近一铁矿边部的灰岩发生强烈的大理岩化,并形成赤铁矿-大理岩的混积岩(图6e),混积岩中的赤铁矿角砾还发育去气作用形成的气泡构造(图6f),这说明该矿体对应的矿浆侵位时温度较高、且富气。万洞山采坑48[#]铁矿体上部发育隐爆角砾岩,其胶结物为粉末状铁锰质氧化物,并含星点状微细粒黄铁矿(图2d),这可能意味着48[#]铁矿体的原生矿为图5b所示的含黄铁矿的赤铁矿体。红泥塘一铁矿体接触带灰岩中还发育有铁矿熔浆侵位和与烘烤有关的热破裂(图6h)。

上述特征说明这些铁矿是岩浆成因、为熔浆型铁矿,其形成与辉长岩质岩浆(玄武岩浆)有关。此类铁矿含金较好,品位0.05~208 g/t,是目前北衙金矿主要采矿对象之一。

另外,笔者在北衙矿区还发现一些与铁矿浆或铁质流体有关,形成于洞穴中,具喷流沉积特征的铁矿。其矿石类型有3种:层状-块状-鲕状矿石(图7a)、纹层状矿石(图7b)和海绵骨架状矿石(图7c)。

层状-块状-鲕状铁矿体与围岩间界线截然,没有熔浆型铁矿周边所发育的结构构造。矿体从成分上看,有赤铁矿矿体和黄铁矿矿体。矿石内部鲕状结构发育(图7d、图7e),鲕粒粒间有较多的孔隙。磁黄铁矿细脉沿孔隙或鲕粒裂隙充填的特征说明铁质流体沉淀和结晶时流体的温度较高。

海绵骨架状铁矿体主要由褐铁矿构成,其下部通常有脉状铁矿与其相连(图7c),可能为流体通道。

纹层状矿石由薄层褐色褐铁矿与红色粘土构成,互层状产出(图7b)。通道相附近薄层褐铁矿体呈不规则流动状、陡立的“ γ ”字形分布(图7f);而离开通道相不远后,薄层褐铁矿体和红色粘土层近水平状产出,褐铁矿矿体层局部有穿切和插入红色粘

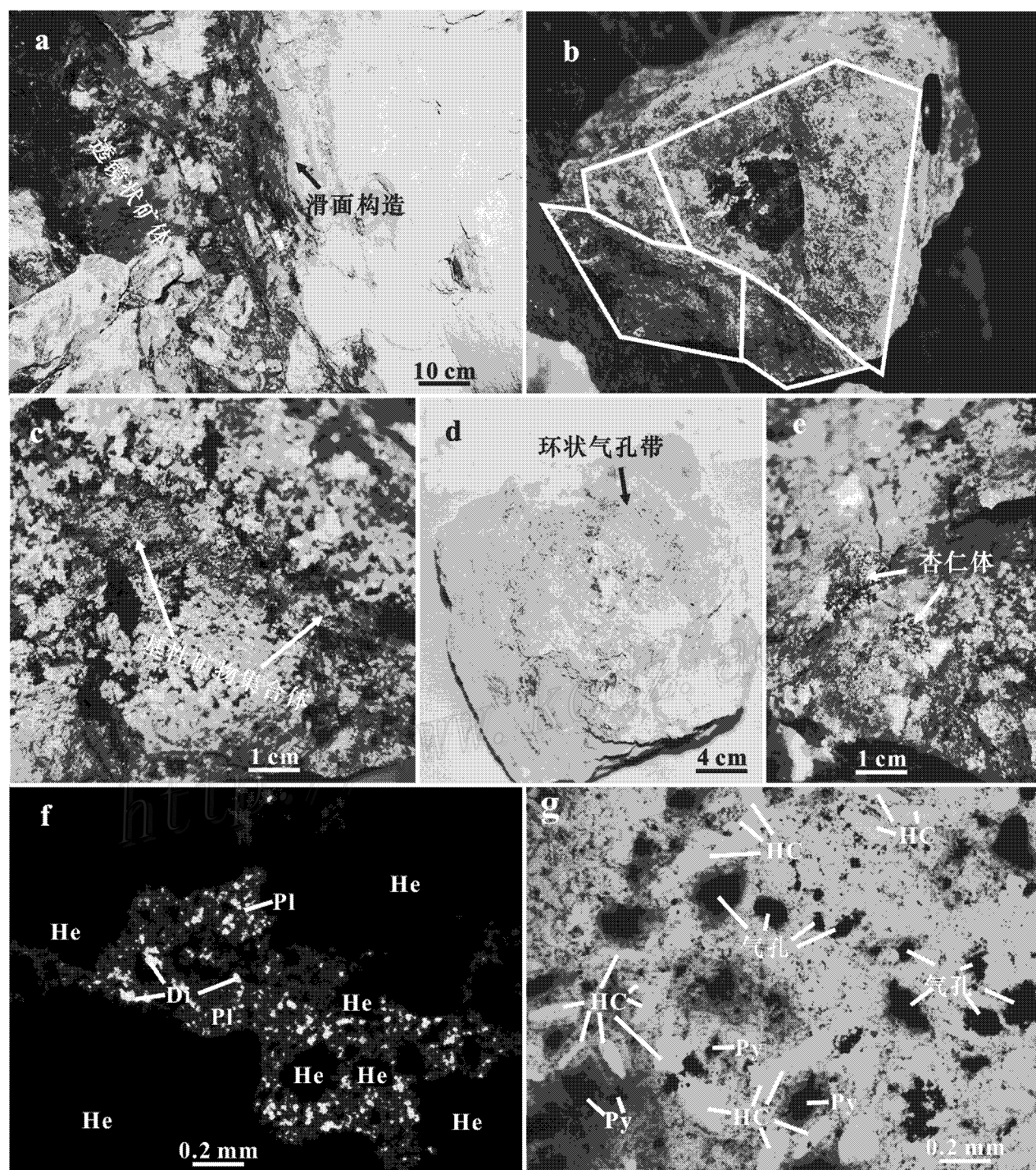


图 5 熔浆型铁矿产状、组成与结构、构造照片

a. 万洞山 50[#] 赤铁矿体由一系列近直立的板状和透镜状小矿体组成, 小矿体间滑面构造发育; b. 铁矿石的柱状节理构造, 笔架山; c. 气孔构造发育、含基性矿物集合体的赤铁矿石; d. 内部发育环状气孔带的赤铁矿石; e. 发育由放射状阳起石和方解石组成的杏仁体的赤铁矿; f. 赤铁矿体中的隐-微晶质辉岩残留体; g. 隐晶质赤铁矿体中的片状赤铁矿晶体 (HC), 矿石中气孔构造发育, 并含有他形黄铁矿。

Di—透辉石, He—赤铁矿, Pl—斜长石, Py—黄铁矿

Fig. 5 Photographs showing attitude, composition, structures and textures of magma type iron ore body

a. No. 50 hematite ore body consisting of a series of small platy and lens-like ore bodies, with frequent existence of a sliding plane between two adjacent small ore bodies; b. Hematite ore with columnar joints in Bijiashan; c. Vesicular structures and two breccias consisting of green mafic microcline minerals composed of olivine, diopside and amphibole, in an ore specimen; d. Circular vesicular zones within an ore body; e. Amygdaloidal bodies consisting of radial actinolite and calcite; f. Some relicts of micro-cryptocrystalline gabbro in hematite ore; g. Bamboo-leaf like hematite crystal (HC), vesicular structures and allotriomorphic pyrite in aphanitic hematite ore. Di—Diopside; He—hematite; Pl—Plagioclase; Py—Pyrite

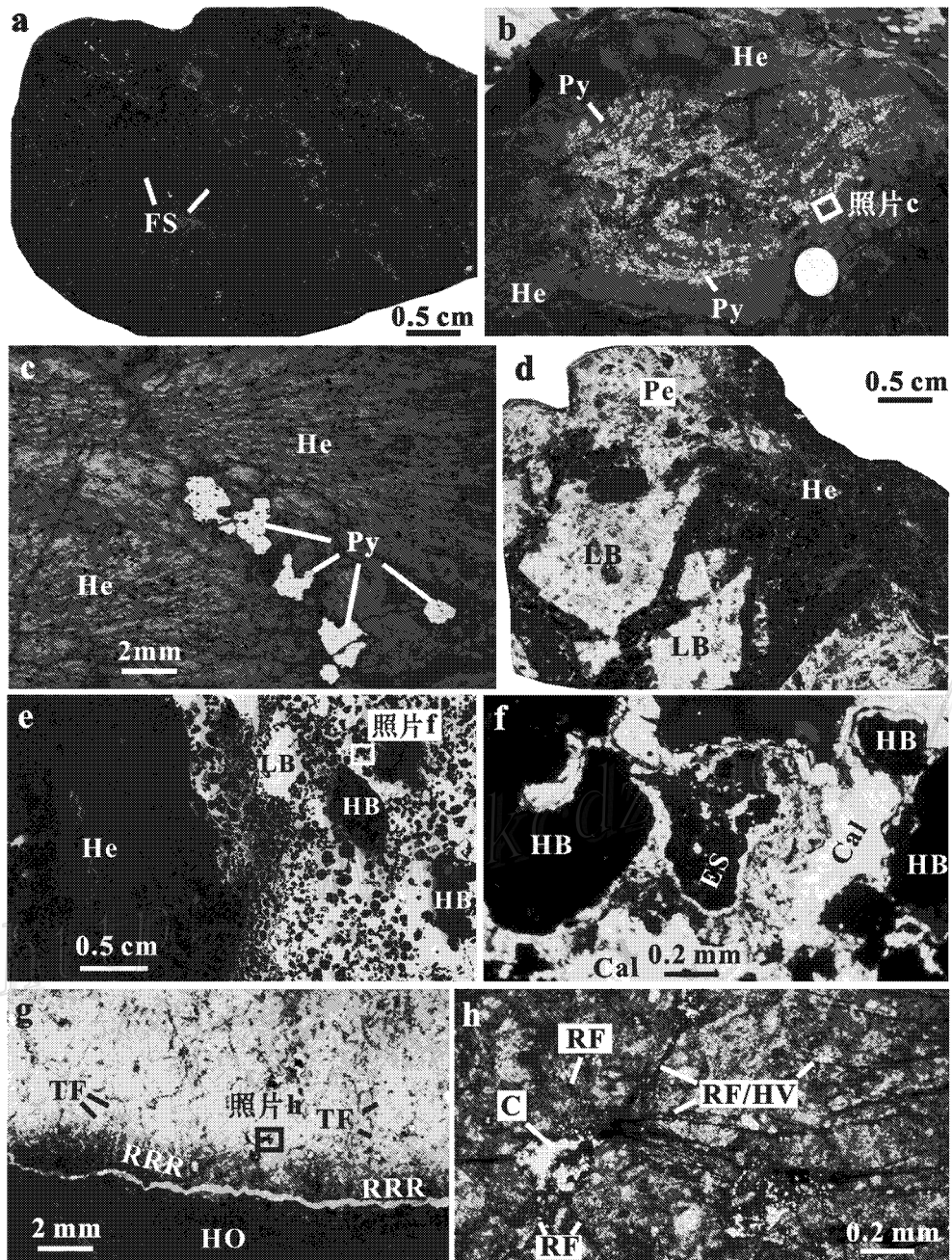


图 6 熔浆型铁矿石的变形构造

a. 赤铁矿矿石中的流动构造(FS); b. 由先结晶的黄铁矿(Py)定向排列而显示的赤铁矿体(He)的流动构造, 摄于万洞山, 照片中硬币直径为 2 cm, 照片中黑框示照片 c 的位置; c. 叶片状赤铁矿定向排列并显示岩浆的流动; d. 由赤铁矿胶结的灰岩隐爆角砾岩(LB), 在照片的上部赤铁矿岩浆注入灰岩并形成混积岩(Pe)脉, 薄片 B32-1, 笔架山; e 和 f. 由赤铁矿角砾(HB)与灰岩角砾(LB)混合所形成的混积岩, 照片 f 还显示赤铁矿角砾的二次去气作用, 混积岩中的方解石(Cal)重结晶成片状; g. 赤铁矿体(HO)接触带灰岩中的烘烤边(RRR)与热破裂(TF)和爆破型破裂; h. 由一个核(C)和放射状破裂系(RF)组成的爆破型破裂, 一些放射状破裂呈“V”形并被赤铁矿质流体充填(HV)

Fig. 6 Photographs showing deformational structures of magma type iron ores (after Xu et al. 2007a)

a. Flow structures (FS) of hematite (He); b. Early crystallized pyrites (Py) in a flow structure in hematite (He) orebody from Wangdongshan. The coin is 2 cm in diameter; the black square shows the location of photograph c; c. Bladed hematite (He) occurring in early-crystallized pyrite (Py) and oriented along the flow plane of hematite (He) magma; d. Explosive limestone breccia (LB), cemented by hematite (He). In the upper part of the framework, hematite magmas were injected into limestone and formed peperite (Pe) veinlets (section B32-1, Bijiaoshan). e. Hematite (He) and associated explosive breccia in Figure d, formed by mixing of hematitic breccia (HB) and limestone breccia (LB). f. Enlargement of hematite breccia in Figure (e). A structure (ES) consists of hematite breccia (HB), limestone microclastic rock (Cal) and pore space, indicating a secondary explosion of vapour-rich fluid from a hematite magma injected into limestone. Note the calcite was recrystallized into bladed shape. g. A red 'roasted' rim (RRR) occurring between hematite ore (HO) and limestone with abundant thermal fractures (TF) and explosive fractures in adjacent limestone, black square shows location of (h). h. Enlargement of an explosive fracture system with a core (C) and radial fractures (RF). Some radial fractures are filled with escaping hematite-rich fluids and form V-shaped hematite vein (HV)

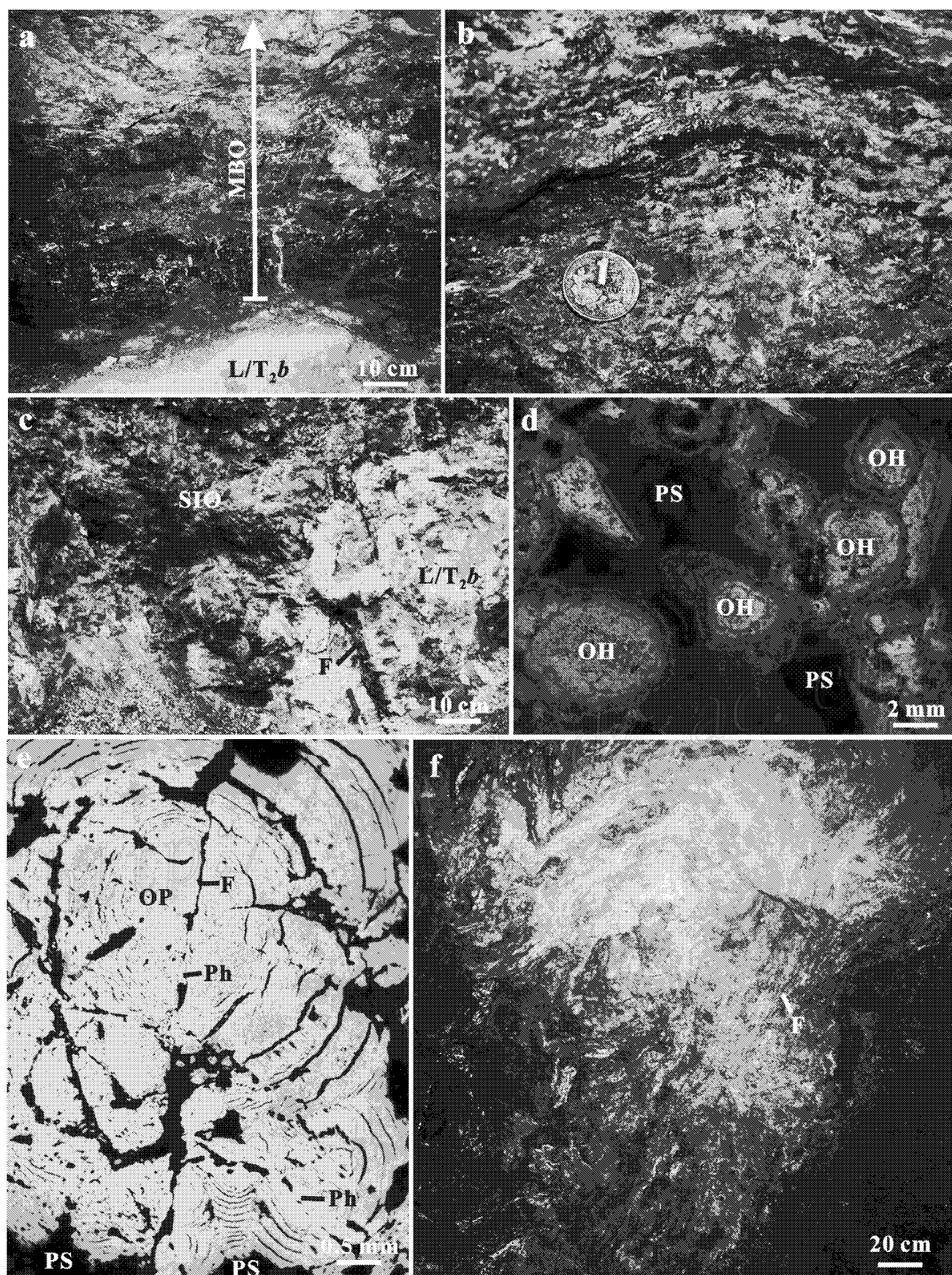


图 7 北衙金矿喷流沉积矿体(石)的野外和显微照片

a. 笔架山一洞穴中的块状-层状矿体(MBO), L/T_2b 为北衙组灰岩; b. 笔架山一洞穴中的纹层状矿体; c. 万洞山的海绵骨架结构的矿体(SIO), 矿体下部近直立的脉体(F)可能为流体补充的通道, L/T_2b 为北衙组灰岩; d. 鲕状赤铁矿(OH), 鲕状赤铁矿间为空洞(PS); e. 鲕状黄铁矿(OP), 一些磁黄铁矿(Ph)沿裂隙分布并穿切鲕粒; f. 纹层状矿体的形态及其邻近的补给通道(F)

Fig. 7 Photographs showing distribution and micro-textures of polymetallic sedimentary deposits in cave (after Xu et al., 2007a)
a. Massive bedded ore (MBO) in a cave of Bijiaoshan. L/T_2b : Limestone of Beiya Formation; b. Laminar ore in a cave of Bijiaoshan; c. Sponge Fe ore (SIO) in Wangdongshan. L/T_2b : Limestone of Beiya Formation; d. Oolitic hematite (OH) consisting of hematite with pore space (PS); e. Oolitic pyrite (OP) with some pore space among oopellets. Pyrrhotite (Ph) occurring in fractures that cut oopellets; f. Shape of laminar ore and adjacent feeder (F)

土中的现象(图 7b)。

这 3 种类型不同的矿石的沉积环境可能有所不同。形成鲕状矿体的洞穴较深,并处于相对封闭的还原环境;形成海绵骨架状矿体的洞穴相对较浅,而纹层状矿体则形成于浅部含沉积物的洞穴中。北衙矿区以洞穴为主要成矿空间的喷流沉积成矿的形成,与研究区北衙组灰岩中岩溶发育的背景有关。

同矿区与斑岩有关的 Cu-Au 矿相比,熔浆型铁矿和喷流沉积铁矿具有一个共同的特异性地球化学特征,即具较低的 Co/Ni 比值和 La/Yb 比值,其在 Co/Ni-La/Yb 图解中独立分布于低 Co/Ni 值与 La/Yb 值的区域,这也显示矿区熔浆型铁矿和喷流沉积铁矿的成因与斑岩不同,并可能与基性-超基性岩有关(Xu et al., 2007)。

2.3 表生金矿床

北衙地区的表生成矿作用很发育,从形成时间和沉积环境分,有 4 种亚类:古风化壳型砂矿、古掩埋喀斯特洞穴堆积型砂矿、河湖相沉积成因古砂矿和现代残坡积砂矿。

古风化壳型砂矿指沿古风化壳发育,由富含褐铁矿角砾残坡积物构成的矿体,厚 20 cm 到 2 m,因分布于热水角砾岩滑体之下(图 8a)和河湖相沉积之下(图 8b)而得到保存。风化壳的成分主要为坡积、原地或半原地堆积形成的砾岩,砾石成分有灰岩角砾、褐铁矿角砾,以褐铁矿角砾居多;胶结物为含铁质的泥和粘土;金主要赋存在褐铁矿角砾中。矿石 w_{Au} 0.76~3.0 g/t,平均 1.32 g/t。

古掩埋喀斯特洞穴堆积型砂矿指充填于喀斯特或掩埋喀斯特中的砂矿。矿体的形态取决于洞穴的形态(图 8c),矿体内可发育产状稳定的沉积层理构造(图 8d)。浅部的掩埋喀斯特充填金矿体已被大量开采,矿体形态十分复杂,常常含富矿囊。喀斯特洞穴堆积古砂矿的规模可以很大。如笔架山深部开采的一个矿体,为典型的掩埋喀斯特洞穴堆积的古砂矿,矿体(洞穴)直径大于 40 m,高大于 50 m,其含矿砂泥呈黄褐色,据采矿的民工介绍,矿体金品位介于 2.0~5.0 g/t 之间。

河湖相沉积成因古砂矿指发育于北衙盆地第三系河湖相沉积中的砂矿。笔者较早的时候(1998 年)根据锅厂河剖面热水角砾岩之下发育河湖相砾岩和泥质岩的现象就推断北衙盆地存在河湖相沉积并发育河湖相古砂矿(肖漪彬等, 2003)。从万洞山大采坑所揭示的剖面看,古砂矿发育于河湖相沉积的中

上部,至少有 2 个含矿层位:下部层厚 0.81 m,上部层厚 5~15 cm,含矿层以富含大量褐铁矿为特征(图 8e、图 8f)。当铁矿角砾细小时矿层总体呈黑色,但当铁矿角砾颗粒较大(如图 8e)时,胶结物仍为红色粘土。矿体的含金程度与铁矿角砾的含量密切相关,铁矿角砾多者含矿性较好。对五里排、锅厂河等地古砂矿的分析结果表明,古砂金矿的品位在 0.1~17.7 g/t 之间,平均 1.68 g/t。矿石中伴生有银铜铅锌多金属,它们的含量分别为:银 4.9~38.2 g/t,铜 0.04%~1.82%,铅 0.77%~2.77%,锌 0.7%~2.86%,明显保留了原生矿的成分特征。

需要指出的是,北衙金矿区河湖相沉积成因古砂矿的成矿物质来源可能不单是原生矿的风化与搬运沉积,还有喷流沉积叠加成矿作用,其中的部分铁矿可能来源于铁质流体的凝聚而非风化角砾。提出这种认识的依据是:①部分含矿层的砾石成分非常单一,仅为铁矿而未见灰岩角砾(图 8e);②在锅厂河河湖相沉积岩中见到尺度大于 1 m 的铁矿体(图 8g),而该铁矿体周边没有灰岩或斑岩的角砾或砾石;③古砂矿具稳定的层位,且与上下不含矿层位间界面截然;④矿区洞穴中发育有喷流沉积成因的铁矿。从北衙地区现今的风化特征看,灰岩中的铁矿体因其较灰岩易风化而呈负地形,故从理论上讲要形成并搬运 1 m 尺度的铁矿体到湖中沉积而没有围岩灰岩角砾伴生是难以想象的。

现代残坡积砂矿指现今地表风化与残坡积形成的砂矿,其因分布零散而不具工业价值。

3 北衙金矿成矿的时空结构与矿床结构模型

综上所述,北衙地区的矿床可划分为 3 个不同的成矿系列:①与碱性斑岩(钾质+钠质)有关的铜金多金属成矿系列,包括与石英正长斑岩和石英钠长斑岩有关的斑岩型铜金矿床和矽卡岩型多金属矿床;②与辉长-玄武岩浆有关的大陆喷流型铁金成矿系列,包括熔浆型铁金矿床和喷流沉积型多金属矿床,后者又有洞穴和湖相沉积环境之分;③表生成矿系列,有古风化壳型砂矿、河湖相古砂矿和洞穴沉积古砂矿。

与斑岩有关的铜金多金属矿床的形成时间可能与岩体的形成时间相当。对于熔浆型铁矿,从其侵位于万洞山石英正长斑岩中而被红泥塘石英正长斑岩所捕虏的特征推断,其形成于万洞山石英

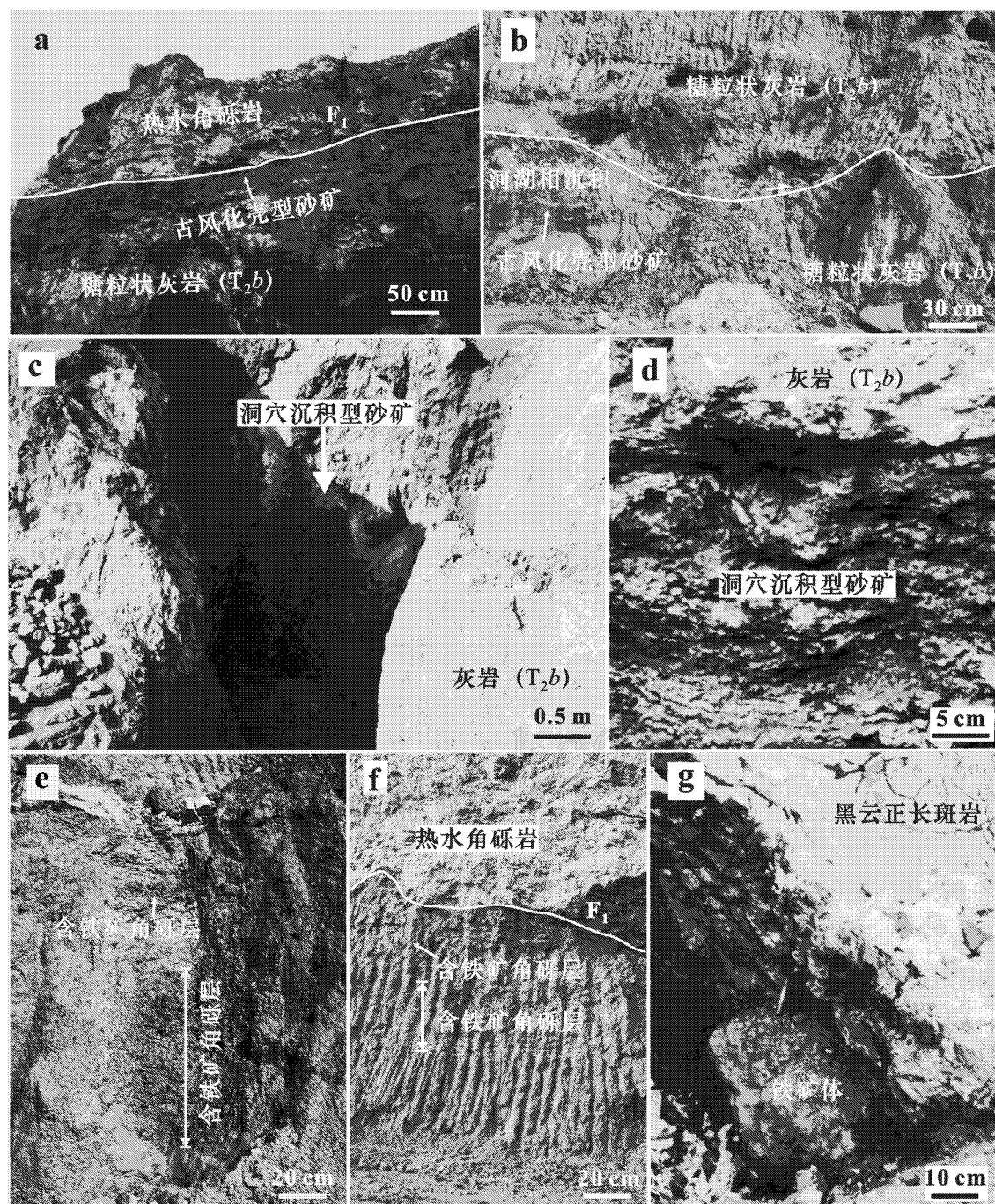


图 8 北衙金矿表生矿床野外照片

a. 古风化壳型金矿 矿体因受热水角砾岩滑体覆盖而保存; b. 古风化壳型金矿 位于河湖相沉积的底部; c. 洞穴沉积砂矿体的形态(矿体已被采走); d. 洞穴沉积成因砂矿的层理构造; e. 河湖相沉积岩中的古砂矿(含铁矿角砾泥岩); f. 含铁矿角砾砂矿与上下层位地层的截然关系及热水角砾岩与河湖相沉积岩的断层接触关系; g. 锅厂河一带河湖相沉积岩中直径大于 1 m 的铁矿块 泥中有黑云正长斑岩侵入

Fig. 8 Photographs showing palaeo-placer deposits at surface, in cave and in lake

a. Palaeo-placer deposits at surface in Wangdongshan, preserved by the overlying hydrothermal breccia; b. Palaeo-placer deposits beneath the Tertiary lacustrine sedimentary rocks; c. Palaeo-placer karst funnel deposit (mined out); d. Palaeo-placers with typical bedding structures in cave; e. Palaeo-placer deposits consisting of a great number of iron breccias in lake; f. Relationship between iron breccia-bearing palaeo-placer deposits and their country strata and that between Tertiary lacustrine sedimentary rocks and overlying hydrothermal breccia; g. A large iron ore body, more than 1m in diameter, in the lacustrine sedimentary rocks intruded by biotite K-feldspar porphyry in Guochanghe area

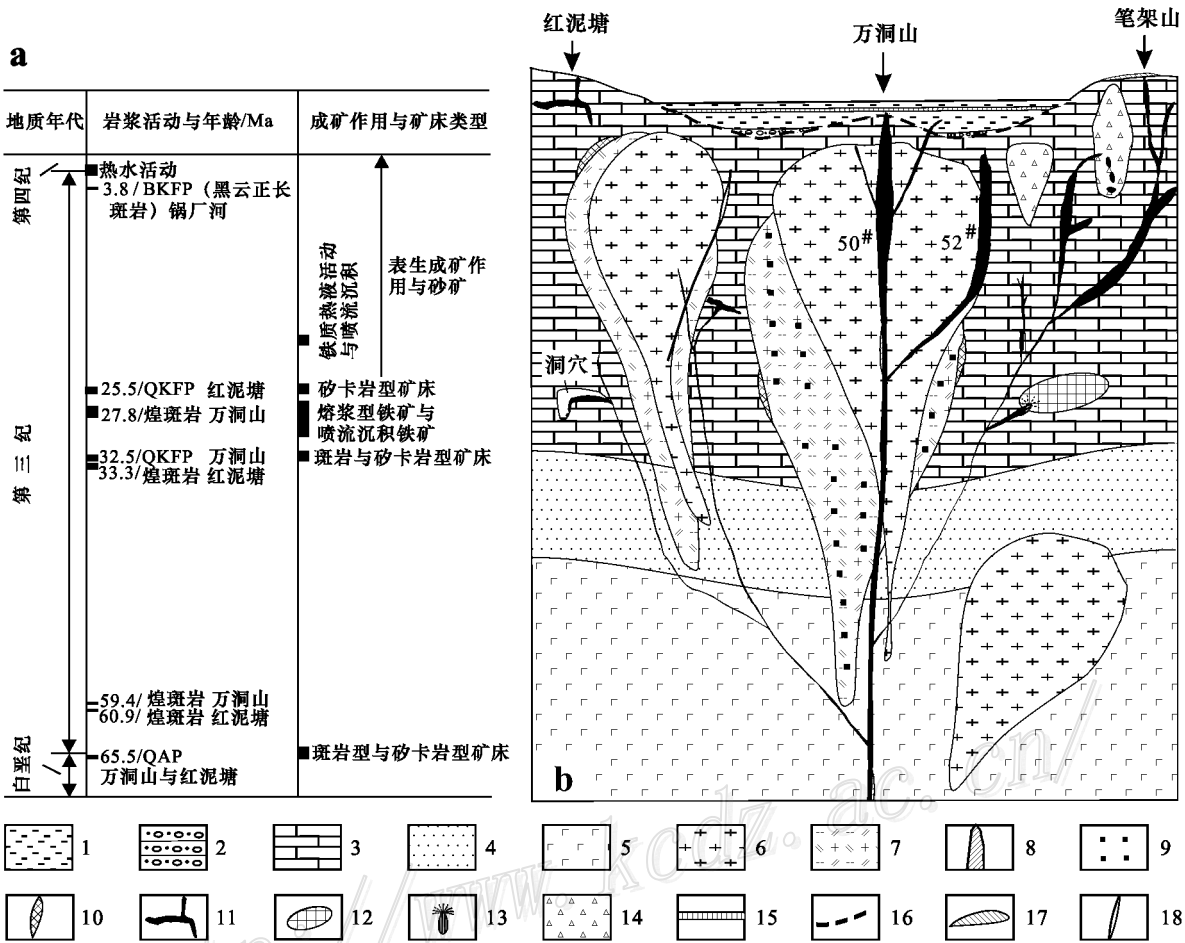


图 9 北衙地区成矿作用与矿床类型时(a)空(b)结构模型(据 Xu et al., 2007a 修改)

1—第三系河湖相泥岩与粉砂岩; 2—第三系河湖相砂砾岩; 3—三叠系中统北衙组灰岩; 4—三叠系下统砂岩; 5—二叠系玄武岩; 6—石英正长斑岩(QKFP); 7—石英钠长斑岩(QAP); 8—煌斑岩脉; 9—斑岩型 Cu-Au 矿(PCAD); 10—砂卡岩型多金属矿(STPD); 11—熔浆型 Fe-Au 矿(MFAD); 12—洞穴喷流沉积铁矿; 13—喷口构造; 14—洞穴沉积砂矿; 15—河湖相砂矿; 16—古风化壳型砂矿; 17—现今残坡积型砂矿; 18—沿断裂破碎带发育的热液型磁铁矿体

Fig. 9 Temporal (a) and spatial (b) model of mineralization and deposit types in Beiya area, Yunnan Province (modified after Xu et al., 2007a)

1—Tertiary lacustrine pelite and fine sandstone; 2—Tertiary lacustrine conglomerate; 3—Middle Triassic limestone (Beiya Formation); 4—Lower Triassic sandstone; 5—Upper Permian basalt; 6—Quartz-K-feldspar porphyry (QKFP); 7—Quartz-albite porphyry (QAP); 8—Lamprophyre vein; 9—Porphyry Cu-Au deposits (PCAD); 10—Skarn polymetallic deposits (STPD); 11—Magmatic Fe-Au deposits (MFAD); 12—Sedimentary exhalative polymetallic deposit in cave; 13—Exhalation cone; 14—Paleo-placer in cave; 15—Paleo-placer in lake; 16—Paleo-placer on land; 17—Present placer on land; 18—Hydrothermal magnetite ore along fault

正长斑岩侵位之后和红泥塘石英正长斑岩侵位之前,即形成于 32~26 Ma,该时间也正好是大理地区玄武岩浆大规模喷发与活动的时间。而在红泥塘石英正长斑岩体东接触带,沿接触带断裂产出的脉状磁铁矿体的发育,又意味着在红泥塘石英正长斑岩侵位之后(即 26 Ma 之后)北衙金矿区还有铁质热液的活动,即矿浆型铁矿和铁质热液的活动在北衙矿区可能是多期和多阶段的。

新建立的矿床时空结构模型如图 9 所示。

4 结 论

滇西北衙金矿矿床类型多样,有 3 种成因类型不同的矿床,即与碱性斑岩有关的斑岩型和砂卡岩型 Cu-Au 矿床、与铁质热液或铁矿浆有关的 Fe-Au 矿床及表生成因的 Fe-Au 矿床。正是由于北衙金矿区复杂多样、多期叠加活动的岩浆与成矿作用,造就了矿区大规模的成矿活动,成就了北衙金矿区金矿

的超大规模及更大远景。

致谢 笔者在野外地质调查过程中得到了云南地矿资源股份有限公司及其下属滇西与北街分公司杨伟光、和忠华、刘宝林、苏钢生、和群道、李万华、杨夕辉和李志军等,云南地调院及其下属大理矿床所范玉华、薛顺荣和赵畅华等及云南有色 310 地质队晏建国和崔银亮等的帮助,在研究和成文过程曾得到裴荣富、侯增谦、杨开辉、曾普胜、秦克章、刘秉光、谭克仁、George Cargill 和 Stephen Peters 等有益启示与建议,在此向他们致以衷心的感谢。

References

- Bi X W, Hu R Z and Cornell D H. 2001. Trace element and isotope evidence for the evolution of ore-forming fluid of Yao'an gold deposit, Yunnan[J]. *Geochimica*, 30(3): 264~272(in Chinese with English abstract).
- Cai X P, Zhao D S and Liu B G. 1991a. Characteristics, genesis and target prediction of Au deposit in the Beiya area, western Yunnan[R]. Research Report of Institute of Geology of Chinese Academy of Sciences. 1~51(in Chinese).
- Cai X P, Liu B G and Ji C Y. 1991b. Preliminary study on characteristics and genesis of Au deposit in Beiya area, western Yunnan Province[J]. *Gold Science and Technology*, 7: 15~20(in Chinese).
- Cai X P. 1993. Characteristics, genesis and prospecting of Beiya gold deposit, western Yunnan[A]. *Geology and geochemistry of gold deposits in China*[C]. Beijing: Science Press. 134~151(in Chinese).
- Cai X P, Xu X W, Liang G H, Zhang B L, Wang J and Xiao Q B. 2002. Exploitation of mineral source and protection of some peculiar geological evident in Beiya, western Yunnan[J]. *Mineral Deposits*, 21(Supp.): 1112~1115(in Chinese).
- Cui Y L, Chen X S and Yan J G. 2001. Geological characteristics and metallogenic condition of lateritic clay type gold deposits in Beiya[J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 21(4): 654~658(in Chinese with English abstract).
- Deng W M, Huang X and Zhong D L. 1998a. Alkali-rich porphyry in the north part of Jinshajiang porphyry belt and its relationship to intraplate deformation, western Yunnan[J]. *Science in China(Series D)*, 28(2): 111~117(in Chinese).
- Deng W M, Huang X and Zhong D L. 1998b. Petrological characteristics and genesis of Cenozoic alkali-rich porphyry in west Yunnan, China[J]. *Scientia Geologica Sinica*, 33(4): 412~425(in Chinese with English abstract).
- Fu W M. 1994. Study on K-feldspar of Beiya alkali-rich porphyry in Dali district of Yunnan Province[J]. *Journal of Kunming Institute of Technology*, 19(1): 1~7(in Chinese with English abstract).
- Fu W M and Hu C P. 1994. On petrology characteristics of alkali-rich porphyry intrusions in Beiya, Heqing and their tectonic environment[J]. *Yunnan Geology*, 13(1): 31~41(in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Guo X D, Zou Y L, Li Z H and Zhang X H. 2002a. Geological characteristics and genesis of Beiya gold deposit, Yunnan Province[J]. *Contribution to Geology and Mineral Resource Research*, 17(1): 32~40(in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Zou Y L, Li Z H, Guo X D, Xing J B and Zhang X H. 2002b. Geological features and genesis of Machangqin Cu-Mo-Au deposit related to the rich-alkali magmatic rock, Yunnan Province[J]. *Geology and Prospecting*, 38(5): 11~17(in Chinese with English abstract).
- Hu S Q and Guo W P. 1998. Geological characteristics and mineralization potential of Himalayan Luobodi porphyry bodies in Ninglang area of Yunnan[J]. *Contribution to Geology and Mineral Resource Research*, 13(1): 48~59(in Chinese with English abstract).
- Li X Y. 2002. A study on the feasibility of geoelectrochemical extraction measure in prediction of the blind ore deposit in Beiya[J]. *Yunnan Geology*, 21(1): 83~89(in Chinese with English abstract).
- Li Y, Qin D X and Li C. 1999. The characteristics of oxidation and prospecting significance of Beiya gold deposit[J]. *Journal of Kunming University of Sciences and Technology*, 24(1): 120~124(in Chinese with English abstract).
- Liang G H, Cai X P, Wang J, Zhang B L, Xu X W and Gao H Z. 2000. The application of seismic exploration method in prediction of concealed Beiya gold deposit in Yunnan Province[J]. *Gold Science and Technology*, 8(6): 1~9(in Chinese with English abstract).
- Liu B G, Lu D F and Cai X P. 1999. Study on gold deposits in western Yunnan and Sichuan[M]. Beijing: China Ocean Press. 1~241(in Chinese with English abstract).
- Liu J Y. 2003. The geological characteristics of Wandongshan gold deposit in the Beiya area and its ore prospecting orientation[J]. *Gold*, 24(9): 10~12(in Chinese with English abstract).
- Liu J Y. 2004. Geologic features and ore prospecting significances of lamprophyre in Beiya gold district[J]. *Gold*, 25(4): 17~19(in Chinese with English abstract).
- Llambias E J and Malvicini L. 1969. Geology and genesis of the Bi-Cu mineralised breccia-pipe, San Francisco de los Andes, San Juan, Argentina[J]. *Econ. Geol.*, 64: 271~286.
- Mader H M, Zhang Y, Phillips J C, Sparks R S J, Sturtevant B and Stolper E. 1994. Experimental simulations of explosive degassing of magma[J]. *Nature*, 372: 85~88.
- Ma D Y and Han R S. 2001. Study on the features of tectono-geochemistry of Beiya gold deposit and enclosing metallogenic targets[J]. *Geology and Prospecting*, 37(2): 64~68(in Chinese with English abstract).
- Ma D Y, Gao Z M, Yang S Y and Han R S. 2003. Numerical simulation for tectonic stress field of the Beiya gold deposit[J]. *Geotectonica et Metallogenia*, 27(2): 160~166(in Chinese with English abstract).

- Norman D I and Sawkins F J. 1985. The Tribag breccia pipes :Precambrian Cu-Mo deposits ,Batchawana Bay ,Ontari[J]. Econ. Geol. , 80 :593~621.
- Norton D L and Cathles L M. 1973. Breccia pipes ,products of exsolved vapor from magma[J]. Econ. Geol. , 68 :540~546.
- Ren Z , Luo R S , Li L J , Zhao C S and Li Z Q. 2001. Geology and ore control of the Beiya lateritic gold in Yunnan[J]. Geol. in China , 28 (8):17~22 (in Chinese with English abstract).
- Sillitoe R H. 1985. Ore-related breccias in volcanoplutonic areas[J]. Econ. Geol. , 80 :467~514.
- The 14 Geological Survey Team of Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1959. Report on the calculation of Pb-Zn reserves in the Beiya area , Heqing , Yunnan Province[R]. Kunming : Yunnan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1~10 (in Chinese).
- Wang S Y. 2003. The geological conditions of metallogenesis of Beiya gold deposit[J]. Yunnan Geology , 22(3):274~280 (in Chinese with English abstract).
- Wang Y , Mo X X , Dong F L , Bi X M , Yu X H , Yang W G and Zeng P S. 2003. Fluid-geological maping in the Weishan-Yongping mineralization district , Yunnan :Theory and practice[J]. Geol. in China , 30(1):73~83 (in Chinese with English abstract).
- Xiao Q B , Cai X P and Xu X W. 2003. Formation and conservation of Beiya epigenetic deposit , Yunnan Province[J]. Mineral Deposits , 22(4):401~407 (in Chinese with English abstract).
- Xu S J , Shen W Z , Wang R C , Lu J J , Lin Y P and Ni P. 1997. Characteristics and origin of Xifanping porphyry copper deposit , Yanyuan County , Sichuan Province[J]. Acta Mineralogica Sinica , 27(1):56~62 (in Chinese with English abstract).
- Xu X W , Cai X P and Qin D J. 2000. Fluids double-fracturing genetic mechanism and mineralisation of Au-Cu of the breccia pipe at Qibaoshan in Shandong Province[J]. Science in China (Series D) , 43 :113~121.
- Xu X W , Cai X P , Wang J , Zhang B L and Liang G H. 2001. Tectonic dynamics of fluids and its advance[J]. Advances in Earth Sciences , 16 :324~331 (in Chinese with English abstract).
- Xu X W , Cai X P , Xiao Q B , Liang G H and Zhang B L. 2003. Hydrothermal karst and their associated geological disasters in the Beiya area , western Yunnan Province[J]. Advances in Earth Sciences , 18(6):912~920 (in Chinese with English abstract).
- Xu X W , Cai X P , Song B C , Zhang B L , Ying H R , Xiao Q B and Wang J. 2006. Petrologic , chronological and geochemistry characteristics and formation mechanism of alkaline porphyries in the Beiya gold district , western Yunnan[J]. Acta Petrologica Sinica , 22(3):631~642 (in Chinese with English abstract).
- Xu X W , Cai X P , Xiao Q B and Peter S G. 2007a. Porphyry Cu-Au and associated polymetallic Fe-Cu-Au deposits in the Beiya Area , western Yunnan Province , China[J]. Ore Geology Reviews , 31 :224~246.
- Xu X W , Cai X P , Zhong J Y , Song B C and Peters S G. 2007b. Formation of tectonic peperites from alkaline magmas intruded into wet sediments in the Beiya area , western Yunnan , China[J]. Journal of Structural Geology , doi :10.1016/j.jsg.2007.04.007.
- Yan J G , Chen X S and Cui Y L. 2002. Search of ore-forming process in Beiya gold deposit , Yunnan[J]. Mineral Deposits , 21(Supp.):743~746 (in Chinese).
- Yan J G , Cui Y L and Chen X S. 2003. Metallogenic prognosis and target optimum at Beiya gold deposit in Yunnan Province , China[J]. Geology and Prospecting , 39(1):10~13 (in Chinese with English abstract).
- Yang J M , Xue C J and Xu Y. 2001. Geological features and mineralization of the Himalayan alkalic porphyry in western Yunnan[A]. In : Chen Y C , ed. Study on Himalayan endogenic mineralization[C]. Beijing : Seismic Publishing House. 57~68 (in Chinese with English abstract).
- Yang S Y and Wang R X. 2002. The synthetically information of deposit geological remote sensing of Beiya gold alkali porphyry deposit[J]. J. Kunming University of Sciences and Technology , 27(4):1~5 (in Chinese with English abstract).
- Yang Y Q , Hou Z Q , Huang D H and Qu X M. 2002. Collision orogenic process and magmatic metallogenic system in Zhongdian arc [J]. Acta Geoscientia Sinica , 23(1):7~24 (in Chinese with English abstract).
- Ying H L and Cai X P. 2004. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of orthoclase and muscovite from alkali rich porphyries in the Beiya mine , Yunnan[J]. Chinese Journal of Geology , 9(1):107~110 (in Chinese with English abstract).
- Zeng P S , Mo X X and Yu X H. 2002. Nd , Sr and Pb isotopic characteristics of the alkaline-rich porphyries in western Yunnan and its compression strike-slip setting[J]. Acta Petrologica et Mineralogica , 21(3):231~241 (in Chinese with English abstract).
- Zhang J R , Liu Y C and He X N. 2004. Aprelliminary determination of the ore controlling system of rich alkalinity porphyry slipping nappe structure in Beiya gold ore field[J]. Yunnan Geol. , 23(1):67~72 (in Chinese with English abstract).
- Zhang X S. 1998. Characteristics and prospecting significance of Beiya laterite Au deposit of the alkalic porphyry metalogenetic zone , western Yunnan[J]. Yunnan Geol. , 17(2):154~158 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 毕献武 , 胡瑞忠 , Cornell D H. 2001. 富碱侵入岩与金成矿关系 : 云南省姚安金矿床成矿流体形成演化的微量元素和同位素证据 [J]. 地球化学 , 30(3):264~272.
- 蔡新平 , 赵大升 , 刘秉光. 1991a. 滇西北衙金矿矿床特征、成因及靶区预测 [R]. 中国科学院地质研究所科技报告. 1~51.
- 蔡新平 , 刘秉光 , 季成云. 1991b. 滇西北衙金矿矿床特征及成因初探 [J]. 黄金科技动态 , 7 :15~20
- 蔡新平. 1993. 滇西北衙金矿矿床特征、成因及找矿远景预测 [A]. 见 : 中国金矿地质地球化学研究 [C]. 北京 : 科学出版社. 134~151.

- 蔡新平,徐兴旺,梁光河,张宝林,王杰,肖骑彬. 2002. 北衙矿产资源和特异地质现象保护[J]. 矿床地质, 21(增刊): 1112~1115.
- 崔银亮,陈贤胜,晏建国. 2001. 北衙红色粘土型金矿地质特征和成矿条件[J]. 矿物学报, 21(4): 654~658.
- 邓万明,黄萱,钟大赉. 1998a. 滇西富碱斑岩及其与板内变形的关系[J]. 中国科学(D), 28(2): 111~117.
- 邓万明,黄萱,钟大赉. 1998b. 滇西新生代富碱斑岩的岩石特征与成因[J]. 地质科学, 33(4): 412~425.
- 甫为民. 1994. 大理北衙富碱斑岩侵入体的钾长石研究[J]. 昆明工学院学报, 19(1): 1~7.
- 甫为民,胡朝平. 1994. 鹤庆北衙富碱斑岩侵入体的岩石学特征及其构造环境[J]. 云南地质, 13(1): 31~41.
- 葛良胜,郭晓东,邹依林,李振华,张晓辉. 2002a. 云南北衙金矿床地质特征及成因研究[J]. 地质找矿论丛, 17(1): 32~40.
- 葛良胜,邹依林,李振华,郭晓东,邢俊兵,张晓辉. 2002b. 云南马厂箐铜、钼金矿床地质特征及成因研究[J]. 地质与勘探, 38(5): 11~17.
- 胡受权,郭文平. 1998. 罗卜地喜马拉雅期斑岩体地质特征与成矿远景[J]. 地质找矿论丛, 13(1): 48~59.
- 李晓勇. 2002. 地电提取测量法在北衙寻找隐伏矿的可行性[J]. 云南地质, 21(1): 83~89.
- 李元,秦德先,黎诚. 1999. 北衙金矿的氧化特征及找矿意义[J]. 昆明理工大学学报, 24(1): 120~124.
- 梁光河,蔡新平,王杰,张宝林,徐兴旺,高浩中. 2000. 浅层地震勘探在云南北衙地区隐伏金矿预测中的应用[J]. 黄金科学技术, 8(6): 1~9.
- 刘秉光,陆德复,蔡新平. 1999. 滇川西部金矿床研究[M]. 北京: 海洋出版社. 1~241.
- 刘建云. 2003. 北衙万铜山金矿床地质特征及找矿方向[J]. 黄金, 24(9): 10~12.
- 刘建云. 2004. 北衙金矿区煌斑岩地质特征及找矿意义[J]. 黄金, 25(4): 17~19.
- 马德云,韩润生. 2001. 北衙金矿床构造地球化学特征及靶区优选[J]. 地质与勘探, 37(2): 64~68.
- 马德云,高振敏,杨世瑜,韩润生. 2003. 北衙金矿区构造应力场数值模拟[J]. 大地构造与成矿学, 27(2): 160~166.
- 任治,罗荣生,李连举,赵重顺,李志群. 2001. 云南北衙红土型金矿地质特征及成矿规律[J]. 中国地质, 28(8): 17~22.
- 王勇,莫宣学,董方浏,毕先梅,喻学惠,杨伟光,曾普胜. 2003. 云南巍山-永平矿集区流体地质填图的理论与实践[J]. 中国地质, 30(1): 73~83.
- 肖骑彬,蔡新平,徐兴旺. 2003. 云南北衙表生金矿形成与保存探讨[J]. 矿床地质, 22(4): 401~407.
- 徐士进,沈渭洲,王汝成,陆建军,林雨萍,倪培. 1997. 四川盐源西饭坪斑岩铜矿特征和成因[J]. 矿物学报, 27(1): 56~62.
- 徐兴旺,蔡新平,秦大军. 2000. 山东七宝山角砾岩筒流体温压双重致裂机制与金铜成矿[J]. 中国科学(D辑), 30(1): 47~52.
- 徐兴旺,蔡新平,王杰,张宝林,梁光河. 2001. 流体构造动力学及其研究现状与进展[J]. 地球科学进展, 16(3): 324~331.
- 徐兴旺,蔡新平,肖骑彬,梁光河,张宝林,王杰. 2003. 滇西北衙地区热水岩溶作用及其伴生的地质灾害[J]. 地球科学进展, 18(6): 912~920.
- 徐兴旺,蔡新平,宋保昌,张宝林,应汉龙,肖骑彬,王杰. 2006. 滇西北衙金矿区碱性斑岩岩石学、年代学和地球化学特征及其成因机制[J]. 岩石学报, 22(3): 631~642.
- 晏建国,陈贤胜,崔银亮. 2002. 云南省北衙金矿床成矿规律研究[J]. 矿床地质, 21(增刊): 743~746.
- 晏建国,崔银亮,陈贤胜. 2003. 云南省北衙金矿床成矿预测和靶区优选[J]. 地质与勘探, 39(1): 10~13.
- 杨建民,薛春纪,徐珏. 2001. 滇西北喜马拉雅期富碱斑岩地质特征及其成矿作用[A]. 见:陈毓川,主编. 喜马拉雅期内生成矿作用研究[C]. 北京:地质出版社. 57~68.
- 杨世瑜,王瑞雪. 2002. 北衙碱性斑岩型金矿床矿床遥感地质综合信息[J]. 昆明理工大学学报, 27(4): 1~5.
- 杨岳清,侯增谦,黄典豪,曲晓明. 2002. 中甸弧碰撞造山作用和岩浆成矿系统[J]. 地球学报, 23(1): 7~24.
- 应汉龙,蔡新平. 2004. 云南北衙矿区富碱斑岩正长石和白云母的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄[J]. 地质科学, 9(1): 107~110.
- 云南省地质厅第十四地质队. 1959. 云南省鹤庆北衙铅锌矿区储量计算报告[R]. 昆明:云南省地质矿产局. 1~10.
- 曾普胜,莫宣学,喻学惠. 2002. 滇西富碱斑岩带的Nd、Sr、Pb同位素特征及其挤压走滑背景[J]. 岩石矿物学杂志, 21(3): 231~241.
- 张继荣,刘宇淳,和晓南. 2004. 北衙金矿富碱斑岩——滑覆构造控矿体系及成矿规律[J]. 云南地质, 23(1): 67~72.
- 张学书. 1998. 滇西碱性斑岩成矿带北衙红土型金矿特征及其找矿意义[J]. 云南地质, 17(2): 154~158.