

森林沼泽景观表生介质元素存在形式研究

金 浚, 丁汝福, 陈伟民

(北京矿产地质研究院, 北京 100012)

[摘要] 文章运用痕量相态分析和元素活动态提取技术对森林沼泽景观各类表生介质元素存在形式进行研究, 确定各类表生介质中元素存在形式有继承矿物原生状态的相对稳定形式和表生环境下形成的元素活动态形式两类, 不同类型介质的元素存在形式具有较大差异。元素赋存形式对评价化探异常具有重要指示作用, 介质中成矿元素的有效相态形式占有一定比例是矿异常的重要标志。

[关键词] 森林沼泽景观 元素赋存形式 化探异常评价

[中图分类号] P632 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)06-0076-05

森林沼泽是我国东北北部地区一种重要的自然景观。这里森林密布, 沼泽纵横, 气候条件、地形地貌、植被、表生介质类型、元素赋存形式、元素迁移富集规律、地球化学异常影响因素等都具有特殊性, 研究这类特殊景观条件下的元素赋存形式及其分布分配规律, 对客观评价地球化学异常和有色、贵金属矿产勘查具有重要的价值。

1 森林沼泽区景观特征

通过对额尔古纳河流域、大兴安岭北段、小兴安岭和长白山地区景观调查, 将我国东北北部地区森林沼泽景观特征概括如下:

1) 我国东北森林沼泽区主要属于寒温-中温带湿润、亚湿润气候区, 气候严寒湿润。日最低温度在0℃以下的寒冷期长达半年以上。大部分地区年降水量为400~700mm。冻融作用强, 常形成石海、石流坡等特殊的冰缘地貌。

2) 地形地貌以中山、中低山、丘陵为主, 山体浑圆, 沟谷宽缓, 山体坡度较小, 总体上地形切割深度不大。

3) 植被茂密, 形成乔木、灌木、草甸3重覆盖。植被种属可以分为寒温带针叶林、中温带针阔叶混交林和草甸草原3部分。湿润的气候和繁茂的植被导致地表介质富含有机质, 地表水呈现弱酸性, 属弱酸性、潜育地球化学环境。

4) 水系发育。水系上游水流缓慢, 水系沉积物以腐泥为主, 有机质含量高; II级向下水系径流通

畅, 水系沉积物粒度变粗, 岩石碎屑增多。沟谷、缓坡、水系上游的滞留水系和平顶山的宽缓地带经常形成沼泽。根据地形地貌、水流、植被和沉积物成分, 将该类地区水系、沟谷体系划分为常年径流水系、常年缓流水系、滞留水系、季节性干沟、掩埋型干沟、无水山坳、草皮沟、苔藓沟等8种类型。

5) 土壤类型比较复杂, 山地土壤以灰化土、暗棕壤为主, 沟谷低洼地带分布草甸土和沼泽土。山顶、山脊和部分山坡(特别是南坡)土壤不甚发育, 往往腐殖层之下便是基岩或碎石层。山坡地带和部分山脊往往堆积大量碎石, 形成很厚的坡积层。

6) 广泛分布的冻土对沼泽的形成与发展有重要影响。连续多年冻土主要分布在大兴安岭西北部, 大致与年均气温-5℃等值线所圈定的范围一致, 冻土厚度一般为50~70m, 最大厚度可达100m。岛状冻土大致在年均温-1℃~+1℃等值线之间, 冻土厚度在几米至50m之间。冻土的存在影响气候, 增强了寒冷程度, 影响地下水下渗, 土壤经常处于过湿状态而沼泽化, 冻土的存在阻止了水分下渗, 减弱了土壤淋溶过程, 免于土壤元素过多流失。

7) 沼泽的广泛分布、类型的复杂多样, 是该类景观冷湿环境的一个重要特征。大小兴安岭沼泽分布约占林地总面积的7%~8%。气候寒冷和多年冻土是沼泽发育的重要原因, 宽阔的河谷、平缓的山坡为沼泽形成创造了条件。山区多为泥炭沼泽, 平原多为潜育沼泽。泥炭层厚度大兴安岭为20~50cm, 小兴安岭为40~80cm。

[收稿日期] 2007-06-03; [修订日期] 2007-08-10。

[基金项目] “十一五”国家科技支撑计划项目(编号:2006BAB01A10)和中国地质调查局项目(编号:200320130002)资助。

[第一作者简介] 金 浚(1944年—), 男, 1967年毕业于中国科学技术大学, 教授级高工, 现主要从事有色金属、贵金属矿产资源地球化学勘查研究工作。

2 森林沼泽区表生介质系列

森林沼泽区发育着两种表生介质系列:①以石海、石流、石流坡、岩块、岩石碎屑、水系碎屑沉积物为代表的碎屑介质系列,该类介质系列是岩石在地表各种物理风化作用的影响下形成的,介质通过重力和流水作用进行机械搬运,在地表形成碎屑异常。主要反映介质物源原生状态下的地质特征和地球化学特征,介质携带的信息属于直接找矿信息,对特定的含矿岩层、含矿岩体和浅表矿体、矿化带具有指示作用;②以富有机质土壤、腐殖土、生物遗体形成的各种腐殖质、水系沉积物中的软泥、泥炭、腐泥为代表的富有机质介质系列,这类介质是岩石及其风化产物在地表各种化学风化作用、生物化学作用、微生物作用影响下,在地表水、生物、微生物、有机质和各种气体的参与下形成的,金属元素除继承和保存部分原生状态下的形式和信息外,又以活动态形式和各种易溶形式存在于介质中,通过地表水、生物、微生物、气体进行迁移,在地表形成生物成因异常和水成异常。主要反映介质物源表生状态下的地质特征和地球化学特征,介质携带的信息基本属于间接找矿信息,在一定条件下具有远程指示作用,由于该类异常成因复杂,需要对异常区的成矿地质条件、景观条件和各种地球化学参数进行分析研究,才能对异常做出客观的认识和评价。

3 元素存在形式

介质中元素存在形式和赋存状态对于研究元素的地球化学行为、元素迁移富集规律、确定中大比例尺化探工作方法和评价地球化学异常具有重要意义。项目实施过程中,运用元素痕量相态分析方法和元素活动态提取技术对多处已知矿床各类采样介质元素存在形式进行研究,并得出以下认识:

1) 在各类表生介质中元素的存在形式有继承原生状态的相对稳定形式和表生环境下形成的活动态形式两类。继承岩石矿物原生状态的相对稳定形式主要有:自然元素相、硫化物及类似化合物相、氧化物相、含氧盐相(碳酸盐相、银盐相)、硅酸盐结合相等;表生环境下形成的活动态形式主要有:水提取相、粘土吸附相、有机络合物相、铁锰氧化物吸附相等。

2) 岩石碎屑、水系碎屑沉积物等碎屑介质系列继承原生状态下的相对稳定形式占有较大比例,对于确定异常源地质体的性质、矿化类型、是否可以形成具有工业价值的矿床具有重要的参考价值。一般来说,成矿元素有效相态形式(如:自然元素相、硫

化物相、氧化物相、部分含氧盐相等)的合量占有比例较高($\geq 30\% \sim 50\%$),是矿异常标志;硅酸盐结合相占有比例高是非矿异常标志。

3) 土壤、沟谷土壤、水系沉积物中的泥炭、腐泥等富有机质介质系列元素存在形式除了部分继承原生状态下的相对稳定形式外,表生环境下形成的活动态形式(水溶相、粘土相、有机相、铁锰氧化物相等)占有较大比例。成矿元素有效相态形式合量是否占有一定比例,对于确定异常是否同工业矿体有关具有重要参考价值,一般来说,成矿元素有效相态形式合量 $\geq 30\%$ 可能是矿异常。

下面以内蒙古自治区根河市得耳布尔铅锌矿和黑龙江省嫩江县多宝山铜矿为例,说明森林沼泽区不同采样介质主要成矿元素存在形式和与矿床有关地球化学异常的判别标志。

3.1 得耳布尔铅锌矿案例

得耳布尔铅锌矿是一处产于石英斑岩、花岗斑岩与塔木兰沟组安山岩的接触带部位,受断裂构造控制的中型铅锌矿床。采集靠近矿体部位的水系沉积物、沟谷沉积物和土壤样品进行元素存在形式试验研究,试验结果表明:水系沉积物样品铅锌存在形式以氧化物相、硫化物相、硅酸盐结合相为主,氧化物相、硫化物相等有效相态含量比例之合:Pb 38.30% ~ 70.89% (表1), Zn 33.08% ~ 38.75% (表2),银以硫化物相为主,所占比例 63.0% ~ 76.19% (表3);靠近矿体部位的沟谷沉积物和残坡积土壤中 Pb 和 Zn 的粘土吸附相、有机络合物相等元素活动态形式所占比例增高,但硫化物相、氧化物相等有效相态仍占有相当比例:Pb 24.25% ~ 39.16%, Zn 44.82% (表1、表2)。

以上试验数据均符合表生介质中成矿元素有效相态形式的合量 $\geq 30\% \sim 50\%$ 是矿异常标志的结论。

腐泥(含部分泥炭)作为一种特殊介质在这里单独讨论。如表4所示,铅在腐泥(含部分泥炭)中的存在形式以粘土相、铁锰氧化物相、有机相为主,其占有比例分别为 16.26% ~ 46.47%、12.82% ~ 35.62%、6.14% ~ 13.46%;而硫化物相仍占有一定比例,其占有率为 33.7% ~ 49.24%,平均为 40.97%。

锌在腐泥(含部分泥炭)中的存在形式以粘土相、有机相为主,其占有比例分别为 17.98% ~ 28.88%、9.94% ~ 27.07%;硫化物相占有率为 30.6% ~ 40.66%,平均 35.08% (表5)。

银在腐泥(含部分泥炭)中的存在形式以有机相、铁锰氧化物相为主,其占有比例分别为 34.94% ~ 64.9%、1.89% ~ 22.90%;硫化物相占有率为 18.0% ~ 42.7%,平均 31.05% (表6)。

表1 得耳布尔铅锌矿水系沉积物、土壤 Pb 物相分析结果

 $\omega_B/10^{-6}$

点号	采样部位	样品类别	粒度	全量	硫化物相	氧化物相	结合相	有机络合物相	粘土吸附相	相合
47493	近矿	水系沉积物	-4 ~ +20 目	1240	108	771	144	10	50	1083
48492	下游	水系沉积物	-4 ~ +20 目	540	60	272	125	10	31	498
47473	近矿	沟谷沉积物	-40 目	660	66	187	156	35	202	646
49521	上游	沟谷沉积物	-40 目	1890	192	463	260	203	580	1698
TC1-25	近矿	C 层土壤	-40 目	3200	150	659	2271	16	240	3336

表2 得尔布干水系沉积物、土壤 Zn 物相分析结果

 $\omega_B/10^{-6}$

点号	采样部位	样品类别	粒度	Zn 全量	硫化物相 Zn	氧化物相 Zn	结合相 Zn	有机络合物相 Zn	粘土吸附相 Zn	相合
47493	近矿	水系沉积物	-4 ~ +20 目	1200	66	399	451	61	77	1054
48492	下游	水系沉积物	-4 ~ +20 目	641	26	186	358	5	50	625
TC1-40	近矿	C 层土壤	-40 目	1170	45	362	413	63	25	908

表3 得耳布尔铅锌矿水系沉积物银物相分析结果

 $\omega_B/10^{-6}$

点号	采样部位	样品类别	粒度	Ag 全量	硫化物相	银盐物相	结合相	有机络合物相	粘土吸附	FeMn 吸附	相合
47493	近矿	水系沉积物	-4 ~ +20 目	1	0.63	0.08	0.12	0.39	0.02	0.02	1.26
48492	下游	水系沉积物	-4 ~ +20 目	0.63	0.48	0.05	0.11	0.06	0.02	0.02	0.74

表4 得耳布尔铅锌矿腐泥样品铅物相分析结果

 $\omega_B/10^{-6}$

点号	水提取相	粘土相	有机相	铁锰氧化物相	碳酸盐相	硫化物相	硅酸盐相	相合
46491	0.15	36.5	21.1	20	3.8	73.3	1.62	156.47
47493	0.3	49	22.2	26.9	2.9	69.4	2.16	172.86
47492	0.3	58.7	14.3	38.8	4.3	115	2.16	233.56
47491	0.38	38.2	17.7	19.4	4.3	56.9	2.7	139.58
48492	0.23	24.5	12	49.4	3.9	46.8	1.89	138.72
48491	0.15	25.7	8	16.3	3.8	46	1.08	101.03
45491	0.23	125	25.7	15.6	7.4	92.8	2.7	269.43
48462	0.2	27.4	3.4	61.9	6.5	61.6	5.13	166.13

表5 得耳布尔铅锌矿腐泥样品铀物相分析结果

 $\omega_B/10^{-6}$

点号	水提取相	粘土相	有机相	铁锰氧化物相	碳酸盐相	硫化物相	硅酸盐相	相合
46491	1.55	114	126.4	30.6	12.5	157	25.1	467.15
47493	4	125	124.5	29.8	11.8	157	50	502.1
47492	2.15	149	51.3	34.9	18.84	202	57.7	515.89
47491	4.45	140	115.3	31.1	12.8	163	43.2	509.85
48492	3.85	76	56.3	26.9	8.56	148	44.5	364.11
48491	1.85	59.5	57.5	15.4	17.12	131	48.8	331.17
45491	2.45	171	133.3	39.5	20.4	194	73.2	633.85
48462	1.5	112	53.8	34.9	19.2	140	53.4	414.8

表6 得耳布尔铅锌矿腐泥样品银物相分析结果

 $\omega_B/10^{-6}$

点号	水提取相	粘土相	有机相	铁锰氧化物相	碳酸盐相	硫化物相	硅酸盐相	相合
46491	3.8	60	1780	23.8	96	720	60	2743.6
47493	4.3	101	1918	264	52	823	74.5	3236.8
47492	3.7	61.1	711	32.3	43	728	126	1705.1
47491	4.2	21.7	1266	20.6	89	544	73.2	2018.7
48492	4.3	13	777	15.5	87	671	52.6	1620.4
48491	4.6	9	778	239	73	255	60.9	1419.5
45491	11	38.5	951	623	123	812	163	2721.5
48462	4.9	15.8	464	15.8	87	478	192	1257.5

这一组数据说明森林沼泽区的富有机质介质由于大量地表水、生物、微生物、有机质和各种气体的参与,

金属元素常以活动态形式和各种易溶形式存在于介质中,并占有较大比例,但矿体及近矿围岩附近的富有机质水系沉积物、沟谷沉积物和土壤中,主要成矿元素继承原生状态下的相对稳定形式仍一定比例,其有效相态 $\geq 30\%$ 是判断矿与非矿异常的一个重要标志。

3.2 多宝山铜矿案例

多宝山铜矿是我国东北地区一个著名的大型斑岩型铜矿床。该矿区地形地貌以低山丘陵为主,土壤是该地区开展地球化学测量的主要采样介质。采集近矿土壤和沼泽土进行元素痕量相态分析和元素活动态分析。结果表明:残坡积土壤铜元素的表生存在形式以有机络合物相和粘土吸附相为主,其相态占有率分别为 17.29% ~ 33.62% 和 10.35% ~ 26.10% (表 7),其成矿元素 Cu 的有效相态(硫化物相)仍占有较大比例,占有率为 26.9% ~ 46.78%,平均 37.14%。

多宝山铜矿矿化地段沼泽土 Ag 元素的次生存在形式以有机络合物相为主,其相态占有率为 24.83% ~ 46.50%;硫化物相占有率为 37.69% ~ 48.97% (表 8),平均 41.44% ($\geq 30\%$)。

3.3 金在介质中的存在形式

金元素因其特殊的地球化学性质,在森林沼泽景观区的各类介质中的存在形式同其他元素有一定差异。据一些地区的试验研究结果,Au 在水系碎屑沉积物中以复合相金(含裸露-半裸露自然金、碳酸盐包裹金、硫化物包裹金、褐铁矿包裹金)和硅酸盐包裹金为主,其中复合相金(Au 元素的有效相态)占有比例为 62.28% ~ 91.05%,硅酸盐包裹金

占有比例为 8.42% ~ 35.96% (表 9)。通过这一组数据也可以证实介质中成矿元素有效相态含量 $\geq 30\%$ ~ 50% 为矿异常的这一论断。

4 示范性测量与异常评价效果

2001 年以来北京矿产地质研究院在大兴安岭中北段开展森林沼泽景观中大比例尺化探方法与异常查证评价技术研究,开展了 13 个测区 1:5 万地球化学测量、大比例尺地球化学测量和后续地质找矿工作,发现具有大中型规模找矿远景的金、钼、镍钴矿产地 3 处(大梁金矿、太平川钼矿、嘎仙镍钴)、找矿靶区-靶位 5 处(吉峰铅锌矿靶区、西陵梯钼矿靶区、八岔沟铅锌矿靶区、碰头岭金矿靶区、东山金矿靶区)和一批有重要找矿价值的地球化学异常。在上述找矿方法试验研究与示范性测量中,元素赋存形式研究及其提出的判断矿与非矿异常标志起了重要作用。

5 结论

1) 森林沼泽区表生介质中存在着碎屑介质和富有机质介质两种介质系列,分别代表着介质物源原生状态和表生状态下的地质特征和地球化学特征,两种采样介质所蕴含的地球化学异常对地质找矿的指示作用具有一定差异。

2) 介质中元素存在形式对于研究元素的地球化学行为、元素迁移富集规律和评价地球化学异常具有重要意义。岩石碎屑、水系碎屑沉积物等碎屑介质系列继承原生状态下的相对稳定矿物相形式占

表 7 多宝山铜矿土壤、沼泽土铜物相分析结果

点号	样品类别	加工粒度	$\omega_B/10^{-6}$							相合
			水提取相	粘土相	有机相	铁锰氧化物相	碳酸盐相	硫化物相	硅酸盐相	
TC0-0m	黑褐色土壤	-60	1	363	349	53	15.6	375	131	1287.6
TC0-41m		-60	1.93	92.2	194	10.5	7.79	234	40.5	580.92
TC0-60m		-60	1.76	184	237	19.7	5.14	232	25.1	704.7
TC0-80m		-60	1.82	131	102	15.2	15.3	276	48.6	589.92
TC0-100m		-60	1.32	199	302	22.7	6.85	212	44.6	788.47
TC0-120m		-60	4.24	289	280	28.8	7.1	316	65.6	990.74
TC0-140m		-60	1.6	155	228	34.8	7.02	219	168	813.42
TC0-160m		-60	3.25	80.3	125	4.2	2.57	158	28.4	401.72
TC0-180m		-60	5.23	167	164	9.6	9.67	274	38.9	668.4
TC0-200m		-60	1.98	68.4	134	19.7	4.97	168	15.4	412.45
TC0-240M		-60	1.76	384	289	60.6	13.7	278	43.7	1070.76
TC0-260m		-60	2.53	44.6	160	8.5	5.48	170	40.5	431.61
剖面 3/1		沼泽土	-60	3.25	27.4	112	1.7	1.2	110	26
剖面 2/1	-60		0.88	28.8	89.1	2	1.2	88.5	24.3	234.78
剖面 1/1	-60		2.48	20.8	250	62.1	15.3	493	163	1006.68
98722	-60		1	20.2	89.2	2.8	1.88	92	18.6	225.68
99731	-60	1.71	5.7	23.5	1.3	0.86	10.4	4.74	48.21	
98711	-60	1.1	10.3	105	1.4	1.97	92	14.6	226.37	

表 8 多宝山铜矿土壤、沼泽土银物相分析结果

 $\omega_B/10^{-9}$

点号	样品类别	加工粒度	水提取相	粘土相	有机相	铁锰氧化物相	碳酸盐相	硫化物相	硅酸盐相	相合
TCO-0M	黑褐色土壤	-60	5.3	17.8	604	271	112	106	148	1264.1
TCO-41m		-60	5.2	30	351	12.3	61	126	77.4	662.9
TCO-60m		-60	5.3	19.6	353	96.9	126	303	70.7	974.5
TCO-80m		-60	4.2	15.3	469	12.5	100	229	99.6	929.6
TCO-100m		-60	4.3	15.8	700	102	57	96.5	64.4	1040
TCO-120M		-60	3.7	42.9	702	12	98	480	78.7	1417.3
TCO-140m		-60	6.2	19.1	509	30.8	216	251	75.1	1107.2
TCO-160m		-60	5.8	27.5	417	87.4	135	121	54.2	847.9
TCO-180m		-60	3.9	29.3	403	25.5	117	111	71.8	761.5
TCO-200m		-60	3.7	12.4	436	52.4	59	17	64.4	644.9
TCO-240M		-60	5.6	12.2	667	31.3	86	203	64.3	1069.4
TCO-260m		-60	5.5	28.4	279	20.4	68	141	63.8	606.1
剖面 3/1	沼泽土	-60	8.7	37.2	349	17.5	39	20.3	49.3	521
剖面 2/1		-60	9.1	24.6	334	134	119	161	62.1	843.8
剖面 1/1		-60	5.2	24.5	289	22.9	89	216	139	785.6
98722		-60	5.4	14.7	178	155	47	47	48.7	495.8
99731		-60	4.2	14	146	18.4	49	166	31.3	428.9
98711		-60	4.8	19.7	164	168	42	64.5	44.1	507.1

表 9 水系沉积物、土壤金元素物相分析结果

 $\omega_B/10^{-9}$

测区	点号	样品类别	粒度	Au 全量	复合相 Au	自然 Au	硅酸盐包裹 Au	有机络合物 Au	粘土吸附 Au	相合
得尔布尔	48492	水系沉积物	-4 ~ +20 目	114	71		41	1.7	0.7	114.4
	45501	水系沉积物	-40 目	1900	1730		160	9.2	4.6	1903.8
牛尔河脑	40353	沟谷土壤	-60 目	382		345	5.8	14	17	381.8
莫尔道嘎	48863	水系沉积物	-20 ~ +60 目	57		44	11	1.3	1	57.3
	P118	A 层土壤	-40 目	54	40		13	0.9	0.5	54.4
	P116	C 层土壤	-40 目	66	59		4.8	1.2	0.7	65.7

有较大比例,成矿元素有效相态形式 $\geq 30\% \sim 50\%$ 是矿异常标志;硅酸盐结合相占有比例高是非矿异常标志。富有机质介质系列元素存在形式除了部分继承原生状态下的相对稳定形式外,表生环境下形成的活动态形式占有较大比例,成矿元素有效相态形式合量 $\geq 30\%$ 可能是矿异常。

[参考文献]

[1] 汪明启,刘应汉,任天祥,等. 中国东北大兴安岭森林沼泽区永冻条件下多金属矿床周围元素表生分散规律和区域地球化学勘查方法研究[A]. 第30届国际地质大会论文集[C]. 北京:地质出版社,1998.

- [2] 龚美菱. 相态分析与地质找矿[M]. 北京:地质出版社,1994.
- [3] 金 俊,龚美菱. 覆盖区隐伏矿床快速勘查评价的化探方法技术研究[A]. “九五”全国地质科技重要成果论文集[C]. 北京:地质出版社,2000.
- [4] 王学求,卢荫麻,程志中,等. 金属活动态测量的理论与方法. 走向21世纪矿产勘查全球化[M]. 北京:地质出版社,1999.
- [5] 金 俊,龚美菱. 元素有效相态提取与活动态组分探测技术应用研究[J]. 有色金属矿产与勘查,1999,8(5):289-294.
- [6] 金 俊,丁汝福,陈伟民. 森林沼泽区矿产资源地球化学勘查[J]. 物探与化探,2003(6):431-434.
- [7] 金 俊,陈伟民,丁汝福. 森林沼泽区景观地球化学特征与勘查方法[J]. 地质与勘探,2006,1,51-58.

ELEMENT OCCURRENCE IN THE SECONDARY MEDIUMS FROM FOREST - SWAMP LANDSCAPE

JIN Jun, DING Ru - fu, CHEN Wei - min

(Beijing Institute of Geology for Mineral Resources, Beijing 100012)

Abstract: Element occurrence was studied in different secondary mediums, using trace - element state analysis and element mobile form extracting methods in the forest - swamp landscape. There were two kinds of element occurrence mode in the secondary mediums. One was in stable form in primary minerals, another was in mobile form. A considerable difference of element occurrence was in different type mediums. It was an important indicator that a quite portions of ore - forming elements in effective state forms in the secondary mediums.

Key words: forest - swamp landscape mode, element occurrence, geochemical anomaly evaluation