

[文章编号] 1005-9539(2002) 05-0526-07

四川大水沟碲矿床成矿物质来源研究

温春齐¹ 曹志敏² 李保华¹ 罗小军¹

(1. 成都理工大学地球科学与资源工程系, 成都 610059; 2. 青岛海洋大学)

[摘要] 四川大水沟碲矿床是世界首例独立碲矿床。通过对其进行矿床地质、常量与微量元素、矿物包裹体地质及稳定同位素测试分析研究, 认为该矿床成矿物质具有多源性, 且不同矿化期的成矿元素、成矿流体来源亦不相同: 主成矿期 Te 主要源于地幔岩浆脱气, 少量来源于基性岩或大理岩, S 可能主要源于早期形成的磁黄铁矿, Bi 可能与中酸性、基性岩浆有关; 成矿流体主要为岩浆气液。

[关键词] 碲矿床; 成矿物质来源; 常量元素 微量元素; 稳定同位素; 四川大水沟

[分类号] P619.219 [文献标识码] A

众所周知, 碲是一种分散元素。而“分散元素不能形成独立的矿床, 它们以伴生元素的方式赋存于其他元素的矿床内”^[1], 因此, 自 1993 年报道在四川省石棉县大水沟发现世界首例以碲为主的独立碲矿床^[2]以来, 立即引起国内外有关专家的极大兴趣。由于成矿作用的复杂性, 致使对成矿物质来源的认识众说纷纭。就矿液来源而言, 有“地层卤水与大气降水”^[3], “岩浆水”^{[4], [5]}, 或“与岩浆活动密切相关”^[6], “变质水”^[7]等。最新研究表明, 该矿床的形成具有成矿过程的多阶段性和成矿物质的多源性。本文着重以常量微量元素及稳定同位素组成特征来讨论大水沟碲矿床的成矿物质来源。

1 矿床地质特征

大水沟碲矿床位于扬子准地台与松潘—甘孜地槽结合部、龙门山—大雪山—锦屏山推覆构造带北北西向安宁河深大断裂带中段。碲矿床处于北北西向大水沟北倾伏端, 矿体主要呈脉状产于志留系通化群^[22]含碳泥质条带白云石大理岩夹钙质基性火山岩层中。矿脉呈支脉状, 具分枝复合、尖灭再现特征。矿石的主要有用元素为 Fe,

Bi, S, Au, Cu, Se, Ag; 主要有用矿物有辉碲铋矿、楚碲铋矿、磁黄铁矿、自然金, 次为碲铋矿、硫碲铋矿、黄铁矿、黄铜矿, 少量碲银矿、碲金矿、闪锌矿、自然碲; 脉石矿物主要是白云石和石英, 次为金红石、铁白云石、绿泥石、绢云母、电气石、白云母和少量方解石、钠长石。矿石具脉状、网脉状、块状、浸染状、角砾状构造及结晶、变生、固溶体分离和交代结构, 显示典型的热液充填交代特征。根据矿物共生组合、矿石组构及脉体的穿插关系(如碲化物白云石脉穿过变质的磁黄铁矿脉), 将热液矿化作用主要分为三个矿化期五个矿化阶段, 即早期为变质热液期(白云石阶段和磁黄铁矿阶段)、主成矿期为岩浆气液期(碲化物白云石阶段)和晚期为地下水热液期(硫化物—自然金阶段和硅酸盐阶段)。近矿围岩蚀变较强, 并受构造带控制, 与碲矿化关系密切的蚀变产物主要是白云石化。

2 碲及伴生元素来源

2.1 常量、微量元素特征

2.1.1 碲及伴生元素含量

矿区外围火成岩(14 件)、变质岩(3 件)微量元素分析表明:(1)总体上 Te 的含量较高, 平均

值为 0.167×10^{-6} (变化范围 $0.11 \times 10^{-6} \sim 0.29 \times 10^{-6}$), 约为克拉克值 (0.001×10^{-6}) 的 170 倍, 其中以基性岩 (6 件)、超基性岩 (3 件) Te 的平均含量较高, 且标准差相对较大; 外围变质岩 (3 件) Te 的含量均 $< 0.01 \times 10^{-6}$, 表明 Te 可能源于火成岩, 尤其是基性、超基性岩。(2) Bi 含量以中酸性岩 (5 件) 相对较高, 平均值为 $0.178 \times 10^{-6} \pm 0.054 \times 10^{-6}$, 与外围变质岩中 Bi 的平均含量 ($0.17 \times 10^{-6} \pm 0.087 \times 10^{-6}$) 一致, 表明 Bi 可能源于中酸性岩和变质岩。(3) Au 的含量以中酸性岩最高 ($35.06 \times 10^{-6} \pm 15.07 \times 10^{-6}$), 次为基性岩 ($21.67 \pm \times 10^{-6}$), 超基性岩最低 ($11.16 \times 10^{-6} \pm 12.19 \times 10^{-6}$), 但仍高于变质岩 ($6.97 \times 10^{-6} \pm 6.18 \times 10^{-6}$), 表明 Au 源于中酸性岩的可能性更大。总体而言, 超基性岩相对富含 Te, 明显富集 Cr, Te, Co; 基性岩相对富含 Se, Te, Co; 中酸性岩相对富含 Bi, Au, As。14 件样品 13 个元素 R 型聚类分析亦分为三群, 显示其多源性。

2.1.2 放射性元素 U, Th, K 含量

矿区及外围岩石、矿石的 U, Th, K 平均含量及变化范围分析表明: (1) 火成岩中由超基性岩 → 基性岩 → 中酸性岩, 其 U, Th, K 平均含量具增大趋势; 矿石中 U, Th, K 含量明显低于外围中酸性岩, 显示碲矿化与中酸性岩无缘; 辉碲铋矿的 U, Th 和 K 含量分别为 5.0×10^{-6} , 2.58×10^{-6} 和 0.198×10^{-2} , 这些数据除 U 含量略高外, Th, K

含量与超基性岩、基性岩、变质岩的 Th, K 含量相似; 在 Th-K 含量自然对数的坐标图 (图 1) 上, 岩石的数据可明显分为四个区域: 4 个矿石数据中有 3 个落入变质岩域, 1 个落入基性岩域。而变质岩域中的三个矿石均与硫化物有关, 即硫化物石英脉型、磁黄铁矿型和磁黄铁矿-白云石型, 显示硫可能主要源于变火山岩; 落于基性岩域的矿石为白云石型, 暗示白云石可能属岩浆成因, 碲可能与基性岩有关; 辉碲铋矿亦落入基性岩域, 则更显示其碲与基性岩的亲缘关系。

2.1.3 黄铁矿的常量、微量元素

6 件黄铁矿的 Co, Ni, S, Se 测试如表 1 所示。由表 1 可见, 黄铁矿具高的 Co 含量 (3 件平均值为 0.539%, 变化范围为 0.38% ~ 0.7062%) 和特高的 Co/Ni 比值 (542.9 ~ 883.3, 平均 710.8), 表明矿床中黄铁矿的形成与内生成矿作用密切相关; Se 含量 (5 件) 变化范围大 ($2.6 \times 10^{-6} \sim 44 \times 10^{-6}$), S/Se 比值变化亦大 (12 000 ~ 200 000), 结合其高 Co 含量、高 Co/Ni 比值认为, 除少量源于地层外可能绝大多数与岩浆活动有关。

2.1.4 稀土元素含量

矿区外围火成岩 (13 件) 的稀土元素测试表明, 由超基性岩 → 基性岩 → 中酸性岩, 其稀土总量 ($\sum \text{REE}$) 具增高趋势, 即为 61.09×10^{-6} (3 件) → 123.65×10^{-6} (5 件) → 203.29×10^{-6} (5 件);

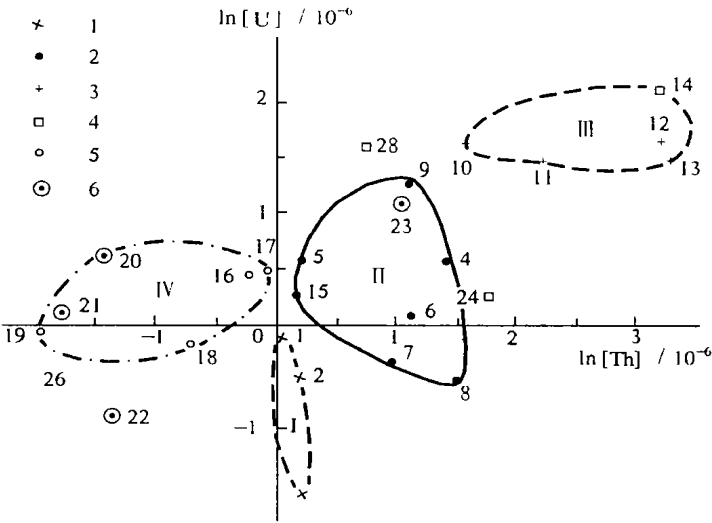


图 1 大水沟碲矿床及外围岩矿样品 U-Th 含量关系

Fig. 1 Diagram for $\ln[U]-\ln[Th]$ of the rock and ores in the Dashuigou Te deposit and its wall rock

I. 超基性岩域; II. 基性岩域, III. 中酸性岩域; IV. 变质岩域;
1. 超基性岩; 2. 基性岩; 3. 中酸性岩; 4. 变质岩; 5. 矿石; 6. 矿物

表 1 大水沟碲矿床中黄铁矿的化学成分
Table 1 Chemical composition of pyrite in the Dashuigou Te deposit

样 号	化 验 值 /%					计 算 值	
	TFe	S	Se	Co	Ni	S/Se	Co/Ni
LD-6	46.49	52.24	0.0007	0.53	0.00060	74629	883.3
LD-5	46.48	52.65	0.006	0.38	0.00070	87750	542.9
ST-HQ-3	47.39	52.56	0.0044			11945	
ST-LS01	47.38	50.66	0.00026			19846	
CD2-3	46.18	50.86	0.0036			14128	
D-5*	46.179			0.7062	0.0010		706.2
平均值	46.683	51.794	0.00191	0.5387	0.00077	7660	710.8
测试单位:成都理工大学测试中心(其中*为核工系中子活化测试)							

变质岩稀土总量为 50.44×10^{-6} (5 件), 而矿石(4 件) 最低(4.63×10^{-6})。1 件辉碲铋矿为 7.79×10^{-6} , 表明碲矿化时稀土总量明显降低。轻稀土元素与重稀土元素比值(LREE/HREE) 平均值, 由超基性岩→基性岩→中酸性岩亦呈规律性增高, 即从 $5.09 \rightarrow 5.94 \rightarrow 12.39$, 向富集轻稀土元素方向演化。变质岩平均值为 3.14×10^{-6} , 矿石(4 件) 为 1.442×10^{-6} (其中 3 件 < 1), 辉碲铋矿为 0.273×10^{-6} , 表明碲矿化具轻稀土相对亏损、重稀土相对富集的特点。这表明随着岩浆演化向轻稀土富集是不可能提供矿液形成碲, 碲矿化可能主要与深部成矿作用有关; 磁黄铁矿的稀土总量为 1.64×10^{-6} , 辉碲铋矿为 7.79×10^{-6} , 黄铁矿为 3.44×10^{-6} , 矿石(4 件) 稀土总量平均值为(4.62 ± 3.018) $\times 10^{-6}$; 岩石中除白云石大理岩($5.84 \times$

10^{-6}) 黑云钠长片岩(18.09×10^{-6}) 外, 其余岩石稀土总量均大于 59.81×10^{-6} , 最高为 389.48×10^{-6} 。

2.2 稳定同位素特征

2.2.1 硫同位素组成

矿区 38 件单矿物(其中黄铁矿 6 件、磁黄铁矿 18 件和辉碲铋矿 14 件) 硫同位素组成统计表明: 该矿床硫同位素组成相对稳定而均一, 且不同矿物的硫同位素平均值为 $1.01\text{‰} \sim 1.60\text{‰}$ (黄铁矿相对较高, 辉碲铋矿相对较低), 变化范围小(从 $-0.5\text{‰} \sim +3.17\text{‰}$); 在硫同位素组成直方图上, 分布狭窄, 具塔式效应, 主峰为 1.5‰ ; 18 件磁黄铁矿主峰为 2.0‰ , 6 件黄铁矿主峰为 1.5‰ , 14 件辉碲铋矿主峰为 0.5‰ 。据矿石中矿物的共生组合主要为磁黄铁矿-黄铁矿-辉碲铋矿推测, 其形成于相对还原的氧逸度较低环境。因此, 可用磁黄铁矿的平均硫同位素组成近似地代表该矿床成矿流体的总硫同位素组成^[8], 即 $\delta^3\text{S}_{\text{ss}} = 1.51\text{‰}$, 显示具深源硫的特点。但这种“深源硫”可能是热液对变基性火山岩中硫化物的浸取产物, 属间接的“深源岩浆硫”, 而非直接的“岩浆硫”。

2.2.2 铅同位素组成

对 15 件岩矿石及单矿物(其中磁黄铁矿、黄铁矿各 2 件, 辉碲铋矿 3 件, 石英 4 件, 变质岩、矿石各 2 件) 铅同位素组成统计表明(表 2), 15 件样

表 2 大水沟碲矿床铅同位素组成
Table 2 Lead isotope composition in the Dashuigou Te deposit

序号	样 号	测 试 样 品		测 试 结 果			计 算 值		模式 年龄 /Ma	源区特征值		
				$\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{207}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$	$\frac{^{208}\text{Pb}}{^{206}\text{Pb}}$		μ	ω	κ
1	TB-11	岩石	杂色大理岩	18.45	15.67	38.71	0.849	2.098	224.7	9.597	38.075	3.839
2	石-4		绿泥石片岩	19.76	15.61	38.37	0.790	1.942		9.460	30.401	3.110
3	TB-17	矿石	白云石磁铁矿型	19.28	15.61	38.80	0.810	1.971		9.460	30.965	3.168
4	LB-1		粗晶白云石型	18.28	15.07	38.21	0.824	2.090		9.499	31.669	3.606
5	CD2-3	矿物	磁黄铁矿	18.68	15.59	38.25	0.835	2.046		9.424	34.307	3.523
6	LD ⁴ YM-1		磁黄铁矿	18.443	15.649	38.772	0.848	2.102	204.0	9.557	38.168	3.865
7	LD1-1-2		黄铁矿	18.404	15.605	38.607	0.848	2.098	177.7	9.474	37.290	3.809
8	LD3-2-1		黄铁矿	18.537	15.604	38.615	0.842	2.083	79.1	9.459	36.588	3.743
9	Lb-23		辉碲铋矿	18.543	15.705	38.995	0.847	2.103	200.8	9.656	39.058	3.915
10	LB-2		辉碲铋矿	19.18	15.56	38.33	0.811	1.998		9.371	32.190	3.324
11	TB-15		辉碲铋矿	18.89	15.62	38.52	0.827	2.039		9.478	34.610	3.537
12	CD2-12		石英	18.33	15.49	38.15	0.845	2.081	85.8	9.257	34.773	3.635
13	LD2-1		石英	18.465	15.705	38.806	0.851	2.102	257.5	9.667	38.733	3.878
14	Lb-12		石英	18.226	15.628	38.529	0.857	2.114	334.2	9.540	38.194	3.875
15	Lb-13		石英	18.523	15.546	38.411	0.839	2.074	76	9.347	35.270	3.650

注: (1) 测试单位: 成都理工大学(序号 1~5, 10~12)、宜昌地质所(序号 6~9, 13~15);
(2) 计算参数: $a = 9.307, b = 10.294, c = 29.476; \lambda = 1.55125 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}, \lambda = 9.8485 \times 10^{-10} \text{ a}^{-1}, \lambda = 4.9475 \times 10^{-11} \text{ a}^{-1}$

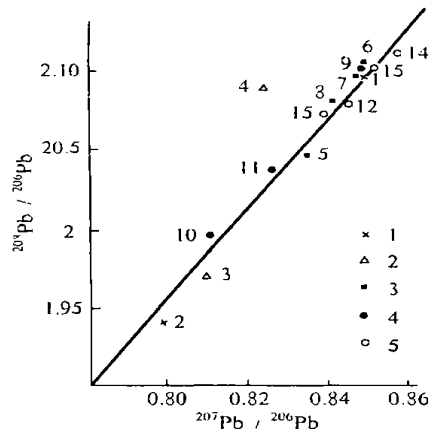


图 2 大水沟碲矿床 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ 图解
Fig. 2 $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ plots in the Dashuigou deposit
1. 岩石; 2. 矿石; 3. 黄铁矿; 4. 磁黄铁矿;
4 辉碲铋矿; 5. 石英 (图中样品号同表 3)

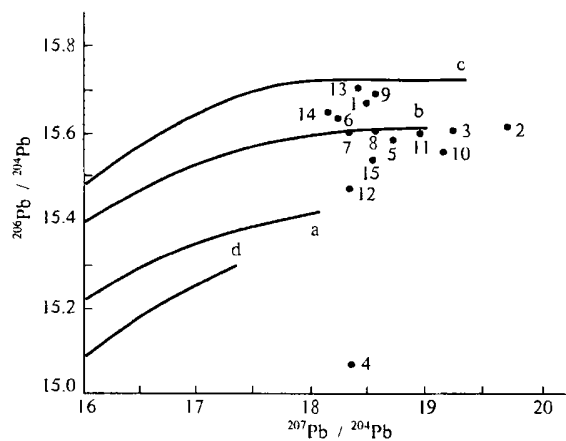


图 3 大水沟碲矿床铅同位素构造模式
Fig. 3 Structural model of lead isotope in the Dashuigou Te deposit
(背景图据 Zartman et al, 1988)
a. 地幔铅同位素演化曲线; b. 造山带铅同位素演化曲线;
c. 上地壳铅同位素演化曲线; d. 下地壳同位素演化曲线

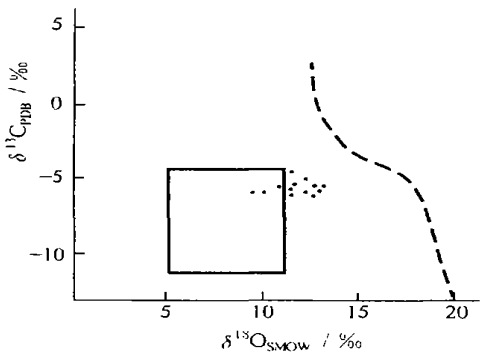


图 4 大水沟碲矿床白云石 $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$ 图解
Fig. 4 $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^{13}\text{C}$ diagram of dolomites in the Dashuigou Te deposit
(背景图据叶庆同等, 1992) [13]
I. 岩浆源碳酸岩域; II. 区域沉积碳酸盐岩域;
III. 蚀变及再沉积碳酸盐岩域

品的铅同位素组成变化范围较大,其变化率以 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 最大(为 7.76%,变化范围 18.220~19.76),次为 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ (为 4.05%,变化范围 15.07~15.706), $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化率较小(为 2.55%,变化范围 38.00~38.995),表明矿床具异常铅同位素组成特点,且相对富含放射成因 ^{206}Pb 。辉碲铋矿(3件)变化率 3.22%,表明碲矿化可能源于相对富含放射成因 ^{206}Pb 的源区。在 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的图解(图 2)上,样品数据点具备良好的线性关系,但主成矿期白云石型矿石远离其相关线,且有的辉碲铋矿点亦在岩石之外,

表明早期矿化部分源于壳层而主期矿化与壳源不具重要关系;在 Zartman 等(1988) [9] 铅同位素演化曲线图(图 3)上,投点落于造山带铅附近及其以下,有的近于地幔铅演化曲线;3 件辉碲铋矿的源区特征值 $\kappa\omega$ 和 $\omega\mu$ 明显具线性正相关,显示与碲矿化相关的铅源既有高 $\mu\omega$ 和 κ 值,又有低 $\mu\omega$ 和 κ 值的铅源。也就是说,大水沟碲矿床具多来源和混合源特征,即可能早期以壳源为主,主期可能以深源为主;辉碲铋矿的 $^{208}\text{Pb}/(^{207}\text{Pb}+^{206}\text{Pb})$ 比值亦显示 Th-Pb 和 U-Pb 的混染,尤其是以 U-Pb 混染为主。

2.2.3 碳氧同位素组成

已测试的 20 件碳酸盐矿物的碳氧同位素组成统计表明:大水沟碲矿床中碳酸盐矿物碳同位素组成 $\delta^{13}\text{C}$ 变化范围狭窄(-7.2‰~-4.74‰),与科罗拉多第三纪花岗岩中碳酸盐(18 件) $\delta^{13}\text{C}$ 值为-0.56‰~-9‰(Fuex & Backer, 1973) [10] 接近,并与该区 22 个碳酸岩体中碳酸盐矿物 $\delta^{13}\text{C}$ 值-4.7‰ $\pm$ 1.2‰(Deines & Gold, 1973) [11] 相似,与平均地幔岩石部分熔融形成的岩浆碳的碳同位素组成-5‰ $\pm$ 2.0‰(Barnes, 1979) [12] 极为相似,明显不同于沉积碳酸盐的碳同位素组成,表明碲矿床的碳酸盐碳可能来源于深部(属深源内生碳),与岩浆活动有关。18 件白云石的氧同位素组成 $\delta^{18}\text{O}$ 值变化范围 9.52‰~13.03‰,略高于大多数岩浆碳酸岩的氧同位素

$\delta^8\text{O}$ 值 + 6‰~10. 0‰, 与 A. В. Лалин等(1986) 14 件碳酸岩中白云石的 $\delta^8\text{O}$ 值(9. 34‰± 1. 11‰) 相近, 明显低于沉积成因碳酸盐碳的 $\delta^8\text{O}$ 值。在 $\delta^3\text{C}$ - $\delta^8\text{O}$ 相关图(图 4) 上, 5 个点落于岩浆源碳酸岩域, 其余均靠近右缘的非沉积成因碳域, $\delta^8\text{O}$ 值偏高可能是由于热液蚀变所致。

3 成矿流体来源

3.1 流体包裹体特征

通过对矿物包裹体均一温度、冰点测定和包裹体成分测试分析表明, 大水沟碲矿床不同矿化

期成矿流体的特征不同, 计算的成矿物理化学条件参数亦有所不同(表 3) 。

由表 3 可见, 大水沟碲矿床成矿流体总的来看属偏高温、中等压力(相对成矿深度约为 3000 ~ 4000 m)、中等盐度的流体, 离子类型属 HCO_3^- - Mg^{2+} - Ca^{2+} 型。从成矿早期到晚期, 流体的氧逸度(f_{O_2})、硫逸度(f_{S_2}) 及酸碱度(pH) 具降低的趋势, 而氧化还原电位(Eh) 稍有增高; 唯主成矿期的二氧化碳逸度(f_{CO_2}) 较高, 这可能与深源碳大量加入有关。

表 3 大水沟碲矿床各成矿期的成矿流体特征			
Table 3 Characteristics of mineralizing fluid in the Dashuigou Te deposit			
主要成矿期	早 期	主 期	晚 期
盐度(NaCl) / %	21. 21(16. 5~30. 83)	25. 77(17. 66~33. 27)	17. 55(7. 17~32. 34)
离子类型	HCO_3^- - SO_4^{2-} - Ca^{2+}	HCO_3^- - Mg^{2+} - Ca^{2+}	SO_4^{2-} - Mg^{2+} - Ca^{2+}
$f_{\text{O}_2}/10^5\text{ Pa}$	$10^{-33. 955}$	$10^{-34. 796}$	$10^{-35. 566}$
$f_{\text{CO}_2}/10^5\text{ Pa}$	$10^{-0. 259}$	$10^{0. 029}$	$10^{-0. 029}$
$f_{\text{S}_2}/10^5\text{ Pa}$	$10^{-10. 6}$	$10^{-11. 0}$	$10^{-11. 5}$
Eh/V	- 0. 643	- 0. 619	- 0. 603
pH	5. 83	5. 649	5. 561
主要测试矿物	白云石	白云石 次为石英	石英
$t/^\circ\text{C}$	319	315	304
p/MPa	88. 4156 (82. 3684~98. 5409)		

资料来源: 据骆耀南等(1996) [14] 和李保华等(1999) [15] 资料综合

3.2 流体氢、氧同位素组成

大水沟碲矿床不同矿化期流体包裹体氢氧同位素组成测试(表 4) 表明, 早期成矿流体(通过实测磁黄铁矿包裹体水) 的氢氧同位素组成分别为 - 50. 1‰和 - 2. 12‰, 可能为变质水与大气降水的混合流体。主成矿期流体氢同位素组成 δD 值 - 41. 6‰~- 68. 7‰, 平均值为 - 56. 3‰(4 件), 基本上在 Taylor(1974, 1978) [16], [17] 提出的岩浆水(- 50. 0‰~- 85. 0‰) 范围内, 相似于秘鲁 Casapalca 岩浆热液矿床成矿流体的 δD 值 - 48‰~- 60‰(Rye & Sawkins, 1974) [18]; 据石英、白云石氧同位素计算的流体 $\delta^8\text{O}$ 值变化范围很小(5. 37‰~5. 78‰), 平均值为 5. 63‰(4 件); 主矿化期流体包裹体氢氧同位素组成表明碲矿化的流体具有岩浆水特征, 即与岩浆活动密切相关, 可能有少量大气降水或大气降水成因的地下水的加入。晚期流体包裹体氢同位素组成(2 件石英) 变化较大, 包裹体水 δD 值分别为 - 61. 1‰和 - 146. 5‰, 计算的包裹体水 $\delta^8\text{O}$ 值变化较小, 分

别为 11. 64‰和 12. 18‰, 表明流体以大气降水为主或大气降水成因的地下水为主, 形成含金石英脉。

表 4 大水沟碲矿床流体氢氧同位素组成(‰)
Table 4 Hydrogen and oxygen isotopes composition of fluid inclusion in the Dashuigou Te deposit

序号	样号	测试矿物	$\delta^8\text{O}_\text{M}$	$\delta^8\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$	$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$	$t/^\circ\text{C}$
1	CD2-3	磁黄铁矿		- 2. 12	- 50. 1	350
2	CD2-12	石英	12. 44	5. 69	- 56. 4	304
3	石-12	石英	12. 41	5. 66	- 41. 6	304
4	石-13	石英	12. 53	5. 78	- 58. 9	304
5	石-1	白云石	12. 14	5. 37	- 68. 7	331
6	石-10	石英	18. 39	11. 64	- 61. 1	304
7	CD5-15	石英	18. 93	12. 18	- 146. 5	304

测试单位: 序号 1, 2, 7 由宜昌所测试; 3~6 据南京大学

3.3 流体氢、氩同位素组成

毛景文等(2000) [19] 测试分析了大水沟碲矿床中辉碲铋矿(3 件) 和磁黄铁矿(3 件) 氢氩同位素组成后认为, 成矿流体的 $^{40}\text{Ar}/^4\text{He}$ 比值变化较大, 成矿过程中有大量地幔物质参与。计算早期的磁黄铁矿 $^{40}\text{Ar}/^4\text{He}$ 比值为 0. 003~0. 024, 平均值

为 0.092, 变化系数为 114.6%; 主成矿期的辉碲铋矿⁴⁰Ar/⁴He 比值为 0.015~0.137, 平均值为 0.010, 变化系数为 137.3%; 6 件样品⁴⁰Ar/⁴He 比值为 0.003~0.137, 平均值为 0.005, 变化系数为 121.3%。与 Turner and Stuart (1992)^[20]研究地幔流体的⁴⁰Ar/⁴He 比值约为 0.6 相近。Stuart et al (1995) 在研究韩国一钨钼矿化中流体包裹体氦同位素时指出, 地壳物质中³He/⁴He 比值为 0.01~0.05 R/Ra, 流体为 6~9 R/Ra。本区辉碲铋矿³He/⁴He 比值为 1.2~1.5 R/Ra, 磁黄铁矿为 1.6~2.8 R/Ra, 明显不同于地壳物质而反映地幔流体的强烈参与。

4 结语与讨论

综上所述, 早期由于区域变质作用形成含碲磁黄铁矿脉, Fe、S 和 Te 主要来自围岩, 尤其是变基性玄武岩; 成矿流体主要为变质水, 少量大气降水的加入。主成矿期由深部(幔源)岩浆活动而形成主矿脉, Te 主要源于地幔岩浆脱气(HTe⁻为主, 次为 H₂Te), 计算的碲逸度高, 少量 Te 可能源于基性岩; S 可能主要来源于早期形成的磁黄铁矿(活化迁移), 而气液流体中贫硫; Bi 可能主要与中酸性、基性岩浆有关; 成矿流体主要为岩浆水及少量古大气降水成因的地下水; 晚期则主要形成含金石英脉, Au 可能主要源于中酸性岩浆岩, 成矿流体主要为大气降水或大气降水成因的地下水。由此可见, 该矿床的形成具有成矿过程的多阶段性和成矿物质的多源性。但就碲矿的形成而言, 主要发生于主矿化期碲化物白云石阶段, 碲主要源于地幔岩浆脱气, 少量源于基性岩或大理岩; 硫可能主要源于早期形成的磁黄铁矿, 铋可能与中酸性、基性岩有关; 成矿流体则以岩浆气液为主。

【参考文献】

- [1] 俞志杰: 分散元素矿床[A]. 中国大百科全书·地质学[C]. 上海: 中国大百科全书出版社, 1993. 197.
- [2] 曹志敏, 骆耀南. 四川石棉碲铋矿床地质特征与物质组分[A]. 第五届全国矿床会议论文集[C]. 北京: 地质出版社, 1993. 476-478.
- [3] 银剑钊, 周剑雄, 杨百川, 等. 世界首例独立碲矿床: 中国四川石棉县大水沟碲矿的矿床地质特征[J]. 地学前缘, 1994, 4: 241-243.
- [4] 温春齐, 曹志敏, 李保华. 大水沟独立碲矿床成因研究[J]. 地学前缘, 1999, 6(1): 128.
- [5] 曹志敏, 温春齐, 李保华, 等. 首例独立碲矿床成因探讨[J]. 中国科学(B 辑), 1995, 25(6): 647-654.
- [6] 毛景文, 陈毓川, 魏家秀. 四川省石棉县大水沟碲矿床成矿物质来源的一些证据[J]. 贵金属地质, 1995, 4(4): 294-301.
- [7] 王汝成, 沈渭洲, 徐士进. 四川石棉大水沟碲矿床同位素地质研究[J]. 南京大学学报, 1995, 31(4): 617-623.
- [8] Ohmoto H, Rye R O. Isotopes of Sulfur and Carbon [A]. Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits (2nd Edition) [C]. New York: John Wiley and Sons, 1979. 509-567.
- [9] Zartman R E, Doe B R. The plumbotectonic model Pb isotopic systematics among major terrestrial reservoirs - A case for bi-directional transport [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1988, 52(6): 1327-1339.
- [10] Fuex A N, Baker D R. Stable carbon isotopes in selected granitic mafic and ultramafic rocks [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1973, 37: 2509.
- [11] Deines P, Gold D P. The isotopic composition of carbonatite and kimberlite carbonates and their bearing on the isotopic composition of deep-seated carbon [J]. Geochim Cosmochim Acta, 1973, 37: 1700-1733.
- [12] Barnes H L. Geochemistry of Hydrothermal Ore deposits (2nd Edition) [M]. New York: John Wiley & Sons, 1979. 509-567.
- [13] 叶庆同, 胡云中, 杨岳清, 等. 三江地区区域地球化学背景和金银铅锌成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 1992.
- [14] 骆耀南, 曹志敏, 温春齐, 等. 大水沟独立碲矿床 [M]. 成都: 西南交通大学出版社, 1996.
- [15] 李保华, 曹志敏, 金景福, 等. 大水沟碲矿床成矿物理化学条件研究[J]. 地质科学, 1999, 34(4): 463-472.
- [16] Laylor H P. Application of oxygen and hydrogen isotopes studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposits[J]. Econ Geol, 1974, 69(6): 843-883.
- [17] Laylor H P. Oxygen and hydrogen isotopes composition of plutonic granitic rocks[J]. Earth Planet Sci Lett, 1978, 38(2): 177-186.
- [18] Rye R O, Sawkins F J. Fluid inclusion and stable isotope studies on Casapalca Ag-Pb-Zn-Cu deposit, Central Andes, Peru[J]. Econ Geol, 1974, 69(2): 181-205.
- [19] 毛景文, 魏家秀. 大水沟碲矿床流体包裹体的 He、Ar

同位素组成及其示踪成矿流体来源[J]. 地球学报, 2000, 21(1) : 58-61.

[20] Turner G, Stuart F. Helium/heat ratios and deposition temperatures of sulphides from the ocean floor [J]. Nature, 1992, 76: 212-220

[21] Stuart F M, Bunard P G, Taylor R P, et al. Resolving mantle and crustal contributions to ancient hydrothermal fluid: He/Ar isotopes in fluid inclusions from Dac Hwa W-Mo mineralization, South Korea [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1995, 59: 4663-4673.

[22] 四川省区域地质调查队四分队. 1:5 万西油坊-挖角坝幅联测野外地质工作总结[R]. 成都: 四川省地质矿产勘查开发局, 1995.

SOURCES OF ORE-FORMING ELEMENTS AND FLUID OF THE DASHUIGOU TELLURIUM DEPOSIT, SICHUAN

WEN Chun-qi¹, CAO Zhi-min², LI Bao-hua¹, LUO Xiao-jun¹
(¹. Chengdu University of Technology, China; ². Ocean University of Qingdao)

Abstract: Through researches on the ore geology, major and minor elements, fluid inclusions and the isotopic analyses of the Dashuigou Te deposit, the authors believe that the materials of this deposit are of multi-sources and that the sources of ore-forming elements and fluid in the different mineralization epochs are also different. In the main mineralization epoch, Te is principally born of the gas-freeing from mantle magma, a little of basic rock or marble; S might be mainly born of pyrrhotite formed in the early epoch; Bi may be in relation to mid-acidic and basic rocks; and Te-rich fluid might be principally from magmatic gas-solution.

Key words: Te deposit; sources of ore-forming material; major and minor elements; stable isotope; Dashuigou, Sichuan

《成都理工学院学报》将更名为
《成都理工大学学报(自然科学版) 》

经报请国家科技部、国家新闻出版署批准,《成都理工学院学报》将于 2003 年第一期起更名为《成都理工大学学报(自然科学版) 》。

名称变化及对应的卷号如下:

1960 年~1993 年	《成都地质学院学报》 Journal of Chengdu College of Geology	ISSN 0256-2197	Vol. 1~20
1994 年~2002 年	《成都理工学院学报》 Journal of Chengdu Institute of Technology	ISSN 1005-9539	Vol. 21~29
2003 年~	《成都理工大学学报(自然科学版) 》 Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)	ISSN 1671-9727	Vol. 30~

衷心感谢广大作者和读者曾经给予本刊的关心与支持,并真诚欢迎继续赐稿与订阅(邮发代号仍然是: 62-24)。

地址: 成都市二仙桥东三路 1 号; 邮政编码: 610059;

电话: 028-84078973; E-mail: hxq@cdut.edu.cn