

鄂西东岳中低温热液充填型大理石矿床的地质特征*

赵来时 朱 明 吴 立 杨世忠

(中国地质大学, 武汉)

提 要:通过对东岳大理石矿的地质特征、矿石化学成分、微量元素、矿物包裹体及同位素地球化学研究,认为该矿属于中低温热液充填矿床,成矿温度 140~220℃,成矿溶液来源于大气降水。这类矿床是我国大理石矿新类型,对鄂西、河南、广西等地同类矿床成因探讨具有十分重要的意义。

关键词:中低温热液 大理石矿床 同位素地球化学 流体包裹体 鄂西东岳

东岳大理石是一种罕见名贵大理石,储量大,经济效益极佳。本文试图通过矿床地质及地球化学特征的研究,以揭示东岳大理石矿床控矿因素和矿床成因。

1 矿区地质概况

东岳大理石矿床位于鄂西郧县谭山乡东岳村,在大地构造上位于秦岭造山带东端中部,扬子陆缘区中秦岭隆起部位(据杨家禄等,1989)。区内出露地层主要为震旦系、寒武系下、中统,其次为第三系。第三系玉皇顶组为砂砾岩、泥灰岩,不整合覆盖于寒武系中统叶芳沟组白云岩之上。区内无火山及岩浆活动,仅在矿区东部河南浙川以北的栾县境内有成片花岗岩体侵入。

矿区位于小灰山向斜核部,发育一系列 NW 向逆断层及一组 NE 向锯齿状张性储矿正断层,它们组成矿区基本构造格架(图 1)。断裂构造按其性质及走向,把该区断裂分为 NW 向压性逆断层,NE 向张性正断层,NWW 及 NEE 平移扭性断层四种类型(表 1)。断裂具多期活动特点,特别是 NE 向张性断裂重新张裂,为热液提供通道和沉积场所。

矿区岩溶十分发育,以岩溶角砾岩为特征,在羽毛沟一带呈宽 500 m 的 NW 向不规则带状,与围岩界线明显,表明岩溶受 NW 向断裂控制。已发现 9 条大小不同的矿脉均分布在矿区南北两条角砾岩带之间(图 1),岩溶角砾岩带控制了成矿范围。

矿体与围岩界线清楚,同围岩呈切割关系,无围岩蚀变现象,在平面上呈脉状,透镜状产于寒武系中统叶芳沟组白云岩中(图 1)。矿体走向在 10°~70°之间,倾向 NW,倾角 60°~80°,矿体以羽毛沟 I 号矿体和大小灰山 II 号矿体规模最大,矿体最长可达 1500 m,宽 40 m。

* 湖北省科委重点攻关项目 903A0202 研究成果

第一作者简介:赵来时,男,1966 年生,硕士,讲师,主要从事地层学、沉积学及沉积矿产研究,邮政编码:430074
1998-11-10 收稿,1999-05-03 二次修改回。由陶景连编辑

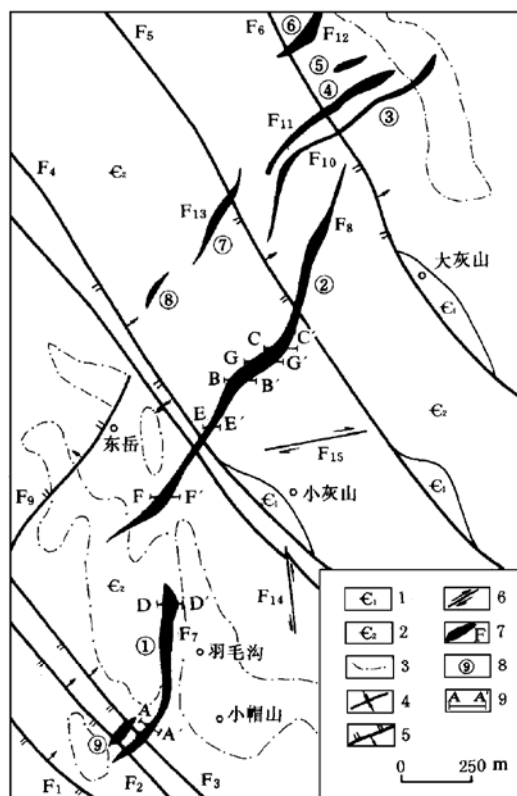


图 1 东岳大理石矿区地质略图

1—下寒武统硃矿组硅质岩；2—中寒武统叶芳沟组白云岩；
3—岩溶界线；4—向斜轴；5—逆断层；6—平移断层；7—正
断层；8—矿体编号；9—探槽

Fig. 1. Geological sketch map of the Dongyue marble deposit.

1—Silicalite of Lower Cambrian Fankuang Formation; 2—
Dolomite of Middle Cambrian Yefang Formation; 3—Bound-
ary of Karst; 4—Syncline axis; 5—Reversed fault; 6—
Strike-slip fault; 7—Normal fault; 8—Serial number of
orebody; 9—Trench.

体分布来看，以形成米黄玉矿石为主。

2 大理石矿床地球化学特征及成因

2.1 矿石化学成分及微量元素

为了探讨矿质来源，作者采集了围岩及矿石，分析其主要化学成分（表 2）。从表 2 可知，围岩和矿石主要成分均为 CaO，其次是 MgO。围岩含 CaO 31.2%，MgO 21.6%，K₂O、Na₂O、

矿石矿物成分简单，主要为纤维状方解石（92%~98%），其次为紫红色含铁泥灰岩。其脉石矿物成分为含铁粘土矿物和石英（2%~8%）。矿石呈自形纤维状结构，纤维状方解石单晶长大于 2 mm，宽 0.5~1 mm。

矿石构造类型较多，主要有梳状构造、同心球状构造、角砾状构造，局部具晶洞构造及晶簇构造。不同构造产出部位各异。

梳状构造：在矿石中分布最广，方解石颗粒定向生长明显，成纤维状垂直于紫红色含铁泥灰质薄纹层生长。

同心球状构造：多见于矿体外侧角砾岩带附近，其特征为矿石中心一般为围岩角砾，围绕角砾是同角砾形态保持一致的方解石层，层与层之间被紫红色含铁泥灰质纹层所隔，层内方解石颗粒垂直同心球面定向生长。

角砾状构造：多见于矿体外侧断层角砾岩发育地段，方解石胶结断层角砾而成，具这种构造的矿石中角砾大小混杂，棱角分明，无定向性，显示张性断裂角砾性质。

根据颜色不同，将大理岩命名为“米黄玉”、“松香黄”。其中“米黄玉”为淡黄—浅黄色矿石，“松香黄”为褐棕色、黄褐色矿石。在 I 号矿体中，可见米黄玉矿脉被松香黄矿脉切割、穿插，而且松香黄矿脉中还存在有米黄玉矿石角砾。据此可将该矿床成矿期划分为两个成矿阶段：第一阶段形成浅黄色方解石——米黄玉；第二阶段形成褐棕色、黄褐色方解石——松香黄。从总

表 1 矿区断裂特征一览表

Table 1. Characteristic of faults in the ore district

分组	编号	走 向	倾向/倾角	规 模		活动性质	备 注
				长度/m	宽度/m		
NW	F ₁	310°~320°	40°/70°	>1000	10~20	压性为主 并有微弱 的剪切作用	
	F ₂	310°~330°	47°/70°	>1000	20~25		
	F ₃	310°~320°	47°/70°	>1000	10~25		
	F ₄	310°~330°	40°/70°	>1600	5~25		
	F ₅	320°	NE/陡	>1000	4~25		
	F ₆		NE/陡	>160	10~20		
NE	F ₇	10°~38°	290°~300°/50°~75°	700	5~20	张性具多 期次活动 特点	除 F ₉ 外均 被后期矿 脉充填
	F ₈	35°~45°	430°~330°/48°~75°	1900	8~35		
	F ₉	30°~40°	310°/60°~80°	800	6~15		
	F ₁₀	10°~60°	NW/60°~70°	>1000	2~5		
	F ₁₁	20°~30°	NW/陡	400	2~3		
	F ₁₂	40°~60°	NW/70°	400	1~6		
	F ₁₃	30°~43°	28°~32°/58°~80°	400	2~8		
NNW	F ₁₄	330°~345°	陡倾	250	2~10	张剪性	
NEE	F ₁₅	70°~80°	陡倾	400	5~10	张剪性	

表 2 围岩和矿石主要化学成分 (%)

Table 2. Major chemical composition of wall rocks and ores

围岩及 矿石名称	围 岩	松香黄	米黄玉				矿石中紫 红色含铁 泥灰岩	岩溶角砾 紫红色含 铁泥灰岩
编 号	G ₁₋₁	A ₅₋₁	C ₅₋₁	G ₂₋₁	G ₂₋₂	G ₂₋₄	g ₂₋₁	A ₁₄
矿石构造	块状构造	角砾状构造	梳状构造	同心球构造	梳状构造	同心球构造		
SiO ₂	0.69	0.62	0.59	0.84	0.57	0.79	1.69	25.09
Al ₂ O ₃	0.16	0.16	0.17	0.23	0.16	0.23	0.48	4.14
TFe ₂ O ₃	0.41	0.03	0.01	0.04	0.01	0.02	0.12	1.95
CaO	31.22	54.08	53.70	53.26	53.48	53.04	53.57	35.18
MgO	21.6	0.77	1.47	1.04	1.83	1.52	0.74	0.00
Na ₂ O	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.08	0.06	0.09
K ₂ O	0.02	0.03	0.02	0.04	0.01	0.04	0.11	1.58

注：由中国地质大学测试中心测定

TF₂O₃ (即 Fe₂O₃+FeO 之和)、Al₂O₃、SiO₂ 含量较少,米黄玉矿石含 CaO 53.04%~53.70%, 平均为 53.3%; 含 MgO 为 1.04%~1.83%。松香黄矿石含 CaO 54.08%; 含 MgO 0.77%, 矿石中 Na₂O、K₂O、TF₂O₃、Al₂O₃、SiO₂ 含量较低。其次矿石中紫红色含铁泥灰质纹层与岩溶角砾岩、紫红色泥灰岩化学成分分布较相似,但岩溶角砾岩中 TF₂O₃ 含量较矿石高,表明岩溶水中有较高铁离子为矿石着色提供条件。

矿石中含有多种微量元素 (表 3), 它们的含量与矿石中主要元素地球化学特征相关, 由于矿石主要由方解石组成, 故矿石中 Sr 含量比围岩高, 矿石中无硫化物, 除 Zn、Pb 外, 其他元素含量远低于地壳丰度。

表 3 东岳大理石矿围岩及矿石微量元素 (10^{-6})

Table 3. Trace element contents of wall rocks and ores from Dongyue marble

岩石名称	样号	采样位置	Zr	Zn	V	Th	Ti	Sr	Pb	P	Ni	Mn	Cu	Cr	Co	Rb	Ba
围岩	G ₁₋₁	Ⅱ号矿体白云岩	20.2	11.0	3.8	2.0	40.0	75.0	19.1	79.6	5.6	50.4	16.0	19.7	8.1		
松香黄	A ₅₋₁	Ⅰ号矿体 A-A' 剖面, 陈家沟东南坡 16.5 m	10.6	50.0	1.5	2.3	83.4	38	2.0	95.7	6.4	23.2	12.8	1.0	2.1		
米黄玉	C ₃₋₁	Ⅱ号矿体 C-C' 剖面 23 m 处	20.7	66.6	1.8	1.0	56.7	150	6.3	160	7.0	21.3	8.0	3.7	2.2		
米黄玉	G ₂₋₁	Ⅱ号矿体 G-G' 剖面 10 m 处	11.6	32.8	4.0	1.0	86.6	70.0	16.6	66.2	5.0	19.8	10.5	2.4	1.5	2.0	18.0
米黄玉	G ₂₋₂	Ⅱ号矿体 G-G' 剖面 14 m 处	16.6	64.1	2.2	1.0	70.0	120	21.6	131	9.1	266	17.5	3.8	1.5	1.7	8.66
米黄玉	G ₂₋₆	Ⅱ号矿体 G-G' 剖面 29 m 处	18.1	71.1	2.2	1.5	83.4	100	21.1	88.5	5.6	18.7	6.0	3.8	1.7	1.6	19.3
矿石中紫红色含铁泥灰质薄层	G ₂₋₁	Ⅱ号矿体 G-G' 剖面 10 m 处	11.4	19.6	6.5	3.0	163	53	16.6	57.4	6.8	28.8	9.9	2.6	1.7	1.5	20.5
岩溶角砾岩中紫红色含铁质灰岩	A ₁₄	Ⅰ号矿体 A-A' 剖面 15.3~16.7 m	38.5	27.5	42.7	7.1	1263	420	19.4	199	15.2	216	19.8	19.6	6.0	2.0	131.0
地壳丰度(泰勒, 1964)			165	70	135	9.6	5700	375	12.5	1050	75	950	55	100	25	90	425

注: 由中国地质大学测试中心测定

成矿溶液化学成分与流经岩石化学成分有一定成因关系 (Frantz and Popp, 1979), 从表 2、表 3 可知, 矿石化学成分、微量元素与围岩化学成分、微量元素富集分布规律很相似, 表明矿质来源于相同的控矿层——围岩。

2.2 包裹体特征

(1) 东岳大理石矿方解石中包裹体较少, 且十分细小, 多在 $4\sim 10\ \mu\text{m}$ 之间。米黄玉矿化阶段包裹体形态各异, 有三角形、四边形及不规则形, 零星分布。包裹体有单相液体和两相气液包裹体两种, 后者气液比 $5\%\sim 10\%$, 两者数量相同。具角砾状构造的矿石在均一温度分布图中, 表现为单峰式 (图 2a)。同心球状、梳状构造的矿石, 均一温度分布图为多峰式, 具脉动性 (图 2b—d, 表 4)^[1]。矿床形成均一温度 $140\sim 220\ ^\circ\text{C}$; 松香黄矿化阶段的方解石包裹体与米黄玉矿化阶段的特征基本一致, 成矿溶液均一温度分布图为单峰式, 均一温度范围为 $140\sim 200\ ^\circ\text{C}$, 成矿溶液随时间的推移均一温度有降低趋势^[2]。

成矿溶液的盐度偏低, 为 $6.1\%\sim 7.0\%\text{NaCl}$ ^[3,4], 这与镜下未见子矿物包裹体相吻合^[5]。在温度-盐度-密度关系图上确定成矿流体溶液密度为 $0.88\sim 0.98\ \text{g}/\text{cm}^3$ ^[5]。

(2) 流体包裹体化学成分: 东岳大理石矿包裹体中气体及液体化学成分的分析数据见表 5。由表 5 可知液体化学成分: 阳离子成分以 Ca^{2+} 为主, Mg^{2+} 次之, $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} \gg \text{K}^+ > \text{Na}^+$; 阴离子 $\text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$; 气体化学成分主要为 H_2O 、 CO_2 , 少量 H_2 、 O_2 及 N_2 。从表 5 可知, 矿区两个成矿阶段, 其成矿溶液的成分及性质具有相似性, 阳离子 Na^+/K^+ 及 $\text{Na}^+ / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 、阴离子 F^-/Cl^- 及气相成分 $(\text{CH}_4 + \text{H}_2) / \text{CO}_2$ 的比值, 在两个矿化阶段基本相同。这

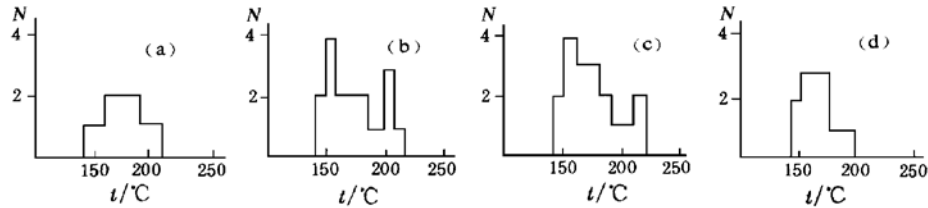


图 2 矿化阶段均一温度分布图

(a)—米黄玉矿化阶段角砾状构造矿石均一温度分布图；(b)—米黄玉矿化阶段同心球状构造矿石均一温度分布图；

(c)—米黄玉矿化阶段梳状构造矿石均一温度分布图；(d)—松香黄角砾状构造矿石均一温度分布图

Fig. 2. Histograms showing distribution of homogenization temperatures at various mineralization stages. a—Brecciated ore at cream-colored jade mineralization stage; b—Concentric spherical ore at cream-colored jade mineralization stage; c—Comb ore at cream-colored jade mineralization stage; d—Brecciated ore at yellowish brown jade mineralization stage.

显示在两个矿化阶段，成矿溶液都和相同的控矿层——围岩发生作用，并为两矿化阶段的矿源相同，提供了佐证。

表 4 东岳大理石矿床的矿物包裹体均一温度、盐度特征

Table 4. Characteristics of homogenization temperature and salinity of mineral inclusions from the Dongyue marble deposit

矿石类型	样号	测定矿物	矿石构造	$t/^{\circ}\text{C}$	$S_{\text{NaCl}}/\%$
米黄玉	C ₃₋₁	方解石	梳状构造	150~220	6.4~6.6
米黄玉	C ₃₋₂	方解石	同心球状构造	150~220	6.4~6.9
米黄玉	C ₃₋₃	方解石	梳状构造	150~220	6.3~6.4
米黄玉	C ₄₋₁	方解石	角砾状构造	140~210	6.3~6.6
米黄玉	C ₅₋₁	方解石	梳状构造	150~210	6.4~7.0
米黄玉	C ₅₋₂	方解石	同心球状构造	140~210	6.3~6.4
米黄玉	C ₅₋₃	方解石	梳状构造	140~210	6.1~6.4
米黄玉	B ₁₋₂	方解石	梳状构造	150~220	6.3~6.7
米黄玉	B ₁₋₃	方解石	梳状构造	150~220	6.3~6.6
米黄玉	H ₂₋₁	方解石	梳状构造	140~210	6.3~6.7
松香黄	A ₅₋₁	方解石	角砾状构造	140~200	6.6~7.0

注：由中国地质科学院宜昌地质研究所测定

表 5 东岳大理石矿方解石流体包裹体化学成分特征

Table 5. Chemical composition of fluid inclusions in calcite of the Dongyue marble deposit

样号	矿石构造	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	H ₂ O	F ⁻	Cl ⁻
C ₃₋₂	米黄玉同心球状构造	0.05	0.00	0.09	0.00	0.00	10.87	288.74	22.82	14.59
C ₅₋₁	米黄玉梳状构造	0.11	3.74	5.33	0.00	0.00	23.98	187.08	4.38	29.11
A ₅₋₁	松香黄角砾状构造	0.08	0.00	0.09	0.00	0.00	11.13	140.94	39.04	24.62
样号	矿石构造	SO ₄ ²⁻	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	$\frac{\text{Na}^+}{\text{K}^+}$	$\frac{\text{Na}^+}{\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}}$	$\frac{\text{F}^-}{\text{Cl}^-}$	$\frac{\text{CO}_2}{\text{H}_2\text{O}}$
C ₃₋₂	米黄玉同心球状构造	3.17	0.48	0.00	20.00	2.11	0.00	0.00	2.92	0.02
C ₅₋₁	米黄玉梳状构造	2.63	0.66	0.44	18.82	10.94	1.13	0.02	0.28	0.05
A ₅₋₁	松香黄角砾状构造	10.91	0.00	0.00	24.62	7.38	0.00	0.00	2.96	0.03

注：由中国地质大学（北京）勘探室测定；H₂、O₂、N₂、CH₄、CO、CO₂、H₂O、F⁻、Cl⁻单位为 10⁻⁶，SO₄²⁻、K⁺、Na⁺、Ca²⁺、Mg²⁺单位为 mg/L。

(3) 成矿流体物理化学参数: 东岳大理石矿床方解石捕获包裹体时, 成矿溶液呈中偏弱碱性, 还原参数 R 为 0.10, 矿化度增大 (从 43.26 g/L 上升为 106.56 g/L)。在两个矿化阶段, $\lg f_{H_2}$ 、 $\lg f_{CO}$ 、 $\lg f_{CO_2}$ 、 $\lg f_{CH_4}$ 及 $\lg f_{O_2}$ 基本相同 (表 6)。

表 6 成矿溶液物理化学参数表

Table 6. Physical—chemical parameters of the ore—forming fluids

矿化阶段	米黄玉矿化阶段		松香黄矿化阶段
样号	C ₃₋₂	C ₅₋₁	A ₅₋₁
pH	7.08	5.99	7.08
Eh/eV	-0.60	-0.49	-0.60
R (还原参数)	0.10	0.10	0.10
H : C : O : S : Cl	0.20 : 1.00 : 2.00 : 0.13 : 1.66	0.20 : 1.00 : 2.43 : 0.05 : 1.50	0.32 : 1.00 : 2.00 : 0.45 : 2.74
$S_{NaCl}/\%$	6.4~6.9	6.4~7.0	6.6~7.0
$\lg f_{CH_4}$	-3.07	-2.91	-2.77
$\lg f_{CO_2}$	0.43	0.93	0.74
MR (g/L)	43.26	66.98	106.56
$\lg f_{H_2}$	-0.46	0.05	0.05
$\lg f_{CO}$	-3.30	-3.14	-3.00
$\lg f_{O_2}$	-39.39	0.32	-39.39

注: 由中国地质大学 (北京) 勘探室测定

从上述矿物包裹体研究可知成矿溶液特征是: 成矿流体以富 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 F^- 、 Cl^- 为特点, 成矿流体属 $Ca^{2+}(Mg^{2+})-F^-(Cl^-)-SO_4^{2-}(HCO_3^-)$ 型; 成矿流体盐度为 6.1%~7.0% NaCl, 成矿溶液均一温度 140~220℃, 为中偏弱碱性和还原环境^[6]。故东岳大理石矿为中低温热液型矿床^[3,4]。

2.3 碳、氢、氧同位素特征

(1) 碳、氧同位素组成: 本次研究测试碳、氢、氧同位素 9 件, 其结果见表 7。从表 7 可知, 碳、氧同位素可分为二组: 第一组是围岩, $\delta^{13}C$ 值及 $\delta^{18}O$ 值相对较大; 第二组为矿石中 $\delta^{13}C$ 及 $\delta^{18}O$, 其值均为负。

Veizer 和 Hoefs (1976) 已对海相白云岩碳、氧同位素作了较为详细的研究, $\delta^{13}C$ 值变化范围为 -5‰~+5‰, $\delta^{18}O_{PDB}$ 值为 -12‰~0‰。本区围岩同位素在 $\delta^{13}C$ - $\delta^{18}O$ 关系图上, 投影在海相白云岩区, 应属海相白云岩。由于明显的蒸发作用, 浓集了重的碳、氧同位素, 使轻同位素易进入 CO_2 随蒸气散逸。米黄玉矿化阶段, 碳、氧同位素较稳定, $\delta^{13}C$ 为 -5.3‰~-6.1‰, 均值为 -5.75‰; $\delta^{18}O$ 为 -10.2‰~-11.4‰, 均值为 -10.57‰, 反映成矿条件及成矿溶液来源稳定。方解石 $\delta^{13}C$ 均值明显不同于深成岩 CO_2 气体的 $\delta^{13}C$ 值 (-15‰~-25‰, Hoefs, 1978), 而与世界上不同地热区 CO_2 气体的 $\delta^{13}C$ 值 (-2‰~-6‰, Кудряков, 1983) 相近, 说明该区成矿流体, 具有大气降水渗流加热的成因特征。松香黄矿化阶段碳同位素明显偏负, 这可能由于大气降水同位素成分贫 $\delta^{13}C$, 与围岩同位素平衡交换而致。再将所测定的矿石中 $\delta^{13}C$ 及 $\delta^{18}O$ 同位素值与海相碳酸盐岩 ($\delta^{13}C_{PDB}$ 为 -5‰~+5‰, $\delta^{18}O_{SMOW}$ 为 40‰~8‰, 张理刚, 1985)、空气中 CO_2 ($\delta^{13}C_{PDB}$ 为 ±8‰, 张理刚, 1985)、大气水 ($\delta^{18}O_{SMOW}$ 为 10‰~-55‰, 张理刚, 1985) 相比较, 两矿化阶段 $\delta^{13}C$ 近于海相碳酸盐岩与大

表 7 东岳大理石矿床及邻近围岩碳、氧同位素组成及矿石中流体同位素组成
Table 7. Carbon and Oxygen isotopic compositions of ores and wall rocks and isotopic compositions of the ore-forming fluids

样号	采集点	测定矿物	矿化阶段	PDB 标准		SMOW 标准		流体包裹体 $\delta D_{SMOW}/\text{‰}$
				$\delta^{13}C/\text{‰}$	$\delta^{18}O/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{\text{矿}}/\text{‰}$	$\delta^{18}O_{\text{水}}/\text{‰}$	
G ₁₋₁	Ⅱ号矿体 G-G' 剖面围岩白云岩 0~8 m 处	白云岩	围岩	1.8	-2.2	27.8		
G ₂₋₂	Ⅱ号矿体 G-G' 剖面 14 m 处	方解石	米黄玉矿化阶段	-5.8	-10.4	20.1	-10.0	-64
E ₂₋₂	小灰山西北 Ⅱ号矿体 E-E' 剖面 24 m 处	方解石		-6.3	-11.4	18.3	-8.2	-110 -94
C ₃₋₂	Ⅱ号矿体 C-C' 剖面 14.5 m 处	方解石		-6.0	-11.0	18.7	-8.9	
C ₅₋₁	Ⅱ号矿体 C-C' 剖面 23 m 处	方解石		-5.3	-10.3	19.5	-9.3	-116
B ₁₋₁	Ⅱ号矿体 B-B' 剖面 23 m 处	方解石		-5.7	-10.4	19.4	-9.5	-83
B ₁₋₂	Ⅱ号矿体 B-B' 剖面 2 m 处	方解石		-5.4	-10.3	19.5	-9.6	-127
F ₃₋₃	Ⅱ号矿体 F-F' 剖面 23 m 处	方解石		-5.9	-10.2	19.5	-9.4	-68
A ₅₋₁	Ⅰ号矿体陈家沟 A-A' 剖面 16.5 m 处	方解石	松香黄矿化阶段	-8.8	-10.5	19.2	-8.5	-158

注：由中国地质大学（武汉）测试中心测定

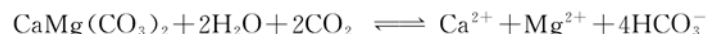
气 CO₂ 之间， $\delta^{18}O$ 值亦属于海相碳酸盐岩与大气降水范围，这表明矿石中碳、氧不仅来源于大气降水，亦来源于控矿地层——围岩。大气降水渗入地下，在岩、水界面进行同位素平衡交换而成均一的碳、氧同位素源。

(2) 成矿溶液氢、氧同位素组成：根据矿物中氧同位素组成及成矿溶液均一温度，按公式 $1000\ln\alpha_{\text{方解石-水}} = \delta^{18}O_{\text{方解石}} - \delta^{18}O_{\text{水}} = 2.78 \times 10^6 T^{-2} - 3.40$ (Oneil, 1969) 进行计算，可知与矿物平衡时的成矿溶液氧同位素，探讨成矿溶液来源^[7]。得出米黄玉矿化阶段 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 位于 $-8.2\text{‰} \sim -10.0\text{‰}$ ，平均值 -9.29‰ ，松香黄矿化阶段 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值 -8.48‰ ，这都与正常岩浆水 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值 $6\text{‰} \sim 8\text{‰}$ (Taydor, 1974) 相比有较大差别，也远离变质水 $\delta^{18}O_{\text{水}}$ 值 $5\text{‰} \sim 20\text{‰}$ (sheppard, 1977) 分布范围，而与大气降水的 $\delta^{18}O$ 值接近。

成矿溶液氢同位素 δD ，米黄玉矿化阶段均值为 -95‰ ，松香黄矿化阶段为 -158‰ ，远离岩浆水、变质水氢同位素范围，与大气降水极为接近。

在 $\delta D - \delta^{18}O$ 关系图上 (略)，数据点均位于大气降水热液范围，反映东岳大理石矿成矿溶液来源于大气降水。

(3) 成矿过程及矿床成因：矿区为碳酸盐岩区，广泛发育中寒武统叶芳沟组白云岩，富含 CO₂ 气体及一定量的 SO₄²⁻ 离子的大气降水，对白云岩具有较强的侵蚀力，可用如下反应式表示：



CO₂ 溶解在水中，使溶液呈弱酸性，较多的氢离子促进反应进行，从而使围岩溶解度增大^[7]。随着反应进行，碳酸盐岩中微量元素与主要阳离子转移到岩溶水中，使岩溶水中逐渐富含 Ca²⁺、Mg²⁺ 及 HCO₃⁻、CO₃²⁻、SO₄²⁻ 等，在渗流带、潜流带流动^[8]。矿区 NE 向张性断裂延伸

至滞流带很深范围,滞流带内饱含 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 HCO_3^- 、 H^+ 等成分的岩溶水在压力差的作用下进入其中。地热和长期多阶段构造作用导致断层深部温度较高,充满其中的岩溶水发生自然对流升温形成热液^[9]。由于断层上部温度、压力低导致 CO_2 逸出及 pH 值升高^[9],致使 CaCO_3 的大量沉淀形成矿体。其次,岩溶水中溶解的 Fe^{2+} 等,由于溶液组成的频繁波动, pH 值升高及大气降水补给,造成 Eh 值变化^[2],在氧化溶液中 Fe^{2+} 就以 Fe^{3+} 形式沉淀,沿方解石生长带呈较薄的色带或薄纹层。

大气降水的不断补给,使岩溶作用得以维持,岩溶水下渗,由于地热及断裂作用升温形成热液,在断裂带部位,由于 CO_2 逸出而沉淀矿石。因此,东岳大理石矿床属中低温热液充填型矿床。

3 结 论

根据上述东岳大理石矿床地质特征、矿石化学成分、微量元素、稳定同位素及包裹体地球化学研究,得出如下结论。

(1) 东岳大理石矿受断裂带控制,特别是 NE 向断裂重新张开,为成矿热液提供通道和沉积场所。

(2) 碳、氢、氧同位素表明,成矿流体主体溶液来自于大气降水,部分来自于围岩,这与矿石中主体元素和微量元素组成特征相吻合。

(3) 包裹体盐度分析表明,成矿流体主要为大气降水,大气降水在下渗过程中加热并萃取溶解围岩物质成分,因此,成矿溶液盐度较正常大气降水高。

(4) 流体包裹体分析表明,成矿流体以富 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 F^- 、 Cl^- 为特点,成矿流体属于 $\text{Ca}^{2+}(\text{Mg}^{2+})\text{-F}^-(\text{Cl}^-)\text{-SO}_4^{2-}(\text{HCO}_3^-)$ 型,成矿溶液均一温度为 $140\sim 220\text{ }^\circ\text{C}$,盐度为 $6.1\%\sim 7.0\%\text{NaCl}$,具中偏弱碱性和还原性质。

(5) 长期以来,普遍认为大理石矿床成因不外乎接触变质型和区域变质型两种类型。作者通过上述分析表明,东岳大理石矿床既不是接触变质型矿床,也不是区域变质型矿床,是一种新型大理石矿床,成因类型为中低温热液充填型矿床。

参 考 文 献

- 1 罗耀星,朱钧瑞,王耀坤. 大石桥菱镁矿床矿石地质地球化学特征. 矿床地质, 1990, 9 (1): 77~85.
- 2 张术根. 泗顶铅锌矿田地下水成矿模式. 矿床地质, 1990, 9 (1): 26~34.
- 3 陈仁义,芮宗瑶. 五凤浅成热液金矿床地质特征及成矿机理研究. 矿床地质, 1993, 12 (1): 20~28.
- 4 刘从强. 鄂西北银洞沟铅锌-银矿床的流体包裹体研究. 地球化学, 1989 (2): 139~148.
- 5 卢焕章,李秉伦,沈昆. 包裹体地球化学. 北京:地质出版社, 1990, 102~154.
- 6 姚克明,温常贵,景俊强. 晋北后所金矿床地质特征及矿床成因. 地质找矿论丛, 1997, 12 (3): 58~67.
- 7 陈大经,杨明寿. 赣西卡林型金矿床流体包裹体地球化学. 矿产与地质, 1997, 11 (6): 406~412.
- 8 宋焕荣,黄尚瑜. 碳酸盐岩的结晶沉淀. 中国岩溶, 1990, 9 (2): 105~117.
- 9 王声远. 低温热液成矿作用中的某些问题. 地质地球化学, 1992, (5): 1~8.

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE MESOTHERMAL-EPITHERMAL MARBLE DEPOSIT IN DONGYUE, WEST HUBEI

Zhao Laishi, Zhu Ming, Wu Li, Yang Shizhong

(China University of Geosciences, Wuhan 430074)

Key words: mesothermal-epithermal solution, marble deposit, isotope geochemistry, fluid inclusion, western Hubei, Dongyue

Abstract

On the basis of an analysis of tectonic and geological background, ore structure and ore type of the Dongyue marble deposit, the authors systematically studied chemical composition, trace elements, homogenization temperature and salinity of fluid inclusions in calcite as well as chemical composition and characteristics of carbon, hydrogen and oxygen isotopes of the ore-forming fluid. The results show that the ore-forming temperatures of the marble deposit are 140~220 °C, the salinity for mineralization is 6.1%~7%, the density of the ore-forming fluid is 0.88~0.98 g/cm³, the mineralization is of the Ca²⁺ (Mg²⁺) -F⁻ (Cl⁻) -SO₄²⁻ (HCO₃⁻) type, the ore fluid belongs to intermediate to weakly sodic solution with reducing character. The ore-forming fluid was mainly derived from meteoric water and subordinately from surrounding rocks. It is concluded that the deposit is a mesothermal-epithermal marble deposit. Being a new type of marble deposit in China, it is of great significance to the genetic study of the same type of deposits in western Hubei, Henan and Guangxi.