

胶东金成矿区岩石氧氢同位素 地球化学背景初探

陈振胜 张理刚 刘敬秀 王炳成 徐金方 郑文深

(地质矿产部宜昌地质矿产研究所, 宜昌 443003)

(山东省地质科学研究所)

主题词 氧氢同位素 地球化学背景 胶东

提要 本文对胶东区域与金矿有关的各主要地质体氧氢同位素组成背景进行研究, 给出了燕山早期“玲珑”中粗粒二长花岗岩(深家河型花岗岩)氧氢同位素背景值为 $\delta^{18}\text{O} = 7.8\%$, $\delta\text{D} = -110\%$; 燕山晚期郭家岭(型)斑状花岗闪长岩背景值为 $\delta^{18}\text{O} = 10.0\%$, $\delta\text{D} = -90\%$; 昆崮山复式岩基背景值为 $\delta^{18}\text{O} = 8.5\%$, $\delta\text{D} = -90\%$ 。胶东群变质岩各岩性段 $\delta^{18}\text{O} = 5.1-11.3\%$, $\delta\text{D} = -81--96\%$, 表明其源岩既有幔源中基性组分, 又有壳源泥砂质物质。而郭家岭(型)斑状花岗闪长岩和中基性脉岩则很可能是该区域其它地质体重熔结晶分异的产物。

1 前言

胶东金成矿区是我国最重要的黄金生产基地之一, 已发现各种类型大小金矿上百个, 包括产于花岗岩中的石英脉型金矿(以玲珑、金青顶为代表)、蚀变岩型金矿(焦家、台上等); 产于胶东群变质岩中的石英脉型金矿(以马家窑为代表)以及表生淋滤富集型金矿(杜家崖)等。区域金矿的赋矿围岩多种多样, 但成矿年龄却十分集中(88—145Ma)^[1,2], 显然燕山晚期才是主要的区域成矿期, 而不同热液金矿的成因则需要具体分析。在解决热液矿床成因方面, 氧氢同位素起到了很关键的作用。利用氧氢同位素研究热液水来源、演化及矿床成因是广为采用的最有效方法之一。尤其是近年来通过研究水—岩作用过程中热液水和岩石氧氢同位素组成的系统变化规律, 全方位立体考虑氧氢同位素组成的演变, 使热液矿床成因研究上升到一个新高度^[3-7]。

水—岩相互作用过程中氧氢同位素组成的变化受温度、构造条件、W/R(水/岩)值以及水和岩石初始同位素组成等因素制约^[4]。不同岩石有不同的原始同位素组成。我们将区域某一岩体代表性的氧氢同位素组成称为其氧氢同位素地球化学背景值。利用水—岩交换氧氢同位素变化规律研究矿床成因, 首先要确定蚀变岩石的原岩氧氢同位素地球化学背景值。然而在许多热液矿床矿区范围内, 不容易获得新鲜的原岩标本。专门的背景研究是今后区域地质研究的一个方向。同位素地球化学背景研究与元素丰度研究的不同, 在于前者为解决热液矿床成因服务, 而后者为成矿区域及成矿物质来源提供参考。

本文提供了胶东金成矿区各主要地质体氧氢同位素组成。区域与成矿有直接关系的地层

本文于1994年7月收到, 1994年10月改回。

● 王炳成等, 1992, 胶东金矿稳定同位素地球化学及找矿。

为胶东群变质岩,它可以是金矿的赋矿岩石。区域多数金矿床赋存在不同时代花岗岩类岩石中,在招掖地区以“玲珑”复式花岗岩和郭家岭(型)斑状花岗闪长岩为主;牟乳地区以昆崙山复式花岗岩为代表。此外,胶东金成矿区域内中基性脉岩与金矿密切伴生,在个别矿区十分发育。

2 胶东群变质岩氧氢同位素组成

最新研究资料已将胶东群由一个整体分解为四个不同岩性段,由老至新为唐家庄组、英庄乔组、齐山组和林家寨组^[8]。主要岩性为黑云变粒岩、斜长片麻岩和斜长角闪岩等。表1列出胶东群地层氧氢同位素组成。不难看出,如果排除蚀变明显的岩石,则四件斜长角闪岩及黑云

表1 胶东群地层氧氢同位素组成

Table 1 Hydrogen and oxygen isotopic composition of Jiaodong Group

产 状	$\delta^{18}\text{O}_{\text{全岩}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{全岩}}(\text{‰})$	资料来源
齐山组斜长角闪岩	6.1		本文
齐山组黑云变粒岩	6.0		
林家寨组斜长角闪岩	5.4		
绢英岩化斜长角闪岩(栖霞金矿围岩)	7.9		
片麻岩	8.6	-82	李晓明,1988 ^[9]
片麻状角砾岩	—	-81	
蚀变片麻岩	12.3	-127	
片麻岩	11.3	-82	黄德业等,1990 ^①
斜长角闪岩	5.1	-96	
蚀变斜长角闪岩	13.4		
蚀变斜长角闪岩	8.1		

① 黄德业等,1990,胶东地区焦家式金矿成矿模式与找矿方向的研究报告。

变粒岩全岩 $\delta^{18}\text{O} = 5.1\text{‰} - 6.1\text{‰}$,平均值为 5.65‰ ,说明其源岩为中基性岩;而二件片麻岩全岩 $\delta^{18}\text{O} = 8.6\text{‰} - 11.3\text{‰}$,平均值为 10.0‰ ,表明其原岩可能为泥砂质沉积岩。全岩氢同位素组成也同样具有二组值,三件片麻岩的 δD 值稳定在 -82‰ 左右,而一件斜长角闪岩 $\delta\text{D} = -96\text{‰}$ 。据此,将胶东群变质岩按岩性分为二类给出其氧氢同位素地球化学粗略的背景值(因数据偏少)。其中斜长角闪岩和黑云变粒岩的代表值为 $\delta^{18}\text{O} = 5.7\text{‰}$, $\delta\text{D} = -95\text{‰}$;片麻岩的代表值为 $\delta^{18}\text{O} = 10.0\text{‰}$, $\delta\text{D} = -80\text{‰}$ 。这里给出的代表值与平均值之间的微小差别未超过实验误差范围。

值得一提的是,四件蚀变明显的岩石 $\delta^{18}\text{O}$ 值均高于其相应原岩,这可以是变质水、岩浆水甚至低温风化蚀变作用的结果,而无论是变质水或岩浆水与岩石(片麻岩)交换,都会使蚀变片麻岩的氢同位素组成降低^[6]。

3 燕山晚期郭家岭(型)斑状花岗闪长岩氧氢同位素地球化学背景

在招掖地区,郭家岭(型)花岗岩实际上包括郭家岭、丛家、北截、上庄和三山岛等斑状花岗

表 2 郭家岭(型)斑状花岗闪长岩氧氢同位素组成
Table 2 Hydrogen and oxygen isotopic composition of the Guojialing
(type) porphyritic granodiorite

岩体	$\delta^{18}\text{O}_{\text{全岩}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{长石}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{石英}}(\text{‰})$	资料来源
郭家岭	10.7	11.0		-81	本文
北截	10.8	10.8			徐金方等, 1989 ^[10]
丛家	9.3	11.2			
上庄	9.7	11.1			
	10.0	11.1			
上庄	9.8	10.8			本文
	9.9		9.1	-83	
三山岛	10.1	12.4	10.8	-81	李晓明, 1988
	10.4	12.1	10.5	-79	
	10.3	12.8	11.7		
	10.5	10.7			徐金方等, 1989
三山岛		12.1			陈光远等, 1989 ^[15]
		12.4			
平均	10.1	11.5	10.5	-81	

闪长岩体, 以肉红色钾长石斑晶为一大特点。该类岩体无论在形成时代、岩体侵位及地球化学等方面均有十分相似的特征^[10,11], 地球物理资料和钻孔资料证实它们在深部连为一体^[10], 它们的成岩年龄为 102—137Ma^[10,11]。

表 2 列出郭家岭(型)斑状花岗闪长岩体全岩及矿物的氧同位素及包裹体水氢同位素组成。从整体上看, 全岩 $\delta^{18}\text{O} = 9.3\text{‰}—10.8\text{‰}$, 平均值为 10.1‰; 长石 $\delta^{18}\text{O} = 9.1\text{‰}—11.7\text{‰}$, 平均值为 10.5‰; 石英 $\delta^{18}\text{O} = 10.8\text{‰}—12.8\text{‰}$, 平均 11.5‰。其 $\Delta_{\text{石英-长石}} = 1.0\text{‰}$, $\Delta_{\text{石英-全岩}} = 1.4\text{‰}$, 根据石英—长石(全岩)氧同位素分馏方程计算得到的温度为 560—710℃, 说明石英、长石和全岩的氧同位素组成保持了由高温岩浆结晶形成的矿物和岩石氧同位素平衡分馏的特征^[12]。四件花岗岩中单矿物石英包裹体水的 $\delta\text{D} = -79\text{‰}—-83\text{‰}$, 变化范围极窄, 稳定在 -81‰ 左右。由于花岗岩全岩氢同位素组成较之其中石英包裹体水的氢同位素组成大约低 10‰^[13-14], 因此我们可以比较有把握地给出郭家岭(型)斑状花岗闪长岩氧氢同位素地球化学背景值为: $\delta^{18}\text{O} = 10.0\text{‰}$, $\delta\text{D} = -90\text{‰}$ 。

4 燕山早期“玲珑”中粗粒二长花岗岩氧氢同位素地球化学背景

玲珑复式花岗岩基由许多大小不同岩体组成, 包括前燕山期形成的双顶片麻状花岗闪长岩(玲珑本地), 云山片麻状细粒二长花岗岩、崔召中粒二长花岗岩、罗山中细粒含榴石二长花岗岩, 燕山早期形成的滦家河、郭家店和岗山(毕廓)中粗粒二长花岗岩, 以及燕山晚期形成的

欧家乔细粒黑云母二长花岗岩等^[10]。由于燕山早期形成的中粗粒二长花岗岩体(滦家河等)与前燕山期花岗岩尤其是玲珑金矿的赋矿围岩——双顶片麻状花岗闪长岩有着极大的差异,将玲珑复式岩体作为一个整体讨论其氧氢同位素地球化学背景显然太笼统。滦家河、郭家店和岗山中粗粒二长花岗岩有着极相似的岩石学、矿物学和地球化学特征^[10],成岩年龄为150—164 Ma^[10-11,16-17],与区域金成矿年龄较接近,因此我们将“玲珑”中粗粒二长花岗岩与其它前燕山期岩体划分开来。

表3列出“玲珑”中粗粒二长花岗岩氧氢同位素组成。全岩 $\delta^{18}\text{O} = 7.2\text{‰} - 9.3\text{‰}$, 平均 7.8‰ , 石英 $\delta^{18}\text{O} = 7.5\text{‰} - 10.4\text{‰}$, 平均值为 9.0‰ , $\Delta_{\text{石英-全岩}} = 1.2\text{‰}$, 显示出高温岩浆结晶形成的矿物岩石氧同位素分馏特征。单个岩石手标本均保持了石英—全岩氧同位素分馏平衡,但在岩体范围内却显得极不均匀,全岩之间或石英之间的氧同位素组成差别较大(即使在单一岩体内部)。这种氧同位素组成特征及变化范围与胶东群变质岩的氧同位素组成特征有一定的相似性,二者可能有渊源关系。

表3 “玲珑”中粗粒二长花岗岩(滦家河型)氧氢同位素组成

Table 3 Hydrogen and oxygen isotopic composition of the “Linglong” medium-coarse grained adamellite (Luanjiahe type)

岩体	$\delta^{18}\text{O}_{\text{全岩}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{石英}}(\text{‰})$	资料来源
	7.2		-99	本文
郭 家 岭	9.3	9.7		徐金方等, 1989
	7.0	8.4		
	7.3	8.5		
	7.9	9.2		
滦 家 河		10.4		王炳成, 1986 ^[13]
		9.0		
		9.9		徐金方等, 1989
		9.2		
	8.7			
		7.5		王炳成, 1986
岗山	7.9	9.0		徐金方等, 1989
平均	7.8	9.0		

只获得一件郭家店岩体中石英包裹体水的氢同位素组成,代表性不够,其 $\delta\text{D} = -99\text{‰}$ 。

由此我们给出“玲珑”中粗粒二长花岗岩氧同位素地球化学背景值为 7.8‰ , 而岩体的氢同位素组成成为 -110‰ 左右。

5 昆崙山复式花岗岩基氧氢同位素地球化学背景

牟乳金矿带上的金矿主要产于昆崙山复式花岗岩体中,包括红石头、晒字、垛固顶和将军石等岩体,它们均为前燕山期形成的^[10]。复式岩体中亦见燕山晚期斑状花岗闪长岩(老师坟岩体)。

表 4 昆崙山复式花岗岩基氧氢同位素组成

Table 4 Hydrogen and oxygen isotopic composition of the Kunyushan complex granitic batholith

岩体	$\delta^{18}\text{O}_{\text{全岩}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{长石}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{石英}}(\text{‰})$	资料来源	
昆崙山	7.4	10.0		-82	本文	
	8.5					
		11.2			杨敏之等, 1989 ^[12]	
红石头	9.1	9.2			徐金方等, 1989	
	8.8	9.1				
		8.9			7.1	安家桐等, 1986 ^[10]
		9.2			7.6	
晒字	8.2	8.7			徐金方等, 1989	
	8.7					
	8.8					
	8.6					
敦北山		10.9	9.0		安家桐等, 1986	
平均	8.5	9.65	7.9			

表 4 为昆崙山复式花岗岩基氧氢同位素组成。其中, 全岩 $\delta^{18}\text{O} = 7.4\text{‰} - 9.1\text{‰}$, 平均值为 8.5‰ ; 石英 $\delta^{18}\text{O} = 8.7\text{‰} - 11.2\text{‰}$, 平均值为 9.65‰ ; $\Delta_{\text{石英-全岩}} = 1.15\text{‰}$ 。因此我们给出昆崙山复式岩基氧同位素地球化学背景值为 8.5‰ , 因为整个复式岩基的全岩氧同位素组成变化并不大 (极差 1.7‰), 集中在 8.5‰ 左右。只获得一件昆崙山复式花岗岩中石英包裹体水氢同位素组成, 其 $\delta\text{D} = -82\text{‰}$ 。推测该复式岩体氢同位素组成应在 -90‰ 左右。

6 其它岩体的氧氢同位素组成

未对区域内其它岩体做了足够的氧氢同位素分析, 表 5 列出这些岩体的氧氢同位素组成。

表 5 区域其它岩体氧氢同位素组成

Table 5 Hydrogen and oxygen isotopic composition of other rock bodies in Jiaodong

岩体	$\delta^{18}\text{O}_{\text{全岩}}(\text{‰})$	$\delta^{18}\text{O}_{\text{石英}}(\text{‰})$	$\delta\text{D}_{\text{石英}}(\text{‰})$	资料来源
双顶			-99	本文
	10.3	10.6		
云山		10.7		徐金方等, 1989
崔召	7.5	8.4		
欧家乔	9.2	10.8		
艾山	8.2~9.2(8.8)	8.4~10.8(9.2)		黄德业等, 1990 ^①
艾山			-92	本文
牙山			-94	本文

① 黄德业等, 1990, 胶东地区焦家式金矿成矿模式与找矿方向的研究报告。括号中数据为平均值。

有必要提到双顶片麻状花岗岩, 因为它是玲珑金矿的赋矿围岩。我们推荐的双顶岩体全岩氧氢同位素组成分别为 10.0‰ 和 -110‰ (参见表 5)。此外, 区域牙山、艾山等燕山期花岗岩^[10] 分别出露于盘子涧—马家窑金矿带的东南面和西北面, 该矿带范围内未见花岗岩类出露, 矿体直接产于胶东群变质岩中。根据表 5 数据, 艾山岩体全岩氧氢同位素组成大致为: $\delta^{18}\text{O} = 9.0\text{‰}$ 左右, $\delta\text{D} = -100\text{‰}$ 左右。推测牙山岩体与艾山岩体有相似的氧氢同位素组成。

7 区域部分中基性脉岩氧同位素组成

有关胶东金成矿区域中基性脉岩的氧氢同位素资料很少。黄德业^① 给出了 7 件全岩 $\delta^{18}\text{O}$ 值, $\delta^{18}\text{O} = 4.7\text{‰} - 10.7\text{‰}$, 绝大部分在 7‰—8‰ 之间, 平均值为 7.5‰。

8 结论和推论

(1) 表 6 综合了我们给出的胶东金成矿区域主要地质体的氧氢同位素地球化学背景值或代表值。这些地质体可以是赋矿岩石, 也可能是成矿“热机”;

表 6 胶东金成矿区域主要地质体氧氢同位素地球化学背景值

Table 6 Hydrogen and oxygen isotope geochemical background values of major geological bodies in the Jiaodong gold metallogenic region

地质体	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$	$\delta\text{D}(\text{‰})$
燕山晚期郭家岭(型)斑状花岗闪长岩	10.0	-90
燕山早期“玲珑”中粗粒二长花岗岩	7.8	-110
昆嵛山复式花岗岩基	8.5	-90
玲珑本地双顶片麻状花岗岩	10.0	-110
艾山(牙山)岩体	9.0	-100
中基性脉岩	7.5	
胶东群斜长角闪岩和黑云变粒岩	5.7	-95
胶东群片麻岩	10.0	-80

(2) 幔源中基性岩浆的氧同位素组成通常在 5.5‰—6‰ 之间^[12], 而胶东金成矿区域中基性脉岩 $\delta^{18}\text{O} = 7.5\text{‰}$ 左右, 说明该区中基性脉岩并非源于地幔;

(3) 胶东群地层氧氢同位素组成值域较大, 岩性复杂, 表明其源岩既有幔源中基性岩, 又有壳源泥砂质;

(4) 区域中与金成矿有主要关系的燕山晚期郭家岭(型)斑状花岗闪长岩具有区域花岗岩类岩石中最高的氧同位素组成, 很可能是该区域其它地质体重熔结晶分异的产物。如果郭家岭(型)花岗岩是由幔源物质同熔该区域早期形成的岩石, 则产生的郭家岭岩体 $\delta^{18}\text{O}$ 值应介于二端员同熔组分之间, 而不是区域最高的 $\delta^{18}\text{O}$ 岩石。而重熔结晶分异作用在岩浆房下部产生较基性组分, 上部产生酸性组分。酸性组分优先侵入定位形成郭家岭(型)花岗岩体, 基性组分随后侵入产生非幔源中基性脉岩及相应的同位素组成。

① 黄德业等, 1990, 胶东地区焦家式金矿成矿模式与找矿方向的研究报告。

(5) 区域前燕山期岩体与区域金成矿时代差别很大, 不能成为成矿动力。但在玲珑本地双顶片麻岩中和昆崮山复式岩基中产出金矿体, 在盘子涧—马家窑变质岩区亦有不少金矿床(点)产出, 我们由此推测其深部有作为成矿动力的燕山期岩体存在, 并推荐以艾山(牙山)岩体的氧氢同位素组成近似代表其背景值。

参 考 文 献

- 1 李华芹、刘家齐、魏林. 热液矿床流体包裹体年代学研究及其地质应用. 地质出版社, 1993.
- 2 骆万成等. 应用蚀变矿物测定胶东金矿的成矿年龄. 科学通报, 1987, 32(16): 1245—1248.
- 3 张理刚. 成岩成矿理论与找矿. 北京工业大学出版社, 1989.
- 4 陈振胜等. 水/岩交换作用及其找矿. 地质与勘探, 1989, 25(2): 7—11.
- 5 陈振胜等. 江西银路岭银铅锌矿床蚀变体系氧同位素连续演化及其地质成因. 宜昌地质矿产研究所所刊, 1992, 18: 189—200.
- 6 陈振胜等. 热液体系氢、氧同位素分馏机制及其地质意义. 地质学报, 1992, 66(2): 158—169.
- 7 陈振胜等. 团结沟金矿氧氢同位素组成特征与成矿关系的研究. 矿床地质, 1993, 12(2): 174—181.
- 8 林润生等. 山东胶北隆起区荆山群. 山东地质, 1988, 4(1): 1—21.
- 9 李晓明. 山东三山岛金矿床氧、氢、碳同位素研究及其应用. 地质找矿论丛, 1988, 3(3): 62—71.
- 10 徐金方等. 胶北地块与金矿有关的花岗岩类的研究. 山东地质, 1989, 5(2): 1—125.
- 11 胡世玲等. 山东玲珑和郭家岭岩体的同位素年龄及其地质意义. 岩石学报, 1987, (3): 83—89.
- 12 张理刚. 稳定同位素在地质科学中的应用. 陕西科学技术出版社, 1985.
- 13 Taylor H P. Water/rock interactions and the origin of H_2O in granitic batholiths: Jour. Geol. Soc. 1977, 133: 509—558.
- 14 Campbell A et al. A hydrogen and oxygen isotopic study of the San Cristobal mine, Peru: Implications of the role of low water to rock ratio for the genesis of wolframite deposit: Econ. Geol. 1984, 79: 1818—1831.
- 15 陈光远等. 胶东金矿成因矿物学与找矿. 重庆出版社, 1989.
- 16 文子中. 玲珑花岗岩同位素年代学问题讨论. 山东地质, 1985, 1(2): 1—9.
- 17 王鹤年等. 胶东西北部混合岩、花岗岩及其与金矿化的关系. 南京大学学报(地质增刊), 1984, (4): 29—40.
- 18 王炳成. 玲珑花岗岩的岩石化学与地球化学特征. 山东地质, 1986, 2(1): 54—73.
- 19 杨敏之等. 胶东东部金青顶金矿床围岩蚀变带的地球化学、形成机理及找矿方向. 地质找矿论丛, 1989, 4(2): 1—17.

**A Preliminary Study on Hydrogen and Oxygen Isotope
Geochemical Backgrounds of Geological Bodies
in Jiaodong (Eastern Shandong) Gold
Metallogenic Region**

Chen Zhensheng Zhang Ligang Liu Jingxiu

(Yichang Institute of Geology and Mineral Resources, Yichang 443003)

Wang Bingcheng Xu Jinfang Zheng Wenshen

(Shandong Institute of Geological Sciences, Jinan 250014)

Key words: hydrogen and oxygen isotopic composition, geochemical background, Jiaodong (peninsula)

Abstract

Hydrogen and oxygen isotopic composition of altered rocks and ore-forming fluids proves to be one of the best indicators in the genetic study of hydrothermal deposits, and the determination of initial parameters of hydrogen and oxygen isotopes in the process of water-rock exchange seems to be of key importance. Based on an investigation into hydrogen and oxygen isotopic composition backgrounds of major geological bodies related to gold deposits in Jiaodong region, the present paper points out that the hydrogen and oxygen isotope background values are $\delta^{18}\text{O} = 7.8\text{‰}$ and $\delta\text{D} = -110\text{‰}$ for the Early Yanshanian "Linglong" medium-coarse grained adamellite (Luanjiahe type), $\delta^{18}\text{O} = 10.0\text{‰}$ and $\delta\text{D} = -90\text{‰}$ for the Late Yanshanian Guojialing type porphyritic granodiorite, $\delta^{18}\text{O} = 8.5\text{‰}$ and $\delta\text{D} = -90\text{‰}$ for the Kunyushan complex granitic batholith, and $\delta^{18}\text{O} = 5.1-11.3\text{‰}$ and $\delta\text{D} = -81-96\text{‰}$ for the metamorphic rocks of Jiaodong Group. These data show that the protoliths of the Jiaodong Group contained both mantle-derived intermediate-basic components and crust-derived argillaceous-arenaceous materials, whereas the Guojialing type granite and regional intermediate-basic dikes are likely products of remelting and crystallization differentiation of other geological bodies in this region. Hydrogen and oxygen isotopic data of some subordinate rock bodies in this region are also given in this paper.