

山东夏甸金矿幔源流体初探

张群喜 孙忠实

(吉林大学地球科学学院 ,吉林 长春 ,130026)

摘 要 山东夏甸金矿床成因一直有变质热液、岩浆热液和天水之争。经过工作得知 ,还有幔源流体加入成矿 ,其主要证据有 :①招平深大断裂带存在 ,为幔源流体加入成矿提供了通道 ;②金矿脉与中基性脉岩相互交切、相伴产生 ;③S、H、O、C等同位素测定值表明 ,含金流体主要来自幔源。

关键词 金矿 幔源流体 中基性脉岩 夏甸

A Tentative Discussion on Mantle Fluids in the Xiadian Gold Deposit , Shandong Province

ZHANG Qunxi SUN Zhongshi

(School of Earth Sciences ,Jilin University ,Changchun ,Jilin ,130026)

Abstract There has been long controversy on the genesis of the Xiadian gold deposit. Some hold that it is of metamorphic hydrothermal origin ,others argue for magmatic hydrothermal genesis ,and still others think that it results from ground water. Nevertheless ,further work shows that the mantle fluids might have played an important role in the formation of the deposit. The main evidence is :① the Xiadian gold deposit is located in the Zhaoping deep fault ;② the gold veins are usually associated with the intermediate-basic rock veins ;③ the estimated S、H、O and C isotopic values indicate that gold-bearing fluids mainly came from the mantle fluids.

Key words gold ore deposit mantle fluids intermediate-basic rock veins Xiadian

幔源流体是矿床成因研究的重点内容之一 ,将成矿作用与深部过程联系起来进行幔源流体成矿研究已成为目前国内外矿床研究的一种重要趋势(杜杨松 ,1999)。近些年来深部流体作用已得到国内外地质界的重视。例如岩石圈内流体作用已被美国和英国列入优选课题及 IUGG、ICL、IUGS 联合项目之内(张鸿翔等 ,2000)。笔者试图通过对夏甸金矿床完成的大量同位素测试资料进行分析和总结 ,对该区矿床的含矿流体来源作一初步探讨 ,从而为该深部找矿提供一个新思路。

1 成矿地质背景

山东招远夏甸金矿位于华北地台胶辽后凸的招远-平渡断裂带上(图 1)。该断裂是区内主要控矿构造 ,从产状看该断裂走向为 NE45° ,倾向为 SE ,倾角为 40°左右。从构造机理看该断裂是一个复杂的韧性剪切带 ,而深断裂派生的剪切带构造系统是重

要的导矿和容矿构造。断裂面呈舒缓波状 ,性质属压扭性。

断裂带上盘为胶东群变质岩系 ,下盘为滦家河花岗岩体。同时基性脉岩在断裂带两侧广泛分布 ,主要有伟晶岩、闪长玢岩、闪斜煌斑岩等。脉岩是岩浆活动的直接产物 ,与深源岩浆联系最密切。深大断裂是岩浆活动的通道。该矿化区的脉岩均受深大断裂控制。

2 脉岩与矿床

基性脉岩与矿脉相互交切是判定幔源流体加入成矿的重要地质依据(孙忠实等 ,1999)。该矿区内脉岩比较发育 ,类型复杂 ,中酸性-中基性脉岩均有出露。主要脉岩有花岗斑岩、花岗闪长斑岩、闪长玢岩、石英闪长玢岩、闪斜煌斑岩等(图 1)。该矿区各类脉岩的主要特征及岩石化学成分分别见表 1 和表 2。

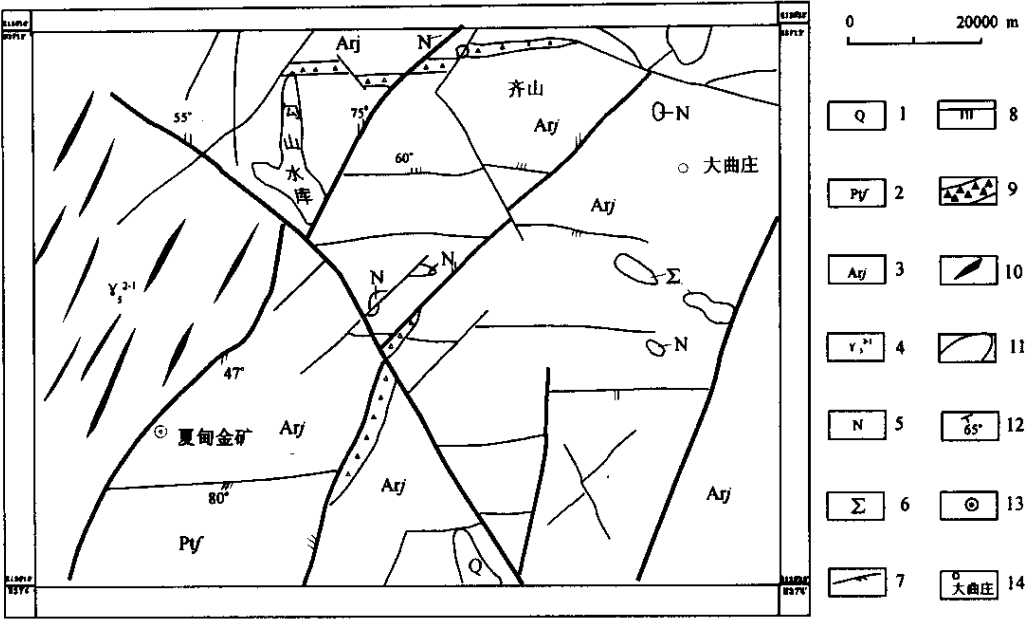


图 1 夏甸金矿区地质构造背景略图

Fig. 1 The regional geological sketch map of Xiadian gold deposit

1-第四系 2-粉子山群 3-胶东群 4-滦家河型花岗岩 5-基性岩 6-超基性岩 7-压扭性断裂 8-张性断裂；
9-角砾碎裂岩带 10-脉岩 11-地质界线 12-岩层产状 13-金矿点 14-地名
1-Quaternary 2-Fenzishan group 3-Jiaodong group 4-Luanjiahe type granite 5-basic rocks 6-superbasic rocks 7-fault of shearcoppressive；
8-fault of shear-tensile type 9-breccia catalasitebelt 10-vein rocks 11-geological boundary 12-attitude of rocks 13-gold deposit 14-placename

表 1 夏甸金矿几种脉岩的特征

Table 1 The character of some kinds of vein rocks from Xiadian gold deposit

岩性	形态	产状	规模	结构和构造	主要矿物	与矿体空间关系
花岗斑岩	脉状、少数有分枝	NE40°～50°，倾角为70°～80°	最长4500 m，一般200～800 m，宽2～20 m	斑状，细-隐晶结构，块状构造	斑晶：钾长石、斜长石、石英；基质：钾长石、石英和黑云母	多数切割矿脉少数分布上、下盘切割闪长玢岩
花岗闪长玢岩	脉状、分枝复合	NE30°～50°，倾角为55°～85°	一般长150～500 m，最长1500 m，宽0.4～6 m	斑状结构，细晶结构，块状构造	斑晶：斜长石、石英、角闪石；基质：少量角闪石、黑云母组成	切割矿脉
闪长玢岩	脉状	25°～60°，多倾向NW	一般200～500 m，最长1700 m，宽1～15 m	半自形粒状结构，块状构造	斑晶：斜长石、钾长石、角闪石、黑云母	多数切割矿脉，少数分布在上、下盘或平行矿脉
石英闪长玢岩	脉状、透镜状	走向NE40°～60°，倾向NW或SE	一般长50～200 m，少数600 m，宽0.5～6m	斑状结构，基质为填间构造，块状构造	斑晶：斜长石、角闪石和黑云母；基质矿物：斜长石、角闪石	多数切割矿脉，少数分布在矿脉或下盘
闪斜煌斑岩	脉状	走向为NE40°～60°，倾向NW	一般小于200 m，少数400 m，宽0.5～4 m	斑状结构，块状构造	主要矿物有橄榄石、辉石、角闪石、斜长石等	切割矿脉或平行矿脉
次安山灰岩	脉状、少数有分枝	走向NE30°～50°，倾向NW，倾角为55°～84° 万方数据	一般长100～300 m，宽0.7～3 m	斑状结构，交织结构，气孔、杏仁状或块状构造	主要矿物：斜长石、角闪石、少量石英，斜长石常见环带构造	切割矿脉

表 2 夏甸金矿脉岩化学成分

Table 2 The chemical components of vein rocks from Xiadian gold deposit														%
岩石名称	SiO ₂	TiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	CO ₂	H ₂ O	F	MnO
花岗斑岩	72.8	0.15	0.04	14.38	0.84	1.12	0.17	1.84	4.08	4.4	0.19	0.45	0.03	0.07
花岗闪长斑岩	67.0	0.27	0.11	14.97	0.71	1.73	1.04	2.89	4.26	3.6	1.83	1.01	0.05	0.09
石英闪长玢岩	57.1	0.56	0.16	14.67	1.36	2.85	3.3	4.59	2.67	4.0	6.80	1.90	0.08	0.1
辉绿玢岩	50.2	0.60	0.19	13.17	1.08	4.32	6.75	6.16	2.71	2.6	8.43	2.54	0.07	0.15
闪斜煌斑岩	51.0	0.84	0.61	13.29	5.60	3.33	10.1	5.86	2.42	2.5	0.56	2.93	0.12	0.15
次安山岩	56.75	0.76	—	18.6	3.58	3.26	3.42	6.97	0.03	2.0	0.15	0.79	—	0.15

注 :长春科技大学测试中心测定。

通过对该区的脉岩研究发现 ,该矿区的脉岩与构造蚀变带往往相伴产出 ,有的则切割矿体或蚀变带 ,如笔者在 VII 号矿体的 12 中段 529 勘探线附近见到带有黄铁矿化的矿脉切割闪长玢岩(图 2) ,表明二者是同期形成的 ,同时闪长玢岩具有典型的岩浆侵入特征。根据岩石学、岩石化学等特征 ,这种岩浆的形成很可能是地幔物质熔融的结果 ,岩浆的形成深度比花岗岩浆的形成深度更大。从表 2 可看出闪长玢岩具有较低含量的 SiO₂ 和较高含量的 FeO 与 MgO ,并富含 K₂O、Na₂O 等挥发分。有的脉岩具有明显的矿化 ,且含金量很高(表 3)。因此可以佐证该矿区金的主要矿化作用与脉岩的活动具有一定的成生联系。脉岩在矿区的金丰度高的主要原因是该矿区是断裂发育、岩浆活动强烈的地区 ,具有较区域上更为良好的岩浆通道 ,畅通的通道使岩浆顺利地上升 ,在上升中使矿区已经存在的金矿化的元素混入到岩浆中 ,从而使脉岩具有较高的金丰度。成矿前的脉岩可能受到成矿气液的作用而受到矿化。

表 3 夏甸金矿矿区主要脉岩金、银含量表

Table 3 The Au and Ag of the main vein rocks from Xiadian gold deposit			
岩石名称	样品数/个	Au/g·L ⁻¹	Ag/g·L ⁻¹
煌斑岩	2	0.01	0.4
绿玢岩	2	0.01	0.02
石英闪长玢岩	9	0.01	0.14
次安山玢岩	2	0.05	0.26
花岗斑岩	2	0.015	0.11

注 :长春科技大学测试中心测定。

脉岩来源于深源岩浆 ,以往人们指岩浆岩与金成矿的关系 ,多指岩浆岩所带来的热液 ,岩浆热源将侵入地壳内的大气降水加热 ,而使其上升 ,溶解岩石中的成矿元素在地壳成矿。笔者认为 ,岩浆岩成矿与金成矿的密切关系 ,不仅仅在于岩浆提供了热源 ,主要是岩浆岩来源于地球深部 ,岩浆上升的通道也是金成矿气液上升的通道 ,岩浆的来源深度愈大愈有利于金的成矿作用。同时深源岩浆还提供了部分成矿物质。

3 稳定同位素地球化学

3.1 H、O 同位素

对夏甸金矿成矿溶液组成特征主要有 3 种观点 ①混合流体(天水、变质水和岩浆水) ;②变质水和天水 ;③岩浆水和天水。据该矿化区 A20、A21 井矿化脉 H、O 同位素测定(表 4)表明 ,金矿化脉中石英 O 同位素主要组成变化范围介于 11.89‰ ~ 14.03‰ ,δD 值介于 - 95.45‰ ~ - 101.10‰ 之间。可以认为 ,该金矿化区成矿热液 δO 和 δD 值以高度均一化特征和测定数值并没有落入岩浆水区和变质水区(图 3) ,反映出本矿化区成矿热液既不属于原生岩浆水(δD = - 50‰ ~ - 85‰) ,亦不是变质水(孙忠实等 2000)。从图 3 看出该矿化区的落点都

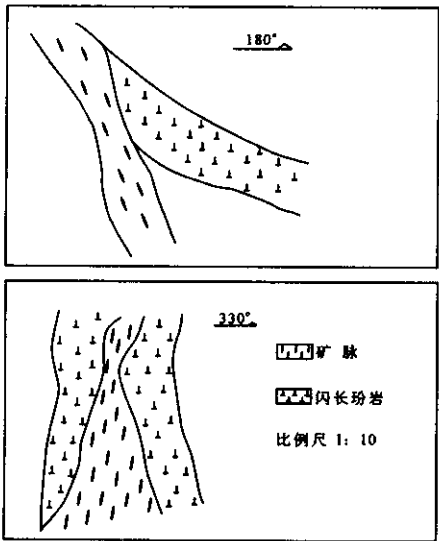


图 2 夏甸金矿 VII 井矿脉和岩脉关系图

Fig. 2 The relation of the deposit and the rock vein in the VII well of the Xiadian gold deposit

在变质水和岩浆水之外,且高度集中。笔者认为,这是发生同位素交换的幔源 C-H-O 流体在参与该区壳源花岗岩的形成过程中,与 $\delta^{18}\text{O}$ 较高的变质岩系发生了同位素交换,使流体的 $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 值升高,超出了幔源流体的范围。

表 4 夏甸-下庄金矿化石英 H、O 同位素组成

Table 4 H and O istopoic composition in Xiadian-Xiazhuang gold deposit

Xiazhuang gold deposit			‰		
样品号	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$	样品号	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}$
A5	-101.10	13.34	A21-5	-99.77	13.08
A9	-100.09	12.85	A21-6	-96.86	14.03
A20	-95.45	11.89			

注:长春科技大学测试中心测定。

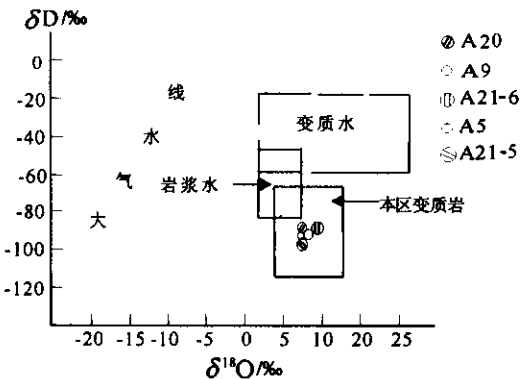


图 3 夏甸-下庄金矿区含金石英脉
 $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ 图解

Fig. 3 Diagram of gold-bearing quartz vein $\delta\text{D}-\delta^{18}\text{O}$ in Xiadian-Xiazhuang gold deposit

3.2 S 同位素

在整个金矿化区内,含矿物质主要以硫化物出现,未发现硫酸盐矿物,这样以大多数黄铁矿和闪锌矿 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值代表矿液的 $\delta^{34}\text{S}$ 值,取黄铁矿和方铅矿样品 6 个,测得 $\delta^{34}\text{S}$ 同位素值(表 5),可见深源硫($\delta^{34}\text{S}$ 多介于 $3.34\text{‰}\sim 4.57\text{‰}$ 之间)所占比例较大,具有幔源硫的特点。

表 5 夏甸-下庄金矿硫同位素组成

Table 5 S isotopic composition in Xiadian-Xiazhuang gold deposit

Xiazhuang gold deposit			‰		
样品号	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}$	样品号	测定矿物	$\delta^{34}\text{S}$
A21-5	FeS_2	3.45	A21-5	PbS	3.68
A21-6	FeS_2	3.34	A21-6	PbS	5.2
A20	FeS_2	4.57	A20	PbS	4.47

注:长春科技大学测试中心同位素室测定。

3.3 C 同位素

对该矿区 A20、A21 井矿化脉方解石发育区采取碳酸盐样品进行同位素研究。研究用 100% 磷酸法制备 CO_2 求得结果(表 6)。表中的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $-4.6\text{‰}\sim -4.8\text{‰}$,级差小(0.2‰),平均值为 -4.7‰ ,属火成碳酸岩成因类型(Keith,1964)。据 Ohmoto(1972)的观点,综合考虑该矿化区各自矿物共生组合特征,可以认为,表 6 中 $\delta^{13}\text{C}$ 值近似于成矿溶液的总碳同位素组成,即 $\delta^{13}\text{C}_{\text{C}_\text{C}}$ 为 $-4.6\text{‰}\sim -4.8\text{‰}$,与非海相碳酸盐的平均值 $\delta^{13}\text{C} = -4.9\text{‰}\sim -2.8\text{‰}$ (Keith,1964)和 Fuex 等(1973)对上地幔 $\delta^{13}\text{C}$ 的估计值(-7‰)相近。另外,表 6 中每个样品的 $\delta^{13}\text{C}$ 值都代表同位素蒸汽压的一个差值,是 C 同位素交换反应的结果,且反应数值在 $-4.6\text{‰}\sim -4.8\text{‰}$ 之间连续变化,充分体现出同位素的分馏效应。即使在非常高的温度下,同位素分馏效应也是重要的,它是地幔中 C 同位素组成的主要产生方式。显然,下庄金矿区 $\delta^{13}\text{C}$ 组成具有幔源特征,说明形成矿床的流体可能来自幔源,而不是花岗岩,这就可以解释为什么金矿床形成于来自深部幔源的辉绿玢岩之后,是在中-基性岩浆热事件之后形成含矿流体的产物(孙忠实等,1998)。

表 6 夏甸-下庄金矿 C、O 同位素组成

Table 6 C and O isotopic composition in Xiadian-Xiazhuang gold deposit

Xiazhuang gold deposit			‰		
序号	样品编号	名称	$\delta^{18}\text{O}_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$	$\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$
1	A20	方解石	-23.8	6.7	-4.8
2	A21	方解石	-21.0	9.0	-4.6
平均值			-21.86	8.16	-4.7

注:长春科技大学测试中心同位素室测定。

4 流体包裹体地球化学与成矿机制

4.1 流体包裹体地球化学

通过流体包裹体成分研究表明,夏甸金矿化区的流体包裹体气相成分主要为 CO_2 和 H_2O ,其他依次为 N_2 、 CO_2 、 H_2 和 CH_4 。该包裹体中主要阳离子为 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 K^+ ,阴离子中主要有 Cl^- ,说明与成矿有关的流体包裹体类型主要为 CO_2 - NaCl - H_2O 型(CO_2 体积大,多数占包裹体体积的 40% 以上,包裹体成分为 CO_2 、 NaCl 和 H_2O 和 NaCl - H_2O 型(包裹体成分为 NaCl 和 H_2O ,气液比为 10%~30%)。该包裹体类型的划分与李荫清(1994)对吉林海沟金矿流体包裹体类型的划分相吻合,这些特征反映了成

矿流体以幔源流体为主。

从表 7 可以看出 ,该矿区的含金石英脉包裹体的成分中 CO₂ 含量高达 2 173.50 μg/L ,而高含量 CO₂ 目前被认为主要是地幔成因。另外流体中除了含有大量的 CO₂ 和 H₂O 之外 ,还伴有 N₂ ,含量高达 58.38 μg/L。从意大利南部卡拉布里的锡山麻粒岩中首次发现高密度富 N₂ 来看 ,高含量 N₂ 与高含量 CO₂ 一样 ,主要也来自地幔。此外石英包裹体中还含有一些盐类物质 ,它们一方面会大大加强 C、H、O

流体的溶解能力 ;另一方面又促进硫化物、铂族元素及金元素的富集能力 ,使金和铂在硫化物和硅酸盐之间的分配系数介于 10³~10⁵(Barnes ,1993 ,1994) 之间 ,硫化物中的 Au 更易活化进入流体中 ,故幔源 C、H、O 流体理应可以溶解 Au、Pt 以及性质相近的元素。

4.2 成矿机制

多种事实表明 :该区的 C-H-O 流体主要组成和部分 S 均来自地幔 ,并沿深大断裂把大量挥发组分、

表 7 夏甸金矿化区石英包裹体气液相成分
Table 7 Showing composition of gas-liquid phase in quartz inclusion in Xiadian gold deposit g·L⁻¹

样号	阳离子组				阴离子组				气体组								Na ⁺ /Cl ⁻	CO ₂ /H ₂ O	CO ₂ /CO+CH ₄
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	F ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	CO	CO ₂	H ₂ O	K ⁺	F ⁻	H ₂ O	CH ₄ +H ₂
1	1.35	1.32	0.84	0.26	0.25	0.24	0.08	3.14	1.02	58.4	1.05	<0.05	2.84	32.72	326.4	0.97	0.96	0.10	6.664
2	3.41	1.50	19.1	20.9	0.29	0.34	0.07	44.2	4.25	31.8	2.20	<0.05	1.99	2173.5	342.95	0.44	1.172	6.33	257.52
3	0.21	0.15	0.08	0.06	0.10	0.10	0.13	0.09	0.53	20.4	1.80	<0.05	0.82	85.63	198.6	0.71	1.00	0.43	27.18
4	4.32	3.35	0.21	0.29	1.98	2.19	0.07	4.01	1.57	0.23	4.16	<0.05	0.84	10.34	356.77	0.78	1.106	0.02	1.57
5	0.62	0.62	1.18	0.56	0.11	0.18	0.03	2.70	0.84	2.46	0.98	<0.05	0.89	410.06	1491.06	1.00	1.636	0.275	180.64

注 :长春科技大学测试中心测定。

部分常量和微量元素带入地壳 ,同时该流体活动引起地壳重熔 ,高温的幔源流体在地壳中的活动以及由这种流体引起的花岗岩浆活动会产生异常高的地热梯度而加强了地表水的深循环 ,流体又可萃取变质围岩和花岗岩中的 Si、Au、Pb、S 等元素 ,从而形成富含金多金属流体 ,当达到地壳浅部有利构造部位时 ,沉淀成矿。随矿体围岩的岩石类型(变质岩或岩浆岩)的不同或天水的加入 ,使矿石稳定同位素的组成发生一定的对应性变化 ,从而最终形成夏甸金矿。

山东夏甸金矿除有岩浆热液、变质热液和大气降水之外 ,还有幔源流体加入成矿 ,为金矿脉与基性-超基性脉岩的关系以及金矿脉在空间呈有规律的分布和建立矿床成因模式的研究增加了新的内容。

参 考 文 献

孙忠实 ,邓军 ,翟裕生 ,冯本智 ,刘俊来. 2000. 大型金矿构造-成矿系统及幔-壳多层循环体成因模式. 地质科学 ,33(3) :267~276.
孙忠实 ,邓军 ,翟裕生 ,冯本智. 1999. 幔源含金流体主动就位与容矿断裂形成机制. 地质地球化学 ,27(4) :17~22.
孙忠实 ,冯本智 ,青晓. 1998. 吉林夹皮沟金矿稳定同位素地质及找矿方向. 长春科技大学学报 ,28(2) :142~147.
杜杨松. 1999. 壳幔成矿学初探. 矿床地质 ,18(4) :341~345.
张鸿翔 ,徐志方 ,黄智龙 ,刘丛强. 2000. 地幔流体基本特征及成因. 地质地球化学 ,28(2) :1~5.

References

Bemen N I. 1994. Distribution of Pb ,Rh ,Ru ,Os ,Ir and Au between sulfide and silicate melts. Geochim. Cosmochim. Acta ,1251~1260.
Barnes S J. 1993. Partitioning of the platinum group elements and gold between silicate and sulfide magmas in the Munni Complex ,Western Australia. Geochim. Cosmochim. Acta ,57 :1277~1290.
Du Yangsong. 1999. A preliminary approach to crust-mantle Metallogeny. Mineral Deposits ,18(4) :341~345(in Chinese with English abstract).
Fues A N ,Baker D R. 1973. Stable carbon istopes in selected granitic mafic and ultramafic rocks. Geochim. Acta ,37 :2509~2521.
Keith M L ,Weber J N. 1964. Isotopic composition and environmental classification of selected limestones and fossils. Geochim. Cosmochim. Acta ,28 :1787~1816.
Ohmoto H. 1972. Sytematics of sulfur and carbon isotopics in hydrothermal ore deposits. Econ Geol. ,67 :551~578.
Sun Zhongshi ,Deng Jun ,Zhai Yusheng ,Feng Benzhi ,Liu Junlai. 2000. Structural-Metallogenic systems of large-scale gold deposit and genetic model of mantle-crust gradational circulatory fluid. Scientia Geologica Sinica ,35(3) :267~276(in Chinese with English abstract).
Sun Zhongshi ,Deng Jun ,Zhai Yusheng ,Feng Benzhi. 1999. Positive emplacement of mantle gold-bearing fluid and forming mechanism of ore-controlling structures. Geology Geochemistry ,27(4) :17~22 (in Chinese with English abstract).
Sun Zhongshi ,Feng Benzi ,Qing Xiao. 1998. The stable isotopic geology and exploration direction of the Jiapigou gold ore deposit ,Jilin province. Journal of Changchun University of Science and Technology ,28(2) :142~147(in Chinese with English abstract).
Zhang Hongxiang ,Xu Zhifang ,Huang Zhilong ,Liu Congqiang. 2000. The primary characters and origin of mantle fluids. Geology Geochemistry ,28(2) :1~5(in Chinese with English abstract).