

文章编号:1009-3850(2017)03-0089-07

班公湖-怒江成矿带中西段造山型金矿床的 成矿地质条件和找矿远景

马国桃¹, 刘洪¹, 黄瀚霄¹, 陈敏华¹, 兰双双², 吕梦鸿², 解惠²

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 四川省冶金地质勘查院, 四川 成都 610051)

摘要:本文在阐述班公湖-怒江成矿带中西段成矿地质背景的基础上,重点论述了达查、商旭等造山型金矿床成矿地质条件和控矿因素,综合分析认为木嘎岗日群混杂岩,区域构造转折部位和碰撞初期岩浆岩的复合地带最有利于形成规模较大的造山型金矿床。并以此为依据,划分出尼玛县北-商旭、洞错北-达查、改则县物玛乡北、夏布错北,以及热那错北等5处造山型金矿床成矿远景区。

关键词:造山型金矿床;成矿地质条件;找矿远景;班公湖-怒江成矿带

中图分类号:P612

文献标识码:A

造山型金矿床的金资源量约占全球总量的1/3,是世界最为重要的金矿床类型^[1-3]。青藏高原作为世界上规模最大的陆-陆碰撞造山带,已经存在雅鲁藏布江、哀牢山两条造山型金矿带^[4-5]。近年来,在班公湖-怒江缝合带内新发现达查、商旭等中大型金矿床,这些矿床在地质、地球化学、成矿流体方面均与典型的造山型金矿床相似,表明班公湖-怒江缝合带也可能存在造山型金成矿作用^[6-9]。目前,由于班公湖-怒江成矿带地质工作程度总体偏低和不均衡的限制,仅有达查、商旭等少数金矿床开展过详查和较深入的矿床成因研究,以致于整个成矿带造山型金矿床的找矿前景和方向不明。鉴于此,本文以达查、商旭金矿床为突破口,深入分析该类金矿床的成矿地质条件和控矿因素,并在此研究基础上,进一步探讨班公湖-怒江成矿带中西段造山型金

矿床的找矿远景,以期对班公湖-怒江成矿带找矿决策和理论研究有所裨益。

1 班-怒带成矿地质背景

班公湖-怒江缝合带是羌塘地块与拉萨地块分界线(图1a),也可能是冈瓦纳大陆北界^[10-12]。由于缝合带复杂的构造演化历史和特殊的地理位置限制,几十年来,班公湖-怒江中特提斯洋盆的性质、开合时限、俯冲极性等问题均存在较大的争议^[12-17]。洞错的晚二叠世高压麻粒岩^[18]、晚侏罗世一早白垩世的地壳缩短、早白垩世中期非造山A2型花岗岩^[19],以及晚白垩世竟柱山组磨拉石建造^[13,20],均表明班公湖-怒江洋盆在晚二叠世已经打开,在经历了双向俯冲过程后,于晚侏罗世-早白垩世时期发生弧-弧软碰撞造山^[13,21-22]。受班公

收稿日期:2017-05-24; **改回日期:**2017-07-15

作者简介:马国桃(1981-),男,硕士,工程师。矿产普查与勘探专业。E-mail:39134016@qq.com

通讯作者:黄瀚霄(1982-),男,高级工程师。从事青藏高原地质矿产、地球化学研究。E-mail:hanxiaohuang@126.com

资助项目:基础性公益性地质矿产调查(DD20179604)、中国地质调查项目(DD20160015、DD20160026)和国家重点研发计划(2016YFC0600308)联合资助

湖-怒江洋构造演化的影响,班公湖-怒江缝合带主要由镁铁质、超镁铁质构造岩片、中生代地层和由元古界、古生界一早中生界及花岗岩组的微陆块构成,其中中生代地层一般代表边缘海-弧前深水盆地复理石沉积和洋盆闭合过程中的残余盆地沉积^[12]。中生代地层中的木嘎岗日群沉积时代可能发生在178~200 Ma,总体属于一套以较深海(水)环境的复理石沉积为基质,含有较多外来岩块的混杂岩地层,是南羌塘和拉萨地块源区物质共同沉积的结

果^[23]。该套地层经后期强烈的构造改造具有总体无序、局部有序的构造地层体特征。班公湖-怒江缝合带构造形迹复杂,具有走滑、剪切、拉张断陷、陆壳聚敛推覆、斜列式褶皱缩短等多种表现形式和多期次叠加特点^[24]。早期构造以近东西向为主,在始新世一渐新世出现大规模的南北向构造^[25]。此外,NDEPTH-3 测试结果表明,班-怒缝合带北侧的羌塘地块上、下地壳之间发生过大规模的剪切作用,并发育了剪切片理化带^[26]。

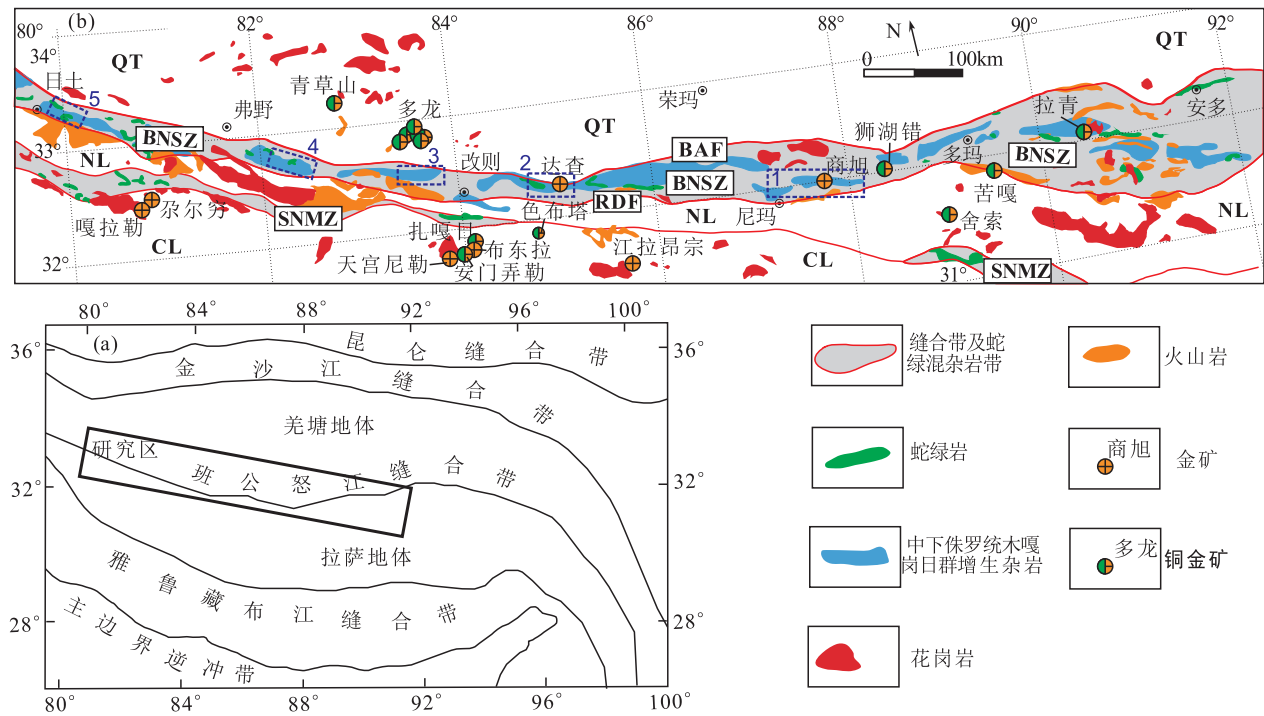


图1 班公湖-怒江成矿带地质略图(图b据文献^[27]修改)

a. 青藏高原大地构造简图;b. 班公湖-怒江成矿带主要金矿床(点)分布及造山型金矿远景区划分图

QT:羌塘地块;BNSZ:班公湖-怒江缝合带;BAF:班公湖-康托-安多断裂;RDF:日土-尼玛-丁青断裂;NL:北拉萨地块;SNMZ:狮泉河-纳木措湖蛇绿岩混杂带;CL:措中拉萨地块

Fig. 1 Simplified geological map of the Bangong-Nujiang metallogenic zone (Fig. 1b modified from Tang Juxing et al., 2014)

班公湖-怒江缝合带两侧发育大量中生代岩浆作用,但羌塘地块南缘的岩浆活动明显比拉萨地块(冈底斯板片)岩浆活动规模小,且分布不连续^[16,28-40](图1b)。中侏罗世一早白垩世中期,岩浆活动与班公湖-怒江双向俯冲作用有关,岩石显示出岛弧及局部洋岛的地球化学特征,部分中酸性岩具有埃达克岩的指标^[29,32-35]。早白垩世晚期,南羌塘和北冈底斯基本同时分别发生了以美日切错组和去申拉组为代表的岩浆作用,被认为与班公湖-怒江洋壳岩石圈俯冲板片断离有关^[36,37]。与此同时,软

流圈物质通过板片断离形成的“板片窗”上涌,形成A型花岗岩^[38]。晚白垩世,加厚下地壳发生拆离并发生部分熔融,形成一系列的中酸性岩基和岩株^[39]。但这也不能排除新特提斯洋北向俯冲在成岩过程中的作用^[40]。

2 典型造山型金矿床特征

造山型金矿床一般指产于区域上各个时代变质地体中、在时间和空间上与增生构造有关的脉型金矿床,其成矿作用常与增生造山运动有关^[1,41]。

前已述及,班公湖-怒江成矿带中西段发现和报道的造山型金矿床(点)均较少,除达查和商旭金矿床外,其它矿点的研究程度均较低。因此,本文将详细介绍达查和商旭金矿床的地质特征和矿床成因等研究成果。

2.1 达查金矿床

达查金矿位于西藏尼玛县中仓乡。该矿床主要位于班公湖-怒江缝合带内,是北西向和北东向区域断裂的转折部位。矿床内主体建造为中一下侏罗统木嘎岗日群的混杂岩建造,岩石普遍遭受了区域低温动力变质作用。木嘎岗日群地层走向总体呈北东向,主要岩性为褐色砂质板岩夹灰黑色绢云母板岩和安山玢岩。矿区断裂构造发育,主要表现为一系列近平行的北东向挤压破碎,其延展方向、变形特征与屋素拉-曲翁嘎日东拉左行走滑-逆冲断裂相似。断裂破碎带内岩石挤压破碎现象明显,石英细脉发育^[8]。金矿(化)体沿北东向脆性断裂构造,呈似层状、脉状或透镜状产出,局部有脉状或透镜状分支。矿石类型为含金石英脉型及构造蚀变岩型,并且以后者为主。其顶底板围岩为蚀变绢云板岩或安山玢岩。矿石矿物组份比较简单,金属矿物的含量一般在5%以下,除自然金外,主要有黄铁矿、磁铁矿,次为黄铜矿、方铅矿等;脉石矿物以石英、绢云母、斜长石为主,方解石、绿泥石少量。自然金是矿石中主要的金矿物,呈不规则粒状、片状,分布于石英和黄铁矿晶粒间。

目前,达查金矿床缺少精确的成矿年代学数据。含矿闪长玢岩中与金矿化有关的铬绢云母 K-Ar 年龄为 97.5 ± 1.4 Ma,表明该矿床形成于晚白垩世初期^[8,42]。仲岗洋岛辉长岩年龄为 116Ma,表明班公湖-怒江洋在这时仍然存在一定规模的大洋^[43]。其附近去申拉组火山岩主要由富镁安山岩、英安岩和高分异流纹岩,岩石地球化学特征表现为富集大离子亲石元素、亏损高场强元素,是地壳部分熔融经历了不同分异作用形成的,其流纹岩锆石 U-Pb 年龄为 107 Ma 和 103 Ma,指示班公湖-怒江缝合带中段陆-陆碰撞的时间^[37]。因此,达查金矿床可能形成于羌塘地块和拉萨地块碰撞环境。黑色碳质板岩、浸染状黄铁绢英岩化闪长玢岩和石英黄铁矿脉中的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 值分布范围为 1.1‰ ~ 1.6‰,与陨石硫或深源岩浆硫接近。地层铅、岩浆岩铅和矿石铅在构造模式图上主要落在造山带线附近^[8]。

矿石中热液石英的硅同位素 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ 值的极差主要集中在 -0.5‰ ~ -0.6‰ 之间,表明与成矿密切相关的硅质可能来源于基性或中基性岩浆岩^[8]。石英 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 值为 -126‰ ~ -98‰, $\delta\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 在 2.08‰ ~ 8.84‰ 之间,为典型的岩浆水^[8]。由此推断,达查金矿床成矿物质来源于木嘎岗日群和深部的岩浆岩。

2.2 商旭金矿床

商旭金矿位于西藏双湖县措折罗玛镇。该矿床的大地构造位置处于班公湖-怒江缝合带上,属于尼玛-丁青主断裂边界内侧,是北西西向和北东东向区域断裂的转折部位。赋矿地层为中下侏罗统木嘎岗日群,该地层整体经历了区域变质作用,为低绿片岩相的沉积混杂岩地层。北西西向断裂构造发育,具有逆冲推覆、左行走滑特征,并控制金矿床的产出^[7,44-45]。金矿体形成于构造脆-韧性变形过程中,具似层状或脉状,局部见膨缩、分支现象和幅度在 10° 左右的走向波动变化特征。矿石类型为石英脉型和蚀变岩型,并以石英脉型为主。矿石贫硫化物,主要矿石矿物为自然金、方铅矿,以及少量的黄铁矿、磁铁矿、闪锌矿组成,金以自然金的形式主要赋存于石英颗粒间或者黄铁矿边缘。围岩蚀变程度较弱,围岩蚀变类型主要有硅化、绢云母化、碳酸盐化和绿泥石化,表明金矿床成矿深度较浅^[7]。

商旭金矿床含金石英脉中的热液锆石 U-Pb 年龄为 119 Ma,表明该金矿床生成于早白垩世成矿事件(未发表数据)。Kapp 等对尼玛地区海相地层和陆相地层中的侵入体进行年龄限定,显示尼玛地区在 125 ~ 118Ma 经历了从海相到陆相的转变^[46]。因此,商旭金矿床成矿应与拉萨和羌塘地块的早期碰撞作用有关。流体包裹体研究表明成矿流体具有富 CO_2 、中低温度、低盐度、低密度的特征,与变质流体特征相似^[47-48];石英 H-O 同位素 $\delta\text{D} = -108\text{‰} \sim -89\text{‰}$, $\delta^{18}\text{O} = -0.8\text{‰} \sim -5.8\text{‰}$,表明成矿流体主要来自变质水与建造水的混合^[47],然而石英 He-Ar 同位素结果却显示成矿流体中有幔源物质的加入(刘洪,未发表数据)。S、Pb 同位素均暗示金成矿物质可能来自于木嘎岗日群这一混杂岩建造^[6],但石英脉捕获了大量同成矿时代一致的岩浆岩锆石,证实矿床深部存在岩浆活动,指示矿床的部分金可能自于深部岩浆。

3 造山型金矿的成矿地质条件

不同的地质建造及成矿建造控制了不同类型的金矿床产出。从达查、商旭金矿床的产出特征和矿床成因来看,两个矿床具有相似的成矿背景,均受控于中-下侏罗统木嘎岗日群、与主断裂平行的区域次级构造和同期岩浆作用。

3.1 地层对矿床的控制作用

研究表明,地层的化学成分、岩石组合和结构构造都能够不同程度制约金矿床形成。两个金矿床赋矿层位均是中一下侏罗统木嘎岗日群。木嘎岗日群属于沉积混杂岩地层,其岩石稀土含量总体较高,负 Eu 异常明显,与后太古宙沉积岩的稀土元素组成相似;La 的含量远低于 Ce 的含量,具有安第斯型活动大陆边缘沉积特征^[42]。1:5 万水系沉积物测量结果表明,木嘎岗日群地层以聚集 Au、Ag、As、Sb 等亲硫元素为特点^[49],其中 Au 浓集系数、变异系数和标准离差远高于周边地层对应值,能够为区域金矿化奠定一定的物质基础^[42,50]。此外,区域木嘎岗日群的 Au 平均含量明显高于达查和商旭金矿区的背景值^[42,49-50],也表明木嘎岗日群的金在热液活动中经历了迁移富集成矿过程。

木嘎岗日群普遍遭受低级区域变质作用,变质作用使初始岩石物质间发生重新组合和变质热液活动,有利于地层中的金活化迁移^[49]。矿脉的赋矿围岩主要为含硫化物的碳质板岩和富碳砂质板岩,这与华南、西北下寒武统热水成因含贵金属黑色页岩相似^[42]。碳质板岩具有较高的渗滤性,对于地质流体具有较高的通透性,利于流体在岩性中迁移,其碳质能够有效还原、沉淀、过滤、吸附含矿热液中的金属离子,并富集成矿。砂质板岩相对碳质板岩的渗滤性差,且对成矿具有一定的屏蔽作用。这也和赋存于黄色砂质板岩中的破碎带或石英脉含矿性相对较差的地质事实相吻合。

在低氧逸度条件下,成矿阶段硫化物与成矿热液总硫常具有相近的 $\delta^{34}\text{S}$ 值,可以间接示踪成矿物质来源。木嘎岗日群变质砂岩中黄铁矿的 $\delta^{34}\text{S}$ 值与矿床主要成矿阶段的硫化物的 $\delta^{34}\text{S}$ 值相近,表明矿石硫与围岩硫之间存在一定的联系^[6,8]。综上所述,木嘎岗日群不仅具有有利于金矿化的围岩和金沉淀富集的理想场所,也是金等成矿物质的重要来源。

3.2 构造对矿床形成的制约

构造是控制矿产形成和分布的重要要素之一,不同级别、不同性质、不同规模的构造对成矿起着不同的控制作用。研究表明,世界上绝大多数金矿床或铜金矿床都集中分布于汇聚板块边缘及其造山带内^[51]。在中生代,班公湖-怒江洋壳俯冲消减和羌塘-拉萨地块碰撞造山等构造演化有利于热液型金矿床的形成^[7],目前发现的金矿床类型有斑岩型、浅成低温热液型、矽卡岩型和造山型金矿床。商旭和达查金矿床大地构造位置均处于班公湖-怒江缝合带中的木嘎岗日混杂岩带内,属于中特提斯构造域转换承接区。由此可见,区域构造环境对矿床类型具有明显的约束性。

拉萨和羌塘地块的碰撞,深部地壳岩石发生大规模的剪切作用^[26],产生大量的变质流体。变质流体与少量的岩浆流体混合,并通过深大断裂带集中上迁。变质流体在上升过程中,从各地层破碎带、剪切带、裂隙面等及岩石缝隙中萃取了金等成矿元素。中生代末木嘎岗日群受南北应力强烈,在应力场中发生纵张、横张及冲断等多种构造变形叠加,岩石普遍发生脆、塑性变形和剪切变形,构造变形多组多方向,但以近东西向最发育,其规模从区域性大断裂到次级的、派生的小断裂。区域性大断裂控制着金化探异常和金矿体、矿床的分布,是重要的储矿断层,其派生出的断裂系统进一步控制金矿体形态和空间产出规律等。显然,构造运动不仅为金的含矿流体的形成提供了必要条件,也对矿体的赋存和矿化的富集都有明显的控制作用^[7]。

3.3 岩浆与成矿的关系

达查金矿床金矿(化)体与含碳质绢云板岩-安山质玄武岩、中性和中酸性侵入岩及断裂构造常构成“四位一体”的空间格局^[8],表明金矿床与岩浆岩存在成因上的联系。达查金矿床的 S、Pb、Si 同位素显示矿床的部分成矿物质来自于深源岩浆^[8]。商旭金矿床地表虽未见到岩浆岩出露,但含金石英脉中发现有大量与成矿同期的岩浆锆石,说明商旭金矿床深部应存在岩浆活动。此外,商旭金矿床主成矿阶段的石英 He-Ar 同位素中发现成矿流体中有幔流体的加入,这可能是岩浆的脱水脱气作用所造成。这些结果均表明岩浆活动对金矿床的控制作用明显。岩浆活动不仅能提供部分成矿物质、热源与流体,也能加速变质热液活动能力,有利于萃取围岩的成矿物质,从而形成含矿热液。

4 找矿远景分析

班公湖-怒江成矿带中生代构造演化有利于形成造山型金矿床^[7]。商旭、达查等金矿床矿床类型的确定,表明班公湖-怒江成矿带存在造山型金成矿作用。已有研究显示,班公湖-怒江缝合带内的增生楔和碰撞后走滑断层可能是造山型金矿床成矿的有利部位^[7,38]。木嘎岗日群断续分布在班公湖-怒江缝合带内,出露长度大于 1000 km,广泛发育韧性剪切带和脆性断裂,然而仅仅发现商旭、达查、达则等少数金矿床(点)。值得注意的是,商旭到达查之间相距约 200 km 的缝合带中,迄今为止无任何岩金矿床和砂金矿床发现。因此,我们认为班公湖-怒江成矿带造山型金矿床不应该只是受控于增生楔混杂岩和碰撞后走滑断层。

对达查、商旭金矿床控矿因素研究表明,木嘎岗日群地层有利于 Au 富集成矿,虽经历强烈的构造作用而肢解变质,岩石整体变形强烈,但变质程度却较弱。依据造山型金矿床地壳连续成矿模式^[41],目前地表出露的木嘎岗日群地层应该属于造山型金矿床成矿环境的浅部位置。这就意味着成矿流体从深部逐渐向浅部运移的过程中,不仅存在运移过程中金的“损失”,也存在成矿流体受温压条件影响,很难从浅部地层中汲取 Au 等成矿物质。这可能是木嘎岗日群地表很难形成规模较大的造山型金矿床的原因。商旭金矿床和达查金矿床均处于构造转折部位,断裂随空间变化的应力环境而出现的拉张区有利于热液的运移,且断裂的产状变化部位往往引起构造运动力学体制的转换,导致物理化学场结构差异,有利于金矿化作用的发生。此外,在商旭和达查金矿床成因研究过程中均发现有岩浆参与成矿的事实,深部的岩浆不仅可以为成矿流体运移提供热能和部分的成矿物质,也能促使深部的成矿流体运移更远。综上所述,增生楔、构造转折部位和碰撞期的岩浆活动的叠加区域,最有利于规模较大造山型金矿床的形成。由此,我们认为班公湖-怒江成矿带中西段以下 5 处远景区可能有利于发现规模较大的造山型金矿床(图 1b),从东到西依次为尼玛县北-商旭远景区,洞错北-达查远景区,改则县物玛乡北远景区,夏布错北远景区,以及热那错北远景区。

尼玛县北-商旭远景区位于班公湖-怒江缝合

带的中部,是北西西向和北东东向区域断裂的转折部位,发育一系列北西西向脆韧性断裂带,该断裂带对金矿床控制明显。区内出露地层主要为中一下侏罗统木嘎岗日群和渐新统一中新统康托组,木嘎岗日群总体是由一系列北西西向展布的构造岩片组成,富含 Au 等成矿元素,属于重要的成矿建造。远景区北部存在拉萨地块和羌塘地块碰撞环境下形成的虾别错中酸性岩体,研究表明该岩体与金成矿作用关系密切(刘洪等,未发表数据)。河南省地质调查院在 1:25 万区调工作中发现双湖县措折罗玛镇下弄拉-尼玛县无多地区存在多个与 Au 有关的化探异常,其中(Au)平均值 1.75×10^{-9} ^[7]。成都地质调查中心在商旭金矿床外围进行调查评价时发现达则、作布等多个金矿点^[51],展示出较好的区域找矿前景。

洞错北-达查远景区大地构造位于班公湖-怒江缝合带内,属于北西向和北东向区域断裂的转折部位。出露地层主要有中一下侏罗统木嘎岗日群,上白垩统竞柱山组和下白垩统郎山组,其中木嘎岗日群是重要的成矿建造,带内发育的北东向左行走滑、逆冲断裂带控制着金矿床的产出^[8]。晚白垩世中酸性岩浆沿北东向断裂带侵入,其侵入岩的内外接触带是成矿的有利部位^[8]。本区地质矿产调查工作程度相对较高,已发现达查中型砂金矿床和屋素拉、罗布日俄么、曲翁嘎日东拉等多个中小型岩金矿段^[8]。

改则县物玛乡北,夏布错北,以及热那错北等 3 个远景区均位于班公湖-怒江缝合带西段的混杂岩带内。出露地层主要为中一下侏罗统木嘎岗日群。木嘎岗日岩群经历了强烈的挤压和走滑变形,形成了弥散性的强烈剪切和紧闭斜卧-倾竖褶皱为主要特征的构造变形,其后又在韧性剪切带上叠加发育一系列与区域断裂平行的脆性走滑断裂,晚白垩世中酸性岩体沿断裂带侵位于木嘎岗日岩群中,显示出本区具有良好的金成矿地质条件^[34,52-53]。然而由于地质矿产调查工作程度较低,3 个远景区内仅发现少量的砂金矿点和岩金矿化点。

5 结论

(1)在班公湖-怒江成矿带中西段,木嘎岗日群混杂岩、构造转折部位和碰撞期的岩浆活动的叠加区域,最有利于规模较大造山型金矿床的形成。

(2) 尼玛县北—商旭, 洞错北—达查, 改则县物玛乡北, 夏布错北, 以及热那错北有利于找到规模较大的造山型金矿床。

参考文献:

- [1] Groves D I, Goldfarb R J, Gebre-mariam M, et al. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types [J]. *Ore Geology Reviews*, 1998, 13(1): 7–27.
- [2] Kerrich R, Goldfarb R, Groves D, et al. The characteristics, origins, and geodynamic settings of supergiant Gold metallogenic provinces [J]. *Science China Earth Sciences*, 2000, 43(1): 1–68.
- [3] 邱正杰, 范宏瑞, 丛培章, 等. 造山型金矿床成矿过程研究进展 [J]. *矿床地质*, 2015, 34(1): 21–38.
- [4] 江思宏, 聂凤军, 刘翼飞. 西藏马攸木金矿床的矿床类型讨论 [J]. *矿床地质*, 2008, 27(2): 220–229.
- [5] 孙晓明, 熊德信, 翟伟, 等. 云南哀牢山喜马拉雅期碰撞造山型金矿成矿机制和成矿模式 [J]. *矿物岩石地球化学通报*, 2008, 27(1): 52–53.
- [6] 裴英茹, 杨竹森, 赵晓燕, 等. 藏北商旭金矿床 S、Pb 同位素组成: 对成矿物质来源的指示 [J]. *地质学报*, 2016, 90(2): 341–351.
- [7] 黄瀚霄, 李光明, 刘波, 等. 藏北商旭造山型金矿床的发现及意义 [J]. *矿床地质*, 2014, 33(3): 486–496.
- [8] 肖润, 李胜荣, 傅璐珈, 等. 西藏尼玛县达查金矿床同位素地球化学研究 [J]. *现代地质*, 2002, 16(2): 165–169.
- [9] 李永灿, 黄瀚霄, 刘洪, 等. 班公湖-怒江成矿带金成矿规律及成矿作用初讨 [J]. *沉积与特提斯地质*, 37(2): 1–13.
- [10] 潘桂棠, 王立全, 李荣社, 等. 多岛弧盆系构造模式: 认识大陆地质的关键 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2012, 32(3): 1–20.
- [11] 潘桂棠, 朱弟成, 王立全, 等. 班公湖-怒江缝合带作为冈瓦纳大陆北界的地质地球物理证据 [J]. *地学前缘*, 2004, 11(4): 371–382.
- [12] 耿全如, 潘桂棠, 王立全, 等. 班公湖-怒江带-羌塘地块特提斯演化与成矿地质背景 [J]. *地质通报*, 2011, 30(8): 1261–1274.
- [13] 潘桂棠, 莫宣学, 侯增谦, 等. 冈底斯造山带的时空结构及演化 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(3): 521–533.
- [14] Ding L, Lai Q. New geological evidence of crustal thickening in the Gangdise block prior to the Indo-Asian collision [J]. *Chinese Science Bulletin*, 2003, 48(15): 1604–1610.
- [15] 曲晓明, 辛洪波, 杜德道, 等. 西藏班公湖-怒江缝合带中段碰撞后 A 型花岗岩的时代及其对洋盆闭合时间的约束 [J]. *地球化学*, 2012, 41(1): 1–14.
- [16] Zhu D C, Zhao Z D, Niu Y L, et al. The Lhasa terrane: record of a microcontinent and its histories of drift and growth [J]. *Earth Planetary Science Letters*, 2011, 301(1): 241–255.
- [17] Shi R D, Yang J S, Xu Z Q, et al. The Bangong lake ophiolite (nw Tibet) and its bearing on the tectonic evolution of the Bangong-Nujiang suture zone [J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2008, 32(5): 438–457.
- [18] 王保弟, 王立全, 许继峰, 等. 班公湖-怒江结合带洞错地区舍拉玛高压麻粒岩的发现及其地质意义 [J]. *地质通报*, 2015, 34(9): 1605–1616.
- [19] Chen Y, Zhu D C, Zhao Z D, et al. Slab breakoff triggered ca. 113 Ma magmatism around Xainza area of the Lhasa Terrane, Tibet [J]. *Gondwana Research*, 2014, 26(2): 449–463.
- [20] 唐熊, 陶晓风, Tang X, 等. 措勤地区竟柱山组沉积特征及构造意义 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2009, 29(1): 53–57.
- [21] Zhu D C, Li S M, Cawood P A, et al. Assembly of the Lhasa and Qiangtang terranes in central Tibet by divergent double subduction [J]. *Lithos*, 2015, 245: 7–17.
- [22] 雍永源. 板块剪式汇聚加地体拼贴——中特提斯消亡的新模式 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2000, 20(1): 85–89.
- [23] 邹建斌, 许继峰, 陈建林, 等. 青藏高原中部班公湖-怒江缝合带木嘎岗日群碎屑锆石年代学特征及其意义 [A]. 2011 年全国岩石学与地球动力学研讨会论文集 [C]. 西安: 中国地质学会, 2011. 358–359.
- [24] 吕立娜, 赵元艺, 宋亮, 等. 西藏班公湖-怒江成矿带西段富铁矿与铜(金)矿 C、Si、O、S 和 Pb 同位素特征及地质意义 [J]. *地质学报*, 2011, 85(8): 1291–1304.
- [25] 雍永源. 青藏高原西南部南北向构造研究的新见解 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2012, 32(3): 21–30.
- [26] 赵文津, 吴珍汉. 加强地表层与深层调查的结合, 深化对中国大地构造特征的认识——纪念黄汲清先生 100 周年诞辰 [J]. *地质评论*, 2004, 50(3): 256–266.
- [27] 唐菊兴, 孙兴国, 丁帅, 等. 西藏多龙矿集区发现浅成低温热液型铜(金银)矿床 [J]. *地球学报*, 2014, 35(1): 6–10.
- [28] 常青松, 朱弟成, 赵志丹, 等. 西藏羌塘南缘热那错早白垩世流纹岩锆石 U-Pb 年代学和 Hf 同位素及其意义 [J]. *岩石学报*, 2011, 27(7): 2034–2044.
- [29] 朱弟成, 潘桂棠, 莫宣学, 等. 冈底斯中北部晚侏罗世—早白垩世地球动力学环境: 火山岩约束 [J]. *岩石学报*, 2006, 22(3): 534–546.
- [30] 黄瀚霄, 龚福志, 李光明, 等. 西藏羌塘南缘早白垩世普让岩体的锆石 U-Pb 年龄和地球化学特征及其地质意义 [J]. *地质论评*, 2016, 62(3): 569–584.
- [31] 刘洪, 张晖, 李光明, 等. 藏北羌塘南缘早白垩世青山山强烈铝质 S 型花岗岩的成因: 来自地球化学和锆石 U-Pb 年代学的约束 [J]. *北京大学学报(自然科学版)*, 2016, 52(5): 848–860.
- [32] 朱弟成, 潘桂棠, 王立全, 等. 西藏冈底斯带中生代岩浆岩的时空分布和相关问题的讨论 [J]. *地质通报*, 2008, 27(9): 1535–1550.
- [33] 李金祥, 李光明, 秦克章, 等. 班公湖带多不杂富金斑岩铜矿床斑岩-火山岩的地球化学特征与时代: 对成矿构造背景的制约 [J]. *岩石学报*, 2008, 24(3): 531–543.
- [34] 张璋, 耿全如, 彭智敏, 等. 班公湖-怒江成矿带西段玛玛岗岩体岩石地球化学及年代学 [J]. *沉积与特提斯地质*, 2011, 31(4): 86–96.
- [35] 廖六根, 曹圣华, 肖业斌, 等. 班公湖-怒江结合带北侧陆缘火

- 山-岩浆弧带的厘定及其意义[J]. 沉积与特提斯地质, 2008, 28(2): 163–170.
- [36] Wei S G, Tang J X, Song Y, et al. Early Cretaceous bimodal volcanism in the Duolong Cu mining district, western Tibet: Record of slab breakoff that triggered ca. 108–113 Ma magmatism in the western Qiangtang terrane [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2017, 138: 588–607.
- [37] 吴浩, 李才, 胡培远, 等. 西藏尼玛县塔色普勒地区去申拉组火山岩的发现及其地质意义[J]. 地质通报, 2013, 32(7): 1014–1026.
- [38] 宋扬, 唐菊兴, 曲晓明, 等. 西藏班公湖—怒江成矿带研究进展及一些新认识[J]. 地球科学进展, 2014, 29(7): 795–809.
- [39] Wang Q, Zhu D C, Zhao Z D, et al. Origin of the ca. 90 Ma magnesia-rich volcanic rocks in SW Nyima, central Tibet: Products of lithospheric delamination beneath the Lhasa-Qiangtang collision zone [J]. Lithos, 2014, 198–199(3): 24–27.
- [40] 王伟, 曾令森, 刘静, 等. 西藏措勤晚白垩世英安岩的厘定与地球化学特征[J]. 地质科学, 2013, 48(2): 484–500.
- [41] Goldfarb R J, Groves D I, Gardoll S. Orogenic gold and geologic time: a global synthesis [J]. Ore Geology Reviews, 2001, 18(1): 1–75.
- [42] 李胜荣, 肖润, 周肃, 等. 西藏改则地区金成矿作用[J]. 矿床地质, 2005, 24(1): 1–14.
- [43] 范建军, 李才, 王明, 等. 班公湖-怒江缝合带仲岗洋岛地球化学和年代学研究——兼论班公湖-怒江缝合带的闭合时限[A]. 全国岩石学与地球动力学研讨会[C]. 2012. 422–423.
- [44] 刘洪, 李光明, 黄瀚霄, 等. 班公湖—怒江成矿带商旭造山型金矿床Ⅲ号矿段深部找矿潜力研究[J]. 地质学报, 2017, 91(6): 1245–1258.
- [45] 肖万峰, 李光明, 黄瀚霄, 等. 藏北商旭金矿床控矿因素及其找矿标志[J]. 黄金, 2013, 34(10): 17–21.
- [46] Kapp P, Yin A, Harrison T M, et al. Cretaceous-Tertiary shortening, basin development, and volcanism in central Tibet [J]. Geological Society of America Bulletin, 2005, 117(7–8): 865–878.
- [47] 裴英茹, 杨竹森, 赵晓燕, 等. 藏北商旭金矿床成因研究: 流体包裹体及氢-氧同位素证据[J]. 地质学报, 2015, 89(10): 1814–1825.
- [48] 肖万峰, 刘洪, 李光明, 等. 藏北双湖县商旭造山型金矿床的中低温低盐度 CO₂ 成矿流体: 流体包裹体、H-O 同位素的证据[J]. 地质论评, 2017, 63(3): 793–808.
- [49] 刘洪, 黄瀚霄, 李光明, 等. 因子分析在藏北商旭金矿床地球化学勘查中的应用[J]. 中国地质, 2015, 42(4): 1126–1136.
- [50] 欧阳渊, 刘洪, 黄瀚霄, 等. 藏北商旭-达则地区水系沉积物地球化学多元统计分析与找矿方向[J]. 矿物学报, 2016(4): 586–594.
- [51] 肖龙. 汇聚板块边缘的金矿成矿作用[J]. 地质科技情报, 2000, 19(1): 46–50.
- [52] 陈顺. 西藏班公湖-怒江带西段改则地区木嘎岗日岩群物质组成及构造意义[D]. 成都: 成都理工大学, 2015. 1–100.
- [53] 曹圣华, 邓世权, 肖志坚, 等. 班公湖-怒江结合带西段中特提斯多岛弧构造演化[J]. 沉积与特提斯地质, 2006, 26(4): 25–32.

Metallogenic conditions and prospecting potential of orogenic gold deposits in the central western part of Bangong Lake-Nujiang metallogenic zone

MA Guo-tao¹, LIU Hong¹, HUANG Han-xiao¹, CHEN Min-hua¹, LAN Shuang-shuang², LU Meng-hong², XIE Hui²

(1. Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China; 2. Sichuan Institute of Metallurgical Geology and Exploration, Chengdu 610051, Sichuan, China)

Abstract: In the light of the metallogenic geological conditions and exploration potential, the present paper focuses on geological conditions, ore-controlling factors, isotopic signatures and mineralization age of the Dacha and Shangxu orogenic-type gold deposits in the central-western part of the Bangong-Nujiang metallogenic zone, Xizang. The potential areas favourable for the formation of large-sized orogenic-type gold deposits are restricted to the mélanges of the Muggar Kangri Group, hinge points and magmatic composite zones formed during the early collisional stages. Finally, five exploration prospects are delineated, including northern Nyima-Shangxu, northern Dongco-Dacha, northern Oma in Gerze, northern Xiabuco and northern Renaco in the Bangong-Nujiang metallogenic zone, Xizang.

Key words: orogenic-type gold deposit; metallogenic geological condition; exploration prospect; Bangong-Nujiang metallogenic zone