

文章编号:0258-7106(2005)04-0373-15

# 赤峰陈家杖子隐爆角砾岩型金矿床 地质地球化学特征与成因\*

余宏全<sup>1</sup>,张桂兰<sup>2</sup>,张德全<sup>1</sup>,李大新<sup>1</sup>,丰成友<sup>1</sup>,王忠<sup>3</sup>,孟立军<sup>3</sup>,王启<sup>3</sup>

(1 中国地质科学院矿产资源研究所,北京 100037; 2 内蒙古地质矿产厅信息中心,内蒙古呼和浩特 010020;

3 内蒙古赤峰地质矿产勘查开发院,内蒙古赤峰 024001)

**摘要** 陈家杖子金矿是赤峰南部地区新发现的隐爆角砾岩型金矿床,矿体呈脉状产于隐爆角砾岩筒内,角砾岩筒主要由隐爆含角砾岩屑凝灰岩组成。角砾岩筒蚀变强烈,并具有一定的蚀变分带,金矿化主要与硅化和冰长石化有关,载金矿物主要为毒砂。含矿岩石的岩石化学特征为铝过饱和型,以  $w(\text{K}_2\text{O}) \gg w(\text{Na}_2\text{O})$  为特征,属于钙碱性系列 I 型花岗岩;稀土元素特征表现为轻稀土元素富集型,有 Eu 亏损;微量元素具有明显的 Ti、Nb、Sr、Ba、Th、U 亏损, K 富集,与大陆边缘正常弧非成熟花岗岩的微量元素特征相符。石英内流体包裹体均一温度表明,金成矿作用主要发生在 150~180℃、225~390℃ 温度段,估算成矿压力为  $72 \times 10^5 \sim 158 \times 10^5 \text{ Pa}$  (255~560 m)。矿石硫同位素组成稳定,  $\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$  变化范围为 5.3‰~9.4‰。矿石铅与含矿角砾岩的铅同位素组成相似,  $\mu$  值分别为 7.89~8.16 及 7.89~8.08,模式年龄为 591~622 Ma 和 478~912 Ma;在 Z-D 演化模式图上,岩(矿)石铅投影于上地幔与下地壳演化线之间。含矿角砾岩和二长花岗斑岩脉的  $I_{\text{Sr}}$  为 0.70820~0.70118,  $\epsilon_{\text{Sr}(t)}$  为 50.64~106.8,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(t)$  为 0.511819~0.512001,  $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$  为 -7.99~-11.62,具有大陆地壳特征。 $t_{\text{CHUR}}$  及  $t_{\text{DM}}$  值与该区晚中生代玄武岩、安山岩一致,而不同于印支期闪长岩及其下地壳麻粒岩包体。硫、铅、锶、钕同位素特征显示,成矿物质具壳幔混源特点。主要含矿角砾岩的 Rb-Sr 同位素等时线年龄为 191 Ma,两期隐爆角砾岩之间侵入的二长花岗斑岩脉的等时线年龄为 177 Ma。陈家杖子金矿应为与早燕山期隐爆角砾岩有关的浅成中-低温热液型金矿床。

**关键词** 地球化学;金矿床;隐爆角砾岩;成矿作用;陈家杖子;赤峰;内蒙古

中图分类号: P618.51

文献标识码: A

## 1 地质概况

陈家杖子金矿是近年来在内蒙古赤峰南部地区新发现的初具规模并可望发展成为大型规模的隐爆角砾岩型金矿床,是在该地区发现的新类型矿床。矿区地处华北板块的北缘,内蒙地轴的东段,赤峰金矿化集中区马鞍山隆断带的南侧。

矿区内出露的地层主要为晚太古界建平群下部的片麻岩及第四系。太古界主要分布于矿区的西北部,在矿区东侧及南侧仅见零星露头。其岩性主要为灰色-灰黑色-灰绿色斜长角闪片麻岩、角闪斜长片麻岩及片岩、黑云长英片麻岩及片岩、变粒岩,局部有少量磁铁石英岩夹层。矿区范围内未见大的侵入岩体出露,主要见有花岗斑岩、英安斑岩、闪长玢岩

等岩脉或小岩株,侵入于隐爆角砾岩体内;矿区外周分布有燕山期中细粒黑云母二长花岗岩、花岗岩。

矿区构造主要为断裂构造,北东向断裂最为发育。黑里河断裂从矿区北侧通过,是本区重要的控岩、控矿构造。隐爆角砾岩体内部常发育有多组方向的裂隙,以及岩脉或含石英-硫化物矿脉,是区内主要容矿构造。

## 2 隐爆角砾岩筒特征

矿区内的金矿体均产于陈家杖子隐爆角砾岩体内,金的成矿富集及演化与隐爆角砾岩体有明显的成因联系。矿区范围内已发现两个隐爆角砾岩体,东山角砾岩体和西山角砾岩体(图1),两者东西相距约 300 m。金矿体均产于西山角砾岩体内,东山角砾

\* 本文得到地质调查项目(D002-028-05)的资助

第一作者简介 余宏全,男,1965年生,博士,副研究员,从事矿床学方面的研究。E-mail: shehongquan@sina.com。

收稿日期 2004-09-28; 改回日期 2005-03-28。许德焕编辑。

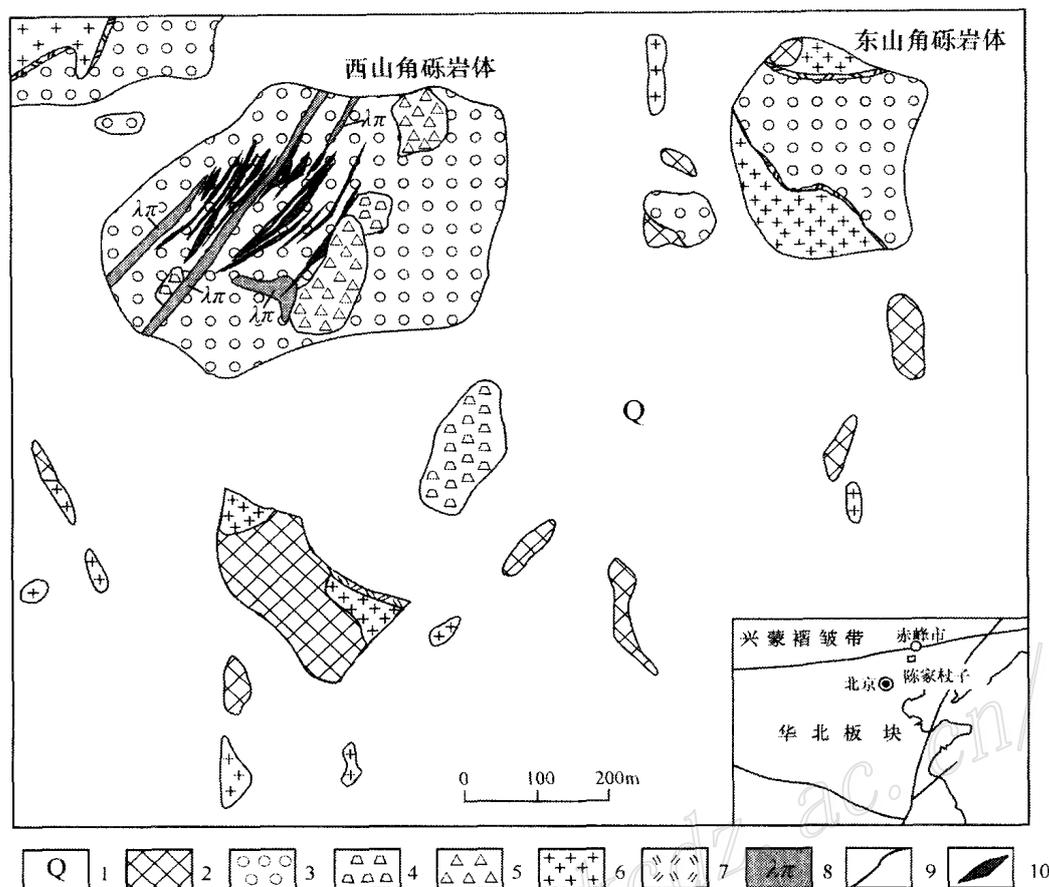


图1 赤峰陈家杖子隐爆角砾岩型金矿地质简图

(据赤峰地质调查院资料修改<sup>●</sup>)

- 1—第四系;2—晚太古界;3—隐爆晶屑岩屑凝灰岩及隐爆含角砾岩屑晶屑凝灰岩;4—隐爆角砾岩;5—爆破集块式角砾岩;  
6—中细粒钾长花岗岩;7—震碎角砾岩;8—二长花岗斑岩脉;9—地质界线;10—金矿(化)体

Fig.1 Geological sketch map of Chenjiazhangzi cryptoblast breccia type gold deposit in Chifeng

(modified after Chifeng Geological Survey)

- 1—Quaternary; 2—Upper Archaean; 3—Cryptoblast (breccia-bearing) crystal fragmental and lithic tuff; 4—Cryptoblast breccia;  
5—Cryptoblast conglomerated breccia; 6—Orthoclase granite; 7—Shattered breccia; 8—Monzonitic granite porphyry;  
9—Geological boundary; 10—Gold orebody

岩体内仅见金矿化。以下描述以西山角砾岩体为主。

陈家杖子隐爆角砾岩体(西山角砾岩体)的平面形态近半椭圆形(图1),北东-南西向展布,其长轴约1000 m,短轴约800 m,出露面积约0.70 km<sup>2</sup>,呈筒状向下延深,已控制延深大于720 m,岩筒南东倾,倾角陡,剖面上略呈上大下小的漏斗状。角砾岩体内有少量呈北东向的二长花岗斑岩脉及花岗岩脉。岩筒内的岩石爆破强烈,全部角砾岩化,由不同比例的角砾、岩屑、晶屑和岩石粉末组成。岩石的角砾含量一般为10%~30%,少数大于50%;岩屑和晶屑是

岩石的主要组成部分,含量一般为30%~70%;岩粉(胶结物)含量为30%~50%。

矿区内的角砾岩明显由两种隐爆角砾岩组成:早期隐爆角砾岩,出露地表,呈筒状,是隐爆角砾岩筒的主体,岩性主要为灰白色蚀变含角砾岩屑晶屑凝灰岩;晚期隐爆角砾岩,主要为黑色隐爆角砾岩或含角砾岩屑晶屑凝灰岩,呈不规则脉状,未出露地表,见于944 m中段以下,向深部有逐步增多趋势,与早期隐爆角砾岩呈侵入接触关系。两者的差别主要表现为:前者呈灰白色;后者呈灰黑色、黑色,角砾含量相对较多,含铁较高,泥化相对较强,以常含有

● 内蒙古自治区赤峰地质调查院, 2002. 冀蒙相邻地区矿点检查及综合异常查证报告(内部资料)。

泥化二长花岗斑岩角砾为特征。两种角砾岩均有金矿化,早期灰白色爆破角砾岩内的金矿化形成较早,主要集中在角砾岩筒的上部,在硅化-冰长石化-绢云母化蚀变强烈地段矿化较好。晚期黑色隐爆角砾岩内的金矿化主要在深部发育,在硅化-泥化-绢云母化蚀变强烈地段金矿化较好。早期灰白色隐爆角砾岩的岩石类型有爆破集块式角砾岩、隐爆含角砾岩屑晶屑凝灰岩、隐爆晶屑岩屑凝灰岩等,以隐爆含角砾岩屑晶屑凝灰岩为主要类型。

隐爆角砾岩石普遍遭受强烈的热液蚀变作用,常见的热液蚀变类型有绢云母化、碳酸盐化、硅化、泥化,其次为冰长石化、绿泥石化、绿帘石化。以绢云母化和泥化最为强烈,一般隐爆角砾岩中蚀变绢云母的含量可以达到 10%~20%,部分达 30%以上;其次为碳酸盐化、硅化、冰长石化。在空间上,热液蚀变的分布具有一定的分带性。绢云母化分布最广,其分布范围与隐爆角砾岩体主体的分布范围一致。从隐爆角砾岩体中心向外,蚀变分带为:中心部位为冰长石化和泥化带,叠加硅化、绢云母化和碳酸盐化;向外为硅化和绢云母化带,叠加碳酸盐化;边部和接触带为碳酸盐化带,以较强碳酸盐化为特征,伴有弱的绿泥石化和水白云母化。与金矿化密切相关的蚀变为硅化和冰长石化。泥化带的分布比较特殊,主要分布在隐爆角砾岩体中心二长花岗斑岩脉发育的部位,尤其是在蚀变二长花岗斑岩脉中。与隐爆角砾岩的多次爆破相对应,金成矿具有明显的多期多阶段性特点。

### 3 矿床地质特征

本矿区已发现 NE 向金矿化带内的近 20 个工业金矿体(王忠,2004)(图 1)。矿化带分布在隐爆角砾岩体的中西部,二长花岗斑岩脉的两侧,走向北东,与二长花岗斑岩脉的走向一致。矿化带长 320~360 m,宽约 140~160 m;走向 30~45°,倾向 SE,倾角 50~60°。单一矿体厚 0.41~15.86 m,延长几十至百米不等,向下延长几十米至 160 m,呈脉状透镜状,部分变厚加富部位呈囊状,部分矿体沿走向具分枝复合收缩膨胀的现象。金品位一般为  $1.5 \times 10^{-6}$ ~ $22.5 \times 10^{-6}$ ,最高可达  $55.4 \times 10^{-6}$ ;伴有银、铜、铅、锌等有益组分。金矿体严格受裂隙密集程度控制,裂隙密集区与超浅成斑岩脉接触地段,矿体的金

品位往往高。

常见的矿石结构有自形、半自形和他形粒状结构,乳滴状结构,交代残余结构,压碎结构;矿石构造主要有浸染状、裂隙充填、块状、胶结角砾状及团块状、细脉-网脉状等。

主要矿石矿物为黄铁矿、毒砂、闪锌矿、胶状黄铁矿,含少量黄铜矿、方铅矿、黝铜矿等,硫化物含量一般在 0.5%~3%之间,少数达 10%~50%,甚至形成块状硫化物矿石。

镜下鉴定和电子探针分析表明,陈家杖子金矿的含金矿物主要为银金矿,金矿物成色在 300~720,平均 540<sup>①</sup>。金的赋存形式有包体金(约占金颗粒数的 24%)、裂隙金(29%)和晶隙金(47%)。载金矿物主要为毒砂,其次为方铅矿或闪锌矿,几乎所有的银金矿均与毒砂有一定关系,且常与毒砂、方铅矿、闪锌矿连生。银金矿的赋存形式以晶隙金和裂隙金为主,其次为包体金;金的选矿试验表明,粒间金约占 42%,裂隙金约占 44%,包体金仅占 14%。

### 4 岩(矿)石化学特征

表 1 所列为陈家杖子矿区主要容矿岩石及围岩的岩石化学分析数据。由表 1 可见,陈家杖子金矿的主要容矿岩石及围岩花岗岩、二长花岗斑岩的 SiO<sub>2</sub> 含量绝大多数在 63%以上,属中酸性岩范围。在 SiO<sub>2</sub>-(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)图(图 2a)上,它们均落于亚碱性岩石系列区,在 AFM 图解(2b)上未表现出富铁趋势,说明该类岩石均属钙碱性岩系列。但不同类型的岩石其主元素特征有一定差别。作为隐爆角砾岩筒主体的隐爆含角砾岩屑晶屑凝灰岩的岩石化学成分,除个别样品(Cjz-97)外,其 SiO<sub>2</sub> 含量为 67.5%~77.35%,平均 72.2%;岩石分异指数为 79~89,平均 85,分异程度较高;碱质成分(K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)为 5.97%~9.07%,且普遍 K<sub>2</sub>O>Na<sub>2</sub>O,K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值为 9.29~39.7,较国内同类型金矿的比值偏高(如河南祁雨沟爆破角砾岩型金矿的 K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O 比值为 1~6),同时也高于本矿区早期的红色花岗岩及赤峰地区的主要花岗岩(一般为 0.8~1.5),这可能与本矿区隐爆角砾岩普遍发生强烈的绢云母化有关;Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/(CaO+K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)比值大于 1,属铝过饱和岩石,CIPW 计算时均出现刚玉分子。在矿区外围

① 余宏全,张德全,等. 2004. 赤峰地区爆破角砾岩筒型金矿资源调查与评价. 中国地质科学院矿产资源研究所(研究报告).

表1 陈家杖子金矿主要岩矿石岩石化学成分

Table 1 Chemical composition of main rocks and ores in Chenjiazhangzi gold deposits

样号	岩性	$w_B/10^{-2}$												总和	$H_2O^+$	$K_2O + Na_2O$	$K_2O/Na_2O$	DI
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Loss					
Cjz-54	含角砾岩屑晶屑凝灰岩	77.35	11.44	1.66	0.97	0.25	0.37	0.35	5.62	0.23	0.07	0.04	1.86	100.21		5.97	16.06	89
GS3	含角砾岩屑晶屑凝灰岩	72.49	13.82	1.85	0.61	0.36	0.28	0.20	7.94	0.18	0.04	0.04	1.76	99.57		8.14	39.70	89
GS4	含角砾岩屑晶屑凝灰岩	72.06	14.07	2.54	0.29	0.23	0.48	0.20	6.46	0.24	0.07	0.05	2.75	99.44		6.66	32.30	85
ZK4-21	含角砾岩屑晶屑凝灰岩	71.18	16.00	0.71	1.98	0.80	0.73	0.21	8.09	0.25	0.08	0.04	0.03	100.10		8.3	38.52	85
Cjz-16	蚀变含角砾岩屑晶屑凝灰岩	74.66	13.38	1.10	0.66	0.20	0.28	0.19	7.44	0.30	0.06	0.02	1.86	100.15		7.63	39.16	90
Cjz-72	蚀变含角砾岩屑晶屑凝灰岩	70.43	14.20	0.42	2.55	0.28	0.4	0.31	8.76	0.24	0.08	0.06	2.45	100.18		9.07	28.26	87
Clz-85	蚀变含角砾岩屑晶屑凝灰岩	67.50	15.52	0.65	2.53	0.55	1.47	0.79	7.34	0.25	0.09	0.05	3.41	100.15		8.13	9.29	79
Cjz-90	蚀变含角砾岩屑晶屑凝灰岩	69.86	15.38	0.64	2.50	0.53	0.37	0.21	6.99	0.28	0.11	0.07	3.34	100.28		7.2	33.29	82
Cjz-97	蚀变含角砾岩屑晶屑凝灰岩	58.59	16.75	1.80	3.22	0.95	4.26	2.85	2.70	0.38	0.22	0.10	8.19	100.01		5.55	0.95	60
Cjz-90-1	二长花岗岩边部蚀变角砾岩	74.34	13.00	0.99	1.57	0.36	0.35	0.21	6.62	0.24	0.08	0.04	2.40	100.20		6.83	31.52	87
Ysd-10	野苏堂含角砾晶屑凝灰岩	73.40	13.45	2.05	1.94	0.28	0.25	0.21	6.02	0.25	0.06	0.06	2.15	100.12		6.23	28.67	85
YST-27	野苏堂含角砾晶屑凝灰岩	72.43	14.31	1.86	0.38	0.24	0.02	0.18	8.07	0.21	0.09	0.01	2.58	100.38		8.25	44.83	90
Cjz-126	蚀变黑色隐爆角砾岩	64.70	14.46	0.04	3.64	0.81	2.99	1.95	4.90	0.30	0.10	0.14	5.43	99.46	1.80	6.85	2.51	70
Kl3-45	蚀变黑色隐爆角砾岩	66.08	13.75	0.03	5.37	0.54	0.75	0.23	7.34	0.32	0.09	0.15	4.65	99.30	1.92	7.57	31.91	75
ZKl3-53	蚀变黑色隐爆角砾岩	67.60	14.69	0.31	4.48	0.54	0.50	0.24	7.88	0.30	0.13	0.03	2.41	99.11	2.24	8.12	32.83	80
ZK4-8	蚀变黑色隐爆角砾岩	63.32	13.74	0.05	3.49	1.16	4.36	0.81	5.60	0.33	0.12	0.08	6.27	99.33	2.30	6.41	6.91	64
Cjz-122	浅红色粗粒花岗岩	76.14	11.70	0.73	1.47	0.18	0.56	3.75	4.69	0.21	0.03	0.04	0.10	99.60		8.44	1.25	94
Cjz-55	细粒花岗岩脉	75.26	13.92	0.47	0.80	0.17	0.47	3.09	4.24	0.23	0.04	0.03	1.43	100.15		7.33	1.37	91
Cjz-90-2	含矿二长花岗岩斑岩	72.48	13.58	1.00	1.02	0.15	0.34	0.29	10.13	0.20	0.06	0.03	0.84	100.12		10.42	34.93	93
GS2	二长花岗岩斑岩	75.52	12.37	1.66	0.50	0.07	0.20	0.22	7.17	0.10	0.03	0.08	1.54	99.46		7.39	32.59	91
Cjz-116	太古代混合片麻岩	64.20	17.28	1.78	2.19	0.67	3.16	6.01	3.35	0.35	0.21	0.09	0.29	99.58		9.36	0.56	
Cjz-118	太古代角闪斜长片麻岩	60.25	16.79	3.22	2.98	1.87	4.27	6.05	2.35	0.48	0.41	0.14	0.73	99.54		8.4	0.39	
Cjz-120	太古代斜长角闪片麻岩	58.74	16.87	2.87	3.96	2.44	4.94	6.29	1.43	0.59	0.50	0.12	0.75	99.50		7.72	0.23	
Ysd-1	长城系浅绿色混合花岗岩	76.92	14.09	1.96	0.92	0.26	0.32	0.18	3.65	0.18	0.02	0.05	1.60	100.15		3.83	20.28	84

测试单位:核工业部北京地质研究院。GS2,GS3,GS4 据内蒙古赤峰地质调查院<sup>①</sup>。

的野苏堂,亦发现有与陈家杖子相似的隐爆角砾岩筒,其矿物组成、结构、构造特征相同,由表1可见,两者的主要化学成分也完全相同,说明两者具有相同的岩浆来源。

矿区内的蚀变黑色隐爆角砾岩的形成晚于灰白色含角砾岩屑晶屑凝灰岩,是矿区深部的主要容矿岩石,其  $K_2O$ 、 $Na_2O$  含量与后者相似;其  $SiO_2$  含量为 63.3%~69.6%,平均 65.4%,明显低于后者;其分异指数(平均 72.3)相对较低;其  $FeO$ 、 $CaO$  含量分别平均为 4.25%及 2.15%,明显高于后者(分别为 1.69%及 0.9%)。

侵入于隐爆角砾岩筒中的二长花岗岩斑岩脉主要呈北东向展布,其产状与主矿体一致,且空间分布与矿体分布有一定关系,岩石蚀变强烈,是金矿体的重要容矿围岩。其  $SiO_2$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$  含量与主角砾岩体几乎完全一致,说明两者为同源岩浆演化的产物。尽管隐爆角砾岩体外围的中粗粒花岗岩、细粒花岗

岩脉的  $K_2O/Na_2O$  比值相对较低,但其主要氧化物含量亦与主角砾岩体基本一致。

## 5 岩(矿)石稀土元素和微量元素特征

表2所列为陈家杖子主要岩(矿)石的稀土元素及微量元素分析数据;图3为主要岩(矿)石的稀土元素配分模式图(图3a和3c)和微量元素蛛网图(图3b和3d)。陈家杖子主要含矿岩石及花岗岩围岩均表现为轻稀土元素富集,稀土元素配分曲线为右倾型, $LREE/HREE$  比值为 7.28~17.66,除个别样品(Cjz-16)外,岩石一般具有负  $Eu$  异常, $\delta Eu$  值为 0.20~0.93,一般大于 0.5,说明岩浆在形成过程中经历了斜长石的结晶分异作用。矿区外围的元古代混合花岗岩出现强烈的  $Eu$  异常( $\delta Eu = 0.25$ ),与矿区花岗岩和容矿岩石有较大差别。Cjz-16 样品出现正  $Eu$  异常,可能与其含有大量外来花岗岩角砾,对其稀土

① 内蒙古自治区赤峰地质调查院, 2002. 冀蒙相邻地区矿点检查及综合异常查证报告(内部资料)。

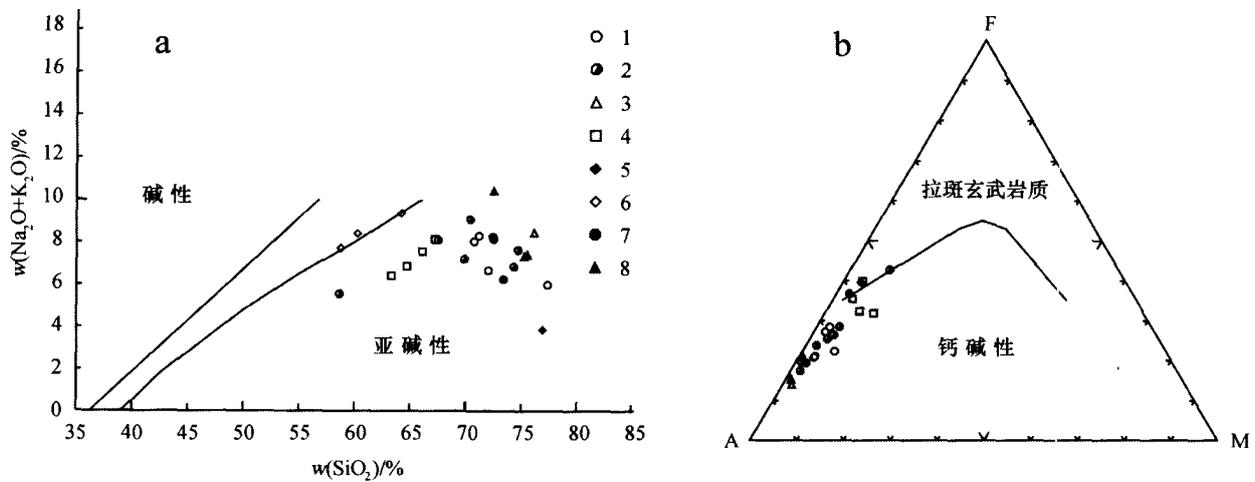


图 2 陈家杖子金矿主要岩(矿)石及围岩  $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  图(a)和 AFM 图解(b)

(底图引自 Irvine and Baragar, 1971)

- 1—含角砾岩屑晶屑凝灰岩; 2—蚀变角砾晶屑凝灰岩; 3—矿区花岗岩; 4—黑色隐爆角砾岩; 5—元古代混合岩化花岗岩;
- 6—晚太古代变质岩; 7—野苏堂隐爆角砾岩; 8—矿区蚀变二长花岗岩脉

Fig. 2  $\text{SiO}_2 - (\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$  (a) and AFM (b) diagram of major ores and rocks in Chenjiazhangzi gold deposit (after Irvine and Baragar, 1971)

- 1—Breccia-bearing crystal fragment and lithic tuff; 2—Altered crystal fragment and lithic tuff; 3—Granite in the ore district; 4—Black explosive breccia; 5—Protozoic migmatited granite; 6—Late Archaean meta morphic rock; 7—Cryptoexplosive breccia from Yesutang; 8—Altered adamellite dike in the ore district

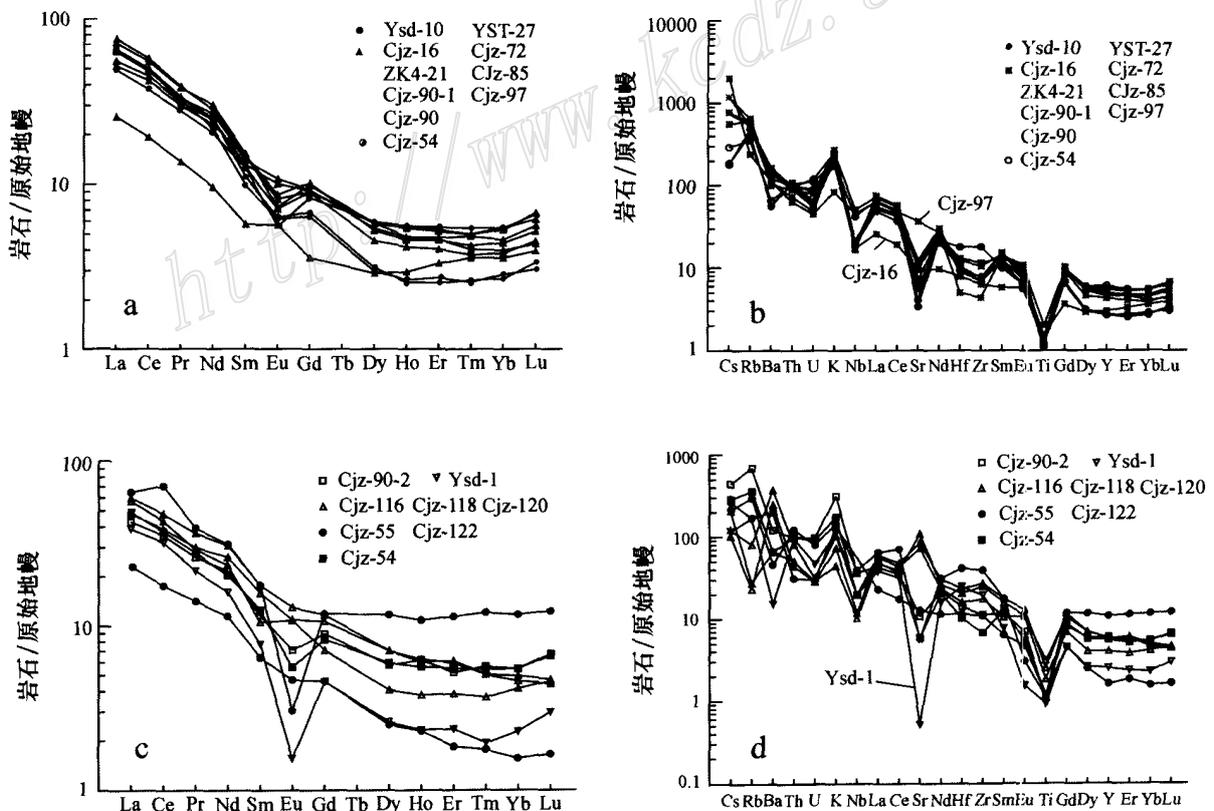


图 3 陈家杖子金矿主要岩(矿)石稀土元素配分模式(a, c)和微量元素蛛网图(b, d)

(样品岩性参见表 1)

Fig. 3 Primary mantle normalized REE (a, c) and trace element patterns (b, d) of major rocks and ores in Chenjiazhangzi gold deposit

表2 陈家杖子金矿岩(矿)石稀土元素及微量元素分析结果  
Table 2 REE and trace element composition of major rocks and ores from Chenjiazhangzi gold deposit

样品号	$w_B/10^{-6}$																
	Cjz-54	ZK4-21	Cjz-16	Cjz-72	Cjz-85	Cjz-90	Cjz-97	Cjz-90-1	Ysd-10	YST-27	Cjz-122	Cjz-55	Cjz-90-2	Ysd-1	Cjz-116	Cjz-118	Cjz-120
La	30.88	45.02	16.17	32.78	35.06	47.71	39.84	41.24	41.13	41.3	40.82	14.59	27.09	24.42	35.9	37.79	30.19
Ce	59.4	87.68	30.65	67.12	71.59	91.36	76.44	79.45	76.57	77.93	112.44	27.93	56.26	51.02	68.87	75.97	61.67
Pr	6.96	9.59	3.43	7.53	7.89	9.81	8.27	8.49	8.28	8.06	9.86	3.55	6.54	5.43	7.27	9.15	7.51
Nd	24.6	36.62	11.64	27.62	29.43	33.99	32.36	29.83	30.33	26.3	37.88	13.87	26.21	19.45	28.4	37.25	31.64
Sm	5	6.1	2.29	5.85	5.22	5.95	5.58	5.03	4.44	3.94	7.06	2.56	4.64	3.1	4.21	7.06	6.33
Eu	0.84	1.09	0.85	1.22	1.51	1.3	1.62	1.07	0.94	0.92	0.46	0.7	1.06	0.23	1.62	1.95	1.64
Gd	4.41	5.25	1.91	4.78	4.84	5.42	4.92	4.75	3.62	3.4	6.33	2.45	4.77	2.43	3.78	6.23	5.69
Tb	0.7	0.75	0.28	0.77	0.68	0.75	0.71	0.64	0.47	0.43	1.27	0.37	0.69	0.34	0.49	0.85	0.85
Dy	3.92	3.85	1.91	3.86	3.83	3.47	3.57	3.02	2.06	1.96	7.73	1.65	3.81	1.72	2.68	4.65	4.64
Ho	0.83	0.71	0.44	0.82	0.8	0.68	0.7	0.62	0.38	0.39	1.6	0.34	0.91	0.34	0.56	0.89	0.92
Er	2.37	2.05	1.43	2.29	2.24	1.98	2	1.74	1.09	1.17	4.92	0.79	2.24	1.02	1.66	2.63	2.55
Tm	0.37	0.33	0.24	0.34	0.34	0.29	0.27	0.25	0.18	0.17	0.81	0.12	0.38	0.13	0.25	0.34	0.34
Yb	2.4	2.03	1.58	2.34	2.41	1.95	1.76	1.68	1.18	1.25	5.16	0.69	2.41	1	1.83	2.19	2.03
Lu	0.43	0.37	0.26	0.44	0.4	0.34	0.29	0.3	0.22	0.2	0.81	0.11	0.44	0.2	0.3	0.31	0.29
ΣREE	143.1	201.5	73.1	157.8	166.3	205.0	178.3	178.1	170.9	167.4	237.2	69.7	137.5	110.8	157.8	187.3	156.3
ΣLREE	127.7	186.1	65.0	142.1	150.7	190.1	164.1	165.1	161.7	158.5	208.5	63.2	121.8	103.6	146.3	169.2	139.0
ΣHREE	15.4	15.3	8.0	15.6	15.5	14.9	14.2	13.0	9.2	9.0	28.6	6.5	15.6	7.2	11.6	18.1	17.3
ΣLREE/ΣHREE	8.3	12.1	8.1	9.1	9.7	12.8	11.6	12.7	17.6	17.7	7.3	9.7	7.8	14.4	12.7	9.4	8.0
La <sub>N</sub> /Yb <sub>N</sub>	0.87	1.5	0.69	0.95	0.99	1.66	1.54	1.66	2.36	2.24	0.54	1.44	0.76	1.65	1.33	1.17	1.01
δEu	0.53	0.57	1.21	0.68	0.9	0.69	0.93	0.66	0.7	0.75	0.2	0.85	0.69	0.25	1.22	0.88	0.82
Cr	7.19	48.83	12.91	4.45	2.63	14.99	14.57	8.08	10.2	2.78	3.19	3.4	3.32	1.99	2.67	6.49	3.66
Co	1.37	1.21	1.42	2.09	2.08	4.86	5.91	4.78	1.25	0.23	1.46	0.8	2.41	1.23	4.96	12.05	14.02
Ni	1.89	3.91	2.31	2.67	1.74	6.53	8.17	4.72	3.73	0.68	1.55	5.34	3.73	5.71	3.67	7.03	5.82
Cu	134	560	24	119	31	62	30	336	118	17	12	12	194	414	11	9	7
Zn	290	31	143	416	132	1134	339	841	183	36	69	117	416	46	82	114	119
Rb	199	296	343	324	300	362	133	314	232	271	165	94	380	93	45	13	15
Sr	112	230	176	104	135	204	693	186	76	63	107	241	203	10	1365	1593	2046
Y	23.41	19.03	11.55	21.75	21.18	17.52	19.09	16.46	10.29	10.37	42.31	6.32	21.63	9.76	15.8	22.74	22.88
Zr	66.56	74.94	61.88	102.05	112.5	67.71	42.4	68.26	76	177.01	386.25	107.46	110.6	190.85	171.16	266.53	245.37
Nb	12.84	33.29	11.18	12.16	13.25	11.1	29.42	10.78	27.57	13.47	25.39		23.83	12.98	12.85	7.73	6.68
Sn	2.02	7.57	2.32	1.42	3.84	5.78	2.12	14.63	6.08	5.46	4.53	1.14	3.52	30.03	1.29	1.5	1.81
Cs	2.02	5.38	3.91	5.46	8.25	8.25	13.85	5.12	1.3	1.26	1.5	1.85	3.1	0.82	0.85	0.72	1.44
Hf	2.87	2.83	2.17	3.41	3.63	2.47	1.39	2.5	2.57	11.56	3.23	3.97	4.45	4.98	6.54	5.77	6.93
Ta	1.1	1	0.82	1.07	1.23	0.89	0.46	0.84	1.08	1.9		1.16	0.62	1.26	0.34	0.22	1.17
Pb	619	33	1240	766	16	55	16	72	141	29	49	80	46	339	16	13	34
Bi	2.07	4.78	1.36	1.79	0.54	0.71	0.56	1.03	5	0.04		0.59	0.13	2.43	0.01		1.19
Th	8.79	9.65	6.43	7.87	8.74	8.86	5.6	8.06	9.22	10.78	2.76	8.64	7.15	8.55	3.89	4.47	8.37
U	1.98	1.41	1.07	1.75	1.89	1.26	0.99	1.23	2.47	1.76	0.66	2.14	0.7	2.65	0.63	0.65	1.04
Ba	413	739	690	884	1020	753	703	622	352	951	288	1265	759	96	2335	1541	415

测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所。样品岩性同表1。

元素造成干扰有关。

微量元素蛛网图(图3b, 3d)显示,矿区主要含矿岩石(灰白色含角砾岩屑晶屑凝灰岩和黑色隐爆角砾岩)(Cjz-97、Cjz-16样品除外)具有明显的Ti、Nb、Sr、Ba、Th、U亏损,K富集;矿区花岗岩微量元素的特征与此相似,也显示Ti、Nb、Sr、Ba、Th、U亏损,二长花岗斑岩有个别样品的Sr异常不明显。矿

区的太古代片麻岩与含矿岩石有较大差别,主要表现为具有明显的Sr、Ba正异常,与一般太古代英云闪长岩的分配形式类似(王时麒等,1994)。总体上,矿区主要容矿围岩的微量元素特征与大陆边缘正常弧非成熟花岗岩的微量元素特征相符,说明其岩浆来源具有大陆壳特征(Brown et al., 1984)。在岩石化学成分R1-R2图及微量元素Rb/10-Hf-Ta\*3图

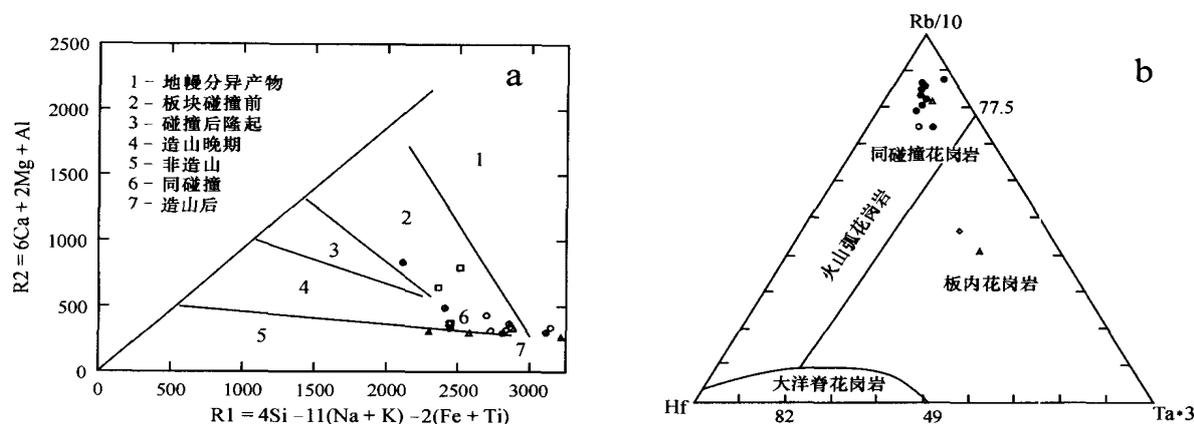


图 4 陈家杖子金矿主要岩(矿)石及围岩的 R1-R2 图解(a)和 Rb/10-Hf-Ta\*3 图解(b)

(图例同图 2。图 4a 底图引自 Batchelor & Bowden, 1985; 图 4 b 底图引自 Harris 等, 1986)

Fig. 4 R1-R2 (a) and Rb/10-Hf-Ta\*3 (b) diagram of major rocks and ores in Chenjiazhangzi gold deposit

(Fig. 4a after Batchelor & Bowden 1985; Fig. 4b after Harris et al., 1986)

上,含矿角砾岩和矿区花岗岩类岩石的投点都落在同碰撞花岗岩区(图 4)。

## 6 流体包裹体特征及成矿温压条件

### 6.1 流体包裹体类型

含金隐爆角砾岩中的晶屑石英及硫化物-石英脉中的石英均富含流体包裹体。流体包裹体按其气液相比例可分为 4 种类型,即富气相包裹体(气相充填度在 50% 以上)、气液包裹体(气相充填度为 5%~30%)、富液相包裹体(气相充填度在 10% 以下)、含子晶多相包裹体。其形态一般呈石英负晶形或椭圆形,为原生包裹体,大小一般为 2~10  $\mu\text{m}$ ,少数达 20~30  $\mu\text{m}$ 。

灰白色隐爆角砾岩与黑色隐爆角砾岩中的流体包裹体在类型上有一定差异。前者的石英含有以上 4 种类型包裹体,而後者的石英仅含(富  $\text{CO}_2$ )气液包裹体和含子晶多相包裹体 2 种类型。

单个石英颗粒通常含有多种类型流体包裹体,晶屑石英含有的包裹体类型较多。灰白色和黑色隐爆角砾岩中的晶屑石英以具高盐度含子晶的多相包裹体和富  $\text{CO}_2$  气液包裹体为主,并可见少量纯  $\text{CO}_2$  包裹体,个别纯  $\text{CO}_2$  包裹体中见有含液相  $\text{CO}_2$  和气相  $\text{CO}_2$  的两相包裹体。含子晶多相包裹体的气相充填度为 10%~20%,所含子晶一般为石盐或钾盐,有时为不透明的金属矿物,但无法判断其矿物种类。

在灰白色隐爆角砾岩的晶屑石英中,还可见到少量富气相和富液相包裹体。

在两种隐爆角砾岩内,产于石英-硫化物脉中的脉石英,其所含流体包裹体的特征与晶屑石英中的相似,以富  $\text{CO}_2$  气液包裹体、纯  $\text{CO}_2$  包裹体和含子晶矿物多相包裹体为主,可见含液相  $\text{CO}_2$ 、气相  $\text{CO}_2$  和水溶液相的 3 相包裹体。脉石英中纯  $\text{CO}_2$  包裹体的数量明显多于晶屑石英,但大小则明显小于晶屑石英中的包裹体。脉石英中也可见高盐度多相包裹体,其子矿物以立方体的石盐为主。灰白色隐爆角砾岩中的脉石英还含有少量富液相包裹体。

### 6.2 包裹体均一温度

流体包裹体均一温度测定结果见表 3 和图 5。灰白色隐爆角砾岩内流体包裹体的均一温度总体上可分为 150~180  $^{\circ}\text{C}$  和 215~420  $^{\circ}\text{C}$  两组(图 5a)。

215~420  $^{\circ}\text{C}$  组属于中高温热液范围,与(富  $\text{CO}_2$ )气液包裹体、含子晶多相包裹体和富气相包裹体对应,盐度  $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$  为 15.6%~19.3%。晶屑石英中富气相包裹体的均一温度较高,其平均均一温度变化范围为 358~385  $^{\circ}\text{C}$ 。

灰白色隐爆角砾岩内晶屑石英与脉石英中的(富  $\text{CO}_2$ )气液包裹体和含子晶多相包裹体的均一温度范围基本一致,大部分在 235~360  $^{\circ}\text{C}$  之间(图 5a),处于中温热液范围;部分在 360~420  $^{\circ}\text{C}$  之间,处于中高温热液范围,与晶屑石英中富气相包裹体的均一温度范围一致,说明两者可能是流体在该温度

表3 陈家杖子金矿流体包裹体均一温度  
Table 3 Homogenization temperature of fluid inclusions from Chenjiazhangzi gold deposit

岩性	寄主矿物	包裹体类型	大小/ $\mu\text{m}$	气相充填度/%	$t_m(\text{CO}_2, \text{cla})$ / $^{\circ}\text{C}$	$w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ /%	$t_h$ 范围/ $^{\circ}\text{C}$	单样品平均 $t_h$ / $^{\circ}\text{C}$	测试 样品数
灰白色蚀变隐爆角砾岩	晶屑石英	富气相包裹体	3~12	多数在100, 少数50~65			350~390	358~385	6
灰白色蚀变隐爆角砾岩(野苏堂)	晶屑石英	气液包裹体	4~11	13~32 (18~27)			250~390	267~373	2
含硫化物黑色隐爆角砾岩	晶屑石英	富 $\text{CO}_2$ 气液包裹体或多相包裹体	4~20	5~50 (10~30)	-0.8~-7.0	16.3~40.5	224~410	230~346	6
灰白色含硫化物蚀变隐爆角砾岩	晶屑石英	富 $\text{CO}_2$ 气液包裹体	3~24,多数为3~15	10~26	-1.7~-5.0	4.65~19.3	215~366	231~332	10
含硫化物脉灰黑色贯入角砾岩	脉石英	富 $\text{CO}_2$ 气液包裹体或多相包裹体	1~12	5~23 (5~19)	-0.7~-1.3	16.2~16.8	190~333	217~313	4
灰白色含石英-硫化物脉角砾凝灰岩	脉石英或方解石	富 $\text{CO}_2$ 气液包裹体	2~30	5~40 (11~23)	-0.1~-5.0	6.59~19.3	236~338	271~323	9
灰白色含石英-硫化物脉角砾凝灰岩	晶屑石英和脉石英	富液相包裹体	2~6,少数达20	<5~10	-0.7~-1.0	0.88~1.74	143~258	152~241	5

测试单位及测试者:北京科技大学谢玉玲、杨志明;中国科学院地质与地球物理研究所谢奕汉。盐度计算:多相包裹体以盐溶温度计算;富 $\text{CO}_2$ 包裹体按 $\text{NaCl}-\text{H}_2\text{O}-\text{CO}_2$ 体系以 $\text{CO}_2$ 笼形物的溶解温度计算。括号内数字为气相充填度的主要范围。

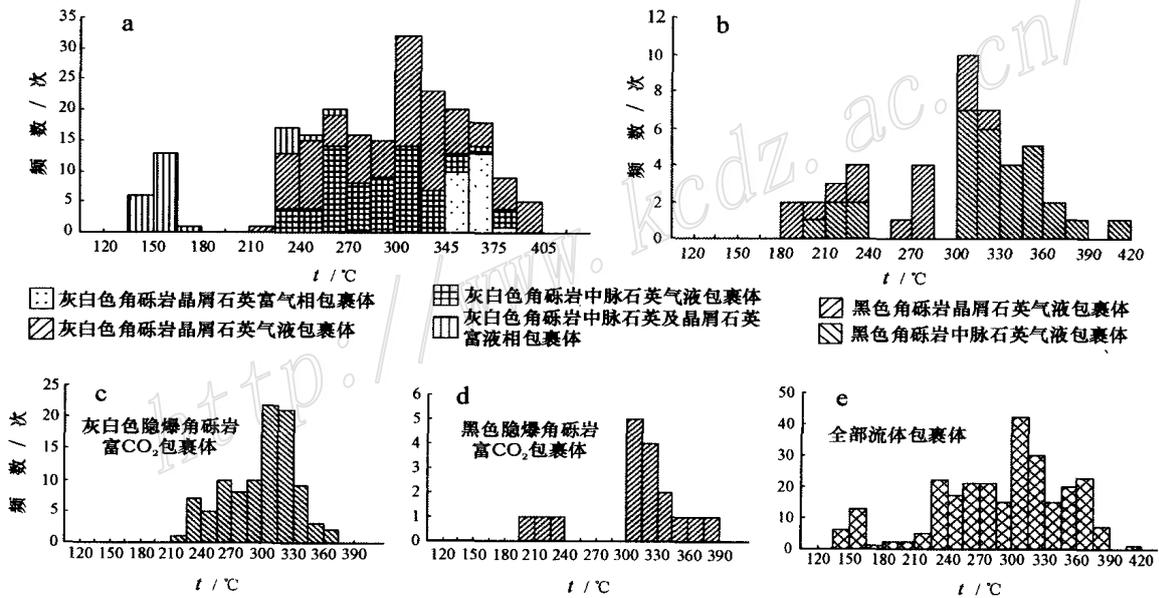


图5 陈家杖子金矿石英内流体包裹体均一温度直方图

Fig.5 Histogram showing homogenization temperature of fluid inclusions in quartz from Chenjiazhangzi gold deposit

阶段发生不混溶作用的产物。215~420 $^{\circ}\text{C}$ 组温度范围可以代表灰白色隐爆角砾岩中主要石英-硫化物脉形成时的温度,该阶段同时伴有绢云母化、碳酸盐化、早期硅化等热液蚀变。

150~180 $^{\circ}\text{C}$ 组温度属于低温热液范围,与富液相包裹体对应,盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为0.88%~1.74%,代表晚期石英-方解石-硫化物脉及冰长石化、晚期硅化的环境温度。

上述阶段均伴有金矿化,说明与灰白色隐爆角

砾岩有关的金矿化形成于中高温-低温热液环境。

黑色隐爆角砾岩中石英内流体包裹体的均一温度可分为180~240 $^{\circ}\text{C}$ 、255~285 $^{\circ}\text{C}$ 、300~390 $^{\circ}\text{C}$ 三组(图5b),少数样品的均一温度超过400 $^{\circ}\text{C}$ ,属于中高温-中温热液范围。晶屑石英中包裹体的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为16.3%~40.5%,其均一温度主要为195~240 $^{\circ}\text{C}$ 和300~390 $^{\circ}\text{C}$ 两组。脉石英中包裹体的盐度 $w(\text{NaCl}_{\text{eq}})$ 为16.2%~16.8%,其均一温度可分为180~240 $^{\circ}\text{C}$ 、255~285 $^{\circ}\text{C}$ 、300~330 $^{\circ}\text{C}$ 三组,有

一组与晶屑石英的一致,一组为部分重合。金矿化主要与石英-硫化物脉有关,推测由脉石英和晶屑石英包裹体测温获得的 180 ~ 330 °C 温度范围应是金沉淀的主要温度,说明与黑色隐爆角砾岩有关的金矿化主要形成于中温热液阶段。而晶屑石英中的 330 ~ 390 °C 温度可能代表绢云母化和早期硅化蚀变时的环境温度。与灰白色隐爆角砾岩石英的测温数据相比较,脉石英缺少 330 °C 以上中高温数据组和 180 °C 以下低温数据组,说明两者的流体演化和成矿演化有一定差异。

将富 CO<sub>2</sub> 包裹体单独分出来,由图 5c 和 5d 可见,灰白色隐爆角砾岩中富 CO<sub>2</sub> 包裹体的均一温度主要为 225 ~ 360 °C,黑色隐爆角砾岩中富 CO<sub>2</sub> 包裹体的均一温度主要集中于 300 ~ 390 °C,少数为 195 ~ 240 °C,CO<sub>2</sub> 包裹体均一温度总体范围(195 ~ 390 °C)与金矿化的主要形成温度范围一致,似乎暗示金矿的沉淀与流体富含 CO<sub>2</sub> 有关。

在本矿区,无论是晶屑石英还是脉石英内的流体包裹体,均以富 CO<sub>2</sub> 为特征,根据高盐度包裹体主要含钾盐和石盐子晶,推断高盐度包裹体主要为 KCl-NaCl-H<sub>2</sub>O 体系,富 CO<sub>2</sub> 包裹体为 NaCl(KCl)-CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 体系。

总体上,本区内各种类型包裹体的均一温度都具有分组特征,尤以 225 ~ 390 °C 温度范围最为集中(图 5e),其次为 150 ~ 180 °C,揭示含矿热液从中高温至低温是分阶段演化的,与成矿的多阶段性一致。

根据气液包裹体的盐度、气相充填度、CO<sub>2</sub> 液相均一温度,可以估算流体包裹体形成时的压力。本文采用 CO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-NaCl 体系来估算压力(刘斌等,1998),压力值范围一般为 72 × 10<sup>5</sup> ~ 158 × 10<sup>5</sup> Pa,静岩压力相当于 255 ~ 560 m 深度,属超浅成范围。

## 7 岩(矿)石同位素特征

### 7.1 矿石硫同位素组成

本区各矿脉中黄铁矿、毒砂、胶状黄铁矿占硫化物总量的 90% 以上,因此,可用它们的 δ<sup>34</sup>S<sub>V.CDT</sub> 值代表本区的总硫同位素组成(表 4)。由表 4 可见,本区每个矿体的硫同位素组成相对比较集中,为单峰塔式,δ<sup>34</sup>S<sub>V.CDT</sub> 变化范围为 5.3‰ ~ 9.4‰,多数集中在 5.3‰ ~ 6.7‰ 这一狭窄范围内,极差为 4.1‰,均值为 6.6‰。说明诸矿体具有单一硫来源,并且在相同的物理化学条件下形成。表明硫主要为深源,即主

表 4 陈家杖子金矿硫同位素分析结果

Table 4 Sulphur isotope data of major sulphides in Chenjiazhangzi gold deposit

样品号	岩性	测试矿物	δ <sup>34</sup> S <sub>V.CDT</sub> /‰
Cjz-89	硫化物胶结角砾岩	毒砂	6.7
Cjz-89	硫化物胶结角砾岩	黄铁矿	9.4
Cjz-88	硫化物胶结角砾岩	黄铁矿	6.4
Cjz-88	硫化物胶结角砾岩	胶状黄铁矿	5.3
Cjz-106	蚀变隐爆角砾岩	毒砂	6.5
Cjz-106	蚀变隐爆角砾岩	黄铁矿	5.3

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所。

要来自岩浆。

### 7.2 氢氧同位素特征

表 5 为陈家杖子金矿主要岩石的全岩氧同位素和脉石英内流体包裹体的氢氧同位素组成测试结果,其中,小松树沟是陈家杖子金矿西南约 4 km 处的石英脉型金矿点。对隐爆角砾岩和花岗岩的氧同位素,测试的是全岩样品。由表 5 可见,矿区内与金矿化有关的灰白色隐爆角砾岩和黑色隐爆角砾岩及侵入两者的二长花岗斑岩脉的氧同位素组成非常相近,δ<sup>18</sup>O<sub>V.S.MOW</sub> 值在 11.3‰ ~ 12.5‰ 之间,表明三者的岩浆源具有明显的亲缘关系。三者的氧同位素值明显高于早期侵入的中粗粒花岗岩(δ<sup>18</sup>O = 8.6‰),显示出它们之间在岩浆演化和来源方面可能存在差异,但总体上全岩氧同位素值仍属于 I 型花岗岩范围,结合岩石的锶同位素 I<sub>sr</sub> 为 0.7082 ~ 0.70118,显示壳幔混源特征,推测岩浆岩的源岩为来自中、下地壳的火成岩经部分熔融而形成。

矿石内石英中流体包裹体的氢氧同位素组成对探讨成矿流体来源有重要意义,但由于隐爆角砾岩中的脉石英难以分离,故仅获得一组氢氧同位素数据。脉石英的 δ<sup>18</sup>O<sub>矿物</sub> 为 10.9‰,δ<sup>18</sup>O<sub>H<sub>2</sub>O</sub> 为 1.9‰,δD 为 -77‰。在氢氧同位素图解(图 6)上,脉石英中流体包裹体水的投影点位于岩浆水与大气水之间,赤峰地区其他石英脉型金矿点(红花沟、安家营子、金厂沟梁等)的流体包裹体水的投影点位置与此类似(王时麒等,1994;李延河等,1990),都位于岩浆水与大气降水之间,但分布区间不完全相同。这说明该地区金矿床具有相似的成矿流体来源,为岩浆水与大气降水混合来源;各矿区投影点范围的差异与不同来源水的比例、成矿时的物理化学环境、水-岩比值等多种因素有关。陈家杖子金矿晶屑石英和部分脉石英内发育含石盐子晶多相包裹体和富 CO<sub>2</sub>

表5 陈家杖子金矿氢氧同位素测试结果

Table 5 Hydrogen and oxygen isotope composition of rocks and quartz in Chenjiazhangzi gold deposit

样品号	采样位置	岩性	$\delta^{18}\text{O}_{\text{V.S.MOW}}/\text{‰}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{‰}$	$\delta\text{D}_{\text{V.S.MOW}}/\text{‰}$	$t_{\text{h}}/\text{℃}$
Cjz-124	陈家杖子	中粗粒花岗岩	8.6			
Cjz-28-2	陈家杖子	二长花岗岩脉	12.2			
Cjz-87	陈家杖子	灰白色角砾晶屑凝灰岩	12.1			
Zk4-21	陈家杖子	灰白色角砾晶屑凝灰岩	11.6			
Zk4-8	陈家杖子	黑色隐爆角砾岩	11.3			
Zk13-67	陈家杖子	黑色隐爆角砾岩	12.5			
Cjz-98	陈家杖子	脉石英	10.9	1.9	-77	250
Xsh-1	小松树沟	脉石英	12.0	5.7	-75	319

测试单位:中国地质科学院矿产资源研究所。

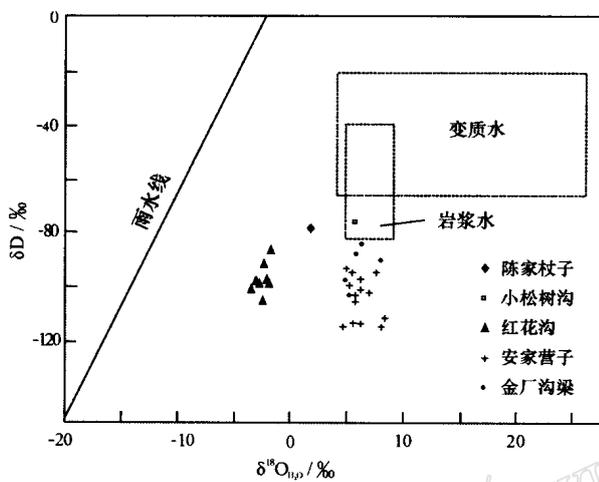


图6 赤峰南部主要金矿床氢氧同位素组成图解(底图引自 Taylor, 1974)

(红花沟、金厂沟梁、安家营子的资料引自王时麒等, 1994)

Fig. 6  $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$  isotope plot of major gold deposits in Chifeng area (after Taylor, 1974)

包裹体,其均一温度相对较高,而富液相包裹体及低盐度包裹体的均一温度较低,说明陈家杖子金矿成矿早期和中期阶段应以岩浆水来源为主,大气降水较少,而在晚期阶段则有大量低盐度大气降水加入。

### 7.3 铅同位素特征

为探讨金矿的成矿物质来源,对矿区内主要岩(矿)石的铅同位素组成进行了测试,结果见表6。矿区内硫化物单矿物(表6中序号1~6)的铅同位素组成非常稳定,其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值分别为16.693~16.844、15.282~15.457、36.712~37.425,  $\mu$ 值为7.89~8.16,变化范围较小。根据铅同位素组成计算的模式年龄为591~622 Ma,相当于晚元古代末期(晚震旦世),说明成矿铅是在晚元古代末期的构造岩浆活动(晋宁运动)中从

源区分离出来的,而后受燕山期构造岩浆活动的影响,被加入到成矿热液中。矿区内主要容矿岩石(含角砾岩屑晶屑凝灰岩)和主要矿化围岩(花岗岩)的全岩铅同位素组成变化略大,个别样品(Cjz-85)出现异常铅,这可能与所测样品为全岩而含有少量放射性成因铅有关,但多数样品的铅同位素组成与矿石的相近,其 $\mu$ 值为7.89~8.08,模式年龄为478~912 Ma,亦主要反映晋宁期构造运动的影响,说明铅与岩浆具有共同的物源特征。矿区内晚太古代建平群变质岩的铅同位素模式年龄亦在558~801 Ma之间,说明晋宁期构造运动对本区岩石有广泛影响。矿区外围侏罗纪、白垩纪酸性火山熔岩的铅同位素模式年龄(110~291 Ma)与之有较大差别,显示两者的岩浆源区可能有差别。

图7为本区主要岩(矿)石的铅同位素在Z (Zartman)-D(Doe)铅演化模式图上的投影。为便于对比分析,在该图上同时给出了陈家杖子矿区东北约30 km处的安家营子金矿矿石及花岗岩铅同位素投影点,安家营子金矿为石英脉型,矿脉产于燕山晚期花岗岩中(王时麒等,1994)。从该图可以看出,两个矿区的大多数铅同位素均投影在上地幔与下地壳演化线之间,以陈家杖子矿石铅表现得最为明显,投影点大致沿一条等值线分布,显示出铅的来源为两种端元组分的混合,说明铅可能为下地壳和上地幔混合来源。安家营子矿区的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值相对较高,但也主要分布在下地壳与上地幔演化曲线之间,同样显示出混合来源的特点。安家营子铅同位素变化范围相对较小,可能与其成矿岩体的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 较高、岩体规模较大、铅在岩浆作用过程中经历的均一化作用相对较强等有关。

### 7.4 铋、钨同位素特征

表7列出了矿区主要含矿岩石及邻区相关岩石

表 6 陈家杖子金矿主要矿石及围岩铅同位素测试结果

Table 6 Lead isotope composition of major ore and wall rocks in Chenjiazhangzi gold deposit

序号	样号	测试对象	采样位置	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$t/\text{Ma}$	$\mu$	U/Pb	Th/Pb
1	Cjz-88	胶状黄铁矿	陈家杖子	16.756	15.348	36.873	619	8.00	0.1331	4.02
2	Cjz-106	黄铁矿	陈家杖子	16.693	15.282	36.712	591	7.89	0.1313	3.96
3	Cjz-89	毒砂	陈家杖子	16.733	15.332	36.865	619	7.98	0.1327	4.03
4	Cjz-132	黄铜矿	陈家杖子	16.828	15.398	37.020	622	8.08		
5	Cjz-132	闪锌矿	陈家杖子	16.844	15.457	37.425	659	8.16		
6	Cjz-132	毒砂	陈家杖子	16.734	15.301	36.861	600	7.95		
7	ZK4-21	含角砾晶屑岩屑凝灰岩	陈家杖子	16.753	15.292	36.885	553	7.90	0.1315	4.02
8	Cjz-85	含角砾晶屑岩屑凝灰岩	陈家杖子	19.370	15.600	37.505				
9	Cjz-91	二长花岗斑岩	陈家杖子	16.844	15.298	36.936	478	7.89	0.1314	3.98
10	Cjz-121	花岗岩	陈家杖子	16.416	15.201	36.539	912	8.08	0.1345	4.08
11	Cjz-124	花岗岩	陈家杖子	16.583	15.286	36.817	686	7.91	0.1317	4.10
12	Cjz-116	晚太古代混合片麻岩	陈家杖子	16.816	15.347	37.111	558	7.98	0.1327	4.10
13	Cjz-118	晚斜长角闪片麻岩	陈家杖子	16.509	15.331	36.942	801	8.01	0.1332	4.23
14	Lmd-1	晚侏罗世含角砾熔结凝灰岩	喇嘛洞	17.491	15.330	37.710				
15	Lmd-4	晚侏罗世含角砾熔岩	喇嘛洞	17.266	15.295	37.462	110	7.85	0.1306	3.97
16	Gd-1	白垩纪火山岩	官地金矿	17.143	15.350	37.429	291	7.95	0.1323	4.05
17	Tjy-17	长城系硅质糜棱岩	陶家营子	18.383	15.439	38.870				
18	Tjy-22	长城系硅质糜棱岩	陶家营子	17.167	15.254	37.152	138	7.78	0.1295	3.87

测试单位：核工业部北京地质研究院。

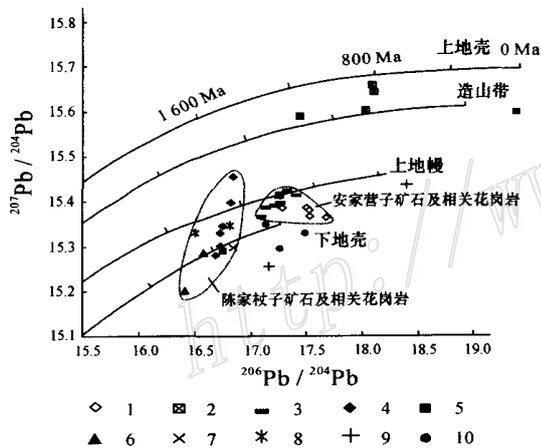


图 7 陈家杖子金矿主要岩(矿)石  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  铅同位素演化图

1—安家营子花岗岩; 2—安家营子变质岩; 3—安家营子矿石单矿物; 4—陈家杖子矿石单矿物; 5—陈家杖子隐爆角砾岩; 6—陈家杖子花岗岩; 7—陈家杖子二长花岗岩; 8—陈家杖子变质岩; 9—陶家营子糜棱岩; 10—陈家杖子矿区外围火山岩

Fig. 7  $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  evolutionary diagram of major rocks and ores in Chenjiazhangzi gold deposit

1—Anjiayingzi granite; 2—Anjiayingzi meta morphic rocks; 3—Individual mineral in Anjiayingzi ore; 4—Individual mineral in Chenjiazhangzi ore; 5—Chenjiazhangzi cryptexplosive beecia; 6—Chenjiazhangzi granite; 7—Chenjiazhangzi adamellite; 8—Chenjiazhangzi meta morphic rocks; 9—Taojiayingzi mylonite; 10—Volcanic rocks in the periphery of the ore deposit

的 Sr、Nd 同位素测试结果。从表 7 可以看出,与金成矿有关的角砾岩体和二长花岗斑岩脉(Cjz-96, Cjz-28-1, ZK-8)的 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值为 0.711148 ~ 0.726863,  $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$  初始比值  $I_{\text{Sr}}$  为 0.7082 ~ 0.70118,  $\epsilon_{\text{Sr}(t)}$  为 50.64 ~ 106.8;  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$  比值为 0.511941 ~ 0.512120,  $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}(t)$  为 0.511819 ~ 0.512001,  $\epsilon_{\text{Nd}(t=177\text{Ma})}$  较低,为 -7.99 ~ -11.62。这与该地区中生代花岗岩的值一致(张理刚等, 1995),具典型大陆地壳特征,说明岩浆来源主要为大陆壳物质,在 Sr、Nd 同位素增长曲线上位于大陆壳与原始地幔源演化曲线之间。为进一步探讨成矿岩体岩浆来源,表 7 中列出了矿区外围早中生代(印支期)辉石闪长岩及其内部基性麻粒岩包体(相当于下地壳-中地壳下部岩石包体,邵济安等,1999)、晚中生代基性火山岩的 Sr、Nd 同位素数据。从中可以看出,燕山期基性火山岩、印支期基性麻粒岩包体的 Sr、Nd 同位素组成与陈家杖子成矿岩体有较好的一致性,  $\epsilon_{\text{Sr}(t)}$  为正值,  $\epsilon_{\text{Nd}(t)}$  为负值,且变化范围大致相同,接近典型的 EM I 型富集地幔源特征。其差别主要在于  $t_{\text{CHUR}}$  及  $t_{\text{DM}}$ 。  $t_{\text{DM}}$  为地幔亏损年龄,反映源区岩石从地幔分离出来的时间。矿区成矿岩体的  $t_{\text{DM}}$  为 1 272 ~ 1 580 Ma,与赤峰-朝阳地区晚中生代(燕山期)基性火山岩的  $t_{\text{DM}}$ (709 ~ 2 111 Ma)在同一范围(周新华等,2001),而与早中生代闪长岩及其内

表7 陈家杖子金矿主要含矿岩石及邻区岩石锶、钕同位素组成

Table 7 Sr and Nd isotope data of major rocks and ores in Chenjiazhangzi gold deposit and adjacent areas

样号	Cjz-96	CJz-28-1	ZK4-8	花岗岩	火山岩	Ch-4	Chl-5	Chl-6	Hn-12
岩性	含角砾晶屑岩 屑凝灰岩	二长花岗 斑岩脉	黑色隐爆 角砾岩	中生代 花岗岩	晚中生代碱性 玄武岩、安山岩	辉石闪长岩	基性麻粒 岩包体	斜长角闪 岩包体	二辉麻粒 岩包体
采样地点	陈家杖子	陈家杖子	陈家杖子	华北北缘	赤峰、朝阳	柴胡栏子	柴胡栏子	柴胡栏子	喀喇沁闪长岩
$w_{Rb}/10^{-6}$	140.62	362.93	48.3		44.2~103	33.32	15.4	14.8	12.82
$w_{Sr}/10^{-6}$	333.7	143.69	357.6		425~1160	1030	531.43	559.08	775.7
$^{87}Rb/^{86}Sr$	1.22	7.322	0.391		0.1325~0.6333	0.09344	0.084	0.065	0.04774
$^{87}Sr/^{86}Sr$	0.711148	0.726863	0.712764		0.705163~0.70816	0.707492	0.708946	0.70912	0.709906
2 $\sigma$	0.00002	0.000019	0.000025				0.000019	0.000018	0.000016
$I_{Sr}$	0.7082±0.0019	0.7085±0.0011	0.7118	0.7041~0.7180	0.7050~0.7077	0.7072	0.7087	0.7089	0.70982
$\epsilon_{Sr(t)}$	50.64	58.9	106.8		9.4~48.8	42.15	63.2	66.46	106.4
$w_{Sm}/10^{-6}$	6.09	6.55	5.92		3.63~11.8	4.35	2.31	6.79	7.04
$w_{Nd}/10^{-6}$	34.08	38.47	32.82		17.0~67.5	19.22	8.63	29.31	33.4
$^{147}Sm/^{144}Nd$	0.108	0.103	0.1091		0.1001~0.128	0.137	0.1621	0.1401	0.1275
$^{143}Nd/^{144}Nd$	0.512015	0.512120	0.511941		0.511646~0.512315	0.511963	0.512233	0.511900	0.511586
$^{143}Nd/^{144}Nd(t)$	0.511880	0.512001	0.511819		0.511553~0.512217	0.511757	0.512015	0.511711	0.511411
$\epsilon_{Nd(t)}$	-10.15	-7.99	-11.62	-11.5	-4.9~-17.8	-11.60	-6.99	-12.91	-18.78
$t_{CHUR}/Ma$	1070	843	1212		709~1708	1719	1778	1981	2307
$t_{DM}/Ma$	1467	1272	1580		1239~2111	2057	2232	2250	2453
2 $\sigma$	0.000016	0.00001	0.000009			0.000009	0.000008	0.000008	0.000009
$t/Ma$	177	177	177		135	206	206	206	230

测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所。晚中生代火山岩数据引自周新华等,2001;Hn-12样品的数据引自韩庆军等,1999,其年龄数据为麻粒岩包体紫苏辉石的K-Ar年龄;Chl-5、Chl-6样品采自柴胡栏子辉石闪长岩,年龄数据为母岩闪长岩侵入年龄。计算参数:原始地幔 $^{87}Sr/^{86}Sr=0.7045$ ,球粒陨石均一储库现代值 $^{143}Nd/^{144}Nd=0.512638$ , $^{147}Sm/^{144}Nd=0.1967$ ,现代亏损地幔 $^{143}Nd/^{144}Nd=0.51315$ , $^{147}Sm/^{144}Nd=0.2136$ 。

部的基性麻粒岩包体的 $t_{DM}$ 范围(2 057~2 453 Ma)有较大差别。这一方面说明成矿岩体与晚中生代基性岩浆可能有同源关系,而与印支期闪长岩岩浆亲缘关系不显著,另一方面也揭示了印支期与燕山期的构造岩浆活动背景有较大差别,这与中国东部在中生代时期开始发生大规模岩石圈减薄的时间相吻合。 $t_{DM}$ 模式年龄值1 272~1 580 Ma可能反映出,燕山期的基性岩浆是在受到来自东部太平洋板块俯冲影响而使古老的、具有富集地幔特征的俯冲带物质再活化(周新华等,1998;2001)且发生部分熔融所形成。 $\epsilon_{Nd(t)}$ 所反映的强烈富集特征可能代表源区岩石受到过古俯冲带的影响。

## 8 矿床成因讨论

### 8.1 成岩与成矿时代

与金矿成矿有关的岩石主要为灰白色含角砾岩屑晶屑凝灰岩和晚期黑色隐爆角砾岩,前者构成隐爆角砾岩筒的主体,后者主要在矿区深部呈不规则脉状发育。其次为二长花岗斑岩脉,侵入于爆破角砾岩体中部,其形成略晚于灰白色隐爆角砾岩,而早

于黑色隐爆角砾岩。对这些岩石进行同位素年龄测定可以限定成矿时代。本次工作采用Rb-Sr等时线测年方法对含角砾岩屑晶屑凝灰岩和二长花岗斑岩脉的形成时代进行了测定。对含角砾岩屑晶屑凝灰岩尽量选用含角砾少的样品,测试结果见图8。由图8可见,灰白色含角砾岩屑晶屑凝灰岩和二长花岗斑岩脉分别有4个样品构成一条较好的Rb-Sr等时线,等时线年龄分别为(191±30) Ma和(177±13) Ma,相当于燕山早期。含角砾岩屑晶屑凝灰岩的误差相对较大,使两者的年龄数据有一定的重合,但结合野外产状,二长花岗斑岩脉侵入于含角砾岩屑晶屑凝灰岩中,表明前者晚于后者。说明等时线年龄的平均值仍可较好地反映岩体的顺序和时代,191 Ma可作为主角砾岩体侵位年龄的参考值。紧邻矿区北部的喀喇沁花岗岩体的(K-Ar)年龄值为192 Ma(王时麒等,1991),与矿区含矿岩石的年龄值相近,同属燕山早期,说明该地区燕山早期岩浆活动强烈。晚期黑色隐爆角砾岩因含有大量外来岩屑和角砾,无法分离,估计其对测试结果有较大影响,故未做年龄测试。但上述两种角砾岩的矿物组成及蚀变

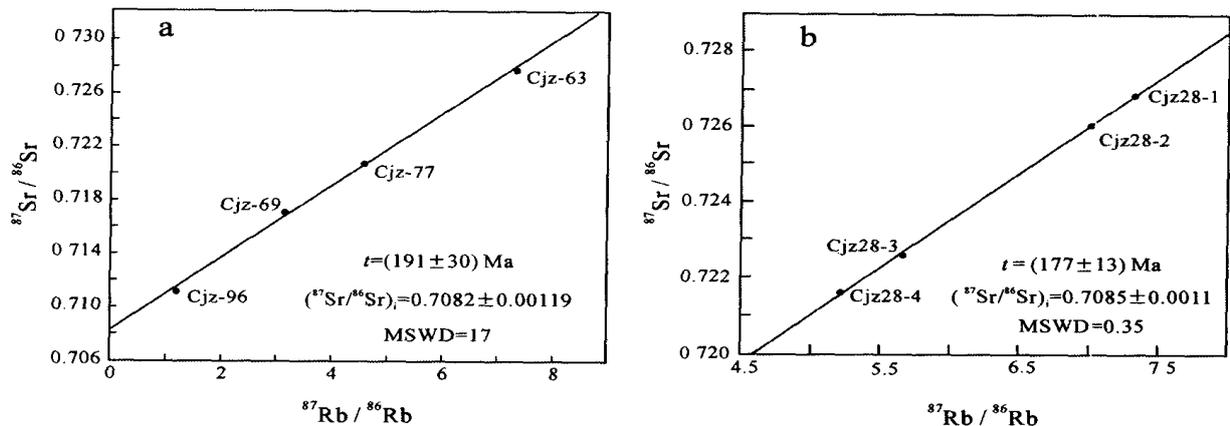


图 8 陈家杖子金矿岩石的 Rb-Sr 等时线

a—含角砾岩屑晶屑凝灰岩; b—二长花岗斑岩脉

测试单位: 中国科学院地质与地球物理研究所

Fig. 8 Rb-Sr isochrone age of breccia and monzonitic granite porphyry in Chenjiazhangzi gold deposit

特征基本相似,与之相关的矿化组合也基本相同,岩石本身含有大量蚀变二长花岗斑岩的角砾,推测其形成于同一岩浆旋回期,但时间上略晚于二长花岗斑岩的 177 Ma,三者应同属燕山早期岩浆活动的产物。综上所述,本区金矿化及与矿化相关的热液蚀变主要与隐爆角砾岩有关,可以推测,金成矿主要发生在岩体侵入晚期的热液活动阶段,成矿时代应为燕山早期。

## 8.2 矿床成因

陈家杖子金矿床主要赋存于隐爆角砾岩筒中,矿体严格受角砾岩体控制,呈脉状、透镜状、囊状产出,与角砾岩呈渐变关系,表明金矿床与隐爆角砾岩有密切的成因联系。

隐爆角砾岩的形成与岩浆富含挥发份有关。Burnham(1985)建立的模式说明,水在隐爆角砾岩的形成过程中起着至关重要的作用。当岩浆上升至地壳浅部后,一部分岩浆(或早期侵入岩浆)因固结而形成壳层,后续岩浆(或晚期侵入岩浆)到达该壳层附近,由于岩浆中的水不能逸出而形成水过饱和和熔体。该熔体因部分结晶而形成熔体+晶体+气相水的混合物,岩浆发生二次沸腾作用;二次沸腾释放出的能量所产生的张力可以使深达 4~5 km 处的坚硬岩石产生裂隙(Burnham, 1985)。水和熔体进入到裂隙中,发生膨胀,引起压力降低,促使熔体中的水进一步出溶并进入到裂隙中,释放出额外的能量,从而引发隐蔽爆破作用,形成隐爆角砾岩。能否形成隐爆角砾岩的因素有岩浆的成分、侵入体的深度、初始

岩浆中水的含量、就位时熔体的含量、围岩强度等,前三者为主要影响因素。陈家杖子隐爆角砾岩绢云母化蚀变特别发育,灰白色和黑色隐爆角砾岩一般都含有 20%~30%的细粒绢云母,部分达到 50%以上,表明热液蚀变期间流体(水)来源非常充足,流体应来自于侵位岩浆,说明岩浆应具有较高的初始水含量。岩石化学分析给出隐爆角砾岩的烧失量为 2%~6%,平均为 3.22%;黑色隐爆角砾岩含 H<sub>2</sub>O 达 2%以上,丰富的初始岩浆水含量为隐爆角砾岩的形成提供了必要条件。隐爆作用在角砾岩和围岩中造成的裂隙有利于热液活动和热液对流体系的形成,促进了大气降水与岩浆水的混合,并可能引起含矿热液发生沸腾或稀释作用,破坏原有含矿流体体系的平衡,促使矿质沉淀、富集。

石英内流体包裹体的研究表明,陈家杖子金矿的成矿作用主要发生在 150~180℃、225~390℃温度范围,成矿流体属 H<sub>2</sub>O-CO<sub>2</sub>-(NaCl)体系,以富含 CO<sub>2</sub>包裹体为特征。晶屑石英中的富气相包裹体和含石盐子晶多相包裹体、富 CO<sub>2</sub>气液相包裹体有一组均一温度(345~390℃)重合,说明在该温度区间可能发生了流体不混溶作用,晚期富液相包裹体的盐度较气液包裹体显著降低,结合流体包裹体氢氧同位素组成有向大气水偏移的特征,推测在中温向低温过渡阶段有大气水参与,促使流体盐度急剧降低。成矿流体来源总体上以岩浆水为主,在热液演化的早期至中期阶段,以岩浆水占优势,晚期阶段有大量大气降水加入。促使矿质沉淀、富集的因素除

温压条件变化外,流体不混溶和大气水加入时引发的流体混合作用可能发挥了重要影响。

综合矿床产出地质环境、围岩蚀变特征、成矿特征、控矿因素、流体包裹体及同位素特征,表明该矿床应属浅成中-低温热液隐爆角砾岩型金矿床,成矿时代为燕山早期,成矿深度相当于浅成-超浅成。岩石地球化学和铅、硫、氢、氧同位素特征显示,成矿与岩浆作用有明显的成因联系,岩浆来源主要为大陆壳,铅、锶、钍同位素特征揭示,成矿物质具有中下地壳与上地幔混合来源的特征。

**致谢** 野外工作得到了内蒙古赤峰地质勘查院和柴胡栏子金矿的大力支持,在此表示深深的感谢!特别感谢聂凤军研究员对本文的评阅及所提出的宝贵修改意见。

## References

- Batchelor R A and Bowden P. 1985. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters[ J ]. *Chem. Geol.*, 48(1-4): 43 ~ 55.
- Brown G C, Thoorpe R S and Webb P V. 1984. The geochemical characteristics of granitoids in contrasting arc and comments on magma source[ J ]. *J. Geol. Soc. Lond.*, 141: 411 ~ 426.
- Burnham. 1985. Energy release in subvolcanic environments: implications for breccia formation[ J ]. *Econ. Geol.*, 80: 1515 ~ 1522.
- Han Q J, Shao J A and Zhou R. 2000. Petrology, geochemistry and petrogenesis of Early Mesozoic diorites in Har-qin area, Inner Mongolia[ J ]. *Acta Petrologica Sinica*, 16(3): 385 ~ 391 (in Chinese with English abstract).
- Harris N B W, Pearce J A and Tindle A G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism[ A ]. In: Coward M P and Reis A C., ed. *Collision tectonics* [ C ]. London: Spec. Pub. Geol. Soc., 19, 67 ~ 81.
- Li Y H and Ding T P. 1990. Study on the stable isotope of Honghuagou gold deposit[ J ]. *Mineral Deposits*, 9(3): 257 ~ 269 (in Chinese with English abstract).
- Liu B and Shen K. 1998. Thermodynamics on fluid inclusion[ M ]. Beijing: Geol. Pub. House (in Chinese).
- Shao J A, Han Q J and Zhang L Q. 1999. The discovery of early Mesozoic accumulate complex xenolith and its geological implications in eastern Inner Mongolia[ J ]. *Chinese Science Bulletin*, 44(5): 478 ~ 485 (in Chinese).
- She H Q, Xu G Z, Zhou R, et al. 2000. The tectonic and magmatic activities in early Mesozoic and their controlling on gold mineralization in Honghuagou gold field, Inner Mongolia[ J ]. *Geoscience*, 14(4): 408 ~ 416 (in Chinese with English abstract).
- Taylor H P. 1974. The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposit[ J ]. *Econ. Geol.*, 69: 843 ~ 883.
- Wang B D and Li S R. 1996. The geological and geochemical characteristics of the explosive breccia-type gold deposit of Qiyugou, Henan [ J ]. *Geology and Geochemistry*, 6: 37 ~ 45 (in Chinese with English abstract).
- Wang S Q, Sun C Z, Cui W Y, et al. 1994. *Geology of the gold deposits in Chifeng, Inner Mongolia*[ M ]. Hohhot: People Publishing House of Inner Mongolia (in Chinese).
- Wang Z. 2004. Geological characteristics and its indication for mineral prospecting of Chenjiazhangzi cryptoexplosive breccia-type gold deposit, Inner Mongolia[ J ]. *Geology in China*, 31(2): 206 ~ 212 (in Chinese with English abstract).
- Zartman R E and Doe B R. 1991. Plumbtectonics: the model[ J ]. *Tectonophysics*, 75 (1-2): 135 ~ 162.
- Zhang L G, et al. 1995. Block-geology of eastern Asia lithosphere - isotope geochemistry and dynamics of upper mantle, basement and granite[ M ]. Beijing: Science Press (in Chinese with English abstract).
- Zhou X H, Chen Y X, Zhang G H, et al. 1998. Isotopic restriction to the origin of Mesozoic volcanic rocks, in the north margin of North China Plate[ J ]. *China Science Bulletin*, 43(23): 2483 ~ 2488 (in Chinese).
- Zhou X H, Zhang G H, Yang J H, et al. 2001. Sr-Nd-Pb isotope mapping in the northern margin of North China Plate and its tectonic implications[ J ]. *Geochemistry*, 31(1): 10 ~ 23 (in Chinese with English abstract).

## 附中文参考文献

- 韩庆军, 邵济安, 周瑞. 1999. 内蒙古喀喇沁早中生代闪长岩的岩石学、地球化学及其成因[ J ]. *岩石学报*, 16(3): 385 ~ 391.
- 李延河, 丁梯平. 1990. 内蒙赤峰红花沟金矿稳定同位素研究[ J ]. *矿床地质*, 9(3): 257 ~ 269.
- 刘斌, 沈昆. 1998. 流体包裹体热力学[ M ]. 北京:地质出版社.
- 邵济安, 韩庆军, 张履桥, 牟保磊. 1999. 内蒙古东部早中生代堆积杂岩捕虏体的发现[ J ]. *科学通报*, 44(5): 478 ~ 485.
- 余宏全, 徐贵忠, 周瑞, 等. 2000. 内蒙古红花沟地区早中生代构造-岩浆活动及金成矿作用[ J ]. *现代地质*, 14(4): 408 ~ 416.
- 王宝德, 李胜荣. 1996. 河南祁雨沟爆发角砾岩型金矿床地质地球化学特征初步研究[ J ]. *地质地球化学*, 6: 37 ~ 44.
- 王时麒, 孙承志, 崔文元, 等. 1994. 内蒙古赤峰地区金矿地质[ M ]. 呼和浩特: 内蒙古人民出版社.
- 王忠. 2004. 内蒙古陈家杖子隐爆角砾岩型金矿床地质特征与找矿方向[ J ]. *中国地质*, 31(2): 206 ~ 212.
- 张理刚, 等. 1995. 东亚岩石圈块体地质-上地幔-基底和花岗岩同位素地球化学及其动力学[ M ]. 北京: 科学出版社.
- 周新华, 陈义贤, 张国辉, 等. 1998. 中生代火山岩源区特征的多元同位素制约-以华南北缘为例[ J ]. *科学通报*, 43(23): 2483 ~ 2488.
- 周新华, 张国辉, 杨进辉, 等. 2001. 华北克拉通北缘晚中生代火山岩 Sr-Nd-Pb 同位素填图及其构造意义[ J ]. *地球化学*, 31(1): 10 ~ 23.

## Geological and geochemical characteristics and genesis of Chenjiazhangzi cryptoexplosive breccia pipe gold deposit, Chifeng, Inner Mongolia

SHE Hong-quan<sup>1</sup>, ZHANG Gui-lan<sup>2</sup>, ZHANG De-quan<sup>1</sup>, LI Da-xin<sup>1</sup>, FENG Cheng-you<sup>1</sup>, WANG Zhong<sup>3</sup>, MENG Li-jun<sup>3</sup> and WANG Qi<sup>3</sup>

(1 Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China; 2 Information Center, Inner Mongolia Bureau of Geology and Mineral Resources, Hohhot 010020, Inner Mongolia, China; 3 Chifeng Geological and Mineral Exploration Institute of Inner Mongolia, Chifeng 024001, Inner Mongolia, China)

### Abstract

The Chenjiazhangzi gold deposit is a newly discovered ore deposit in Chifeng, whose veinlike gold orebodies occur in cryptoexplosive breccia pipes consisting of felsic cryptoexplosive breccia-bearing crystal fragments, lithic fragment tuff, and minor black cryptoexplosive breccia. In this paper, geological and geochemical characteristics of the ore deposit are studied in detail, and its genesis and material source are discussed on the basis of fluid inclusion and isotope studies of the gold ores and ore-bearing rocks. The breccia pipe has been intensely altered and shows apparent alteration zoning. Gold mineralization is closely related to silicification and adularization. Electrum is the dominant gold mineral and mainly occurs in arsenopyrite, the dominant gold-carrier mineral. The major oxide of ore-bearing breccia belongs to aluminum supersaturated calc-alkaline I-type granite and is characterized by  $K_2O \gg Na_2O$ . The primary mantle-normalized rare earth and trace element patterns of the breccia show the enrichment of LREE, K and the depletion of Eu, Ti, Sr, Ba, Th, U, which is in conformity with the features of non-mature normal arc granites on the continental margin. The homogenization temperatures of fluid inclusions in quartz suggest that gold mineralization mainly took place at temperatures of 150 ~ 180 °C, 225 ~ 390 °C, and that the estimated ore-forming pressures are about  $(72 \sim 158) \times 10^5$  Pa (255 ~ 560 m). The sulfur isotope composition of the gold ores is within the range of 5.3‰ ~ 9.4‰  $\delta^{34}S_{V-CDT}$ . The lead isotope composition of ores and that of ore-bearing breccia are similar to each other, their  $\mu$  values are in the range of 7.89 ~ 8.16, 7.89 ~ 8.08, and the mode ages are 591 ~ 622 Ma and 478 ~ 912 Ma, respectively. The lead composition of ores is located at the area between upper mantle and crust evolution lines in the  $^{207}Pb/^{204}Pb$ - $^{206}Pb/^{204}Pb$  diagram.  $I_{Sr}$ ,  $\epsilon_{Sr(t)}$ ,  $^{143}Nd/^{144}Nd(t)$ ,  $\epsilon_{Nd(t)}$  of the ore-bearing breccia and monzonitic granite porphyry are in the range of 0.7082 ~ 0.70118, 50.64 ~ 106.8, 0.511819 ~ 0.512001, and -7.99 ~ -11.62, respectively, suggesting that they are derived from the continental crust.  $t_{CHUR}$ ,  $t_{DM}$  values of the ores and ore-bearing breccia are similar to those of Late Mesozoic basalt and andesite, but different from the data of Early Mesozoic diorite and lower crust xenolith outside the ore deposit. Characteristics of S, Pb, Sr, Nd isotopes indicate that ore-forming materials are mainly derived from the crust, with some probably from the mantle. The Rb-Sr isochron age of early ore-bearing breccia is 191 Ma, and the age of monzonitic granite porphyry emplaced after the early breccia pipe is 177 Ma. The Chenjiazhangzi gold deposit is of the epithermal-mesothermal type formed in Early Yanshanian period.

**Key words:** geochemistry, gold deposit, cryptoexplosive breccia, ore-forming process, Chenjiazhangzi, Chifeng, Inner Mongolia