滇西富碱斑岩型金成矿系统特征与变化保存*

邓军[1] 杨立强[1] 葛良胜[2,3] 袁士松[2] 王庆飞[1] 张静[1] 龚庆杰[1] 王长明[1]

DENG Jun[1], YANG LiQiang[1], GE LiangSheng[2,3], YUAN ShiSong[2], WANG QingFei[1], ZHANG Jing[1], GONG QingJie[1] and WANG ChangMing[1]

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室,北京 100083
2. 中国人民武装警察部队黄金地质研究所,廊坊 065000
3. 中国地质科学院地质研究所,北京 100037

1. *State Key Laboratory of Geological Processes and Mineral Resources*, *China University of Geosciences*, *Beijing* 100083, *China*
2. *Gold Geological Institute of Chinese People's Armed Police Force*, *Langfang* 065000, *China*
3. *Institute of Geology*, *Chinese Academy of Geological Sciences*, *Beijing* 100037, *China*

2010-03-16 收稿, 2010-05-17 改回.

Deng J, Yang LQ, Ge LS, Yuan SS, Wang QF, Zhang J, Gong QJ and Wang CM. 2010. Character and post-ore changes, modifications and preservation of Cenozoic alkali-rich porphyry gold metallogenic system in western Yunnan, China. *Acta Petrologica Sinica*, 26(6):1633 – 1645

Abstract The Cenozoic alkali-rich porphyry type gold-polymetallic deposits are not only closely related to the Himalayan alkali-rich porphyries in space and time, but also suffered strongly secondary enrichment, so that is the best natural laboratory of study metallogenic post-ore changes and preservation. The ore-bearing porphyry is characterized by a set of alkali-rich ($K_2O + Na_2O > 8\%$) rock that from basic to intermediate-acid, came from the enriched mantle that formed in the tectonic evolution process of Tethys, and suffered partial melting when up to boundary between crust and mantle in the Early Cenozoic. The main ore-bearing porphyry formed in 33 ~ 38Ma, the large-scale mineralization concentrated in 34 ± 2Ma; both of them are related to crust-mantle exchange and structural deformation that in the process of tectonic dynamic system transformation, and also possible controlled by the eastward escape of Qinghai-Tibet Plateau and pulsating uplift of asthenosphere. Later, the India plate changed into clockwise rotation from previous counterclockwise rotation; the oblique reverse rotation and rollback subduction of India Plate led to lithosphere extension, multiple sinistral or right-lateral strike-slip movement, strongly tectonic uplift, emplacement of high-K magmatic that come from the depression melting of depleted mantle, large-scale fluid activities, and regional laterization. The ore-forming system suffered strongly post-ore changes and deformation, went through multiple metallogenic, and characteristiced by obvious diachronism. The supergene gold minerlization started after the formation of gold deposits.

Key words Metallogenic system; Post-ore changes and preservation; Alkali-rich porphyry; Cenozoic; Western Yunnan, China

摘 要 同时开展成矿作用及成矿后变化保存两方面研究,是提高矿产预测能力的迫切需求。滇西新生代富碱斑岩型金多金属矿床除与喜马拉雅期富碱斑岩有密切的时空和成因关系外,另一个显著特点是发生了强烈的次生富集作用,是开展成矿系统变化与保存研究的天然实验室。含矿斑岩为一套以富碱($K_2O + Na_2O > 8\%$)为特征的从基性到中酸性的岩石系列,其源区为古特提斯构造演化过程中形成的富集地幔,并于新生代早期上升至壳幔混合带时遭受部分熔融。含矿斑岩主体形成于33 ~ 38Ma,大规模成矿作用集中于34 ± 2Ma左右,它们的形成与构造动力体制转换过程中的壳幔物质强烈交换和构造变形密切相关,并可能受青藏高原物质向东逃逸和软流圈脉动隆起的联合制约。之后,发生了印度板块由前期逆时针旋转向顺时针旋转的转变、反向旋转板块的拖曳与斜向俯冲板块回退作用的综合效应,导致了滇西地区岩石圈伸展作用和多期左行和

* 本文受国家重点基础研究发展规划(2009CB421008、2009CB421006)、教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-09-0710)、教育部长江学者和创新团队发展计划(IRT0755)、高等学校学科创新引智计划(B07011)和中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室资助项目(MSFGPMR201018)联合资助.

第一作者简介: 邓军,男,1958年生,教授,博士生导师,主要从事矿床学及区域成矿学的教学和科研工作,E-mail: djun@cugb.edu.cn

右行断裂走滑运动及强烈构造隆升的发生,诱发了亏损地幔减压熔融产生的板内高钾岩浆岩的就位、大规模热水流体活动,并叠加区域红土化作用,成矿系统遭受了强烈的变化与改造,金的表生成矿作用在矿床形成后即已开始,之后经历了多阶段的演化,有明显的穿时性。主要表现为矿床抬升或掩埋、矿体错切或错失、矿化叠加或次生富集、远距离迁移以及就近淋滤或贫化等。

关键词 成矿系统;变化与保存;富碱斑岩;新生代;滇西

中图法分类号 P618.41

矿床是复杂地质作用的历史产物,形成后又经历了各种变化和改造。长期以来,矿床形成后变化与保存的研究往往被忽视。近年来,对单个矿床形成后变化与保存的研究逐渐展开,但区域成矿系统的变化和改造及其对区域矿床分布特征的影响仍然是成矿学研究最为薄弱的环节之一。当前,矿床学研究迫切需要同时开展对成矿作用过程和变化、保存两个方面的工作,以提高矿产预测的能力(翟裕生等,1999,2000;Groves *et al.*, 2005)。

三江成矿带是我国最具资源潜力的成矿区带之一,发育于其中的滇西新生代富碱斑岩型金多金属成矿系统是其独具特色的成矿特征之一(Ge *et al.*, 2009;邓军等,2010; Deng *et al.*, 2010)。这些矿床除与喜马拉雅期富碱斑岩有密切的时空和成因关系外,另一个显著特点是富碱斑岩型矿床形成之后发生了强烈的次生富集作用(蔡新平等,1991;王会远,1993;宋焕斌和何明勤,1994;刘秉光等,1999;王将臻等,2001;肖骑彬等,2003;吴开兴等,2005),在氧化-淋滤带和原生矿带之间发育有一厚度较大的成矿元素次生富集带,该带不仅矿石品位明显升高,而且由于矿物成分、矿石组构的变化对矿石的开采和分选十分有利而成为开采的主体。因此,是开展成矿系统变化与保存研究的天然实验室。本文主要以滇西新生代富碱斑岩型金多金属成矿系统形成地质背景、成矿作用、矿床特征等的已有研究成果为基础,通过对该成矿系统形成后变化与保存的控制要素、过程和产物及区域矿化网络结构的剖析,以期对区域矿产勘查工作的总体部署和找矿勘查方法的选择等提供科学依据。

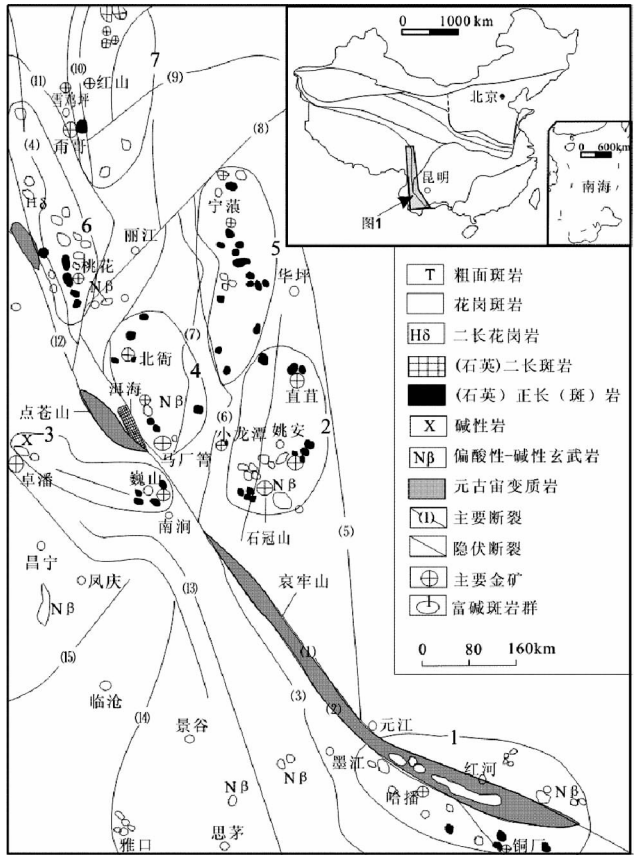

图1 滇西新生代富碱岩浆岩及主要相关金矿床分布略图(据曾普胜等,2002修改)

主要岩群:1-金平-绿春岩群;2-姚安-华坪岩群;3-永平-巍山岩群;4-马厂箐-北衙-六合岩群;5-永胜-宁蒗岩群;6-剑川岩群;7-甯哥岩群. 主要断裂:(1)-红河断裂;(2)-哀牢山断裂;(3)-九甲断裂;(4)-金沙江断裂;(5)-绿汁江断裂;(6)-永胜-祥云断裂;(7)-程海-宾川断裂;(8)-木里-丽江断;(9)-小金河断裂;(10)-格咱河断裂;(11)-德钦-中甸断裂;(12)-乔后-雪龙山断裂;(13)-公郎-营盘山断裂;(14)-澜沧江断裂;(15)-南汀河断裂

Fig. 1 Cenozoic alkali-rich porphyry showing distribution of gold deposits in the western Yunnan (after Zeng *et al.*, 2002)

Maior rock groups: 1-Jinping-Luchun; 2-Yaoan-Huaping; 3-Yongping-Weishan; 4-Machangqing-Beiya-Liuhe; 5-Yongsheng-Ninglang; 6-Jianchuan; 7-Naoge. Maior faults: (1)-Honghe; (2)-Ailaoshan; (3)-Jiujia; (4)-Jinshajiang; (5)-Luzhijiang; (6)-Yongshen-Xiangyun; (7)-Chenhai-Binchuan; (8)-Muli-Lijiang; (9)-Xiaojinhe; (10)-Gezan; (11)-Deqin-Zhongdian; (12)-Qiaohou-Xuelongshan; (13)-Gonglang-Yingpanshan; (14)-Lancangjiang; (15)-Nandinghe

1 区域成矿系统基本特征

滇西-藏东地区沿金沙江-红河断裂带发育新生代富碱侵入岩和钾质火山岩,构成著名的富碱岩浆岩带(张玉泉等,1997)。其中,有两条含矿富碱斑岩带引人瞩目:沿扬子地块与羌塘地体两大陆块接合带展布的江达-鹤庆-大理富碱斑岩带、扬子陆块西缘的中甸-盐源-姚安富碱斑岩带(张玉泉等,1997;骆耀南和俞如龙,2003;侯增谦等,2004)。滇西地区迄今已发现的与富碱斑岩有关的金多金属矿床(点)50余处,如北衙 Au-Pb-Zn-Ag 矿床、马厂箐 Cu-Mo-Au 矿床、哈播 Cu-Mo-Au 矿床、铜厂 Cu-Mo-Au 矿床、甯哥 Cu-Au 矿床、西范坪 Cu-Au 矿床和姚安 Pb-Zn-Ag-Au 矿床等,均呈带状分布于这两条富碱斑岩带中,与富碱斑岩体相伴产出(图1)。

这些富碱斑岩岩浆活动和金多金属成矿作用时间上的

连续性、空间上的相伴性和物质成分上的关联性,表明富碱斑岩体与金多金属矿床是区域构造-岩浆-流体演化一脉相承的产物,富碱斑岩岩浆既是深部含矿质流体上升的载体,又为成矿作用提供了持续的动力和空间。金多金属矿床的总体特征具有一致性,反映它们是在统一的构造背景下,由统一的地质作用形成,构成统一的区域成矿系统,并具有以下基本特征。

1.1 含矿斑岩特征

滇西富碱斑岩型金多金属矿床的含矿斑岩为一套以富碱($K_2O + Na_2O > 8\%$)为特征的从基性到中酸性的岩石系列,包括二长花岗斑岩、二长斑岩和少量正长斑岩组合。含矿斑岩体多呈小岩株产出,多为多期次侵入的复式岩体;在复式岩体中,矿化多与中晚阶段侵入的偏酸性斑岩密切相关,斑岩成矿通常出现在含矿斑岩最晚次侵入前 1 ~ 3Ma(Hou *et al.*,2003)。空间上,由西向东,由偏基性向偏酸性和碱性变化;自北而南,由二长花岗斑岩向正长斑岩递变。时间上,区内富碱岩浆活动主体形成于 50 ~ 20Ma,集中于 33 ~ 38Ma 左右,与成矿作用发生的高峰期完全一致(张玉泉等,1997;邓万明等,1998;董方浏,2002;曾普胜等,2003;梁华英等,2004;应汉龙等,2005;王登红等,2006)。

富碱岩体相对富集 LILE(如 K、Rb、Ba、Sr)、相对亏损 HFSE(如 Nb、Ta、P、Ti),La/Ce = 0.40 ~ 0.63、Ce/Nd = 1.88 ~ 2.81、Sm/Nd = 0.11 ~ 0.20,显示出未受外来物质混染和岩浆源区具有壳幔混源的地球化学特征(邓万明等,1998;Hou *et al.*, 2007);稀土总量较高、不具或仅具微弱的 δEu 异常、呈右倾的近平滑配分曲线(LREE 富集、LREE 和 HREE 强烈分馏),显示岩浆源区部分熔融和壳幔混合的特征(Hou *et al.*, 2007);$^{206}Pb/^{204}Pb$ = 18.094 ~ 18.644、$^{207}Pb/^{204}Pb$ = 15.537 ~ 15.709、$^{208}Pb/^{204}Pb$ = 38.566 ~ 39.094,$\delta^{18}O$ = 7.72‰ ~ 8.61‰,$\delta^{34}S$ = 1.7‰ ~ 6.6‰,$\delta^{30}Si$ = 0.0‰ ~ 0.4‰,均显示其深部来源的特征(张玉泉等,1997;邓万明等,1998;吕伯西和钱祥贵,2000);具有较高的 $^{87}Sr/^{86}Sr$ 值(0.7054 ~ 0.7111)和低的 $\varepsilon_{Nd}(t)$ 值(-6.75 ~ 1.68),$^{143}Nd/^{144}Nd$ = 0.512319 ~ 0.512573,显示其源区为具有富集地幔 II 型地球化学特点的壳幔混合带(Turner *et al.*, 1996;邓万明等,1998);许多富碱斑岩,特别是不含矿的岩体,含有丰富的地幔包体(石榴石透辉岩和石榴石辉石岩)和下地壳包体(石榴石透辉角闪岩和麻粒岩),前者来源于上地幔 87 ~ 95km,后者来源于加厚下地壳底部 45 ~ 55km(蔡新平等,1991;吕伯西和钱祥贵,2000)。综上可见,滇西富碱斑岩最可能的岩浆源区形成模式是在古特提斯构造演化过程中,来自古俯冲板片的古老基底或古俯冲带形成时带入的地壳物质和大洋沉积物以再循环的方式参与了深部的混合作用,形成富集地幔源区。之后,伴随白垩纪末期开始的新特提斯闭合以及随之发生的印度-欧亚大陆之间的俯冲和碰撞,青藏高原及其邻区(包括滇西地区)岩石圈大幅度缩短加厚,岩浆源区于新生代早期逐渐连通而成型,并在上升至壳幔混合带时遭受部分熔融。

1.2 矿化与蚀变特征

虽然滇西地区已发现的与富碱斑岩相关的金多金属矿床数量众多,但是其成矿特征,如产出状态、矿化样式、元素组合、控矿因素和成矿时代等受控于统一的区域背景与环境要素,具有明显的一致性。

矿床一般均出露在富碱斑岩带内,在其外围一般仅见微弱矿化。矿床的定位与富碱岩体(脉)之间空间位置关系可分为三类:富碱岩体内部、岩体与围岩的内外接触带以及距离岩体不远的围岩中。这种空间定位控制了矿化类型的差异,如在斑岩体内多为细脉浸染状矿化,在接触带多为富硫化物板状体,在围岩多为似层状、透镜状和脉状体。矿石类型则更为复杂,主要有富碱斑岩型、夕卡岩型、爆破角砾岩型、石英脉型、石英-镜铁矿脉型、蚀变岩型、石英脉-蚀变岩复合型、砂(底)砾岩型和(层间)构造角砾岩型等。

主要矿化组合为 Cu-Au、Cu-Mo-Au、Au-Pb-Zn、Au-Pb-Ag 等,一般出现多种元素(铜、钼、铅、锌、银、铁等)相共生或伴生。区内许多金矿床就是在其它矿种矿床勘探的基础上,经进一步深入研究之后才发现的。其中,沿扬子地块与羌塘地体两大陆块接合带分布的富碱斑岩型金矿出现 Au-Pb-Zn-Ag 和 Cu-Mo-Au 组合、扬子陆块西缘分布的富碱斑岩型金矿出现 Cu-Au 和 Pb-Zn-Ag-Au 组合。

围岩蚀变多以岩体为中心,呈环带状发育。矿化岩体多出现硅化核,向外依次为钾-硅酸盐化带、石英绢云母化带和青磐岩化带,外接触带多发育夕卡岩化带、大理岩化带和角岩化带。

1.3 流体特征与成矿机制

滇西富碱斑岩型金多金属矿床的成矿流体与导致富碱岩浆形成的流体来源是相同的,即主要源于地幔,并且成矿流体主要来自深部的流体系统,而不是岩浆本身。成矿流体属于富碱(K^+、Na^+),高 Cl^- 和 CO_2,低 Ca^{2+}、Mg^{2+} 和 S,并以 H_2O 为主的地幔型流体(毕献武等,1999;吴开兴,2005;徐受民,2007;Ge *et al.*, 2009)。

地幔流体由近东西向构造活动激发并上升至岩浆源区,导致源区岩石部分熔融形成富碱岩浆。地幔富碱流体同时富含 Au-Cu 等矿质,在流体致浆过程中,通过水岩相互作用又汲取了岩浆源区内的矿质,并随岩浆一起演化和上升,在合适的空间或介质条件下成岩成矿。流体从地幔上升到岩浆形成,直至最终成矿过程中,由于具体地质环境的不同,经历了不尽相同的时空演化,因而形成了多种矿化类型(组合)。

成矿物质既有地幔的贡献,又有岩浆源区的成分(毕献武等,1999;吴开兴,2005;Ge *et al.*, 2009)。金多金属矿床主要形成于中温中压环境,流体密度一般不大。从成矿早

期到成矿晚期或从富碱岩浆多期活动早到晚,成矿温度具有明显的降低趋势。从矿脉产出的具体环境看,与富碱岩体(脉)直接相关且距离较近的矿体(如姚安、北衙、剑川、马厂箐的铜钼伴生金矿化等),温度较高,而距离杂岩体(脉)有一定距离的则相对较低,如马厂箐矿区的金厂箐矿段等。不同的矿石类型间相比,成矿温度最高的是位于斑岩体顶部的蚀变斑岩型或含金的石英-镜铁矿脉型,而位于其外围的其它类型的成矿温度则较低(毕献武等,1999; Ge *et al.*, 2009)。

1.4 成矿时代与构造环境

北衙富碱斑岩型金多金属矿床成矿历史和矿化类型比较复杂,矿区及其外围共出露 10 余处富碱斑岩体,按岩性主要包括正长斑岩、石英正长斑岩、黑云石英正长斑岩、石英钠长斑岩等,其中含矿的主要为前两者。万硐山和笔架山石英正长斑岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄分别为 33.3 ± 1.5Ma 和 34.4 ± 1.4Ma(徐受民,2007)。斑岩铜钼矿成矿年龄没有直接测定,但斑岩型矿床属岩浆期后热液成矿,成矿时代多数情况下晚于侵位成岩时代,时差不超过 0.5 ~ 3Ma(候增谦等,2003;王登红等,2004)。据此估计主成矿年龄在 33Ma 左右。

马厂箐富碱岩体存在多期次的岩浆侵入活动,从早至晚由正(二)长斑岩(52Ma)→石英正(二)长斑岩(47 ~ 42Ma)→斑状二长花岗岩和花岗斑岩(37 ~ 33Ma)→碱长花岗斑岩(32 ~ 29Ma)(赵准,1995;彭建堂等,2005)。铜钼矿体主要产于斑状二长花岗岩和花岗斑岩内或其与围岩接触带附近,含矿岩体锆石 U-Pb 同位素年龄 34.6 ~ 36.0Ma(梁华英等,2004),斑岩型铜钼矿中的辉钼矿 Re-Os 同位素年龄为 33.9 ± 1.1Ma(王登红等,2004)、35.8 ± 1.6Ma(曾普胜等,2006)和 35.3 ± 0.7Ma(邢俊兵等,2009),表明成矿作用主要与晚期岩浆侵入活动有关。

哈播矿床内出露的侵入体具有多期侵入的特征,花岗岩依次侵入的序列为坪山花岗岩→三道班花岗岩→阿树花岗岩→哈播南山花岗岩(37.3Ma),随后有 4 期斑岩侵入到哈播南山花岗岩中,依次为黑云母钾长石斑岩→石英钾长石斑岩→石英二长斑岩→黑云母钾长石斑岩岩脉。黑云母钾长石斑岩和石英二长斑岩的 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄分别为 36.20 ± 0.20Ma 和 36.19 ± 0.22Ma,辉钼矿 Re-Os 年龄为 35.47 ± 0.16Ma(祝向平等,2009)。

铜厂赋矿岩体主要由二长花岗斑岩及二长花岗岩组成,其锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄为 35.1 ± 0.3Ma 形成的(黄波等,2009),辉钼矿 Re-Os 时线年龄 34.4 ± 0.5Ma(王登红等,2004)。

宁蒗地区斑岩侵入体 K-Ar 年龄变化于 32.3 ~ 67.1Ma 间(邓万明等,1998;王登红等,2006),估计甫哥斑岩型矿床成矿年龄在 33 ~ 35Ma 左右。西范坪含 Cu 石英二长斑岩 K-Ar 年龄变化于 34.3 ~ 51.9Ma 间,估计成矿年龄在 35Ma 左右。姚安正长斑岩和石英正长斑岩 K-Ar 年龄变化于 31 ~ 36Ma 间(张玉泉等,1997),估计矿床成矿年龄在 32 ~ 35Ma 左右。

上述资料表明,滇西富碱斑岩型金多金属矿床的成矿年龄具有很大的一致性,集中分布于 32 ~ 36Ma,这表明 34 ± 2Ma 左右是其主要成岩成矿期。相似的成岩-成矿年龄暗示滇西富碱斑岩型金多金属矿床成岩和成矿作用是一个连续的岩浆-热液过程,这一成岩成矿事件受同一地质事件制约。此时,区域构造动力体制正处于转换期、板块汇聚速率急剧降低和运动方向显著变化(顺时针旋转)的过程中(Leloup *et al.*, 1995, 2001; Wang *et al.*, 2001; Hou *et al.*, 2003;侯增谦等,2006),对应于区域挤压构造应力场的相对松弛阶段以及富碱斑岩和剪切走滑断裂构造系统最为发育的时期(杨立强等,2010),沿扬子板块与印支板块边界的哀牢山-红河断裂发生了新生代强烈挤压走滑运动,其切割深度可能深达岩石圈地幔,进而可能诱发被掩埋的古特提斯洋壳板块间发生横向(东西向)或纵向(南北向)剪切运动和热流动(Leloup *et al.*, 1995, 2001),同时大规模走滑断裂体系(Hou *et al.*, 2003)也是诱发古洋壳和岩石圈地幔发生部分熔融形成组分复杂的富碱岩浆流体的直接因素(Zhang and Schärer, 1999)。金矿大规模成矿作用与构造动力体制转换过程中的壳幔物质强烈交换与构造变形密切相关,并可能受青藏高原物质东向逃逸和软流圈脉动隆起的联合制约(Zhang *et al.*, 2004; Ge *et al.*, 2009)。

2 成矿系统变化与保存的控制因素

2.1 构造-岩浆与流体活动

富碱斑岩型金多金属成矿系统形成之后,虽然区域韧性剪切走滑断裂和逆冲推覆构造系统趋于结束。但是,随后发生了印度板块由前期逆时针旋转向顺时针旋转的转变(Funahara *et al.*, 1992, 1993; Huang and Opdyke, 1993; Chen *et al.*, 1995; Sato *et al.*, 1999),反向旋转板块的拖曳与斜向俯冲板块回退作用的综合效应,导致了滇西地区岩石圈伸展作用的发生,并诱发了亏损地幔减压熔融产生的板内高钾岩浆岩的就位(Wang *et al.*, 2001;贺怀宇,2002)、大规模热水流体活动以及多期左行和右行断裂走滑运动(Schärer *et al.*, 1994)(图 2),而且与青藏高原诸多重大事件一致,其中包括高原强烈隆升(Zeitle, 1985; Harrison *et al.*, 1992; Zhong and Ding, 1996;马宗晋等,1998)、喜马拉雅主中央断裂的最强挤压及藏南拆离系的伸展(Copeland *et al.*, 1988; Burchifiel *et al.*, 1992; Harrison *et al.*, 1992, 1995; Fielding, 1996; Le Fort, 1996; Searle, 1996; Hodges, 2000; Yin and Harrison, 2000)。

在研究区构造抬升的背景下,断裂构造活动异常强烈。滇西地区许多断裂构造,如小江断裂带、丽江-金河断裂带、金沙江断裂带等在新生代晚期活动异常显著,并控制了本区

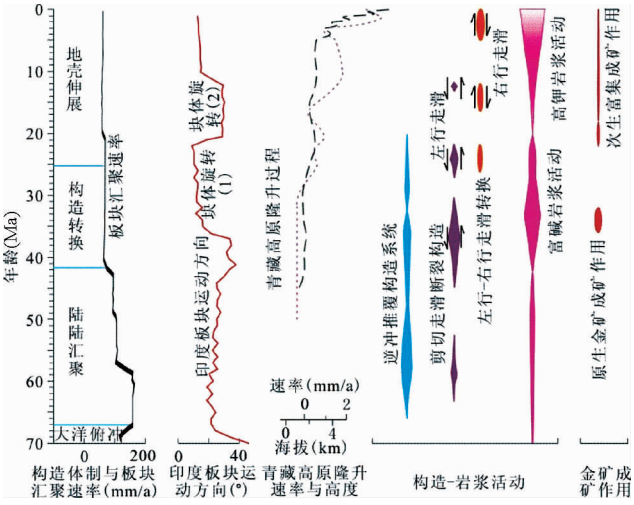

图 2 区域新生代构造-岩浆-成矿演化序列

板块汇聚速率和印度板块运动方向据 Lee and Lawyer,1994 和 Leloup *et al.*,1995 综合;青藏高原隆升速率虚线据马宗晋等,1998;点画线据 Zhong and Ding,1996

Fig. 2 The Cenozoic regional tectonic-magmatic-metallogenic sequence

Convergence rate and direction of India plate movement after Lee and Lawyer,1994; Leloup *et al.*,1995; uplift rate of Tibet after Ma *et al.*, 1998; Zhong and Ding,1996

绝大部分 7 级以上强震的发生。断层相互作用和错动现象十分频繁,区域性断裂的次级构造及其他新生断裂活动也很明显(王凯英,2002)。这些形成于成矿后的构造裂隙,一方面改变了矿体或含矿斑岩的结构,使其更易风化;另一方面,使得氧逸度较高的地表水及与硫化物作用后形成的酸性介质更容易向矿体深部渗透,使矿体的氧化-淋滤带增厚。这些硫化物在氧化过程中把所含的成矿元素释放出来,并在氧化-淋滤带或其稍下部发生再沉淀而形成次生富集带(吴开兴等,2005)。

尽管与成矿有关的富碱岩浆活动主要发生在 35Ma 左右,但在成岩成矿的峰期之后,仍有一定规模的岩浆活动存在,但各矿区岩性多有所不同。例如姚安和马厂箐金矿床深部主要以煌斑岩脉为主,姚安金矿床有 18.19Ma 年的岩浆活动。北衙矿田富碱岩浆侵入活动可分为四期,早期石英正(钠)长斑岩形成于 65 ~ 59Ma,主含矿斑岩的成岩为 36 ~ 32Ma,第三期岩浆流体(26 ~ 24Ma)对早期斑岩和已形成的矿(化)体进行叠加改造,形成高品位的 Au-Cu(Mo)-Fe-Pb-Zn-Ag 多金属矿床,其金品位明显增高 1 ~ 2 个数量级(薛传东等,2008)。晚期黑云正长斑岩(3.8 ~ 3.6Ma)无明显的金多金属矿化。但是,由于间歇式隆升和地形、岩性及气候条件的影响,原生金矿体经历较强的次生淋滤富集作用。

成矿后的流体活动主要包括大气降水、地表流体、地下流体活动等不同形式。其中地表流体(它可能是大气降水、地下喷出热水的混合物)活动主要与风化剥蚀和沉积作用相伴。滇西地区现代地下热水活动非常活跃,并可能同深部壳幔相互作用密切相关(Ge *et al.*, 2009)。在扬子板块内部,小江断裂带两侧地块的差异隆升及走滑运动控制了新近纪以来盆地的形成,如路南盆地、建水盆地、离明盆地及抚仙湖盆地。中、晚更新世以来,特别是全新世以来,断裂左旋走滑运动产生的断错地貌,如山脊、水系扭错、断塞塘、断崖、反向坎等现象普遍,并在各次级剪切断层重叠区内产生拉分构造,表现为现今湖泊或盆地内新沉降区。沿断裂带具有大量热泉活动,温泉水化学特征显示其受地层控制明显,其中,灰岩地层区温泉水化学类型以 HCO_3^--Ca^{2+} 型为主,褐煤盆地区的温泉水化学类型为 SO_4^{2-} + HCO_3^--Na^+ + Ca^{2+} 型(赵珂,2005)。滇西金沙江带位于扬子板块与兰坪盆地过渡地区,新构造活动的密度更大,与温泉形成有关的断裂带主要有金沙江断裂带、丽江-剑川断裂带、乔后断裂带及程海断裂带等,控制了区域热水活动的格局。这些断裂的活动和交汇处则控制了热泉活动的集中区,如中甸下给、下关等。红河断裂北段与鹤庆-洱源断裂的沿线交汇的北衙-洱源地区,热泉不仅数量多,流量也很大,表明这些断裂不但切割地壳较深,而且活动强度也高。该区温泉水化学类型为低 PH 值、低 K^+、低 Cl^-,高 CO_2 分压,高 Na^+、高 Ca^{2+},高 HCO_3^- 和 SO_4^{2-} 型(赵珂,2005),显示本区温泉水化学特征明显富集地幔组分,可能与其受控于区域性深大断裂有关。兰坪盆地内的温泉水化学类型复杂,有 HCO_3^- + Cl^--Na^+ + 高 Ca^{2+} 型水或 HCO_3^- + SO_4^{2-}-Ca^{2+} 型水,普遍存在 Cl^- 异常,反映出盆地内部深循环水的特征。由于地下热水的广泛发育且强烈活动,同时也集中在与早期富碱斑岩及相关矿床的集中区,因而不可避免地会对矿床发生作用。此外,大气降水也可能对深部的矿床(体)发生不同程度的改造作用,特别是在断裂构造密度发育的地区。

2.2 差异隆升与风化剥蚀

隆升作用过程是青藏高原研究的核心问题之一。近年来,随着测试手段和理论计算技术与方法的发展,逐渐开始了青藏高原隆升过程的定量研究(England and Mckenzie, 1982;石耀霖等,1992;李廷栋,1995; Zhong and Ding,1996; Dong and Tang,1997;马宗晋等,1998;傅容珊等,2000;杨立强等,2001,2006;李祖宁等,2002;袁万明等,2007;Yuan *et al.*, 2009)。已有研究均反映了青藏高原的隆升自 40Ma 左右的陆内造山开始,但大范围的上升则主要发生在 20Ma 以后,其隆升具有多阶段、非均一、不等速的特征,同一阶段内高原隆升速率较为均一,不同阶段的初始高程和隆升速率随时代变新呈递增趋势(图 3)。本区作为青藏高原东部边缘,其抬升高度大至为 2 ~ 4km,北部略高,南部总体略低,但隆升幅度不及青藏高原内部。与陆内造山过程相伴的多阶段、非均一、不等速抬升作用对于研究区成矿系统的变化与保存具有重要影响,它可以使位于高原强烈隆升区边部或边缘地带的斑岩型铜矿床地区形成有利于表生风化作用进行的地形、气

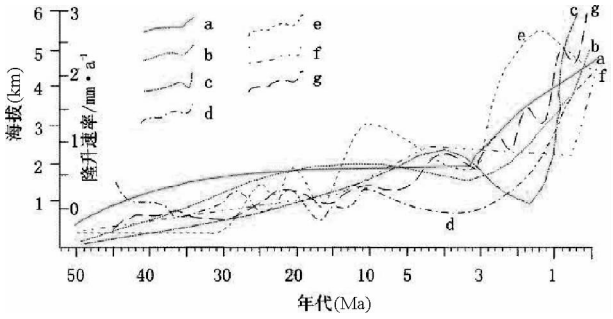

图 3 青藏高原隆升过程不同模型的对比

a-数值模型(李祖宁等,2002);b-数值模型(傅容珊等,1998);c-数值模型(Shen,1996);d-数值模型(Dong *et al.*,1997);e-实测模型(Zhong and Ding,1996);f-实测模型(李廷栋,1995);g-实测模型(马宗晋等,1998)

Fig. 3 Numerical and factual model of the uplift of the Qinghai-Tibet Plateau

a-numerical model(Li *et al.*,2002);b-numerical model(Fu *et al.*,1998);c-numerical model(Shen,1996);d-numerical model(Dong *et al.*,1997);e-experimental model(Zhong and Ding,1996);f-experimental model(Li,1995);g-experimental model(Ma *et al.*,1998)

候及断裂裂隙构造,从而大大提高其地表的化学风化能力(吴开兴等,2005)。

风化剥蚀和沉积作用是对矿床形成后变化与保存最具影响的地质作用之一。由于受特提斯洋闭合及陆内造山作用的影响,滇西在古近纪和新近纪差异升降明显,在构造上升区遭受风化剥蚀,而在构造下降区形成了一系列山间盆地和山前盆地(图4),其中沿金沙江-哀牢山构造带形成了洱源炼铁盆地、南华大龙潭盆地等。在这些山间盆地和山前盆地中沉积了古近系和新近系的陆源碎屑岩系,其中不乏近源的洪积-冲积扇沉积,满足了古砂金矿可能成矿的地层、盆地和岩相条件。如果具有与其匹配金的物源条件,那么在合适的微相中就可以形成古砂金矿床(中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,2006①)。

2.3 气候、地形地貌与红土化作用

表生环境作为一个开放体系,金的次生富集受岩性、地理、构造、气候、水文等多因素控制,只有原生金矿化强、可活化程度高和气候等地理条件适宜的情况下,红土型金成矿作用才能发生。大气降水为主的流体通过水岩反应使基岩中矿物产生氧化和水解,发生脱钙、脱碱、去硅作用,是成矿环境变化的主要因素。岩性圈闭区、构造破碎带和局部地理凹陷是成矿作用发生的有利场所(Gao *et al.*,2008)。中国南方红土型风化壳形成时限与全球范围内晚第三纪和早更新世风化-湿热气候时段相对应,可能是该区红土型金矿大规模形成的原因之一。

滇西富碱斑岩带主体位于金沙江-红河深大断裂两侧,

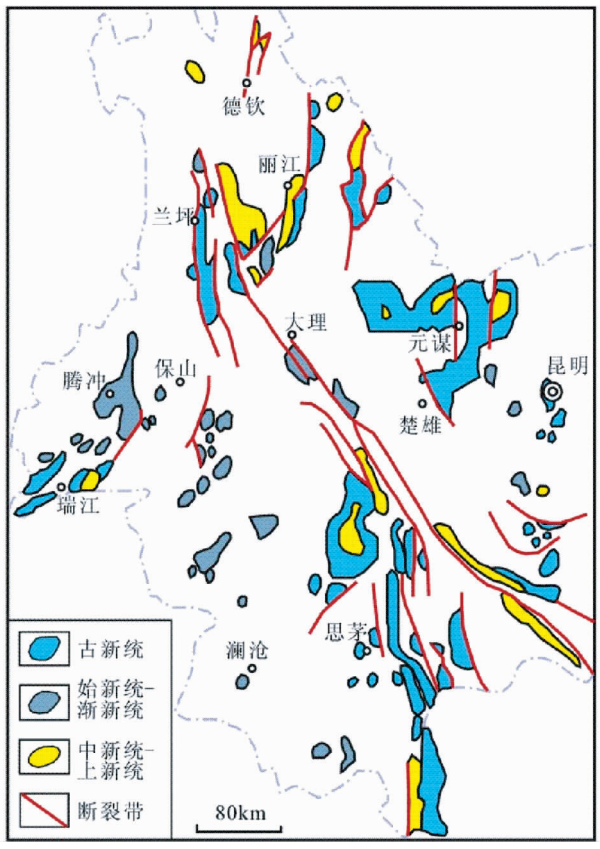

图 4 滇西古近系和新近系地层分布(据云南省地质矿产局,1990 修改)

Fig. 4 Strata of Paleogene-Neogene in the western Yunnan (after BGMRY, 1990)

地形切割深,垂直气候分带明显,长期属于亚热带温湿气候。具有汗雨季分明、湿热同季、干湿交替的气候特点。一些矿床集中区内的小气候为中暖山区及半山区的北亚热带气候,如北衙矿区年平均气温 13.5℃,年降雨量为 800 ~ 1000mm。其中每年 6 ~ 9 月为雨季,11 月至次年 4 月为旱季,这种气候特点特别有利于氧化作用的发生。其他许多矿区也具有大致相似的气候特点,如松桂盆地、马厂箐、姚安等地。合适的气候条件,如再能匹配适当的地层岩性和地貌条件,便能形成较大规模的红土化作用。

3 成矿系统变化过程与产物

金的表生成矿作用从原生金多金属矿床形成后就已开始,之后经历了多个成矿阶段的跨度,有明显的穿时性。本文以北衙金矿床为例,论述如下。

① 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院. 2006. 云南西部第三系砂砾岩型金矿成矿规律与成矿预测研究

3.1 热水角砾岩与古砂金矿的形成

与区域上古近纪直接不整合在三叠系之上不同,北衙金矿床从中晚中生代到新生代的漫长历史时期经历了大规模的隆升剥蚀,也可能发生了小幅度的阶段性沉降,特别是伴随有多阶段的喀斯特化过程,形成了包含古砂金矿的、具有盖储双层结构的堆积地质体,主要见于古近纪丽江组底部、中三叠统灰岩顶部侵蚀面上的含金泥砾堆积层中。具有工业价值的古砂矿可分为 3 种类型:河湖相古砂矿、掩埋岩溶裂隙-洞穴沉积古砂矿、古风化壳型古砂矿,它们最显著的特征是被一层厚薄不等的钙质胶结灰岩角砾岩所覆盖(图 5)。例如,在矿区东部桅杆坡,见有呈漏斗状分布的角砾状岩石(图 6),厚约 1.2m,自地表向下,由厚变薄,直至尖灭,位于层状磁-褐铁矿型金矿体的上盘,与矿体的界线分明。其上盘为具明显裂隙的灰岩,二者之间为一断层分隔,见厚约 30cm 的断层泥,断层泥中擦痕和阶步构造发育,阶步构造显示断层泥上部的角砾岩体具从东向西、从上往下滑动的特征。角砾磨圆度差、大小混杂,胶结物主要为基本为发生蚀变的与角砾同成分的细碎屑物。由于角砾岩顶盖的保护,古砂矿的原始存储环境保存良好。

盆地沉积物特征的对比分析表明(薛传东等,2008),万硐山-五里盘一带盆区内基岩顶部上覆的古红色砂砾型(含古埋藏岩溶洞穴堆积型和古地表残坡积型)金矿赋矿岩系是始新世-渐新世(56.5~23Ma)期间形成的原生金矿床在原地发生红土化的产物,裸露地表可延续至今。这些堆积红色砂砾型金矿体形成之后又遭受了后期矿化的叠加改造或者正长斑岩脉的穿切。而中上部不同层位的古砂金矿含矿松散堆积是中新世中晚期(23~5Ma)间歇性隆升造成的河湖相沉积环境变化的产物,其物源区为 65~59Ma、36~32Ma 和 26~24Ma 期间形成的含矿斑岩及附近围岩。根据浅钻及地震勘探工程,对北衙地区表生金矿进行统计,圈定出 6 个含矿靶区,面积为 2.86km^2,计算获得金资源量 49.97t,其中古砂矿占 44.20t(肖骑彬等,2003)。

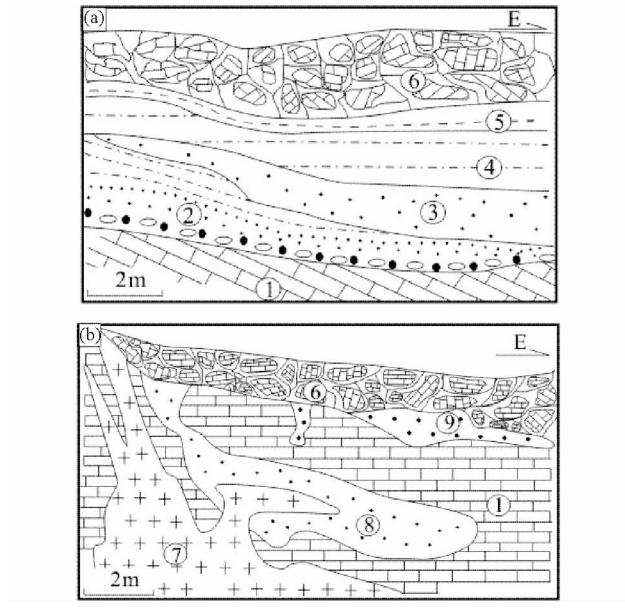

图 5 北衙金矿不同类型表生金矿素描图(据肖骑彬等,2003)

(a)-河湖相古砂矿(五里排);(b)-洞穴沉积及古风化壳型古砂矿(万硐山);①-北衙组灰岩;②-古河床相砾岩、砂砾岩(含矿);③-湖相粘土沉积层;④-古阶地砂泥岩(含矿);⑤-滑脱面;⑥-灰质热水角砾岩;⑦-晚期正长斑岩;⑧-洞穴古砂矿;⑨-古风化壳型古砂矿

Fig. 5 Sketch of different kinds of epigenetic deposits in Beiya (after Xiao *et al.*, 2003)

(a)-Paleoplacer deposit of river-lake phase (Wulipai); (b)-Paleoplacer deposit in karst caves and paleo-weathering crust (Wandongshan). ①-Limestone of Beiya Formation; ②-Paleo-riverbed conglomerate and sandy conglomerate (containing orebody); ③-Lake phase clay sediment layer; ④-Sandy mudrock of paleo-river ladder (containing orebody); ⑤-Decollement plane; ⑥-Calcific thermal water breccia; ⑦-Late syenite-porphyry; ⑧-Paleoplacer in karst caves; ⑨-Paleoplacer deposit of paleo-weathering crust

3.2 区域红土化作用与红土型金矿

本区特殊的地理地形和气候条件非常有利于区域红土化作用,矿区表生氧化作用和红色粘土型矿化非常发育。金矿赋存的剖面分带现象明显(王会远,1993),0~20m 为强氧化带,金品位 0.5×10^{-6},少数达 $n\times10^{-6}$,多为贫金带,主要由褐铁矿、软锰矿和硬锰矿组成,呈皮壳状、蜂窝状和多孔状,硅铁质格架明显,颜色多为褐黑色或黄褐色;20~100m 为氧化淋滤带,金品位 5.3×10^{-6},最高可达 100×10^{-6} 以上,为富金矿带,以块状、胶状、土状褐铁矿石居多,一般可有少量残余的硫化物矿物;100~140m 为半氧化带或称过渡带,金品位一般 $0.0n\sim n\times10^{-6}$,一般不具工业价值。再往下过渡到原生硫化物带,含金一般 $n\times10^{-6}$。

红土化作用是研究区最富特色的外生地质作用,并对成矿系统产物的变化与保存有重影响。如果红土化作用发生在原生矿床之上或其附近,则可能形成红土型金矿床。滇西大量红土型金矿化的存在,正是同多种条件(如地壳运动、地层岩性特征、气候、成矿后流体活动、风化氧化淋滤、矿质次生富集、地形地貌等)共同作用密切相关。以北衙为例,北衙矿区原生矿化类型,为产于正长斑岩与碳酸盐岩接触带的含金矽卡岩,主要见于北衙矿区万硐山、红泥塘矿段;产于构造破碎带的含金褐(黄)铁矿脉,主要见于东部的桅杆坡、笔架山矿段。矿区地质构造属于向斜加断层系统,地貌上则属于山间小盆地,盆地的东、南、西三面环山,地表水从三个方流入盆地,造成盆地很小、汇水面积很大的局势。从区域上看,沿东西方向,地势西高东低,使得矿区又具有台地的性质。矿区西侧为马鞍山山脉,它作为澜沧江与金沙江两大水系的分水岭,高达 2940~3155m,而矿区东侧的黄坪盆地海拔仅

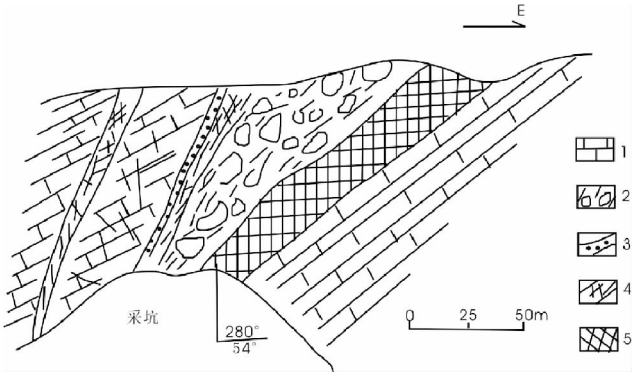

图 6 北衙金矿笔架山西坡 21#矿体剖面

1-灰岩;2-角砾岩带;3-断层泥;4-构造碎裂岩;5-矿体

Fig. 6 Cross section of Bijiaoshanxipo orebody in Beiya gold deposit

1-limestone; 2-breccia belt; 3-fault gouge; 4-structure cataclasite; 5-orebody

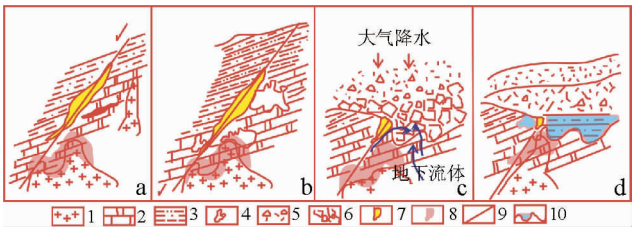

图 7 滇西红土型矿化形成过程模式图

1-富碱斑岩;2-灰岩或白云岩类;3-碎屑岩;4-溶洞;5-松散堆积物;6-底砾岩;7-原生脉状矿体;8-原生斑岩型矿体;9-断裂;10-不整合面及红土型矿化体

Fig. 7 Model map of lateritic gold mineralization process in the western Yunnan

1-alkali-rich porphyry; 2-limestone or dolomite; 3-clastic rock; 4-karst cave; 5-loose deposit; 6-basal conglomerate; 7-primary vein orebody; 8-primary porphyry orebody; 9-fault; 10-unconformity and lateritic gold mineralization

1500m,两者相对高差超过 1400m。北衙矿区位于马鞍山山脉与黄坪盆地之间,且高出黄坪盆地近 400m。可见,构造和地形条件使得矿区广泛接受地表水的补给。

矿区断层和裂隙发育,北衙组灰岩可溶岩地层中具有溶沟和落水洞,为地表水下渗创造了良好的条件。因此,矿区地下水以垂直运动及氧化淋滤作用占主导地位,地表径流不发育,成为"干盆地"。地下水最终通过地下暗河流入矿区北东角的锅厂河,向黄坪盆地排泄,使得矿区地下水位较低,导致风化作用的深度和强度均很大。受区域地壳隆升作用影响,矿区主要处于抬升状态,使得地下水位不断下降,有利于氧化作用向深部发展,此外,一次成矿作用形成的金属硫化物,在氧化过程中,分解出 SO_4^{2-},使地下水成为酸性溶液,大大增强了地下水的侵蚀能力,进一步促进氧化作用的进行。由于矿区氧化条件优越,使得氧化带非常发育,其深度可达地表以下 400m。正是在这种综合条件作用下,形成了北衙地区独具特色并十分有前景的红土、红色黏土型矿化体。与此同时原生矿体的一部分可能被这样转化,而尚未形成迁移的部分,也改变了其原生矿的存在形成,而变为次生氧化富集带。其可能的形成过程如图 7 所示。

3.3 第四纪砂金

除红土化作用之外,在地表径流或冰川作用下,在地表适宜环境中就位,与风化剥蚀作用相伴,可能会形成残坡积、洪积、冲洪积、冲积等类型的砂金矿床(点),即改变了矿质元素的存在状态和产出特征。本区砂金成矿期自晚更新世早期至今,可划分为五期:晚更新世早期、晚更新世晚期、全新世早期、全新世中期及现代成矿期。由于地壳间歇上升与河流下切,相应形成 T_5、T_4、T_3、T_2、T_1 等多级阶地。与风化剥蚀作用相伴,在一些相对低凹的谷地中发生沉积作用,二者共同决定了某些矿床变化和保存的状态(黄仲权和史清琴,2000)。表 1 列出了主要类型砂金矿床点的地质特征,砂金异常和矿床(点)的分布见图 8。可见,砂金矿床与富碱斑岩型金多金属矿床在分布上的密切关系,表明砂金可能是区内富碱斑岩型金多金属矿床改造、变化的产物。

3.4 其他可能的变化

成矿系统的变化和保存有三种可能性(翟裕生等,2000),一是使成矿元素更加富集,通常与后期叠加成矿作用有关,需要成矿控制因素的良好匹配和耦合;二是使成矿元素发生迁移形成次生富集或变贫,其影响因素较多,但多与外生地质作用有关;三是对矿体的产出特征构成影响,如错失、错断、肢解等,或使矿床被覆盖或埋藏起来而难以发现利用,或使矿床被抬升至浅部甚至出露地表。

本区与富碱斑岩体有关的金多金属矿床大多形成于地下 1~2km 或更深的深度范围内(Ge *et al.*, 2009),由于区域隆升和风化剥蚀作用,导致其逐渐出露在地壳浅部,被人们发现。但区域隆升和风化剥蚀作用也会对露于地表的矿床产生不同程度的破坏,风化剥蚀强烈的地区可能使一些小规模的矿体完全消失。此外由于相伴的沉积作用存在,特别是在整体坳陷区内,将本来是出露于地表的矿床埋藏起来,因而无法发现。

成矿后构造对一些矿区矿体的破坏作用是较为常见的,主要表现为对完整矿床(体)的错断、错失、肢解,或使其产出状态复杂化,增加找矿勘查的难度,长期多期的构造活动有时甚至可能使完整的矿床肢解得支离破碎,从而失去勘查开发意义。

成矿后岩浆活动的产物,特别是一些岩脉,如煌斑岩脉切穿矿体的现象也时有所见。是岩浆活动对早期成矿系统产物形成影响的主要表现形式。但到目前为止,没有明确的证据表明晚期岩浆活动对富碱斑岩型矿化产物具有成矿叠

表 1 滇西第四纪砂金矿床(点)类型及其特征

Table 1 Types and characteristics of Quaternary placer gold deposits (ore occurrences) in the western Yunnan

矿床类型	成矿作用	成矿特征	成矿环境	实例
残坡积	风化作用,含金地质体就地残积布成	沉积特无分选性,矿体厚大变化大,金多富集于底部	缓坡地带、洼地、岩溶漏斗、石牙缝、基岩裂隙	丽江瓦金坪
洪积	季节性洪水搬运作用	洪积物分选差,厚度、金品位变化大,矿体形态复杂	间歇性河订或洪积扇	巨甸、吾作格
冲洪积	季节性洪水与河流冲积协同作用	沉积物于洪积与冲积之间,无明显界线,成过渡现象	多见于干流与支流交会处,覆盖于早期阶地上者较多	土可、格子
冲积	河流中积作用,砂金受水动力控制,多见于河流水动力由强变弱的地带	沉积物分选好,磨园度高,含金沙体长而稳定,金品位变化小,多赋存于底部砂砾岩层	现代河订,河漫滩、河谷两侧阶地、边滩、心滩	塔城、石鼓、金江街
冰碛	冰川作用	成分复杂,无分选性,厚度及金品位变化大	冰川终碛、冰川故道缓坡、洼地、冰斗、冰川台地	剑川金平

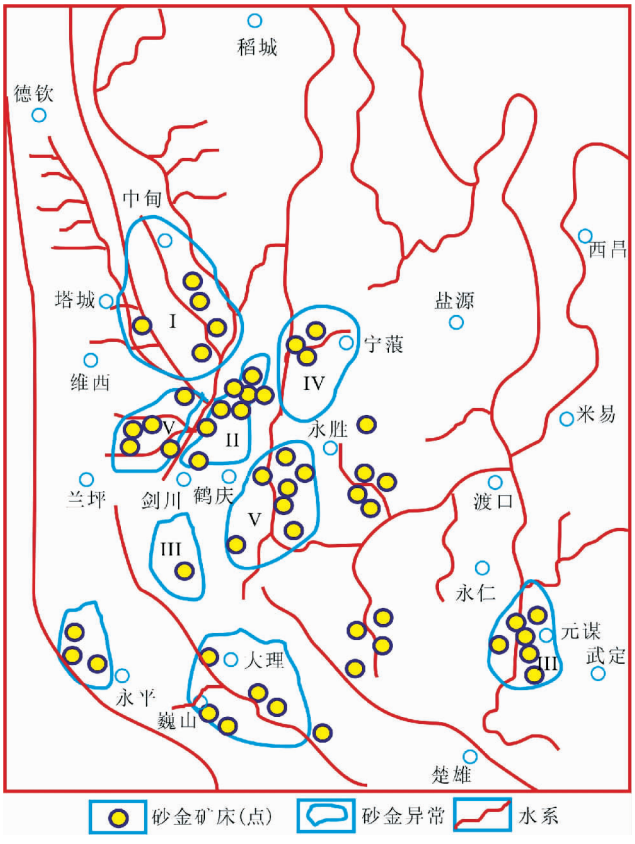

图 8 滇西砂金异常矿床点分布图(据黄仲权和史清琴,2000 修改)

Ⅰ-塔城-石鼓;Ⅱ-丽江-大沟头;Ⅲ-剑川-金平;Ⅳ-宁蒗-洪门口;Ⅴ-永胜-金江街;Ⅵ-丽江-瓦金坪

Fig. 8 Placer gold anomaly and deposits in the western Yunnan (after Huang and Shi, 2000)

Ⅰ-Tacheng-Shigu; Ⅱ-Lijiang-Dagoutou; Ⅲ-Jianchuan-Jinping; Ⅳ-Ninglang-Hongmenkou; Ⅴ-Yongsheng-Jinjiangjie; Ⅵ-Lijiang-Wajinping

加的效应。大龙潭金矿床第三系砂砾岩中有明显的热液活动现象,附近虽并未见明显的富碱岩活动,但根据区域成矿的对比研究,其热液成矿作用是与本区富碱岩浆活动高峰期是一致的,而并非更晚期岩浆热液成矿叠加产物。

4 结论

白垩纪末期开始的新特提斯闭合,以及随之发生的印度-欧亚大陆之间的俯冲和碰撞奠定了滇西地区的现今构造格局。晚碰撞伸展作用诱发了区域性富碱岩浆就位,伴随着区域富碱斑岩型金多金属成矿系统的形成。之后,印度-欧亚持续碰撞挤压和青藏高原的多期次隆升以及块体旋转,使包括滇西在内的三江地区成为调节和吸纳碰撞应变的构造转换域,大规模走滑剪切作用和构造隆升是区域规模的重要构造作用过程,滇西地区发生了多期次构造变形、岩浆活动和流体作用,改造了区域构造格局,并将中下地壳岩石剥露到地表,早先形成的构造-岩浆-矿床组合也遭受了强烈的变化改造。

成矿系统及其形成后的变化和保存构成了区域矿化网络,其时空结构的研究对指导区域找矿和制定勘查技术方法组合具有重要意义。同时开展对该系统成矿作用过程和成矿后变化、保存两方面的研究工作,是提高矿产预测能力的迫切需求。

References

Bi XW. 1999. Alkali-rich intrusive rocks in the "Sanjiang" (Three-River) region, western Yunnan and their relation with metallogenesis of copper and gold. Ph. D. Dissertation. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1 – 99 (in Chinese with English summary)

Burchfiel BC, Chen Z, Hodges KV, Liu Y, Royden L, Deng C and Xu J. 1992. The south Tibetan detachment system, Himalayan orogen:

Extension contemporaneous with and parallel to shortening in a collisional mountain belt. Geological Society of America Bulletin Special Paper, 269: 1 – 41

Bureau of Geology and Mineral Resources of Yunnan Province (BGMRY). 1990. Regional Geology of Yunnan Province. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 728 (in Chinese)

Cai XP, Liu BG and Ji CY. 1991. Study on genesis and geological characteristics of Beiya gold ore district in western Yunnan. News in Science & Technology of Gold, 7:7 – 19 (in Chinese with English abstract)

Chen HH, Dobson J, Heller F and Hao J. 1995. Paleomagnetic evidence for clockwise rotation of the Simao region since the Cretaceous: A consequence of India-Asia collision. Earth and Planetary Science Letters, 134(1 – 2): 203 – 217

Copeland P, Parrish RR and Harrison TM. 1988. Identification of inherited radiogenic Pb in mozazite and its implications for U-Pb systematics. Nature, 333: 760 – 763

Deng J, Hou ZQ, Mo XX, Yang LQ, Wang QF and Wang CM. 2010. Superimposed orogenesis and metallogenesis in Sanjiang Tethys. Mineral Deposits, 29 (1): 37 – 42 (in Chinese with English abstract)

Deng J, Wang QF, Yang LQ, Wang YR, Gong QJ and Liu H. 2010. Delineation and explanation of geochemical anomalies using fractal models in the Heqing area, Yunnan Province, China. Journal of Geochemical Exploration, http://dx. doi. org/10. 1016/j. gexplo. 2010. 04. 005

Deng WM, Huang X and Zhong DL. 1998. Petrological characteristics and genesis of Cenozoic alkali-rich porphyry in west Yunnan, China. Scientia Geologica Sinica, 33 (4): 412 – 425 (in Chinese with English abstract)

Dong FL. 2002. Study on metallogenic condition and potentiality of copper-gold-polymetallic deposits in Weishan-Yongping mineralization district, Yunnan. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosiences (in Chinese with English summary)

Dong WJ and Tang MC. 1997. A numerical modelling study on the processes of uplift and planation of the Tibetan Plateau. Science in China (Series D), 40(3):246 – 252

England P and Mckenzie D. 1982. Thin viscous sheet model for continental deformation. Journal of Geophysics Research, 70: 295 – 321

Fielding E J. 1996. Tibet up lift and erosion. Tectonophysics, 260: 55 – 84

Fu RS, Huang JH, Xu YM *et al.* 1998. Study of the mantle dynamics of the lithosphere movements in the region from Qinghai-Xizang plateau to Tianshan mountain. Acta Geophysica Sinica, 41(5): 658 – 668 (in Chinese)

Fu RS, Xu YM, Huang JH and Li LG. 2000. Numerical simulation of the compression uplift of the Qinghai-Xizang plateau. Chinese Journal of Geophysics, 43(3): 346 – 355 (in Chinese)

Funahara S, Nishiwaki N, Miki M, Mmata F, Otofuji Y and Wang YZ. 1992. Paleomagnetic study of Cretaceous rocks from the Yangtze Block, central Yunnan, China: Implications for the India-Asia collision. Earth and Planetary Science Letters, 113(1 – 2):77 – 91

Funahara S, Nishiwaki N, Murata F, Otofuji Y and Wang YZ. 1993. Clockwise rotation of the Red River fault inferred from paleomagnetic study of Cretaceous rocks in the Shan-Thai-Malay block of western Yunnan, China. Earth and Planetary Science Letters, 117:29 – 42

Gao BF, Deng J, Yang LQ and Wang QF. 2008. Lateritic gold ore-forming system in southern China. In: Li GB (ed.). Proceedings of Information Technology and Environmental Systems Sciences. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 261 – 266

Ge LS, Deng J, Guo XD, Zou YL and Liu YC. 2009. Deep-seated structure and metallogenic dynamics of the Ailaoshan polymetallic mineralization concentration area, Yunnan Province, China. Science in China (Ser. D), 52 (10): 1624 – 1640

Groves DI, Condie KC, Goldfarb RJ, Hronsky JMA and Vielreicher RM. 2005. Secular changes in global tectonic processes and their influence on the temporal distribution of gold bearing mineral deposits. Economic Geology, 100: 203 – 224

Harrison TM, Copeland P, Kidd WSF and Yin A. 1992. Raising Tibet. Science, 255: 1663 – 1670

Harrison TM, Mckeegan KD and Le Fort P. 1995. Detection of inherited monazite in the Manaslu leucogranite by $^{208}Pb/^{232}Th$ ion microp robe dating: Crystallization age and tectonic implication. Earth Planet. Sci. Lett., 133: 271 – 282

He HY. 2002. The age and geochemistry characteristics of K-rich alkaline rocks in the eastern margin of Qinghai-Tibet Plateau. Ph. D. Dissertation. Beijing: Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences (in Chinese with English summary)

Hodges KV. 2000. Tectonics of the Himalaya and southern Tibet from two perspectives. Geol. Soc. Amer. Bull., 112: 324 – 350

Hou ZQ, Ma H, Zaw K, Zhang Y, Wang M, Wang Z, Pan G and Tang R. 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet. Economic Geology, 98: 125 – 145

Hou ZQ, Zhong DL and Deng WM. 2004. A tectonic model for porphyry copper-molybdenum-gold metallogenic belts on the eastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau. Geology in China, 31 (1): 1 – 14 (in Chinese with English abstract)

Hou ZQ, Mo XX, Yang ZM, Wang AJ, Pan GT, Qu XM and Nie FJ. 2006. Metallogeneses in the collisional orogen of the Qinghai-Tibet Plateau: Tectonic setting, tempo-spatial distribution and ore deposit types. Geology in China, 33: 348 – 359 (in Chinese with English abstract)

Hou ZQ, Zaw K, Pan GT, Mo XX, Xu Q, Hu YZ and Li XZ. 2007. The Sanjiang Tethyan metallogenesis in SW China: Tectonic setting, metallogenic epoch and deposit type. Ore Geology Reviews, 31 (1 – 4): 48 – 87

Huang B, Liang HY, Mo JH and Xie YW. 2009. Zircon LA-ICP-MS U-Pb age of the Jinping-Tongchang porphyry associated with Cu-Mo mineralization and its geological implication. Geotectonica et. Metallogenia, 33 (4): 598 – 602 (in Chinese with English abstract)

Huang K and Opdyke ND. 1993. Paleomagnetic results from Cretaceous and Jurassic rocks of South and Southwest Yunnan: Evidence for large clockwise rotations in the Indochina and Shan-Thai-Malay tersanes. Earth and Planetary Science Letters, 117 (3 – 4): 507 – 524

Huang ZQ and Shi QQ. 2000. The genetic types and prospecting potentlality of gold placer in the drainage area of Jinsha River. Yunnan Geology, 19(3): 270 – 278(in Chinese)

Le Fort P. 1996. Evolution of the Himalaya. In: Yin A and Harrison TM (eds.). The Tectonic Evolution of Asia. New York: Cambridge University Press, 95 – 106

Lee TY and Lawyer LA. 1994. Cenozoic plate reconstruction of the South China Sea region. Tectonophysics, 235 (1 – 2): 149 – 180

Leloup PH, Lacassin R, Tapponnier P, Schärer U, Zhong DL, Liu XH, Zhang LS, Ji SC and Trinh PT. 1995. The Ailao Shan-Red River shear zone (Yunnan, China): Tertiary transform boundary of Indochina. Tectonophysics, 251:3 – 84

Leloup PH, Arnaud N, Lacassin R, Kienast JR, Harrison TM, Trong TTP, Replumaz A and Tapponnier P. 2001. New constraints on the structure, thermochronology, and timing of the Ailao Shan-Red River shear zone, SE Asia. Journal of Geophysics Research, 106: 6683 – 6732

Li TD. 1995. The uplifting process and mechanism of the Qinghai-Xizang Plateau. Acta Geoscientia Sinica, 34(1): 1 – 9 (in Chinese)

Li ZN, Fu RS and Huang JH. 2002. Numerical simulation of the Qinghai-Xizang Plateau uplift under the effect of denudation and mantle convection. Chinese Journal of Geophysics, 45(4):516 – 524 (in Chinese with English abstract)

Liang HY, Xie YW and Zhang YQ. 2004. Constraints of the formation and evolution of K-rich alkaline rocks on the Cu ore-forming process: Exemplified by Ma Changjing Cu deposit. Progress in Natural Science, 14(1): 115 – 200 (in Chinese with English abstract)

Liu BG, Lu DF, Cai XP *et al.* 1999. Study on the Gold Deposits in the

West of Sichuan and Yunnan Provinces. Beijing: Ocean Press, 1 – 125 (in Chinese)

Lu BX and Qian XG. 2000. The tectonic type of Cenozoic alkaline magmatic rock series in Three-River area, West Yunnan. Yunnan Geology, 19(3):232 – 243 (in Chinese with English abstract)

Luo YN and Yu RL. 2003. Orogenic evolution and metallogenic time-Space distribution in Jinshajiang-Lancangjiang-Nujiang Region, Southwest China. Acta Geoscientia Sinica, 23(5):417 – 422 (in Chinese with English abstract)

Ma ZJ, Zhang JS and Wang YP. 1998. The 3-d deformational movement episodes and neotectonic domains in the Qinghai-Tibet Plateau. Acta Geoscientia Sinica, 72(3):213 – 227 (in Chinese with English abstract)

Peng JT, Bi XW, Hu RZ, Wu KX and Sang HQ. 2005. Determination of ore-and rock-forming time of the Machangqing porphyry Cu (Mo) deposit, western Yunnan Province. Acta Mineralogica Sinica, 25 (1): 69 – 74(in Chinese with English abstract)

Sato K, Liu YY, Zhu ZC, Yang ZY and Otofuji Y. 1999. Paleomagnetic study of Middle Cretaceous rocks from Yunlong, western Yunnan, China: Evidence of southward displacement of Indo-China. Earth and Planetary Science Letters, 165(1):1 – 15

Schärer U, Zhang LS and Tapponnier P. 1994. Duration of strike-slip movements in large shear zones: The Red River belt, China. Earth and Planetary Science Letters, 126:379 – 397

Searle MP. 1996. Cooling history, erosion, exhumation, and kinematics of Himalaya-Karakoram-Tibet orogenic belt. In: Yin A and Harrison TM (eds.). The Tectonic Evolution of Asia. New York: Cambridge University Press, 109 – 137

Shen XJ. 1996. Crust-Mantle Thermal Structure and Tectonothermal Evolution of the Tibetan Plateau. Beijing: Science Press

Shi YL, Zhu YQ and Shen XJ. 1992. Main controlling factors in tectonothermal evolution of Qinghai-Tibetan Plateau. Geophysics Acta, 35(6): 710 – 720 (in Chinese)

Song HB and He MQ. 1994. Secondary ore-forming events of Biaya gold deposit in west Yunnan. Journal of Kunming Institute of Technology, 19 (4): 15 – 20(in Chinese)

Turner S, Arnaud N, Liu JQ *et al*. 1996. Post-collision, shoshonitic volcanism on the Tibetan plateau: Implications for convective thinning of the lithosphere and the source of ocean island basalts. Journal of Petrology, 37: 45 – 71

Wang DH, Qu WJ, Li ZW, Ying HL and Chen YC. 2004. Re-Os dating about centralism time of porphyry copper (molybdenum) deposit in the Jinsha-Hong river ore deposit. Science in China (Ser. D), 34: 345 – 349 (in Chinese)

Wang DH, Chen YC and Xu J. 2005. Cenozoic Ore-forming Process in China. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 853 (in Chinese with English abstract)

Wang DH, Ying HL, Liang HY, Huang ZL and Luo YN. 2006. Cenozoic Geodynamic Processes and Large-scale Metallogensis in Sanjiang Region, Western China. Beijing: Geological Publishing House, 1 – 208 (in Chinese with English abstract)

Wang HY. 1993. Preliminary analysis on geological features and metallogenetic geological conditions of Beiya gold deposit. Southwest of Mines and Geology, (2):17 – 24 (in Chinese with English abstract)

Wang JH, Yin A, Harrison TM, Grove M, Zhang GH and Xie YQ. 2001. A tectonic model for Cenozoic igneous activities in the eastern Indo/Asian collision zone. Earth Planet. Sci. Lett., 188: 123 – 133

Wang JZ, Lu Y and Li ZQ. 2001. Supergene enrichment of Xifanping porphyry copper deposit, Sichuan, China. Conributions to Geology and Mineral Resources Research, 16 (4): 232 – 237 (in Chinese with English abstract)

Wang KY. 2002. Present-day stress field and fault interactions in the Sichuan-Yunnan region of China. Ph. D. Dissertation. Beijing: Institute of Geology, China Seismological Administration (in Chinese with English summary)

Wu KX. 2005. The Cenozoic alkali-rich igneous rocks, western Yunnan and their relation with metallogenesis of gold: Exemplified by the Beiya gold deposit. Ph. D. Dissertation. Guiyang: Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, 1 – 118 (in Chinese with English summary)

Wu KX, Hu RZ, Peng JT, Bi XW and Zhao ZG. 2005. Cenozoic tectonic uplifting and secondary enrichment of porphyry copper and gold deposits. Geological Science and Technology Information, 24 (4): 50 – 54 (in Chinese with English abstract)

Xiao QB, Cai XP and Xu XW. 2003. Formation and conservation of Beiya epigenetic deposit, Yunnan Province. Mineral Deposits, 22 (4):401 – 407 (in Chinese with English abstract)

Xing JB, Guo XD, Qu WJ, Wang ZH and Li HG. 2009. Molybdenite Re-Os age and other geological meaning of Machangqing porphyry copper, molybdenum deposit. Gold Science and Technology, 17 (5): 24 – 29 (in Chinese with English abstract)

Xu SM. 2007. Metallogenic modeling of the Beiya gold deposit in western Yunnan and its relation to the Cenozoic alkali-rich porphyries. Ph. D. Dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 1 – 115 (in Chinese with English summary)

Xue CD, Hou ZQ, Liu X, Yang ZM, LiuYQ and Hao BW. 2008. Petrogenesis and metallogenesis of the Beiya gold-polymetallic ore district, northwestern Yunnan Province, China: Responses to the Indo-Asian collisional processes. Acta Petrologica Sinica, 24 (3): 457 – 472 (in Chinese with English abstract)

Yang LQ, Zhang ZJ, Wang GJ, Zhao AH and Chen D. 2001. Progress on uplift of process and geodynamic model of Tibetan Plateau. Progress in Geophysics, 16 (1): 70 – 81 (in Chinese with English abstract)

Yang LQ, Deng J and Chen Y. 2006. Numerical modelling of the crust/mantle deformation in the Tibetan plateau. Earth Science Frontiers, 13(5): 360 – 373 (in Chinese with English abstract)

Yang LQ, Liu JT, Zhang C, Wang QF, Ge LS, Wang ZL, Zhang J and Gong QJ. 2010. Superimposed orogenesis and metallogenesis: An example from the orogenic gold deposits in Ailaoshan gold belt, Southwest China. Acta Petrologica Sinica, 26(6):1723 – 1739 (in Chinese with English abstract)

Yin A, Harrison TM, Ryerson FJ, ChenWJ, KiddW SF and Copeland P. 1994. Tertiary structural evolution of the Gangdese thrust system in southeastern Tibet. Jour. Geophys. Res., 99: 18175 – 18201

Yin A and Harrison TM. 2000. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogen. Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, 28: 211 – 280

Ying HL, Wang DH and Liu HL. 2005. Geology and formation time of nickel mineralization in Jinchang nickel-gold deposit, Mojiang, Yunnan. Mineral Deposits, 24 (1): 44 – 51 (in Chinese with English abstract)

Yuan WM, Du YS, Yang LQ, Li SR and Dong JQ. 2007. Apatite fission track studies on the tectonic in Namulin area of Gangdese terrane, Tibet plateau. Acta Petrologica Sinica, 23(11): 2911 – 2917 (in Chinese with English abstract)

Yuan WM, Deng J, Zheng QG, Dong JQ and Bao ZK. 2009. Apatite fission track constraints on the Neogene tectono-thermal history of Nimu area, southern Gangdese terrane, Tibet Plateau. Island Arc, 18(3): 488 – 495

Zeitler PK. 1985. Cooling history of the NW Himalaya. Tectonics, 4: 127 – 151

Zeng PS, MO XX and Yu XH. 2002. Nd, Sr and Pb isotopic characteristics of the alkaline-rich porphyries in western Yunnan and its compression strike-slip setting, Acta Petrologica Et Mineralogica, 21 (3): 231 – 241 (in Chinese with English abstract)

Zeng PS, Mo XX and Yu XH. 2003. Porphyries and porphyry copper deposits in Zhongdian area, northwestern Yunnan. Mineral Deposits, 22(4):393 – 400 (in Chinese with English abstract)

Zeng PS, Hou ZQ, Gao YF and Du AD. 2006. The Himalayan Cu-Mo-Au mineralization in the eastern Indo-Asian collision zone: Constraints from Re-Os dating of molybdenite. Geological Review, 52 (1): 72 – 84 (in Chinese with English abstract)

Zhai YS, Deng J and Li XB. 1999. Regional Metallogeny. Beijing:

Geological Publishing House (in Chinese with English abstract)
Zhai YS, Deng J and Peng RM. 2000. Research contents and methods for post-ore changes, modifications and preservation. Earth Science, 25 (4): 340 – 345 (in Chinese with English abstract)
Zhang LS and Schaerer U. 1999. Age and origin of magmatism along the Cenozoic Red River shear belt. Contribution to Mineralogy and Petrology, 134(1): 65 – 78
Zhang YQ and Xie YW. 1997. Geoehronology of alkalie intrusive rocks in Ailaoshan-Jinshajiang belt and Nd, Sr isotope geochemistry. Seienee in China (Series D), 27 (4): 289 – 293 (in Chinese)
Zhang ZJ, Teng JW, Li YK, Klemperer S and Yang LQ. 2004. Crustal structure of seismic velocity in southern Tibet and east-westward escape of the crustal material: An example by wide-angle seismic profile from Peigu Tso to Pumoyong Tso. Science in China (Series D), 47 (6): 500 – 506
Zhao K. 2005. Study on Yunnan deep fault of hot CO_2 release law. Master Degree Thesis. Chengdu: Southwest China Normal University (in Chinese with English summary)
Zhao Z. 1995. The metallogenic model of the lead, copper, molybdenum and gold deposits related to porphyries in Himalayan in Zhongdian-Dali-Jinping Region. Yunnan Geology, 14 (4): 333 – 341 (in Chinese with English abstract)
Zhong DL and Ding L. 1996. Rising process of the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau and itsmechanism. Science in China (Series D), 39: 369 – 379
Zhu XP, Mo XX, Noel CW, Zhang B, Sun MX, Wang SX, Zhao SL and Yang Y. 2009. Geology and metallogenetic setting of the Habo porphyry Cu (Mo-Au) deposit, Yunnan. Acta Geologica Sinica, 83 (12): 1915 – 1928 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

毕献武. 1999. 滇西"三江"地区富碱侵入岩及其与铜、金成矿关系的研究. 博士学位论文. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1 – 99
蔡新平, 刘秉光, 季成云. 1991. 滇西北衙金矿矿床特征及成因初探. 黄金科技动态, (7): 7 – 19
邓军, 侯增谦, 莫宣学, 杨立强, 王庆飞, 王长明. 2010. 三江特提斯复合造山与成矿作用. 矿床地质, 29(1): 37 – 42
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. 地质科学, 33(4): 412 – 425
董方浏. 2002. 云南巍山-永平矿化集中区铜金多金属矿床成矿条件及成矿潜力研究. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学
傅容珊, 黄建华, 徐耀民等. 1998. 青藏高原-天山地区岩石层构造运动的地幔动力学机制. 地球物理学报, 41(5): 658 – 668
傅容珊, 徐耀民, 黄建华, 李力刚. 2000. 青藏高原挤压隆升过程的数值模拟. 地球物理学报, 43(3). 346 – 355
贺怀宇. 2002. 青藏高原东缘新生代富钾碱性岩的年龄与岩石地球化学特征. 博士学位论文. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所
侯增谦, 钟大赉, 邓万明. 2004. 青藏高原东缘斑岩铜钼金成矿带的构造模式. 中国地质, 31(1): 1 – 14
侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 王安建, 潘桂棠, 曲晓明, 聂凤军. 2006. 青藏高原碰撞造山带成矿作用: 构造背景、时空分布和主要类型. 中国地质, 33: 348 – 359
黄波, 梁华英, 莫济海, 谢应雯. 2009. 金平铜厂铜钼矿床赋矿岩体锆石 LA-ICP-MSU-Pb 年龄及意义. 大地构造与成矿学, 33(4): 598 – 602
黄仲权, 史清琴. 2000. 金沙江流域(云南段)砂金成因类型及其找矿前景. 云南地质, 19(3): 270 – 278
李廷栋. 1995. 青藏高原隆升的过程和机制. 地球学报, 34(1): 1 – 9
李祖宁, 傅容珊, 黄建华. 2002. 剥蚀及地幔作用下青藏高原隆升过程的数值模拟. 地球物理学报: 45(4): 516 – 524
梁华英, 谢应雯, 张玉泉. 2004. 富钾碱性岩体形成演化对铜矿成矿制约——以马厂箐铜矿为例. 自然科学进展, 14(1): 115 – 200
刘秉光, 陆德复, 蔡新平等. 1999. 滇川西部金矿床研究. 北京: 海洋出版社, 1 – 125
吕伯西, 钱祥贵. 2000. 滇西三江地区新生代碱性系列岩浆岩构造类型. 云南地质, 19(3): 232 – 243
骆耀南, 俞如龙. 2003. 西南三江地区造山演化过程及成矿时空分布. 地球学报, 23(5): 417 – 422
马宗晋, 张家声, 汪一鹏. 1998. 青藏高原三维变形运动学的时段划分和新构造分区. 地质学报, 72(3): 213 – 227
彭建堂, 毕献武, 胡瑞忠, 吴开兴, 桑海清. 2005. 滇西马厂箐斑岩铜(钼)矿床成岩成矿时限的厘定. 矿物学报, 25(1): 69 – 74
石耀霖, 朱元清, 沈显杰. 1992. 青藏高原构造热演化的主要控制因素. 地球物理学报, 35(6): 710 – 720
宋焕斌, 何明勤. 1994. 滇西北衙金矿床的二次成矿作用. 昆明工学院学报, 19(4): 15 – 20
王登红, 屈文俊, 李志伟, 应汉龙, 陈毓川. 2004. 金沙江-红河成矿带斑岩铜钼矿的成矿集中期: Re-Os 同位素定年. 中国科学(D辑), 34: 345 – 349
王登红, 陈毓川, 徐珏. 2005. 中国新生代成矿作用. 北京: 地质出版社, 1 – 853
王登红, 应汉龙, 梁华英, 黄智龙, 骆耀南. 2006. 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿. 北京: 地质出版社, 1 – 208
王会远. 1993. 北衙金矿地质特征及成矿地质条件的初步分析. 西南矿产地质, (2): 17 – 24
王将臻, 陆彦, 李泽琴. 2001. 西范坪斑岩铜矿的次生富集作用研究. 地质找矿论丛, 16(4): 232 – 237
王凯英. 2002. 川滇地区现今应力场与断层相互作用研究. 博士学位论文. 北京: 中国地震局地质研究所
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. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1 – 118
吴开兴, 胡瑞忠, 彭建堂, 毕献武, 赵支刚. 2005. 新生代构造抬升与斑岩型铜、金矿床的次生富集作用. 地质科技情报, 24(4): 50 – 54
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. 矿床地质, 22(4): 401 – 407
邢俊兵, 郭晓东, 屈文俊, 王治华, 李汉光. 2009. 马厂箐斑岩型铜、钼矿辉钼矿 Re-Os 年龄及地质意义. 黄金科学技术, 17(5): 24 – 29
徐受民. 2007. 滇西北衙金矿床的成矿模式及与新生代富碱斑岩的关系. 博士学位论文. 北京: 中国地质大学, 1 – 115
薛传东, 侯增谦, 刘星, 杨志明, 刘勇强, 郝百武. 2008. 滇西北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. 岩石学报, 24(3): 457 – 472
杨立强, 张中杰, 王光杰, 赵爱华, 陈东. 2001. 青藏高原隆升过程与地球动力学模型研究进展. 地球物理学进展, 16(1): 70 – 81

杨立强,邓军,陈赟. 2006. 青藏高原壳幔形变数值模拟研究. 地学前缘,13(5):360 – 373

杨立强,刘江涛,张闯,王庆飞,葛良胜,王中亮,张静,龚庆. 2010. 哀牢山造山型金成矿系统:复合造山构造演化与成矿作用初探. 岩石学报,26(6):1723 – 1739

应汉龙,王登红,刘和林. 2005. 云南墨江金厂镍-金矿床镍矿化地质特征及形成时间. 矿床地质, 24(1):44 – 51

袁万明,杜杨松,杨立强,李胜荣,董金泉. 2007. 西藏冈底斯带南木林地区构造活动的磷灰石裂变径迹分析. 岩石学报, 23(11):2911 – 2917

云南省地质矿产局. 1990. 云南省区域地质志. 北京:地质出版社,1 – 728

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. 岩石矿物学杂志,21(3):231 – 241

曾普胜,莫宣学,喻学惠. 2003. 滇西北中甸斑岩及斑岩铜矿. 矿床地质,22(4):393 – 400

曾普胜,侯增谦,高永峰,杜安道. 2006. 印度-亚洲碰撞带东段喜马拉雅期铜-铂-金矿床 Re-Os 年龄及成矿作用. 地质论评,52(1):72 – 84

翟裕生,邓军,李晓波. 1999. 区域成矿学. 北京:地质出版社

翟裕生,邓军,彭润民. 2000. 矿床变化与保存的研究内容和研究方法. 地球科学,25(4):340 – 345

张玉泉,谢应雯. 1997. 哀牢山-金沙江富碱侵入岩年代学和 Nd,Sr 同位素特征. 中国科学(D 辑),27(4):289 – 293

赵珂. 2005. 云南深大断裂温泉 CO_2 释放规律研究. 硕士学位论文. 成都:西南师范大学

赵准. 1995. 中甸-大理-金平地区与喜马拉雅期斑岩有关的铅、铜钼、金矿床成矿模式. 云南地质, 14(4): 333 – 341

祝向平,莫宣学,Noel CW,张波,孙明祥,王淑贤,赵思礼,杨勇. 2009. 云南哈播斑岩型铜(-钼-金)矿床地质与成矿背景研究. 地质学报, 83(12):1915 – 1928