

文章编号: 1000-6524(2004)02-0158-09

广东省长坑金银矿床硅质岩石成因分析

毛晓冬¹, 刘云华^{1, 2}

(1. 宜昌地质矿产研究所, 湖北 宜昌 443003; 2. 中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 通过对长坑金银矿床中硅质岩石的岩相学、地球化学特征的分析发现, 岩石主要由次生石英(50%~90%)和黄铁矿组成, 含少量重晶石、雄黄、雌黄、伊利石、迪开石等; 岩石具热液交代和交代残余结构, 发育典型构造岩的角砾、碎裂、碎斑、微裂隙及孔洞构造, 无沉积岩结构构造; 硅质岩石(矿石)由成矿过程中蚀变硅化作用形成, 是标准的似碧玉岩。蚀变硅化在金矿化阶段可分为3期, 银矿化阶段为1期; 似碧玉岩 Σ REE低, 尤其是含银似碧玉岩, 含金似碧玉岩轻稀土元素较重稀土元素富集, 含银似碧玉岩中稀土元素富集; 似碧玉岩与典型热水沉积硅质岩40个北美页岩组合样标准化稀土元素分布型式的显著Ce负异常和Eu正异常存在较大差异。认为该矿床内硅质岩石非海水与沉积物界面之间的热水沉积成因或海水沉积作用形成的硅质岩, 而是低温热液交代硅化形成的似碧玉岩。

关键词: 硅质岩石; 似碧玉岩; 热液交代硅化; 金银矿床; 广东

中图分类号: P581; P588.24

文献标识码: A

The genesis of siliceous rocks in the Changkeng gold-silver deposit, Guangdong Province

MAO Xiao_dong¹ and LIU Yun_hua^{1, 2}

(1. Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract: Composed mainly of secondary quartz (50%~90%) and pyrite and minor realgar, orpiment, barite, illite as well as dickite, siliceous rocks are often characterized by typical hydrothermal metasomatic texture and metasomatic relict texture, and typical tectonite structures such as bracciated structure, cataclastic structure, porphyroclastic structure and small fissure and pore structures, with no sedimentary structures and textures. Gold-bearing or silver-bearing siliceous rocks are produced by silicification during mineralization. Under microscope, the silicification consists of 3 stages in the gold-forming period and 1 stage in the silver-forming period. REE compositions of the rocks show that Σ REE is especially low in silver-bearing rocks, LREE is richer than HREE in gold-bearing rocks, and MREE is rich in silver-bearing rocks. Therefore, the NASC normalized distribution curves dip towards right in gold-bearing rocks and upwards in silver-bearing rocks. In addition, the curves show slight negative cerium anomaly and apparent negative europium anomaly or indistinct positive europium anomaly, which differ from the curves of typical hydrothermal sedimentary cherts or sedimentary exhalation cherts with obvious negative cerium anomaly and positive europium anomaly. So the rocks should be typical jasperoid, which, instead of being formed by hydrothermal sedimentation or sedimentary exhalation between seawater and the surface of sediments, is a product of hydrothermal metasomatism.

收稿日期: 2003-09-01; 修订日期: 2003-12-16

基金项目: 中国地质调查局国土资源大调查资助项目(200310200072)

作者简介: 毛晓冬(1962-), 男, 研究员, 博士, 主要从事沉积学、矿床学研究。

Key words: siliceous rock; jasperoid; hydrothermal metasomatic silicification; gold-silver deposit; Guangdong

广东省长坑金银矿床位于广州西南,地跨高要市金利镇和高明市富湾镇,位于华南褶皱系中-新生代三水裂谷盆地之中(图1)。金、银矿床产于同一矿田,共存在同一层间构造破碎蚀变带内,上金下银分别构成独立的金、银矿体。金矿床具有沉积岩围岩金矿的特征。通常,除火山岩型金、银矿床有共生外,沉积岩围岩金矿很难与银矿共生,而长坑金、银矿床分别达到大型和超大型规模,必有其特殊的产出条件。金银矿体与矿床内硅质岩的关系十分密切,前人对该硅质岩和矿床成因提出了诸多看法,对

岩石的命名也不尽相同,有硅质岩、硅化岩、构造角砾岩、构造岩等,为分析矿床成因和建立成矿模式带来了混乱,出现了构造蚀变(杜均恩等,1993)、热水沉积(夏萍等,1996; Zhang Hu *et al.*, 1996)、热(卤)水溶滤(饶家光等,1997)、热泉(孙晓明等,1995)、沉积热卤水改造(孙晓明等,1999)等不同成矿模式,还有学者通过矿床流体包裹体成分研究,提出了成矿流体为沉积盆地热卤水(张文淮,2000)。本文欲通过对含矿硅质岩的岩相学和地球化学研究揭示含矿硅质岩的成因。

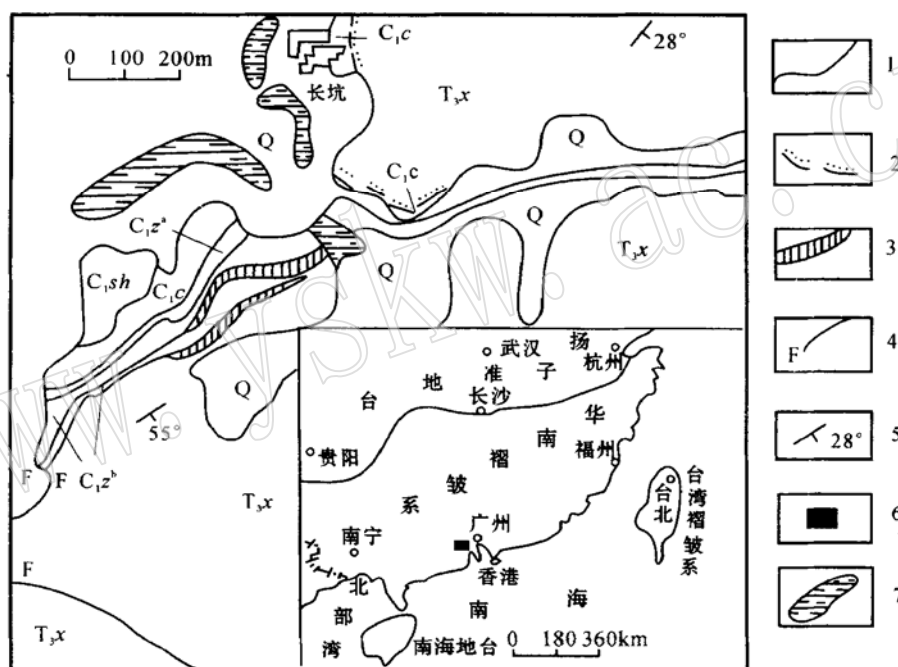


图1 长坑金银矿床矿区地质图[据杜均恩等(1993)修改]

Fig. 1 Geological map of the Changkeng gold-silver deposit (after Du Jun'en *et al.*, 1993)

Q—第四系; T_{3x} —晚三叠世小坪组; C_{1z}^b —早石炭世梓门桥组上段; C_{1z}^a —早石炭世梓门桥组下段; C_{1c} —早石炭

世测水组; C_{1sh} —早石炭世石磴子组; 1—地层界线; 2—不整合界线; 3—氧化矿体; 4—断层; 5—地层产状; 6—矿区位置; 7—水塘

Q—Quaternary; T_{3x} —Late Triassic Xiaoping Formation; C_{1z}^b —upper part of Early Carboniferous Zimenqiao Formation; C_{1z}^a —lower part of Early Carboniferous Zimenqiao Formation; C_{1c} —Early Carboniferous Ceshui Formation; C_{1sh} —Early Carboniferous Sichengzi Formation; 1—stratigraphic boundary; 2—unconformity; 3—oxidized orebody; 4—fault; 5—attitude; 6—location of the mining area; 7—pool

1 矿床基本地质特征

金矿体和银矿体都严格受控于早石炭世梓门桥组(C_{1z})和晚三叠世小坪组(T_{3x})之间的层间构造破碎蚀变带,呈似层状或大透镜状分布,彼此互不重叠、互不包容,具有上金下银的特征。矿体走向北东

东,倾向南南东,中等倾角($30\sim 50^\circ$)。矿体与围岩界线清楚,其间常见数十米厚的糜棱岩带(杜均恩等,1993)。伴随金、银矿化的围岩蚀变以去碳酸盐化、硅化、泥化(形成伊利石、迪开石、少量高岭石)和硫化物化(形成黄铁矿、辉锑矿、雄黄、雌黄、闪锌矿和方铅矿)为主,其次是重晶石化、碳酸盐化和萤石化。金以次显微金(极少量自然金)分布于黄铁矿、

石英微裂隙及其边缘或吸附于伊利石的边缘,三者是最主要的载金矿物。银矿则以含硫盐和单硫化物产出,并见少量的自然银。主要的含银矿物包括深红银矿、硫锑铅银矿、辉锑银矿、银黝铜矿、辉银矿,其次为脆硫锑银矿、淡红银矿、硫锑铜银矿。金、银矿石矿物均具中低温热液矿物组合的特点,金矿石矿物包裹体均一温度平均 128~205℃,银矿石矿物包裹体均一温度平均 150~240℃(毛晓冬等,2003)。

2 硅质岩的岩石学特征

长坑金银矿床中的硅质岩构成了矿床全部原生矿石,包括硅质矿石、钙硅质矿石和铝硅质矿石3种最基本的类型,岩石呈似层状、大透镜状或囊状,从而决定了矿体的形态。在原生金矿石中,81.91%以上为游离金,以次显微金存在,偶见自然金。

硅质岩呈浅灰-深灰色,致密块状,坚硬,主要由次生石英和黄铁矿组成,并有少量重晶石、雄黄、雌黄、伊利石、迪开石。硅质岩与围岩(如角砾状灰岩)接触界线清楚,不具同生沉积作用的结构和构造,而保留大量典型热液交代作用的交代结构、交代残余结构和交代假象结构(图2.1~2.3),普遍发育角砾状构造、碎裂构造、碎斑构造、微裂隙及孔洞构造,具典型构造岩的特征(图2.4~2.5),沿微裂隙和孔洞常充填黄铁矿、雄黄、雌黄、重晶石、辉锑矿、次生粘土矿物及后期的粗粒脉状石英和粗脉方解石(图2.6)。具交代残余结构的硅质岩(钙硅质金矿石)可称作强交代碳酸盐硅质构造角砾岩,主要由交代硅化的次生石英、交代残余方解石及蚀变方解石、黄铁矿组成。

含金硅质岩主要由成矿过程中硅化作用形成,主要矿物是蚀变交代的次生石英,含量一般 50%~90%,是原生金矿石中最主要的脉石矿物。经显微镜下观察,形成含金硅质岩的硅化作用可划分为4期,其中金矿化阶段3期,银矿化阶段1期。

(1) 第1期硅化

成矿流体带入的 SiO_2 沿破碎带交代及胶结沉积岩角砾和碎粒屑而形成霏细状隐粒-微粒状石英。晶粒细小,粒径小于 0.1 mm,一般在 0.01~0.07 mm,呈半自形柱状或他形粒状,甚至呈轮廓不清的玉髓状集合体,并与大量的炭质物相共生。与本期硅化作用相伴的蚀变作用有硫化物化和粘土矿化,形成含金较高的微细粒黄铁矿、伊利石(如样品 CK-

ZK_1、CK_27、CK_28、CK_22、CK_25)。从化学全分析结果看,第1期硅化作用越强,其含金性越好。因此,第1期硅化作用是最重要的金矿化期。

(2) 第2期硅化

经第1期硅化蚀变的构造角砾岩、碎裂岩和其他沉积岩受应力作用被再次破碎,富 SiO_2 的流体再一次充填交代,发生第2期硅化作用。硅化形成的石英沿裂隙、破碎带中的角砾和碎裂间隙充填、交代,呈微脉状、团块状、斑点状,或呈假象交代板条状重晶石,或沿孔洞、裂隙壁垂直生长成为中粒自形梳状石英和自形柱状石英晶簇。第2期石英的突出特征是干净、明亮,粒度较粗(一般为 0.1~0.5 mm 微粒-细粒石英),结晶程度和粒度明显优于第1期硅化石英,而且粒间边界平直或镶嵌,一些石英还具有生长环带。在该期硅化石英集中分布的地方,炭质和黄铁矿分布不均,多沿裂隙壁呈不规则细脉、条带和团块集中分布,或沿晶粒边缘呈显微网状分布。与该期硅化相伴生的黄铁矿粒度稍粗,光泽较强,呈他形粒状集合体或自形-半自形晶体。第2期石英明显交代第1期硅化岩石的角砾,后者在前者中呈各种形态的交代残留体(图2.7)。

(3) 第3期硅化

呈细脉、细网脉状穿插于第1期和第2期硅化形成的各种硅质岩(构造蚀变岩)中,脉体与被切穿的岩石界限分明。这一期硅化形成玉髓状或微粒-细粒-粗粒集合体,没有黄铁矿伴生,应是金矿化阶段最晚期蚀变的无矿化阶段产物。

因此,第1期构造破碎、硅化蚀变作用应当是最主要的金矿化阶段,也是第2期微粒-细粒黄铁矿形成的阶段(热液成因黄铁矿);第2期构造破碎硅化蚀变作用使金进一步富集;而第3期硅化应是金成矿作用最晚期形成无矿石英的阶段。

(4) 第4期硅化

相伴大量闪锌矿及方铅矿形成,是形成银矿的主要蚀变作用,包含粘土化、硫化物化、碳酸盐化和重晶石化(ZK2403_2、ZK2403_3可见重晶石的板条状交代假象结构的石英)及萤石化作用,而其中尤以方铅矿化和闪锌矿化(及少量辉锑矿化)与银矿化关系最密切。该期硅化形成含金硅质岩,叠加于金矿硅化作用之后形成粗大的充填于裂隙之间的粗粒脉状、网脉状自形石英,干净明亮(图2.8),并伴有方解石化形成的自形粗晶-巨晶方解石,粘土矿化、萤石化、方铅矿化和闪锌矿化稍晚并伴随较强黝铜矿化,

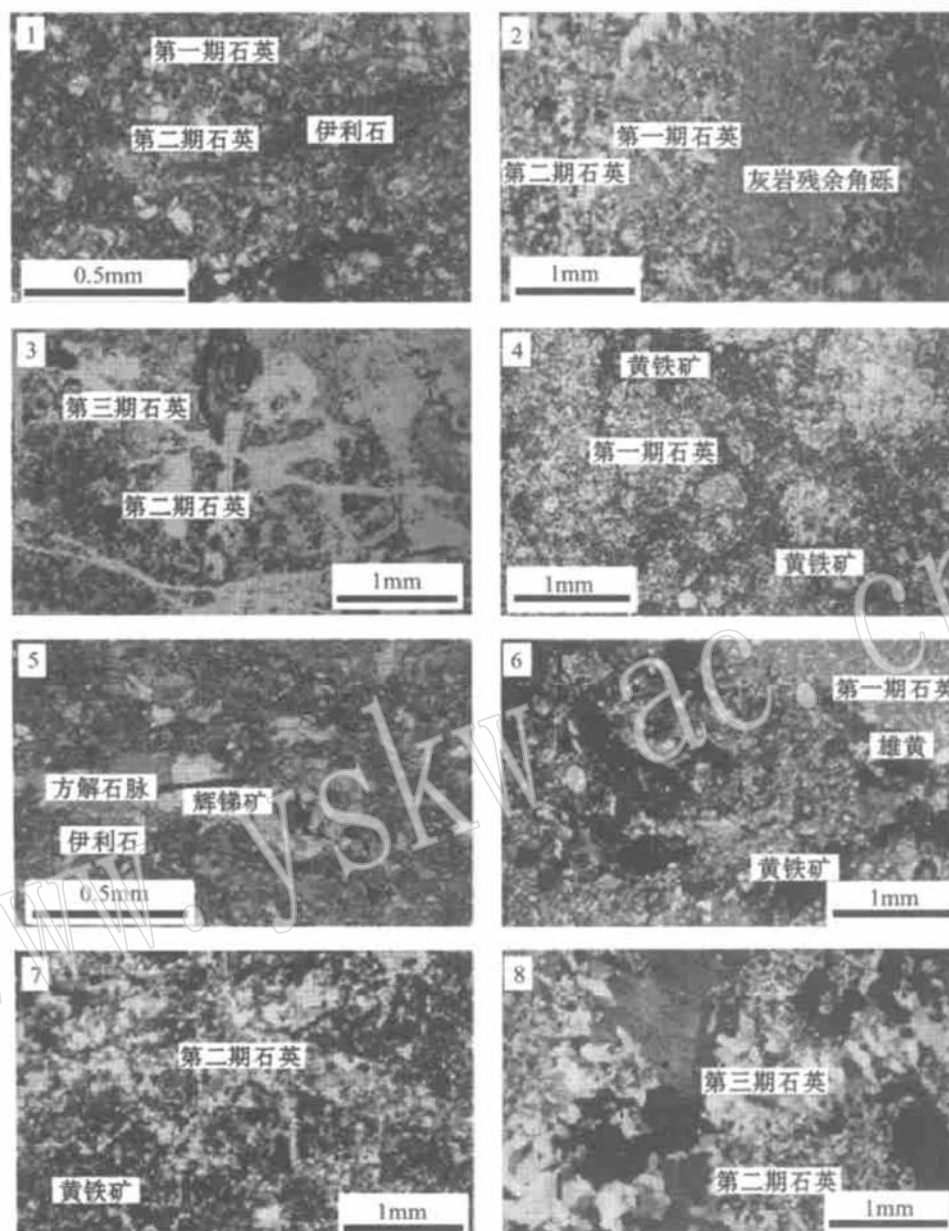


图2 硅质岩石的显微照片

Fig. 2 Microphotos of siliceous rocks

1—交代结构含金似碧玉岩,由第1期交代隐粒-微粒石英和第2期细粒石英组成,蚀变水云母沿裂隙分布,CK_6(+); 2—交代残余结构含银似碧玉岩,灰岩残余角砾被第1、2期交代石英包绕,ZK_1902_3(+); 3—交代假像结构含金似碧玉岩,第2期细粒石英充填交代重晶石,但保留其长柱状晶形,CKZK_1(-); 4—碎裂构造似碧玉岩,微粒-泥粒状黄铁矿沿裂隙充填,CK_28(-); 5—角砾构造似碧玉岩,晚期含辉锑矿方解石脉沿角砾间裂隙充填,CK_8(+); 6—角砾构造似碧玉岩,微粒-细粒黄铁矿呈团块状集合体沿角砾间裂隙分布,白铁矿呈长柱状被雄黄、重晶石、水云母交代,CK_10(+); 7—含金似碧玉岩中第1、2、3期交代石英相互关系,第2期石英交代重晶石保留其假像,CKZK_1(+); 8—含银似碧玉岩中含闪锌矿、黄铁矿、方铅矿(黑色)的石英呈脉状、团块状、不规则状交代早期形成的微粒-半自形柱状石英,ZK_3206_7(+)

1—Au-bearing jasperoid of metasomatic texture, which comprises 1st-stage metasomatic cryptocrystalline and micritic quartz and 2nd-stage fine-grained quartz, and illite formed by alteration along fissures, CK_6(+); 2—Ag-bearing jasperoid with metasomatic relict texture, inside which limestone relict is surrounded by 1st-stage and 2nd-stage quartz, ZK_1902_3(+); 3—Au-bearing jasperoid with metasomatic pseudomorph texture, 2nd-stage fine-grained quartz replacing and filling barite, with the crystal form of barite preserved, CKZK_1(-); 4—Jasperoid of cataclastic structure, in which micritic pyrite fills cracks, CK_28(-); 5—Brecciated structure of jasperoid, in which later stibnite-bearing calcite veins fill fissures between breccias, CK_8(+); 6—Jasperoid of brecciated structure, in which the cryptocrystalline and fine-grained pyrite assembly fills fissures between breccias, and long prismatic iron pyrite is replaced by realgar, barite and illite, CK_10(+); 7—Relationship between 3 stages of quartz in Au-bearing jasperoid, 2nd stage quartz replaces barite but preserves its crystal pseudoform texture, CKZK_1(+); 8—Pyrite, sphalerite or galena-bearing quartz replacing earlier micritic or hypautomorphic prismatic quartz in Ag-bearing jasperoid, ZK_3206_7(+)

说明银矿化阶段硅化蚀变在前 3 期硅化蚀变作用之后。含银硅质岩中所见石英与含金硅质岩中石英有所不同,金矿化阶段形成的石英包括了菲细状隐粒-微细粒(尘点状)石英、细脉状微细粒石英和中粗粒自形晶石英脉,而银矿化阶段交代硅化次生石英主要是乳白色梳状中粗粒石英和充填于粗大石英晶洞中的微细粒石英(0.05~0.32 mm),中粗粒石英呈半自形柱状或他形粒状,无色,干净明亮,粒度在 0.4~5.00 mm,多呈脉状、网脉状或不规则状产出,脉中充填有大量的晶粒较大的硫化物,包括黄铁矿、闪锌矿、方铅矿等,明显穿切了金矿化阶段形成的次生交代石英(菲细状、微细粒及微细粒石英脉)和原岩构造角砾,反映银矿化晚于金矿化,两种石英粒度差异可达数十倍以上。从钻孔观察及室内综合分析含银硅质岩的结构构造可知,含银硫化物主要与石英脉有最直接的关系。

3 岩石化学组成

含金硅质岩 12 个样品的 SiO_2 含量(质量分数,下同)为 49.92%~88.32%,是金矿石中最主要的化

学成分(表 1)。 Al_2O_3 为 2.49%~8.11%, $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$ 为 1.49%~10.97%, CaO 含量可分为 2 个区间,分别为 0.08%~0.48%和 12.06~21.84%,S 含量除两个样品低于 1%以外,普遍在 1.22%~10.38%。 K_2O 的含量普遍较 Na_2O 高出 1 个数量级。岩石 Al_2O_3 含量普遍高于 2%,反映岩石中不同程度残留了原岩(如砂岩、页岩)的成分,同时说明成岩成矿过程中硅化作用形成了少量云母类(如伊利石、绢云母)矿物。硅质岩化学成分表明,原岩包含了高钙质的碳酸盐类和高铝、高钾的碎屑岩类。成矿作用强烈黄铁矿化直接导致 Fe 和 S 含量增加,与矿石光、薄片观察的结果一致。另外,部分样品含大量的蚀变矿物,CK_5 样品含大量重晶石(含 Ba 15.63%),大量雄黄的形成直接导致样品 CK_10 含 As 20.67%,CK_84 含 As 1.27%。

含银硅质岩的 SiO_2 含量普遍在 59.44%~91.86%之间(表 2),比含金硅质岩略高,说明银矿硅化作用比金矿稍强。 CaO 含量 0.10%~22.15%,且 K_2O 明显高于 Na_2O ,与含金硅质岩石相似。 $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$ 含量低于含金硅质岩,与金矿石的黄铁矿、白铁矿含量远远高于银矿石的特点相吻合。含银硅质岩

表 1 含金硅质岩(矿石)成分

$w_B/\%$

Table 1 Chemical composition of Au bearing siliceous rocks

样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	$\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{t})$	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	S	Ba	As
CKZK_1	73.74	0.05	2.49	10.97	0.01	0.10	0.22	0.04	0.59	0.12	7.08	0.006 2	0.221 0
CK_5	61.02	0.07	3.63	1.74	0.01	0.10	0.12	0.04	0.70	0.08	4.78	15.630 0	0.342 0
CK_10	53.46	0.09	2.82	2.81	0.01	0.08	0.12	0.04	0.66	0.07	10.38	0.011 0	20.670 0
CK_22	87.10	0.06	2.77	3.15	0.01	0.07	0.10	0.05	0.62	0.05	1.55	0.630 0	0.083 9
CK_25	76.67	0.05	2.64	6.16	0.01	0.06	0.08	0.04	0.57	0.08	4.17	1.960 0	0.242 6
CK_27	74.88	0.11	3.68	8.25	0.01	0.10	0.08	0.04	0.89	0.10	5.30	0.004 9	0.282 3
CK_28	74.02	0.14	4.81	6.44	0.01	0.11	0.10	0.04	1.19	0.07	4.64	1.160 0	0.219 7
CK_62	66.58	0.09	3.54	2.74	0.05	0.16	12.06	0.03	0.86	0.07	1.59	0.007 4	0.151 1
CK_72	52.47	0.06	2.78	1.65	0.07	0.13	21.84	0.03	0.61	0.06	0.98	0.005 5	0.115 4
CK_73	88.32	0.13	4.75	1.52	0.01	0.70	0.38	0.04	1.12	0.03	0.34	0.019 0	0.858 4
CK_84	49.92	0.21	4.41	9.94	0.08	0.14	13.8	0.07	0.98	0.17	7.69	0.019 0	1.266 9
CK_90	81.28	0.26	8.11	1.49	0.01	0.18	0.48	0.05	1.76	0.04	1.22	0.023 0	0.019 5

注:样品由宜昌地矿所岩矿分析中心采用常规化学方法分析。

表 2 含银硅质岩(矿石)成分

$w_B/\%$

Table 2 Chemical composition of Ag bearing siliceous rocks

样号	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	S	Pb	Zn
ZK2403_4	88.40	0.014	1.15	0.09	1.86	0.01	0.11	0.10	0.04	0.22	0.02	4.01	0.15	7.63
ZK3206_2	91.86	0.015	2.23	0.60	2.48	0.02	0.15	0.11	0.06	0.54	0.03	1.73	0.32	1.39
ZK1001_3	86.02	0.005	1.09	0.23	2.19	0.04	0.09	5.76	0.03	0.25	0.02	0.80	0.10	0.28
ZK4401_2	59.44	0.003	0.62	0.18	1.29	0.12	0.18	22.15	0.04	0.08	0.04	1.61	1.85	1.34

注:样品由宜昌地矿所岩矿分析中心采用常规化学方法分析。

Al_2O_3 含量比含金硅质岩含量略低。含银硅质岩最高 CaO 含量 22.15%, 含金硅质岩最高 21.84%, 二者 Al_2O_3 最高含量分别为 2.23% 和 8.11%, 说明二者的相关性并具有相似的原始组成, 换言之, 银矿和金矿具有相同的围岩。

沉积作用形成的硅质岩, 如广西丹池盆地晚泥盆世榴江组硅质岩(周永章, 1990)和南岭地区泥盆纪硅质岩(毛晓冬等, 1999), 其 SiO_2 含量普遍在 90% 以上, 不可能有这样大的变化范围(50%~90%), 也没有如此高的 CaO 、 Al_2O_3 和 Pb 、 Zn 含量, 具有上述化学组成特征的本区硅质岩应当是热液交代作用的产物。

综上所述, 含金银硅质岩是典型的似碧玉岩(jasperoid), 不是沉积作用或热水沉积作用形成的硅

质岩。似碧玉岩中玉髓或隐晶质石英交代了石灰岩或白云岩中的碳酸盐矿物, 常常成为铅锌交代硫化物矿床的围岩, 如美国密苏里、俄克拉荷马、阿肯色州的一些铅锌硫化物矿床(Bates *et al.*, 1980)。

4 稀土元素组成

含金似碧玉岩稀土元素总量可划分为两个不同的区间(表3)。一个为 $30.34 \times 10^{-6} \sim 90.62 \times 10^{-6}$, 含量较低; 另一个为 $141.63 \times 10^{-6} \sim 183.02 \times 10^{-6}$, 含量相对较高。结合对矿石的宏观及显微观察, 前一区间的矿石主要是具隐粒-微粒结构的似碧玉岩(全硅化构造角砾岩状金矿石), 普遍不含原岩的残留成分(极少量残余); 另一区间的矿石则

表3 金银矿床似碧玉岩(矿石)及围岩稀土元素组成

$w_B/10^{-6}$

Table 3 REE composition of jasperoid and host rock in the Changkeng gold-silver deposit

样品编号	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Y	ΣREE	矿体
CKZK_1	17.10	31.50	3.63	12.5	1.89	0.31	0.7	0.12	0.57	0.11	0.27	0.043	0.26	0.04	2.42	71.46	金 矿 体
CK_5	16.80	38.50	11.20	14.30	2.35	0.34	1.75	0.30	0.80	0.16	0.38	0.06	0.31	0.048	2.05	89.34	
CK_10	13.50	23.00	2.74	9.02	1.37	0.24	0.75	0.13	0.56	0.11	0.33	0.05	0.30	0.047	2.43	54.58	
CK_22	10.60	20.60	2.76	7.31	1.28	0.20	0.88	0.14	0.48	0.10	0.26	0.04	0.24	0.037	2.05	46.97	
CK_25	13.50	27.70	3.99	8.91	1.45	0.23	0.87	0.15	0.53	0.11	0.24	0.04	0.22	0.034	2.41	60.38	
CK_27	12.70	24.60	2.66	8.51	1.41	0.24	0.78	0.13	0.44	0.10	0.25	0.04	0.24	0.037	2.10	54.24	
CK_28	17.20	29.60	3.71	9.33	1.36	0.19	0.87	0.14	0.50	0.09	0.27	0.04	0.25	0.039	2.09	65.68	
CK_62	15.60	27.80	2.92	10.60	1.71	0.33	1.26	0.20	1.08	0.20	0.50	0.08	0.46	0.071	4.52	67.33	
CK_72	14.20	26.80	2.92	11.30	1.89	0.42	1.80	0.28	1.71	0.30	0.82	0.12	0.72	0.11	7.28	70.67	
CK_73	12.30	21.30	2.34	7.90	1.21	0.23	0.77	0.11	0.67	0.16	0.42	0.06	0.35	0.054	6.67	54.54	
CK_70	9.53	15.50	1.83	7.51	1.64	0.46	1.46	0.24	1.55	0.25	0.61	0.09	0.52	0.081	5.64	46.91	
CK_90	25.00	35.00	4.44	14.90	2.27	0.33	1.00	0.16	0.95	0.21	0.57	0.09	0.52	0.081	5.10	90.62	
CKIA_3	6.71	12.2	1.33	5.26	1.02	0.18	0.59	0.09	0.41	0.1	0.24	0.036	0.20	0.028	1.95	30.34	
CKLD_1	14.2	31.6	3.01	10.6	1.93	0.21	0.59	0.09	0.47	0.1	0.21	0.032	0.17	0.024	1.39	64.62	
CKLD_15	9.27	18.6	1.85	7.27	1.31	0.15	0.49	0.08	0.52	0.11	0.25	0.037	0.20	0.034	1.63	41.801	
CK_84	33.90	55.30	6.07	21.60	4.47	0.86	2.61	0.47	2.87	0.52	1.45	0.22	1.32	0.21	12.30	144.17	银 矿 体
CK_92C	36.7	59.40	7.20	25.10	4.26	0.49	1.36	0.25	0.99	0.21	0.52	0.08	0.49	0.076	4.50	141.63	
CK_103	37.00	59.60	6.81	22.70	4.54	0.79	4.53	0.80	5.82	1.16	3.16	0.43	2.58	0.40	32.70	183.02	
CKZK2403_4	0.51	1.04	0.15	0.77	0.19	0.032	0.25	0.045	0.27	0.056	0.079	0.012	0.055	0.01	0.35	3.819	
CKZK3206_2	0.72	1.34	0.17	0.72	0.17	0.043	0.18	0.028	0.14	0.038	0.10	0.014	0.075	0.011	0.70	4.449	
CKZK1001_3	0.71	1.29	0.15	0.60	0.18	0.035	0.21	0.034	0.20	0.04	0.078	0.011	0.069	0.01	0.44	4.057	
CKZK4401_2	1.49	2.54	0.30	1.34	0.27	0.099	0.36	0.057	0.29	0.056	0.15	0.022	0.12	0.016	1.42	8.53	
CKIA_6	12.40	24.7	2.37	9.64	1.68	0.26	0.95	0.14	0.83	0.19	0.52	0.057	0.30	0.04	3.90	57.98	
CKIA_11	15.40	30.2	3.58	11.7	2.09	0.27	1.25	0.22	1.32	0.20	0.50	0.054	0.27	0.04	3.99	71.08	
CKIA_13	15.90	32.00	3.18	9.60	2.35	0.60	1.75	0.30	1.87	0.36	0.72	0.10	0.60	0.088	9.38	78.80	
CK_48	8.06	14.60	2.01	6.55	1.64	0.26	1.12	0.20	1.33	0.29	0.54	0.08	0.45	0.064	8.50	45.69	
CK_79	6.54	11.40	1.65	4.64	1.26	0.19	1.09	0.17	1.09	0.22	0.40	0.052	0.30	0.04	6.08	35.12	
CK_80	5.41	10.10	1.10	3.86	1.24	0.28	1.51	0.27	1.78	0.37	0.83	0.12	0.70	0.10	11.10	38.77	
CK_107	73.60	148.0	13.0	52.1	9.71	1.48	6.19	1.08	6.20	1.04	2.86	0.44	2.61	0.40	28.00	346.71	
DHS_T1	63.70	122.0	11.4	49.0	8.47	1.24	5.84	1.01	5.66	0.92	2.57	0.39	2.37	0.37	24.60	299.54	
DHS_T10	52.6	99.5	9.77	40.3	7.15	1.19	5.50	0.92	5.66	0.92	2.64	0.41	2.49	0.39	25.40	254.84	

注: 样品由宜昌地质矿产研究所岩矿分析中心采用 ICP-AES(电感耦合等离子体发射光谱)分析; DHS_T 样品采自金利大红山。

主要是具交代残余结构的似碧玉岩(硅化的砂岩、硅化的构造角砾状灰岩),因硅化和矿化的程度不同,或多或少含有一定量交代残余的原岩成分。由此可见,金矿化阶段的稀土元素总体上随矿化作用的发生而出现不同程度的迁出(亏损),随硅化及矿化作用增强,其稀土元素总量逐渐降低。其另一个显著特征是轻稀土元素明显较重稀土元素富集,因而在40个北美页岩组合样标准化分布型式图上呈较平缓的右倾式展布(图3),不同于热水沉积硅质岩和海底喷流沉积硅质岩稀土元素较平的直线型特征,后者分布曲线显示轻稀土元素和重稀土元素含量几乎相同。从分布曲线上看,最典型的含金似碧玉岩(全硅化构造角砾岩型金矿石)Ce负异常不明显(CKZK-1)或呈正异常(CKLD-1, CKLD-15),与正常海水沉积物的Ce负异常较大(王中刚等,1989)明显不同;绝大部分样品Eu为负异常,少数呈不明显正异常,与广东古水硅质岩(周永章等,1996)、加拿大沙利文富电气石热液沉积岩和Agnico_Eagle条带状硅

质岩(韩发等,1989)、南岭泥盆系中的热水沉积硅质岩(毛晓冬等,1999)和华南若干重要层位(震旦系、晚泥盆世榴江组、二叠系)等典型的热液沉积硅质岩或海底喷流沉积硅质岩建造(杨海生等,2003)明显Eu正异常有较大差异。

含银似碧玉岩(银矿石)的稀土元素总量异常低(表3),比含金似碧玉岩和围岩可以低1或2个数量级($3.819 \times 10^{-6} \sim 8.53 \times 10^{-6}$),说明银矿化时随去碳酸盐化、泥化、硅化作用的增强稀土元素进一步迁出,其总趋势表现为中稀土元素富集,40个北美页岩组合样标准化分布曲线呈中部向上突起(图4)。含银似碧玉岩Ce负异常较含金似碧玉岩明显一些,Eu负异常和正异常同时存在,说明该类岩石成因的复杂性,完全不同于热水沉积硅质岩和海底喷流沉积硅质岩。

近矿围岩的稀土元素总量一般在 $35.12 \times 10^{-6} \sim 78.80 \times 10^{-6}$,并随其蚀变矿化程度不同而发生变化,最高 $\Sigma\text{REE} = 346.71 \times 10^{-6}$,远离矿区的大红山

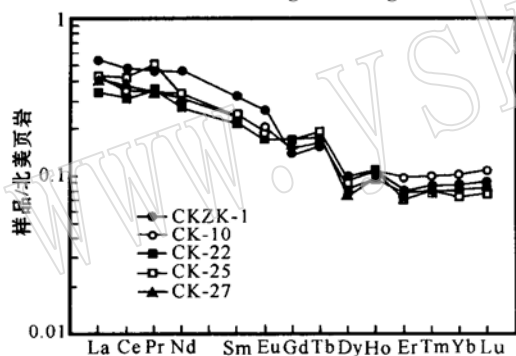


图3 含金硅质岩石稀土元素40个北美页岩组合样标准化分布型式

Fig. 3 REE NASC normalized distribution plot of gold-bearing siliceous rocks

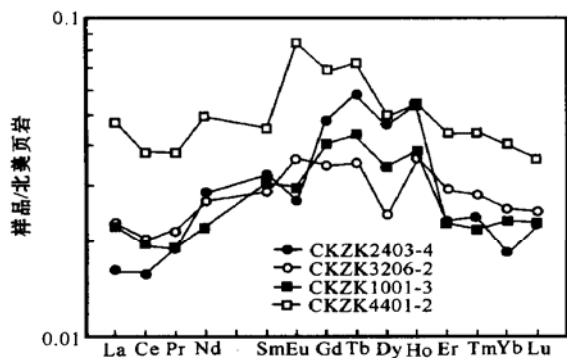
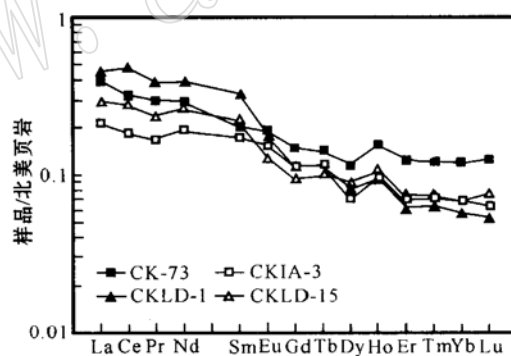


图4 含银硅质岩石稀土元素40个北美页岩组合样标准化分布型式

Fig. 4 REE NASC normalized distribution plot of silver-bearing siliceous rocks

小坪组两个黑色页岩样品的总稀土元素含量却高达 254.84×10^{-6} 和 299.54×10^{-6} ,明显高于矿石总稀土元素含量,进一步说明蚀变矿化作用促使原岩稀土元素的迁出。

目前,对海底火山喷气喷流成因矿床矿石稀土元素地球化学特点的研究,无论是通过矿石间接判断方法(Lettermoser, 1991),还是通过矿石流体包裹体直接测定结果(别风雷等,2000),都表明其稀土元素分布曲线具有明显的Eu正异常特征(韦昌山等,2002),说明海底热水喷气喷流沉积的岩石和矿石均无不明显Ce负异常和Eu负异常。从本矿床的金、银矿石稀土元素分布特征完全可以断定,似碧玉岩非热水沉积作用或海水沉积作用产物,而是热液交

代作用的结果。

5 结 论

(1) 金银矿石硅质岩非海水与沉积物界面之间的热水沉积作用或海水沉积作用形成, 而是标准的似碧玉岩, 主要由次生石英、黄铁矿及少量伊利石、迪开石等组成, 具典型热液交代和交代残余结构, 发育构造岩的角砾状构造、碎裂构造、碎斑构造、微裂隙及孔洞构造, 无任何沉积岩结构构造。

(2) 似碧玉岩由成矿过程中硅化作用形成, 其硅化作用在金矿化阶段可分为3期, 银矿化阶段为1期, 金、银矿化直接与硅化作用有关。

(3) 似碧玉岩 SiO_2 含量在 50%~90%, 变化幅度较大, CaO 、 Al_2O_3 和 Pb 、 Zn 含量完全超出正常沉积硅质岩中含量, 具有如此化学组成特征的硅质岩石应是热液交代作用的产物。

(4) 似碧玉岩 ΣREE 低, 蚀变(如硅化)越强 ΣREE 越低, 说明矿化作用导致 REE 元素迁出。含金似碧玉岩 LREE 较 HREE 富集, Ce 负异常不明显, 样品绝大部分 Eu 为负异常少数呈不明显正异常, 40 个北美页岩组合样标准化分布型式呈较平缓的右倾型; 含银似碧玉岩稀土元素 Ce 负异常较含金似碧玉岩明显, Eu 负异常和正异常同时存在。与典型热水沉积硅质岩或海底喷流沉积硅质岩的显著 Ce 负异常和 Eu 正异常差别较大, 属热液交代的产物。

References

- Bates R L and Jackson J A. 1980. Glossary of Geology[M]. American Geological Institute.
- Bie Fenglei, Hou Zengqian, Li Shengrong, *et al.* 2000. Composition characteristics of rare earth elements in metallogenetic fluid of Gacun superlarge "Kuroko"-type deposit[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16 (4): 575~580 (in Chinese with English abstract).
- Du Jun'en, Ma Chaohuai and Zhang Guoheng. 1993. Mineralization characteristics of Changkeng gold-silver deposit, Guangdong Province[J]. *Guangdong Geology*, 8(3): 1~8 (in Chinese with English abstract).
- Han Fa and Hutchinson R W. 1989. Evidence for hydrothermal exhalative sedimentary origin of the Dachang Tin-polymetallic deposits: geochemistry of rare earth elements and trace elements of host rocks[J]. *Mineral Deposits*, 8(3): 33~42 (in Chinese with English abstract).
- Lettermoser B G. 1991. Trace element composition of exhalites associated with the Broken Hill sulfide deposit, Australia[J]. *Economic Geology*, 86(4): 870~877.
- Mao Xiaodong, Duan Qifa and Chen Zeyun. 1999. REE geochemistry and sedimentary environment of Devonian cherts in Guangxi and Hunan[J]. *Acta Petrologica et Mineralogica*, 18(3): 229~236 (in Chinese with English abstract).
- Mao Xiaodong, Huang Sijing and Liu Yunhua. 2003. Geochemical characters and significance of the fluid inclusions from Changkeng-Fuwan gold-silver deposits, Guangdong Province[J]. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 30(2): 111~119 (in Chinese with English abstract).
- Rao Jiaguang, Liu Houqun, Yang Shiyi, *et al.* 1997. Prediction of Mineral Resources in Typical Wuyi-Yunkai Ore-Forming Region[M]. Beijing: Geological Publishing House. 99~102 (in Chinese with English abstract).
- Sun Xiaoming and Chen Binghui. 1995. Hot spring genesis of the Changkeng gold-silver deposit in Guangdong province and its geological significance[J]. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 34(2): 131~133 (in Chinese with English abstract).
- Sun Xiaoming, Norman D T, Sun Kai, *et al.* 1999. Metallogenetic fluid N_2 -Ar-He system of Changkeng Au-Ag deposit in western Guangdong Province[J]. *Science in China (Series D)*, 29(3): 240~246 (in Chinese).
- Wang Zhonggang, Yu Xueyuan and Zhao Zhenhua. 1989. Rare Earth Element Geochemistry[M]. Beijing: Science Press, (in Chinese with English abstract).
- Wei Changshan, Yang Zhenqiang, Wei Junqi, *et al.* 2002. Components and geological significance of REE and sulfide-lead isotopes of ores from the Liushanyan copper-zinc deposit, Henan Province[J]. *Geology and Mineral Resources of South China*, (4): 41~46 (in Chinese with English abstract).
- Xia Ping, Zhang Hu, Wang Xiuzhang, *et al.* 1996. Geology-geochemistry and genesis of silicolites from Changkeng Au-Ag deposit, West Guangdong, China[J]. *Geochimica*, 25(2): 129~139 (in Chinese with English abstract).
- Yang Haisheng, Zhou Yongzhang, Yang Zhijun, *et al.* 2003. REE geochemical characteristics of hydrothermal cherts from South China[J]. *Bulletin of Mineralogy and Petrology and Geochemistry*, 22(1): 61~64 (in Chinese).
- Zhang Hu and Xie Yanbao. 1996. The horizontal zoning in Changkeng ore area, Guangdong Province, China[A]. Tu Guangzhi, Zhao Zhenhua. *Progress in Geochemistry*[C]. Guangzhou: Zhongshan University Press, 53~62.
- Zhang Wenhui, Lu Wanjun, Jiao Yangquan, *et al.* 2000. Composition and sources study of ore-forming fluid in Changkeng gold-silver deposits, Guangdong Province, China[J]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(4): 521~527 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yongzhang. 1990. On sedimentary geochemistry of siliceous rocks originated from thermal water in Nandan-Hechi basin[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 8(3): 75~83 (in Chinese with English abstract).
- Zhou Yongzhang, Liu Youmei, Zhang Haihua, *et al.* 1996. Hydrother-

mal origin of the Sinian chert formation and ancestral hydrothermal activity event in Western Guangdong[J]. Guangdong Geology, 11(2): 47~ 54 (in Chinese with English abstract).

附中文参考文献

- 别风雷, 侯增谦, 李胜荣, 等. 2000. 川西呷村超大黑矿型矿床成矿流体稀土元素组成[J]. 岩石学报, 16(4): 575~ 580.
- 杜均恩, 马超槐, 张国恒. 1993. 广东长坑金、银矿成矿特征[J]. 广东地质, 8(3): 1~ 8.
- 韩发, 哈钦森 R W. 1989. 大厂锡多金属矿床热液喷气沉积成因的证据——容矿岩石的微量元素及稀土元素地球化学[J]. 矿床地质, 8(3): 33~ 42.
- 毛晓冬, 段其发, 陈泽云. 1999. 湘桂地区泥盆系硅质岩稀土元素地球化学及沉积环境[J]. 岩石矿物学杂志, 18(3): 229~ 236.
- 毛晓冬, 黄思静, 刘云华. 2003. 广东长坑-富湾金、银矿床流体地球化学特征及其意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 30(2): 111~ 119.
- 饶家光, 刘娟群, 杨世义, 等. 1997. 武夷-云开典型成矿区矿产预测[M]. 北京: 地质出版社, 99~ 102.
- 孙晓明, 陈炳辉. 1995. 粤中长坑金银矿热泉成因及其地质意义[J]. 中山大学学报(自然科学版), 34(2): 131~ 133.
- 孙晓明, Norman D I, 孙凯, 等. 1999. 粤中长坑金银矿成矿流体 N_2 -Ar-He 示踪体系及来源[J]. 中国科学(D辑), 29(3): 240~ 246.
- 王中刚, 于学元, 赵振华. 1989. 稀土元素地球化学[M]. 北京: 科学出版社.
- 韦昌山, 杨振强, 魏君奇, 等. 2002. 刘山岩矿床矿石的稀土元素和硫、铅同位素的地质意义[J]. 华南地质与矿产, (4): 41~ 46.
- 夏萍, 张湖, 王秀璋, 等. 1996. 粤西长坑金银矿区硅质岩的地质地球化学特征及成因探讨[J]. 地球化学, 25(2): 129~ 139.
- 杨海生, 周永章, 杨志军, 等. 2003. 华南热水成因硅质岩建造的稀土元素地球化学特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 22(1): 61~ 64.
- 张文淮, 吕万军, 焦养泉, 等. 2000. 广东长坑金银矿床成矿流体成分及来源探讨[J]. 岩石学报, 16(4): 521~ 527.
- 周永章. 1990. 丹池盆地热水成因硅岩的沉积地球化学特征[J]. 沉积学报, 8(3): 75~ 83.
- 周永章, 刘友梅, 张海华, 等. 1996. 粤西震旦纪硅质岩建造的热热水成因及热水活动事件[J]. 广东地质, 11(2): 47~ 54.

致 读 者

本刊编辑部现存有少量 1998~ 2003 年过刊, 如有需求者请直接与本刊编辑部联系。如您或贵单位原为本刊订户, 则只需说明所缺刊期并告知您的订阅渠道, 本刊即可免费赠送。存刊有限, 欲索取者请尽快与本刊编辑部联系, 各种联系方式均可, 我们将竭诚为您服务。

《岩石矿物学杂志》编辑部

2004- 05- 10