

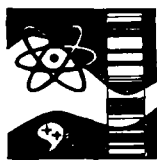
石英—锡石—水体系氧同位素分馏作用实验研究*

张理刚 刘敬秀 周环波 陈振胜

(地质矿产部宜昌地质矿产研究所)

本文在400~500℃及250~370℃温度范围内, 盐度为0~15wt%, 压力约0.3~0.6kbar条件下, 分别在水溶液中完成了由硅胶及非晶质 SnO_2 合成石英—锡石矿物对以及由非晶质 SnO_2 等合成的锡石—水之间氧同位素分馏的实验研究, 获得了石英—锡石—水体系氧同位素分馏作用系数与温度的关系方程: $1000\ln\alpha_{\text{石英-锡石}} = 3.11 \times 10^6 T^{-2} + 1.63$ (400~500℃), $1000\ln\alpha_{\text{石英-水}} = 2.60 \times 10^6 T^{-2} - 9.91$ (250~370℃), $1000\ln\alpha_{\text{锡石-水}} = 0.20 \times 10^6 T^{-2} - 4.34$ (370±~500℃)。

关键词: 氧同位素分馏; 石英—锡石—水体系



同位素地质

过去20年间, 人们通过研究热液矿床中氧同位素, 对了解热液来源起了极重要的作用。但以往的研究仅局限于利用脉石矿物, 如石英、云母、长石及方解石等, 除磁铁矿外, 常见的金属矿物如锡石、黑钨矿、绿柱石等由于尚未建立可靠的矿物—水氧同位素分馏曲线而很少被利用。锡石是热液矿床中较常见的矿物, 是稳定同位素地球化学家十分感兴趣的矿物之一。Borshchevskiy等(1979, 1983), Patterson等(1981), Hattori等(1982), Shen-Su Sun等(1987)从自然界获得的石英—锡石矿物对氧同位素组成, 结合矿物包裹体测温而获得经验的石英—锡石及锡石—水之间分馏系数。丁悌平(1988)根据理论计算获得1条石英—锡石氧同位素分馏校正曲线。也就是说, 到目前为止, 还未建立1条可靠的锡石—水或石英—锡石氧同位素分馏实验温度校正曲线。

为此, 我们在石英—水—盐体系氧同位素分馏作用实验研究的基础上, 在250~370℃温度范围内, 由非晶质 SnO_2 重结晶或 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 水化合成锡石, 以及310~500℃温度范围内由硅胶和非晶质 SnO_2 合成石英—锡石矿物对的氧同位素分馏作用实验研究, 以获得较可信的石英—锡石及锡石—水氧同位素分馏作用温度校正曲线, 同时探讨锡石—水氧同位素分馏作用的影响因素, 以及同位素交换反应的可能机理。

实验方法

1. 初始试料

在本研究中, 我们合成石英—锡石矿物对和锡石时所采用的初始试料, 有自制的非晶质 SnO_2 和无色结晶 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (上海试剂厂制造, 分析纯) 及硅胶 (上海试剂厂制造, 分析纯)。平衡交换的水有G、B、

* 国家自然科学基金资助项目 (4860149)。

Y、M₁、M₂等。初始试料的氧同位素组成见表1。

初始试料的氧同位素组成(相对于SMOW) 表1

试料	符 号	$\delta^{18}\text{O}(\%)$
非晶质SnO ₂ (自制)	SnO ₂	+6.11
SnCl ₄ ·5H ₂ O	SnCl ₄ ·5H ₂ O	-5.53*
水**	G	-5.96
	B	-0.96
	Y	+33.32
	M ₁	+12.58
	M ₂	+13.64
SiO ₂	SiO ₂	+14.80

* 氧同位素分析过程中未经加热预处理。

**用CO₂-H₂O平衡法测定, 采用平衡常数 $\alpha(25^\circ\text{C}) = 1.04120$

非晶质SnO₂是常温常压下用过量的SnCl₄·5H₂O与NaCl, 在水溶液中反应生成白色胶状沉淀, 过滤置于烘箱中烘干(100℃左右)而获得的, 经X光衍射分析, 表明为结晶很差的锡石(图1)。

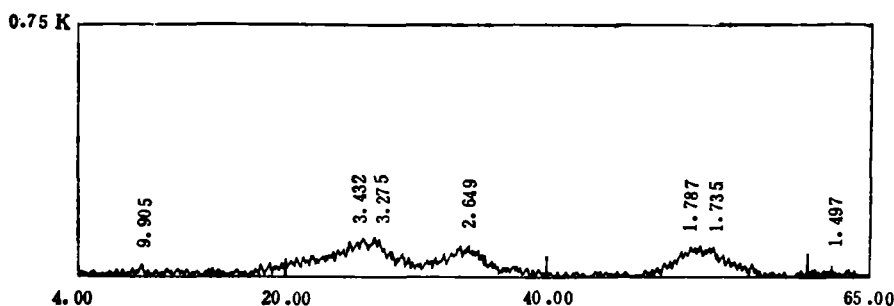


图1 自制SnO₂ X衍射分析图

(Cu靶: 50kV, 80mA, 熊先权、章眼宁分析)

全部实验所使用的盐为NaF, 盐度0~15%, 考虑到张理刚等(1989)提出盐度对氧同位素分馏无影响的结论, 在我们的所有实验中没有对盐度作十分严格的要求和设计。

每一实验流程结束后, 高压釜置于冷风机下吹2~3分钟, 然后放入冷水中数分钟降

2. 实验方法

(1) 锡石—水体系 包括由非晶质SnO₂合成锡石和SnCl₄·5H₂O水化合成锡石的实验研究, 一部分是在带金衬套的外加热自封式不锈钢高压釜中直接进行, 填充度约50%, 用聚四氟乙烯作密封垫圈, 厚度1~5mm。实验表明, 370℃以下其密封性能很好。另一部分按张理刚等(1989)的石英—水交换实验方法, 在金管中完成(外部水压低于0.6kbar), 以便对比。

(2) 石英—锡石—水体系 合成石英—锡石矿物对的实验是在带有金衬套高压釜中完成的, 温度高于400℃时用钛片作垫片。金衬套长11cm, 内径1.1cm。上述实验中, 高压釜金衬套放于加热炉恒温区中心, 温度由JWK-702型控温仪控制(上海制造), 精度为0.5℃。高压釜温度即合成交换反应温度, 由置于高压釜釜壁斜孔(对应于金衬套或金管中部)中的NiCr-NiAl热电偶及UJ36型电位差计测定。实验时间为24~360小时。其他同张理刚等(1989)所介绍。

至室温, 取出合成矿物或矿物对(金管中合成锡石的流程, 在反应前后严格称重以此检漏), 先用蒸馏水洗涤多次, 除去可溶物质, 再用无水酒精洗一次, 置于烘箱中烘干5小时以上(100℃左右)。合成的石英—锡石矿物对, 经X衍射仪分析鉴定为石英和锡石(图2)。由于石英与锡石之间比重相差

大，因此合成的石英—锡石矿物对，先经酒精淘洗初步分离，然后在双目镜下仔细挑选分离，最后在显微镜下检查。在高温条件下，石英与锡石结晶颗粒较大，较易分离。但在320℃以下实验合成的石英、锡石结晶

太细，多呈粉末状，因而出现混杂，不易分离纯。合成的锡石亦经X衍射分析证实（图3）。通常在高温条件下，锡石呈短柱状及放射柱状集合体。此外，氧同位素分析过程中，根据氧气产率可进一步证实合成矿物为

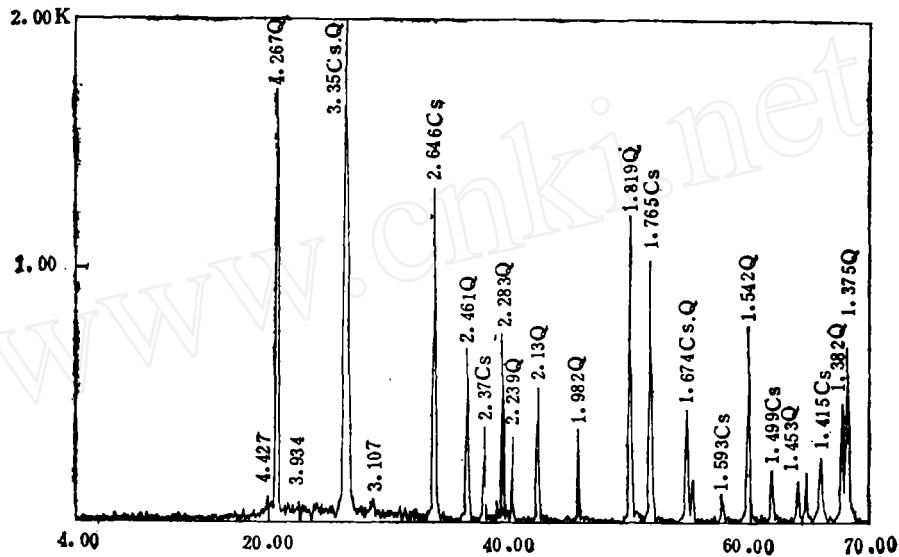


图 2 合成石英—锡石矿物对X衍射分析图
(Cu靶; 50kV, 80mA, 章跟宁分析)

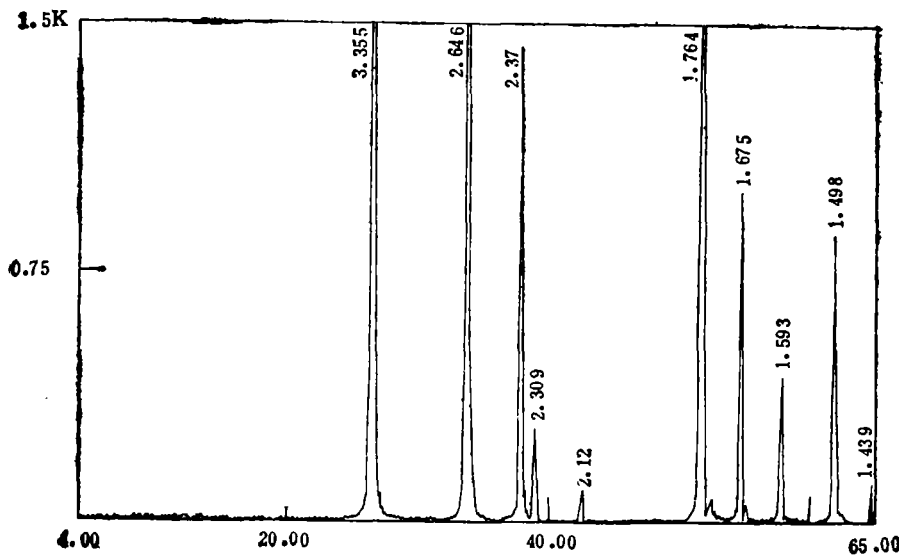


图 3 合成锡石X衍射分析图
(Cu靶; 50kV, 80mA, 章跟宁、熊先权分析)

石英、锡石。

3. 氧同位素分析

合成的锡石及石英—锡石矿物对的氧同位素分析，采用传统的BrF₅法完成(Clayton

等, 1963; 张理刚, 1982, 1989), 石英和锡石的反应温度分别为520℃和580℃±, 反应时间为12小时, 所制备的CO₂用MAT-251质谱仪作氧同位素测定, 并用NBS-28 (δ¹⁸O = +0.57‰) 及山阳石英标准样 (δ¹⁸O = +11.13‰) 作工作标准, 给出相对于SMOW标准的δ值。本次研究同位素分析工作标准的标准偏差为±0.25‰。对合成石英—锡石矿物对的氧同位素分析安排在同一流程中, 所制备的CO₂直接与钢瓶参考气CO₂, 在质谱仪上对比测定, 结果见表3。金管中反应后的水氧同位素组成用物质平衡计算获得, 而金衬套中反应前后水的δ值变化, 经计算变化小于0.1‰, 故可忽略不计。

4. 符号

氧同位素分析结果以δ(‰)值给出:

$$\delta = \frac{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{样}} - ^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{标}}}{^{18}\text{O}/^{16}\text{O}_{\text{标}}} \times 1000\text{‰}$$

分馏系数定义为A、B两相¹⁸O浓度之比,

$$\alpha_{A-B} = (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_A / (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_B$$

在一定温度范围内, 矿物与水以及矿物对之间同位素分馏系数与温度之间的关系, 以下列线性方程表示:

$$1000 \ln \alpha = a \cdot 10^6 T^{-2} + b$$

其中, *T*为绝对温度, *a*、*b*均为常数。

实验获得的同位素数据换算为千分分馏系数 (1000 ln α), 结合相应的*T*值, 用最小二乘法计算获得分馏方程。

结果与讨论

1. 锡石—水体系氧同位素分馏

在250~370℃温度范围内, 完成了锡石—水之间氧同位素分馏作用的实验研究, 实验条件及结果列于表2。

由表2可见, 在大致相同的反应条件

锡石水之间氧同位素实验结果 表 2

温度(°C)	实验序号	始料(mg)				时间 (小时)	盐度 (wt%)	δ ¹⁸ O _{SMOW}	1000lnα _{Cs-H₂O}
		水	重量	SnO ₂ (自制)	SnCl ₄ ·5H ₂ O				
370	Sn201	M ₂	6000	200		48	10	+9.58	-4.01
	Sn202	G	6000	200		25	5	-9.57	-3.63
	Sn203	B	6000	200	470	24	0	-4.88	-3.98
	Sn204	G	240	30		24	15	-9.37	-3.90
	Sn205	Y	6000	300		28	10	+26.47	-6.85**
									-3.88±0.17
310	Sn206	G	6000	300		168	10	-7.91	-1.96
	Sn207	B	6500	250		93	10	-2.55	-1.64
	Sn208*	M ₂	400		84	240	10	+11.71	-1.61
	Sn209	B	5800		490	47	0	-2.84	-1.93
	Sn210	Y	6000	200		140	10	+27.30	-6.02**
									-1.79±0.19
250	Sn211	M ₂	6000	200		140	10	+12.52	-1.10
	Sn212	B	7000	250		162	10	-1.00	-0.09
	Sn213*	M ₁	300	50		164	10	+11.30	-1.06
	Sn214*	G	300	50		68	10	-6.19	-0.72
	Sn215*	G	300	50		192	10	-5.45	+0.05
	Sn216	Y	6000	300		192	5	+22.25	-11.07**
									-0.59±0.54

• 在密封金管中进行实验, 其余在金衬套中进行。
 • • 未参与计算 (见正文), Cs—锡石。

下, SnO_2 与Y水之间的氧同位素交换分馏值均低于同组其他实验值, 而且温度愈低, 偏差愈大, 表明同位素交换并未达到平衡。这可能是由于Y水与非晶质 SnO_2 间氧同位素组成(Δ_i)相差太大所致; 在张理刚等(1989)的文章中有过相同现象的报道和论述。非晶质 SnO_2 与其他水(G、B、 M_1 、 M_2)之间氧同位素组成的差异(Δ_i), 相对而言要小得多, 故易于达到同位素交换平衡。

从表2还可以看到, 非晶质 SnO_2 合成锡石流程与由 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 水化合成锡石流程之间, 氧同位素分馏值没有明显差异, 但后者均较稳定。这可能是由于非晶质 SnO_2 合成的锡石与水之间的氧同位素交换, 不如 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 水化合成的锡石与水之间的氧同位素交换充分造成的。前者是重结晶过程中与 H_2O 进行氧同位素交换, 而后者则是在水化中合成锡石, 易于进行氧同位素交换并达到平衡。此外, 表2中数据还表明, 不论是金管或金衬套中, 实验结果大致相同。

表2中数据表明, 250℃, 310℃, 370℃时锡石—水之间氧同位素分馏值分别为 $-0.59 \pm 0.54(\text{‰})$, $-1.79 \pm 0.19(\text{‰})$, $-3.88 \pm 0.17(\text{‰})$ 。Shen-Su Sun等(1987)曾报道锡石—水同位素分馏的经验值 $-2.2\text{‰}(300^\circ\text{C})$, $-4.1\text{‰}(370^\circ\text{C})$, 与本研究相应的实验分馏值较接近。

据表3中数据获得的石英—锡石分馏方程, 结合张理刚等(1989)石英—水实验分馏方程, 计算出400℃和500℃时锡石—水的氧同位素分馏值分别为 -3.91‰ 和 -4.02‰ 。利用这两个值以及表2中列出的250℃, 310℃及370℃的实验分馏值, 用最小二乘法计算得到250~500℃温度范围内锡石—水之间的氧同位素分馏方程为:

$$\begin{aligned} 1000 \ln \alpha_{\text{C}_3-\text{H}_2\text{O}} &= 2.60 \times 10^6 T^{-2} \\ &- 9.91 \quad (250 \sim 370^\circ\text{C} \pm) \quad (1) \\ 1000 \ln \alpha_{\text{C}_3-\text{H}_2\text{O}} &= 0.20 \times 10^6 T^{-2} \end{aligned}$$

-4.34 (370±~500℃) (2)

图4中绘出了这两条曲线。Borshchevskiy等(1979)报道过1条锡石—水分馏理论计算曲线, 但未给出方程, 也未报道计算方法。从他绘制的图中可看出, 曲线的温度范围大致为100~500℃, $1000 \ln \alpha_{\text{C}_3-\text{H}_2\text{O}}$ 值范围为 $-8 \sim -12\text{‰}$, 而且在500℃和100℃时较高, 中间较低, 这些数据与本文所获得的实验曲线有很大的差别。图4中粗略绘出了Borshchevskiy等(1979)的经验曲线(高-中温部分)。

从图4中本次研究的曲线可看出, 在高温区间(370~500℃), 锡石—水之间分馏曲线较为平缓, 即在高温条件下($>370^\circ\text{C}$)锡石—水之间氧同位素分馏变化较小, 而低温区间(250~370℃)实验标准曲线斜率较大, 说明低温条件下($<370^\circ\text{C}$), 锡石—水之间氧同位素分馏随温度降低而加大, 这一现象与自然界获得的结果吻合。对于高温和低温条件下的明显差异, 其原因尚不清。

2. 石英—锡石体系氧同位素分馏

本次研究中, 在310~500℃温度范围内及盐度为10%、填充度为50%条件下, 进行了合成石英—锡石矿物对实验。实验条件及结果列于表3。

根据表3以及我们挑选分离矿物过程中所遇到的问题分析可知, 340°和310℃时实验数据异常, 是不可靠的。低于340℃, 合成石英—锡石矿物对颗粒太细, 多呈粉末状, 无法完全分离。表3中尤其是310℃一组数据表明, 反应时间越长, 分馏值愈大, 而56小时时出现负值。但不管怎样, 再延长至360小时的一组实验结果, 分馏系数仍低于400和500℃时的值。张理刚等(1989)已指出, 同一硅胶合成石英, 在320℃时只需要32小时即可达到平衡, 而锡石也仅需要50小时(见表2), 因此我们断定, 表3中340℃和310℃时出现低的分馏系数不是非平衡造成的, 而是石英—锡石矿物

石英—锡石实验条件及同位素结果*

表 3

温度 (°C)	实验编号	初始试剂用量(mg)				时间 (小时)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Q-CO}_2}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{Cs-CO}_2}$ (‰)	$1000\ln\alpha_{\text{Q-Cs}}$ (‰)
		硅胶	SnO_2 **	水代号	水量				
500	Sn001	300	300	G	6500	48	-25.21	-31.73	+6.71
	Sn002	300	300	M ₁	6500	72	-11.30	-18.35	+7.15
	Sn003	300	300	M ₂	6000	42	-10.05	-16.63	+6.66
									6.84 ± 0.27
400	Sn004	300	300	G	6000	116	-26.46	-35.14	+8.95
	Sn005	300	300	M ₁	6000	72	-9.70	-17.64	+8.05
									8.50 ± 0.63
340***	Sn101	300	300	B	6000	120	+5.49	-1.26	+6.75
	Sn102	300	300	B	6000	164	+2.80	-2.35	+5.15
310***	Sn103	300	300	B	6000	56	+3.59	+5.45	-1.86
	Sn105	300	300	B	6000	240	-1.18	-7.08	+5.90
	Sn007	300	300	M ₁	6000	360	-6.19	-12.69	+6.56
	Sn006	300	300	M ₁	6000	170	-8.61	-9.88	+1.28

* 全部实验所用盐为NaF, 盐度10%。

** 自制非晶质 SnO_2 。

*** 本组实验数据未被采用(理由见正文)。

表中Q—石英; Cs—锡石。

对分离不纯造成的。

在400℃和500℃实验条件下获得的实验结果比较令人满意, 由实验结果计算得到的石英—锡石矿物对的千分分馏值, 400℃时2次平均值为 $8.50 \pm 0.63\%$, 500℃时3次平均值为 $6.84 \pm 0.27\%$ 。400℃时8.50%的石英—锡石分馏值与Shen-Su Sun等(1987)的经验数据(在370℃时为8.5~8.9%)相一致。Patterson等(1981)报道过Renison Bell矿床中300~350℃时石英—锡石之间的经验分馏值为9.8和10.2。根据我们在400℃和500℃时实验数据, 运用最小二乘法计算得到石英—锡石之间氧同位素分馏方程式为:

$$1000 \ln \alpha_{\text{石英-锡石}} = 3.11 \times 10^6 T^{-2} + 1.63 \quad (400 \sim 500^\circ\text{C}) \quad (3)$$

根据370~500℃和250~370℃时的锡石—水分馏方程, 结合张理刚等(1989)的石英—水—盐体系氧同位素分馏方程

$$1000 \ln \alpha_{\text{石英-水}} = 3.306 \times 10^6 T^{-2}$$

$$-2.71 \quad (180 \sim 550^\circ\text{C}) \quad (4)$$

获得该温度范围内石英—锡石之间氧同位素分馏方程

$$1000 \ln \alpha_{\text{石英-锡石}} = 3.11 \times 10^6 T^{-2} + 1.63 \quad (370 \sim 550^\circ\text{C}) \quad (5)$$

$$1000 \ln \alpha_{\text{石英-锡石}} = 0.71 \times 10^6 T^{-2} + 7.20 \quad (250 \sim 370^\circ\text{C} \pm) \quad (6)$$

该方程组中高温部分的(5)与(3)完全相等。可见, 本次研究锡石—水体系氧同位素分馏实验结果以及张理刚等(1989)的石英—水分馏校准曲线是可信的。

丁悌平等(1988)根据理论计算得到的石英—锡石分馏方程为:

$$T > 700^\circ\text{K} \quad 1000 \ln \alpha_{\text{石英-锡石}} = 4.187 \times 10^6 T^{-2} + 0.3 \quad (7)$$

$$T < 700^\circ\text{K} \quad 1000 \ln \alpha_{\text{石英-锡石}} = 2.438 \times 10^6 T^{-2} + 4.76 \quad (8)$$

此外, Bershechskiy等(1983)报道过1个石英—锡石经验分馏方程为:

$$1000 \ln \alpha_{\text{石英-锡石}} = 3.25 \times 10^6 T^{-2}$$

图4中标出了我们的实验校正曲线,还标出了丁悌平等(1988)的理论曲线和Borshchevskiy等(1983)的经验曲线。虽然我们无法判断出哪一条曲线更可靠,但丁悌平等(1988)的理论校正曲线,是根据石英和锡石的分子振动光谱数据计算的,而忽略了分子平动能、转动能等,采用了一些简化的近似计算。Borshchevskiy等(1983)的经验曲线是如何获得的,未作详细报道,而且如果结合石英-水分馏方程所计算出的锡石-水分馏曲线,几乎是1条水平直线,即不同温度下锡石-水之间的分馏值几乎是常数(约为1.2‰),这似乎是不太可能的。

此外,从图4中可以看出,丁悌平等

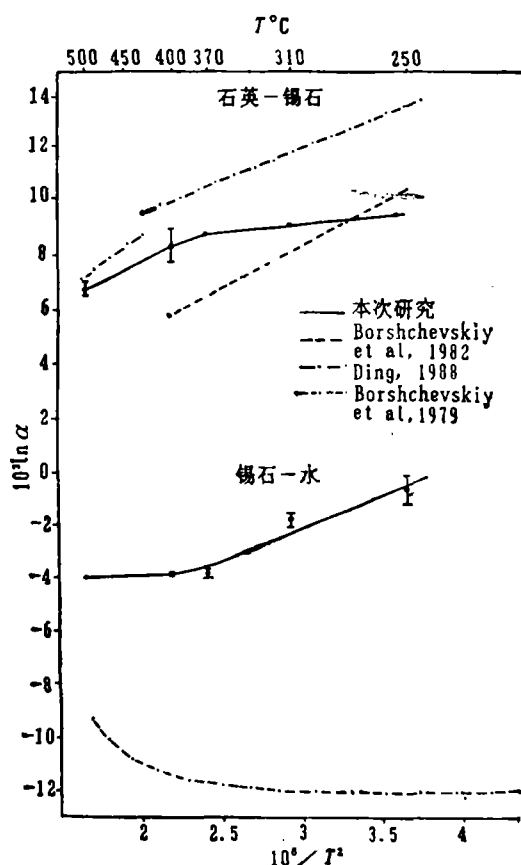


图4 400~500℃范围石英与锡石之间以及370~250℃范围锡石-水之间氧同位素分馏实验标准曲线

(1988年)的理论曲线及Borshchevskiy等(1983)的经验曲线,分别处于本研究所获得实验校正曲线的两侧。丁悌平(1988)的高温理论分馏曲线与我们的实验曲线高温部分很靠近,而我们曲线的中温部分与Borshchevskiy等(1983)的经验曲线较吻合。这可能是在高温条件下,分子平动能、转动能可忽略不计,因此,利用分子振动能计算出的石英和锡石之间分馏就比较可靠。另一方面,在自然界,石英和锡石主要形成在中温条件下并密切共生,因而所获得的经验数据就比较可靠。

结 论

1. 在高温条件下(400、500℃)合成的石英与锡石氧同位素分馏,与自然界的值吻合,但在中低温条件下,合成的石英和锡石因无法分离提纯而未获理想结果。

2. 非晶质 SnO_2 与水之间氧同位素平衡交换速度同样受温度、盐度及 Δ_f 值的影响,而压力及盐度对氧同位素分馏无影响。

3. 由 $\text{SnCl}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 脱水合成锡石,或由非晶质 SnO_2 重结晶,所获分馏系数相同,且前者更易达到同位素平衡。

参 考 文 献

- [1] Borshchevskiy, Yu. A. and Borisova, S. L., Internat. Geology Rev., 1979, V.21, p.937~944.
- [2] Borshchevskiy, Yu. A., et al, Internat. Geology Rev., 1983, v.25, p.107~116.
- [3] Clayton, R. N. and Mayeda, T. K., Geochim. et Cosmochim. Acta, 1963, v. 27, p.43~52.
- [4] Ding, T. P., Stable isotope on several typical mineral deposits, Beijing Science and Technology Publishing House, 1988, p.1~71.
- [5] Patterson, D. J., et al. Econ. Geol., 1981 v.76, p. 393~438.
- [6] Sun, S-S, and Eadington, P. J., Econ. Geol., 1987, v. 82, p. 43~52.
- [7] Zhang Ligang, et al, Econ. Geol. (in press).
- [8] 张理刚, 国际钨矿地质专题讨论会论文集汇编, 地质出版社, 1982年。

(下转第17页)

它有较强的活动性,在pH值较低的泻湖中锰不易聚沉,有利于大量 Ca^{2+} 和 CO_3^{2-} 结合,形成 CaCO_3 。由于上升洋流从海洋深层水中带来较多 CO_2 到泻湖里,因低能浅水环境,压力减小而使 CO_2 外逸,使pH值升高到9左右。此时锰的溶解度急剧降低,促使锰质胶体质点发生凝聚和沉淀;其次凝聚的锰胶体被埋藏后,因有机质或细菌作用,氧逸度减低,产生了 NH_3 、 H_2 、 CO_2 、 H_2S 等,使介质变为还原环境,大部分高价锰变成了低价锰。溶解的 Mn^{2+} 扩散进入上覆的水中,被搬到盆地较深部位,或在底层水中与氧作用而在分界面处沉淀。 Mn^{2+} 迁移到碳酸盐灰泥孔隙中,由于成岩早期的压实和脱水作用,间隙溶液中的锰质集中进入层间水,定向运移至成矿有利部位富集成层状锰矿石。被埋藏的锰胶体如果存在于局部高氧逸度的环境中,就形成锰的氧化物;最

后是生物作用再富集阶段,锰矿层形成之后,沉淀了生物碎屑微晶灰岩,生物腐烂,释放出 Mn^{2+} ,在压力的作用下,锰元素向下伏矿层运移,因矿层结构较细,起了一个阻挡层作用, Mn^{2+} 汇聚在矿层中,使矿体富集叠加,形成了锰矿层中锰品位有高低之分的矿床。说明生物对锰质的再富集起着重要的作用。

本文是在野外工作的基础上编写的,同时参考了我所“桂中锰矿专题组”的资料,谨致谢意。

参 考 文 献

- [1] 武汉地质学院,《古生物学教程》,1979年。
- [2] 刘宝珩主编,《沉积岩石学》,1979年。
- [3] 刘宝珩、曾允孚主编,《岩相古地理基础和工作方法》,1985年。
- [4] 米利曼, J. D. 著(中科院地质所译),《现代沉积碳酸盐(第一卷)》,海洋碳酸盐,地质出版社,1978年。

On the Origin of the Longtong Manganese Carbonate Deposit

Zhu Shouquan

The Longtong Mn-deposit, being of sedimentary type with manganese carbonate as its main ore mineral, is controlled by lagoonal facies and related to submarine hills. Source materials were derived from Mn-bearing limestone of the Jiangnan old land-mass and from residual manganese substance and organism in lake basin. The deposit had undergone three main stages, including sedimentary, diagenesis and organogenic.

(上接第37页)

Experimental Studies of Oxygen Isotope Fractionation between Quartz-Cassiterite and Water

Zhang Ligang, Liu Jingxiu, Chou Huanbo, Chen Zhensheng

Experimental studies on isotope fractionation for oxygen between the mineral pair of quartz and cassiterite synthesized from silica gel or/and amorphous SnO_2 and the cassiterite synthesized from SnO_2 and water were conducted in water solution respectively at temperature ranges 400—500°C and 250—370±500°C, under a pressure range of 0.3—0.6 Kbar, with water salinity of 0—15 wt%. Temperature variations of the isotope fractionation factor for oxygen between quartz-cassiterite and water we obtained from our studies are expressed by following equations:

1. $1000 \ln a_{\text{QC}} = 3.11(10^4 T^{-2}) + 1.63$ (400°C—500°C)
2. $1000 \ln a_{\text{C-H}_2\text{O}} = 2.60(10^4 T^{-2}) - 9.91$ (250°C—37°C±)
3. $1000 \ln a_{\text{C-H}_2\text{O}} = 0.20(10^4 T^{-2}) - 4.34$ (370°C±—500°C)