



滇西北衙超大型金多金属矿床勘查模型^{*}

和中华¹, 官德任¹, 和文言², 周云满¹, 符德贵¹, 杨绍文¹, 吕永增¹, 王利东¹,
李万华¹, 苏纲生¹, 杨锐¹

(1 云南黄金矿业集团股份有限公司, 云南 昆明 650224; 2 中国地质大学地球科学与资源学院
地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083)

摘 要 滇西北衙超大型金多金属矿床通过先后开展五期详查, 获得了找矿重大突破, 金矿规模达到超大型, 共伴生铅、锌、银、铜、铁、硫矿也达到大型—特大型规模。文章在近十年的勘查工作实践及综合研究矿床模型的基础上, 总结了矿床的成矿地质条件、地球物理勘查模型、地球化学勘查模型和地质找矿标志。研究表明: 喜马拉雅期富碱斑岩是矿床形成最关键的控矿因素, 马鞍山断裂控制了区内喜马拉雅期富碱斑岩的产出, 北衙向斜控制了矽卡岩矿体和其他矿体的产出, 矿床定位受控于喜马拉雅期富碱斑岩与三叠系中统北衙组(T_2b)碳酸盐岩接触的矽卡岩带以及内、外接触带, 属于与喜马拉雅期富碱斑岩有关的矽卡岩-热液型金多金属矿床, 并在此基础上进一步划分为“二型五类”。矿区1:10 000岩石地球化学勘查模型显示, 矿区分布有强金元素异常, 浓集中心明显, 并有与Ag、Pb、Zn、As、Hg等元素相伴产出的综合异常。1:10 000地球物理勘查模型显示, 磁异常面积大、强度高, 极大值2000多nT, 异常形态规则, 总体形态呈椭圆形, 梯度变化较大, 正负异常相伴, 南正北负。斑岩显示为低磁异常, 接触带为高磁异常, 环状的高磁异常带构成了斑岩与围岩接触带矽卡岩型矿化体, 围岩碳酸盐岩为低磁异常。激电在斑岩、矽卡岩型矿体上形成低阻高极化异常, 矽卡岩型矿体分布区视极化率5%~8%, 视电阻率50~120 $\Omega \cdot m$ 。大功率激电、可控源音频大地电磁测深对斑岩体及斑岩与围岩接触带(蚀变带)可进行较准确定位。

关键词 地质学, 矽卡岩-热液型, 金多金属矿床, 勘查模型, 北衙, 滇西

中图分类号: P618.51

文献标志码: A

Exploration model of Beiya superlarge gold-polymetallic deposit, northwestern Yunnan

HE ZhongHua¹, GUAN DeRen¹, HE WenYan², ZHOU YunMan¹, FU DeGui¹, YANG ShaoWen¹,
LÜ YongZeng¹, WANG LiDong¹, LI WanHua¹, SU GangSheng¹ and YANG Rui¹

(1 Yunnan Gold and Minerals Group Co., Ltd., Kunming 650224, Yunnan, China; 2 State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources, School of Earth Sciences and Resources, China University of Geoscience, Beijing 10083, China)

Abstract

Five rounds of general exploration have been done in the Beiya superlarge Au-polymetallic orefield, north-west of Yunnan. In particular, great breakthroughs have been made through ore exploration in Wandongshan ore block, where gold resources have extended to be supergiant scale. Accompanied Pb, Zn, Ag, Cu, Fe and S resources are all estimated to be superlarge-large scale. This paper, based on previous exploration and researches,

^{*} 本文得到中国地质调查局“云南鹤庆北衙金多金属矿田整装勘查区专项填图与技术应用示范”(编号: 12120114013501)课题、中国地质科学院矿产资源研究所“中国西南地区中生代斑岩-矽卡岩型铜矿成矿规律与矿床模型”(编号: 12120113093700)课题及云南省“云岭学者”项目联合资助

第一作者简介 和中华, 男, 1955年生, 教授级高级工程师, 长期从事矿床勘查及找矿预测研究工作。Email: zhezhy@ygm.com.cn

收稿日期 2015-05-01; 改回日期 2016-02-24。苏杭编辑。

summarizes the geological conditions for the formation of the deposit, the geophysical model, the geochemical model and the geological targeting methods. Some conclusions have been reached: ① The Himalayan alkali-rich porphyries should be the key factor for the formation of the deposit; ② the Ma'an-shan Fault controls the emplacement of the Himalayan porphyries; ③ the Beiya syncline controls the occurrence of the skarn orebodies and other orebodies; ④ ore deposit positioning is mainly located at the skarn zone between Himalayan alkali-enriched porphyry and carbonates of Triassic Beiya (T_2b) Formation, as well as inner and outer contact zone of the porphyry. According to these discoveries, this deposit was classified as porphyry-skarn Au-polymetallic deposit associated with Himalayan alkali-rich porphyries, which helped the authors further recognize two main ore types with five subclasses. The 1:10 000 soil geochemical exploration targeting model of the Beiya district shows a strong Au anomaly in this area, with an obvious core for elemental concentration, and a synthetic anomaly reflected by the associated Ag, Pb, Zn, As and Hg. With the 1:10 000 geophysical targeting model, a strong magnetic anomaly, which has a maximum value of more than 2000 nT, was identified. This anomaly covers a large area and its shape is regular, generally like an oval. Moreover, it has a sharp gradient with both positive and negative anomalies, and tends to be positive in the south and negative in the north. Porphyries show low magnetic anomaly while the contact zone shows strong magnetic anomaly. The circular high magnetic anomaly belt constitutes the mineralization belt of the contact zone between porphyry and wall-rock. Electrical stimulation caused a low resistance, and high polarization anomalies were shown in the porphyry-type and the skarn-type orebodies. In these orebodies, the apparent chargeabilities vary between 5% and 8%, and the apparent resistivities vary from $50 \Omega \cdot m$ to $120 \Omega \cdot m$. High power electrical stimulation and source-controlled magnetotelluric sounding can precisely position the porphyries and the contact zone between porphyry and wall-rock.

Key words: geology, skarn-hydrothermal type, Au-polymetallic ore deposit, exploration model, Beiya, western Yunnan

进入 21 世纪以来,云南黄金矿业集团股份有限公司通过地质成矿理论和成矿预测等综合研究指导找矿实践(邓军等,2013),对滇西北衙超大型金多金属矿床开展系统勘查工作,并经过五期详查,部署了系统的地质、物探、化探工作。先后开展了 1:50 000 土壤化探测量和 1:50 000 地面磁法测量、1:50 000 重力测量、1:10 000 地面高精度磁法测量、1:10 000 可控源音频大地电磁测深、1:10 000 岩石地球化学剖面测量和 1:10 000 激电剖面测量,施工钻孔 1 千多个,进尺 36 万多米,地质找矿持续获得重大突破,查明 333 类以上资源储量:金 323 t,平均 $\alpha(Au)$ 为 2.47 g/t;共伴生铁矿石 1.70 亿 t,平均 $\alpha(TFe)$ 为 33.34%;铜 65 万 t,平均 $\alpha(Cu)$ 为 0.52%;铅 155 万 t,平均 $\alpha(Pb)$ 为 2.01%;锌 53 万 t,平均 $\alpha(Zn)$ 为 1.38%;银 7743 t,平均 $\alpha(Ag)$ 为 44.82 g/t,硫 1070 万 t,平均 $\alpha(S)$ 为 10.41 g/t,均到达大-特大型矿床规模,成为中国屈指可数的超大型金多金属矿床和中国十大黄金生产矿山之一,在西南三江地区占有极为重要的地位。前人已对喜马拉雅期富碱斑岩的岩石类型与成岩成矿年龄(邓万明等,1998;徐兴旺

等,2003,2006,2007;吴开兴,2005;薛传东等,2008;肖晓牛,2009;和文言等,2012,2013,2014)矿床特征(蔡新平,1993;曾普胜等,2008;邓军等,2010)矿床成因(蔡新平等,1991a,1991b;葛良胜等,2002;肖骑彬等,2003;郭远生等,2005;和中华等,2013a)物化探特征(梁光河等,2000;马德云等,2001;李晓勇,2002;李振华等,2002)成矿规律(任治机等,2001;晏建国等,2002;肖晓牛等,2009;和中华等,2012;2013b,2014)找矿标志(蔡新平等,2001;崔银亮等,2003)远景预测(蔡新平,1993;马德云等,2001;晏建国等,2003)找矿模型(周云满等,2014)等方面进行了较深入的研究。本文在前人工作的基础上,结合北衙矿床近十年的找矿实践和勘查地质成果,系统的总结了该矿床的区域地质背景、成矿地质条件和成矿规律,找出了对找矿有效的地球化学测量、地球物理测量及控矿因素、成矿作用、矿化分带、蚀变分带、矿床成因类型、成矿模式、矿化富集规律等信息作为找矿标志,并首次初步建立北衙金多金属矿床地质-地球物理-地球化学综合勘查模型,以期对西南三江同类型矿床的勘查工作及勘查技术理论研究

有所帮助。

1 成矿地质背景

北衙金多金属矿区地处扬子陆块西缘的丽江陆缘褶-断带西南缘的鹤庆陆缘拗陷,被夹持在NNW向金沙江-红河断裂、NE向宾川-程海断裂和丽江-木里断裂之间(图1)。

区域内震旦系上统和寒武系零星分布,为镁质碳酸盐岩和砂泥质建造;奥陶系—三叠系中统为滨浅海碳酸盐岩和砂泥质建造;印支期-燕山期全区隆起;古近纪始新世—新近纪在山间盆地中堆积了磨拉石和含煤建造(云南省地质矿产局,1990)。区域构造主要为松桂向斜和近SN向的马鞍山断裂和EW向隐伏断裂。区域内岩浆活动频繁,出露基性、中性、酸性及碱性岩,华力西期以基性辉长岩为主,二叠纪以玄武岩为主;喜马拉雅期主要为富碱的石英斑岩、辉石正长岩、花岗斑岩及石英闪长岩,它们与金、银、铜、铅、锌、铁矿化关系密切。喜马拉雅期中酸性富碱斑岩及苦橄玄武岩、橄斑玄武岩、碱性岩,分布于金沙江-红河超壳断裂带附近,构成规模巨大的金沙江-哀牢山富碱斑岩带。是中国重要的铜(钼)、金(铅锌)成矿带,目前陆续发现了一批与富碱斑岩有关的金、铜、钼、铅锌矿床,北衙矿田的富碱岩位于该带中南部的松桂-北衙富碱斑岩群(区)内。区内矿产分布与富碱斑岩密切相关,以贵金属、有色金属为主,黑色金属次之,矿床类型有斑岩型、矽卡岩型、热液脉型等。北衙超大型金多金属矿床是区域内与富碱斑岩金-铜多金属成矿作用有关的典型矿床之一。

2 矿床地质特征

2.1 矿区地质

北衙矿区位于NNE向的马鞍山复背斜南部翘起端东翼之次级北衙向斜中。矿区南北长近6000 m,东西宽2000~3000 m,大致以北衙向斜轴部为界分为东、西2个矿带:东带包括桅杆坡、笔架山、锅盖山矿段,西带包括万硐山、红泥塘、金沟坝矿段(图2)。

矿区出露地层由古而新有二叠系上统峨眉山玄武岩组(P_e)灰绿色玄武岩;三叠系下统青天堡组(T_{1q})长石砂岩、杂砂岩,顶部夹薄层状泥质灰岩、细晶灰岩;三叠系中统北衙组(T_{2b})细晶灰岩夹似角砾

状灰岩、泥质灰岩、白云质灰岩、白云岩、砂屑灰岩等;第四系更新统蛇山组(Q_{1s})复成分砾砂黏土、细砂、砂砾层,更新统(Q_p)灰质角砾岩,全新统(Q_4)黏土、砂砾和岩块。

矿区构造表现为SN向北衙向斜,两翼局部地段受断层和岩浆侵入作用的影响,次级褶曲、断层以及节理、裂隙发育。矿区断层主要有2组,一组近SN向,另一组近EW向。近SN向断裂组为控矿断裂,近EW向断裂组为破矿断裂。

矿区发育基性、中性、酸性及碱性岩浆岩。华力西期以玄武岩为主,喜马拉雅期主要为石英钠长斑岩、煌斑岩、石英正长斑岩、正长斑岩、震碎角砾岩、隐爆角砾岩等,并以喜马拉雅山期形成的浅成侵入富碱斑岩为主。斑岩体规模一般较小,万硐山岩体、大沙地隐伏岩体、红泥塘岩体规模较大呈岩株,其余为岩脉、岩墙和岩床。主要分布于北衙向斜两翼,其展布主要受向斜两翼NNE向、NNW向及EW向3组断层控制。岩石类型以石英正长斑岩为主,其次为正长斑岩、黑云母石英正长斑岩、煌斑岩脉。石英正长斑岩在37~35 Ma侵入(徐受民,2006;和文言,2014;牛浩斌等,2015);黑云母石英正长斑岩和煌斑岩在35 Ma侵位(和文言等,2014)。石英正长斑岩的岩浆活动与金多金属矿化关系密切,主要矿体产于万硐山石英正长斑岩体与北衙组碳酸盐岩接触的矽卡岩带中,受富碱斑岩的控制。

2.2 矿体地质特征

北衙矿区圈定金、铁、铜、银、铅锌多金属矿体近2800余个,其中规模较大的矿体50多个,金资源储量在10 t以上的6个主要矿体KT4、KT10、KT11、KT52、KT54、KT63,规模最大的KT52矿体金资源储量大于200 t。这6个主要矿体一般长400~1680 m,宽570~1420 m,平均厚4.27~13.27 m,平均 $\alpha(Au)$ 为1.65~2.83 g/t, $\alpha(TFe)$ 为25.06%~37.55%, $\alpha(mFe)$ 为18.47%~28.11%, $\alpha(Cu)$ 为0.63%~0.65%, $\alpha(Pb)$ 为0.91%~4.04%, $\alpha(Zn)$ 为0.28%~1.00%, $\alpha(Ag)$ 为24.52~67.29 g/t。

万硐山矿段位于矿区北部,是北衙矿区6个矿段中的主要矿段,圈定大小矿体1800余个,探明资源储量占矿区总量的85%。该矿段处于北衙向斜的中段,向斜轴向NNE,两翼产状平缓,西翼出露地层 T_{2b}^1 — T_{2b}^5 ,倾向为东,倾角30~40°;东翼出露地层 T_{2b}^1 — T_{2b}^5 、 T_{1q} 和 P_e ,倾向西,倾角10~40°,核部产状平缓。万硐山岩体出露于矿段中北部,南

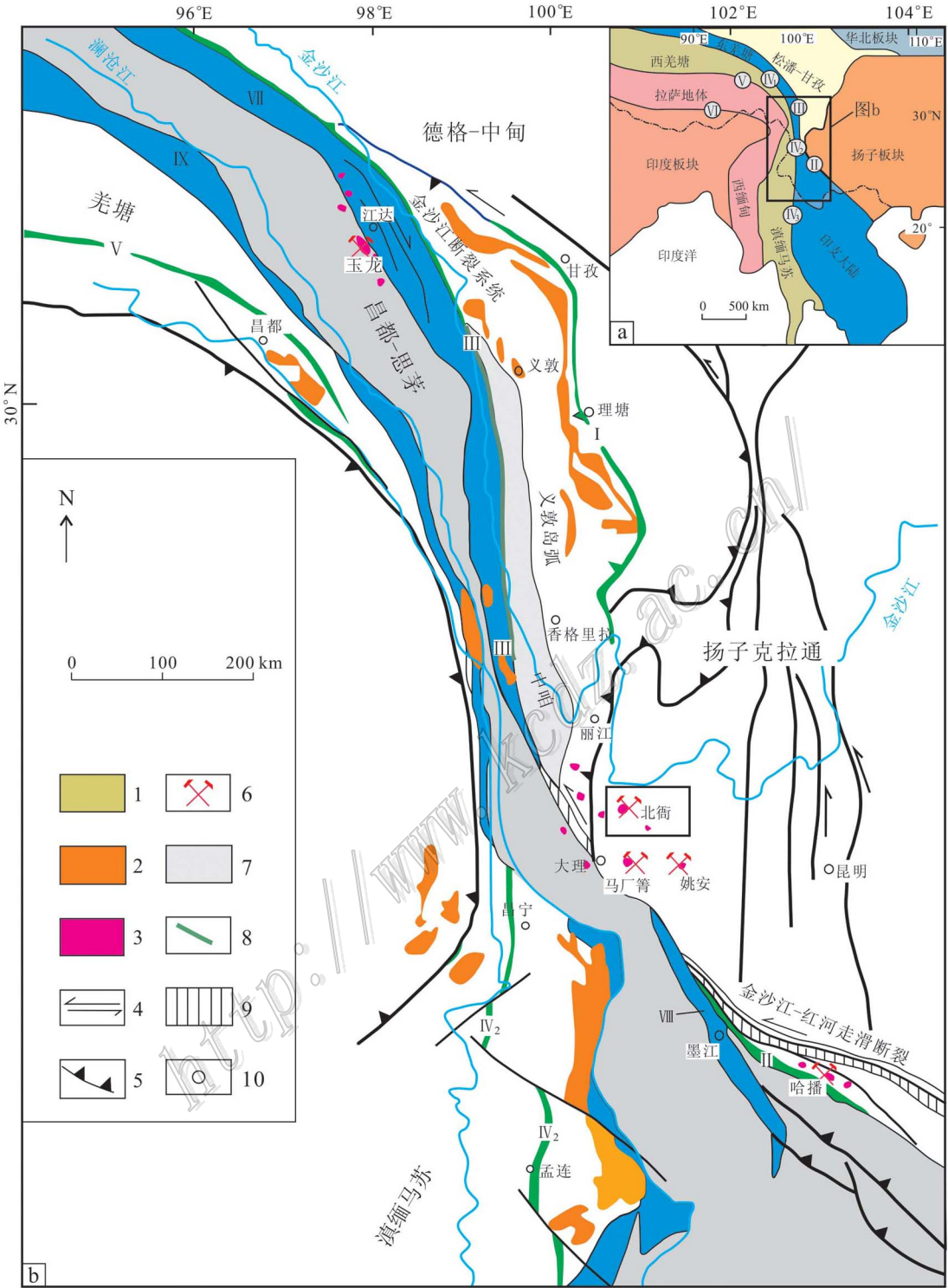


图 1 北衙矿区大地构造位置图(据和文言,2014)

1—火成岩(P-T);2—花岗岩(T-K);3—始新世花岗岩;4—剪切方向;5—断裂;6—矿床;7—地块;8—缝合带;9—变质带;10—市、县
缝合带;Ⅰ—甘孜-里塘;Ⅱ—哀牢山;Ⅲ—金沙江;Ⅳ₁—措莫路-双湖;Ⅳ₂—昌宁-孟连;Ⅳ₃—清迈;Ⅴ—班公-怒江;Ⅵ—印度-雅鲁藏布江
弧火山带;Ⅶ—江达-维西;Ⅷ—开心岭-竹卡;Ⅸ—杂多-景洪;Ⅹ—云县-景谷

Fig. 1 Regional tectonic map of the Beiya orefield (after He, 2014)

1—Volcanic belt (P-T); 2—Granitoid (T-K); 3—Eocene granitoid; 4—Shear direction; 5—Fault; 6—Ore deposit; 7—Terrane;
8—Suture zone; 9—Metamorphic belt; 10—City or County

Suture zones: I—Garze-Litang; II—Ailaoshan; III—Jinshajiang; IV₁—Longmu T so—Shuanghu; IV₂—Changning-Menglian;
IV₃—Chiang Mai; V—Bangong-Nuijiang; VI—Indus-Yarlung-Zangbo
Arc-volcanics: VII—Jomda-Weixi; VIII—Kaixinling-zhuka; IX—Zaduo-jinghong; X—Yunxian-Jinggu

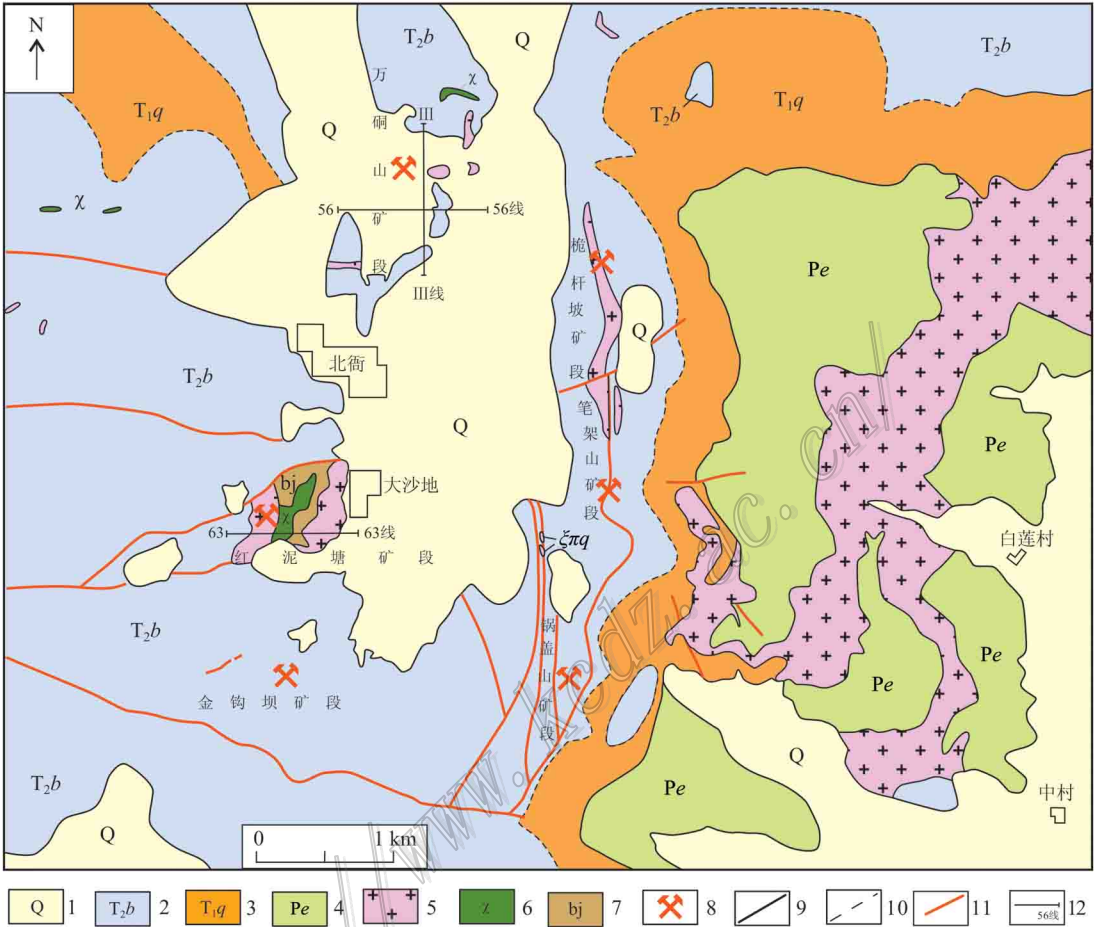


图 2 北衙金多金属矿区地质简图(据云南黄金矿业集团股份有限公司,2011)

1—第四系沉积物; 2—三叠系中统北衙组碳酸盐岩; 3—三叠系下统青天堡组砂岩; 4—二叠系峨眉山组玄武岩; 5—石英正长斑岩;
6—煌斑岩脉; 7—爆破角砾岩; 8—矿床; 9—地质界线; 10—不整合界线; 11—断裂; 12—剖面位置及编号

Fig. 2 Simplified geological map of the Beiya Au-polymetallic orefield (modified after Yunnan Gold and Minerals Group Co., Ltd., 2011)

1—Quaternary sediments; 2—Limestone of Middle Triassic Beiya Formation; 3—Sandstone of lower Triassic Qintianbao Formation;
4—Basalt of Permian Eenshan Formation; 5—Quartz K-feldspar porphyry; 6—Lamprophyre vein; 7—Cryptoexplosive Breccia; 8—Deposit;
9—Geological boundary; 10—Unconformity; 11—Fault; 12—Position of profile and its number

北长 470 m, 东西宽 30~65 m, 地表以下 100 m 岩体膨大, 向 SW 侧伏, 呈岩株产出, 岩石类型以石英正长斑岩为主, 常有煌斑岩脉穿插。上盘接触带产状较平整, 下盘接触带构造发育, 产状及形态较复杂。接触带矽卡岩发育, 沿岩体边缘分布。矿体主要赋存于岩体与围岩接触的矽卡岩蚀变带中, 其次赋存于北衙组(T_{2b})碳酸盐岩内的构造破碎(裂隙)带或向斜虚脱带、北衙组(T_{2b})碳酸盐岩与青天堡组

(T_{1q})碎屑岩接触面附近的硅钙面、北衙组(T_{2b})或岩体与第四系不整合面, 另外, 在岩体和围岩的裂隙中也有脉状矿体零星产出。其中主矿体 KT52 矽卡岩型矿体, 是矿区(段)规模最大的矿体, 查明金资源储量>200 t。矿体总体沿万铜山石英正长斑岩体与北衙组(T_{2b})碳酸盐岩内、外接触带矽卡岩环状分布(图 3), 严格受矽卡岩带控制, 另有 4 个分支延伸于碳酸岩围岩内。矿体南北走向长 1680 m, 东西宽

113~1420 m。矿体产状随石英正长斑岩体与围岩接触带产状同步变化,矿体形态复杂,产状变化大。矿体厚 1.89~115.26 m,平均 11.94 m。平均 $w(\text{Au})$ 为 2.63 g/t、 $w(\text{TFe})$ 为 36.85%、 $w(\text{Cu})$ 为 0.61%、 $w(\text{Pb})$ 为 0.89%、 $w(\text{Zn})$ 为 0.28%、 $w(\text{Ag})$ 为 40 g/t。主要矿石矿物为磁铁矿、黄铁矿、菱铁矿、赤铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿、方铅矿、斜方辉铅铋矿、闪锌矿、辉钼矿等;脉石矿物主要有石英、黑云母、钙铁榴石、透辉石等。

2.3 矿床成因类型

北衙金多金属矿床与喜马拉雅期富碱斑岩有着密切的成因联系,金属矿种类复杂,产出金、铜、铁、铅、锌、银、钼等多矿种。随着空间位置、成矿期和成矿作用的不同,表现出不同的成矿方式。在岩体与

碳酸盐岩接触带上接触交代作用显著,远离岩体的围岩内主要以热液充填、交代成矿作用为主,而其内生矿体在地表进一步被表生成矿作用所改造,且不同成矿类型的矿体在空间重叠,或独立存在。依据矿床的成矿作用、矿体赋存部位、控矿构造、容矿岩石、矿化蚀变、矿物组合、矿石结构构造、成矿时代、成矿作用等因素将矿床成因分为“二型五类”(和中华等,2013a)。“二型”:主体以 Au 为主、同体共伴生 Fe、Cu、Pb、Zn、Ag,与喜马拉雅期富碱斑岩有关的矽卡岩-热液型金多金属矿床,其次为表生作用形成的残坡积型铁金矿床。“五类”:① 产于斑岩与北衙组(T_2b)碳酸盐岩接触带的矽卡岩型铜、铁、金矿床;② 产于围岩北衙组(T_2b)碳酸盐岩的构造破碎带、向斜翼部虚脱带、裂隙带中的构造破碎带型金、铁、

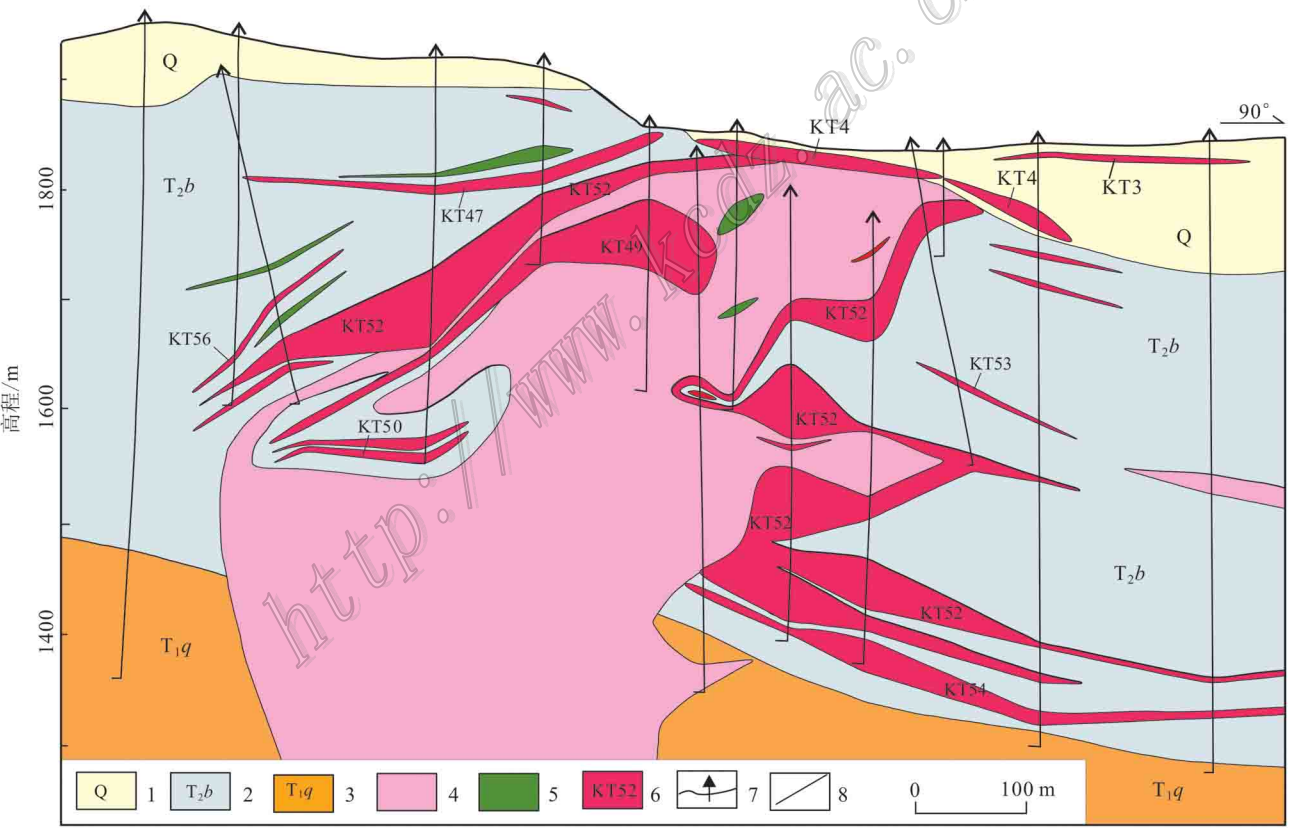


图 3 北衙金多金属矿区万洞山矿段 56 勘探线剖面 KT52 矿体示意图(据和中华等,2013a)

1—第四系沉积物; 2—三叠系中统北衙组碳酸盐岩; 3—三叠系下统青天堡组砂岩; 4—石英正长斑岩; 5—煌斑岩脉; 6—矿体及编号; 7—钻孔; 8—地质界线

Fig. 3 Cross section of orebodies along No. 56 exploration line in the Beiya Au-polymetallic orefield (modified after He et al., 2013a)

1—Quaternary sediments; 2—Limestone of Middle Triassic Beiya Formation; 3—Sandstone of lower Triassic Qintianbao Formation; 4—Quartz K-feldspar porphyry; 5—Lamprophyre vein; 6—Orebody and its serial number; 7—Drill hole; 8—Geological boundary

铅、锌、银矿床；③ 产于北衙组(T_2b)碳酸盐岩与青天堡组(T_{1q})碎屑岩接触面附近虚脱带的硅钙面型铜、铁、金、铅、锌、银矿床；④ 产于围岩北衙组(T_2b)碳酸盐岩、青天堡组(T_{1q})碎屑岩裂隙带中的脉型铁矿床和金矿床；⑤ 产于第四系更新统蛇山组(Q_1s)底、顶板与三叠系上统北衙组及更新统(Q_p)的不整合接触面附近表生作用成因的残坡积型金、铁矿床。

上述 5 种类型成因的矿床，即构成北衙“五位一体”的金多金属矿床。矿区不同类型的矿体成矿物质以及成矿流体来源比较一致，均与矿区的新生代富碱斑岩体有关。因此，北衙金多金属矿区尽管类型多样，但成因上是有内在联系的。

2.4 矿床模型

根据北衙矿区的地质环境及矿床地质特征，参照美国地质调查所考斯特等(1986)的矿床模式描述方法，现将北衙金多金属矿床进行描述性矿床模型总结(表 1)。

3 矿床勘查模型

矿床勘查模型是根据控矿地质条件、找矿标志、矿床成因、有效的地球物理、地球化学、遥感地质等勘查技术方法等资料而建立的应用于矿产预测及普查评价的矿床综合模型(施俊法等，2010；唐菊兴等，2011；毛景文等，2012)。本文试图在前人工作基础

上，侧重于通过描述性地质勘查模型、地球物理模型等经验模型，结合找矿标志，反映和总结北衙金多金属矿床普查找矿模型。

3.1 地质勘查模型

3.1.1 区域地质

北衙金多金属矿床的大地构造位置处于扬子陆块、德格-中甸陆块与兰坪-思茅陆块 3 个 I 级构造单元结合部东侧，地处扬子陆块西缘的丽江陆缘褶-断带西南缘的鹤庆陆缘拗陷，被夹持于 NNW 向金沙江-红河断裂、SN 向宾川-程海断裂和 NE 向丽江-木里断裂之间。古新世以来印度-欧亚大陆的碰撞产生的巨大应力，金沙江-红河等深大断裂在新生代发生大规模走滑拉分，岩石圈地幔发生减薄，沿着走滑断裂带诱发了一系列的岩浆侵入，形成了沿金沙江-红河断裂展布的延伸规模巨大的金沙江-红河富碱斑岩带和金沙江-哀牢山钾质斑岩型多金属成矿带，北衙金多金属矿床处于该成矿带中南部的松桂-北衙富碱斑岩群(区)和北衙多金属矿田内。

3.1.2 构造控矿要素

区内多级构造体系控制本区金多金属矿带、矿田、矿区、矿体及矿化类型的分布。区域性的一级构造单元控制了矿区岩浆岩的分布，从而也控制了多金属矿带的展布。新生代印度板块与欧亚大陆的汇聚和碰撞，使沿金沙江-哀牢山缝合带发生了大规模的走滑剪切作用和新生代钾质岩浆活动，形成了

表 1 北衙金多金属矿床模型
Table 1 Metallogenic model of the Beiya gold-polymetallic deposit

特征描述		
总述	钙质碳酸盐岩接触变质中的磁铁矿、黄铁矿、菱铁矿、赤铁矿、黄铜矿、方铅矿等，以及与富碱斑岩有关的伴生破碎带(裂隙带)	
地质环境	岩石类型	石英正长斑岩、碳酸盐岩(泥质灰岩、白云质灰岩)
	岩石构造	侵入岩中的斑状结构、沉积岩中的细状变晶粒结构
	地质时代	始新世—渐新世
	成矿环境	富碱斑岩侵入体与碳酸盐岩的接触带、构造破碎带、不整合构造
	构造背景	大陆边缘、区域深大断裂旁侧次级断裂附近、造山晚期岩浆作用
伴生矿床类型		
矿床描述	矿物组合	磁铁矿 + 黄铁矿 + 菱铁矿 + 黄铜矿 + 方铅矿 ± 赤铁矿 ± 闪锌矿 ± 磁黄铁矿(银金矿、自然金、自然银为重要矿物)
	结构构造	他形粒状结构、块状构造
	蚀变作用	岩体内有钾化、硅化、绢云母化，岩体至围岩，出现有富碱斑岩岩体→石榴子石辉石斑岩带→磁铁矿(金铜矿化)带→透辉石石榴子石矽卡岩带→透辉石矽卡岩带→大理岩化灰岩带→碳酸盐
	控矿条件	碳酸盐岩与富碱斑岩接触带、岩体附近构造破碎带、裂隙带、向斜虚脱构造、不同岩性界面、不整合构造面
风化		
地球化学和地球物理特征		
具有强烈的褐铁矿化，出露地表的残坡积型含金褐铁矿体是良好的找矿标志		
Pb、Zn、Cu、W、Sn、As、Au、Cr、Fe、Sb、Ag、As 异常及磁异常		

规模巨大的金沙江-哀牢山富碱斑岩带,从而控制了金沙江-哀牢山多金属矿带的展布;二级构造控制了北衙金多金属矿田的分布。矿床处于扬子板块西缘,被夹持在NE向丽江-木里断裂和宾川-程海断裂NNW向金沙江-红河断裂之间。位于这些断裂附近的松桂-北衙富碱斑岩群(区)控制了北衙金多金属矿田的分布;三级构造控制了矿床的空间分布范围。NNW向的松桂-邓川断裂(马鞍山断裂)控制了铺台山、万硐山、大沙地、焦石洞、老马涧等环状斑岩体产出。近EW向隐伏构造控制着由西向东分布的南大坪、马头湾、红泥塘、大沙地、笔架山、白莲村等斑岩体的产出。北衙向斜控制了矿区富碱斑岩及金多金属矿床的赋存空间。

北衙矿区构造类型上,不仅有不同方向、不同规模和性质的次级断裂(构造破碎带),还有褶皱、层面构造及层间破碎带、裂隙带、岩体与围岩的接触带构造、不整合构造、古岩溶构造、古风化壳构造等。构造的组合形式上,既有单个构造独立控制,又有多个构造复合控制。在岩体接触带构造、破碎带、裂隙、北衙向斜核部虚脱部位、岩性差异界面附近等成矿有利空间,形成了矿床中各类型的矿化和不等规模的矿体;新近纪晚期构造的抬升以及北衙山间盆地的形成、岩溶堆积作用控制了外生金矿的形成。风化剥蚀等表生作用使早期形成的金多金属矿体遭受强烈的改造,在第四系更新统蛇山组(Q_1s)及更新统(Q_p)与三叠系北衙组(T_2b)不整合接触面附近富集成表生矿。

3.1.3 岩浆岩控矿要素

北衙矿区石英正长斑岩控制着矿化类型(矿体)呈环带状分布,在空间上呈现为:从斑岩内部→接触带→外带→远程,出现产于斑岩与北衙组(T_2b)碳酸盐岩接触带的矽卡岩型金铜铁矿体→矽卡岩型金铁矿体→产于围岩破碎带或裂隙带中的蚀变灰岩型金铁铅银矿体→灰岩型铅银矿体→第四系中外生风化形成的砂砾黏土型金铁矿,构成围绕喜马拉雅期富碱斑岩呈环带状分布的以矽卡岩型为主体的成矿系统模型。岩体对矿化的控制可表现为:围绕石英正长斑岩与北衙组碳酸盐岩接触带产出的矽卡岩型金多金属矿体在矿区形成规模最大的矿体(KT52),而且岩体产状的变化和接触带形态,控制了矿体的分布、产状、形态及规模。在产状变化大、内弯部位矿化强,矿体厚度大品位高。接触带产状直立、形态平整或外凸部位矿化弱,矿体厚度小,品位低(和中华

等,2013a)。

石英正长斑岩的控矿作用还表现在成矿流体方面。矿床 $\alpha(Re)$ 为 $(20.27 \pm 0.16 \times 10^{-6})$ 相当于壳幔混合源岩浆矿床Re的含量,暗示了有地幔物质参与了北衙矿床的成矿作用。矿体中黄铁矿和黄铜矿的 $\delta^{34}S$ 值在 $-6.6\‰ \sim 4.5\‰$ 之间, $^{206}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{207}Pb/^{204}Pb$ 、 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 比值分别为 $17.969 \sim 18.642$ 、 $15.226 \sim 15.837$ 、 $37.591 \sim 39.543$,与富碱斑岩的Pb同位比值基本相似(葛良胜等,2002;吴开兴等,2005;肖晓牛等,2011)。脉石矿物方解石的 $\delta^{13}C$ 值和 $\delta^{18}O$ 值分别为 $-5.05\‰$ 和 $11.57\‰$,与幔源碳同位素和岩浆水的氧同位素组成相当(肖晓牛等,2009)。另外,石英正长斑岩还展现了较强的氧化性,因此有利于成矿元素的萃取与富集。成矿流体特征表明,成矿物质与成矿流体,均具有深部岩浆来源,矿区石英正长斑岩的岩浆作用不仅为含矿流体的上升提供了动力和热能,而且也成矿作用提供了丰富的金、铜等成矿物质(和文言,2014)。

3.1.4 地层及岩性控矿要素

矿区矿体产出空间部位及容矿岩石主要为三叠系中统北衙组(T_2b)不纯碳酸盐岩分布区及碳酸盐岩与岩体接触交代形成的矽卡岩和层间破碎带蚀变岩石。北衙组(T_2b)不纯碳酸盐岩化学性质活泼,岩溶构造发育,但其力学性质为刚性,在应力作用下不易变形,往往构造破碎带、裂隙带发育,形成了含矿流体运移的通道以及成矿物质沉淀的空间。在斑岩接触带,含矿热液交代了碳酸盐岩,形成矽卡岩型金多金属矿体;远离斑岩体,含矿热液则沿构造破碎带、裂隙带贯入,形成似层状、透镜状、脉状金多金属矿体;在岩性界面即硅钙面((T_2b)碳酸盐岩与(T_1q)碎屑岩接触面)附近形成透镜状-似层状金铅银矿体,而在碎屑岩(T_1q)中基本不形成矿体。

矿区三叠系下统青天堡(T_1q)碎屑岩微量元素特征与泰勒地壳平均值相比,相对贫Au、Ag、Mn,而富Cu、Pb、Zn、Sn、As、Sb、Bi、Hg,分别高出几十至几百倍。矿化岩石与非矿化岩石相比,Au、Ag、Cu、Pb、Zn、As、Sb、Bi、Hg等元素均有所富集,其中Cu、Pb、Zn、As、Sb富集更为明显。暗示在矿区及外围青天堡(T_1q)砂页岩中存在着广泛的岩浆热液流体活动(曾普胜等,2008)。但由于碎屑岩化学性质不活泼,不利于矿质的沉淀,所以基本不形成矿体。而 T_2b/T_1q 界面为地层岩性差异大的硅钙面,形成成矿地球化学障,利于成矿物质的卸载和沉淀,所以该硅钙

面及附近成为矿区重要的金铁铜多金属矿体的赋存部位。

矿区三叠系中统北衙组(T_2b)远矿围岩中Au的丰度值与外围背景值相当,变化在 $0.5 \times 10^{-9} \sim 3 \times 10^{-9}$ 之间。作为近矿围岩,即硅化、铁化、矽卡岩化灰岩中,Au的丰度增至几十克/吨到几百克/吨,高出背景值几十到上百倍,它们一般沿矿化带走向分布,向两侧扩展。显然矿区内成矿元素的异常是岩浆侵入和含矿热液作用所致,而与地层中这些元素的原始丰度无关(曾普胜等,2008)。

3.1.5 成矿元素分带标志

成矿元素从岩体内部向外→接触带→外带,元素组合为:Cu-Au→Au-Cu-Fe→Au-Fe→Au-Fe-Pb-Ag→Pb-Ag(Au);从深部到地表,元素组合Cu(Au)→Cu-Au→Au-Cu-Fe→Au-Fe-Pb-Ag。元素的分带,反映了从高温→低温元素组合的变化规律(和中华等,2013a)。矿床形成与与马拉雅期富碱斑岩密切相关,矿体主要产于富碱斑岩与三叠系中统北衙组(T_2b)碳酸盐岩接触带的矽卡岩内,其次产于围岩的破碎(裂隙)带、向斜虚脱带中,岩体内零星产有脉状、囊状矿体。

3.1.6 蚀变分带标志

自斑岩体至北衙组(T_2b)围岩,出现有富碱斑岩岩体→石榴子石辉石斑岩带→磁铁矿(金铜矿化)带→透辉石石榴子石矽卡岩带→透辉石矽卡岩带→大理岩化灰岩带→碳酸岩。与之对应的主要蚀变矿物组合为:硅化(石英)+绢云母化带→石榴子石+辉石+钾长石化带→绿泥石+绿帘石+黄铁矿+磁铁矿+黄铜矿化带→透辉石+石榴子石+绿泥石+磁铁矿+菱铁矿+黄铜矿化带→透辉石+菱铁矿+赤铁矿化带→方铅矿、碳酸岩(方解石)化带→碳酸岩(方解石)化带。

3.2 地球物理勘查模型

3.2.1 区域地球物理

根据1:100万区域重力资料反映,沿大理-河西、剑川-丽江、永胜-宾川一带,区域布格重力异常等值线分别与金沙江-红河、木里-丽江、程海-宾川断裂带吻合,北衙矿床均位于异常等值线走向,由北北东转折为南东向构成的东西向鼻状倾伏端上,即基底隆起与槽状拗陷的边缘地带,较好的反映出本区构造成矿带特点。北衙矿区1:50000重力测量成果显示,重力场趋势总体表现为西低东高、北低南高,梯度分带明显,是处于一个南北向的基底凹陷区,而向

南逐渐抬高。北衙地区富碱斑岩具有明显的重力低异常。

区域航磁资料反映,丽江-北衙金多金属成矿带处于南北向磁力高值转向平静低缓负磁场过渡带,显示成矿带位于两大构造单元(扬子陆块与思茅陆块)过渡带。

区域遥感影像特征,该区呈近南北向-北东向带状影像,夹持在剑川大断裂和程海深断裂之间,其内以平行排列、首尾相连的构造透镜体为主体的构造影像带,显示为强烈的挤压带。北衙矿区位于南北向长约45 km、东西宽30 km的近南北轴向的南无山环形构造的南东部位。南无山环形构造为一复式环形构造,其南部横叠有近东西轴向的北衙透镜状环形构造,东西长约16 km,南北宽约9 km。另外,在团树村-北衙-马头湾一带,显示有圆形、似圆形或弧线形渐变异常环形影纹,基本与岩体及蚀变分布范围对应,其中红泥塘环形影像罩于红泥塘岩体之上,直径0.5 km,岩体边部显灰色蚀变环。

区域地球物理特征对了解区内岩浆活动、选定找矿靶区,开展预查工作起到指导作用。

3.2.2 矿区地球物理

(1) 1:10 000 高精度磁测

矿区1:10 000高精度磁测工作表明,在平静的区域磁场中圈定万硐山、红泥塘、金沟坝、桅杆坡、笔架山等多个强磁异常(图4),强度在 $-700 \sim 1400$ nT,正负伴生,异常面积 $0.2 \sim 3.0$ km²,其中以万硐山、红泥塘磁异常规模为最大,次为金沟坝、桅杆坡、笔架山。万硐山、红泥塘、金沟坝磁异常分布在北衙向斜西翼,桅杆坡、笔架山磁异常分布在北衙向斜东翼。根据岩(矿)石磁性测定结果,矽卡岩及矽卡岩型铁金多金属矿磁性最强,磁化率(k) $2249 \times 10^{-6} \sim 167\,740 \times 10^{-6}$ SI,剩磁(J_r) $286 \times 10^{-3} \sim 76\,896 \times 10^{-3}$ A/m,灰岩、砂岩、石英正长斑岩属弱磁性体,风化红土、爆破角砾岩、玄武岩具有中等磁性,矿体与围岩磁性差异明显。矿区异常面积小、强度低、梯度变化大的异常一般反映浅部磁性体,如桅杆坡、笔架山磁异常,异常面积大、强度高、梯度变化小的规则异常反映深部磁性体,如万硐山、红泥塘磁异常,经钻孔控制证实万硐山、红泥塘强磁异常由矽卡岩型铁金多金属矿体形成。

万硐山磁异常(ΔT)面积大、强度高,异常面积约2.5 km²,极大值2000多nT,异常形态规则,总体形态呈椭圆形,长轴900 m,短轴800 m。梯度变化较小,正负异常相伴,南正北负。含金磁(褐)铁矿

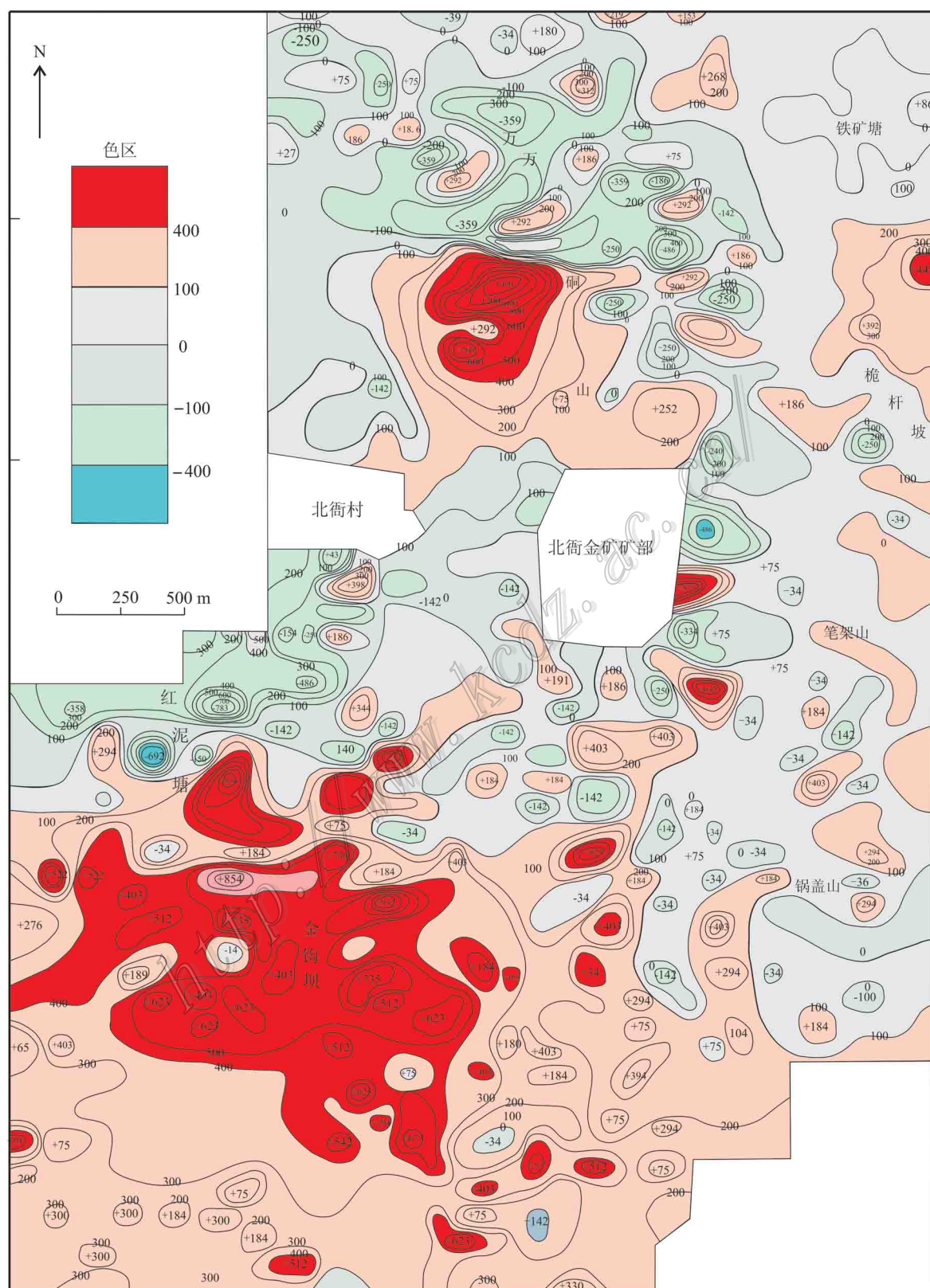


图 4 北街金多金属矿区 1:10 000 磁异常图(据云南黄金矿业集团股份有限公司, 2014)

Fig. 4 Magnetic anomaly map (1:10 000) of the Beiya Au-polymetallic orefield (modified after Yunnan Gold and Minerals Group Co., Ltd., 2014)

脉属强磁性,磁化率(k) $2249 \times 10^{-6} \sim 167\,740 \times 10^{-6}$ SI 剩磁(J_r) $286 \times 10^{-6} \sim 76\,896 \times 10^{-3}$ A/m。据上述磁异常特征、岩矿石磁性特征、地质特征,经综合分析认为,地表出露含金磁(褐)铁矿脉不可能形成面积大强度高的磁异常,万铜山磁异常应该由隐伏矽卡岩型磁(褐)铁矿体形成,形成磁异常的磁性体(矽卡岩型磁、褐铁矿体)走向近南北,走向长900 m,宽300~800 m。万铜山磁异常围绕着万铜山岩体(隐伏)的顶部及边部分布,磁异常由矽卡岩型铁金矿体形成,磁异常范围与KT52矿体(岩体)的范围基本一致。北衙矿床普遍含铁矿物且含量高是其重要地质特征,矿石中磁铁矿一般在20%以上,另有大量磁黄铁矿、黄铁矿、菱铁矿、赤铁矿、褐铁矿等,因此矿体磁性反应较强。高精度磁测是北衙矿区普查-详查阶段最有效的物探方法,强磁异常能准确定位岩体接触带“矽卡岩型”矿体的位置,中—弱磁异常,能定位“构造破碎带型”和“残坡积型”的矿体。

(2) 1:10 000 激电测量

矿区最有效、最经济的物探方法是磁法,但激电在已知矿体(万铜山)上开展方法技术研究,其成果在矿体(斑岩型、矽卡岩型、层间破碎带型)上出现明显的视充电率、视电阻率异常(图5)斑岩体(斑岩型铜金矿体)上出现低阻高极化异常,视充电率(M_s):6%~8%,视电阻率(ρ_s):50~120 $\Omega \cdot m$;矽卡岩型铁金矿体上出现低阻高极化异常,视充电率:5%~7%,视电阻率:120 $\Omega \cdot m$ 左右;层间破碎带型铅银金矿体上出现高阻中极化异常,视充电率:3.5%~5%,视电阻率:400~900 $\Omega \cdot m$,高阻异常主要由中三叠系北衙组(T_2b)白云质灰岩、白云岩形成。激电勘查在矿区详查阶段配合高精度磁测等其它物探方法,可以较准确圈定矿体空间位置。

(3) 可控源音频大地电磁测深

矿区可控源音频大地电磁测深成果显示,卡尼亚电阻率在各个地质体(斑岩、白云质灰岩、砂岩、矽卡岩型铁金矿体)上形成不同的异常,在斑岩体上形成形态不规则的低阻异常,卡尼亚电阻率:10~40 $\Omega \cdot m$;在(T_2b)白云质灰岩上形成近水平状的高阻异常,卡尼亚电阻率(ρ_c):100 $\Omega \cdot m$ 至数千 $\Omega \cdot m$;在(T_2q)砂岩上形成近水平状的低阻异常,卡尼亚电阻率:80~100 $\Omega \cdot m$;矽卡岩型铁金矿体产于形态复杂的高、低阻梯度变化带上;深部(1300~1400 m 标高以下)的相对高阻(卡尼亚电阻率为100

~160 $\Omega \cdot m$)异常,可能为二叠系上统峨眉山组玄武岩形成。卡尼亚电阻率从矿化中心(斑岩体)→接触带(矽卡岩带)→外带(层间破碎带)→远程(地层),由低变高,在斑岩体与(T_2b)白云质灰岩的接触带附件形成梯度变化带。该方法可有效探测深部有利的控矿地段(杨剑等,2014)。电法勘查(大功率激电、可控源音频大地电磁测深)为矿区详查阶段,对斑岩体及斑岩与围岩接触带(蚀变带)进行较准确定位。

3.3 地球化学勘查模型

3.3.1 区域地球化学

(1) 1:20 万水系沉积物测量

根据区域地球化学分区,本区属宁蒗-大理铜多金属区,1:20 万水系沉积物测量结果显示,区内Au、Pb、Zn、Ag、Sb、As等元素含量较高。

在矿区及外围的焦石洞、水井、芹菜场、西邑、松桂一带,分布有高强度的金异常,浓集中心明显,并形成与Ag、Pb、Zn、As、Hg等元素相伴产出的综合异常(图6)。

特别是已知矿床(点)地球化学异常规模大,元素组合及分带与矿区围岩蚀变密切相关,一般在浅剥蚀区地表有以Pb、Zn、Ag为主的垂直分带,深剥蚀区则有环状水平分带,由内向外为Mo-Cu-Au-Ag-Pb-Zn同心环状地球化学晕。化探组合异常的分布范围与富碱斑岩体的出露范围相一致,并且与南无山环形构造也大体相当,说明富碱斑岩活动范围与该区地球化学异常的展布一致。以马头湾-芹菜塘为核心是Cu、Mo矿化,外围南大坪-团树村-北衙为Au矿化,在外层老马涧-山西村东-炭窑北为Pb、Zn矿化,显示出斑岩型矿化特征的完整系列。

(2) 1:50 000 土壤化探测量

1:50 000 土壤地球化学测量范围120 km²,采样密度4件/km²,采样介质为B层土壤,分析元素Au,分析方法为原子吸收。Au元素平均值(2.6×10^{-9}),标准离差($S:3.2$),变化系数($C_v:3.5$)均较大。表明Au元素在土壤中的富集强度和富集能力比较高。北衙金异常形态呈椭圆形,面积大,约11 km²,异常强度高,极大值 2900×10^{-9} ,异常梯度变化大,形成万铜山、红泥塘、笔架山3个浓集中心(图7),以万铜山、红泥塘、笔架山3个浓集中心为起点形成万铜山-笔架山、红泥塘-笔架山2个浓集带。异常区主要分布在三叠系中统北衙组(T_2b)灰岩、白云质灰岩及白云岩与喜马拉雅期石英正长斑岩($\xi\pi_6$)出露区,岩体与围岩接触带附近多发生矽卡岩化、大理

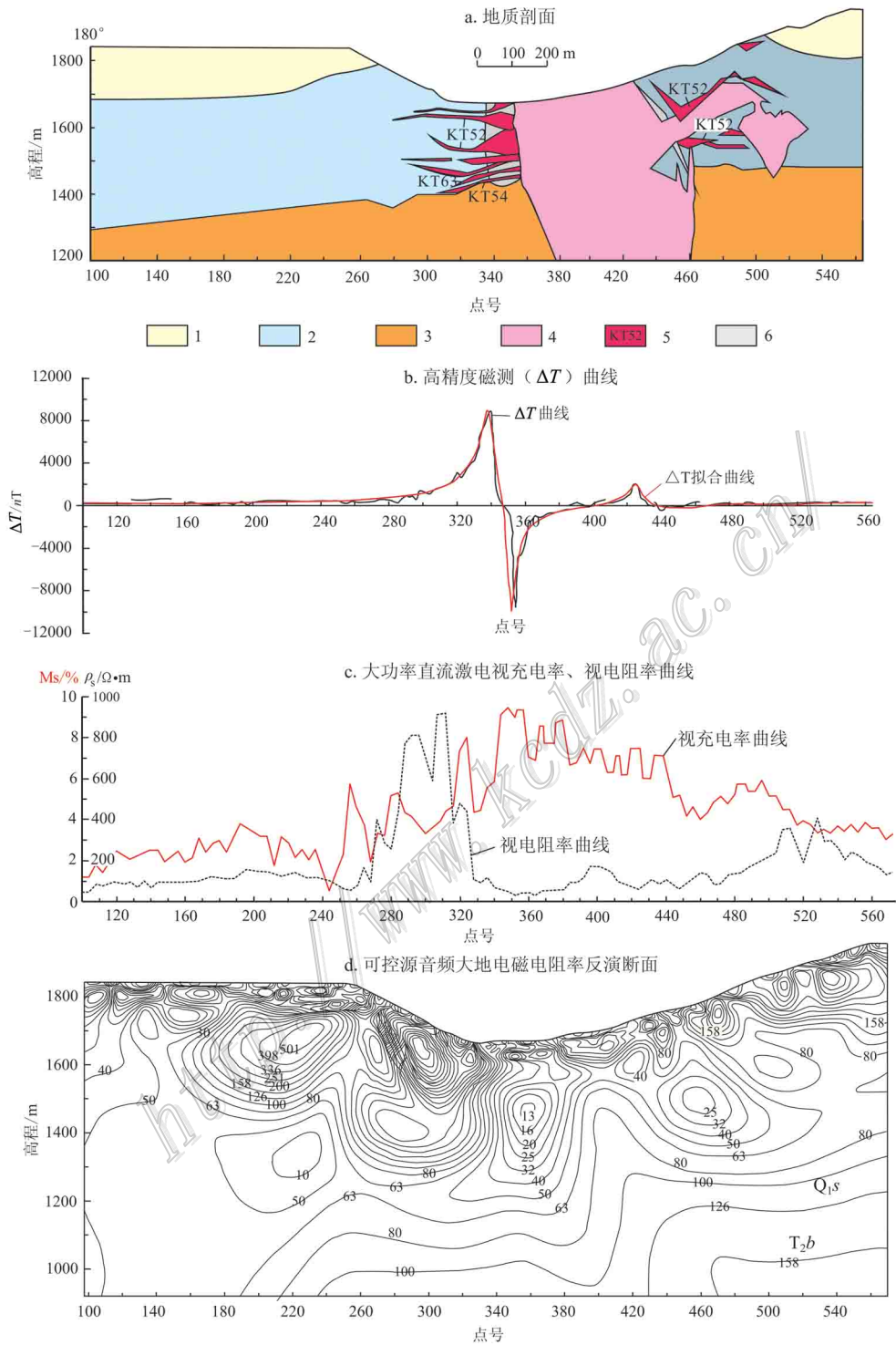


图 5 北衙铁金多金属区矿区万洞山矿段纵Ⅲ线地质(a)及物探勘查(b~d)综合剖面图
(据云南黄金矿业集团股份有限公司, 2014)

1—第四系沉积物; 2—三叠系中统北衙组碳酸盐岩; 3—三叠系下统青天堡组砂岩; 4—石英正长斑岩; 5—矿体及编号;
6—二度半反演磁性

Fig. 5 Integrated geological (a) and geophysical section (b~d) along No. III exploration line of Wangdongshan ore block in the Beiya Au-polymetal orefield (modified after Yunnan Gold and Minerals Group Co., Ltd., 2014)

1—Quaternary sediments; 2—Limestone of Middle Triassic Beiya Formation; 3—Sandstone of lower Triassic Qintianbao Formation;
4—Quartz K-feldspar porphyry; 5—Orebody and its serial number; 6—Inversion magnetic model

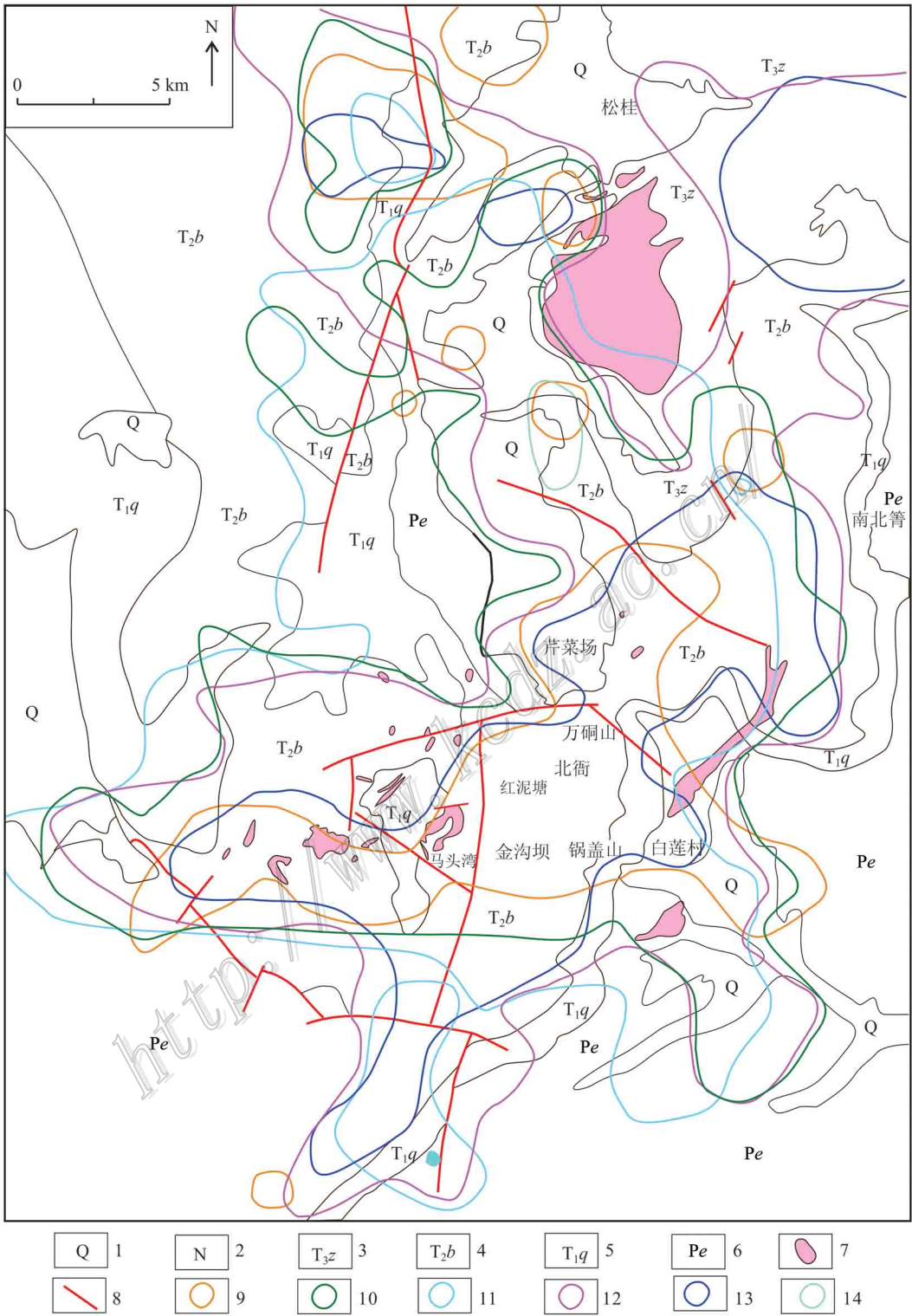


图 6 北衙地区区域化探异常图(据云南黄金矿业集团股份有限公司,2011)

1—第四系沉积物; 2—新近系砂岩及砾岩; 3—三叠系上统中窝组碳酸盐岩; 4—三叠系中统北衙组碳酸盐岩; 5—三叠系下统青天堡组砂岩; 6—二叠系峨眉山组玄武岩; 7—石英正长斑岩; 8—断层; 9—金异常; 10—银异常; 11—铅异常; 12—锌异常; 13—砷异常; 14—锑异常

Fig. 6 Geological and geochemical anomaly maps of Beiya area (modified after Yunnan Gold and Minerals Group Co., Ltd., 2011)

1—Quaternary sediments; 2—Neogene sandstone and conglomerate; 3—Limestone of Upper Triassic Zhongwo Formation; 4—Limestone of Middle Triassic Beiya Formation; 5—Sandstone of Lower Triassic Qiantianbao Formation; 6—Basalt of Permian Eenshan Formation; 7—Quartz K-feldspar porphyry; 8—Fault; 9—Gold anomaly; 10—Silver anomaly; 11—Lead anomaly; 12—Zinc anomaly; 13—Arsenic anomaly; 14—Antimony anomaly

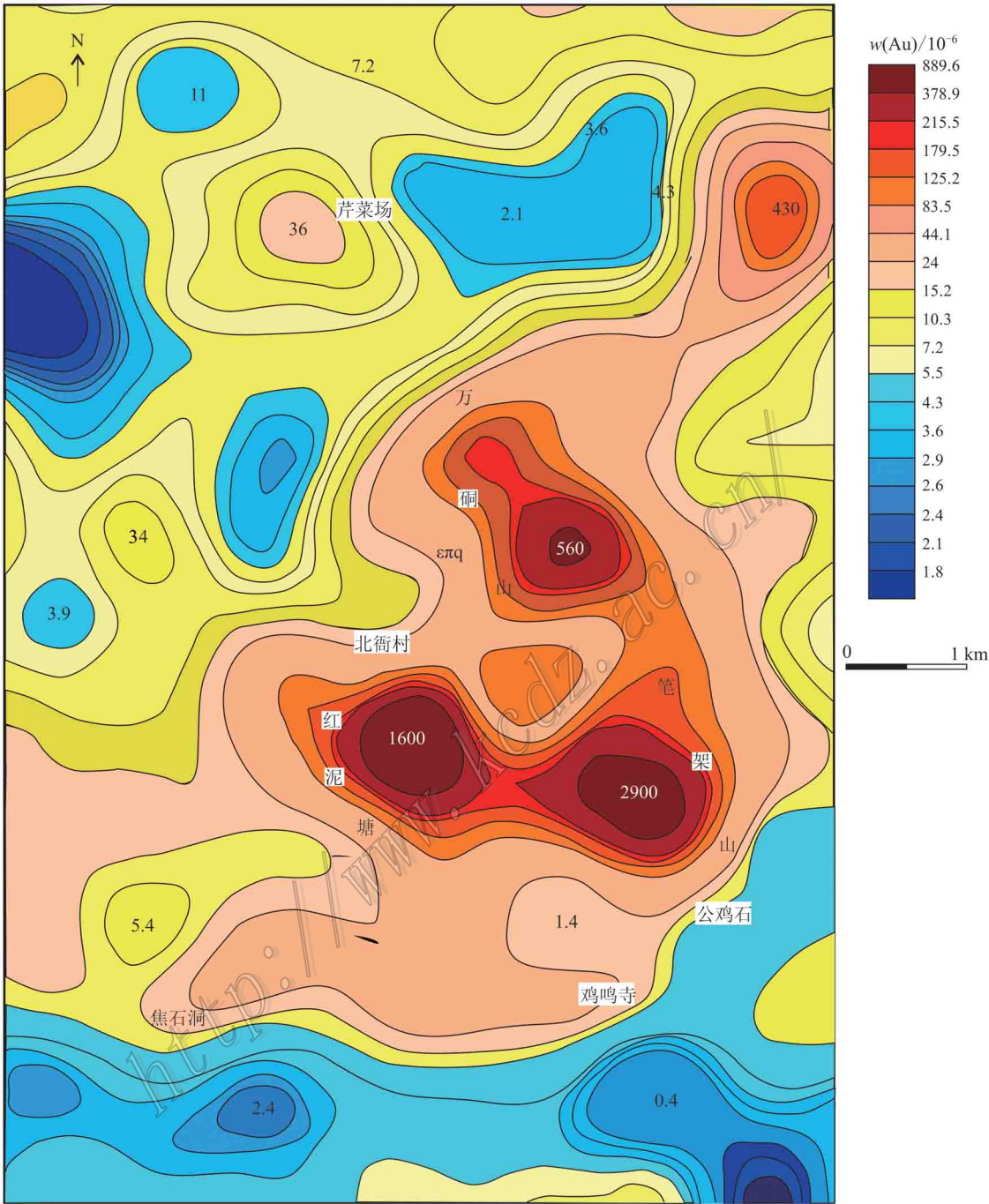


图 7 北衙地区土壤化探测量 Au 异常图(据云南黄金矿业集团股份有限公司,2011)

Fig. 7 Soil geochemical Au anomaly map of Beiya area (modified after Yunnan Gold and Minerals Group Co., Ltd., 2011)

岩化、硅化、铁化。Au 元素异常的分布特征表明金矿化主要与石英正长斑岩($\xi\pi_6$)侵入有关。

3.3.2 矿区岩石地球化学测量

岩石测量元素地球化学特征(蔡新平等,2001)显示,石英正长斑岩($\xi\pi_6$)与北衙组(T_2b)灰岩、白云质灰岩及白云岩接触带附近的矽卡岩、铁化灰岩等

富 Au、Cu、Ag、Pb、Zn、Mn、As、Sb、Bi、Hg、W, 贫 Sn、Mo; 远离接触带的灰岩、白云质灰岩及白云岩中, Ag、Pb、Zn、As、Sb、Hg 等元素偏高, Au、Cu、Mo、V、Ti、Ni、Co、Cr 等元素偏低。

万铜山矿段 1:10 000 岩石剖面测量元素地球化学特征显示(图 8), 远离矿化石英正长斑岩的三叠系

中统碳酸盐岩、碎屑岩的 Au、Cu、Ag、Pb、Zn、Mn、As、Sb、Bi、Hg、W、Sn、Mo 等微量元素无明显异常，与泰勒地壳平均值相近。在矿化石英正长斑岩及外

围蚀变带上 Au、Cu、Ag、Pb、Zn、Mn、As、Sb、Bi、Hg、W、F 等元素均出现明显异常，Sn、Bi、Mo 元素无异常显示；元素的水平分带由岩体向围岩内为：W、Au、

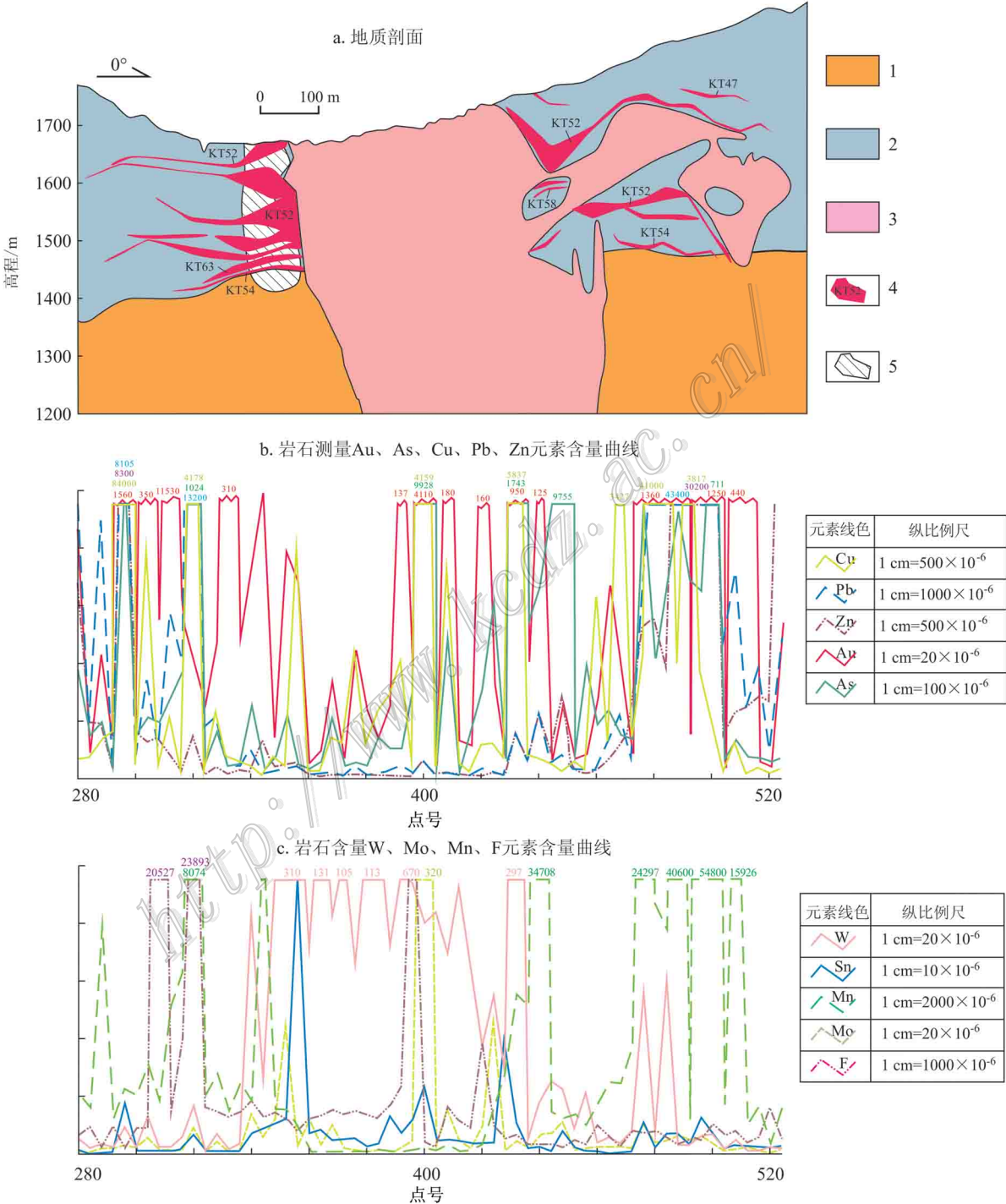


图 8 北衙铁金多金属矿区万洞山矿段纵Ⅲ线地质(a)及化探勘查(b,c)综合剖面图(据云南黄金矿业集团股份有限公司,2014)

1—三叠系中统北衙组碳酸盐岩; 2—三叠系下统青田堡组砂岩; 3—石英正长斑岩; 4—矿体及编号; 5—二叠半反磁性

Fig. 8 Integrated geological (a) and geochemical section (b,c) along No. III exploration line of Wangdongshan ore block in the Beiya Au polymetallic orefield (modified after Yunnan Gold and Minerals Group Co., Ltd., 2014)

1—Limestone of Middle Triassic Beiya Formation; 2—Sandstone of lower Triassic Qintianbao Formation; 3—Quartz K-feldspar porphyry; 4—Qrebody and its serial number; 5—Inversion magnetic model

Cu→Ag、Pb、Zn→Mn、As、Sb、Hg、F。

矿区元素地球化学特征显示 As、Sb、Hg、F 元素异常与钾化、硅化、绢云母化等蚀变有关,W 元素异常与蚀变矿化岩体有关,Mn 元素异常与铁锰矿化有关,Au、Cu、Ag、Pb、Zn 异常与金多金属矿(化)有关。在地表露头矿或近地表矿上,出现强 As、Sb、Hg、F、Au、Cu、Ag、Pb、Zn 元素异常;在隐伏矿上,出现强 As、Sb、Hg、F 元素异常及 Au、Cu、Ag、Pb、Zn 元素弱异常。应用各元素异常的分布及组合特征结合地质、地球物理异常特征可进行勘查区成矿预测。

3.4 综合勘查模型

本文通过对矿床成矿地质背景、地球物理和地球化学特征、控矿因素、成矿作用、矿化类型、蚀变分带、矿床成因类型及成矿模式,以及大量的地质勘查和科研成果的总结,建立了北衙与喜马拉雅期富碱斑岩体有关的矽卡岩热液型金多金属矿床的地质、地球物理、地球化学综合勘查模型(表2)。

北衙金多金属矿的主要矿体赋存在矽卡岩中,矽卡岩及矽卡岩型多金属矿体具有强磁性,高精度磁测在矽卡岩(矽卡岩型多金属矿)体上能形成规则的强磁异常,依据磁异常特征,能准确圈定矽卡岩

(矽卡岩型多金属矿)体。磁法勘查能间接(直接)找矿,在矿区找矿及普查阶段磁法是主要的勘查方法技术手段。

矿区构造发育,热液活动强烈,化探测量在金矿化(带)上形成强 Au 元素异常,并伴有 Cu、Mo、Ag、Pb、Zn、As、Hg 等组合异常。配合地质填图,能发现地表(近地表)金矿(化)体,在矿区成矿预测及找矿阶段发挥了重要的作用。

矿区的矿(化)体、蚀变岩体、矿体围岩普遍具黄(褐)铁矿、黄铜矿化等金属矿化,大功率激电法在矿(化)体、蚀变岩体、矿体围岩上能形成明显的激电异常,依据激电异常特征,能较准确圈定矿(化)体、蚀变岩体的位置。激电勘查在矿区详查阶段配合高精度磁测等其它物探方法,可以较准确圈定矿体空间位置。

矿区的蚀变岩体普遍具钾长石化、绿泥石化、绿帘石化、黄铁矿化、磁铁矿化、黄铜矿化,可控源音频大地电磁测深在蚀变岩体上能形成明显的低阻异常带,依据低阻异常带特征可较准确圈定蚀变岩体的空间位置,而矿体产在蚀变岩体与围岩的接触带上,应用可控源音频大地电磁测深成果可间接找矿。可

表 2 北衙金多金属矿床综合勘查模型一览表	
Table 2 A summary of integrated exploration targeting model of the Beiya Au-polymetallic ore deposit	
模型要素	北衙金多金属矿床模型要素特征
矿床类型	与喜马拉雅期富碱斑岩体有关的矽卡岩-热液型金多金属矿床
赋矿地层(围岩)、赋矿部位	喜马拉雅期石英正长斑岩与三叠系中统北衙组(T ₂ b)碳酸盐岩接触带,其次为距接触带较远的北衙组碳酸盐岩
成矿期	喜马拉雅期(约 36 Ma)
控矿构造	多级构造体系控制矿带、矿田、矿区、矿体及矿化类型的的分布,岩体接触带构造、构造破碎(裂隙)带、向斜核部虚脱部位、岩性差异界面、不整合面
与成矿有关岩浆岩	喜马拉雅期石英正长斑岩
地球物理特征	区域地球物理特征为基底隆起与槽状拗陷边缘地带重力异常,南北向磁力高值转向平静低缓负航磁异常,环形构造影像特征,矿区具有面积大且强度高的正负相伴的规则磁异常,低阻高极化激电异常及可控源音频大地电磁测深低阻异常
地球化学特征	矿田出现 Au 异常面积大,强度高,浓集中心明显,并伴有 Cu、Mo、Ag、Pb、Zn、As、Hg 等组合异常,矿床具有由岩体向围岩 W、Au、Cu→Ag、Pb、Zn→Mn、As、Sb、Hg 的元素水平分带
矿化特征	矿体主要沿喜马拉雅期石英正长斑岩与三叠系中统北衙组(T ₂ b)接触带的矽卡岩产出(矽卡岩型),其次呈似层状产在岩体外接触带北衙组(T ₂ b)碳酸盐岩内构造破碎(裂隙)带(构造破碎带型),向斜虚脱带及北衙组与三叠系下统青天堡组(T ₁ q)碎屑岩接触面附近(硅-钙面型),部分呈脉状产在岩体内及远离岩体的围岩的裂隙带中(热液脉型),在第四系中形成与下伏地层(岩体)不整合面外生风化形成的似层状矿体(残坡积型),即“二型五类”
围岩蚀变	矿物组合为:钙铝榴石、透辉石、绿帘石、绿泥石、透闪石、阳起石、硅灰石、方柱石、滑石、白云母、角闪石、磁铁矿、黄铁矿、菱铁矿、赤铁矿、黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、萤石。斑岩至围岩蚀变分带为:石榴子石辉石斑岩带→磁铁矿(金铜矿化)带→透辉石石榴子石矽卡岩带→透辉石矽卡岩带→大理岩化灰岩带
成矿元素组合	岩体内部向外,元素组合为 Cu-Au→Au-Cu-Fe→Au-Fe→Au-Fe-PbAg→Pb-Ag(Au)
找矿标志	强褐铁矿化、铁帽、矽卡岩化及大理岩化,正负相伴的强磁异常,Au、Ag、Pb、Zn、Cu、As 中低温元素组合异常,古采矿遗址等

控源音频大地电磁测深在矿区详查阶段可较准确圈定蚀变岩体的空间位置,配合其他物探方法可进行深部找矿。

4 勘查模型的应用

将前述建立的勘查模型,应用于矿区南部红泥塘矿段及外围隐伏矿的预测,指导勘查工作部署和探矿工程布置,找矿获得了重要突破,探获金矿资源储量达大型,铁、铜、铅锌矿达中型规模。

红泥塘矿段东部全被第四系残坡积物覆盖,找矿标志主要有:①零星出露残坡型铁(金)砂矿;②有长1200 m、宽300~500 m地面磁异常,异常强度一般-200~500 nT,极值600多nT;③重力低异常($-0.8 \times 10^{-5} \sim -1.0 \times 10^{-5} \text{ m/s}^2$),推测有隐伏岩体;④激电工作成果有明显的低阻高极化异常,视充电率:5%~6%,视电阻率:160 $\Omega \cdot \text{m}$ 左右(图9);⑤岩石剖面测量成果显示,围岩北衙组碳酸盐岩微量元素无明显异常,石英正长斑岩及接触带Au、Cu、Ag、Pb、Zn、Mn等元素均出现强异常,As、Sb、Hg、W元素出现弱异常,Sn、Bi、Mo元素无异常显示,元素的水平分带由岩体向围岩为:W、Au、Cu→Ag、Pb、Zn→Mn、As、Sb、Hg。

红泥塘矿段西部出露三叠系中统北衙组(T_2b)喜马拉雅期石英正长斑岩(红泥塘岩体),隐爆角砾岩等,找矿标志主要有:①古采矿遗址;②围岩中普遍具有铅矿化(白铅矿、方铅矿)局部有褐铁矿化、磁铁矿化;③见零星砂卡岩化;④地面有长1000 m、宽200~400 m的磁异常,异常强度一般-200~700 nT,极值800多nT;⑤激电工作成果有明显的低阻高极化异常,视充电率:3.5%~5%,视电阻率:180 $\Omega \cdot \text{m}$ 左右;⑥岩石剖面测量成果显示,围岩北衙组碳酸盐岩微量元素无明显异常,石英正长斑岩及接触带Au、Cu、Ag、Pb、Zn、Mn、As、Sb、Hg、W、Mo等元素均出现强异常,Sn、Bi元素无异常显示,元素的水平分带由岩体向围岩为:W、Mo、Au、Cu→Ag、Pb、Zn→Mn、As、Sb、Hg。

应用建立的勘查模型,指导大沙地岩体和红泥塘岩体内外接触带勘查找矿工作,在红泥塘矿段东部大沙地岩体接触带发现并圈定KT17、KT18、KT20等砂卡岩型铁铜钼矿体,矿体长640~800 m,厚6.09~8.43 m, $\alpha(\text{TFe})$ 为30.50%~32.66%, $\alpha(\text{Cu})$ 为0.43%~0.64%, $\alpha(\text{Mo})$ 为0.037%~

0.084%,伴生金 $\alpha(\text{Au})$ 为0.16~0.52 g/t,控制铁、铜矿资源储量达中型矿床规模。在红泥塘矿段西部红泥塘岩体上盘接触带控制KT10、KT11等金铁(铅)矿体,矿体长1720 m,厚7.78~7.88 m, $\alpha(\text{Au})$ 为2.09~2.37 g/t, $\alpha(\text{TFe})$ 为24.46%~36.03%, $\alpha(\text{Pb}+\text{Zn})$ 为4.52%~5.94%,伴生 $\alpha(\text{Ag})$ 为39.82~70.47 g/t,Au、Pb+Zn、Ag资源储量均达到大型矿床规模,Fe达中型矿床规模,岩体下盘外接触带控制KT13、KT15等铁铜矿体,矿体长1280~1350 m,厚5.76~6.40 m, $\alpha(\text{TFe})$ 为28.96%~32.98%, $\alpha(\text{Cu})$ 为0.43%~0.46%,Fe、Cu资源储量达大型矿床规模。

5 结论

(1)建立了矿床地质勘查模型。北衙超大型金多金属矿床受多级构造系统控制,从区域到矿区不同尺度的构造控制了喜马拉雅期富碱斑岩的分布及产出形态,从而控制了区内金多金属矿带、矿田、矿区、矿体的分布。富碱斑岩体控制了矿床蚀变、矿化的分带规律:从内向外具有富碱斑岩岩体→石榴子石辉石斑岩带→磁铁矿(金铜矿化)带→透辉石石榴子石砂卡岩带→透辉石砂卡岩带→大理岩化灰岩带→碳酸岩蚀变分带的模型;三叠系中统北衙组(T_2b)不纯碳酸盐岩为成矿有利的围岩,矿化分带从斑岩内部→接触带→外带→远程,出现接触带砂卡岩型金铜铁矿→砂卡岩型金铁矿体→蚀变灰岩型金铁铅银矿体→灰岩型铅银矿体→砂砾黏土型金铁矿,构成完整的与喜马拉雅期富碱斑岩有关的以砂卡岩型为主体的成矿系统模型。

(2)建立了地球物理勘查模型。在基底隆起与槽状拗陷边缘地带重力异常部位、南北向磁力高值转向平静低缓负航磁异常部位、环形构造影像特征明显部位、地面高精度磁测异常面积大、强度高,低阻高极化激电异常及可控源音频大地电磁测深低阻异常范围是金多金属矿体的赋存部位。

(3)建立了地球化学勘查模型。矿床具有Cu、Mo、Ag、Pb、Zn、As、Hg等组合异常,土壤及岩石测量能够很好地反映出矿化体(带)的范围,各元素的强度、异常范围与矿化强度相关。

(4)通过应用建立矿床勘查模型,指导外围勘查取得显著找矿效果,证明建立的北衙金多金属矿床勘查模型,对同类矿床的勘查工作及勘查技术理

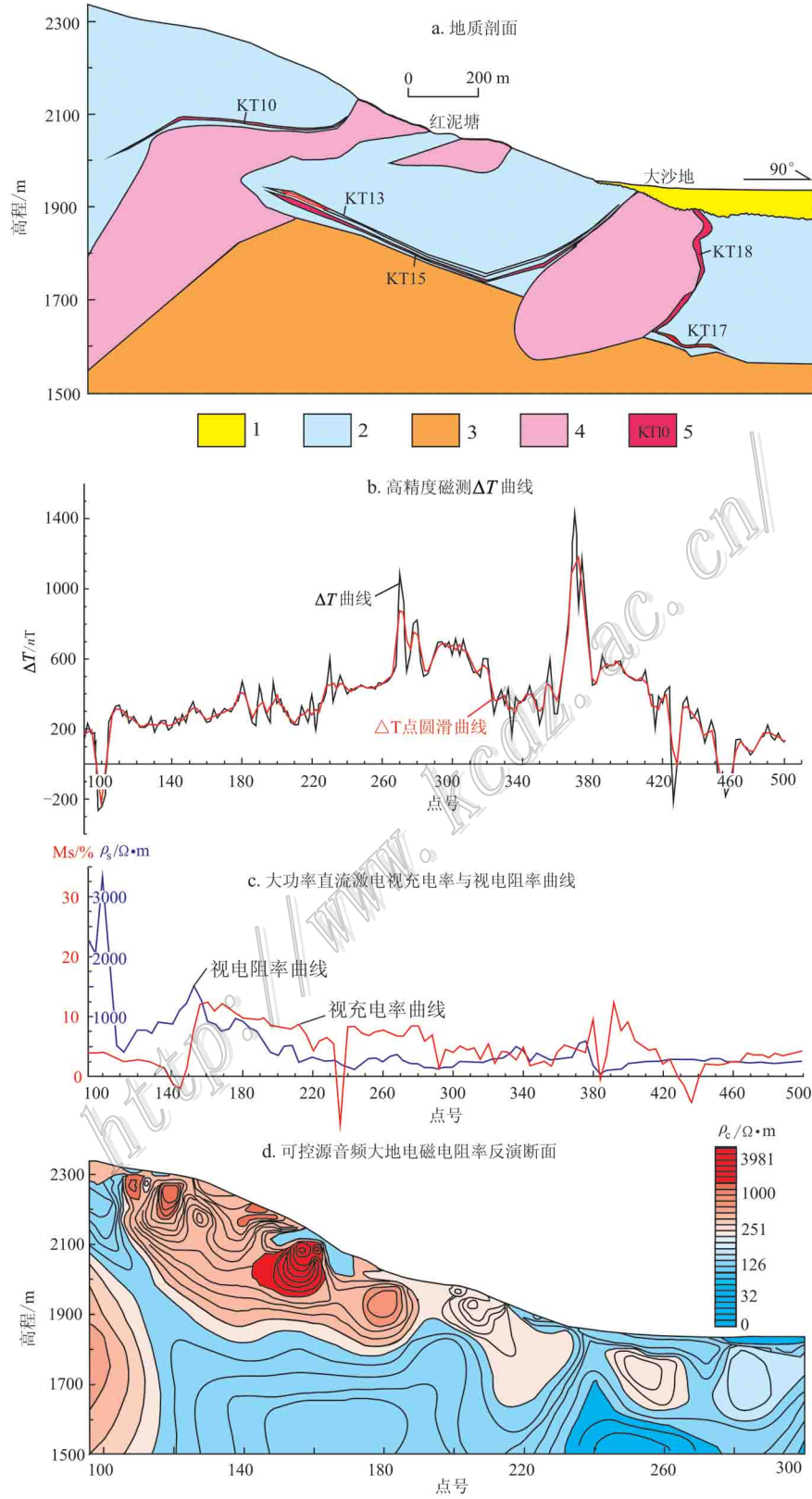


图 9 北衙铁金多金属矿红泥塘矿段 63 线地质(a)及物探勘查(b~d)综合剖面图(据云南黄金矿业集团股份有限公司, 2014)

1—第四系沉积物; 2—三叠系中统北衙组碳酸盐岩; 3—三叠系下统青天堡组砂岩; 4—石英正长斑岩; 5—矿体及编号

Fig. 9 Integrated geological (a) and geochemical section (b~d) along No. 63 exploration line of Hongnitang ore block in the Beiya Au-polymetallic orefield (modified after Yunnan Gold and Minerals Group Co., Ltd., 2014)

1—Quaternary sediments ; 2—Limestone of Middle Triassic Beiya Formation ; 3—Sandstone of lower Triassic Qintianbao Formation ;
4—Quartz K-feldspar porphyry ; 5—Qrebody and its serial number

论研究有重要的参考价值。

志 谢 北衙金多金属矿床先后五十多年的勘查工作中付出艰辛的地质工作者,特别是云南黄金矿业集团北衙勘查项目部全体勘查人员近十年来年的辛勤工作取得的卓越找矿成果,审稿专家、编辑和主编对本文提出了宝贵的建议,在此一并表示衷心感谢!

References

- Bureau of Geology and Mineral Mesources in Yunnan Province. 1990. Regional geology of Yunnan province[M]. Beijing : Geological Publishing House. (in Chinese).
- Cai X P, Liu B G, Li C Y and Ying H L. 1991a. Characteristics and genetic analysis of northwest Yunnan official gold deposit [J]. Gold Science and Technology , (7) : 7-19 (in Chinese).
- Cai X P, Zhao D S and Liu B G. 1991b. Beiya gold deposit characteristics , causes and the expected target in northwestern Yunnan[R]. Beijing : Chinese Academy of Sciences Institute of Geological Science. 1-15 (in Chinese).
- Cai X P. 1993. Beiya gold deposit characteristics , genesis and exploration prospecting forecast in northwestern Yunnan [A]. China 's gold mine geological and geochemical study [C]. Beijing : Science Press. 134-151 (in Chinese).
- Cai X P, Xu X W, Cui Y L, Yan J G, Chen X S and Liang G H. 2001. The design document of metallogenic prediction and engineering confirmation in the Beiya gold ore deposit [R]. Beijing : Institute of Geology and Geophysics , Chinese Academy of Sciences. 1-95 (in Chinese).
- Cui Y L, Yan J G and Chen X S. 2003. The prospecting mark and mode of Beiya gold deposit in western Yunnan[J]. Gold , 24(7) : 7-10 (in Chinese).
- Deng J, Yang L Q, Ge L S, Yuan S S, Wang Q F, Zhang J, Gong Q J and Wang C M. 2010. Character and post-ore changes , modifications and preservation of Cenozoic alkali-rich porphyry gold metallogenic system in western Yunnan , China[J]. Acta Petrologica Sinica , 26(6) : 1633-1645 (in Chinese with English abstract).
- Deng J, Li W C, Fu D G, Yang L Q, He Z H, Zhou Y M, Zhang J and Ge L S. 2013. The southern section of the southwestern Sanjiang Cenozoic gold metallogenic system [M]. Beijing : Geological Publishing House. 1-314 (in Chinese with English abstract).
- Cox D P and Singer D A. 1986. Mineral Deposit Models[M]. Translation Song B Q , ed. Beijing : Geological Publishing House. 74-91 (in Chinese).
- Deng W M, Huang X and Zhong D L. 1998. Petrological characteristics and genesis of Cenozoic alkali-rich porphyry in western Yunnan , China[J]. Scientia Geologica Sinica , 33(4) : 412-425 (in Chinese with English abstract).
- Ge L S, Guo X D, Zou Y L, Li Z H and Zhang X H. 2002. Geological characteristics and genesis of Beiya gold deposit , Yunnan Province[J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research , 17(1) : 32-46 (in Chinese with English abstract).
- Guo Y S, Zeng P S, Yang W G and Zhang W H. 2005. Geological characteristics and metallogenic types of Beiya gold-polymetallic deposit , in Yunnan[J]. Engineering Science , 7(Supp.) : 218-223 (in Chinese with English abstract).
- He W Y, Mo X X, Yu X H, He Z H, Li Y, Huang X K and Su G S. 2012. Genetic types and the relationship between alkali-rich intrusion and mineralization of Beiya gold-polymetallic ore field , western Yunnan Province , China[J]. Acta Petrologica Sinica , 28(5) : 1401-1412 (in Chinese with English abstract).
- He W Y, Mo X X, Yu X H, He Z H, Dong G C, Liu X B and Huang X F. 2013. Zircon U-Pb and molybdenite Re-Os dating for the Beiya gold-polymetallic deposit in the western Yunnan Province and its geological significance[J]. Acta Petrologica Sinica , 29(4) : 1301-1310 (in Chinese with English abstract).
- He W Y. 2014. Beiya region gold-polymetallic deposit magmatism and mineralization mode (dissertation for Doctor degree) [D]. Supervisor : Mo X X. Beijing : China University of Geosciences. 1-166 (in Chinese with English abstract).
- He W Y, Mo X X, Yu X H, Dong G C, He Z H, Huang X F and Li X W. 2014. Genesis and geodynamic settings of lamprophyres from Beiya , western Yunnan : Constraints from geochemistry , geochronology and Sr-Nd-Pb-Hf isotopes[J]. Acta Petrologica Sinica , 30(11) : 3278-3300 (in Chinese with English abstract).
- He Z H, Fu D G, Zhou Y M, Li W N and Su G S. 2012. The new understanding of Beiya super-large gold-polymetallic deposit 's metallogenic regularity and metallogenic model in Yunnan [A]. The proceedings of mineral resources exploration development situation [C].

- Beijing :Information Center of Ministry of Land and Resources of People 's Republic of China ,The mineral committee of China Mining Association. 57-69 (in Chinese).
- He Z H , Zhou Y M , He W Y , Su G S , Li W H and Yang S W. 2013a. Genetic types and metallogenic regularity of Beiya superlarge gold-polymetallic deposit , northwestern Yunnan [J]. Mineral Deposits , 32(2): 244-258 (in Chinese with English abstract).
- He Z H , Fu D G , Zhou Y M , Su G S , Li W N and Chen J B. 2013b. A major breakthrough of Beiya gold-polymetallic ore exploration in western Yunnan Heqing [A]. Three years ' geological prospecting plan of action and proceedings in Yunnan Province [C]. Kunming : Land and resources in Yunnan Province , Geological Society of Yunnan Province. 184-200 (in Chinese).
- He Z H , Fu D G , Zhou Y M , Su G S , Li W N and Chen J B. 2014. The new understanding of Beiya super-large gold-polymetallic deposit exploration in Yunnan [J]. Yunnan Geology , 33(supp.): 119-131 (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 Z H , Xing J B , Ge L S , Zou Y L , Guo X Y and Zhang X J. 2002. Geological and rock-chemical characteristics of alkali-rich intrusive rock bodies (vein) in northwestern Yunnan [J]. Mineral Resources and Geology , 16(3): 147-153 (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).
- Ma D Y and Han Y S. 2001. Study on the features of tectonogeochemistry of Beiya gold deposit and enclosing metallogenic targets [J]. Geology and Prospecting , 37(2): 64-68 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W , Zhang Z H and Pei R F. 2012. Overview of China 's deposit mode [M]. Beijing : Geological Publishing House. 1-559 (in Chinese with English abstract).
- Niu H B , Hu W Y , Ding J , Li J , Ning K B , Wang P , Ren F and Dong L Y. 2015. Re-Os isotope age of molybdenite in the Beiya Au-polymetallic deposit , western Yunnan Province and its geological implications [J]. Geology and Exploration , 51(1): 1-12 (in Chinese with English abstract).
- Ren Z J , Luo R S , Li L J , Zhao C S and Li Z Q. 2001. Beiya red clay type gold deposit geological characteristics and metallogenic regularities in Yunnan [J]. Geology in China , 28(8): 17-22 (in Chinese with English abstract).
- Shi J F , Tang J R , Zhou P and Jin Q H. 2010. The prospecting model and the mineral exploration in the world [M]. Beijing : Geological Publishing House. 1-465 (in Chinese with English abstract).
- Tang J X , Deng S L , Zheng W B , Ying L J , Wang X W , Zhong K H , Qin Z P , Ding F , Li F J , Tang X Q , Zhong Y F and Peng H J. 2011. An exploration model for Jiama copper polymetallic deposit in Maizhokunggar County , Tibet [J]. Mineral Deposits , 30(2): 180-196 (in Chinese with English abstract).
- Wu K X. 2005. The study of Cenozoic alkali-rich igneous rock and its relationship with gold mineralization in western Yunnan (dissertation for Doctor degree) [D]. Supervisor : Hu R Z and Bi X W. Guiyang : Institute of Geochemistry Chinese Academy of Sciences. 1-118 (in Chinese with English abstract).
- Wu K X , Hu R Z , Bi X W , Peng J T , Su W C and Chen L. 2005. Study of the fluid inclusions in altered porphyries in the Beiya gold deposit , western Yunnan [J]. Journal of Mineralogy and Petrology , 25(2): 20-26 (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).
- Xiao X N. 2009. Beiya region alkali-rich porphyry and its gold polymetallic mineralization in western Yunnan (dissertation for Doctor degree) [D]. Supervisor : Yu X H. Beijing : China University of Geosciences. 1-113 (in Chinese with English abstract).
- Xiao X N , Yu X H , Mo X X , Yang G L , Li Y and Huang X K. 2009. A study of fluid inclusions from Beiya gold-polymetallic deposit in Western Yunnan [J]. Earth Science Frontiers , 16(2): 250-261 (in Chinese with English abstract).
- Xiao X N , Yu X H , Mo X X , Li Y and Huang X K. 2011. Geochemical characteristics of metallogenesis in the gold-polymetallic deposit in Beiya , western Yunnan Province [J]. Geology and Exploration , 47(2): 170-179 (in Chinese with English abstract).
- Xue C D , Hou Z Q , Liu X , Yang Z M , Liu Y Q and Hao B W. 2008. Petrogenesis and metallogenesis of the Beiya gold-polymetallic ore district , northern Yunnan Province , China : Responses to the Indo-Asian collisional processes [J]. Acta Petrologica Sinica , 24(3): 457-472 (in Chinese with English abstract).
- Xu S M , Mo X X , Zeng P S , Zhang W H , Zhao H B and Zhao H D. 2006. Characteristics and origin of alkali-rich porphyries from Beiya in western Yunnan [J]. Geoscience , 20(4): 527-535 (in Chinese with English abstract).

- Xu X W, Cai X P, Xiao Q B, Liang G H, Zhang B L and Wang J. 2003. Hydrothermal karst and their associated geological disasters in the Beiya area, western Yunnan Province[J]. Advance 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 L, 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, Zhang B L, Liang G H, Du S J and Wang J. 2007. Genetic types and framework model of Beiya gold ore district in western Yunnan[J]. Mineral Deposits, 26(3): 249-264 (in Chinese with English abstract).
- 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 with English abstract).
- 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, Wang X B, Wang Y H, Wang Q and Zeng Q Q. 2014. The application of integrated geophysical methods of magnetic survey and AMT to the exploration of the Beiya gold deposit[J]. Geology in China, 41(2): 602-610 (in Chinese with English abstract).
- Yunnan Gold Mining Corporation. 2011. The verification report of Beiya iron gold reserves in Yunnan Province Heqing (The fourth stage) [R]. Kunming :Yunnan Gold Mining Corporation. 1-416 (in Chinese).
- Yunnan Gold Mining Corporation. 2014. The verification report of Beiya iron gold reserves in Yunnan Province Heqing (The fifth stage) [R]. Kunming :Yunnan Gold Mining Corporation, 1-466 (in Chinese).
- Zeng P S, Mo X X, Xu S M, Zhang W H, Yang W G, He Z H and Su G S. 2008. The research report of Beiya gold-copper deposits model and the potential of deep porphyry gold ore[R]. Kunming :Yunnan Gold Mining Corporation. 1-101. (in Chinese).
- Zhou Y M, Fu D G, He Z H, Bao W, Li W H and Guan D R. 2014. A major breakthrough of Beiya gold-polymetallic ore exploration has been achieved in western Yunnan Heqing[J]. Yunnan Geology, 33 (supp.): 40-47 (in Chinese with English abstract).
- 蔡新平, 刘秉光, 李成云, 应汉龙. 1991a. 滇西北衙金矿床特征及成因初探[J]. 黄金科技动态, (7): 7-19.
- 蔡新平, 赵大升, 刘秉光. 1991b. 滇西北衙金矿床特征、成因及靶区预测[R]. 北京:中国科学院地质研究所. 1-15.
- 蔡新平. 1993. 滇西北衙金矿床特征、成因及找矿远景预测[A]. 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, 崔银亮, 晏建国, 陈贤胜, 梁光河. 2001. 北衙金矿成矿预测及矿区验证工程设计书[R]. 北京:中科院地质与地球物理研究所. 内部资料. 1-95.
- 崔银亮, 晏建国, 陈贤胜. 2003. 滇西北衙金矿床找矿标志和找矿模式研究[J]. 黄金, 24(7): 7-10.
- 邓军, 杨立强, 葛良胜, 袁士松, 王庆飞, 张静, 龚庆杰, 王长明. 2010. 滇西富碱斑岩型金成矿系统特征与变化保存[J]. 岩石学报, 26 (6): 1633-1645.
- 邓军, 李文昌, 符德贵, 杨立强, 和中华, 周云满, 张静, 葛良胜等. 2013. 西南三江南段新生代金成矿系统[M]. 北京:地质出版社. 1-314.
- 邓万明, 黄萱, 钟大赉. 1998. 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.
- 葛良胜, 郭晓东, 邹依林, 李振华, 张晓辉. 2002. 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): 32-46.
- 郭远生, 曾普胜, 杨伟光, 张文洪. 2005. 北衙金多金属矿床地质特征与成因[J]. 中国工程科学, 7(增刊): 218-223.
- 和文言, 莫宣学, 喻学惠, 和中华, 李勇, 黄行凯, 苏纲生. 2012. 滇西北衙多金属矿田矿床成因类型及其与富碱斑岩关系初探[J]. 岩石学报, 28(5): 1401-1412.
- 和文言, 莫宣学, 喻学惠, 和中华, 董国臣, 刘晓波, 黄雄飞. 2013. 滇西北衙金多金属矿床锆石 U-Pb 和辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 岩石学报, 29(4): 1301-1310.
- 和文言. 2014. 滇西北衙地区富碱斑岩及其金多金属成矿作用(博士学位论文) [D]. 导师:莫宣学. 北京:中国地质大学(北京). 1-166.
- 和文言, 莫宣学, 喻学惠, 董国臣, 和中华, 黄雄飞, 李小伟. 2014. 滇西北衙煌斑岩的岩石成因及动力学背景:年代学, 地球化学及 Sr-Nd-Pb-Hf 同位素约束[J]. 岩石学报, 30(11): 3278-3300.
- 和中华, 符德贵, 周云满, 李万华, 苏纲生. 2012. 云南北衙超大型金多金属矿成矿规律与成矿模式新认识[A]. 矿产资源勘查开发形势研讨会论文集[C]. 北京:国土资源部信息中心, 中国矿业联合会矿产委员会. 57-69.
- 和中华, 周云满, 和文言, 苏纲生, 李万华, 杨绍文. 2013a. 滇西北衙超大型金多金属矿床成因类型及成矿规律[J]. 矿床地质, 32 (2): 244-258.
- 和中华, 符德贵, 周云满, 苏纲生, 李万华, 陈金标. 2013b. 滇西鹤庆县北衙金多金属矿勘查突破[A]. 云南省 3 年地质找矿行动计

附中文参考文献

- 划成果及文集[C]. 昆明:云南省国土资源厅,云南省地质学会. 184-200.
- 和中华,符德贵,周云满,苏纲生,李万华,陈金标. 2014. 云南北衙超大型金多金属矿床整装勘查新认识[J]. 云南地质, 33(增刊): 119-131.
- 考斯特 DP,辛格 DA. 1986. 矿床模式[M]. 宋伯庆,等译. 北京:地质出版社. 74-91.
- 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.
- 李振华,邢俊兵,葛良胜,邹依林,郭晓东,张学军. 2002. 滇西北地区富碱岩体(脉)地质学及岩石化学特征[J]. 矿产与地质, 16(3): 147-153.
- 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.
- 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.
- 毛景文,张作衡,裴荣富. 2012. 中国矿床模型概论[M]. 北京:地质出版社. 1-559.
- 牛浩斌,胡文懿,丁俊,李俊,宁括步,王鹏,任飞,董黎阳. 2015. 滇西北衙金多金属矿床辉钼矿 Re-Os 年龄及其地质意义[J]. 地质与勘探, 51(1): 1-12.
- 任治机,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.
- 施俊法,唐金荣,周平,金庆花等. 2010. 世界找矿模型与矿产勘查[M]. 北京:地质出版社. 1-465.
- 唐菊兴,邓世林,郑文宝,应立娟,汪雄武,钟康惠,秦志鹏,丁枫,黎枫,唐晓倩,钟裕峰,彭慧娟. 2011. 西藏墨竹工卡县甲玛铜多金属矿床勘查模型. [J]. 矿床地质, 30(2): 180-196.
- 吴开兴. 2005. 滇西新生代富碱火成岩及其与金成矿关系研究——以北衙金矿为例[博士学位论文][D]. 导师:胡瑞忠,毕献武. 贵阳:中国科学院地球化学研究所. 1-118.
- 吴开兴,胡瑞忠,毕献武,彭建堂,苏文超,陈龙. 2005. 滇西北衙金矿蚀变斑岩中的流体包裹体研究[J]. 矿物岩石, 25(2): 20-26.
- 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.
- 肖晓牛. 2009. 滇西北衙地区富碱斑岩及其金多金属成矿作用[博士学位论文][D]. 导师:喻学惠. 北京:中国地质大学(北京). 1-113.
- 肖晓牛,喻学惠,莫宣学,杨贵来,李勇,黄行凯. 2009. 滇西北衙金多金属矿床流体包裹体研究[J]. 地学前缘, 16(2): 250-261.
- 肖晓牛,喻学惠,莫宣学,李勇,黄行凯. 2011. 滇西北衙金多金属矿床成矿地质(地球)化学特征[J]. 地质与勘探, 47(2): 170-179.
- 徐受民,莫宣学,曾普胜,张文洪,赵海滨,赵寒冬. 2006. 滇西北衙富碱斑岩的特征及成因[J]. 现代地质, 20(4): 527-535.
- 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.
- 徐兴旺,蔡新平,张宝林,梁光河,杜世俊,王杰. 2007. 滇西北衙金矿矿床类型与结构模型[J]. 矿床地质, 26(3): 249-264.
- 薛传东,侯增谦,刘星,杨志鸣明,刘勇强,郝百武. 2008. 滇西北衙金多金属矿田的成岩成矿作用:对印-亚碰撞造山过程的响应[J]. 岩石学报, 24(3): 457-472.
- 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.
- 杨剑,王绪本,王永华,王桥,曾琴琴. 2014. 磁综合方法在北衙金勘查中的应用[J]. 中国地质, 41(2): 602-610.
- 云南黄金矿业集团股份有限公司. 2011. 云南省鹤庆县北衙铁金矿资源储量核实报告(四期)[R]. 昆明:云南黄金矿业集团股份有限公司. 内部资料. 1-416.
- 云南黄金矿业集团股份有限公司. 2014. 云南省鹤庆县北衙铁金矿资源储量核实报告(五期)[R]. 昆明:云南黄金矿业集团股份有限公司. 内部资料. 1-464.
- 云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志[M]. 北京:地质出版社.
- 曾普胜,莫宣学,徐受民,张文洪,杨伟光,和中华,苏纲生. 2008. 北衙金铜矿床成矿模型及深部斑岩金铁矿潜力研究报告[R]. 昆明:云南黄金矿业集团股份有限公司. 内部资料. 1-101.
- 周云满,符德贵,和中华,鲍威,李万华,官德任. 2014. 滇西鹤庆北衙金多金属矿整装勘查实现重大突破[J]. 云南地质, 33(增刊): 40-47.