

文章编号:0258-7106(2005)01-0001-14

西藏改则地区金成矿作用*

李胜荣¹,肖润^{1,2},周肃¹,莫宣学¹,申俊峰¹,闫柏琨¹,刘波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 西藏国土资源厅,西藏拉萨 850000)

摘要 西藏改则地区属班公湖-怒江板块缝合带西段,该区岩金的找矿和理论研究十分薄弱,找矿方向不明确。文章从金的成矿背景、成矿特征和成矿年代学研究入手,探讨了该缝合带演化过程中金的成矿作用,试图为该地区金找矿方向的确立提供依据。研究表明,该区金矿主要分布在羌塘板块南缘铁格山一带的侏罗系雁石坪群和缝合带内木嘎岗日地体达查一带的侏罗系木嘎岗日群浅变质火山-沉积建造中。大地构造及地球化学研究反映出雁石坪群和木嘎岗日群是大陆裂谷-边缘海环境中形成的亚稳定的复理石沉积,其形成伴随有较大规模的蛇绿岩和基性火山喷发,同时有较明显的海底热水活动,地层中集中了较丰富的 Au、Cu 等幔源物质而成为 Au 的初始矿源层。早白垩世晚期,在冈底斯地块和羌塘地块碰撞拼贴过程中,富含 Au、Cu 等幔源组分的 I 型中酸性岩浆上侵,并加热下渗的海水,使之与岩浆混合成为汲取初始矿源层、蛇绿岩和中酸性岩浆岩中 Au 的有效介质,进而携带 Au 在各种岩石裂隙中运移沉淀,形成蚀变岩-石英脉过渡型金矿体。在晚白垩世海盆关闭且发生差异隆升造山过程中,原有矿床的顶部被剥蚀,并以砂矿的形式开始了金矿的再生。

关键词 地球化学;金矿;年代学;含矿建造;成矿模式;西藏

中图分类号:P618.51

文献标识码:A

改则地区处于青藏高原的中部,属班公湖-怒江板块缝合带西段,是阿尔卑斯-喜马拉雅成矿带的重要组成部分。该区现已发现各类金矿点(床)10 余处。其中的岩金矿成因类型为热液蚀变岩型和石英脉型;砂金矿类型有冲洪积型、残坡积型和冰水堆积型。

班公湖-怒江板块缝合带西段的岩金找矿工作是近年才开始的(杜光树等,1993),其理论研究十分薄弱,找矿方向不明确,严重制约了区域找矿的效果。鉴于此,本文根据近年对该缝合带西段改则地区金的成矿背景、成矿特征和成矿年代学的研究,探讨该缝合带演化过程中金的成矿作用,以期为该地区金矿进一步的理论研究和找矿提供引玉之砖。

1 改则地区金的成矿背景

班公湖-怒江西段以班公湖-康托-兹格塘错断裂和日土-改则-洞错断裂为界,由北而南划分为羌塘板块色哇陆缘拗陷区、缝合带西段木嘎岗日地体和念

青唐古拉板片班戈-倾多拉退化弧区(周祥,1989)。三个构造区和金矿化的展布范围如图 1 所示。

色哇陆缘拗陷区和木嘎岗日地体的地层分属羌南地层区之多玛分区和木嘎岗日分区,班戈-倾多拉退化弧区的地层属冈底斯-念青唐古拉地层区之班戈分区(西藏自治区地质矿产局,1994)。金矿集中区以多玛分区和木嘎岗日分区地层为主,班戈分区地层仅见于其南部边缘(图 2)。

多玛分区出露地层为:第四系砂砾层;新近系康托组河湖相紫红色砾岩夹砂岩;古近系日贡拉组火山碎屑岩;白垩系阿布山组河湖相紫色砂砾岩、美日切错组紫红色火山岩;侏罗系雁石坪群浅海相碳酸盐岩夹碎屑岩(包括其底部的基性火山熔岩和火山碎屑岩);三叠系日干配错群海相碳酸盐岩夹碎屑岩及上石炭统-下二叠统吞龙共巴组、龙格组并层碳酸盐岩。金矿集中区大面积出露的地层主要为康托组、雁石坪群和日干配错群,而所有已知热液金矿床均赋存于雁石坪群中。

* 国家自然科学基金(40073012)、国家重点基础研究发展规划(G1998040800)、中国地质调查局地质大调查(20001020223023,200313000068-02)、西藏地质矿产厅(2000-2002)资助项目

第一作者简介 李胜荣,男,1956 年生,博士,教授,博士生导师,主要从事成因与找矿矿物学及环境与生命矿物学研究。E-mail:lshr@cugb.edu.cn

收稿日期 2003-12-01;改回日期 2004-10-10。

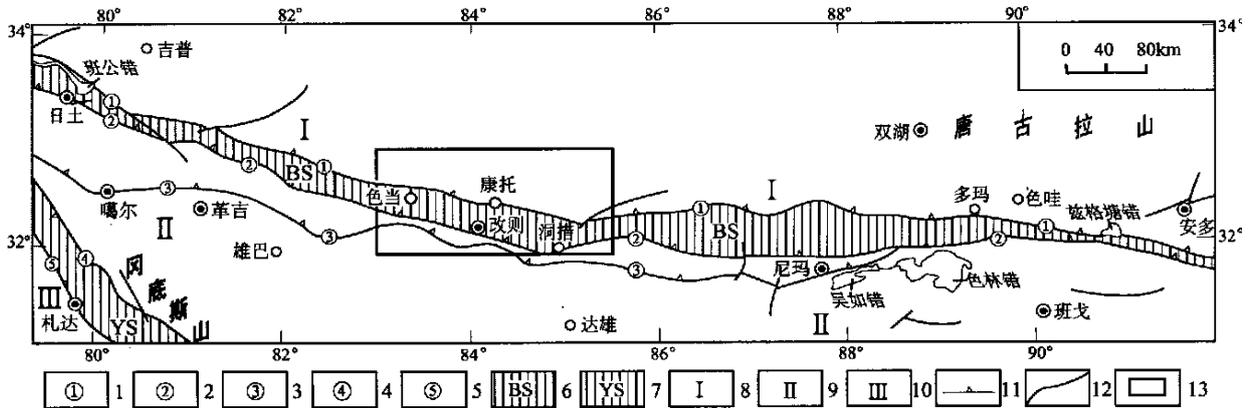


图1 改则金矿化集中区构造位置图

- 1—班公湖-康托-兹格塘错断裂;2—日土-改则-洞错断裂;3—噶尔-古昌-吴如错断裂;4—达机翁-朗县断裂;5—扎达-拉孜断裂;
6—班公湖-怒江缝合带;7—雅鲁藏布江缝合带;8—羌塘-三江复合板片;9—冈底斯-念青唐古拉板片;10—喜马拉雅板片;
11—逆推断层;12—断层;13—金矿化集中区

Fig.1 Tectonic location of the Gaize gold concentration area

- 1—Bangongcuo-Kangtuo-Zigetangcuo fault; 2—Ritu-Gaize-Dongcuo fault; 3—Ge'er-Guchang-Wurucuo fault; 4—Dajiwong-Langxian fault;
5—Zhada-Lazi fault; 6—Bangongcuo-Nujiang suture zone; 7—Yalu-Zangbo suture zone; 8—Qiangtang-Sanjiang complex plate chip;
9—Gangdise-Nianqingtanggula plate chip; 10—Himalaya plate chip; 11—Thrust; 12—Fault; 13—Gold mineralization concentration area

木嘎岗日分区出露地层为:第四系砂砾层;古近系牛堡组河流相紫红色含砾砂岩,局部夹凝灰岩;白垩系笔柱山组河流相紫色砂砾岩和中基性火山岩;侏罗系多尼组海陆交互相含煤岩系和火山岩及木嘎岗日群浅变质灰黑色泥砂质岩(经笔者初步研究,其中第二、三岩组含硫化物纹层为热水沉积物)、碳酸盐岩夹基性火山岩组成的复理石沉积。其中木嘎岗日群分布最广,也是热液金矿床的赋矿地层。

班戈分区出露地层为:古近系丁青湖组深湖相灰色泥岩及页岩夹粉砂岩、牛堡组含砾砂岩;白垩系郎山组碳酸盐岩、多尼组含煤岩系;侏罗系沙木罗组海相砂板岩夹碳酸盐岩、拉贡塘组灰色页岩夹砂砾岩及火山岩;二叠系下拉组浅海相碳酸盐岩;石炭系-下二叠统永珠组、昂杰组并层灰绿色页岩、砂岩夹灰岩;石炭系永珠组海相灰绿色页岩、粉砂岩。

班公湖-怒江西段岩浆活动频繁,从超基性、基性到中酸性、酸性岩体均有所出露,但一般规模较小(图2)。在班公湖-怒江缝合带内,以大小不等的构造块体产出的由变质橄榄岩和橄长辉长岩组成的堆晶岩、辉长岩和辉绿岩墙群、枕状熔岩和含放射虫硅质岩构成海洋型蛇绿岩(李秋生等,1996;游再平,1997),洞错岩体群为其典型代表(邱瑞照等,2002)。

带内侏罗系至白垩系地层中的中酸性火山碎屑岩属大陆边缘-岛弧钙碱性系列,而呈岩株及小岩基产出的早白垩世中酸性花岗岩类主要为I型,是特提斯海盆收缩封闭时期的产物。班公湖-怒江西段晚白垩世的碰撞汇聚作用在羌南地层区导致偏碱性火山活动和S型花岗岩浆侵入,其规模不大。

2 热液金矿化特征

班公湖-怒江缝合带西段的热液金矿化主要见于尼玛县西部的达查金矿区和改则县西北部的铁格山金矿区,前者在大地构造上属缝合带内,后者属缝合带北侧的色哇陆缘拗陷区(图2)。

2.1 矿床地质特征

2.1.1 达查金矿区

在达查金矿区,由西向东现有屋素拉、罗布日俄么和曲翁嘎日东拉等3个矿段,有具工业价值的金矿体9个,矿体长度多在300~400m,宽度多在2~4m,延深大于50~100m。赋矿地层为木嘎岗日群第二、三岩组浅变质碎屑岩。矿体受近EW向屋素拉-曲翁嘎日东拉左行走滑-逆冲断裂带控制,主要以脉状和透镜状产于中性-中酸性侵入岩(安山玢岩、花岗闪长岩、闪长玢岩)岩枝的内、外接触带。矿石以

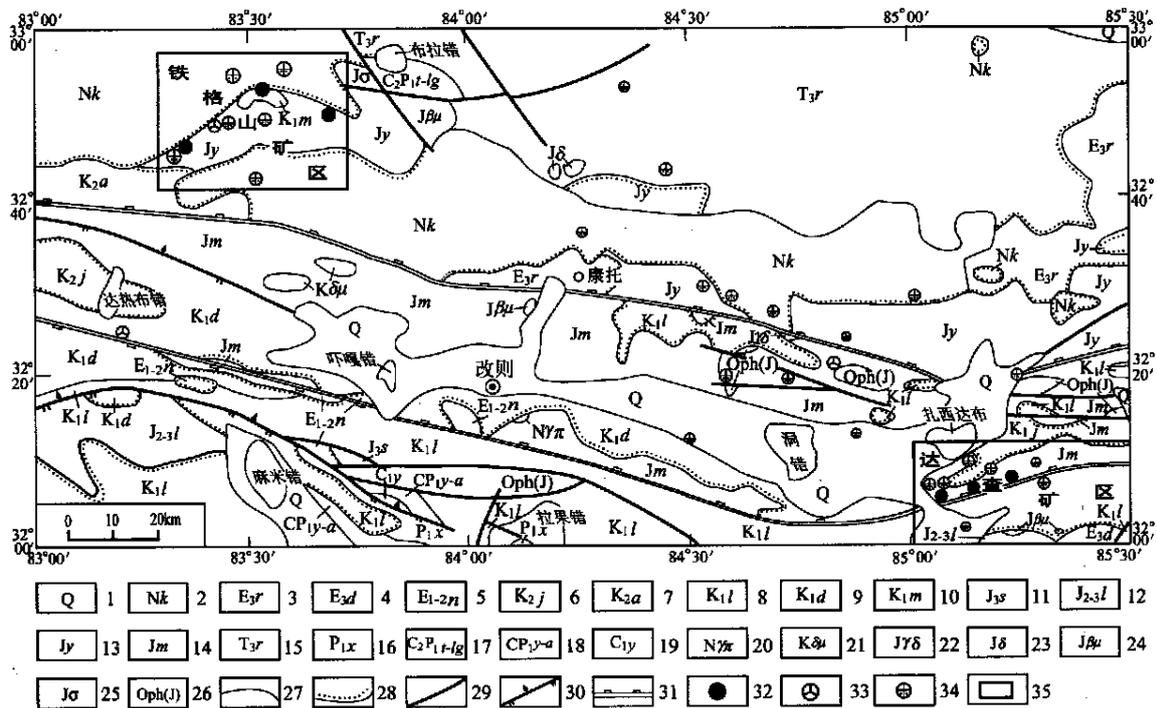


图 2 改则金矿化集中区地质矿产图

1—第四系;2—新近系康托组;3~5—古近系(3—日贡拉组,4—丁青湖组,5—牛堡组);6~10—白垩系(6—竟柱山组,7—阿布山组,8—郎山组,9—多尼组,10—美日切错组);11~14—侏罗系(11—沙木罗组,12—拉贡塘组,13—雁石坪群,14—木嘎岗日群);15—三叠系日干配错群;16—二叠系下拉组;17~18—石炭系-二叠系未分(17—吞龙共巴组与龙格组并层,18—永珠组与昂杰组并层);19—石炭系永珠组;20—新近纪花岗斑岩;21—白垩纪闪长玢岩;22~25—侏罗纪岩浆岩(22—花岗闪长岩,23—闪长岩,24—辉绿岩,25—超基性岩);26—蛇绿岩及生成时代;27—地质界线;28—角度不整合界线;29—性质不明断层;30—逆冲断层;31—班公湖-康托-兹格塘错断裂(北)和日土-改则-尼玛断裂(南);32—岩金矿;33—铜矿;34—砂金矿;35—铁格山矿区和达查矿区

Fig. 2 Geology and mineral resources in Gaize gold concentration area

1—Quaternary; 2—Neogene Kangtuo Formation; 3~5—Paleogene(3—Rigongla Formation, 4—Dingqinghu Formation, 5—Niubao Formation); 6~10—Cretaceous(6—Jingzhushan Formation, 7—Abushan Formation, 8—Langshan Formation, 9—Duoni Formation, 10—Meiriqiecuo Formation); 11~14—Jurassic(11—Shamuluo Formation, 12—Lagongtang Formation, 13—Yanshiping Group, 14—Mugangangri Group); 15—Triassic Riganpeicuo Group; 16—Permian Xiala Formation; 17~18—Carboniferous-Permian[17—Tunlonggongba Formation and Longge Formation (undivided), 18—Yongzhu Formatin and Angjie (undivided)]; 19—Carboniferous Yongzhu Formation; 20—Neogene granite porphyry; 21—Cretaceous dioritic porphyrite; 22~25—Jurassic(22—Granodiorite, 23—Diorite, 24—Diabase, 25—Ultrabasic rocks); 26—Ophiolite and its formation age; 27—Geological boundary; 28—Angular unconformity; 29—Indeterminate fault; 30—Thrust; 31—Bangongcuo-Kangtuo-Zigetangcuo fault (N) and Rituo-Gaize-Ni ma fault (S); 32—Rock gold deposit; 33—Copper deposit; 34—Gold placer; 35—Tiegeshan and Dacha mines

贫硫化物为特征,矿化类型以蚀变绢云板岩和蚀变闪长玢岩型为主,石英脉型为辅;矿石 Au 品位为 $1.84 \times 10^{-6} \sim 10.95 \times 10^{-6}$,各矿体平均为 3.8×10^{-6} ,品位变化系数小。围岩蚀变以黄铁绢英岩化、碳酸盐化和硅化为主,绿泥石化、高岭石化次之,矿化中心为硅化和黄铁矿化,向外依次为绢英岩化、碳酸盐化、绿泥石化和高岭石化。

该矿区的蚀变岩型和石英脉型热液蚀变矿化期有以下 5 个阶段:绿泥石化(I-1)阶段,黄铁绢英岩化(I-2)阶段,硅化-石英脉充填(II)阶段,石英黄铁矿脉充填(III)阶段,碳酸盐脉充填(IV)阶段。第 II、III 阶段为主成矿阶段。

热液金矿床的矿石矿物成分相对较为简单,热液期形成的矿物除自然金外,主要有黄铁矿、石英、

● 西藏自治区地质矿产局,1994. 西藏自治区区域矿产总结.

绢云母、重晶石、方解石,次要矿物有赤铁矿、磁铁矿、白钨矿、方铅矿、辉铋矿、黄铜矿、闪锌矿、铁白云石、绿泥石,还有少量绿帘石、电气石和金红石。金属矿物的含量一般在5%以下。表生期形成的矿物有褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿等。自然金多呈不规则中-细粒状、片状、树枝状赋存在石英的裂隙、孔洞内及颗粒间,或存在于褐铁矿、黄铁矿、磁铁矿的裂隙中或晶粒间,有的被硫化物所包裹。

2.1.2 铁格山金矿区

在铁格山金矿区,共发现尔尔勤金矿点、色那金铜矿点和多不杂铜矿点等3个矿点,目前只进行了少量地表工程揭露,初步圈定金矿(化)体10个,铜矿(化)体9个。矿体呈脉状,金矿体最大长度320 m,最大厚度3.75 m,最大推深110 m;铜矿体最大长度>240 m,最大厚度26 m,最大推深120 m。矿石的金品位多在 $2 \times 10^{-6} \sim 3 \times 10^{-6}$ 之间,铜品位多在1%~1.5%之间。所有矿体均赋存于中侏罗统雁石坪群滨海相(火山)碎屑岩沉积建造中。与达查金矿区不同的是,尽管本区也发育英安玢岩、闪长玢岩和花岗闪长玢岩等小岩体,但所见矿石类型却主要是矿化碎屑岩型,仅在色那金(铜)矿点探槽中揭露出黄铁绢英岩化闪长玢岩岩体。成矿热液蚀变矿化矿物组合主要有石英、铁白云石、铁方解石、绢云母、绿泥石、绿帘石和硫化物及自然金。由东而西硫化物由以磁黄铁矿为主渐变为以黄铁矿、黄铜矿为主。表生金属矿物主要为褐铁矿、孔雀石、蓝铜矿。自然金呈不规则微细粒状、微细鳞片状,赋存于硫化物、石英和碳酸盐矿物内部、裂隙或颗粒边缘。根据矿石原岩特征和矿石矿物组合,可划分为含金硫化物变石英砂岩型和含金硫化物变泥砂质板岩型2种矿石自然类型。矿床类型应为破碎带蚀变岩型。值得注意的是,该区的碳酸盐化十分发育,且主要为铁碳酸盐化。这与区内广泛分布有多种类型的基性和中性岩浆岩有关,成矿热液很可能汲取了岩浆岩中丰富的Ca和Fe质。根据热液脉体的相互交切关系,该区的成矿阶段可概略划分为:早期石英脉形成阶段,中期硫化物阶段,晚期碳酸盐阶段。

2.2 矿床地球化学特征

稀土元素 样品测试工作由国家地质实验测试中心的谭元媛、李冰、陈晓青完成(2001年)。首先称取1.0 g矿物样品,用 Na_2O_2 熔矿,经水提取沉淀分离,HCl溶解沉淀,用强酸1号树脂将基体与稀土元素分离,洗脱液定容于10 ml体积,用ICP-MS检测

稀土元素。测试结果如表1所示。

24件样品的稀土元素特征值见表2。由表2可知,虽然在达查金矿成矿过程中亲石的稀土元素在石英和黄铁矿之间的分配明显不同,但它们作为一个元素族在两种矿物中并未发生明显的差异分馏作用。铁格山金矿稀土元素分布有如下特征:雁石坪群砂质板岩与闪长岩相似,总体呈现中等 ΣREE 和 LREE/HREE ;矿石中的黄铁矿、黄铜矿与方解石相似,具较小 ΣREE 和较大 LREE/HREE ;磁黄铁矿和石英的 ΣREE 较大,其他参数差异明显,其中石英与砂质板岩、闪长岩、黄铁矿、黄铜矿及方解石相似,而磁黄铁矿的 LREE/HREE 明显偏小,同时显示较明显的正铈异常和负铈异常。

微量元素 样品由国家地质实验测试中心的谭元媛、李冰、陈晓青测试(2001年)。首先称取0.05 g样品,置于压力封闭罐内用 HNO_3 、HF分解,温度 180°C ,定容40 ml体积,用ICP-MS检测Sc, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Pb, Zn, Ga, Rb, Sr, Th, U, Ba, Zr, Hf, Nb, Ta。称取0.25 g样品,用王水溶样,定容于25 ml体积中,用AFS-230原子荧光光度计检测Bi。结果如表3所示。

达查金矿矿石中黄铁矿(3件样品)的亲铁元素Co, Ni, Ti, Mn, Cr, V和主要亲铜元素Cu, Pb, Zn明显富集,除Cr, V含量近于 10×10^{-6} 外,其他元素达 $118 \times 10^{-6} \sim 1917 \times 10^{-6}$;亲石元素除Zr, Ba达 $32 \times 10^{-6} \sim 58 \times 10^{-6}$ 外, Sr, Rb, Hf, Nb, Ta, Th, U均低于 8.8×10^{-6} 。石英(4件样品)中的富集元素为Cr, Ba, Ni, Zn, Ti, Pb, Cu, Mn, 含量为 $6.5 \times 10^{-6} \sim 17.13 \times 10^{-6}$,其他元素多小于 1×10^{-6} 。总体上看,不同矿物中幔源元素略偏高而壳源元素稍显偏低的分布趋势是一致的。从微量元素的比值(表4)来看,达查金矿的石英、黄铁矿与中酸性岩类(花岗闪长岩、英安玢岩)及木嘎岗日群板岩的各项参数基本相同,与胶东典型的成金岩体也相同,指示了成矿物质与中酸性岩类和木嘎岗日群的亲缘关系。铁格山金矿矿石中矿物的微量元素分析显示,黄铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿明显富集Cu, Co, Ni, Mn, Ti, Zn, Ba($>30 \times 10^{-6}$), Rb, Sr为 $2 \times 10^{-6} \sim 11 \times 10^{-6}$,而其他亲石元素多在 0.2×10^{-6} 以下。方解石和石英中Ni, Mn, Ti, Sr, Cu, Zn一般大于 30×10^{-6} ,其他亲石元素也在 0.2×10^{-6} 以下。尽管不同矿物中各元素在含量上有明显差异,但它们对亲铁和亲铜元素的富集远高于亲石元素。表4还显示,矿石、闪长岩和

表 1 铁格山、达查金矿区矿物与岩石稀土元素分析结果 ($w_B/10^{-6}$)
Table 1 Analyses of rare earth elements in minerals and rocks of Tiegeshan and Dacha gold mines ($w_B/10^{-6}$)

样品号	样品名称	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y
铁格山																
11d	磁黄铁矿	464	626	100	541	146	64	193	38	236	56	157	24	163	32	1700
11e	方解石	1.64	2.44	0.23	0.86	0.18	0.063	0.21	0.027	0.14	0.03	0.089	0.015	0.1	0.022	0.84
11Q	石英	617	1600	108	387	76	26	83	12	56	9	23	3	21	4	213
11-12	砂板岩	8	13.03	1.92	6.56	1.13	0.39	1.56	0.25	1.02	0.2	0.69	0.12	0.95	0.2	5.31
12-5	黄铁矿	3.87	5.55	0.61	2.01	0.34	0.067	0.37	0.046	0.2	0.03	0.081	0.011	0.069	0.013	0.77
12-8	黄铜矿	3.730	5.470	0.660	2.190	0.380	0.073	0.350	0.046	0.230	0.043	0.100	0.017	0.110	0.019	1.140
12-11	砂板岩	26.78	49.21	5.36	22.46	4.09	1.34	5.67	0.75	4.36	0.89	2.18	0.3	1.91	0.31	26.6
12-13	砂板岩	37.25	73.65	7.52	31.3	5.79	1.51	6.56	0.91	5.26	1.09	2.9	0.45	3	0.48	26.52
12-15	闪长岩	23.27	45.92	4.43	19.44	3.79	1.21	3.96	0.52	3.51	0.74	2.1	0.32	2.22	0.37	17.93
达查																
18-1	石英	851	1300	129	507	96	29	100	15	62	9	20	3	16	4	203
18-11a	黑色砂板岩	33.94	67.66	6.87	27.23	4.86	1.16	5.52	0.72	3.85	0.81	2.27	0.33	2.34	0.41	19.93
18-11b	黄铁矿	7.9	12.9	1.47	5.56	1.26	0.24	1.24	0.19	1.09	0.22	0.53	0.08	0.47	0.078	5.49
18-12a	闪长岩	26.66	51.18	5.22	20.02	3.67	1.14	3.93	0.47	2.63	0.51	1.38	0.21	1.4	0.24	12.91
18-12b	闪长岩	29.25	54.44	5.46	24.56	3.79	1.28	3.56	0.54	2.93	0.58	1.56	0.23	1.54	0.25	14.29
18-13	黄铁矿	7.07	9.13	1.2	4.4	0.73	0.2	0.7	0.092	0.46	0.076	0.18	0.025	0.15	0.027	1.7
18-14	砂板岩	34.45	70.66	6.61	28.04	4.89	1.27	5.09	0.72	4.16	0.86	2.46	0.36	2.43	0.41	21.26
18-19Q	石英	650	1200	115	423	76	27	87	13	61	10	22	3	15	3	225
18-20a	黄铁矿	6.78	11.91	1.25	4.3	0.61	0.11	0.53	0.066	0.38	0.072	0.17	0.026	0.15	0.026	1.76
18-20b	砂板岩	30.69	61.86	6.13	25.32	4.4	1.12	4.93	0.63	3.49	0.7	2.07	0.3	2.1	0.34	17.64
19-2	英安玢岩	29.51	59.98	6.12	26.48	5.19	1.2	5.67	0.88	4.77	0.98	2.76	0.42	3	0.51	24.47
19-5a	黄色石英	334	527	54	228	42	13	42	6	34	5	11	2	10	2	109
19-7	石英	997	6000	147	544	94	33	167	13	63	9	19	3	18	5	210
19-9a	黄色石英	255	212	31	121	21	13	20	3	19	3	9	2	13	3	102
19-9b	石英	1100	8000	131	440	69	16	68	8	37	6	18	3	16	3	160

表2 达查、铁格山金矿区矿物与岩石稀土元素特征参数

Table 2 Characteristic REE parameters of minerals and rocks in Dacha and Tiegeshan gold mines

产地及样品名称	$\Sigma \text{REE}/10^{-6}$	LREE/HREE	δEu	$(\text{La}/\text{Yb})_n$	$(\text{La}/\text{Sm})_n$	$\text{La}/10^{-6}$	$\text{Ce}/10^{-6}$
达查							
矿石石英(6)	827~10075	3.75~30.58	0.71~1.02	13.22~46.35	5.00~10.03	255~1100	212~8000
矿石黄铁矿(3)	26.14~38.72	4.12~8.85	0.59~0.86	11.33~31.78	3.94~6.99	7.07~33.94	9.13~67.66
砂质板岩(3)	161.72~183.67	3.87~4.02	0.68~0.78	9.56~9.85	4.39~4.43	30.69~34.45	61.86~70.66
中酸性岩(3)	131.57~1419	2.96~5.42	0.68~1.07	6.63~22.52	3.58~5.00	26.66~334	51.18~527
铁格山							
砂质板岩(3)	41.33~204.19	2.54~3.33	0.75~0.90	5.68~9.45	4.05~4.45	8~37.25	13.03~73.65
闪长岩(1)	129.73	3.10	0.95	7.07	3.86	23.27	45.92
矿石磁黄铁矿(1)	4540	0.75	1.17	1.92	2.00	464	626
矿石黄铁矿(1)	14.04	8.83	0.58	37.81	7.16	3.87	5.55
矿石黄铜矿(1)	14.56	7.08	0.61	22.86	6.17	3.73	5.47
矿石石英(1)	3238	6.64	1.00	19.81	5.11	617	1600
矿石方解石(1)	6.89	4.67	0.99	11.06	5.73	1.64	2.44
胶东花岗岩	13.95~480.55	5.61~15.88	0.82~0.95	26.38~108.15	2.67~21.29	2.77~119.4	6.79~219.8

胶东花岗岩据陈光远等(1993)、李胜荣等(1996)综合。括号内数字为样品数。

雁石坪群砂板岩中诸微量元素的比值都基本相似,说明其成矿作用与沉积作用和岩浆作用均有一定的继承性。

硫同位素 该区的硫同位素分析由中国地质科学院矿产资源研究所陶华、李延河完成(2001年)。用 MAT 230 C 质谱计对达查金矿区木嘎岗日群碳质板岩、黄铁绢英岩和石英黄铁矿脉中的3件黄铁矿样品进行了 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 测定(总精度为 $\pm 0.2\%$),其结果分别为 1.1% 、 1.6% 和 1.6% 。铁格山金矿区8件黄铁矿、黄铜矿和磁黄铁矿样品的 $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ 范围为 0.9% ~ 2.1% ,平均 1.5% ,极差 1.2% 。由于这两个矿区的硫化物主要为黄铁矿,其同位素组成近似于成矿热液总硫的组成,与陨石硫或深源岩浆硫接近,故由此判断碳质板岩中的纹层状黄铁矿的硫及矿床中的硫均来自深源岩浆,且未经复杂的表生循环。

氧同位素 该区的氧同位素分析由中国地质科学院矿产资源研究所陶华、李延河完成(2001年)。采用 BrF_5 法和 MAT 251 EM 质谱计,对达查和铁格山金矿石中12件石英样品进行了氧同位素测定,其结果:热液石英的 $\delta\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 范围为 14.2% ~ 19.0% ,流体水的 $\delta\text{D}_{\text{V-SMOW}}$ 范围为 -126% ~ -98% (分析精度 $\pm 0.2\%$)。利用分馏方程 $1000\text{Ln } \alpha_{\text{石英-水}} = 3.38 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ (Clayton et al., 1972) 计算出的流体水的 $\delta\text{O}_{\text{V-SMOW}}$ 范围为 2.00% ~ 8.84% 。据 Sheppard(1977, 转自郑永飞等, 2000) 的成因图解,成矿流体主要为受到大气降水或海水强烈改造

的岩浆热液。

硅同位素 该区的硅同位素分析由中国地质科学院矿产资源研究所陶华、李延河完成(2001年)。采用 SiF_4 法和 MAT 251 EM 质谱计对达查金矿10件矿石中石英样品的硅同位素进行了分析,其 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ 值范围为 -0.7% ~ -0.1% ,极差为 0.6% ,8个数据集中在 -0.5% ~ -0.6% 之间。铁格山金矿2件石英样品的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ 值分别为 -0.6% 和 -0.2% ,与达查金矿区矿石中石英的 $\delta^{30}\text{Si}_{\text{NBS-28}}$ 值变化范围一致(分析精度 $\pm 0.1\%$)。据丁悌平等(1994)、郑永飞等(2000)和 Douthitt(1982)的资料,结合两矿区矿石中石英的性质特点和硅同位素变化范围及其集中区来判断,该地区与成矿密切相关的硅质可能来自于基性或中基性岩浆岩,应是造山带演化过程中海底地壳物质对成矿作用作出贡献的标志。

铅同位素 该区的铅同位素测定由中国地质科学院地质研究所张巧大、杨淳完成(2001年)。根据样品特征,选用不同的酸溶液溶解样品(用 $\text{HNO}_3 + \text{HF}$ 溶液溶解全岩,用 HNO_3 、 HCl 溶液溶解硫化物)。通过阴离子交换树脂提取 Pb, 蒸干各质谱测试。以磷酸提取已蒸干的样品,用单铋带,硅胶做发射剂点样进行质谱测试。质谱测定使用热离子质谱计 MAT 262,将其置于法拉多接收状态。测样过程中,用 NBS 981 标准来校准仪器并随时监测。样品测定条件与 NBS 981 标准相同,每组数据由10次扫描构成,在经过离子流强度对时间校正后进行计算,

表 3 铁格山、达查金矿区矿物与岩石微量元素分析结果 ($w_B/10^{-6}$)
Table 3 Analyses of trace elements of minerals and rocks in Tiegeshan and Dacha gold mines ($w_B/10^{-6}$)

样品号	样品名称	Co	Ni	V	Cr	Sc	Ti	Mn	Ga	Sr	Pb	Bi	Ba	Zr	Hf	Nb	Ta	Cu	Zn	Rb	Th	U
铁格山																						
11-d	磁黄铁矿	1300.0	1700.0	15.0	2.0	0.5	59.0	786.0	0.9	11.0	8.9	2.5	30.0	4.7	0.1	0.2	0.1	400.0	45.0	2.0	0.1	0.1
11e	方解石	1.9	11.0	2.9	2.0	0.5	17.0	1130.0	0.3	130.0	2.2	0.3	26.0	0.1	0.1	0.1	0.1	6.0	15.0	1.4	0.1	0.1
11Q	石英	0.7	10.0	0.5	14.0	0.5	9.1	8.1	0.1	1.4	0.1	0.1	10.0	1.8	0.1	0.1	0.1	17.0	5.0	0.1	0.4	0.1
11-12	砂板岩	2.3	8.0	60.0	84.0	5.1	3400.0	73.0	8.9	83.0	19.0	1.3	410.0	254.0	7.3	9.5	0.9	72.0	72.0	71.0	8.0	1.6
12-5	黄铁矿	600.0	540.0	1.7	2.0	0.5	71.0	629.0	0.6	2.3	6.8	11.0	65.0	0.1	0.1	0.3	0.1	3950.0	31.0	2.8	0.4	0.5
12-8	黄铜矿	328.0	194.0	4.1	2.0	0.5	134.0	436.0	0.8	4.0	8.3	5.3	64.0	3.2	0.2	0.8	0.1	2530000.0	180.0	5.1	0.9	0.6
12-11	砂板岩	65.0	72.0	77.0	69.0	8.2	3100.0	2500.0	12.0	36.0	9.0	0.1	220.0	173.0	5.2	11.0	0.9	1787.0	118.0	138.0	6.7	1.4
12-13	砂板岩	13.0	65.0	191.0	115.0	18.0	5700.0	653.0	22.0	136.0	53.0	0.1	1300.0	176.0	5.5	20.0	1.9	165.0	109.0	305.0	18.0	2.9
12-15	闪长岩	6.0	5.0	152.0	2.0	11.0	3200.0	483.0	13.0	453.0	4.5	0.2	1400.0	72.0	2.3	6.5	0.6	304.0	41.0	111.0	6.7	1.7
达查																						
18-1	石英	0.8	11.0	1.2	56.0	0.5	4.1	12.0	0.1	1.8	2.9	0.1	1.6	1.2	0.1	0.1	0.1	3.2	3.0	0.1	0.1	0.1
18-11a	黑色砂板岩	126.0	875.0	4.5	2.0	0.5	1020.0	608.0	0.8	5.3	174.0	3.0	34.0	42.0	1.2	4.9	0.3	142.0	268.0	3.5	2.7	0.7
18-11b	黄铁矿	27.0	123.0	188.0	160.0	16.0	4700.0	1100.0	22.0	269.0	59.0	0.7	424.0	135.0	4.3	16.0	1.4	45.0	142.0	201.0	15.0	2.5
18-12a	闪长岩	13.0	15.0	136.0	20.0	11.0	4200.0	900.0	17.0	448.0	16.0	0.9	427.0	104.0	3.6	12.0	1.3	23.0	69.0	119.0	19.0	1.5
18-12b	闪长岩	13.0	14.0	141.0	15.0	12.0	4300.0	929.0	17.0	426.0	11.0	0.1	429.0	106.0	3.7	12.0	1.3	24.0	77.0	120.0	18.0	1.3
18-13	黄铁矿	144.0	333.0	21.0	6.0	0.5	3720.0	627.0	0.8	8.6	60.0	0.5	31.0	85.0	2.2	16.0	0.8	464.0	129.0	3.1	2.0	0.6
18-14	砂板岩	17.0	75.0	172.0	147.0	15.0	4600.0	958.0	19.0	84.0	17.0	0.4	350.0	135.0	4.1	15.0	1.4	37.0	143.0	170.0	14.0	3.3
18-19Q	石英	0.5	12.0	0.5	21.0	0.5	3.1	3.3	0.1	5.5	4.1	0.1	1.7	1.3	0.1	0.1	0.1	2.7	3.0	0.1	0.1	0.1
18-20a	黄铁矿	98.0	540.0	3.9	24.0	0.5	1010.0	55.0	0.6	4.1	121.0	4.9	30.0	46.0	1.2	5.4	0.4	229.0	152.0	2.0	3.0	0.6
18-20b	砂板岩	24.0	94.0	161.0	141.0	15.0	4300.0	1200.0	18.0	225.0	71.0	0.5	353.0	121.0	3.8	14.0	1.3	32.0	129.0	169.0	13.0	2.2
19-2	英安玢岩	6.8	30.0	67.0	2.0	7.2	5200.0	267.0	20.0	38.0	20.0	0.1	209.0	235.0	6.3	30.0	2.3	23.0	65.0	115.0	9.2	1.9
19-5a	黄色石英	1.1	10.0	1.3	2.0	0.5	13.0	9.1	0.1	3.7	2.1	0.1	30.0	1.3	0.1	0.1	0.1	10.0	20.0	1.9	0.1	0.1
19-7	石英	0.8	9.3	0.5	2.0	0.5	8.9	3.0	0.1	2.4	6.7	1.0	2.1	1.4	0.1	0.1	0.1	6.8	4.0	0.1	0.1	0.2
19-9a	黄色石英	1.4	4.0	0.5	2.0	0.5	14.0	4.2	0.1	3.2	12.0	0.1	35.0	0.8	0.1	0.1	0.1	16.0	24.0	1.3	0.1	0.1
19-9b	石英	0.7	16.0	0.5	25.0	0.5	12.0	7.4	0.1	4.2	2.2	0.1	27.0	0.7	0.1	0.1	0.1	9.4	18.0	0.8	0.3	0.1

表4 达查、铁格山金矿区矿物与岩石微量元素比值

Table 4 Trace element ratios of minerals and rocks in Dacha and Tiegeshan gold mines

产地及样品名称	Ba/Sr	Rb/Sr	Zr/Hf	Nb/Ta	U/Th	Ta/Hf	Th/Zr	Co/Ni
达查								
矿石中矿物(9)	4.9	0.32	20.7	1.6	2.5	0.8	0.10	0.13
板岩(3)	1.5	0.60	34.3	12.0	0.5	0.3	0.04	0.16
闪长岩(4)	1.8	0.34	32.47	11.0	0.1	0.4	0.02	0.56
铁格山								
矿石中矿物(5)	1.31	0.08	16.3	3.0	0.93	0.83	0.15	0.91
砂板岩(3)	7.56	6.05	33.5	3.65	0.18	0.62	0.16	0.55
闪长岩(1)	10.79	0.25	31.3	10.83	0.25	0.26	0.09	1.2
胶东花岗岩	1.7~4.5	0.05~0.13	36.4~49.6	9.7~41.4	0.1~3.9	0.1~0.3	0.02~0.06	0.37~0.40
含金花岗岩	2.2	0.43	42.9	9.7~41.4	2.4	0.21	0.04	0.37~0.40

胶东及含金花岗岩据陈光远等(1993)、李胜荣等(1996)综合。括号内数字为样品数。

表5 铁格山、达查金矿区矿物与岩石铅同位素分析结果

Table 5 Analyses of lead isotopes of minerals and rocks in Tiegeshan and Dacha gold mines

产地及样品号	样品种类	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$
铁格山				
11-d	磁黄铁矿	18.5400 ± 22	15.5838 ± 17	38.6229 ± 42
11-e	磁黄铁矿	18.5043 ± 20	15.5716 ± 17	38.5641 ± 42
11-12	砂板岩	17.9407 ± 20	15.5030 ± 18	38.6544 ± 48
12-5	黄铜矿	18.6186 ± 15	15.5678 ± 12	38.6349 ± 30
12-8	黄铁矿	18.7429 ± 41	15.7256 ± 33	38.980 ± 9
12-11	砂板岩	18.2793 ± 33	15.5217 ± 27	38.686 ± 7
12-13	砂板岩	18.5578 ± 31	15.5796 ± 26	38.7274 ± 66
12-15	闪长岩	19.3905 ± 52	15.6586 ± 43	39.356 ± 11
达查				
18-11a	黑色砂板岩	18.7333 ± 34	15.6727 ± 35	38.933 ± 10
18-11b	黄铁矿	18.5580 ± 34	15.5690 ± 28	38.608 ± 7
18-12c	斜长石	18.6127 ± 19	15.5503 ± 18	38.5714 ± 46
18-12a	闪长玢岩	18.9570 ± 17	15.5883 ± 16	39.1422 ± 39
18-13	黄铁矿	18.5890 ± 13	15.5081 ± 12	38.4659 ± 30
18-14	砂板岩	18.7369 ± 14	15.6190 ± 11	38.9242 ± 28
18-20a	黄铁矿	18.5877 ± 10	15.5770 ± 7	38.6529 ± 18
18-20b	砂板岩	18.6520 ± 16	15.6340 ± 14	38.8868 ± 36
19-2	英安玢岩	18.5378 ± 16	15.5308 ± 13	38.5460 ± 31
19-4a	石英	18.3205 ± 24	15.5709 ± 20	38.4670 ± 51
19-9a	石英	18.7003 ± 33	15.6645 ± 29	38.8432 ± 69
19-11b	黑色砂板岩	18.9435 ± 26	15.6217 ± 22	39.1514 ± 55

同位素分馏优于1‰, NBS 981 分析精度为0.1‰。测试结果如表5所示,其中误差均为2σ。

达查金矿区闪长玢岩和英安玢岩、木嘎岗日群碳质和砂质板岩及矿体中石英和黄铁矿等12件样品的铅同位素组成范围为: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 18.3205 ~ 18.9570, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.5081 ~ 15.6727, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 38.4659 ~ 39.1514(肖润等,2002)。铁格山金矿区砂板岩、闪长岩和矿石中黄铁矿、磁黄铁矿和黄铜矿等8件样品的铅同位素组成较达查矿区变化稍

大: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 17.9407 ~ 19.3905, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 15.5030 ~ 15.7256, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 38.5641 ~ 39.3560。数据表明,两矿区的矿石铅、岩浆岩铅和地层铅均为正常铅,且组成相当一致,这一方面反映了地层中的铅可能大部分来自于深部,即可能主要是借助热水喷流过程进入地层,另一方面,热水的喷流作用与岩浆活动有密切联系,是岩浆在地壳深部的活动导致了热水的活动,成矿过程与热水喷流及岩浆活动在时间演化上和物质组成上有密切的继承关系。地层

铅、岩浆岩铅和矿石铅在 Doe 和 Zartman(1979) 的构造模式图上主要落在造山带线左近稍偏向地幔线一侧,这也表明 3 种铅均是造山过程中下地壳或上地幔物质大量上涌的产物。

流体包裹体 该区的流体包裹体测试由中国地质科学院矿产资源研究所陶恭益、陈伟十完成(2001 年)。气相成分用日本 RG 202 四级质谱仪分析。经群体包裹体热爆释放并收集气体进行测定。仪器精度优于 5%。液体成分用国产苏晖 9442 型原子吸收光谱仪和美国 DIONEX 公司产 2120I 型离子色谱仪测定。样品经洗净、研磨或热爆水浸取。浸取液利用 AAS、HPIC 法测定阴、阳离子。温度用法国产 CHAIXMECA 显微冷热台测定,可测范围 -180 ~ +600 °C,测试精度 ±0.1 °C。

石英中的流体包裹体一般呈椭圆状、弯管状,少数呈负晶形。据 14 件样品的分析,达查金矿包裹体的气相百分数多在 5% ~ 10%,类型较多样,主要为 2 相气液包裹体,常温下也可见 2 相 CO₂ 包裹体和极少量 3 相 CO₂ 包裹体。流体属盐度较低 [$w(\text{NaCl}_{\text{eq}}) = 3.97\% \sim 9.30\%$](的 CO₂-NaCl-H₂O 体系,海水所占比例较高,主成矿阶段的流体以富 CO₂ 为特征。成矿早期所形成的石英中流体包裹体的均一温度为 374 ~ 115 °C,主成矿期石英中流体包裹体的均一温度为 256 ~ 123 °C。两个阶段的石英中流体包裹体均一温度的范围都较大,可能与较晚期流体的叠加有关。估计成矿早期流体包裹体的均一温度约为 350 °C,中期约为 250 °C,晚期约为 120 °C。这样的温度在金矿中属中偏高的温度,与中国侵入岩内外接触带型金矿的成矿流体均一温度 180 ~ 300 °C(高振敏等,1994)相似,也与河南祁雨沟与岩浆流体密切相关的以隐爆角砾岩型为主的金矿床系列中的石英脉型(中期 280 °C)和蚀变岩型(145 ~ 375 °C)矿床的形成温度(李胜荣,1995)相似,略高于胶东乳山金青顶与岩浆热液有关的石英脉型金矿的流体均一温度(李胜荣等,1996)。铁格山金矿区石英中的流体属 CO₂-NaCl-H₂O 体系,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为 9.40% ~ 45.34%,密度为 0.835 ~ 0.976 g/cm³,均一温度为 161 ~ 299 °C。与达查矿区相比,铁格山金矿成矿流体的盐度普遍较高,其成矿过程相对单一,岩浆活动是成矿的主控因素。

2.3 成矿年代

将分选获得的 40 ~ 60 目矿物样品在丙酮和蒸馏水中用超声波清洗后,以 150 °C 烘烤 6 ~ 8 h 备用。

样品的钾含量由国家地质实验测试中心测定(酸溶法,SHI AAS9442 原子吸收光谱仪测定,分析精度 RSD < 3%),氩同位素比值由周肃在石油勘探开发研究院实验中心的 MM 5400 静态真空质谱计上采用同位素稀释法测定(³⁸Ar 稀释剂纯度 99.99%,黑云母 ZBH-25-133.2 Ma 标样)。

对达查金矿弱蚀变闪长玢岩中的角闪石、斜长石和钾长石,铬绢云母化闪长玢岩中的钾长石,绢英岩化闪长玢岩中的绢云母,浸染状黄铁矿化花岗闪长玢岩中的斜长石,共 6 个单矿物样品进行了 K-Ar 同位素年龄测定。结果如下。

弱蚀变闪长玢岩中角闪石和斜长石的形成年龄最老,分别为(104.88 ± 2.39) Ma 和(103.17 ± 1.53) Ma,钾长石为(98.86 ± 1.47) Ma。

铬绢英母化闪长玢岩中的钾长石,其 K、Ar 同位素组成在蚀变过程中部分发生了分馏,用此种钾长石测得的年龄与蚀变阶段形成的铬绢云母的年龄相近,它们分别(96.54 ± 1.39) Ma 和(97.51 ± 1.41) Ma。

浸染状黄铁矿化花岗闪长玢岩中斜长石的测定结果也反映了矿化作用对岩浆成因矿物斜长石 K、Ar 同位素的分馏作用,其年龄值(93.86 ± 2.11) Ma 所代表的正是矿化开始阶段(与黄铁绢英岩化相当)的年龄。

从该矿区弱蚀变闪长玢岩的成岩作用,到成矿热液早期活动导致铬绢英母化,再到成矿物质开始沉淀而出现浸染状黄铁矿化,所得年龄值的系统变化,反映出该区内酸性侵入岩与主成矿作用在时间和空间上均有明显的依存关系。而主要的金成矿作用发生在晚白垩世早期。

铁格山金矿似斑状花岗闪长岩的年龄为(123.3 ± 1.8) Ma,绢英岩化闪长玢岩全岩的 K-Ar 同位素年龄为(119.25 ± 1.73) Ma。结合达查金矿闪长玢岩中原生矿物受热液蚀变后同位素组成发生分馏而所得年龄值为热液活动的年龄可知,该矿区成矿早期(黄铁)绢英岩化的年龄为(119.25 ± 1.73) Ma,为早白垩世晚期,稍早于达查矿区的成矿年龄。

3 含矿建造对成矿的贡献

3.1 含矿地层对成矿的贡献

如前所述,班公湖-怒江缝合带西段的主要含金地层为早-中侏罗世木嘎岗日群和雁石坪群。达查

矿区木嘎岗日群 ΣREE 较高, LREE/HREE 中等, 负 Eu 异常较为明显, 与 Nance 和 Taylor(1976;1977) 及 McLennan 和 Taylor(1991) 等人总结的后太古宙沉积岩的稀土元素组成相似; 但相对于反映稀土元素整体变化趋势的 $(\text{La}/\text{Yb})_n$ 值而言, 反映轻稀土元素变化趋势的 $(\text{La}/\text{Sm})_n$ 值明显偏小, 说明轻稀土元素段变化较缓, 而重稀土元素段变化较快; 又与于炳松等(1998) 总结的扬子地块盆地演化拉张裂陷期沉积的寒武系、泥盆系和上二叠统 3 个层位泥质岩的稀土元素特征相似。同时, 砂质板岩中 La 的含量远低于 Ce 的含量, 其特征颇类似于安第斯型活动大陆边缘沉积。此外, 木嘎岗日群第二、三岩组中存在富硫化物纹层黑色板岩, 其产状与华南、西北下寒武统热水成因含贵金属黑色页岩^①(李胜荣等, 1995; 2000; 于炳松等, 2002; Yu et al., 2004) 相似, 其黄铁矿的硫同位素具陨硫特征, 微量元素 Ni 达 875×10^{-6} , Mn 为 608×10^{-6} , Zn, Pb, Cu, Co 为 $126 \times 10^{-6} \sim 268 \times 10^{-6}$, 还含有火山喷发物。根据西藏区调队岩石化探剖面和水系沉积物测量结果^②, 达查矿区侏罗系木嘎岗日群的 Au 浓集系数(14.32)、变异系数(463.25)和标准离差(66.36)远高于白垩系地层的相应数值(分别 < 4.33 , < 98.35 , < 4.26); 木嘎岗日群的 Au 平均含量为达查金矿区背景值的 13.64 倍, 高值点 46 个, 呈对数正态分布; Au, Ag, As, Sb 正异常区主要沿木嘎岗日群第二、三岩组呈带状分布, 而异常高值区又与屋素拉-曲翁嘎日东拉断裂紧密相随。

铁格山矿区雁石坪群最主要的含矿岩性为变(长石)石英砂岩和砂质板岩。与木嘎岗日群砂质板岩相比较, 雁石坪群 ΣREE 变化较大, 也有 $(\text{La}/\text{Sm})_n$ 小而 $(\text{La}/\text{Yb})_n$ 大的特点, 微量元素除亲石的 Rb(质量分数, 下同)达 554×10^{-6} , Ba 为 255×10^{-6} , Zr, Hf, Nb, Ta 为 $16 \times 10^{-6} \sim 47 \times 10^{-6}$ 外, 亲铁元素均在 6×10^{-6} 以下; 虽然也含火山沉积物, 但未发现热水活动遗迹。西藏自治区地质勘查局第五地质大队(2000, 未刊资料)对 147 件无矿化变(长石)石英砂岩样品的分析表明, 其中所含的 Au 和 Cu 与地壳丰度相近, Ag, Pb, Mo, Bi 稍有富集(富集系数约为 2), 而 Zn, Hg 则出现亏损, As, Sb 的富集系数则分别达 29 和 12; 41 件黄铁矿化变(长石)石英砂

岩样品的 Au, Cu 富集系数达 10~16, 其他元素则有一定程度的亏损, 矿化岩石未能反映原岩的元素组合配分特征。

以上特征表明, 木嘎岗日群和雁石坪群均是在拉张裂陷环境下形成的, 因而, 其岩石组合中均含有一定量的火山碎屑岩及少量火山熔岩, 前者还含有海底热水喷流产物。火山和海底热水活动是沿着拉张应力作用下形成的近 EW 向主干深切断裂进行的, 因此, 有可能携带地壳深部的亲铁和亲铜元素(Au, Cu)上侵并参与海底沉积作用, 从而在地层中相对富集此类元素。木嘎岗日群内 Au 等成矿元素富集且具较大变异, 不但与该群同时具备火山和热水两种聚矿要素有关, 而且, 也不能忽略海盆关闭过程中低-中级变质作用所造成的元素转移和后期构造热液活动对矿质的叠加, 上述因素综合造就了木嘎岗日群作为初始矿源层的属性。对雁石坪群而言, 由于缺少热水沉积这种重要的聚矿要素, 它对成矿元素的富集便不明显。此外, 木嘎岗日群与达查矿体的稀土元素和微量元素特征参数及铅同位素的差值不大, 且小于雁石坪群与铁格山矿体相应参数的差值; 从矿化元素的组合来看, 木嘎岗日群较雁石坪群更能反映矿石的特征。

综上所述, 早-中侏罗世木嘎岗日群和雁石坪群均是班公湖-怒江边缘海形成初期拉张裂陷环境下的产物, 均伴随有火山喷发, 但木嘎岗日群(特别是其第二、三岩性段)于沉积期还出现热水喷流活动, 为晚白垩世早期提供成矿物质的潜力较大, 而雁石坪群因不具热水沉积属性, 故提供成矿物质的可能性较小, 充其量也只能成为一个不甚重要的矿源层。

3.2 含矿岩浆岩对成矿的贡献

金矿集中区的岩浆活动未形成大规模的岩浆岩, 但其表现形式却较为多样, 有构成沉积建造一部分的中酸性火山岩, 也有呈岩枝、岩墙和岩脉侵位于侏罗系地层中的中酸性小侵入体。有关的岩石类型主要有: 石英粗安岩、英安玢岩、(石英)闪长玢岩、花岗闪长岩和二长花岗岩。其中, (石英)闪长玢岩和花岗闪长岩与金矿化关系最为密切。经对角闪石、斜长石和钾长石等矿物及全岩进行 K-Ar 同位素年龄测定, 达查矿区闪长玢岩的形成年龄为 $(104.88 \pm 2.39) \text{ Ma} \sim (103.17 \pm 1.53) \text{ Ma}$, 铁格山矿区闪长玢

① 李胜荣. 1994. 湘黔地区下寒武统黑色岩系金银铂族元素地球化学研究. 中国科学院地球化学研究所博士后论文.
② 付少英, 杜欣, 刘晓钦, 等. 1999. 西藏自治区尼玛县屋素拉-热嘎巴一带金矿地质报告.

岩的形成年龄为(119.52 ± 1.73) Ma,似斑状花岗闪长岩的年龄为(123.3 ± 1.8) Ma,均为早白垩世晚期。

根据矿物学、岩石学、稀土元素和微量元素地球化学研究,金矿集中区内的中酸性侵入岩(以闪长岩为主)为亚碱性系列中的钙碱性系列,分异程度和氧化率中等;其稀土元素特征值(表 1)与胶东和豫西两大金矿省的花岗岩类(徐克勤等,1992;陈光远等,1993;李胜荣,1994;李胜荣等,1996)十分相似,三者的稀土元素分布模式总体特征均为右倾近平滑曲线,Eu 异常不明显,而细部特征则以本区与胶东最为接近。岩石学构造环境判别和区域构造演化历史(赵政璋等,2001)显示,金矿集中区的中酸性岩浆岩形成于海盆关闭之前,属 I 型火山弧花岗岩类,其源区具有壳幔混合性质,是有利于成金的侵入岩。同位素研究也表明矿石与岩浆岩有类似的铅源,成矿流体中岩浆热液占有相当大的比重。

应用达查和铁格山两个矿区各 3 种地质体(即地层、岩浆岩、矿体)的 25 件样品的综合数据作图(图 3、4),从中可以看出,两个矿区内各地质体在稀土元素和微量元素分布特征上不仅表现出高度的自相似,也表现出两个矿区间高度的互相似。看来,矿石中的主要成矿物质与中酸性岩浆岩及木嘎岗日群甚至雁石坪群有双重继承关系。按照沉积作用、岩浆活动和成矿作用的时间坐标,含矿地层的沉积作用发生于早-中侏罗世,岩浆活动稍早于成矿作用,主要发生在早白垩世晚期。毫无疑问,中酸性岩浆岩是多种与成矿有关的物质最终集中成矿的主要中介。

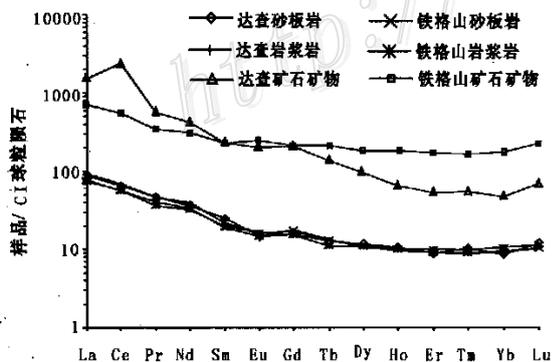


图 3 达查、铁格山金矿区矿物与岩石的稀土元素分布模式

Fig.3 Chondrite-normalized REE patterns of minerals and rocks in Dacha and Tiegeshan gold mines

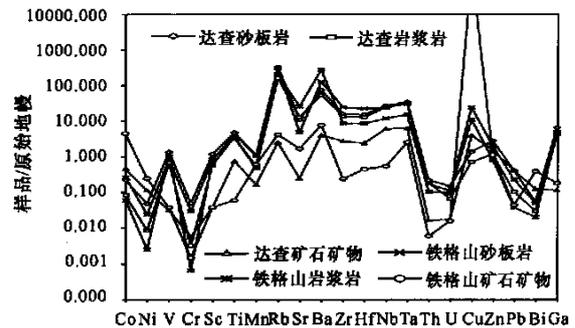


图 4 达查、铁格山金矿区矿物与岩石的微量元素分布模式

Fig.4 Chondrite-normalized trace element patterns of minerals and rocks in Dacha and Tiegeshan gold mines

4 金成矿的可能模式

根据改则金矿集中区上述各种成矿要素的时空和成因联系,可将该区金成矿的可能模式概括如下。

4.1 班公湖-怒江边缘海扩张阶段(早-中侏罗世)

在早-中侏罗世,班公湖-怒江缝合带的西段发生了以下重要地质事件:①形成近 E-W 向的大陆裂谷并演化为边缘海(赵政璋等,2001),接受以雁石坪群为代表的亚稳定沉积和以木嘎岗日群为代表的复理石沉积;②形成颇具规模的蛇绿岩,如洞错北部岩体群,其中舍拉玛沟层状辉长岩形成于早侏罗世(邱瑞照等,2002);③火山喷发,在雁石坪群底部和木嘎岗日群内发育大量基性火山熔岩和火山碎屑岩;④海底热水活动,木嘎岗日群第二、三岩组中含纹层状硫化物黑色板岩是热水活动的直接标志。

上述诸事件的综合作用在于:在早-中侏罗世近 S-N 向伸展的应力的作用下,羌塘盆地南缘发生强烈的地壳减薄和地幔物质的上涌入侵,形成大陆裂谷-边缘海和以各种超基性-基性侵入岩为特征的边缘海底壳层。在裂谷底部及其后的边缘海盆地中,一方面不断沉积正常陆源碎屑-化学物质,同时伴随有一定规模的中基性-基性海底火山喷发,形成滨海-深海相火山-碎屑岩建造、碳酸岩建造和复理石建造,其中的火山物质多源于下地壳和上地幔,含丰富的 Au、Cu 等成矿物质,为晚白垩世早期的成矿作用构筑了初始矿源层。与边缘海扩张相适应而形成的一系列近 E-W 走向的深切割断裂,开辟了地壳深部与海底进行物质交换的通道,使海水得以通过深循环

作用,汲取大量超基性、基性和中基性岩石中的成矿物质,以热卤水形式逸出海底,改变了海底的物理化学环境,主要是形成高温缺氧环境,使绢云板岩层富含碳质及其他成矿物质,并形成其中的黄铁矿纹层。含矿热卤水叠加于含矿火山岩,加强了相应地层(主要是木嘎岗日群)作为初始矿源层的地位。

4.2 冈底斯地块与羌塘地块碰撞——边缘海消亡阶段(早白垩世晚期—晚白垩世早期)

早白垩世晚期,冈底斯地块和羌塘地块碰撞拼贴(赵政璋等,2001;芮宗瑶等,2003),导致深部物质大规模熔融上侵,形成一系列I型或同熔型中等分异程度的以中酸性为主的岩浆岩。其中,幔源组分占绝对优势(可能达60%~80%),因此,集中了与铁镁质有密切成因联系的Au、Cu等成矿物质。在岩浆演化过程中,下渗的海水被炽热岩浆加温后成为化学活性很高的介质,有效地汲取初始矿源层内的物质,特别是该阶段已冷侵位于侏罗系中的蛇绿岩的物质,并与携带有岩浆中成矿物质且逐渐在晚期集中的岩浆热液相混合,再向初步固结的岩浆岩及其围岩的裂隙和其他有利构造空间中运移,造成了中酸性岩浆岩和砂质板岩的各种蚀变及其后的脉状矿化,最终形成蚀变岩-石英脉过渡型金矿体。

特别值得注意的是,在铁格山矿区,隐蔽爆破形式的岩浆活动十分活跃,形成一系列爆破角砾岩筒。因此,除形成与达查矿区类似的蚀变岩-石英脉过渡型金矿体外,爆破角砾岩型矿化也应有发育,值得在今后的工作中注意寻找。

4.3 缝合带隆升阶段(晚白垩世以来)

班公湖-怒江缝合带的西段在晚白垩世已进入海盆最终关闭和构造隆升造山过程,多处发育的磨拉石建造是这一阶段的基本特征(赵政璋等,2001)。由所推断的成矿深度平均为2400m来考虑,在后来该缝合带不断发生差异升降的过程中,出现在较浅部的矿石将被外力地质作用所破坏,原有矿床的结构被改造,并以冲洪积型、残坡积型和冰水堆积型等新的形式开始了金矿的再生。此类再生金矿也是西藏目前正在开采的最有工业意义的金矿床。

致谢 在野外工作中,得到西藏地质五队、西藏区调队和河南区调队的大力支持,部分样品的测试由中国地质科学院地质研究所和矿产资源研究所及国家地质实验测试中心承担,谨此表示衷心感谢。

References

- Chen G Y, Sun D S, Zhou X R, et al. 1993. Genetic mineralogy and gold mineralization of Guojialing granodiorite in Jiaodong region [M]. Wuhan: China University of Geosciences Press. 1~230 (in Chinese with English abstract).
- Clayton R N, O'Neil J R and Mayeda T K. 1972. Oxygen isotope exchange between quartz and water [J]. *J. Geophys. Res.*, 77: 3057~3067.
- Ding T P. 1994. Silicon isotope geochemistry [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~102 (in Chinese).
- Doe B R and Zartman R E. 1979. Plumbotectonics [A]. In: Barnes H L (ed.). *The Phanerozoic geochemistry of hydrothermal ore deposits* [C]. New York: John Wiley and Sons Inc. 1~798.
- Douthitt C D. 1982. The geochemistry of the stable isotopes of silicon [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46: 1449~1458.
- Du G S, Feng X L, Chen F Z, et al. 1993. Geology of gold deposits in Tibet [M]. Chengdu: Press of Southwest University of Communications. 1~177 (in Chinese with English abstract).
- Gao Z M, Yi S F, Qi F R, et al. 1994. New advances in the study of gold ore deposits in China (Vol. 1) [M]. Beijing: Seismological Press. 1~426 (in Chinese).
- Li S R. 1994. On the origin of the Mesozoic calc-alkaline granitoids in Luoning-Songxian region of west Henan province [J]. *Geological Review*, 40(6): 489~493 (in Chinese with English abstract).
- Li S R and Gao Z M. 1995. The characteristics of the rare earth elements in the black rock series of the Niutitang Formation in Hunan-Guizhou region, China with a discussion on the rare earth element pattern of marine hydrothermal sediments [J]. *Acta Mineralogica*, 15(2): 225~229 (in Chinese with English abstract).
- Li S R. 1995. On the gold ore deposit series dominated by cryptoplastic breccia type [J]. *Geological Exploration for Nonferrous Metals*, 4(5): 272~277 (in Chinese with English abstract).
- Li Q S and Wang J P. 1996. The geological characteristics of the ophiolite mélangé in Dingqing-Nujiang area of east Tibet [A]. In: Zhang Q, ed. *Research on ophiolite and the earth dynamics* [C]. Beijing: Geol. Pub. House. 195~198 (in Chinese).
- Li S R, Chen G R, Shao W, et al. 1996. Genetic mineralogy of Rushan gold field, Jiaodong, China [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~116 (in Chinese with English abstract).
- Li S R and Gao Z M. 2000. Source tracing of noble metal elements in Lower Cambrian black rock series of Guizhou-Hunan Provinces, China [J]. *Science in China (Series D)*, 43(6): 625~632.
- McLennan S M and Taylor S R. 1991. Sedimentary rocks and crustal evolution: tectonic setting and secular trends [J]. *J. Geology*, (1): 1~21.
- Nance W B and Taylor S R. 1976. Rare earth element patterns and crustal evolution I: Australian post-Archean sedimentary rocks [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 40: 1359~1551.
- Nance W B and Taylor S R. 1977. Rare earth element patterns and crustal evolution II: Archean sedimentary rocks from Kalgoorlie,

- Australia [J]. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 225 ~ 231 .
- Qiu R Z, Xiao R, Zhou S, et al. 2002. Sm-Nd dating and Sr, Nd isotope study of the gabbro in the Semalagou ophiolite of Bangonghu-Nujiang suture zone, northern Tibet [J]. *Geological Review*, 48 (Supp.): 64 ~ 68 (in Chinese with English abstract) .
- Rui Z Y, Hou Z Q, Qu X M, et al. 2003. Metallogenetic epoch of Gangdese porphyry copper belt and Uplift of Qinghai-Tibet plateau [J]. *Mineral Deposits*, 22(3) : 217 ~ 225 (in Chinese with English abstract) .
- Tibetan Bureau of Geology and Mineral Resources. 1994. Tibetan rocks and strata [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 277 (in Chinese) .
- Xiao R, Li S R, Fu L J, et al. 2002. Isotope geochemistry of Dacha gold deposits in Tibet [J]. *Geoscience*, 16(2) : 165 ~ 169 (in Chinese with English abstract) .
- Xu K Q, Lu J J and Ni P. 1992. Lithogeochemistry of granitoid related with gold mineralization [J]. *Journal of Guilin Institute of Metallurgical Geology*, 12(1) : 1 ~ 10 (in Chinese with English abstract) .
- You Z P. 1997. ^{40}Ar - ^{39}Ar dating of the Dingqing ophiolite mélange in Tibet [J]. *Tibetan Geology*, 2:24 ~ 30 (in Chinese with English abstract) .
- Yu B S and Qiu Y Z. 1998. Sedimentary geochemical evolution and mineralization in the Southwest Yangtze Massif [M]. Beijing: Geological Press. 1 ~ 100 (in Chinese with English abstract) .
- Yu B S, Chen J Q, Li X W, et al. 2002. Geochemistry of the basal Cambrian black shale in Tarim basin and its lithospheric evolution significance [J]. *Science in China (Series D)*, 32(5) : 374 ~ 382 .
- Yu B S, Dong H L, Widom E, et al. 2004. Re-Os and Nd isotopes of black shales at the bottom of the Lower Cambrian from the northern Tarim Platform and their comparison with those from the Yangtze Platform [J]. *Science in China (Series D)*, 47(Supp. II) : 97 ~ 103 .
- Zhao Z Z, Li Y T, Ye H F, et al (eds.). 2001. The tectonic characteristics and basin evolution of Qingzang Plateau [M]. Beijing: Science Press. 1 ~ 439 .
- Zheng Y F and Chen J. F. 2000. Geochemistry of stable isotopes [M]. Beijing: Science Press. 1 ~ 350 .
- Zhou X and Cao Y G. . 1989. Tibetan plate tectonics-formation map (1: 1500000) [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1 ~ 32 (in Chinese) .
- 物理学与金矿化 [M]. 武汉:中国地质大学出版社. 1 ~ 230 .
- 丁梯平. 1994. 硅同位素地球化学 [M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 102 .
- 杜光树, 冯孝良, 陈福忠, 等. 1993. 西藏金矿地质 [M]. 成都:西南交通大学出版社. 1 ~ 177 .
- 高振敏, 易善锋, 祁凤茹, 等. 1994. 中国金矿研究新进展 (第一卷上篇) [M]. 北京:地震出版社. 1 ~ 426 .
- 李秋生, 王建平. 1996. 西藏东部丁青-怒江蛇绿混杂岩带的地质特征 [A]. 见: 张旗(主编). 蛇绿岩与地球动力学研究 [C]. 北京:地质出版社. 195 ~ 198 .
- 李胜荣. 1994. 论豫西洛宁-嵩县中生代钙碱性花岗岩类的同源性 [J]. *地质论评*, 40(6) : 489 ~ 493 .
- 李胜荣, 高振敏. 1995. 湘黔地区牛蹄塘组黑色岩系稀土特征——兼论海相热水沉积岩稀土模式 [J]. *矿物学报*, 15(2) : 225 ~ 229 .
- 李胜荣. 1995. 以隐爆角砾岩型为主的金矿床系列模式 [J]. *有色金属矿产与勘查*, 4(5) : 272 ~ 277 .
- 李胜荣, 陈光远, 邵伟, 等. 1996. 胶东乳山金矿田成因矿物学 [M]. 地质出版社. 1 ~ 116 .
- 李胜荣, 高振敏. 2000. 湘黔寒武系底部黑色岩系贵金属元素来源示踪 [J]. *中国科学(D辑)*, 30(2) : 169 ~ 174 .
- 邱瑞照, 肖润, 周肃, 等. 2002. 藏北班公湖-怒江带舍玛拉沟蛇绿岩中辉长岩 Sm-Nd 定年和 Sr、Nd 同位素研究 [J]. *地质论评*, 48(增刊) : 64 ~ 68 .
- 芮宗瑶, 侯增谦, 曲晓明, 等. 2003. 冈底斯斑岩铜矿成矿时代及青藏高原隆升 [J]. *矿床地质*, 22(3) : 217 ~ 225 .
- 肖润, 李胜荣, 傅璐珈, 等. 2002. 西藏尼玛县达查金矿床同位素地球化学研究 [J]. *现代地质*, 16(2) : 165 ~ 169 .
- 西藏自治区地质矿产局. 1994. 西藏自治区岩石地层 [M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 277 .
- 徐克勤, 陆建军, 倪培. 1992. 与金矿床有关花岗岩类的岩石地球化学特征 [J]. *桂林冶金地质学院学报*, 12(1) : 1 ~ 10 .
- 游再平. 1997. 西藏丁青蛇绿混杂岩 ^{40}Ar - ^{39}Ar 年代学 [J]. *西藏地质*, (2) : 24 ~ 30 .
- 于炳松, 裘愉卓. 1998. 扬子地块西南部沉积地球化学演化与成矿作用 [M]. 北京:地震出版社. 1 ~ 100 .
- 于炳松, 陈建强, 李兴武, 等. 2002. 塔里木盆地寒武统底部黑色页岩地球化学及其岩石圈演化意义 [J]. *中国科学(D辑)*, 32(5) : 374 ~ 382 .
- 赵政璋, 李永铁, 叶和飞, 等(主编). 2001. 青藏高原大地构造特征及盆地演化 [M]. 北京:科学出版社. 1 ~ 439 .
- 郑永飞, 陈江峰. 2000. 稳定同位素地球化学 [M]. 北京:科学出版社. 1 ~ 350 .
- 周详, 曹佑功. 1989. 西藏板块构造-建造图(1:1500000)说明书 [M]. 北京:地质出版社. 1 ~ 32 .

附中文参考文献

陈光远, 孙岱生, 周珣若, 等. 1993. 胶东郭家岭花岗岩闪长岩成因矿

Gold mineralization in Gaize area, Tibet

LI Sheng-rong¹, XIAO Run^{1,2}, ZHOU Su¹, MO Xuan-xue¹, SHEN Jun-feng¹, YAN Bai-kun¹ and LIU Bo¹
(1 State Key Laboratory of Geo-Processes and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;
2 Tibetan Bureau of Land and Resources, Lhasa 850000, Tibet, China)

Abstract

Gaize area is located in the western part of Bangongcuo-Nujiang plate suture zone in Tibet, where original gold mineralization was poorly explored and studied and, therefore, the prospecting orientation was not clear. Based on the study of the metallogenic background, characteristics and ages, this paper discusses the model of gold mineralization in Gaize area for the purpose of finding out some clues to gold prospecting. Studies show that gold deposits are mainly distributed in Jurassic Yanshiping Group and Mugagangri Group, both of which are typical epimetamorphic volcano-sedimentary formations. The Yanshiping Group occurs in Tiegeshan area on the southern margin of Qiangtang plate chip, whereas the Mugagangri Group is present in Dacha area and belongs to Mugagangri block within the suture zone. It is clearly known from tectonic and geochemical studies that the Yanshiping Group and Mugagangri Group were Jurassic metastable flysch sedimentary rocks formed in the continental rift valley and marginal sea along the suture zone. The formation of the strata was accompanied by large-scale ophiolite and basic volcanic eruption as well as hydrothermal fluid activities on the ocean floor. These processes concentrated such mantle-derived materials as Au and Cu in the strata and hence the strata became the primary source bed of the gold ore deposits. In the process of collision and amalgamation between the Gangdise block and the Qiangtang block at the late stage of Early Cretaceous, the I-type intermediate-acidic magma rich in mantle-derived components such as Au and Cu moved upward and heated the downward-infiltrated marine water. This caused the marine water to mix with the magmatic water, thus forming the effective media. Such media extracted Au from the primary source bed, ophiolite, basic and intermediate-acidic magmatic rocks and carried Au through various cracks in the rocks to form gold orebodies of transitional type between the altered rock type and the quartz vein type. In Late Cretaceous, the ocean basin came to a closure and the differential orogenic uplift took place. As a result, the top part of the original deposit was eroded, resulting in the rebirth of the gold deposit and the formation of placers.

Key words: geochemistry, gold, chronology, auriferous formation; metallogenic model, Tibet