

## 影响加拿大东育空地方微迹元素分布的因素

### 前言

在东育空地方水系沉积物中微迹元素的分布有几种多元素的共生组合。这些暂时归因于基岩地球化学和次生环境对水系沉积物金属含量的影响。主要成果表明：(1) 在主要由古生代页岩导生的沉积物中，Mo和V的含量级次增高，而Cu、Cr和Ni的含量增高的程度不大。(2) 酸性水系(pH值小于4.5)沉积物中Mn、Ni、Co和Zn的含

量比从同类岩石地区流出的中性或弱碱性水系沉积物中的含量要低。

1970年夏，详细地进行了采样，采集了普查地区东部(图1)的基岩、水系沉积物和地表水。本文提出这些介质的微迹元素分析结果，并对影响水系沉积物金属含量的因素提出了比较详细的解释，讨论了关于地球化学勘探方面的成果。

### 研究地区的描述

详细研究工作是在麦克米伦山口西南、距卡诺公路几哩的沿南麦克米伦河的几处支流河谷进行的(图1)。

**地质情况(图1)** 详细的地质和地层情况还不清楚，但本文主要是研究这里大部分地区由古生代沉积岩导生的或与其有关的物质。古生代地层主要为页岩和粉砂岩，次要的有灰岩和燧石-卵石砾岩。

广泛的冰碛物分布在南麦克米伦河河谷底部与比较低的坡上(海拔4500呎以下)。在较高的标高处，露头和山麓堆积是景观的重要特点。

**矿化** 汤姆矿山位于麦克米伦山口西南8哩、南麦克米伦河流域小支流河谷中，西离卡诺公路约2哩。该矿化带含Zn5%，伴生少许Pb，产于细夹层泥板岩与燧石泥板岩里面的两条富含重晶石的碳酸盐带中。所含矿物是闪锌矿和方铅矿。

**地形和水系** 该研究地区是赫斯山脉的一部分，有许多崎岖不平的山峰，高度约6000到7000呎。汤姆矿山的南部，南麦克米伦河流过广阔的流域(海拔稍低于4000呎)，是复盖有矮白桦树和柳树的平地。

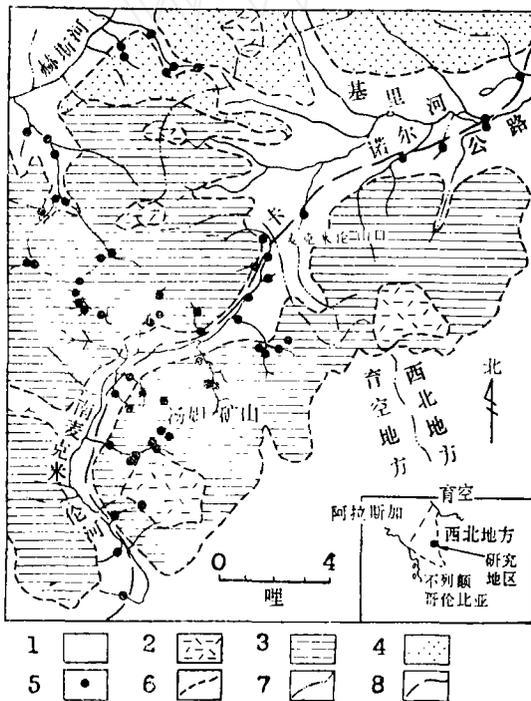


图1 研究地区的地质图与河流沉积物样品的采集位置图

1—第四系(未固结的冰积物与冲积物); 2—白垩系(花岗岩闪长岩); 3—奥陶系—密西西比世(页岩、粉砂岩、燧石—卵石砾岩、灰岩); 4—元古界(千枚岩、片岩); 5—样品采集位置; 6—地质界线; 7—河流; 8—公路

南麦克米伦河支流流到主流域的下流, 经过2到4哩, 海拔下降2000到3000呎。水系河床发育良好, 并在容易侵蚀的页岩中, 常常造成很深的切割。在500呎以上, 山麓堆积的涧谷对于将岩石碎屑搬运到河床, 起了很大的作用。在标高较低处, 地形比较平缓, 地面受到植被和薄层土壤盖层的保护。因此, 物质被机械搬运到河流中去的作用比上游要小, 河流沉积物的成分几乎完全是本地基岩的碎屑。

在采样过程中发现许多沉积物的pH值很低, 比现有试纸(英标准通用试纸)所能确定的值要低(=4.0)。用pH计作斑点检验得出的pH值低到2.8。次生氧化铁和氧化铁—胶结的角砾岩的重沉淀物是与酸性沉积物共生的。与酸性沉积物明显不同, 从有薄层钙质页岩和灰岩出露的汇水区流出的沉积物中, 观察到中性或弱碱性的pH值。

**气候和土壤** 该区属于典型的大陆性气候, 年温差 $-60^{\circ}\text{F}$ 到 $70^{\circ}\text{F}$ 。关于雨量还没有可靠的长期统计资料, 可是, 在汤姆矿山, 在1970年8月至1971年6月之间, 总降雨量超过23吋。夏季雨量最多。

绝大部分地区都是非固结岩屑土, 可是, 在排水较好的冰川地区有棕色土(brunisol)发育, 而潜育土和有机质土壤是沿主流域低伏地的特征。本区在间断的永久冻

土地带内, 常遇到深12到18吋的冻土层, 它经常出现在针叶林和矮小的白桦树平地里。

## 取 样 和 分 析

在南麦克米伦河各支流采集水系沉积物、含水三氧化二铁和水的样品(图1), 水样用盐酸酸化后装在耐酸的聚乙烯瓶中。沿着绵延最长的、而可以到达的露头上, 以10尺间距采取碎片作为基岩样品。沿着从汤姆矿山流出的沉积物和从附近无矿地区采集土壤样品。

把岩石样品破碎到100网目以下, 土壤和沉积物经过80网目筛选之后, 将这些粉末在 $550^{\circ}\text{C}$ 温度下, 灼烧三小时, 然后用发射光谱半定量测定Co、Cu、Pb、Mn、Mo、Ni和V。还用原子吸收法来测定Cu、Pb、Zn。测定前, 样品先须用4:1的硝酸—高氯酸混酸浸提。三氧化二铁是先在盐酸中溶解, 再用原子吸收法分析。水样经蒸发浓缩10倍后, 用原子吸收法测定除Mo以外的微迹元素, Mo作为它的硫氰酸盐络合物用比色法进行分析。

## 成果和讨论

### 基岩、水系沉积物、地表水的金属含量之间的关系

在古生代地层中, 各岩性之间微迹元素含量级变化很大(图2)。因此, 与其它岩石相比, 燧石砾岩的特征是微迹元素含量低。相反, 在钙质页岩中发现, Mo、V、Ni、Mn、Zn的浓度最大。虽然非钙质页岩的Mo、V含量也高, 而它们的特征是Mn、Ni、Zn的浓度最低。另外, 虽然Mo、V在这种页岩中的含量与别的作者所报导的其它黑色页岩中含量相似, 但这里的页岩中Co、Mn、Ni和Zn含量是低的。

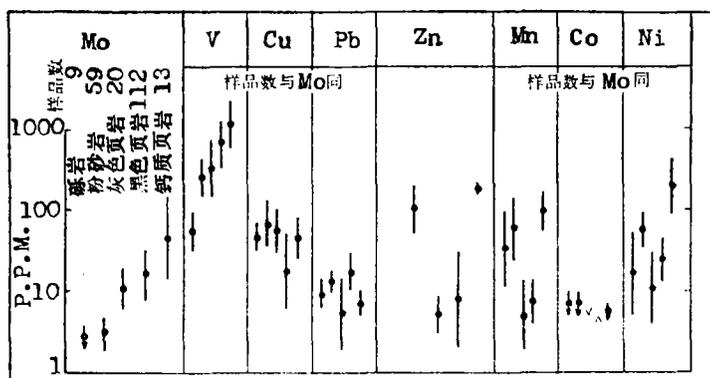


图2 古生代基岩的微迹元素含量  
(变化范围=几何平均值 $\pm$ 1倍的标准离差)  
V—等于或小于灵敏度;  $\Delta$ —全部值均小于灵敏度

对水系沉积物和根据河水 pH 值分类的水样中的微迹元素含量进行了比较 (图 1 和表 1)。显然, Co、Mn、Ni、Zn 含量在沉积物中最高, 而在中性或弱碱性 (pH>7) 水系的水样中的含量比酸性水系水样中的含量低, 可是, 所溶解的 Mo 的浓度在碱性条件下最大。在酸性和碱性水系中, 沉积物中

地表水中金属含量范围与平均值 表 1

| 元素   | 金属含量 (ppb)       |                 |
|------|------------------|-----------------|
|      | 酸性               | 中性              |
| Co   | 5<br><1~16       | 2<br><1~6       |
| Cu   | 17<br>1~98       | 4<br><1~21      |
| Mn   | 37<br>2~128      | 12<br>2~94      |
| Ni   | 35<br>4~137      | 11<br>3~36      |
| Zn   | 130<br>8~1670    | 55<br>13~1670   |
| Fe   | 750<br>79~12.430 | 555<br>124~2859 |
| Mo   | <1~1<br><1       | 4<br>2~10       |
| 样品个数 | 14               | 9               |

\*M=几何平均值  
R=变化范围

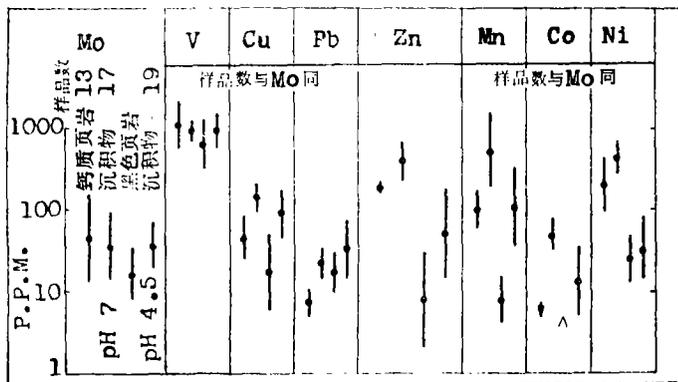


图 3 与河流沉积物共生的钙质页岩和黑色页岩中金属含量的对比  
(变化范围=几何平均值±1倍标准离差)  
V—等于和小于灵敏度; Δ—全部值均小于灵敏度

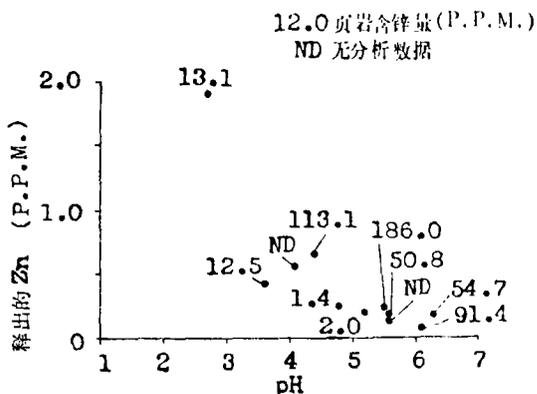


图 4 风化页岩释出的 Zn 含量与 pH 值之间的关系

的 Co、Mn、Zn 都比共生的基岩中的富集 (图 3)。Cu、Pb 受 pH 值条件的影响似乎较小。

研究成果表明, 正如所预料的那样, 在次生环境中, 作为阳离子活动的元素 (Co<sup>++</sup>、Mn<sup>++</sup>、Ni<sup>++</sup> 和 Zn<sup>++</sup>), 在酸性条件下活动性最大, 相反, Mo 呈钼酸盐 (MoO<sub>4</sub>) 在 pH 值越大时, 溶解量越大。在与基岩有关的沉积物中, Co、Mn、Ni、Zn 富集, 意味着元素从风化页岩中的原地淋滤可能是有意义的。为了估计这种可能性, 曾进行了一系列简单的淋滤实验。

在这些实验中, 将 5 克破碎的页岩样品, 每天用蒸馏水浸湿再烘干, 一个月后测定洗泥的 pH 值和释出的微迹元素含量。结果表明, 释出的 Zn 随 pH 值的减小而增大 (图 4), 导致最小 pH 值 (2.7) 的黑色页岩, 释出 2.1ppm 的 Cu、1.7ppm 的 Mn、1.9ppm 的 Zn、0.2ppm 的 Co、2.2ppm 的 Ni 和 165ppm 的 Fe。相反, 给出 pH 值 6.3 的钙质页岩释出的元素, 只有 Zn (0.2ppm) 和 Fe (2.5ppm) 的浓度是可以测定的。因此, 实验资料与在风化页岩所产生的强酸性条件下

阳离子的原地淋滤结果是一致的。梅西(1972)在煤矿的页岩上也得到相似的结果。

河水和实验室中的水最低的pH值远比一般常遇见的地表水pH的范围低。另外,在地表条件下, pH范围较低通常是与排水不畅及有机物的分解有关系,而不是与山区急流有关系。但是,同样低的pH值还与矿区排出的水有关。在矿区排出的水中,由于硫氧化、二价铁水解成三价铁氢氧化物而沉淀,黄铁矿氧化产生酸性。在麦克米伦山口附近,低pH值与三价铁的氢氧化物沉淀的共生关系,说明由于页岩迅速风化的结果发生同样的反应。

在别处,由基岩和复盖层淋滤的Co、Mn、Ni及Zn与酸性环境有关。在这些条件下,在排水区沉积物中,淋滤出来的微迹元素的富集,是由于它们为次生Fe、Mn氧化物置换(Scavenging)所引起。这些Fe、Mn氢氧化物沉淀在河床里,当地下水出露地表反应出pH和Eh值升高。

尽管在麦克米伦山口周围酸性河流中含水三氧化二铁广泛沉淀,在沉淀物附近没有出现任何值得重视的Co、Ni和Zn的堆积(表2),这可能表明没有次生氧化锰的沉淀。但这与戴克、斯顿姆和摩根等人的实验也是一致的,这些实验证明三氧化二铁对阳离子的清除作用随着酸度的增大而减少,说明随着pH值减小,三氧化二铁胶状物上的负电荷减少。由于相对于基岩而言,沉积物Co、Mn、Zn含量值升高与清除作用并无关系,这可能反映出拿酸度来比,河流沉积物pH值的增高与风化页岩有密切关系。

简要地说,Co、Mn、Ni、Zn的次生分散,无疑地受到与黑色页岩和钙质页岩的风化密切相关的两种对立的pH条件的强烈影响。在酸性条件下,这些元素从基岩中淋滤出来,而且河水中溶解的浓度比较高。在比较碱性的条件下,阳离子原地淋滤和在水中迁移的作用小。结果表明,尽管北纬地区和有永久冻土的地方,化学风化作用在微迹元素的分散方面,能起重要作用。

河流沉积物与共生的强酸性河流中沉淀的次生氧化物中金属含量的范围和平均值 表2

| 元素   | 金属含量 (ppm) |          |
|------|------------|----------|
|      | 沉积物 *      | 铁氧化物     |
| M*   | 3.5        | 5        |
| Co R | 1.2~10.1   | 2.9~7.2  |
| M    | 23         | 42       |
| Cu R | 1.35~63    | 8.3~245  |
| M    | 30         | 13       |
| Mn R | 10.1~124   | 4.6~80   |
| M    | 13         | 5        |
| Ni R | 5.3~28     | 1.6~16.1 |
| M    | 32         | 20       |
| Pb R | 11.8~416   | 8.2~588  |
| M    | 46         | 55       |
| Zn R | 25~85      | 18.7~135 |
| 样品个数 | 10         | 10       |

\* 小于80网目的粒级

M\*=几何平均值

R=变化范围

**找矿方面的应用** 在汤姆矿山采矿区的上游,并离开可能有污染源的地方,采集了河流沉积物和河畔土壤。考虑到河流pH值和沉积物金属含量之间的相互影响, Cu、Pb、Zn的成果按河水的pH值进行了分类(表3)。

无矿地区河流沉积物的数据明显地反映出,Pb和Zn不受次生环境影响的反应不同。因此,尽管遇到的pH值变化范围很宽,Pb的背景值和异常下限水平(几何平均值+2倍的标准离差)仍然几乎不变。与此相反,Zn(在不大的程度上还有Cu),其背景值和异常下限水平,随pH值的增大而增大,Zn的异常下限在中性或弱碱性条件下,比在强酸性河流中约大4倍。

流经汤姆矿山的河流是强酸性的(pH小于4.0),资料只能与背景区酸度相似的沉积物相比较(表3和表4)。构成河流一岸的陡坡底部,含大量的方铅矿,经过小于80网目筛选的部分,其中含Pb达3200ppm。相反,共生的河流沉积物中粗细相同的部

无矿地区土壤和沉积物中的金属含量

表 3

| 元 素                | 金 属 含 量 (ppm) **   |                       |                      |                  |
|--------------------|--------------------|-----------------------|----------------------|------------------|
|                    | 沉 积 物              |                       | 土 壤                  |                  |
|                    | 酸 性                | 碱 性                   | 酸 性                  | 碱 性              |
| M*<br>Cu<br>R<br>T | 32<br>4~63<br>70   | 74<br>40~111<br>120   | 44<br>15~100<br>100  | 没<br>有<br>资<br>料 |
| M<br>Pb<br>R<br>T  | 27<br>12~50<br>50  | 31<br>9~80<br>65      | 43<br>12~110<br>95   |                  |
| M<br>Zn<br>R<br>T  | 65<br>3~203<br>170 | 365<br>191~765<br>745 | 143<br>24~712<br>500 |                  |
| 样 品 数              | 17                 | 15                    | 17                   |                  |

\* M\*=平均值  
R=变化范围

T=异常上限=几何平均值十 2 倍的标准偏差  
\*\*：小于 80 网目粒级

分, Pb含量是 54ppm (此数值仅略高于所计算的异常下限 50ppm)。Pb量受河流 pH 值的影响不显著, 所以河畔土壤和沉积物中 Pb 含量之间有显著的差别, 这可能说明, 含量富的河畔物质进入河流后, 很快地被冲淡。

对 Zn 来讲, 沉积物中的含量 (范围 5~20ppm) 大大低于它在河畔土壤中的含量 (15~123ppm) 和所计算的沉积物的异常下限 (170ppm)。而且, 矿区河畔土壤的 Zn 含量是在背景土壤的常见含量范围内。汤姆矿山的沉积物和土壤中都没有异常, 可以

解释为 Zn 被酸性地下水和河流所运移和淋滤。

遗憾的是, 由于探矿区的位置, 妨碍对下游金属分散的研究, 所以, 不可能估计 Pb 异常分散流的长度。但是, 因为衬度不大, 这未必是十分固定不变的, 所以用所描述的方法, 在育空地方, 作为 Pb-Zn 矿化的找矿标志, Pb 似乎比 Zn 更可靠。用分析比 80 网目更小些的样品或用其它化学溶解方法, 能否改善衬度, 还需要作另外的工作来确定。如果不考虑河流的 pH 值, 就不能解释 Zn 的资料。

育空地区汤姆矿山的河畔土壤和水系沉积物中 Cu、Pb、Zn 含量 表 4

| 元 素           | 金 属 含 量 (ppm) ** |             |
|---------------|------------------|-------------|
|               | 河 畔 土 壤          | 沉 积 物       |
| M*<br>Cu<br>R | 25<br>11~36      | 13<br>11~17 |
| M<br>Pb<br>R  | 1355<br>125~3200 | 54<br>39~76 |
| M<br>Zn<br>R  | 86<br>15~123     | 8<br>5~20   |

\*\*：小于 80 网月粒级

M\*=平均值 R=变化范围

### 结 论

在麦克米伦山口附近, 由页岩风化所产生的酸性环境、对于 Co、Mn、Ni、Zn 的运移是很重要的。Zn 的异常下限在酸性条件下比在碱性条件下要低得多, 而在解释河流沉积物资料时, 必须考虑到 pH 值。虽然 pH 值对 Pb 分散的影响并不重要, 由于机械地被冲淡, 造成了低衬度的沉积物异常。

译自: 《The Canadian Mining and Metallurgical Bulletin》, 1974, No741  
作者: K. 弗莱彻等 (袁怀雨译, 欧阳宗折校)