第79卷 第5期 地 质 学 报 ACTA GEOLOGICA SINICA Vol. 79 No. 5
2005年10月 Oct. 2005

金厂特大型金矿床的地质特征与成因研究

贾国志[1)]，陈锦荣[2)]，杨兆光[3)]，边红业[3)]，王艳忠[3)]，梁海军[4)]，金同和[4)]，李振辉[1)]

1）武警黄金部队第一总队，哈尔滨，150086；2）武警黄金部队地质研究所，廊坊，065000

3）武警黄金部队第一支队，牡丹江，157000；4）武警黄金部队第三支队，哈尔滨，150049

内容提要：金厂特大型金矿床产于吉黑东部兴凯地块太平岭隆起与老黑山断陷的交接部位，矿区外围出露新元古界黄松群变质岩系。本区燕山期岩浆活动可分为5期，分别为燕山早期第一阶段闪长岩(δ_5^{2-1})、燕山早期第二阶段文象花岗岩(γo_5^{2-2})、燕山早期第三阶段花岗岩(γ_5^{2-3})、燕山晚期第一阶段花岗斑岩($\gamma\pi_5^{3-1}$)、燕山晚期第二阶段闪长玢岩脉($\delta\mu_5^{3-2}$)，形成岩浆穹窿型构造和隐爆角砾岩筒构造，并叠加大规模的热液蚀变活动，金矿化与第4、5期岩浆活动紧密相关。金矿矿体产状有三种类型：岩浆穹窿构造型、隐爆角砾岩型和环状放射状断裂型。矿石类型主要有含金黄铁矿化石英脉、含金石英黄铁矿脉、含金多金属硫化物石英脉、含金黄铁矿化方解石脉等。金矿成矿年龄为119.40～122.53 Ma。金矿体受统一的构造—岩浆流体蚀变系统控制，成矿物质来源于深部，成矿流体为岩浆水，晚阶段有少量大气水加入。成矿环境为中高温、中等压力，流体盐度为中等偏高，流体性质为弱碱性、弱还原性，属于K^+-Na^+-Ca^{2+}-Cl^--SO_4^{2-}型流体。金在成矿流体中以$[Au(HS)_2]^-$、$[AuCl_2]^-$、$[Au(CO_3)]^-$及$[Au(HCO_3)_2]^-$等络合物形式存在，当温度、压力下降时，溶液由酸性演化为弱酸性再到弱碱性时，络合物离解，金沉淀成矿。

关键词：岩浆穹窿构造；隐爆角砾岩；环状放射状断裂；金矿床；特大型；金厂；太平岭；黑龙江

金厂金矿床是1994年预查发现的，历经10年的勘查，已成为一座特大型的金矿床，目前已进入开采阶段，展现出了巨大的经济价值。作为矿床发现勘查评价的实践者，10年的实践和探索积累了丰富的资料，本文重点介绍该矿床形成的地质背景、成岩成矿特征、成矿条件等基本矿床地质特征和一些特殊的现象，以期命名为“金厂式”金矿床。

1 成矿地质背景

金厂金矿床地理位置上位于黑龙江省绥纷河市东宁—吉林省延吉市汪清地区；大地构造位置上位于吉黑东部太平岭隆起带与老黑山断陷交汇部位(图1)。太平岭隆起带位于华北地台北缘，吉黑地槽皱带南缘，是太平洋板块与亚洲板块作用的产物。该带是中国北方主要的金矿集中区(赵春荆等，1996)。隆起带西缘为密山—敦化深断裂(陈毓川，2001)。太平岭隆起带属兴凯地块东部，该地块和北侧的佳木斯地块与俄罗斯布列亚地块相联，构成巨大的东北亚前寒武纪地块。金厂金矿床矿区内出露地层主要为新元古界黄松群变质岩系，主要由云母(石英)片岩、变粒岩、斜长角闪岩组成，矿区外围出露地层为中—上侏罗统屯田营组($J_{2-3}t$)火山岩系(图1)，该岩系由安山岩、安山玄武岩、安山玢岩及凝灰岩组成，呈同源同期关系。区域地质构造发展史表明，三叠世之前，本区处于中亚蒙古大洋—碰撞造山—固结成陆的构造演化过程；三叠世之后，本区并入滨太平洋大陆边缘活动带。NE—NNE向的褶皱和断裂构造极为发育，而影响本区岩浆活动和矿床形成的构造为太平岭复背斜和绥阳深断裂。

区域地质体的相互穿插关系和同位素测年资料表明，矿区岩浆活动可分为5期：① 燕山早期第一阶段闪长岩(δ_5^{2-1})：岩石分布于八号硐—邢家沟—半截沟一带及金厂乡北部，岩性为灰黑色黑云闪长岩。② 燕山早期第二阶段文象花岗岩(γo_5^{2-2})：岩石分布于八号硐—金厂南山—松树粒子—小东沟一带，岩性为灰黑色黑云母花岗岩、斜长花岗岩、粗粒文象花岗岩、钾长花岗岩及花岗闪长岩等。③燕山早期第三阶段花岗岩(γ_5^{2-3})：岩石分布于金厂矿区南部八号硐—东沟一带，岩性为细粒斑状花岗岩和中粗粒黑云母花岗岩，二者呈相变关系。④燕山晚期第一阶段花岗斑岩($\gamma\pi_5^{3-1}$)：与矿区外围出露的中—下侏罗统天桥岭组($J_{1-2}tq$)流纹斑岩、凝灰熔岩、凝灰岩

收稿日期：2004-12-23；改回日期：2005-03-11；责任编辑：章雨旭。

作者简介：贾国志，男，1958年生，硕士，高级工程师。1982年毕业于河北地质学院地质系。现任武警黄金第一总队总工程师，长期从事金矿勘查及有色金属和贵金属成矿规律、成矿预测研究。通讯地址，150086，哈尔滨市保健副路1号，武警黄金部队第一总队。

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

及角砾岩呈同源同期对应关系，潜火山岩为花岗斑岩，局部石英含量增高，相变为石英斑岩，为火山颈相，小岩株或小岩枝产出，主要分布于八号硐—高丽沟南部及狍子沟一带。⑤ 燕山晚期第二阶段火山—潜火山侵入岩($\delta\mu_5^{3-2}$)：潜火山岩为闪长玢岩，为火山颈相，呈小岩株或小岩枝状产出，出露于金厂南山、黑瞎子沟、半截沟—邢家沟及南部；与矿区内零星出露的中、上侏罗统屯田营组($J_{2-3}t$)安山岩、安山玄武岩、安山玢岩及凝灰岩呈同源同期对应关系。

2 矿区构造格架

金厂金矿褶皱和断裂构造相当发育，矿床受构造控制明显。区域上，褶皱构造控制断裂和侵入岩的空间分布，断裂构造、岩浆穹窿构造及派生的环状—放射状断裂构造、隐爆角砾岩构造控制矿床和矿体。1∶5万 TM 遥感图像(图 2)显示，区域上 NE、NW、SN 及 EW 四个方向线性影像清晰。

(1) 矿区处于 NE 向绥阳深大断裂及 SN 向绥西—金厂断裂交汇部位。NE 向绥阳深大断裂长期活动，是太平岭隆起带与老黑山断陷的分界线，控制区域地层和印支—燕山期侵入岩体的展布。矿区内发育的 EW 向断裂集中于八号硐—高丽沟—黑瞎子沟一带。断裂为剪应力作用形成的走向断层。SN 向绥西—金厂断裂带由平行的压性断裂组构成。矿区由西至东等间距分布 4 条 SN 向断裂，即高丽沟断裂、黑瞎子沟断裂、邢家沟断裂、穷棒子沟断裂。其力学性质为压性断层。

(2) NW 向断裂：两条规模较大的 NW 向断裂平行发育，贯穿矿区，矿区产出一系列的 NW 向断裂构造，近等间距分布，性质为压性—压扭性断层，控制矿区内部燕山期花岗斑岩和岩浆穹窿构造及派生的环状—放射状断裂构造的分布。

(3) EW 向断裂：矿区内 EW 向断裂主要发育于矿区中部，呈断裂组产出，矿区内黑瞎子沟 I 号矿体东西两侧分布的黄铁绢英岩脉带受此断裂控制，断裂充填物为黄铁绢英岩细脉。

(4) NE、NW、SN 和 EW 向断裂控制了金厂矿区岩浆穹窿及隐爆角砾岩体在空间上的分布。断裂

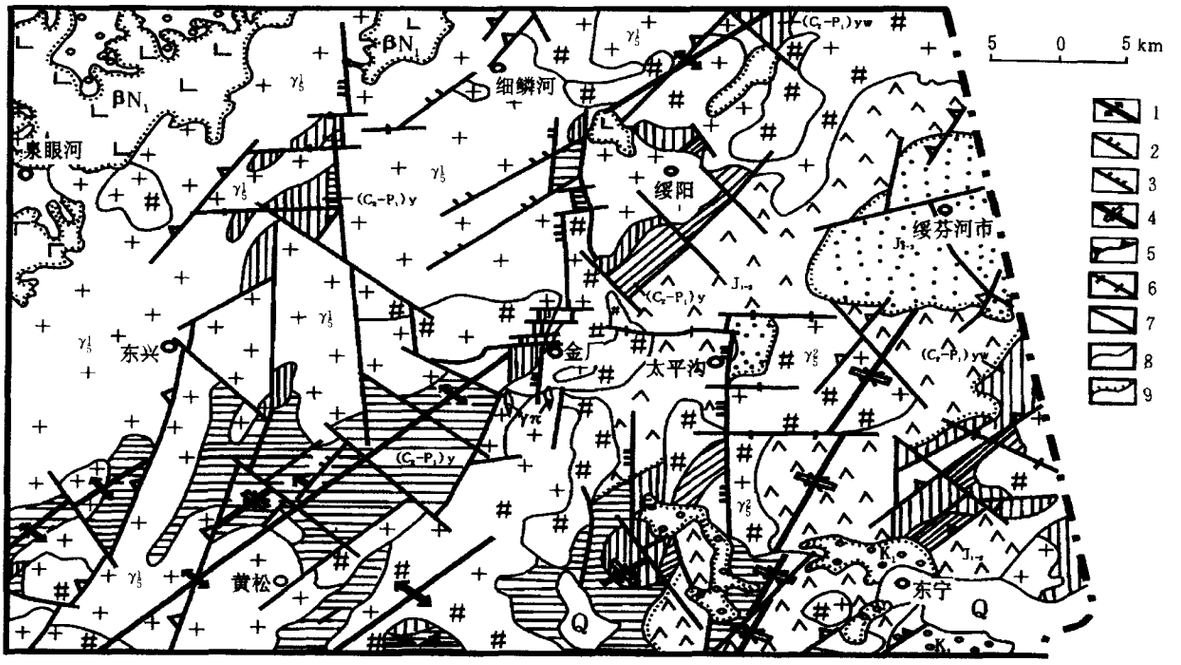


图 1 区域地质简图

Fig. 1 Simple geological map of Jinchang area

Q—第四系；βN_1—中新世玄武岩；K_1—下白垩统；J_{1-2}—下—中侏罗统；$(C_2\text{-}P_1)y$—上古生界；γ_5^1—印支期花岗岩；γ_5^2—燕山期花岗岩；1—背斜轴；2—北东向压性—压扭性断裂；3—南北向压性—压扭性断裂；4—向斜轴；5—压性—压扭性断裂；6—张扭性断裂；7—其他断裂；8—地质界线；9—不整合界线

Q—Quaternary; βN_1—Miocene basalt; K_1— Lower Cretaceous; J_{1-2}—Lower—Middle Jurassic; $(C_2\text{-}P_1)y$—Upper Palaeozoic; γ_5^1—Indo-Sinian granite; γ_5^2—Yanshannian granite; 1—anticline axis; 2—NE press and press-torsion fault; 3—NS press and press-torsion fault; 4—syncline axis; 5 —press and press-torsion fault; 6—tensile-torsion fault; 7—orther fault; 8—geological boundary; 9—unconformity

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

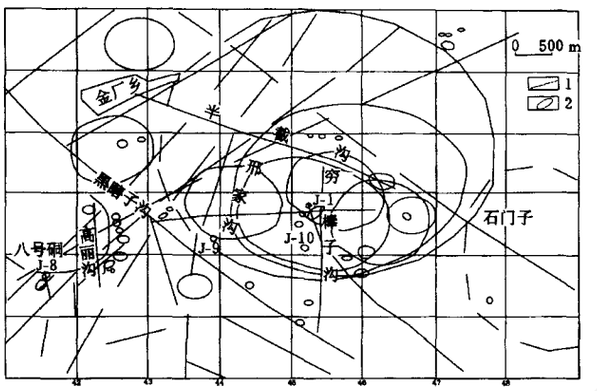


图 2　金厂矿区 TM 遥感解译图

Fig. 2　Interpretation map of TM remote sensing in the Jinchang district

1—遥感解译线性构造；2—遥感解译环形构造

1—Interpretative line structure by the TM remote sensing; 2—interpretative circular structure by the TM remote sensing

构造的分布特点表明该区受 EW 向或近 EW 向挤压应力的作用，产生了 SN 向压性断裂、EW 向张行断裂和 NE、NW 向压扭性 4 组断裂构造，它们共同作用，控制了印支期和燕山期岩浆岩的侵入、岩浆穹窿的发育、隐爆角砾岩体的产出。其发展及衍生控制了含矿热液的运移、矿床的形成、矿体的定位。

3　矿体地质特征

金厂矿区发现具有工业价值的金矿体 16 条，矿化体 9 条，资源量已达到特大型金矿床。控矿构造有三种类型：岩浆穹窿型、隐爆角砾岩型、环状放射状断裂构造型。

3.1　隐爆角砾岩型金矿床

已发现的此类矿体 5 个，即半截沟 I 号(图 3)、高丽沟 0 号、八号硐 1 号、大狍子沟 2 号、邢家沟 9 号。其特点为矿体规模大，品位稳定，资源量集中。该类型矿体的典型代表为半截沟 I 号隐爆角砾岩型金矿体，筒状产出，其长轴方向为 245°～250°，延伸 46 m，短轴方向延伸 30 m。控制深度 540 m，矿体平均厚度 21.02 m，厚度变化系数 165%，平均品位 8.10 g/t，品位变化系数 118%，控制(333)资源量 15.57t。矿体产于印支期花岗岩、花岗闪长岩中，位于隐伏的燕山晚期闪长玢岩形成的环形构造上部。矿体空间定位于环形隐伏浅成侵入岩体的中心部位，也是 SN 向、EW 向、NW 向断裂构造交汇部位。角砾岩体地质特征表明该角砾岩体为“侵入式”隐爆角砾岩体(贾国志等，2002)。此外，高丽沟 0 号矿体，为 Au、Cu 共生隐爆角砾岩型矿体。

3.2　岩浆穹窿型金矿床

此类型金矿(化)体以分布在半截沟环形构造深部的 18 号矿体为代表，为隐状矿体。4 个钻孔圈定出了走向延伸 800 m、平均厚度 6.65 m、平均品位 5.31g/t 的金矿体。钻孔中大于 0.50g/t 的矿化超过几十米，最厚可达上百米。矿化岩石为蚀变花岗斑岩。矿体形态为层状—似层状。矿化范围广，规模大。矿石具钾化、黄铁矿化、绿泥石化、硅化等蚀变。

3.3　环状—放射状断裂构造控制的金矿床

该类型金矿体受半截沟大型环状构造控制。环状构造的直径为 1.1 km，主要控制了Ⅱ，Ⅱ-1、2，Ⅴ、Ⅴ-1，Ⅶ，Ⅷ，X-1、2、3、4、5，Ⅺ-1，Ⅺ-2 等矿(化)体(图 4)，矿体呈弧型展布，厚度较小。放射状构造在环状构造周侧相交分布，主要控制Ⅲ，Ⅲ-1、2、3、4，Ⅷ-1、2，Ⅻ-1、2、3 号矿体。矿体走向延长小，倾向延深大。矿体与环状矿体近垂直相交，成群分布，规模较小。矿体特征见表 1。

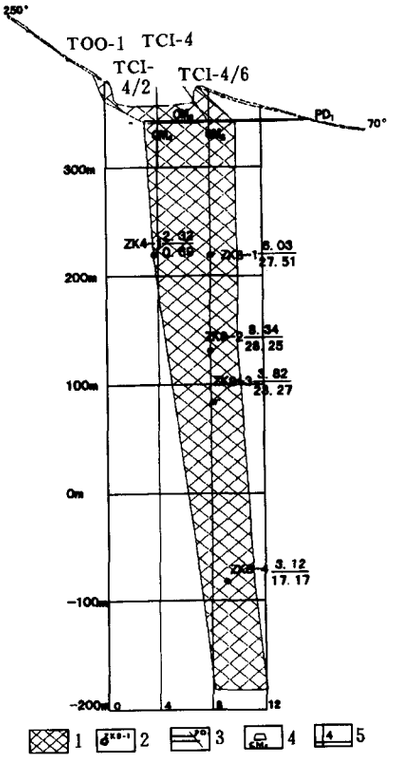


图 3　金厂矿区 1 号矿体垂直纵投影图

Fig. 3　Vertical longitudinal projection map of ore body No. 1 in the Jinchang district

1—矿体；2—钻孔与编号；3—沿脉和编号；4—穿脉和编号；5—勘探线和编号

1—Ore body; 2—drill and number; 3—gophering and number; 4—ort and number; 5—prospective line and number

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.3.1 环状断裂控制的Ⅱ号脉体群地质特征

Ⅱ号脉状矿体群受四条同心弧状断裂控制，矿体大致等间距平行产出，由内向外依次为Ⅱ-1，Ⅱ，Ⅱ-3、4号矿体(图4)。发育于闪长岩中。

(1) Ⅱ-1号矿体控制长度160 m，走向由西至东由165°～60°，倾角46°～50°，向外侧倾。平均厚度0.78 m，变化系数78%，平均品位9.23g/t，变化系数196%。矿体地表连续稳定，发育黄铁矿化、褐铁矿化、高岭石化、绿泥石化等蚀变。

(2) Ⅱ号矿体矿石类型为构造蚀变岩型。控制长度657 m，矿体走向由西至东由165°～160°，向外侧倾，倾角56°～51°。平均厚度0.83 m，变化系数85%，平均品位21.33g/t，品位变化系数203%。矿体沿倾向延深75 m。矿石具较强烈的褐铁矿化、黄铁矿化、绿泥石化、硅化及少量方铅矿化、闪锌矿化等蚀变。

(3) Ⅱ-3号矿体控制长度200 m，走向110°～124°，向外侧倾，倾角60°～70°，平均厚度0.93 m，平均品位2.76g/t，地表连续稳定，矿石发育硅化、黄铁矿化、绿泥石化、褐铁矿化等蚀变。

(4) Ⅱ-4号矿体控制长度160 m，走向124°，向外侧倾，倾角60°～70°，平均厚度1.15 m，平均品位2.80g/t，地表连续稳定，矿石发育硅化、褐铁矿化、绿泥石化等蚀变。

3.3.2 放射状断裂控制的Ⅲ号脉体群地质特征

Ⅲ号脉体群受4条近于平行的放射状断裂控制(图4)，产于细晶花岗岩中，矿体呈等间距放射状平行脉产出。矿体控制长度230 m，走向20°～30°，南东倾，倾角85°～90°，矿体平均厚度0.5 m，变化系数35%，平均品位11.31g/t，变化系数196%。Ⅲ-3号矿体控制长度230 m，沿倾向延深236 m，平均厚度0.30 m，变化系数21%，平均品位23.1g/t，变化系数104%。Ⅲ号、Ⅲ-3号矿体矿石均发育硅化、黄铁矿化、绿泥石化、方铅矿化等蚀变。

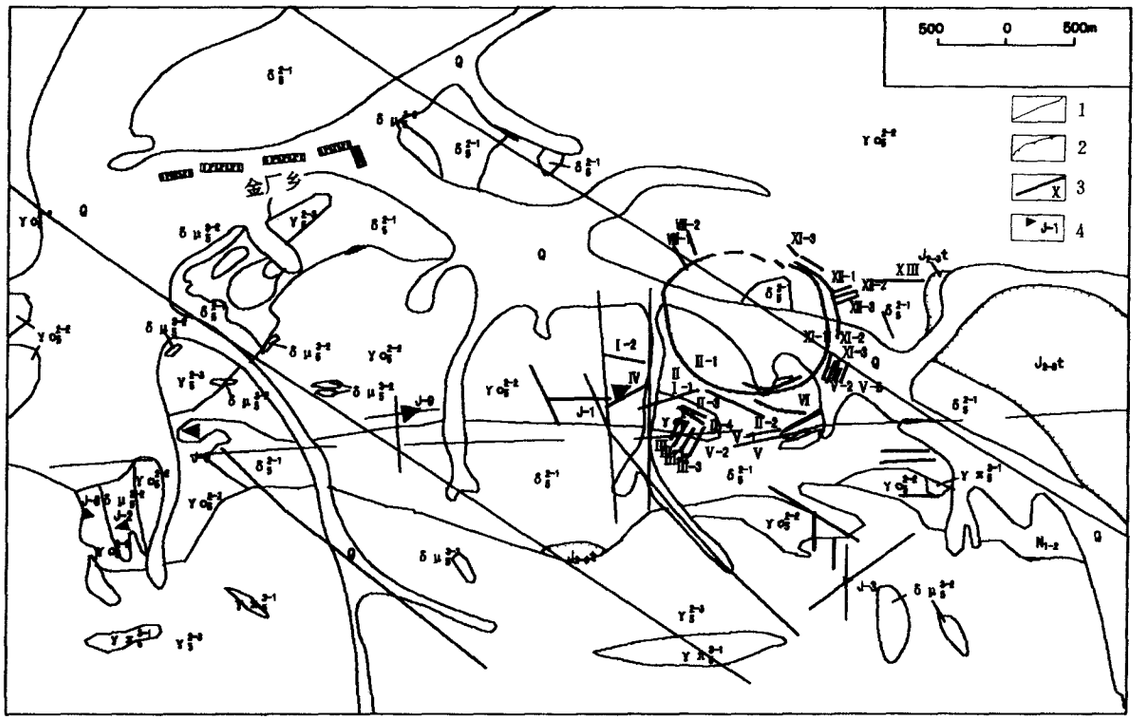


图4 金厂矿区地质简图

Fig. 4 Geological sketch map of Jinchang district

Q—第四系；N_{1-2}—新近系；δ_5^{2-1}—燕山早期第一阶段闪长岩；γo_5^{2-2}—燕山早期第二阶段文象花岗岩；γ_5^{2-3}—燕山早期第三阶段花岗岩；$\gamma\pi_5^{3-1}$—燕山晚期第一阶段花岗斑岩；$\delta\mu_5^{3-2}$—燕山晚期第二阶段闪长玢岩脉；$J_{2-3}t$—中—上侏罗统屯田营组；1—断层；2—地质界线；3—矿脉及编号；4—角砾岩型矿体及编号

Q—Quaternary；N_{1-2}—Neogene；δ_5^{2-1}—diorite of the Early Yanshanian 1st stage；γo_5^{2-2}—graphic granite of the Early Yanshanian 2nd stage；γ_5^{2-3}—granite of the Early Yanshanian 3rd stage；$\gamma\pi_5^{3-1}$—granite of the Late Yanshanian 1st stage；$\delta\mu_5^{3-2}$—diorite-porphyrite dykeof the Late Yanshanian 2nd stage；$J_{2-3}t$—Middle—Upper Jurassic Tuntianying Fm.；1—fault；2—geological boundary；3—ore vein and number；4—breccia ore body and number

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 1　金厂矿区岩金主要矿体特征一览表

Table 1　Major characteristics of ore bodies in the Jinchang district

成因类型	矿体号	空间位置		控制长度(m)	延深(m)		产状(°)		厚度(m)			品位(g/t)		
		勘探线号	赋存标高		最大	最小	倾向	倾角	最大	最小	平均	最大	最小	平均
角砾岩型	0	3-4	209～309	30	190		90	82			8.13	30.62	1.26	14.38
	Ⅰ	1/0-10	90～380	60	285	20	160	80	35.00	1.00	21.02	11.68	2.32	8.10
构造蚀变岩型	Ⅱ	1/3-30	100～344	320	230	149	255	56～64	1.00	0.33	0.83	34.48	4.64	21.33
	Ⅱ-1	50-43		760	160	40	265～225	46～50	1.06	0.30	0.78	36.93	3.20	9.23
	Ⅲ	8-15	270～470	230	180	80	120	87	0.80	0.20	0.51	74.60	1.10	11.31
	Ⅲ-3	8-15	270～470	230	180	80	120	87	0.60	0.20	0.30	78.65	1.41	23.10
	Ⅴ	7-18	180～360	180	170	66	160	51～55	1.00	0.79	0.95	17.82	7.76	13.89
	Ⅵ	12-15		270	82	70	190～195	48～55	0.79	0.30	0.53	112.72	10.94	52.13
	Ⅷ	7-20		190	138	80	283	80～85	7.00	0.48	2.82	69.80	3.04	5.32
	Ⅺ	13-16		290		158	230	80	4.00	1.00	3.00	11.37	1.10	3.33
	Ⅻ	31-16	334～520	400	360	150	1～5	80～86	1.80	0.36	0.81	18.61	1.00	9.91
	XⅢ	7-12		160	145	70	300	47	0.80	0.60	0.84	104.01	2.50	24.45
	XⅧ		-50～220	800	800			150	8.00	1.00	4.50	27.24	3.22	6.36
角砾岩筒	八号硐			40	120	80	46	80	26.00		23.40	15.06	1.08	4.04

3.3.3　放射状断裂控制的Ⅻ号矿体地质特征

Ⅻ号矿体受放射状断裂构造控制(图 4),矿石类型为构造蚀变岩型。其控制长度 460 m,走向近东西,北倾,倾角 80°～86°,矿体沿倾向延深 40～370 m。矿体平均厚度 0.81 m,变化系数 43%,金平均品位 9.9g/t,变化系数 194%,银品位 76～232g/t,为银金矿体。矿石发育黄铁矿化、方铅矿化、闪锌矿化、黄铜矿化及硅化、绿泥石化、高岭石化等蚀变。

3.4　矿石特征

3.4.1　矿石类型及含金性

金矿石可分为角砾岩型矿石、蚀变岩型矿石、石英-黄铁矿型矿石、多金属硫化物石英脉型矿石。多金属硫化物石英脉型矿石含金最高,为 1～1000g/t,角砾岩型矿石含金为 1～15g/t,蚀变岩型矿石含金为 1～4g/t。

3.4.2　矿石矿物组合及金的赋存状态

矿石矿物主要为黄铁矿,次为黄铜矿、方铅矿、闪锌矿、毒砂、磁黄铁矿、辉钼矿、辉锑矿、磁铁矿、赤铁矿、镜铁矿、自然金、银金矿、金银矿、自然银等。脉石矿物为石英、长石、高岭石、绿帘石、冰长石、方解石、文石、角闪石、黑云母、绿泥石、绿帘石、冰长石等。金矿物以自然金、银金矿、金银矿,赋存于黄铁矿、石英及褐铁矿中。金矿物以包裹金为主,次为晶隙金和裂隙金。载金矿物主要为黄铁矿,次为石英、褐铁矿。金的形态多为浑圆状、纺锤状、不规则状。晶隙金主要赋存于黄铁矿颗粒间,部分赋存于黄铁矿与石英晶隙中,金颗粒为不规则的多边形。裂隙金或呈细长的不规则状穿插于黄铁矿中,或呈米粒状充填于黄铁矿裂隙中。自然金粒度分布不均,多在 0.01～0.1 mm 间,为细粒金,个别呈细脉状产出的金粒,长度可达 2～3 mm。

3.4.3　矿石的结构构造

矿石以结晶结构为主,其次为碎裂结构、交代结构、环带结构、骨架状结构及固溶体分离结构。

矿石构造主要为角砾状、浸染状、脉状、团状、团块状、蜂窝状、晶族状、土状和粉末状构造等。

3.4.4　围岩蚀变特征

赋矿围岩主要有斜长花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩、闪长岩、闪长玢岩等。围岩蚀变发育,且与金矿化具有成因、时间、空间关系。

蚀变类型主要为硅化、高岭石化、黄铁矿化,其次为钾长石化、碳酸盐化、绿泥石化等。

硅化:细粒石英呈鱼子状集合体沿矿物解理或微细裂纹交代充填,部分或全部交代原岩中的斜长石和石英,或呈石英细脉产出,脉体曲直不均,宽窄不等。硅化的另一类型为玉髓化,镜下可见两个阶段玉髓,第一阶段玉髓胶结黄铁矿,呈栅状结构生长;第二阶段玉髓呈脉状发育于张性裂隙中。

绢云母化:斜长石自变质的绢云母化产物,往往与热液蚀变绢云母交织在一起,在岩石中形成网格状绢云母化带。镜下可见绢云母化带穿插于硅化细粒鱼子状石英集合体,显示了二者形成的世代。

高岭石化:高岭石沿斜长石的裂隙充填交代,叠加在绢云母化、碳酸盐化之上。

钾长石化:普遍发育于斜长花岗岩类岩石中,钾长石化或呈不规则树枝状充填于石英间隙和晶隙

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

中，或交代斜长石而成。镜下研究还发现 8 号、0 号矿体矿石具冰长石化，岩浆穹窿型金矿体具较普遍的钾长石化。

黄铁绢英岩化：斜长石绢云母化，镜下隐约可见斜长石之轮廓。石英碎裂化，微裂隙无方向，在其后发育了玉髓化。黄铁矿或呈碎裂状颗粒，或呈细网脉与其叠加或交织。

碳酸盐化：碳酸盐化或为方解石网脉，或为文石网脉，往往叠加于硅化、绢云母化之上。镜下见方解石或文石呈不规则团块-云朵状交代充填几乎所有的造岩矿物或已经硅化、绢云母化的矿物。

黄铁矿化：黄铁矿化以浸染状为主，呈它形粒状、细脉状，沿岩石的节理或裂隙充填，构成 0.1～10 mm 宽的细网脉。黄铁矿化具多世代。第一世代的黄铁矿化为中细粒他形晶，第二世代的黄铁矿为中粗粒半自形晶；第三世代黄铁矿呈中细粒它形晶。白铁矿含量仅次于黄铁矿，约占 25%～30%，具有胶状构造，呈脉状分布。

黄铜矿化：黄铜矿产出两个世代，第一世代与方铅矿伴生，第二世代独立产出，呈脉状不均匀分布，含量 2%～5%。

绿泥石化：绿泥石化呈微细脉(层)状集合体，填隙脉状切穿碳酸盐化的岩石，黄铁矿细网脉中亦见有绿泥石化发育。

青磐岩化：其特点为，产生绿泥石、碳酸盐、绿帘石、绢云母、石英、高岭石、黄铁矿等蚀变矿物组合。

此外，在花岗岩内外接触带附近局部地段还发育阳起石化、电气石化、绿帘石化等蚀变。

3.5 成矿期次

根据金矿体产出特征、矿化蚀变组合及矿化地质体相互间的穿插世代关系，把金矿化分为三期：

第一期花岗斑岩金成矿期。偏酸性的火山—潜火山岩浆作用，形成岩浆穹窿型构造和爆破—隐爆角砾岩，潜火山热液的多次活动，在岩浆穹窿型构造有利部位和角砾岩体发育矿化蚀变。蚀变以硅化、黄铁绢英岩化、钾长石化为主，局部叠加了黄铁矿-毒砂-石英脉或黄铁矿-石英脉。该期分为三个矿化阶段，第一阶段岩浆穹窿型矿化阶段，典型矿体为 18 号矿体，第二阶段角砾岩筒矿化阶段，典型矿体为八号硐 I 号矿体，半截沟 I 号矿体，第三阶段为硫化物-石英脉阶段，仅见于八号硐高丽沟的局部地段和金厂南山。

第二期：闪长玢岩金成矿期。分为 4 个矿化阶段：第一阶段为岩浆穹窿型构造和角砾岩筒矿(化)体叠加，使其逐步富集成为矿体，主要为黄铁矿化、绢英岩化、高岭石化等蚀变；第二阶段为石英-黄铁矿-毒砂脉叠加矿化，主要发育于环状、放射状断裂控制的矿体；第三阶段为白铁矿-玉髓叠加矿化，主要发育于环状、放射状断裂控制的矿体；第四阶段为黄铁矿-碳酸盐化(方解石网脉)阶段，该阶段矿化比较弱，为金矿化终结阶段。

第三期：表生氧化富集期。地表矿体发育次生氧化富集带，以褐铁矿化、黄铜矿化及绿泥石化为主。

综上所述：金厂金矿成矿期次划分如表 2。

表 2 金矿成矿阶段划分表

Table 2 Disivision on the mineralized stages

成矿期 / 阶段	第一期	第二期	第三期
	花岗斑岩成矿	闪长玢岩成矿	表生氧化富集成矿
第一阶段	岩浆穹窿蚀变矿化	叠加岩浆穹窿和角砾岩型矿(化)体	
第二阶段	角砾岩筒蚀变矿化	石英-黄铁矿-毒砂矿化	
第三阶段	黄铁矿-毒砂-石英矿化	白铁矿-玉髓-黄铜矿矿化	
第四阶段		黄铁矿-碳酸盐化(方解石网脉)矿化	

4 矿床地球化学

4.1 成矿流体物理化学条件

(1) 成矿温度：采自半截沟 I 号和高丽沟 0 号矿体蚀变矿化胶结物的样品进行包裹体地球化学研究，对主矿期各阶段的包裹体进行均一测温，半截沟 I 号矿体第一成矿阶段均一温度 287～303℃，均值为 295.7℃；第三阶段为 283～230℃，均值为 209℃；第四阶段为 84～97℃，均值为 90℃。高丽沟 0 号矿体第一阶段为 406～445℃，均值为 427.5℃；第四阶段为 67～91℃，均值为 78℃。

(2) 成矿压力：利用 CO_2 密度法进行压力计算，第二成矿期第一成矿阶段密度为 0.574～0.586 g/cm^3，估算压力为 97 MPa，第二阶段 CO_2 密度为 0.623 g/cm^3，估算成矿压力为 65 MPa。属中等压力环境。据静岩压力梯度 3.3 km/100 MPa，大致估算第一阶段成矿深度为 3.2 km，第二阶段成矿深度为 2.1 km，为中深环境。

(3) 成矿流体包裹体成分：从流体包裹体组份(表 3)可以看出，流体液相成分 K^+、Na^+、Ca^{2+}、Mg^{2+}、F^-、Cl^-、SO_4^{2-} 等离子的含量比较高，属高离

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表 3　金厂矿区第二成矿期各阶段包裹体成分($\times10^{-6}$)特征

Table 3　Chemical characteristics($\times10^{-6}$) of inclusion in the different stages of second mineralization period

阶段	样号	采样位置	H_2	O_2	N_2	CH_4	C_2H_6	CO	CO_2	H_2O
一	IXT-30	半截沟 J-1	0.23	0.00	1.71	4.16	0.00	0.00	3.54	392.16
	XT-2	高丽沟 J-0	0.04	0.00	1.96	5.28	0.00	0.00	4.05	448.43
二	B-90	半截沟 J-1	0.23	0.00	2.67	4.55	0.00	0.00	4.81	575.35
三	B-91	半截沟 J-1	0.05	0.00	1.89	4.08	0.00	0.00	4.84	449.63
四	B-97	半截沟 J-1	0.23	0.00	1.71	4.16	0.00	0.00	3.54	392.16
	B-44	高丽沟 J-0	0.50	0.00	3.06	4.02	0.00	0.00	8.18	503.60
阶段	样号	采样位置	F^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	K^+	Na^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
一	IXT-30	半截沟 J-1	5.19	9.73	0.00	6.16	28.22	3.89	3.24	0.32
	XT-2	高丽沟 J-0	12.03	41.44	0.00	50.13	26.74	10.70	6.68	1.33
二	B-90	半截沟 J-1	18.18	27.57	0.00	14.66	13.49	19.35	5.87	1.17
三	B-91	半截沟 J-1	15.60	38.49	0.00	55.81	6.41	4.49	38.49	2.56
四	B-97	半截沟 J-1	150.42	31.51	0.00	13.03	36.55	23.11	1470.6	25.21
	B-44	高丽沟 J-0	2.44	10.02	0.00	6.77	7.31	3.52	281.72	1.89

测试单位:中国地质大学(北京)找矿勘探教研室。

子浓度流体。金矿化伴生的黄铁矿化为主的硫化物组合,和成矿晚期普遍发育的方解石-文石细网脉,表明成矿流体中金的迁移形式为$[Au(HS_2)]^-$、$[Au(CO_3)]^-$、$[Au(HCO_3)_2]^-$。

(4) 流体的含盐度:盐度计算结果,半截沟 I 号矿体第一阶段 4.95%,第二阶段为 7.32%,第三阶段为 5.00%,第四阶段为 8.46%。高丽沟 0 号矿体第一阶段为 14.86%,第四阶段为 5.35%。

(5) 流体的矿化度(mc):矿化度计算结果,半截沟 I 号矿体第一阶段为 56.75 g/l,第二阶段为 100.29 g/l,第三阶段为164.85 g/l,第四阶段为 1750.42 g/l。高丽沟 0 号矿体第一阶段为 149.05 g/l,第四阶段为 313.67 g/l,表明各期成矿阶段流体的矿化度比较高,属高矿化度流体。

(6) 成矿流体的酸碱性(pH 值):流体以 CO_2-H_2O-NaCl 体系为主,流体的 pH 值主要受各阶段流体 CO_2 分压和 NaCl 浓度控制。计算结果,半截沟 I 号矿体第一阶段值为 5.46,该温压条件下中性点为 5.2;第二阶段为 6.4,该温压条件下中性点为 5.5;第三阶段为 6.4,该温压条件下中性点为 5.4;第四阶段为 7.87,该温压条件下中性点为 6.3。显然,各阶段成矿流体为弱碱性流体。高丽沟 0 号矿体第一阶段流体 pH 值 1.68,第四阶段为 0.6,从早阶段至晚阶段,流体碱性逐渐减弱。

(7) 成矿流体的氧化还原电位:流体氧化还原电位计算结果,半截沟 I 号矿体一阶段为 −0.39V,第二阶段为 −0.04V,第三阶段为 −0.39V,第四阶段为 0.48V。高丽沟 0 号矿体第一阶段为 −0.65V,第四阶段为 −0.42V。显示成矿流体呈弱还原环境。

(8) 成矿流体的气体逸度:经计算,各期成矿流体中主要气体组分(表 3)显示,流体中 CH_4 和 CO_2 的逸度较大,CO 的逸度较小,H_2 的逸度不确定。氧逸度总体变化小,$\lg f_{O_2}$为 −41.26～−41.47,属于低氧逸度的流体(表 4)。

表 4　成矿流体中主要气体组分的逸度

Table 4　Fugacity of major gas components in the mineralization liquid of the second mineralization period; Jinchang deposit

阶段	样号	采样位置	$\lg f_{H_2}$	$\lg f_{CH_4}$	$\lg f_{CO}$	$\lg f_{CO_2}$	$\lg f_{O_2}$
一	IXT-30	半截沟 J-1	0.70	1.05	−2.81	0.46	−41.45
	XT-2	高丽沟 J-0	−0.06	1.14	−2.81	0.49	−41.47
二	B-90	半截沟 J-1	0.36	0.75	−3.15	0.25	−41.40
三	B-91	半截沟 J-1	−0.19	0.81	−3.04	0.36	−41.37

4.2　稳定同位素地球化学

(1) 硫同位素组成:采自第二成矿期各成矿阶段矿石硫同位素组成(表 5)表明,矿石硫同位素组成为 1.1‰～3.8‰,均值为 2.42‰,属于岩浆硫,接近陨石硫。

(2) 铅同位素特征:矿区主要岩石和矿石的铅同位素组成(图 5)表明,侵入岩、火山岩的矿石铅同位素组成集中于一个较小的范围,体现了其成因及演化的一致性。根据 Bames(1994)总结地幔、造山带、上部地壳及下部地壳铅同位素演化模式(图 6),矿区铅同位素组成沿着 a 曲线与 b 曲线的过渡区演化,兼具地幔铅与造山带铅的双重特征。由此认为,矿区的铅源主要为下地壳铅或地幔铅。

(3) 氢氧同位素特征:采自第二成矿期不同矿化阶段矿石蚀变胶结物或石英脉的氢氧同位素特征

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

(表 6),表中 $\delta^{18}O_{水}$ 值根据石英的氧与其包裹体中水的氧达到同位素平衡,利用石英的同位素组成 $\delta^{18}O_Q$ 值计算得来。将第二成矿期不同成矿阶段成矿流体的氢氧同位素组成投影于 $\delta^{18}O_Q$-$\delta D_{水}$ 图解上,成矿流体显示岩浆水特征,由早到晚大气水逐渐增大。

表 5 金厂矿区主要矿化期次的硫同位素组成

Table 5 S isotopic component of major mineralization stages in the Jinchang ore district

期	阶段	样号	采样位置	$\delta^{34}S_{VCDT}$(‰)
第二期	第一阶段	IXT-30	半截沟 J-1 矿体 230 中段	2.2
		XT-1	高丽沟 J-0 矿体 345 中段	3.2
		XT-2	高丽沟 J-0 矿体 345 中段	2.7
	第二阶段	M-2	半截沟 J-1 矿体 330 中段	3.8
		M-3	半截沟 J-1 矿体 330 中段	3.2
		M-6	半截沟 J-1 矿体 280 中段	2.2
		M-7	半截沟 J-1 矿体 280 中段	2.6
		M-11	半截沟 J-1 矿体 230 中段	1.8
		M-13	半截沟 J-1 矿体 230 中段	1.8
		B-90	半截沟 J-1 矿体 230 中段	2.3
	第三阶段	B-91	半截沟 J-1 矿体 230 中段	1.1
	第四阶段	B-97	半截沟 J-1 矿体 230 中段	2.1

注:所有测定矿物均为黄铁矿,测试单位为中国地质科学院矿床地质研究所。

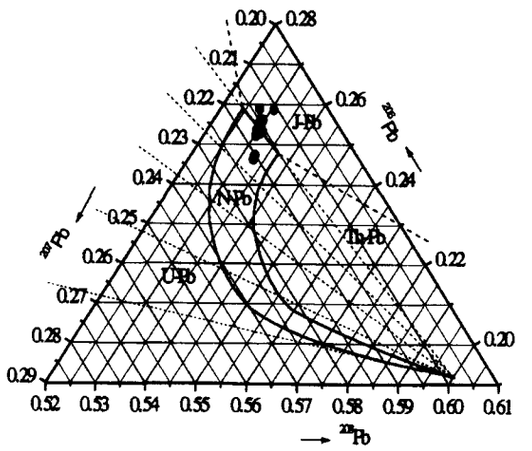


图 5 金厂矿区铅同位素组成

Fig. 5 Pb isotopic component in the Jinchang ore district

表 6 金厂矿区主要期次氢氧同位素特征

Table 6 H and O isotopic component of the major mineralization stages in the Jinchang ore district

样号	岩性(期次)	采样位置	温度	$\delta^{18}O_Q$	$\delta^{18}O_{水}$	$\delta D_{水}$
97Q1	蚀变胶结物(二①)	半截沟 J-1	295.73	11.9	4.81	−70
XT-2	蚀变胶结物(二①)	高丽沟 J-0	427.45	10.3	6.64	−86
9701	石英黄铁矿脉(二②)	半截沟 Ⅱ-1	209.55	10.3	−0.71	−70
B-72	硫化物石英脉(二③)	半截沟 J-1	294.31	9.5	2.36	−72

注:测试单位为中国科学院矿床地质研究所;(二①)为第二期第一阶段;温度单位为℃;氢氧同位素单位为‰;测试对象为石英。

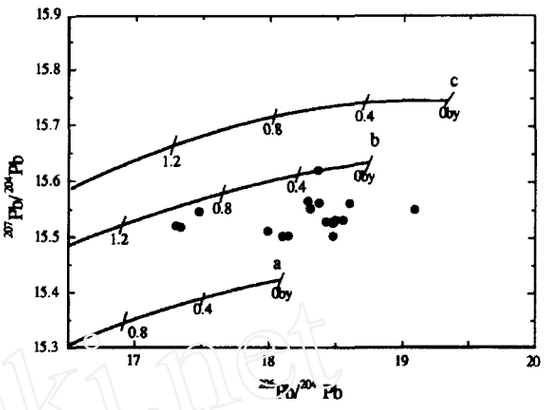


图 6 金厂铅同位素组成及其构造环境

Fig. 6 Pb isotopic component and tectonic background in the Jinchang ore district

a—地幔;b—造山带;c—上地壳;d—下地壳

a—Mantle;b—orogenic belt;c—the upper crust;d—the lower crust

5 矿床成因及成矿模式

5.1 岩浆起源演化及其产物

金厂金矿床位于吉黑兴凯地块东部,是太平岭隆起带与老黑山断陷交汇部位,该区晚古生代地壳垂向增生,成熟固结。晚三叠世以后,发生极强烈的火山岩浆活动,本区由古亚洲构造域向滨太平洋构造域转化。早三叠世之后,本区作为环太平洋构造域的内带,泛太平洋板块地幔下插于亚洲板块陆壳之下,地幔物质和玄武质下地壳的部分融熔产生中酸性岩浆,在岩浆房中长时间脉动侵入形成斜长花岗岩(216.4±2.3 Ma)杂岩体。这个过程使起源于地核中的金,在地核收缩与膨胀过程中,混合于铁镍之间的金蒸气通过核幔间局部地域或空间暂时形成的大分子间隙上升,到达地幔软流层形成液态和气态混合相金,与软流层中的甲烷类(CH_4)物质一起随岩浆流动(张法会等,2001;腾吉文,2001),这由矿石液体包裹体成份富含 CH_4 所佐证。太平洋板块对亚洲板块持续的俯冲碰撞作用、地幔热流作用,使深部岩浆继续分异演化,沿早期岩浆上升过程中形成的通道(断裂系统)侵入地壳浅部,形成了矿区后续三期中酸性浅成—超浅成侵入体。这是中生代壳幔物质交换、区域构造演化动力效应的必然产物。

5.2 成矿流体的起源演化及其产物

岩浆演化由中部地壳向上部地壳运移过程中含有丰富的出熔流体,去气岩浆出熔出足够的 Au(通量大于 350 kg/a)、Cu(通量为 110 t/a)、SO_2(通量为

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

0.13×10⁶t/a)、H_2O(通量为 0.13×10⁶t/a)、CO_2(通量为 0.44×10⁶t/a)。这些出熔流体在岩浆房顶部分异出足量的低盐度富气相流体,集聚了 H_2O、HCl、CO、CO_2、F、P、SO_2、多金属硫化物、含金络合物、铜等有用元素,演化为低盐度富气相 Au-Cu 流体、低盐度富气相含 Au 流体。随着金的沉淀,气相物质的减少,流体演化为高盐度贫气相 Au-Ag 流体(Benning et al., 1994; Brounkl, 1986; Taylor, 1997)。这些流体的成矿,与高丽沟 0 号矿体为 Au-Cu 共生矿体、半截沟 I 号矿体为 Au 矿体、放射状断裂Ⅻ号矿体为 Au-Ag 共生矿体吻合。

花岗斑岩和闪长玢岩两期成矿作用流体的演化均经历了由高温—中高温—中低温的进程。两期成矿流体在岩浆穹窿型构造和角砾岩筒构造叠加。

(1) 岩浆期后高温热液阶段。成矿流体以高温、富含碱金属离子 K^+、Na^+、F^-、Cl^-、SO_4^{2-} 等离子为特点,盐度、矿化度高。流体对围岩的交代作用以碱交代为主,形成钾长石化、黄铁绢英岩化、绢云母化、黄铁矿化等蚀变。金属硫化物为黄铜矿化、辉钼矿化。并可形成 Cu、Au 伴生矿体。

(2) 岩浆期后中高温热液阶段。随着含矿流体温度的降低和钾化作用的发生,含矿流体中离子浓度下降,挥发组份浓度增高,流体中金的络合物分解,金及硫化物析出沉淀,形成金矿体。

(3) 岩浆期后中低温热液阶段。含矿流体中的 K^+、Na^+、Cl^- 等离子浓度降低,Au 含量也不高,盐度、矿化度降低,在局部放射状断裂中形成 Au-Ag 共生矿体。溶液中 H^+、Ca^{2+}、F^- 及 CO_3^{2-} 浓度剧增发生弱氢交代和酸交代,产生了青磐岩化、碳酸盐化、玉髓化及文石化等蚀变。

5.3 构造成矿作用

(1) 火山—潜火山构造控矿作用:火山—潜火山岩浆上侵地壳浅中部时,当岩体内压力未超过上覆围岩压力时,使岩石上拱变形,形成岩浆穹窿型构造,穹窿周边临界线形成同心环状断裂构造及放射状断裂构造。当局部压力骤降,导致岩浆迅速气化分熔,气体在岩浆柱顶大量聚集,气体内压力超过上覆围岩外压时,气体在地下深部发生强烈的爆炸,形成隐爆或爆破角砾岩体(艾霞, 2002; 宋得冒等, 2002; Burnham, 1985; McCallum, 1985; Richard, 1985)。成矿流体对岩浆穹窿构造的矿化作用,使其在局部地段形成层状—似层状金矿体。隐爆角砾岩体既是成矿作用过程的含矿热液通道又是容矿空间。其规模、形态、产状控制了金矿体的规模、形态、产状。半截沟 I 号矿体、高丽沟 0 号矿体是构造岩浆作用的产物,也是工业矿体。

(2) 断裂(裂隙)构造控矿作用:矿区发育的 NE、NW、SN、EW 向断裂构造既控制了中生代中酸性侵入岩体的侵入定位,又为含金流体的起源、迁移提供了动力和通道。断裂构造的长期活动叠加产生的走滑断裂、裂隙、破碎带既有利于含矿热液的渗透,又是构造蚀变岩型金矿化的主要容矿构造。

5.4 成矿时代

对采自半截沟 I 号矿体中第二阶段石英-黄铁矿脉进行 ^{40}Ar-^{39}Ar 快中子活化法年龄测定,加热分析的 10 个点结果(表 7)表明,第一加热阶段(430℃)和第7～10加热阶段(1100～1550℃)的视

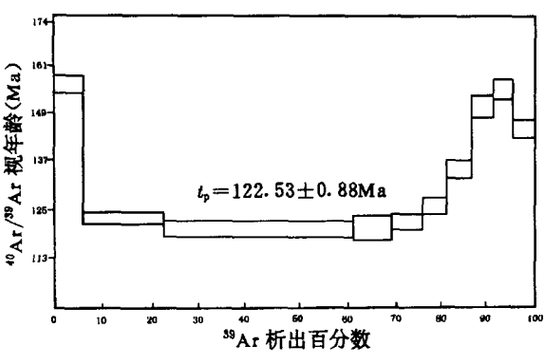


图 7　第二阶段石英-黄铁矿脉 ^{40}Ar-^{39}Ar 法年龄谱

Fig. 7 Ar-Ar age dating of second stage quartz-pyrite dyke

表 7　半截沟 I 号矿体第二阶段石英-黄铁矿脉 ^{40}Ar-^{39}Ar 法年龄测定

Table 7　Ar-Ar age dating of second stage quartz-pyrite of ore body No. 1 in the Banjiegou ore district

加热阶段	加热温度(℃)	$(\frac{^{40}Ar}{^{39}Ar})_m$	$(\frac{^{36}Ar}{^{39}Ar})_m$	$(\frac{^{37}Ar}{^{39}Ar})_m$	$(\frac{^{38}Ar}{^{39}Ar})_m$	$^{39}Ar_K$ (10^{-12} mol)	$\frac{^{40}Ar^*}{^{39}Ar_k}\pm1\sigma$	$^{39}Ar_K$ (%)	视年龄 $t\pm1\sigma$ (Ma)
1	430	41.818	0.1061	1.3861	0.1424	0.765	10.71±0.01	5.89	156.70±2.32
2	540	25.213	0.0574	0.6146	0.0596	2.171	8.336±0.00	16.8	123.10±1.49
3	670	13.846	0.0199	1.9280	0.1421	5.120	8.129±0.01	39.5	120.14±1.79
4	780	23.333	0.0524	2.9805	0.3167	0.972	8.163±0.02	7.49	120.63±2.98
5	880	36.303	0.0957	1.4726	0.1489	0.871	8.238±0.01	6.71	121.69±1.86
6	1000	51.798	0.1475	1.6453	0.1403	0.644	8.526±0.01	4.96	125.81±1.87
7	1100	57.576	0.1641	2.0264	0.1717	0.688	9.189±0.01	5.30	135.24±2.21
8	1200	55.172	0.1532	3.0437	0.1877	0.604	10.32±0.01	4.66	151.27±2.58
9	1350	69.302	0.2000	2.1274	0.1767	0.498	10.62±0.01	3.84	155.48±2.57
10	1550	66.841	0.1941	2.3809	0.1282	0.632	9.914±0.01	4.87	145.48±2.08

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

年龄值偏高，^{39}Ar析出量比例较小。因包裹体成分的影响，年龄值远大于坪年龄，不具地质意义。第2～6加热阶段的^{39}Ar析出量比例较大，坪年龄为122.53±0.88 Ma(图7)。可以认为，半截沟Ⅰ号矿体第二阶段石英-黄铁矿脉的^{40}Ar-^{39}Ar法的坪年龄为122.53±0.88 Ma，属于燕山中—晚期。

参 考 文 献

艾霞. 2002. 隐爆角砾岩型金矿成矿地质条件、构造类型及找矿标志. 矿床地质，21(增刊)：569～572.

陈毓川，李兆鼐，母瑞身，等. 2001. 中国金矿床及其成矿规律. 北京：地质出版社. 164～168，263～266.

贾国志，梁海军，等. 2002. 中国北方兴蒙—吉黑地槽金矿成矿地质条件及地质特征. 见：中国地质学会编："九五"全国地质科技重要成果论文集. 北京：地质出版社. 221～230.

刘伟. 2001. 岩浆流体在热液矿床形成中的作用. 地学前缘，8(3)：203～215.

宋得胄，张宝林，王杰，徐兴旺. 2002. 隐爆角砾岩型金矿的成矿机理探讨. 矿床地质 21(增刊)：662～665.

腾吉文. 2001. 地球内部物质能量交换与资源和灾害. 地学前缘. 8(3)：1～8.

张德会，张文淮，许国建. 2001. 岩浆热液出熔和演化对斑岩成矿系统金属成矿的制约. 地学前缘，2001，8(3)：193～202.

赵春荆，彭玉鲸，党增欣，张充平，等. 1996. 吉黑东部构造格架及地壳演化. 沈阳：辽宁大学出版社. 1～57，124～136，148～162.

References

Benning L G, Seward T M. 1994. Hydrosulphide complexes of gold(I) at high temperatures and pressures: equilibrium and kinetic problems. Min. Mag., 58A: 75～75.

Brown K L. 1986. Gold deposition from geothermal discharges in New Zealand. Econ. Geol., 81: 979～983.

Burnham C W. 1985. Energy release in subvolcanic environments: implications for Breccia formation. Economic Geology, 80(6): 1515～1522.

McCallum M E. 1985. Experimental evidence for fluidization proces is in breccia pipe formation. Economic Geology, 80(6): 1523～1543.

Richard H. 1985. Illitoe Ore-related Breccias in Vocanoplution Ares. Economic Geology, 80(6): 1467～1514.

Taylor H P. 1997. Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. In: Barnes H L, ed. Geochemistry of Hydrothrmal Deposits. New York: Wiley, 236～237.

Geology and Genesis of the Superlarge Jinchang Gold Deposit

JIA Guozhi[1)], CHEN Jinrong[2)], YANG Zhaoguang[3)], BIAN Hongye[3)], WANG Yanzhong[3)], LIANG Haijun[4)], JIN Tonghe[4)], LI Zhenhui[1)]

1) *No. 1 Brigade, Division of Gold, People's Armed Police Force, Harbin, Heilongjiang*, 150086

2) *Institute of Gold Geology, Division of Gold, People's Armed Police Force, Langfang, Hebei*, 065000

3) *No. 1 Team, Division of Gold, People's Armed Police Force, Mudanjiang, Heilongjiang*, 157000

4) *No. 3 Team, Division of Gold, People's Armed Police Force, Harbin, Heilongjiang*, 150049

Abstract

The superlarge Jinchang gold deposit is located in the connection between the Taipingling uplift and Laoheishan depression of the Xingkai massif in eastern Jilin and eastern Heilongjiang and the country rocks are metamorphic rocks of the Neoproterozoic Huangsong Group. In this region, the Yanshanian magmatism can be divided into 5 stages, the first three were mainly of diorite and granite and the latter two granitic porphyry and dioritic porphyrite, forming magmatic domes and cryptoexplosive breccia chimney, followed by large-scale hydrothermal alteration. Gold mineralization is closely related to the fourth and fifth phase of magmatism. Ores are mainly auriferous pyritized quartz vein, auriferous quartz-pyrite vein, auriferous metallic sulfide quartz vein, auriferous pyritized calcite vein. The age of the gold deposit is 119.40～122.53 Ma. The ore bodies are controlled by an integral tectono—magmatic hydrothermal alteration system, the metallogenic source came from the deep, and the metallogenic fluid was magmatic water with subsequent input of some atmospheric water. The metallogenic conditions were medium-high temperature, medium pressure, salinity slightly higher than the medium level, and the fluid of weak alkaline and weak reducing, that are of the K^+-Na^+-Ca^{2+}-Cl^--SO_4^{2-} type. Gold was present in the fluid as complex compound, such as $[Au(HS)_2]^-$, $[AuCl_2]^-$, $[Au(CO_3)]^-$ and $[Au(HCO_3)_2]^-$. When the temperature and pressure lowered down and the fluid turned from acidic to weak acidic and further to weak alkaline, the complex compound cracked down and the gold precipitated.

Key words: magmatic dome; cryptoexplosive breccia chimney; circular radiating fault; gold deposit; superlarge; Jinchang; Taipingling; Heilongjiang

© 1994-2007 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net