

文章编号: 1009-3850(2018)03-0088-11

西藏马扎拉金矿区外围地质特征与找矿方向

李应栩¹, 李光明¹, 董磊¹, 张林奎¹, 吴建阳¹,

周邦国¹, 夏祥标¹, 代作文^{1,2}

(1. 中国地质调查局成都地质调查中心, 四川 成都 610081; 2. 成都理工大学, 四川 成都 610059)

摘要: 马扎拉金矿位于藏南拆离断裂以北的特提斯喜马拉雅南部隆子逆冲推覆断裂南缘, 是扎西康整装勘查区构造蚀变岩型金矿床的典型代表。本文在矿区外围 30 km² 范围开展地质测量工作, 重新厘定了矿区及外围的地层系统并新发现大量岩浆岩, 重塑了矿区及外围的断裂构造格架并初步厘定了构造活动期次, 结合地球物理剖面测量、区域地质新近调查研究成果和少量工程验证, 初步构建了矿床的控矿构造几何模型并重新确立了矿区及外围在近东西向具有早期逆冲推覆、晚期伸展滑脱的前断坡和反冲断裂及其次级断裂中寻找构造蚀变岩型金矿的找矿方向, 对进一步找矿工作的部署具有重要的指导意义。

关键词: 马扎拉金矿; 控矿构造; 找矿方向

中图分类号: P613

文献标识码: A

马扎拉金矿是藏南金锑成矿带^[1-2] 中的一个著名矿床, 位于措美县与隆子县、错那县交界附近。该矿已有二十余年的开发史, 并在上世纪末作为锑金矿进行过普查和综合研究工作, 提交资源量(333+334) 金 845.58 千克, 锑 6160.42 吨^[3-5], 是扎西康整装勘查区内发现最早、勘探开发历史最为悠久的矿床。前人对该矿床的成矿流体^[6] 和成矿物质来源^[7-9] 进行过研究, 也对其矿床成因^[10]、成矿模式^[8,9]、成矿区域地质背景^[11-13] 和动力学背景^[14-15] 等进行了探讨。该矿床是与新生代岩浆热液活动有关的造山型金锑矿床, 但这些研究仅局限于马扎拉矿区约 2 km² 的范围, 本文通过对矿区及外围近

30 km² 范围开展大比例尺地质测量工作, 结合地球物理剖面测量, 重新厘定了矿区的地层系统, 重塑了构造格架, 对物化探异常重新进行了解释, 并结合区域地质特征和新近地质调查研究成果, 初步构建了马扎拉构造蚀变岩型矿床的控矿构造模型并结合少量验证工程揭露重新确立了矿区及外围的找矿方向, 对进一步找矿工作的部署具有重要指导意义。

1 区域地质背景

马扎拉金矿位于藏南拆离断裂^[17] 以北的特提斯喜马拉雅褶皱造山带^[18-19] 南部(图 1A、B)。自石

收稿日期: 2017-03-05; 改回日期: 2018-01-07

作者简介: 李应栩(1982-), 男, 工程师, 主要从事矿床地质与资源预测研究工作。E-mail: pzhliyingxu@126.com。

通讯作者: 李光明(1965-), 男, 研究员, 主要从事矿产地质与资源研究。E-mail: li-guangming@163.com

资助项目: 本文为国家重点研发计划课题(编号: 2016YFC0600308) 和中国地质调查局地质调查项目(编号: 20160015) 的成果

炭纪至印-亚陆碰撞前,该区主要处于被动陆缘环境^[20],在晚侏罗世一早白垩世时可能曾有过地幔柱或热点活动^[21-23]。在印-亚陆碰撞约开始后^[24],该区成为了喜马拉雅主碰撞造山带的一部分^[25],碰撞造山强烈的南北向挤压形成该造山带内近东西向的主断裂构造,在其北侧则主要表现为伸

展特征的藏南拆离系,是世界上规模最大的正断层系统^[26],位于矿区南约 60km。特提斯喜马拉雅造山带内的近南北向构造的发育稍晚于近东西向构造,如在定结地区,近东西向的藏南拆离断裂被近南北向的申扎-定结正断层体系切割错动了约 30km^[27]。

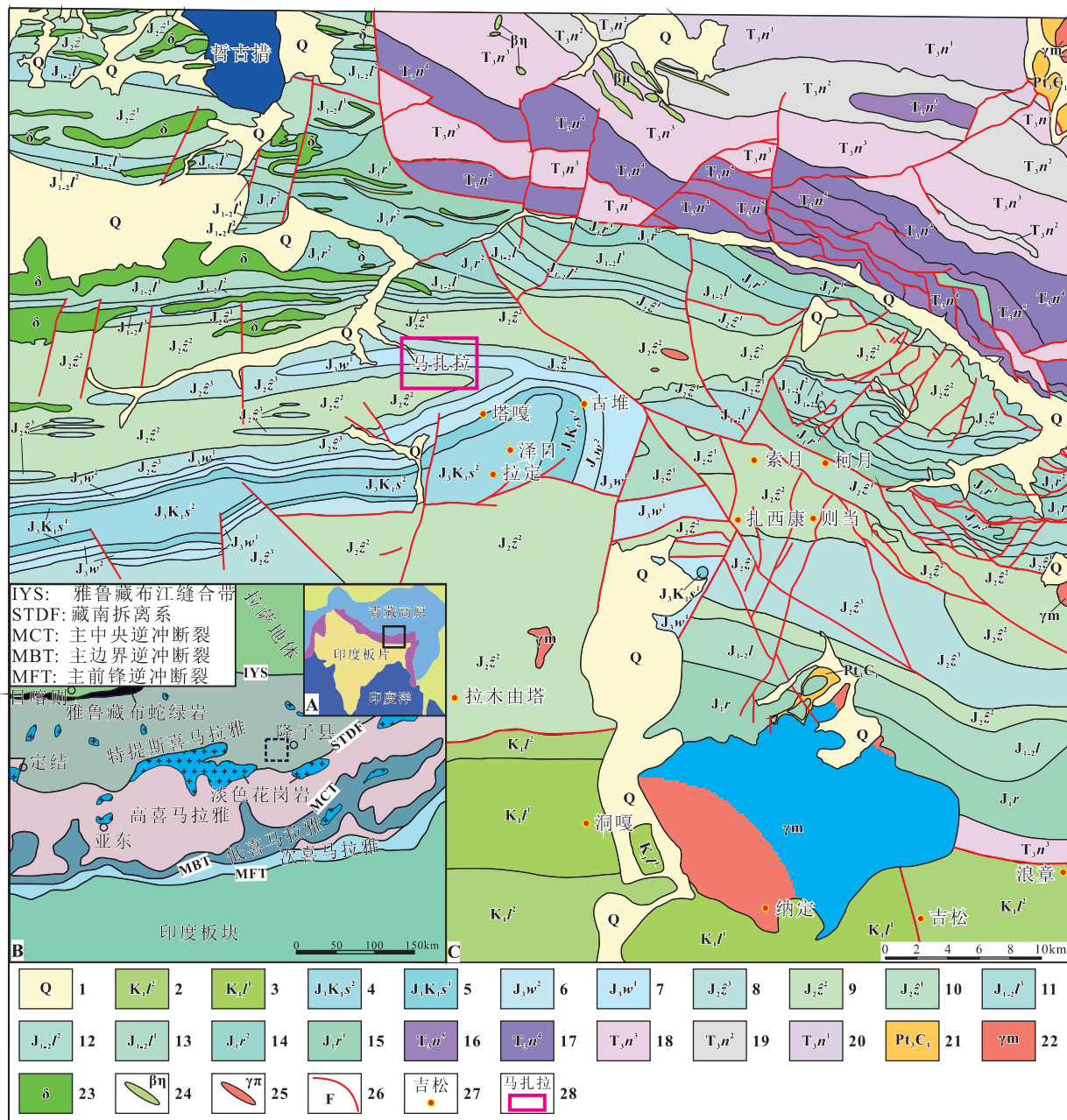


图1 马扎拉金矿大地构造位置概图(A、B,据文献[25]修改)和区域地质图(C,据文献[13,28-30]修改)

1. 第四系;2. 拉康组二段;3. 拉康组一段;4. 桑秀组二段;5. 桑秀组一段;6. 维美组二段;7. 维美组一段;8. 遮拉组三段;9. 遮拉组二段;10. 遮拉组一段;11. 陆热组三段;12. 陆热组二段;13. 陆热组一段;14. 日当组二段;15. 日当组一段;16. 聂如组五段;17. 聂如组四段;18. 聂如组三段;19. 聂如组二段;20. 聂如组一段;21. 曲德贡组;22. 淡色花岗岩;23. 闪长岩;24. 辉绿岩;25. 花岗岩;26. 断层;27. 矿床(点);28. 马扎拉金矿区

Fig.1 Simplified tectonic map (A and B) and regional geological map (C) of the Mazhala gold deposit, Cuomei, Xizang

区域内主要出露上三叠统一白垩统的硅质碎屑沉积岩和碳酸盐岩,局部夹有规模不等的火山岩(图1C),由下到上依次为聂如组(T_3n)、日当组(J_1r)、陆热组($J_{1-2}l$)、遮拉组(J_2z)、维美组(J_3w)和桑秀组(J_3K_1s)。

受印-亚陆碰撞的南北向挤压影响,区内近东西向构造发育,包括断裂和褶皱。其中规模最大、对区内岩层变形特征影响最为显著的构造是构成区内北部上三叠统聂如组和下侏罗统界线的隆子逆冲-推覆断裂^[28-29]。该断裂发育宽逾千米的破碎带,其北部岩层的变形变质主要表现为受达拉-也拉香波穹窿影响,其中部地区的褶皱呈紧闭的层间同斜褶皱,断层以倾向北的叠瓦状脆-韧性逆冲断层为主,南部地区地层相对较完整,褶皱相对宽缓。区内近南北向断裂构造切割了近东西向构造,表现为一系列近南北向呈线性分布的负地貌和串珠状分布的热泉,在扎西康地区为主要的赋矿断裂。

区域内出露的岩浆岩主要为新生代的淡色花岗岩以及中生代与桑秀组、遮拉组火山岩同期具“双峰式”组合特征的岩浆岩^[30-31]。其中,出露面积最大的为新生代淡色花岗岩,以北部的达拉-也拉香波复式岩体和南部的错那洞岩体为主,在拉木由塔附近也有少量出露,并与藏南拆离系的活动有密切关系。

2 研究区地质特征

马扎拉金矿区及外围地区位于错那裂谷西侧(图1B),区域性复式倒转褶皱的北翼、北倾隆子逆冲-推覆断裂带南西侧(图1C)。本次地质测量的成果(图2)显示,区内出露的岩层岩性组合多样,构造样式复杂。

2.1 地层

除第四系外,马扎拉金矿区及外围约30km²范围内出露的地层主要为碎屑岩,根据岩性组合可以分为7个岩性段,结合夹层火山岩LA-ICP-MS锆石U-Pb分析结果^[32],套合区域时代地层可以归并为中下侏罗统陆热组($J_{1-2}l$)、中侏罗统遮拉组(J_2z)和上侏罗统维美组(J_3w)。

在研究区范围内,陆热组由下至上依次为中厚层状泥晶灰岩($J_{1-2}l^{mds}$)、薄层状泥质灰岩($J_{1-2}l^b$)和含结核钙质粉砂岩($J_{1-2}l^{cs}$),主要出露于研究区中东

部至中南部。其中,薄层状泥质灰岩层夹有含草莓状黄铁矿的薄层状泥质粉砂岩;钙质粉砂岩层顶部夹有少量含结核泥质灰岩、含砾石英砂岩(ss)和泥质砂质生物碎屑灰岩(els)。

遮拉组广泛出露于研究区北部、西部和南部,具有较大的横向变化。其下部为夹有规模不等的英安岩以及英安质凝灰岩(ζ)的泥质粉砂岩岩层(J_2z),局部可见其中英安岩与下伏陆热组呈喷发不整合;上部的岩性和厚度横向变化较大并以出现基性火山岩(J_2z)为特征,如气孔状玄武岩、杏仁状玄武岩、玄武质火山角砾熔岩和凝灰岩等。

维美组出露于研究区中北部和西南部,其底部具有较大的横向变化,在基性火山岩上部见有砾岩(cg)、具河流相二元沉积特征的粉砂岩与砂岩互层等;中下部以厚层状石英砂岩(J_3w^{ss})为特征,局部夹有厘米级泥质粉砂岩;上部粉砂岩夹杂砂岩岩层(J_3w^{st+ds})中砂岩变少,成为粉砂岩中走向延伸约10m、厚约10cm的夹层。

2.2 构造

研究区内主构造为一系列近东西向的北倾逆冲断裂,这些近东西向的逆冲断裂构造在派生一系列次级断裂和反冲断裂的同时,还使得区内出露的各地层单元与其区域所属单元相比明显减薄,为一系列叠瓦式构造中的岩片,这些岩片又形成一系列轴面北倾的褶皱,并造成了许多部位地层的倒转。北西向、北东向和近南北向构造主要为具有走滑性质的逆冲断裂,叠加于近东西向构造之上,共同构成了“破棋盘”网格状构造格局。

2.2.1 褶皱

马扎拉矿区及外围发育的一系列与近东西向断裂关系密切的轴向近东西的复式褶皱,其中规模最大且目前保存较为完整的为马扎拉复式背斜。

该复式背斜轴部走向北西西-南东东,其北东翼岩层较为舒缓,倾向北西、北北东,南西翼倾向南南东。在背斜核部及两翼附近,常由于滑剪、拉张作用产生许多节理、裂隙、虚脱空间及次级断层和揉皱。该复式背斜在矿区的部分被具走滑-逆冲性质的 F_8 和 F_9 断裂分为东、中、西3段:东段向东倾伏,翼部主要为陆热组薄层状泥质灰岩,核部为发育“M”构造的陆热组中厚层状泥晶灰岩,并有大量方解石脉出于其核部的褶皱劈理中;中段整体略向东倾伏,表现为一较完整的宽缓背斜,翼部为陆热

由蚀变碎裂岩组成的破碎带,并发育大量分布严格受破碎带空间限制的方解石脉、石英脉。这些脉体按照产状可分为两组,主要的一组脉体较宽大与断裂呈小角度斜交($345^{\circ} \sim 15^{\circ} \angle 45^{\circ} \sim 72^{\circ}$),另一组与断裂产状相反($162^{\circ} \sim 195^{\circ} \angle 49^{\circ} \sim 60^{\circ}$)。脉体局部宽达30cm以上,部分地段还发育张性充填的晶簇状构造。脉体遭受断裂的轻微挤压性变形,以脆性为主,脉体边部局部有韧性变形特征,形成少量糜棱岩。脉体的变形方向与围岩变形方向基本一致,但变形程度比围岩低。脆性变形主要表现为脉体的错动,其中宽大脉体错动距离比围岩略小或相当,连接宽大脉体间的细脉错动距离明显小于围岩,脉中含有棱角状-次棱角状的碎裂围岩角砾,角砾多不可拼贴。这些特征显示脉体充填与断裂活动基本同期,充填的空间应是形成于压扭性环境,并受到了后期改造。该断裂控制了IV号矿化带的展布。

近东西向断裂 F_2 : 发育于矿区南部,为一南倾正断层,产状 $175^{\circ} \sim 220^{\circ} \angle 23^{\circ} \sim 42^{\circ}$,略有起伏。该断裂造成遮拉组下部夹英安岩透镜体的粉砂岩($J_2^{\text{st}+\text{v}}$)和上部中基性火山岩(J_2^{v})向南滑至与下部的岩层至同一高度并相抵。地表可见其发育宽3~10m的破碎带,其中西段的破碎带主要由碎裂变形的粉砂岩组成,其中充填有少量石英脉和方解石脉;中段的破碎带主要为碎裂的灰岩、英安岩和辉绿岩脉构成;东段主要由硅化、碳酸盐化碎裂岩组成,控制了III号矿化带的展布。该断裂向东延伸的部分为第四系掩盖,可能受到了北西向断裂 F_{10} 的切割错动。

近东西向断裂 F_3 : 发育于矿区中部,为北倾逆断层,产状 $350^{\circ} \sim 15^{\circ} \angle 44^{\circ} \sim 57^{\circ}$,并明显为北西向 F_{10} 和近南北向 F_9 断裂所切割错动为东、中、西3段,其中东段控制了V号矿化带的展布。该断裂将陆热组钙质粉砂岩逆冲至遮拉组半粉砂岩类英安岩之上,在形成倒转背斜和向斜的同时还在其上盘岩层中形成一系列次级断裂。探槽揭露显示这些次级断裂既有北倾也有南倾,分布于距离主断面50m范围内,走向延伸约50~300m,与主断面呈小角度斜交后汇入主断裂,并通常表现出逆冲性质。该断裂中段的次级断裂和东段常充填石英脉。在该断裂中段,石英脉宽15~30cm不等,走向延伸15~20m不等,呈断续的透镜状沿次级断裂破碎带分布,脉体边部的泥质和钙质粉砂岩常发育宽约5cm的

糜棱岩带。在断裂东段,断裂破碎带主要由蚀变碎裂岩组成,探槽揭露显示破碎带中部发育石英脉和方解石脉,局部地段的脉体还发育辉锑矿,主要分布于脉体边部。其中,石英脉多呈断块状,宽约20cm,断块间错动距离30~80cm,总体呈与断裂面小角度斜交;方解石脉宽1~2cm,脉壁通常较为平直,产状为与断裂面相反的南倾,倾向延伸50~80cm不等,脉之间间距30~50cm,呈近似雁列状分布并受断裂破碎带控制。

近东西向断裂 F_4 : 发育于矿区北部,为北倾逆断层,产状 $340^{\circ} \sim 355^{\circ} \angle 75^{\circ} \sim 79^{\circ}$,规模与 F_1 和 F_3 相当,切割错动闪长岩的同时将遮拉组中下部夹英安岩的粉砂岩逆冲至维美组上部粉砂岩夹杂砂岩之上(图3)。其上盘发育以遮拉组粉砂岩夹英安岩为核部的倒转背斜,翼部仅北翼有少量残留;下盘发育以维美组石英砂岩为核部的倒转向斜。断裂的上下盘还分别发育宽逾20m的劈理化带,劈理面发育褐铁矿化。

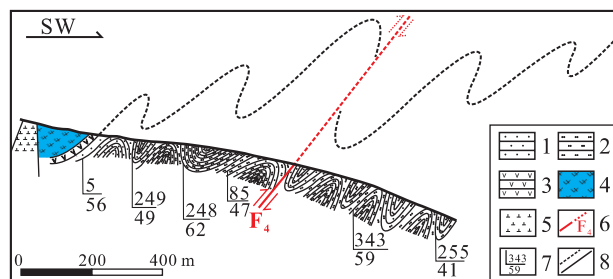


图3 马扎拉金矿区 F_4 断裂信手剖面

1. 砂岩; 2. 粉砂岩; 3. 凝灰岩; 4. 英安岩; 5. 闪长岩; 6. 断层; 7. 产状; 8. 界线

Fig. 3 Free hand geological section across F_4 fault in the Mazhala gold deposit

近东西向断裂 F_5 : 发育于矿区中北部,为南倾逆断层,被北西向 F_{10} 断裂切割错动为东西两段。其西段北盘为残留有少量遮拉组下段粉砂岩夹英安岩顶部为核部的倒转向斜,南盘为倒转向斜的遮拉组下段粉砂岩夹英安岩;东段南盘为以遮拉组下段粉砂岩夹英安岩为核部的背斜,北盘为残留有少量以遮拉组上段中基性火山岩为核部、遮拉组下段粉砂岩夹英安岩为翼部的倒转向斜。上、下盘岩层的褶皱劈理发育,劈理面常发育褐铁矿化。

近东西向断裂 F_7 : 发育于矿区东中部,为北倾逆冲断层,产状 $345^{\circ} \sim 352^{\circ} \angle 55^{\circ} \sim 62^{\circ}$,控制了矿区

I号矿化带的展布。其在矿区范围的东端表现为将陆热组钙质粉砂岩逆冲至遮拉组下段粉砂岩夹英安岩之上,并分别在上、下盘形成以陆热组地层为核部的倒转背斜和向斜;在中段构成了以陆热组泥晶灰岩为核部的倒转背斜与以陆热组钙质粉砂岩为核部的倒转向斜的翼部界线,背斜核部的层间滑脱带和褶皱劈理非常发育;其西段上盘在地表表现为由数个走向一致、断续延伸的断裂面组成的断裂破碎带;西端有辉绿岩脉($\beta\mu$)侵入。西段破碎带内脉体多为宽1~3cm、脉壁平直的含辉绿石英-方解石,产状 $150^{\circ}\sim 192^{\circ}\angle 42^{\circ}\sim 52^{\circ}$,倾向延伸1~3m。脉体多分布于断裂上盘距离主断面25~35m范围内,脉率为0.8~1.2m/条。

近东西向断裂 F_{12} :南倾隐伏断裂,为近南北向断裂 F_{14} 左行错动约30m,东西两段分别控制了II号矿化带中II-2和II-3矿体的展布。其南盘主要为遮拉组下段粉砂岩夹英安岩,北盘为陆热组钙质粉砂岩,具有早期逆冲,晚期滑脱的活动特征,在探槽中表现为夹有围岩透镜体的蚀变构造破碎带。破碎带宽5~25m,主要由碎裂岩、断层角砾岩和断层泥组成,分布具有一定的对称性:自破碎带上盘至下盘依次分布劈理化钙质粉砂岩、碎裂钙质粉砂岩、断层泥胶结的断层角砾岩、断层泥、断层泥胶结的断层角砾岩、碎裂泥质粉砂岩、劈理化泥质粉砂岩和碎裂英安岩,在断层角砾中有少量糜棱岩。

近东西向断裂 F_{13} :位于 F_{12} 北侧,是一条与之近似平行的南倾破碎带,为近南北向断裂 F_{16} 左行错动约20m,东西两段分别控制了II-4和II-4矿体的展布。其南盘主要为遮拉组下段粉砂岩夹英安岩,北盘为陆热组钙质粉砂岩,破碎带宽3~10m,主要由强烈片理化的粉砂岩和石英胶结断层角砾岩组成,分布具有一定对称性。

北西向断裂 F_8 和 F_{10} :分别主要沿龙德普和尼德普发育,为北东倾右行走滑逆断层,切割错动了发育较早的近东西向构造。在矿区南部,北西向断裂表现为地表一系列断续出露的石英脉;在矿区中部北西向断裂与近东西向和北东向断裂交汇部位附近多发育有泉华或有现代低温温泉活动。

北东向断裂:与北西向断裂可能共轭,规模较大的为 F_6 和 F_{17} , F_{18} 与 F_{19} 可能为 F_{17} 的次级断裂。斜贯矿区的近直立左行走滑 F_6 断裂在地表表现为一条非常显著的线性延伸负地貌,其西侧山坡常见

断层三角面,在矿区北部切割错动了以维美组石英砂岩为翼部的倒转背斜。 F_{17} 在地表表现为宽约20m的密集劈理化带,在矿区东南部将维美组石英砂岩由矿区南侧左行错动至与遮拉组下段粉砂岩夹英安岩相抵,劈里面断续充填少量宽1~2cm、长约10cm的近直立石英脉。

近南北向断裂:规模较大的为 F_9 和 F_{16} ,为向西陡倾的左行压扭性断裂,在地表表现为一系列断续出露的石英脉和岩层断面上的擦痕,并明显错动了矿体。套合2012年土壤地球化学测量的成果显示, F_9 断裂以东的Au和Sb异常强度、范围均比该断裂以西大。

2.3 岩浆岩

马扎拉矿区面积最大的岩浆岩为出露于矿区北西部的闪长岩(δ),呈岩基状产出,中粗粒结构,主要造岩矿物为斜长石、角闪石和钾长石,有少量石英。该岩体侵位于夹有砂岩和英安岩的粉砂岩中,与围岩接触部位有热蚀变现象,并被北西向 F_4 断裂切割错动。

面积更小的侵入岩呈岩脉状产出,主要为辉绿岩($\beta\mu$),分布于矿区南部的近东西向断裂中,如 F_2 中段、 F_3 中段和 F_7 西段,这些岩脉已被近东西向断裂错动破坏,成为了破碎带中的角砾,部分强烈蚀变并成为了矿体的一部分。

3 矿床地质特征

3.1 矿化带和矿体

矿区初步确立的5条受控于近东西向断裂及其破碎带的矿化带,由北向南依次为 F_7 断裂控制的I号矿化带、 F_3 断裂控制的V矿化带、 F_1 断裂控制的IV号矿化带、 F_2 断裂控制的III号矿化带以及 F_{12} 和 F_{13} 断裂控制的II号矿化带,在各矿化带中共新圈出了10条矿体。现将主要矿化带及其中矿体分述如下。

3.1.1 I号矿化带

该矿化带揭露的I-4矿体为Au-Sb矿体,目前控制长87m,斜深68m。矿体呈板状斜切围岩产出,产状 $350^{\circ}\angle 47^{\circ}$,具分支-复合形态。平均厚1.67m,厚度变化系数97.60%;平均Au品位 1.79×10^{-6} ,品位变化系数44.60%;伴生Sb品位 $(0.57\sim 1.05)\times 10^{-2}$,平均 0.66×10^{-2} 。沿含矿断裂 F_7 向东,仍有套合良好的Au-Sb-As化探异常以及民采遗迹。结合地质测量成果在该断裂东段的隐伏部位实施的高

精度磁法剖面测量、视电阻率联合剖面测量和大地电磁测深剖面测量等物探工作的结果显示,该含矿断裂向东延伸至少 1000m,向深部延伸在 300m 以上^[33],有良好的找矿前景。

3.1.2 II号矿化带

该矿化带目前揭露出受控于北侧 F_{13} 断裂的 II-1 和 II-4 矿体以及南侧 F_{12} 断裂的 II-2 和 II-3 矿体,均为 Au 矿体。这些近东西向矿体被近南北向断裂左行切割错动。

II-1 矿体控制长 300m、斜深 115m,产状 $200^{\circ} \angle 44^{\circ}$,具分支-复合形态;矿体平均厚度为 4.45m,厚度变化系数为 104.61%;Au 的平均品位为 2.36×10^{-6} ,品位变化系数为 117.48%。II-4 矿体控制长约 71m、斜深 270m,产状 $198^{\circ} \angle 43^{\circ}$,平均厚度为 1.72m,厚度变化系数为 57.73%;平均 Au 品位 1.85×10^{-6} ,品位变化系数为 75.33%。此外,在 Au 矿体上盘钻获了厚 1.01m, Sb 品位 3.55×10^{-2} 的矿体,但更深部位未见及,地表仅有 Sb 化探异常显示。在该断裂的向西延伸方向上,具有套合较好的 Au-As 和串珠状分布的 Sb 化探异常;在该断裂延伸部位实施的物探剖面工作成果显示,断裂在走向和倾向上均有不小于 200m 的延伸;这些均表明该断裂向西和向深部均有矿体,显示出较好的找矿前景。

II-2 矿体控制长 350m、斜深 107m,产状 $200^{\circ} \angle 50^{\circ}$,呈透镜状并具分支复合性态;矿体厚度 1.03~18.20m,平均 4.70m,厚度变化系数 305.56%;Au 的平均品位为 3.56×10^{-6} ,品位变化系数为 88.97%。II-3 矿体控制长 66m、斜深 55m,产状 $188^{\circ} \angle 43^{\circ}$,呈板状斜切围岩产出;矿体平均厚度 2.75m,厚度变化系数 76.73%;Au 的平均品位为 1.48×10^{-6} ,品位变化系数为 68.81%。在此两矿体间以及该断裂在向西延伸的部位虽然目前工作尚少,但应仍有找矿潜力。

3.1.3 IV号矿化带

该矿化带目前由一个钻孔揭露出两条隐伏北倾 Au 矿体,受控于 F_1 及其南侧的次级断裂,由地球物理剖面测量和地质测量成果推测的产状为 $349^{\circ} \angle 47^{\circ} \sim 58^{\circ}$ 。南侧的一条赋存于水平厚约 5m、斜深大于 180m 的近东西向北倾破碎带中,为 F_1 断裂的次级断裂,Au 品位 1.50×10^{-6} ,厚 1.10m;北侧的一条赋存于 F_1 断裂宽约 30m 的破碎带中,与南侧的一条垂距 40m,Au 品位 1.20×10^{-6} ,厚 1.80m。

3.1.4 V号矿化带

该矿化带揭露的 V-1 矿体控制长 80m,斜深尚未控制,由地球物理剖面测量^[33]和地质测量成果推测的产状为 $15^{\circ} \angle 47^{\circ} \sim 58^{\circ}$ 。矿体厚 3.91m,Au 品位 1.81×10^{-6} 。需要指出的是,该矿化带的矿体在早期普查工作中也有揭露评价,但矿体产状均是依据含矿破碎带中南倾脉体的产状确定,在剖面上简单将槽探揭露和钻探探获的矿体以南倾产状连接的倾角较缓^[9-10],不完全符合地质事实,因此,普查期间实施的少量中浅部找矿工作效果并不理想。该矿化带还有数个近东西向延伸的化探异常高值点没有开展验证工作,依据含矿断裂为北倾进一步实施中浅部-中深部探索应有收获。

3.2 矿化形式和围岩蚀变

马扎拉矿区的 Au 矿化与 Sb-Au 矿化虽均产出于近东西向断裂及其破碎带中,但矿化形式和赋矿部位存在一定差别。

Au 矿化发育在破碎蚀变带中部的蚀变岩中,矿石以浸染状为主,主要与硅化、黄铁矿化、毒砂化、绢云母化有关。Sb 矿化以破碎带边部的脉状为主,主要与方解石化、硅化有关,而与黄铁矿化、毒砂化、绢云母化等关系不甚密切。在目前仅发现 Au 矿石的 III 和 IV 号矿化带中,矿石均为蚀变的构造碎裂岩,方解石化不发育。在发现有 Au-Sb 矿石的 I 号矿化带中,矿体的伴生 Sb 品位与其中方解石(石英)-辉锑矿脉密度正相关,Au 品位与 Sb 品位没有明显的相关性。在揭露出伴生 Sb 矿体的 II 和少量 Sb 矿化的 V 号矿化带,Sb 均是赋存于断裂的边部以脆性变形为主的破碎带中。

硅化在多数断裂带中均有发育,以充填石英脉为特征,局部可见石英晶簇晶尖相向排列,显示出张性充填特征。石英脉本身少见有其他金属矿物,在石英脉边部的钙质粉砂岩、泥质粉砂岩、砂岩中,多发育有浸染状黄铁矿化、毒砂化、绢云母化等。

黄铁矿化多与硅化相伴,产出于断裂破碎带中石英脉边部围岩中。在粉砂岩的砂岩夹层中亦有发育。黄铁矿呈星点状、浸染状、稀疏浸染状产出,局部表现为沉积成因黄铁矿的增生边,局部地段氧化为褐铁矿。

毒砂化与硅化、黄铁矿化伴生,产出于断裂破碎带中石英脉边部围岩中。在粉砂岩的砂岩夹层中亦有发育,呈星点状、浸染状、稀疏浸染状产出,

多数具有自形晶,局部地段氧化为褐铁矿。

绢云母化(白云母化)常与硅化相伴产出,在煌斑岩脉的边部比较常见,在断裂破碎带石英脉边部围岩中还与黄铁矿、毒砂等伴生,在粉砂岩的砂岩夹层中亦有发育。多成星点状、稀疏浸染状,片晶粒径可达 0.1mm。

叶蜡石化与断裂中的岩浆岩关系较为密切,在发现叶蜡石化的地段及其近围多见有侵入岩,但这些侵入岩均已为断裂所破坏,成为了破碎带中的角砾。出露于 I 号矿化带西段的岩脉发育较为强烈的叶蜡石化、硅化、黄铁矿化、毒砂化,同时具有 7.34×10^{-6} 的 Au 含量;在 V 号矿化带出露的发育叶蜡石化、绢云母化、硅化、黄铁矿化的岩脉具有 1.02×10^{-6} 的 Au 含量。

碳酸盐化包括铁锰碳酸盐化和方解石化。铁锰碳酸盐化主要发育铁方解石和含锰铁方解石,呈 1~2mm 宽的细脉状产出于断裂破碎带的碎裂铁锰质结核角砾中。方解石化多成宽约 1cm 的脉状产出于破碎带边部碎裂泥质灰岩和钙质粉砂岩中,并常与辉锑矿共生,脉中常见 3~8mm 半自形石英颗粒。

4 找矿方向探讨

4.1 控矿构造几何组合样式

要寻找具有工业价值的矿体首先需要找到矿体赋存的地质体。无论是 2000 年的普查工作还是新近取得的成果均表明,马扎拉金矿的矿体均富存于断裂构造中。通过新近完成的地质测量和少量工程验证等工作,本文对研究区控矿断裂构造的性质及成因有了一些新的认识。

从区域上看,研究区位于藏南拆离断裂以北的特提斯喜马拉雅构造带南部,北倾的隆子逆冲断裂南缘,属于近南北向错那裂谷西侧新生代近东西向逆冲推覆断裂体系的前缘。对主要发育伸展特征的藏南拆离断裂的已有研究显示,该断裂虽然在主活动期(25~12Ma,)表现为伸展特征,但在不晚于 36Ma^[26]或 40Ma 时已与 MCT 等主要发育逆冲推覆特征的断裂同时开始活动以调节印-亚陆陆碰撞对喜马拉雅次地体造成的南北向挤压变形,并在活动早期发育具有挤压性质的断裂^[25];而近南北向断裂的主活动期则更晚。

对北喜马拉雅褶皱造山带南部影响最为显著的近东西向和近南北向断裂构造在研究区及外围

均有发育。与区域构造变形的历史相似,马扎拉矿区既属于区域早期隆子逆冲断层系的中部地区,又属于区域后期藏南拆离断裂伸展滑脱构造的北部地区。根据本次地质测量成果,可将研究区内的构造分为早、中、晚三期。近东西向为构造主走向,与区域性的早期逆冲推覆和晚期伸展滑脱断裂近似平行。早期发育的构造在南北向剖面上(图 4A)与典型的推覆形成的叠瓦式构造相似,在逆冲推覆相关的断弯等作用下于断裂的上、下盘形成了褶皱(图 4B),并在逆冲推覆的台阶式基本构架中发育了前断坡和反冲断层(图 4C)。中期构造主要受区域南北向伸展作用控制,部分先存断裂在此时表现出滑脱、张裂等特征,进一步扩张了早期走滑拉分所形成的空间,这些空间成为了稍晚的成矿热液活动引发的金属沉淀的部位。此后,这些近东西向构造为晚期活动的近南北向和北西向断裂构造所切割错动。

从马扎拉矿区新揭示矿体赋存的近东西向断裂看来(图 2、图 4A),这些发育早期挤压、后期伸展特征的断裂既有南倾,也有北倾,属于逆冲推覆体系中的前断坡和反冲断层。在矿区构造中期即区域南北向伸展活动时,这些断裂成为了构造薄弱部位更易张裂、滑脱,为成矿热液的活动和矿体就位提供空间。同时,早期逆冲推覆相关的褶皱作用形成的倒转背斜和向斜的褶皱劈理、节理等,也是脉状矿石赋存的有利部位(图 4D),曾是 2000 年普查工作的主要工作对象^[3]。

4.2 找矿方向

从马扎拉矿床主要矿体的矿石类型及赋矿部位来看,在逆冲推覆构造的断面及其次级断裂中主要发育蚀变岩型的 Au 矿石,脉型的 Au-Sb 矿石较少,在褶皱劈理中主要发育脉型的 Au-Sb 矿石。蚀变岩型金矿是我国最为重要的岩金矿类型,其主要控矿断裂多具有多期活动特征^[34],具有悠久历史的焦家成矿带^[35]和近年发现的松潘-摩天岭成矿带^[36]中许多金矿均为该类型。

近年来,对包括甘肅阳山^[37-38]、山东新城^[39]、安徽上城^[40]、内蒙古白乃庙^[41]等在内的蚀变岩型金矿中不同类型矿石在断裂带中的空间分布特征的研究表明,它们均具有与焦家金矿^[35]的相似之处:变形相对均匀的构造岩中赋存浸染状蚀变岩型矿石,主断面之下的剪节理式网状裂隙带中赋存网脉

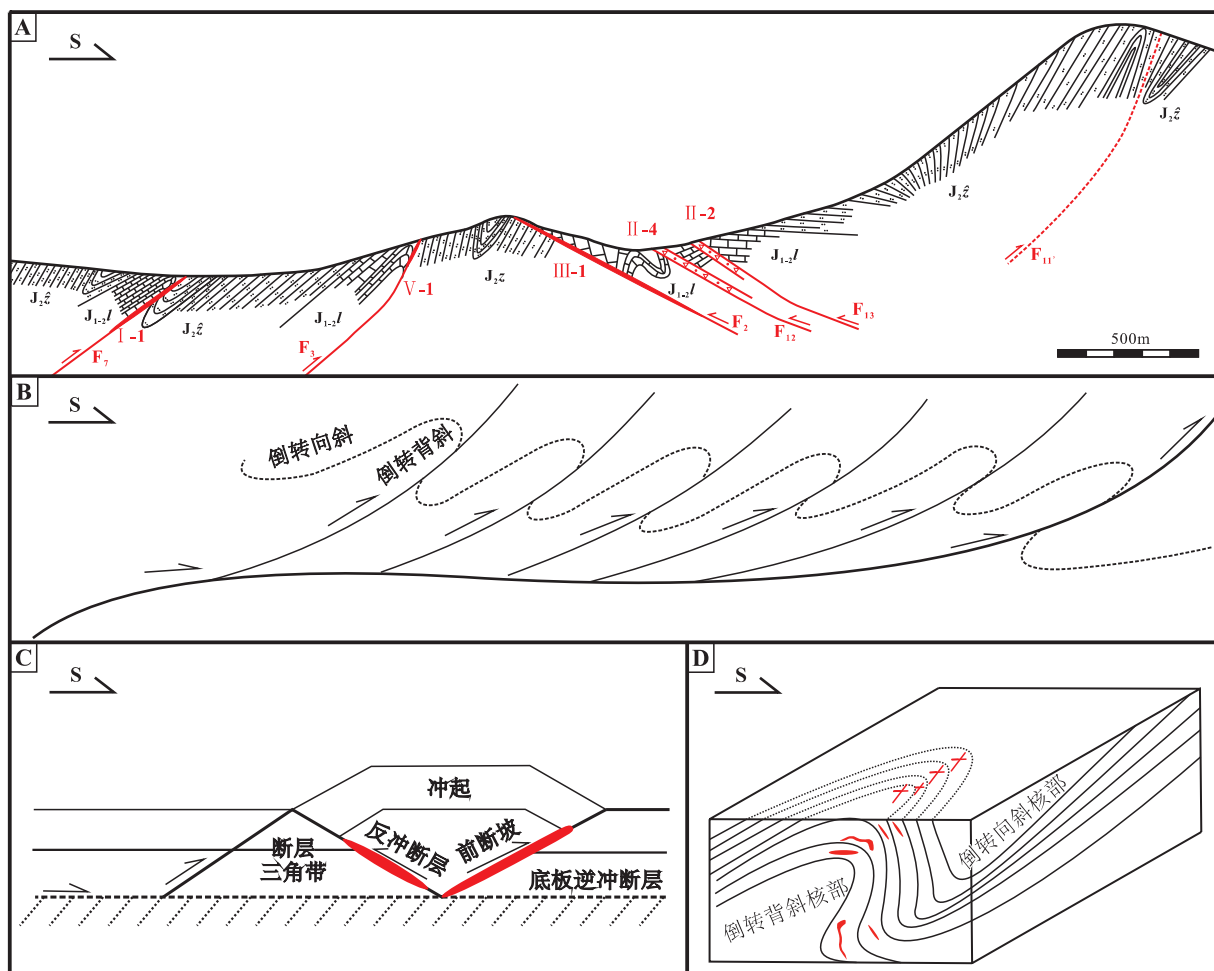


图4 马扎拉矿区主要含矿断裂剖面与控矿构造理想模型图

A. 马扎拉矿区 13 线剖面图; B. 逆冲断裂形成的叠瓦式构造格架; C. 控矿断裂几何组合样式; D. 褶皱劈理控矿样式 (据参考文献^[3])

Fig.4 Geological section across major ore-bearing faults and idealized models for the ore-controlling structures in the Mazhala gold deposit

状矿石,远离主断面的裂隙带赋存脉状矿石。在马扎拉矿区受逆冲推覆有关的构造体系控制的成矿系统中,矿石类型也主要受控于构造形成的空间大小,按照构造形成的空间由大至小,依次发育脉状-网脉状-浸染状矿石。虽然脉型矿石不仅可以赋存于断裂带中张性空间,还能赋存于褶皱劈理所形成的张性空间。但在赋矿断裂的规模上,这一逆冲推覆体系中的褶皱劈理必然远不及逆冲断裂本身。因此,马扎拉金矿进一步的找矿工作应重点围绕早期逆冲推覆体系中的前断坡及反冲断裂展开,寻求其中的蚀变岩型 Au 矿。

5 结论

(1) 马扎拉金矿区及外围约 30km² 范围内出露

的地层为中下侏罗统陆热组($J_{1-2}l$)、中侏罗统遮拉组(J_2z)、上侏罗统维美组(J_3w)。

(2) 马扎拉金矿区及外围发育近东西向、近南北向和北西向 3 组构造,其中东西向断裂和褶皱构造为早期构造,也是研究区的主构造,北西向和近南北向断裂构造发育较晚,对近东西向构造有改造。

(3) 受早期向南逆冲作用影响,研究区出露的地层相比区域地层明显减薄,成为叠瓦式构造中发育北倾复式褶皱的一系列岩片。

(4) 马扎拉金矿的主要矿体受控于具有挤压-走滑特征的近东西向断裂,这些断裂是早期逆冲推覆断裂体系的断坡和反向断层。

(5) 马扎拉金矿外围进一步的找矿工作应该重点围绕近东西向断裂展开,主要寻求其中的构造蚀

变岩型金矿。

致谢: 本文的野外地质工作得到了成都地质调查中心潘桂棠研究员、丁俊研究员、祁先茂研究员和北京科技大学谢玉玲教授的指导以及西藏雪域矿业开发有限公司朱行福经理和莫洪智工程师的大力支持, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 杜光树, 冯孝良, 雍永源. 西藏金矿地质[M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1993. 1-177.
- [2] 冯孝良, 杜光树. 西藏金矿资源分布规律、矿化类型及找矿方向[J]. 沉积与特提斯地质, 1999, 23: 31-38.
- [3] 王军, 张均, 郑有业. 西藏南部马扎拉金矿成矿规律初探[J]. 黄金科学技术, 2001, 9(3-4): 5-11.
- [4] 王军, 张均. 西藏南部马扎拉金矿成矿特征及找矿方向[J]. 黄金地质, 2001, 7(3): 15-20.
- [5] 郑有业, 赵永鑫, 王苹, 等. 藏南金矿成矿带成矿规律研究及找矿取得重大进展[J]. 地球科学: 中国地质大学学报, 2004, 29(1): 44, 68.
- [6] 莫儒伟, 孙晓明, 翟伟, 等. 藏南马扎拉金矿床成矿流体地球化学和成矿机制[J]. 岩石学报, 2013, 29(4): 1427-1438.
- [7] 张建芳, 郑有业, 张刚阳, 龚瑞君. 西藏北喜马拉雅马扎拉金矿床地质特征及成矿作用[J]. 黄金, 2011, (1): 20-24.
- [8] 杨竹森, 侯增谦, 高伟, 等. 藏南拆离系金矿成矿特征与成因模式[J]. 地质学报, 2006, 80(9): 1377-1391.
- [9] Yang Zhusen, Hou Zengqian, Meng Xiangjin, et al. Post-collisional Sb and Au mineralization related to the South Tibetan detachment system, Himalayan orogeny [J]. Ore Geology Reviews, 2009, 36(1): 194-212.
- [10] Zhai Wei, Sun Xiang, Yi Jianzhou, et al. Geology, geochemistry, and genesis of orogenic gold-antimony mineralization in the Himalayan Orogen, South Tibet, China [J]. Ore Geology Reviews, 2014, 58(4): 68-90.
- [11] 戚学祥, 李天福, 孟祥金, 于春林. 藏南特提斯喜马拉雅前陆断褶带新生代构造演化与锡金多金属成矿作用[J]. 岩石学报, 2008, 24(7): 1638-1648.
- [12] 吴建阳, 李光明, 周清, 等. 藏南扎西康整装勘查区成矿体系初探[J]. 中国地质, 2015, 42(6): 1674-1683.
- [13] 董富权. 西藏古堆-隆子地区断裂构造分形特征及其地质意义[J]. 黄金科学技术, 2012, 20(6): 41-45.
- [14] 侯增谦, 莫宣学, 杨志明, 等. 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[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 340-351.
- [15] 侯增谦, 曲晓明, 杨竹森, 等. 青藏高原碰撞造山带: III后碰撞伸展成矿作用[J]. 矿床地质, 2006, 25(6): 629-651.
- [16] 陈智樑, 刘宇平. 藏南拆离系[J]. 沉积与特提斯地质, 1996, 26: 31-51.
- [17] 许志琴, 杨经绥, 戚学祥, 等. 印度/亚洲碰撞-南北向和东西向拆离构造与现代喜马拉雅造山机制再讨论[J]. 地质通报, 2006, 25(1-2): 1-14.
- [18] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 青藏高原与大陆动力学-地体拼合, 碰撞造山及高原隆升的深部驱动力[J]. 中国地质, 2006, 33(2): 221-238.
- [19] Yin A, Harrison T M. Geologic evolution of the Himalayan-Tibetan orogeny [J]. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 2000, 28(1): 211-280.
- [20] Zhu Dicheng, Pan Guitang, Mo Xuanxue, et al. Petrogenesis of volcanic rocks in the Sangxiu Formation, central segment of Tethyan Himalaya: A probable example of plume-lithosphere interaction [J]. Journal of Asian Earth Sciences, 2007, 29(2): 320-335.
- [21] Zhu Dicheng, Mo Xuan-xue, Pan Guitang, et al. Petrogenesis of the earliest Early Cretaceous mafic rocks from the Cona area of the eastern Tethyan Himalaya in south Tibet: Interaction between the incubating Kerguelen plume and the eastern Greater India lithosphere [J]. Lithos, 2008, 100(1): 147-173.
- [22] Zhu Dicheng, Chung Sunlin, Mo Xuanxue, et al. The 132 Ma Comei-Bunbury large igneous province: Remnants identified in present-day southeastern Tibet and southwestern Australia [J]. Geology, 2009, 37(7): 583-586.
- [23] 莫宣学, 赵志丹, 邓晋福, 等. 印度-亚洲大陆主碰撞过程的火山作用响应[J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 135-148.
- [24] 许志琴, 杨经绥, 李海兵, 等. 印度-亚洲碰撞大地构造[J]. 地质学报, 2011, 85(1): 1-33.
- [25] Yang Xiongying, Zhang Jinjiang, Qi Guowei, et al. Structure and deformation around the Gyirong basin, northern Himalaya, and onset of the south Tibetan detachment system [J]. Science in China Series D: Earth Sciences, 2009, 52(8): 1046-1058.
- [26] 张进江, 郭磊, 丁林. 申扎-定结正断层体系中、南段构造特征及其与藏南拆离系关系[J]. 科学通报, 2002, 47(10): 738-743.
- [27] Li Guangming, Li Yingxu, Zhou Qing, et al. The Sediment-hosted Pb-Zn Polymetallic Deposits in Zhaxikang Ore District, Northern Himalayan Metallogenic Belt, Tibet, China [A]. Jonsson Erik. Mineral deposit research for a high-tech world [C]. Uppsala, Sweden: Proceedings of the 12th Biennial SGA Meeting, 12-15 August 2013. 1439-1442.
- [28] 杨斌. 藏南古堆地区的新生代构造样式[J]. 地质与勘探, 2014, 50(增刊): 1314-1319.
- [29] 夏祥标, 董随亮, 周清, 等. 西藏山南扎西康铅锌矿整装勘查2012年度报[R]. 成都地质调查中心和西藏华钰矿业开发有限公司, 2012. (内部报告)
- [30] Liu Zheng, Zhou Qing, Lai Yang, et al. Petrogenesis of the early Cretaceous lagula bimodal intrusive rocks from the Tethyan Himalaya: implications for the break-up of eastern Gondwana

- [J]. *Lithos*, 2015, 236: 190–202.
- [31] 董磊, 李光明, 李应棚, 等. 藏南马扎拉矿区英安岩年代学与地球化学特征及其地质意义[J]. *地质通报*, 2016, 35(8): 1271–1280.
- [32] 吴建阳, 李永灿, 刘洪, 等. 藏南马扎拉金锑矿床电性结构特征与地质解译[J]. *沉积与特提斯地质*, 2016, 36(3): 25–29.
- [33] 杜劲光. 我国最重要的岩金矿床类型[J]. *地质与勘探*, 1988, 9: 20–23.
- [34] 宋明春, 崔书学, 杨之利, 等. 山东焦家金矿带深部找矿的重大突破及其意义[J]. *地质与勘探*, 2008, 44(1): 1–8.
- [35] 郭俊华, 孙彬, 杨福立, 等. 松潘–摩天岭金成矿带控矿特征及找矿标志[J]. *地质与勘探*, 2006, 42(5): 28–33.
- [36] 雷时斌, 齐金忠. 甘肃阳山金矿带地球动力学体制与多因耦合成矿作用[J]. *地质与勘探*, 2007, 43(2): 33–39.
- [37] 孟献真, 王根厚, 王行军, 等. 甘肃阳山金矿构造–流体–金成矿作用关系[J]. *地质与勘探*, 2012, 48(3): 580–591.
- [38] 姜盛洪, 王长明, 赵海, 等. 新城金矿稳定同位素地球化学特征及成矿物质的来源[J]. *地质与勘探*, 2015, 51(1): 68–78.
- [39] 仲文斌, 张均, 程元路, 等. 安徽省上成金矿床构造控矿规律与成矿预测[J]. *地质与勘探*, 2014, 50(4): 649–658.
- [40] 和钟铎, 周立宏. 内蒙古白乃庙金矿断裂构造控矿研究[J]. *地质与勘探*, 2001, 37(2): 28–31.

Geology and exploration potential of the Mazhala gold deposit, Cuomei, Xizang: An approach

LI Ying-xu¹, LI Guang-ming¹, DONG Lei¹, ZHANG Lin-kui¹, WU Jian-yang¹, ZHOU Bang-guo¹, XIA Xiang-biao¹, DAI Zuo-wen^{1, 2}

(1. *Chengdu Center, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China*; 2. *Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan, China*)

Abstract: The Mazhala gold deposit as an earliest discovered gold deposit in the Zhaxikang mining district is located on the southern margin of the Lungzi thrust in the southern part of Tethyan Himalaya, north of the south Tibetan detachment fault system. A geological mapping within the extent of 30 km² is currently carried out in the Mazhala gold deposit and its adjacent area in this study. The stratigraphic system in the mining district is redefined, and widespread magmatic rocks has newly been recognized. The fault framework is reshaped, and the deformation stages in the mining district are preliminarily determined. According to the regional geological characteristics and recent findings in the geological survey, and geophysical and geochemical anomalies, a new model for ore-controlling structures is tentatively constructed. Further exploration of this gold deposit should be focused on the EW-trending faults and their secondary fractures within the overthrust system. These faults are ramps and backthrusts. They are extruded in the early stages and extended in the later periods. The emphasis should be placed on the structural alteration type gold deposit in these structures. The results in this study may have important significance for the deployment and arrangement in the future exploration of the Mazhala gold deposit.

Key words: Mazhala gold deposit; ore-controlling structure; exploration potential