

文章编号:1008-0244(2001)03-0094-06

滇黔桂地区铊富集的矿化剂和 沉淀富集剂及成矿模式

贾大成^{1,2}, 胡瑞忠¹

(1. 中国科学院地球化学研究所矿床地球化学开放实验室, 贵州 贵阳, 550002;

2. 吉林大学地球探测与信息技术学院, 吉林 长春, 130026)

摘 要: Tl 虽然是一种分散元素, 但在一定条件下也是可以富集的, 甚至形成独立矿体。笔者在分析滇黔桂地区富铊矿床的地球化学特征后, 认为 Tl 在低温阶段富集, 并提出 Tl 的富集与沉积盆地局部高地球化学背景有关; 促使 Tl 富集成矿的主要条件是矿化剂和沉淀富集剂, 卤素和有机质是主要的矿化剂, 富硫流体和热液改造的有机质是主要的沉淀富集剂。在此基础上进一步探讨了铊的二期三阶段成矿模式。

关键词: 铊; 矿化剂; 沉淀富集剂; 有机质; 成矿模式

中图分类号: P618.88; P595

文献标识码: A

Tl 是分散元素, 世界上已发现 40 多种 Tl 的独立矿物, 我国也发现了红铊矿、斜硫铊汞铊矿、褐铊矿、硫铊铅矿和辉铊矿等矿物^[1]。目前在滇黔桂地区已发现了与 Hg、As 及 Sb 矿共生的 Tl 矿, 其中局部也可以圈定出以 Tl 为主的矿体, 由此表明 Tl 在一定条件下是可以浓集的, 甚至局部富集成矿体, 只是目前没有铊矿床的具体工业指标和可参照的矿床实例而没有确定出独立的铊矿床。近几年对 Tl 的地球化学特性有过较深入的研究^[2-4], 对 Tl 的成矿模式也有过论述^[5], 但对促使 Tl 富集的条件, 尤其是 Tl 迁移的矿化剂和沉淀富集剂以及有机质的成矿作用缺少系统性论述, 对 Tl 及其它金属的成矿机制尚需系统总结。本文根据滇黔桂地区富 Tl 的 Hg、Sb、As 矿床的成矿特征和成矿过程中 Tl 及共生金属的地球化学特征, 阐述了促使 Tl 等金属成矿富集的三个条件, 从而归纳总结 Tl 及共生的 As、Sb、Hg、Au 矿的成矿模式。

1 滇黔桂地区富铊矿床地质特征及成矿初始条件

1.1 富铊矿床地质特征

收稿日期: 2001-03-16; 修回日期: 2001-07-26

基金项目: 中国科学院矿床地球化学开放实验室基金

第一作者简介: 贾大成 (1958-), 男, 高级工程师, 博士后, 矿床地球化学。

滇黔桂地区富 Tl 的 As、Sb、Hg、Au 矿床多产于扬子地块的西南边缘, 赋存于上古生界和三叠系的不纯碳酸盐岩、粘土岩、粉砂岩中, 为从滨海一半深海的陆源细碎屑岩建造。矿体呈层状、似层状、透镜状, 受含矿建造和岩性控制。

矿石矿物组合主要为辰砂、雄黄、雌黄、辉铊矿、针柱状毒砂、黄铁矿等低温硫化物。各矿床的矿石包裹体均一温度绝大多数在 100~200℃, 已有研究表明, 只要 Tl 含量达到 $n \times 10^{-5}$ 或发现含 Tl 矿物时, 其成矿温度均 < 200℃^[2], 表明 Tl 及 As、Sb、Hg、Au 等具有低温条件下成矿特征。

滇黔桂地区富 Tl 矿床无不例外地受断裂构造和密集裂隙带控制, 包括层间破碎带、与背斜或穹隆构造有成因联系的断裂及密集裂隙带。层间破碎带常发育在岩性差异较大的岩层或侵蚀断面上, 破碎带上盘岩石是塑性较大的粘土岩或粉砂质泥岩, 对成矿流体起屏蔽作用, 下盘岩石是脆性岩石, 其孔隙度较高, 渗透性较好, 是良好的容矿场所。矿体顺断裂分布或产于主断裂与分支断裂交汇部位。矿脉及其两侧发育硅化、粘土化、碳酸盐化、黄铁矿化和毒砂化等热液蚀变现象, 表明存在成矿物质再次活化和沉淀富集作用。

矿石中卤族元素、有机碳、有机硫及碳、硫的含量很高 (表 1), 有的矿石包裹体中可见到沥青和石油。它们的高含量除反映低温成矿特征外, 更主要的是对矿质的迁移、富集和控制矿质沉淀

的物理化学条件起到关键作用,也是构成矿化剂和沉淀富集剂的主要成分。

1.2 矿源层的形成—铊成矿的初始条件

Tl 的地壳背景值为 0.45×10^{-6} , 据滇黔桂地区含矿地层中不同岩性 Tl 含量测试结果: 灰岩 > 白云岩 > 页岩 > 粘土岩 > 砂岩 > 硅质岩 > 煤岩^[2], 其对应值为 $3.81 > 2.56 > 2.30 > 1.63 > 0.3 > 0.25$, 多数容矿岩的 Tl 含量高于地壳平均值。将该区灰岩 Tl 平均值(3.81)与美国蒙大拿州中部莫卡辛矿区未矿化灰岩 Tl 平均值(1.39)

相比,前者是后者的2.7倍^[6]。Tl 在岩浆岩中变化趋势依次为石英斑岩 > 花岗岩 > 玄武岩 > 石英脉^[2], 其对应值为 $2.8 > 2.4 > 1.0 > 0.54 > 0.3$, 与美国华盛顿州共和国矿区未蚀变的桑波尔火山岩平均值0.25(43个样)、米德奈特花岗岩平均值1.72(25个样)、托耳曼山花岗岩平均值0.69(7个样)相比变化不大^[7]。另一方面,花岗岩类 Tl 含量远大于基性岩,表明 Tl 与地表或浅层富集有关,主要参与沉积建造中地表浅层富集的过程,同时也说明 Tl 的主要物质来源是沉积建造。

表1 矿床、岩石中矿化剂和沉淀富集剂含量表

Table 1. Contents of mineralizer and depositing enrichment agent in ore and rock

矿床	元素	Tl $\times 10^{-6}$	矿化剂 ($\times 10^{-6}$)			X/ $\Sigma(F+Cl+I)$			沉淀富集剂 ($\times 10^{-6}$)			
			Cl	F	I	X=Cl	X=F	X=I	C _{org}	S _{org}	SO ₃	反射率
戈塘	矿石	52.4	78.4	21 196	3.7	0.11	1.00	0.009	0.60	0.1	5.46	2.078~3.449
	围岩	3.01	57.5	450	2.7	0.10	0.87	0.004	13.7	0.07	-	(2.809)
南华	矿石	4.04	463.3	308	3.5	0.98	0.66	0.007	0.12	0.24	370.3	1.51~2.8
	围岩	21.6	38.75	183	1.2	0.17	0.82	0.005	0.04	0.09	6.38	(2.593)
东北寨	矿石	4.3	153.4	1058	5.0	0.13	0.87	0.004	0.54	0.1	8.04	1.84~2.39
	围岩	3.4	14.8	219	2.4	0.06	0.93	0.01	0.38	0.01	-	(2.112)
紫木虫	矿石	10.6							0.56			1.93~2.97
	围岩	1.6							1.54			(2.459)
烂泥沟	矿石	4.06	108	658	6.7	0.14	0.85	0.009	1.10			2.837~3.90
	围岩	1.50	64	423	3.2	0.13	0.86	0.006	0.60			(3.236)
半坡	矿石	1.9	42	113	147	0.14	0.37	0.49	0.68			1.76~3.29
	围岩	1.0	3.0	70	4.4	0.04	0.90	0.05	0.49			

注: 卤族元素分析结果据^[2,13,14], C、S分析结果据^[3,10]; -表示低于检测限, 空格未测定, 括号内为平均值。

Tl 的成矿初始富集受沉积古地理和沉积相的控制。在扬子地块西南被动大陆边缘由杂砂岩类、粉砂岩类、粘土岩类和碳酸盐岩类所构成的沉积建造中, 岩石化学表现为 SiO_2 、 Al_2O_3 含量变化大, CaO 含量较高。微量元素含量特征表现为 Au、As、Hg、Sb、Tl 等元素含量较高, 且元素含量变化幅度大(达 1~2 个数量级), 这可能与当时沉积物源区(古剥蚀区) Tl 的丰度有关。除此之外, Tl 在不同的沉积环境中亦有差别, 在被动大陆边缘的滨海潮坪相, 形成以火山—陆源碎屑岩为主的火山—陆源碎屑岩建造, 其中 Tl 含量为 $0.3 \sim 1.63 \times 10^{-6}$; 在被动大陆边缘的局限—半局限台地浅海相, 由不纯灰岩、粘土岩构成的细碎屑岩—碳酸盐建造中, Tl 含量增高为 $1.6 \sim 3.81 \times 10^{-6}$, 最高可达 15×10^{-6} ; 在被动大陆边缘的边缘斜坡相的浊积岩中, Tl 含量一般为 $1.5 \sim 2.3 \times 10^{-6}$ 。随着从滨海潮坪相的火山—陆源碎屑岩建造到浅海细碎屑岩—碳酸盐建造和半深海的

浊积岩建造, 海水逐渐加深, Eh 值由高至低, Tl 的丰度在中间的浅海相带最为富集, 其次是半深海的浊积岩相带。导致 Tl 的这种原始沉积相带分布特征的原因, 认为主要是: (1) Tl 倾向于在 Eh 值中等和较低的环境中沉淀富集; (2) Tl 倾向于与碳酸盐岩, 尤其是不纯灰岩结合; (3) 浅海台地相是生物繁衍的最佳地带, 浅海生物、古菌藻类微生物及其衍生的有机质可从海水中吸附大量铊离子而固定沉积下来。在紫木虫铊矿体附近地层中见到古生物化石被黄铁矿和毒砂交代的现象, 其中 Tl 及 As 等含量很高就是很好的例证。在矿源层形成过程中, 元素物源区的丰度, 岩性、岩相和有机质含量及 Eh 值是主要的成矿初始条件。

2 铊的矿化剂

与 Tl 共生的 Au、Hg、As、Sb 矿体均赋存于各种构造和层间裂隙带中, 这种选择构造薄弱带成矿和其两侧的热液蚀变, 以及硫同位素变化范围

大和矿石中有机质热液成熟度高等成矿特征,表明 Tl 的成矿是以一种水热流体的形式运移而富集成矿的。促使 Tl 等金属从原始沉积建造中淋滤出来并与之结合形成稳定成矿水热流体的物质即为矿化剂。综合分析滇黔桂地区富铊矿床成矿特征后,认为卤族元素和有机质是主要的矿化剂。

2.1 卤族元素矿化剂

卤族元素的地球化学性质使其容易与金属离子形成配合物和化合物,在与 Tl 共生的矿床中,卤族元素含量普遍很高,尤其是 Cl、F、I,并与围岩形成较大的浓度差(表 1),表明这些卤族元素参与了成矿作用。通过 $X/\Sigma(F+Cl+I)$ 比较,可以看出矿石中 $Cl/\Sigma(F+Cl+I)$ 值较围岩大,表明卤素中以 Cl 的影响最大。张兴茂(1996)对南华 As、Tl 矿床 Tl 与卤素配合物的理论计算结果也表明卤素与 Tl^{3+} 可以形成稳定配合物,它们的配合生成常数较大,达到平衡时 $[TlX_n]/[Tl^{3+}] = 10^6 \sim 10^{11}$, 卤素对 Tl^{3+} 的配合萃取能力大小依次为 Cl^- 、 I^- 、 F^- [8]。张忠等(1998)论证了卤素中主要是以 Cl^- 离子与 Tl^{3+} 形成稳定配合物的主要配体 [3]。成矿过程中,富 Cl^- 的矿化剂萃取含矿建造中的 Tl^{3+} ,形成 $[TlCl_4]^-$ 的配合物,形成建造中含矿流体而迁移。在滇黔桂地区卡林型金矿床按元素组合可划分为三种矿床地球化学类型 [9],均不同程度地含有 Tl,尤以 Hg、As 矿床关系密切,如与 Au—Sb—(Tl)—黄铁矿型矿床有关的箭猪坡辉铋矿床中,矿石 Tl 含量为 $(0.6 \sim 16.0 \times 10^{-6})$,其包裹体成分为 $Ca^{2+}/Mg^{2+} = 1.56$, $Na^+/K^+ = 4.63$, $Cl^- + F^-/SO_4^{2-} = 7.44$;与 Au—Hg—Tl(U)型矿床有关的滥木厂汞铊矿和益兰汞铊矿中,可见到 Tl 的独立矿物,并可圈出铊矿体,其包裹体成分为 $Ca^{2+}/Mg^{2+} = 8.33$, $Na^+/K^+ = 2.82$, $Cl^- + F^-/SO_4^{2-} = 2.89$;与 Au—Sb—As—Tl 型矿床有关的南华砷铊矿床中,矿石 Tl 含量可达 20.7×10^{-6} ,并构成砷铊矿体,其包裹体成分为 $Ca^{2+}/Mg^{2+} = 2.96$, $Na^+/K^+ = 3.04$, $Cl^- + F^-/SO_4^{2-} = 6.31$ 。上述包裹体成分表明均以 $Ca^{2+}-Na^+-Cl^-+F^-$ 型流体为主 [9],其中卤族元素为主要的矿化剂。

2.2 有机质矿化剂

有机质与金属成矿关系的研究表明,金属的搬运、迁移与沉淀均与有机质的演化过程有关。扬子地块的西南边缘卡林型金(铊)矿床矿石内干

酪根中 Au 含量是矿石 Au 含量的数倍至数十倍,有的可达数百倍 [10],表明干酪根是金属的主要载体。模拟实验证明,干酪根在转变为石油的早期热降解脱羧基作用所产生的羧酸等有机酸可以极大地提高金属的溶解度,它能使岩石中的元素被淋滤而转入油(气)混合卤水中,使 Tl 及 Au、Sb、Hg、As 等金属在生油岩的水相中富集并随之迁移 [11]。实验结果表明石油对 Hg、Sb、As、Tl 有较大的萃取能力。在 $110 \sim 115^\circ C$,原油对元素的萃取量保持在 40% 以上(施继锡等,1998),有机质萃取金属迁移被认为主要是以有机质吸附、离子交换、配合反应等作用形式完成。

有机质在金属成矿中的作用是复杂的,有机质一方面对 Tl、Au、Hg、Sb、As 等金属起到矿化剂的作用,另一方面还是金属沉淀富集剂,这主要与成矿过程中有机质的热演化历程有关,有机质在不同物理化学状态下的性质起着不同的作用。在水生生物死亡之后的腐泥化过程中形成腐殖酸、有机质和干酪根吸附并固定海水中的金属,形成高背景的矿源层;进入埋藏作用阶段,腐殖酸进一步菌解和聚合为干酪根,干酪根的热降解脱羧基作用以及进一步生油作用是有机质萃取和迁移金属的主要阶段,通过羧酸等有机酸形式萃取金属离子并与有机流体(石油、油气混合物、油(气)混合卤水)等形式,通过岩石间隙和矿物颗粒向构造薄弱带搬运、迁移。这也是矿层上部有泥质隔挡层促使矿质富集的主要原因;但随着有机质的进一步热解和热液成熟作用加强及干酪根成熟度增高,其萃取和搬运能力迅速降低,在湿气—干气阶段则表现出矿质沉淀富集剂的作用。由此可以看出有机质的作用贯穿金属成矿作用的全过程,有机质与 Tl 及 Au、Sb、Hg、As 等金属矿化的关系受到有机质相对含量、有机母质类型和有机质成熟度的控制,尤其是与有机质成熟度关系更为密切。在滇黔桂地区不同矿床中有机质含量从 $(0.11 \sim 4.0) \times 10^{-2}$,多数 $> 0.2 \times 10^{-2}$,平均为 0.75×10^{-2} ,然而如此高的有机质含量却与 Tl 及 Au 的含量之间没有明显的相关性 [10],由此可以反映出有机质在成矿作用中的多阶段性和复杂性。

3 铊的沉淀富集剂

成矿物质由搬运、迁移状态到矿质局部沉淀富集受到多种因素控制,如有利于矿质沉淀的构造脆弱带或低压扩容带, t 、 p 、 E_h 、 p_h 等物理化学

条件的突然改变,不同性质流体的混合等,最终都是形成促使金属沉淀富集的地球化学障。在这一过程中,富含S的流体混入和有机质的热液成熟度起到关键作用,因此认为富含S的流体和热液改造型有机质是促使Tl及其他金属沉淀的富集剂。

3.1 富含硫的流体及其沉淀富集作用

滇黔桂地区与Tl共生矿床的S同位素表明,其 $\delta^{34}\text{S}$ 值的变化范围较大,但均在较小的正值范围出现塔式效应或多峰效应,如在Au—Sb—(Tl)—黄铁矿型矿床中, $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 $-29.2\text{‰} \sim +17.4\text{‰}$,在平均值 $+1.17\text{‰}$ 左右形成塔式效应;在Au—Hg—Tl(U)型矿床中, $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 $-16\text{‰} \sim +18\text{‰}$,主要集中在 $-2\text{‰} \sim +14\text{‰}$ 之间,平均值为 $+3.18\text{‰}$,在 $0 \sim +4\text{‰}$ 之间出现明显的塔式效应;在Au—Sb—As—Tl—锑型矿床中, $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围为 $-6\text{‰} \sim +18\text{‰}$,平均值为 $+6.78\text{‰}$,具多峰塔式分布特点^[9]。表明其S的来源复杂,既有沉积盆地硫源和生物来源,又有深部玄武岩浆衍生的硫源,这一点与矿体附近均可见到基性脉岩贯入和矿体两侧热液蚀变作用的事实相吻合。基性脉岩和沉积矿源层的稀土元素反映为不同的源区^[3],但成矿多在基性脉岩侵入之后,如南华神铊矿的矿源层形成于140Ma,而形成工业矿体则是辉绿岩侵入之后的燕山晚期(60Ma),由此说明后期叠加改造成矿作用的存在,暗示富S流体与基性脉岩的一致性。

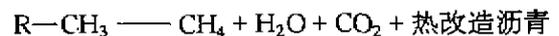
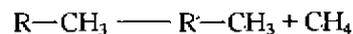
由于基性脉岩沿构造脆弱带侵入,其衍生的富含S的流体在构造脆弱带与富Tl及其它金属的含矿流体相混合,使呈搬运状态的 $[\text{TiCl}_4]^-$ 配合物分解,因S的还原作用使三价Tl还原成一价Tl,并与S结合形成稳定的以亲S元素为主体的一系列Tl的汞锑砷硫化物而沉淀富集成矿。在这一过程中,丰富的S含量至关重要,这与该区矿床中大量出现雄黄、雌黄等高S矿物相一致。

3.2 热液改造型有机质及其沉淀富集作用

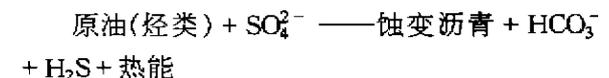
据黔西南富Tl型Hg、Sb、As、Au矿床中有机质的详细研究^[10,12],可总结出以下重要地质现象:(1)断裂带Tl及Au等金属和有机碳含量比围岩及未矿化地层都高,Tl和有机碳的断裂异常富集带表明Tl及金属与有机碳是水热流体运移而来的;(2)在断裂带的中间Tl及金属富集,而有机碳则在断裂两侧靠近围岩富集,这种铊等金属

与有机碳在空间上的不同步富集表明有一种分离富集作用存在,也就是金属和有机碳沉淀富集的不同步;(3)从矿体主脉到次一级矿脉再到更小一级石英细脉,焦沥青组分逐渐增多,并且反射率逐渐降低,不同规模(序次)矿脉中焦沥青表面均粗糙,表明有机质在成矿过程中均经历过热液蚀变,且蚀变强度由主脉到次脉逐渐变弱。对矿体主脉中焦沥青和基质镜质体的反射率测定分别平均为 3.236×10^{-2} 和 2.318×10^{-2} ^[10,12],以达到湿气—干气阶段,由此可以得出结论:与矿质沉淀富集作用有关的有机质只是经热液成熟作用的有机质,它是一种经过热液改造的有机质并在成矿作用过程中起到沉淀富集作用。

热液改造型有机质在矿质沉淀富集中所起的作用主要有以下几种可能:(1)有机质受热分解而释放出Tl等金属,有机质反射率、热演化参数及包裹体测温结果等都可表明在主成矿阶段,有机质或油气已演化到湿气甚至干气阶段,此时与之结合的金属元素因烃类分解而释放出来,并与 H_2S 、 S^{2-} 、 SO_4^{2-} 等结合而沉淀富集;(2)有机质受热分解提供直接参与成矿的沉淀富集剂,在有机质热液成熟作用过程中,由于温度升高而热分解,释放出 CH_4 、 CO_2 如:



另外,有机质与氧化性的富 SO_4^{2-} 流体相遇,发生热化学还原反应,也可释放出 H_2S ,如:



上述有机质(干酪根)热解释放出的 CH_4 和 H_2S 及 CO_2 等方面起到改变物理化学条件的作用,破坏金属配合物的稳定性,另一方面与热解释放出的金属和卤素配合物中金属结合形成Tl及Hg、Sb、As、Au的稳定硫化物而沉淀富集。这一过程与矿石包裹体中含有大量 CH_4 、 C^- 、 F^- 、 SO_4^{2-} 、 CO_2 等组分的结果相一致。

4 铊的成矿模式

Tl矿床(或与Tl共生矿床)的形成,大致可分为矿源层形成期和叠加改造成矿期两个主要阶段:(1)矿源层形成期受到沉积盆地物源区Tl的原始丰度和供给量,沉积盆地的岩相、岩性以及所含生物有机质的多少等三个主要因素控制。Tl

的选择性沉积形成了滇黔桂地区 Tl 高含量背景和矿源层的形成。这一阶段使 Tl 等金属在沉积盆地的局部沉积相带得到预富集;(2)叠加改造成矿期,该期可分为两个成矿阶段,即矿质淋滤、迁移富集阶段和矿质沉淀富集阶段。前者受矿化剂控制,后者受沉淀富集剂控制。在淋滤、迁移富集阶段,矿化剂选择性萃取 Tl 等金属形成配合物,组成富集的含矿流体向构造脆弱带和泥质隔挡层下部富集。随着幔源性脉岩沿构造脆弱带的侵入以及有机质热液成熟作用的加强而进入沉淀富集阶段。构造脆弱带中 S、H₂S、CH₄、C⁻、F⁻、SO₄²⁻、CO₂ 等沉淀富集剂增多,改变迁移状态富含 Tl 等金属流体的物理化学条件,破坏了

[TlCl₄]⁻配合物的稳定性和有机质的受热分解,促使 Tl 等金属在近中性环境中与沉淀富集剂结合成硫化物和硫砷化物而沉淀富集成矿。上述过程可概括为铊的两期三阶段成矿模式,也有学者将 Tl 矿形成后进入表生遭受风化淋滤的再循环再分配阶段划分为表生贫化期^[5]。铊的成矿是一种比较复杂的成矿作用,但总体上是在低温(< 200℃)浅层与深源叠加成矿作用的结果,其形成受多种因素控制,其中致使 Tl 及其它金属富集的矿化剂和沉淀富集剂及其中的有机质起到了关键的作用,多种因素的耦合是 Tl 矿床形成的必要条件。与 Tl 共生的 As、Sb、Hg、Au 等层控低温热液矿床也可能具有类似的成矿机制。

主要参考文献

- [1] 张忠,龙江平. 金汞砷铊矿床中的铊[J]. 地质找矿论丛 1994, 9(2): 67~74.
- [2] 涂光炽等. 低温地球化学[M]. 北京: 科技出版社, 1998. 6~14.
- [3] 张忠, 张兴茂, 张宝贵. 华南砷铊矿床元素地球化学和成矿模式[J]. 地球化学, 1998, 27(3): 269~275.
- [4] M 伊克拉穆丁. 卡林型金矿床中的铊[J]. 地质地球化学, 1988, (2): 14~16.
- [5] 张忠, 龙江平, 张宝贵. 砷、汞、铊金矿床铊的赋存状态、成矿模式与找矿标志[J]. 地质论评, 1995, 41(4): 363~370.
- [6] M Ikramuddin. 姜胜章译. 铊: 矿床的一种潜在指示剂[J]. 地质地球化学, 1985, (5): 6~12.
- [7] P J Massa, M Ikramuddin. 府善德译. 美国内华达州科莫矿区含金石英脉及伴生火山岩中的铊[J]. 地质地球化学, 1987, (4): 7~10.
- [8] 张兴茂. 云南南华砷铊矿床的矿物和环境地球化学[D]. 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1996.
- [9] 李朝阳, 谭运金, 刘玉平. 扬子地块西南、西北缘金、铅锌、锡远景区[A]. 涂光炽. 中国超大型矿床(I)[M]. 北京: 科技出版社, 2000. 393~396.
- [10] 庄汉平, 卢家烂, 傅家谟. 有机质在锗银金大型、超大型矿床形成中的作用[A]. 涂光炽. 中国超大型矿床(I)[M]. 北京: 科技出版社, 2000. 195~203.
- [11] 卢家烂. 溶解有机质与多金属元素相互作用实验地球化学[A]. 中国科学院地球化学研究所年报[R]. 贵州: 贵州人民出版社, 1986. 193~194.
- [12] 庄汉平, 卢家烂, 傅家谟, 等. 黔西南卡林型金矿床中固体有机物质的有机岩石学研究[J]. 地质科学, 2000, 35(1): 83~90.
- [13] 施继锡, 王华云, 林青. 金、铊、汞低温矿床的形成与有机质的关系[A]. 涂光炽. 低温地球化学[M]. 北京: 科技出版社, 2000. 53~75.
- [14] Pan Jiayong, Zhang Qian and Shao Shuxun. Tracer system on halogen mineralizer from the epithermal deposits in Guizhou Province. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(suppl. 2): 159~161.

MINERALIZER AND DEPOSITING ENRICHMENT IN THALLIUM DEPOSITS AND METALLOGENIC MODEL, YUNNAN-GUIZHOU-GUANGXI REGION

Jia Dacheng^{1,2}, Hu Ruizhong¹

(1. Open Lab of Ore Deposit Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese
Academy of Sciences, Guiyang 550002;

2. College of Geo-exploration and Information Technology, Jilin University,
Changchun 130026)

Abstract

Thallium can be enriched to form its deposits even though it is a dispersed element. Thallium is enriched in low temperature and has relationship with the high thallium geochemical background. Geochemistry study of Tl-rich deposits at the southwestern margin of the Yangtze paraplatform shows the mineralizer and depositing enrichment responsible for thallium enrichment. Halogen and organic matter are the main mineralizers. The sulfur-rich fluid and hydrothermally altered organic matter are the main depositing enrichment agent. Based on the above data, the thallium metallogenic model has been established.

Key words: thallium; mineralizer; depositing enrichment; organic matter; metallogenic model