

金矿勘查中铊的找矿意义

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, 贵阳 550002;

2. 吉林大学地球探测与信息技术学院, 长春 130026)

[摘 要] 从分析铊的地球化学特性和成矿作用过程中铊与金密切共生及受共同矿化剂和沉淀富集剂制约的角度, 阐述了铊的找矿意义不仅局限于微细浸染型金矿, 而对于多数金矿, 尤其是对具有后生热液成矿特征的金矿均具指示意义。通过分析铊的富集规律, 提出 Cl, F, S, C 等也具有找矿意义。总结了铊勘查地球化学评价的主要方面, 同时指出了铊作为地球化学勘查方法所存在的问题。

[关键词] 铊 找矿意义 后生金矿床

[中图分类号] P618.51; P618.2 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)06-0001-04

铊作为分散元素, 其地壳丰度仅为 0.45×10^{-6} , 因此在以往的金地质矿床矿普查找矿中很少关注。20 世纪 80 年代初, M. Ikramuddin 等提出铊可作为金矿的一种潜在指示剂^[1,2], 随后, H. V. Warren 等用铊作指示元素找金并取得成果^[3]。国内在研究黔滇桂地区层控型矿床过程中也发现了铊与金汞砷锑矿的密切共生关系^[4,5,6], 近几年对我国西南卡林型金汞砷锑矿床的工作, 进一步肯定了铊与金的密切共生关系, 并通过铊与金、汞、砷、锑等元素之间更为详尽的地球化学研究, 提出了铊作为微细浸染型金矿的指示元素^[7]。然而, 在国内将铊真正作为指示元素来寻找金矿的应用实例并不多见^[8,9], 并且多限于微细浸染型(或卡林型)金矿。众所周知, 任何一个找矿标志和指示元素都会不同程度地受到矿床类型和成矿条件的限制。为此, 铊作为金矿的指示元素是否具有广泛的适用性则是人们所关心的问题, 同时也是铊作为金矿指示元素能否被广泛应用的前提。本文将在以上研究基础上, 从铊的地球化学和富集规律角度讨论铊作为指示元素在不同类型金矿床中的找矿意义, 并指出用铊作为指示元素在寻找金矿过程中存在的问题, 使之逐步完善为广泛适用性的地球化学勘查手段。

1 铊的地球化学性质与其找矿意义

铊在元素周期表中与金邻近, 铊与金的原子结构和地球化学及晶体化学性质相似。在矿物和矿石

中与金常共生, 并较汞、锑、砷等元素易挥发, 铊在金矿体上部形成的异常较汞、砷、锑异常强度大, 而且更清晰^[8,10], 因此由铊的化学性质和铊异常与其它金矿异常的对比关系决定其应是寻找金矿的有效指示元素。

在金与铊共同赋存的地质体中, 铊与金呈正相关性, 具有同富集的特性(表 1)从矿体到矿化(蚀变)岩石, 再到未矿化岩石, 普遍存在数倍—数十倍的铊含量差异, 在不同矿床中伴生的各种蚀变岩石中也都有较高的铊含量, 而且与未蚀变岩石形成较大的浓度差, 这也是铊作为金矿指示元素的前提。

从表 1 可以看出, 铊在不同地区、不同矿床中的富集程度不同。而铊在未矿化各种岩石中含量很低, 一般为 $0.1 \sim 1 \times 10^{-6}$, 体现出金、铊的浓集与成岩后的再次富集有关, 这一方面反映了铊与金成矿的后生叠加富集特点, 同时也表明用铊作为金矿的指示元素更适合于那些具有后生叠加富集成矿作用的矿床。而这类矿床恰是国内金矿的主要勘查对象。

铊的 $6s^2 6p^1$ 型电子结构决定了铊元素具有双重性质。一方面铊在一定条件下与 K、Rb、Cs 等碱金属性质相近, 常赋存于硅酸盐、碳酸岩及氧化物中, 表现出亲石性质。另一方面常与 Cu、Pb、Hg、Sb、Ag 等元素的硫化物有密切关系, 形成含铊硫化物或铊化物, 表现出亲硫性质。铊的这种双重性主要受地球化学环境的控制, 在不同条件下常表现出不同的性质。在中高温和氧化环境, 铊与碱金属元素呈类质同象集中在某些含钾矿物中, 许多金矿成矿作

[收稿日期] 2001-01-10; [修订日期] 2001-04-17; [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 中国科学院地球化学开放研究实验室基金项目(2000)、国家重点基础研究发展规划项目 973(G1999043210)、中国科学院知识创新工程项目(2KX2-102)联合资助。

用表明,在金矿体两侧形成钾质和碱金属交代,构成矿化蚀变带, Ti^{+} 与 K^{+} 等在交代作用过程中填补 Al^{3+} 替代 Si^{3+} 的配位空间而在金矿体及其两侧矿化蚀变带中得到富集。这也是导致某些矿体蚀变带上部出现铊异常的主要原因,事实上某些形成温度较高的热液脉状矿床、斑岩型矿床、火山热液矿床、蚀

变岩型矿床等矿体和蚀变岩中均出现很高的铊含量^[8,9,1,2,3]。展示铊具有广泛的勘查地球化学意义。在低温还原环境,铊常与 Hg、As、Sb、Cu、Pb、Ag 等组成含铊的硫化物和硫盐矿物,直接构成金矿体或汞、锑、砷等多金属矿体。这也是微细浸染型或卡林型金矿中铊含量高的主要原因。

表 1 不同地区金(铊)矿床中铊含量对比表 (10⁻⁶)

岩石	桂西北 ^[7]				川、滇、黔地区 ^[4, 11]										
	金牙		明山		南华砷矿		戈塘		东北寨		紫木凶		烂泥沟		
	Au	Tl	Au	Tl	Au	Tl	Au	Tl	Au	Tl	Au	Tl	Au	Tl	
矿石	12.21	3.4	5.5	2.7	0.71	772	13.51	62.05	7.84	4.3	5.36	10.55	6.47	4.06	
蚀变岩石 (矿化岩石)					0.04	36.1	0.89	6.0	0.18	4.3			0.70	3.81	
未蚀变岩石	0.0123	1.5	0.028	1.4	0.002	16.8	0.003	1.0	0.003	3.2	0.003	1.6	0.003	1.50	
岩石	陕西 ^[8]				(美)华盛顿洲 ^[1]				内华达洲 ^[2]		蒙大拿洲 ^[1]				
	八卦庙		煎茶岭		共和国矿区		托尔曼山		科莫矿区		北莫卡辛区				
	Au	Tl	Au	Tl	Au	Tl	Au	Tl	Au	Tl	Au				Tl
矿石	12.76	20.0	10.0	53	> 3.6	1.13	14.4	1.18	5.07	3.21	1.74				510
蚀变岩石 (矿化岩石)	0.68	18.0	0.5	12	0.2	1.84			0.192	1.24					
未蚀变岩石	0.003	2.5	0.003	1.6	0.002	0.52	0.061	0.69	0.002	0.173	0.014				1.39

2 铊的富集条件与金成矿的一致性

铊在金矿勘查中的意义不仅体现在铊与金的地球化学共性及其与未矿化岩石之间的浓度差异,而且在成矿作用过程中铊与金也体现出相似性。铊与金的成矿要使金、铊至少富集几百倍至上千倍,这除与局部区域地球化学背景场值高以外,更主要的是要有促使金、铊局部快速富集的条件,依据铊与金密切共生关系,通过铊的富集条件分析,认为促使金、

铊富集的矿化剂和沉淀富集剂在成矿作用过程中起到关键作用。

2.1 铊的矿化剂及其找矿意义

通过对黔桂地区富含铊的金汞砷锑矿床研究发现,矿石和岩石之间存在元素互补性和共有性^[11]。在矿床赋矿岩石类型中,沉积岩类铊含量由高至低依次为灰岩—白云岩—页岩—粘土岩—砂岩—硅质岩—煤岩;岩浆岩类依次为石英斑岩—花岗岩类—玄武岩—石英脉^[4]。其中作为主要围岩的灰岩、白

表 2 岩、矿石中卤族元素、有机碳、硫含量表

矿床	矿石	Tl	F	Cl	I	Corg	S	SO ₃	$\frac{X}{X=F}$	$\frac{\sum(F+Cl+I)}{X=Cl}$	$X=I$
南华砷 铊金矿 床	粉砂岩(地层)	16.8	135	29.0	0.5	0.03	0.07	—	0.81	0.17	0.003
	白云质灰岩(围岩)	26.4	231	48.5	1.9	0.05	0.1	—	0.81	0.17	0.007
	泥质白云岩(矿化)	36.1	289	399	2.9	0.14	0.1	6.38	0.42	0.57	0.004
	含矿白云岩(矿石)	777	327	527	4.1	0.19	0.24	37.3	0.38	0.61	0.005
东北寨 金砷矿 床	泥质灰岩(地层)	3.2	210	11.0	2.0	0.08		—	0.91	0.06	0.009
	含矿层灰岩(围岩)	3.7	228	18.6	2.8	0.11		—	0.88	0.06	0.011
	钙质灰岩(矿化)	4.3	840	56.3	3.6	0.2~0.5		5.02	0.93	0.06	0.004
	钙质板岩(矿石)	4.3	1275	250	6.5	0.9~1.0		11.1	0.83	0.16	0.004
戈塘锑 金矿床	粉砂岩(地层)	1.0	410	55.5	4.0	—		—	0.87	0.11	0.009
	粉砂硅质岩(围岩)	2.2	490	59.5	1.5	0.05		—	0.88	0.10	0.003
	硅化角砾岩(矿化)	6.0	585	71.1	2.5	0.05		4.28	0.88	0.11	0.004
	矿化角砾岩(矿石)	52.4	4180		3.7	1.0~1.2		6.63			

注:Tl 测试单位为 10⁻⁶;其它元素为 10⁻²;指数 X 无单位。卤族元素分析结果据文献[4]整理;碳、硫分析结果据文献[5][13]整理。
—表示低于检测限。空格未测定。

云岩和细碎屑岩中铊含量高于地壳丰度 6~9 倍,比美国蒙大拿洲北莫卡辛矿灰岩也高出 2.7 倍。表明含矿建造中铊的相对浓集。然而 Tl 与 Au、As、Sb、Hg 等进一步聚集成矿必须要有适当的矿化剂,在与

铊共生的矿床中,卤素含量普遍很高,尤其是 Cl、F、I,并与围岩形成较大的浓度差(表 2)。通过 $X/\sum(F+Cl+I)$ 比较,可以看出矿石中 $Cl/\sum(F+Cl+I)$ 值较围岩大,表明卤素中以 Cl 的影响最大。张兴茂

(1996)对华南砷铊矿体铊与卤素络合物的理论计算结果也表明卤素与 Tl^{3+} 可以形成稳定络合物,它们的络合生成常数较大,达到平衡时 $[\text{TlX}_n]/[\text{Tl}^{3+}] = 10^6 \sim 10^{11}$,卤素对 Tl^{3+} 的络合萃取能力大小依次为 Cl^- 、 I^- 、 F^- [12]。成矿过程中,富 Cl^- 的矿化剂萃取含矿建造中的 Tl^{3+} ,形成 $[\text{TlCl}_4]^-$ 的络合物,形成建造中含矿流体。在多数不同类型金矿床中都含有较高的 Cl^- 和卤素含量,在矿石包裹体中亦含有较高的 Cl^- 含量,起到使金等成矿元素富集的矿化剂作用,这也是卤族元素找矿方法的理论基础。正是由于金与铊受相同矿化剂的制约,从而使铊的找矿意义更明确,同时也指出在用铊作为地球化学找矿方法时,应配合卤族元素,尤其是 Cl 的分析,能够起到更好的找矿效果。

2.2 铊的沉淀富集剂及其找矿意义

富铊的含矿流体在热动力作用下,向构造脆弱带迁移,在有利的地球化学条件下,使 $[\text{TlCl}_4]^-$ 分解,使三价铊络合物还原成一价铊,并与硫结合形成稳定的以亲硫元素为主体的一系列硫化物。在这一沉淀富集过程中,富含 S 、 CO_2 、 CH_4 和有机质的成矿富集剂起到重要作用。从表2中可以看出,矿石较围岩具有更高的有机碳和有机硫及 SO_3 含量,表明在成矿过程中有富 S 、 CO_2 、 CH_4 和有机质流体的加入,在金矿体中及其附近出现的暗色脉岩也可能提供大量幔源 CO_2 和 S 。有机质在成矿过程中热解释放出烃类物质,如 CH_4 、 CH 在近地表浅层条件下参与硫酸盐的热化学还原,生成 H_2S 和烯烃,并改变成矿环境,促使含矿流体中铊、金等与 S 结合而沉淀富集成矿。因此在金铊成矿过程中,有机质、 CO_2 和 S 是不可缺少的矿质沉淀富集剂。铊与金等金属这种相似的富集沉淀机制为铊成为金矿指示元素提供了有利的理论依据。

在金矿成矿过程中,促使金富集成矿的矿化剂和沉淀富集剂是导致金、铊局部富集的主要因素,是后生成矿的主要成矿阶段,铊和金与矿化剂和沉淀富集剂元素之间具有相似的地球化学行为和正相关性,从而从成矿作用角度表明了铊作为金矿指示元素的可能性与可行性。另一方面,由于 Cl 、 F 等对铊、金及其他金属的迁移富集作用和 C 、 S 等的沉淀富集作用,使卤族络合物分解,释放出卤族元素并通过断裂以渗流扩散和气相等方式向上和两侧迁移,从而在矿体上方及附近形成卤族元素的原生晕,这种晕与成矿作用有关,与围岩关系不大,因此卤族元素及成矿过程中富集的碳、硫等同样具有寻找金矿

的指示意义。

3 铊勘查地球化学评价

3.1 铊元素丰度

通过上述分析,铊能够以不同方式进入矿体和矿化蚀变岩中,因此铊的丰度是最直接和直观的找矿标志。一般在矿体和矿化蚀变带上方形成铊的高丰度值,如曾庆栋等(1997)在山东堆金山斑岩型金矿区面积型土壤测量中,铊在矿化区的含量是非矿化区的十倍~上百倍[9]。张忠等(1995)提出卡林型金矿床铊含量评价指标,在矿体、矿区(矿田)和矿带上分别为 $> 10 \times 10^{-6}$ 、 $5 \times 10^{-6} \sim 10 \times 10^{-6}$ 和 $1 \times 10^{-6} \sim 5 \times 10^{-6}$ 。总结不同矿区的找矿实践,认为一般铊含量超过区域铊背景值5倍时就值得注意。陈代演等(1999)在黔西扬家沟地区求得铊的背景值、异常下限、异常浓度带和异常浓度带分别为 4.4×10^{-6} 、 14.56×10^{-6} 、 $15 \times 10^{-6} \sim 30 \times 10^{-6}$ 和 $> 30 \times 10^{-6}$,其中异常浓度带与断裂—蚀变—矿化带基本一致,异常浓度带位于带中,并与有工业价值的矿体相对应[10]。另外,在矿体上部的植物中铊的含量也明显高于围岩[8,10],也是金矿体的找矿标志。

3.2 铊共生元素组合

从找矿意义出发可以大致将与铊有关的元素组合分为3组,既成矿元素组合,指参与铊矿物组成的主要元素、在成矿中与铊地球化学性质密切的元素,如 As 、 Hg 、 Sb 、 Au 、 Ag 、 Cu 、 Pb 、 Zn 、 S 等,它们的高含量和彼此的正相关性是矿体的找矿标志;矿化元素组合,指参与矿石和矿化岩石的主要元素,在矿床和矿化蚀变带中与铊的地球化学性质相似,如 K 、 Rb 、 Na 、 Ba 、 Cl 、 F 等,它们的异常往往是金矿化蚀变带的标志;伴生元素组合,指矿区围岩中与铊地球化学性质有相关性的元素组合,如 Ca 、 Mg 、 Al 、 Fe 、 Mn 、 V 、 Ti 、 W 、 Sn 、 Bi 、 Mo 、 Cd 、 Cr 、 Ni 、 Co 、 Ga 、 Ge 、 In 等。选择成矿元素组合和矿化元素组合具有更明显的找矿指示意义。

3.3 铊与特征元素比值

从铊既与 K 、 Rb 等碱金属共生,又与 Hg 、 As 、 Sb 等元素的硫化物有密切关系,且这些元素均在矿体和蚀变带中富集的地球化学特点出发,选用铊与特征元素比值更能突出体现金矿体和蚀变带的异常特征。目前已提出以 K/Tl 、 Ba/Tl 比值明显低于围岩并与铊高异常的互补性来表示金矿体和蚀变带,如对桂西北地区金矿提出 $\text{Tl} > 1.5 \times 10^{-6}$ 、 $\text{K}/\text{Tl} < 1 \times 10^{-6}$ 、 $\text{Ba}/\text{Tl} < 1.5 \times 10^{-6}$ 为矿体和矿化体的标

志^[2,7]。鉴于 Cl、F 和 S、C 与 Tl 的密切关系,提出可以用 $Cl \times Tl$ 、 $(Cl + F) \times Tl$ 、 $S \times Tl$ 等组合来强化矿体和矿化带的异常。

4 结论

1) 成矿作用中铊的地球化学特性决定了铊在金矿勘查中的指示意义不仅局限于微细浸染型金矿,从理论和实际应用等方面表明铊应有更为广泛的意义,尤其是对具有后生成矿作用特征的矿床。

2) 铊和金的成矿作用受多种因素制约,但最主要的是促使金和铊等元素活化的矿化剂和沉淀富集剂,其中的 Cl、F、S、C、CH₄ 等元素与 Tl 同样具有不同程度的找矿指示意义,提倡在金矿地球化学勘查时将 Tl 与 K、Rb、Sr、Ba、Cl、S、C 等综合分析,以获取丰富而可靠的找矿信息。

3) 初步总结了铊勘查地球化学评价的一些指标,但不同地区受区域地球化学背景值和成矿方式差异影响,各地选取的指示元素及其组合的代表性和找矿指标不可能一致。在具体工作中应先从已知矿床入手,建立区域内有效的评价标准。

以铊作为指示元素寻找金矿目前尚存在以下问题需要不断完善,(1) 铊的找矿意义虽然对多数金矿床适用,但对一些后期叠加改造成矿作用不明显的矿床,如砾岩型金矿、红土型金矿、部分块状硫化物矿床等,铊的地球化学行为还不清楚,因此铊的找矿意义还不明确;(2) 目前铊的分析成本相对较高,对于 $10^{-9} \sim 10^{-6}$ 级低含量的分析结果还不够稳定,虽然国外提出金银铊等 15 种元素连续测定方法,但尚处于推广前的试验阶段;(3) 尚须总结用铊寻找金矿

及其他金属矿产的有效勘查技术方法,使之系统、合理、经济地广泛应用。

总之,铊可以成为一种行之有效的金矿勘查地球化学方法,尤其是作为寻找隐伏金矿体的指示元素,对寻找其他金属矿产也具有指示意义,应在国内金矿勘查中不断完善和推广。

[参考文献]

- [1] M. Ikramuddin. 铊:矿床的一种潜在指示剂[J]. 地质地球化学, 1985, (5): 6 ~ 12.
- [2] P. J. Massa, M. Ikramuddin. 美国内华达州科莫矿区含金银石英脉及伴生火山岩中的铊[J]. 地质地球化学, 1987, (4): 7 ~ 10.
- [3] H. V. Warren et al. . Thallium, a Biogeochemical Prospecting Tool for Gold[J]. Journal of Geochemical Exploration, 1986, 26(3): 215 ~ 221.
- [4] 涂光炽,等. 低温地球化学[M]. 北京: 科技出版社, 1998, 6 ~ 14.
- [5] 张忠, 龙平江, 张宝贵. 铊、汞、镓金矿床的赋存状态、成矿模式与找矿标志[J]. 地质论评, 1995, 41(4): 363 ~ 370.
- [6] 张忠, 张兴茂, 张宝贵. 华南铊矿床元素地球化学和成矿模式[J]. 地球化学, 1998, 27(3): 269 ~ 275.
- [7] 潘家永, 张宝贵. 铊—寻找微细浸染型金矿床的指示元素[J]. 矿物学报, 1997, 17(1): 45 ~ 49.
- [8] 侯嘉丽, 杨密云. 用铊作探途元素寻找金矿[J]. 有色金属矿产与勘查, 1995, 4(4): 223 ~ 227.
- [9] 曾庆栋, 沈远超, 杨金中, 等. 山东省乳山金矿铊地球化学特征研究[J]. 黄金科学技术, 1998, 6(4): 8 ~ 13.
- [10] 陈代演, 王华, 任大银, 等. 铊的地球化学与找矿的若干问题讨论——以黔西南主要铊矿床(点)为列[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1999, 18(1): 57 ~ 60.
- [11] 张忠, 龙平江. 金汞铊矿床中的铊[J]. 地质找矿论丛, 1994, 9(2): 67 ~ 74.
- [12] 张兴茂. 云南华南铊矿床的矿物和环境地球化学[D]. [硕士学位论文] 贵阳: 中国科学院地球化学研究所, 1996.
- [13] 涂光炽. 中国超大型矿床() [M]. 北京: 科学出版社, 2000, 185 ~ 202.

THE PROSPECTING SIGNIFICANCE OF THALLIUM IN GOLD DEPOSIT PROSPECTION

JIA Da - cheng, HU Rui - zhong

Abstract: In this paper, on the analysis of geochemical characteristics of Thallium and the close paragenesis of Thallium with Gold as well as they both controlled by same mineralizer and depositing enrichments in mineralization, the significance of Thallium for prospecting gold deposits has been put forward. The significance not only for microfine disseminated gold deposits but also for all the gold deposits that have features of epigenetic hydrothermal mineralization. On the basis of enrichment regulation of Thallium, the prospecting significance of Cl, F, C, S have been proposed also. The main contents of evaluation and the problems in Thallium exploration geochemistry have been summarized.

Key words: Thallium, prospecting significance, epigenetic gold deposits



[第一作者简介]

贾大成(1958年-),男,1997年在长春地质学院获得找矿勘探专业硕士学位,2000年获得长春地质学院矿床专业博士学位,副教授,现为中国科学院地球化学研究所博士后,从事矿床地球化学和岩石地球化学研究工作。

通讯地址:贵阳市观水路73号 中国科学院地球化学研究所 矿床室 邮政编码:550002