

钼 的 地 表 递 减 和 淋 滤

在不列颠哥伦比亚西部和中部三个较大的钼矿山(爱丽斯湾、恩达可和贝尔格)进行了岩石地球化学研究。目的是观察不同气候条件下钼的表生氧化和递减的程度。

爱丽斯湾钼矿位于温哥华西北490英里,爱丽斯海湾以南约6英里处,海拔2000英尺,年沉积量超过100英寸。矿床产于一个直径约0.5英里的花岗岩类杂岩岩株中。该岩株由石英二长斑岩中心带组成,逐渐过渡到石英闪长岩边缘带。岩株的周围可能是侏罗系杂砂岩和泥质板岩。近岩株的杂砂岩和泥质板岩变质为黑云母角页岩。矿体分布在岩株的周围或靠近黑云母角页岩处。矿化由辉钼矿、黄铁矿、方铅矿、闪锌矿、微量白钨矿和稀少的黝铜矿、黄铜矿、磁黄铁矿、钼钨钙矿、斜方辉铅铋矿及类似的矿物组成,均产于1/8—1/2英尺宽的石英脉中。辉钼矿还呈薄膜或0.5英寸细脉沿剪切面和裂隙产出,偶而以角砾充填。浸染状辉钼矿极少。

贝尔格矿山位于塔沙山区塔沙湖北部6英里、爱丽斯湾东南135英里处。地处海拔5500英尺,年沉积量约35英寸。辉钼矿矿化与两个较小的石英闪长岩、石英二长斑岩深成岩体及石英二长斑岩的火山角砾岩筒伴生。这些火成岩均侵入于凝灰岩和中侏罗统火山砂页岩,并在几百英尺方圆内变为角页岩。原生矿物有黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、少量闪锌矿和方铅矿,均产于石英充填的网状脉中。已发现有宽达2英尺的

几个含钼石英脉。原生矿物已氧化和淋滤,淋滤的深度与地形以及现在和过去的水面有关。次生的辉钼矿薄膜局部发育。淋滤岩石从地表向下深达200英尺或更多,次生矿化深达400英尺以上。钼已氧化成为铁钼华,分布较铜淋滤浅。

恩达可矿山位于普林斯乔治以西115英里、贝尔格矿山以东96英里。海拔高度为3000英尺,年沉积量15英寸。矿化的围岩是恩达可石英二长岩,为下侏罗统或更晚的多伯利侵入相。矿带平行于石英脉呈细脉或网状脉,个别较大脉长达几百英尺、宽为几英寸至5英尺。辉钼矿受到脉和裂隙的控制。由于矿化带被冰川碎屑大面积覆盖,辉钼矿的氧化范围仅在地表以下几英尺。

采样和分析的程序

爱丽斯湾: 在2190台梯(东矿井)两个位置采取了岩石样品。在深度和氧化程度不同的10英尺长刻槽上采取六个样品(见图1)。

恩达可: 东矿井南端3260中段采了两个样品,在矿井的东北端3300中段取一个样品。刻槽样品(图2)与爱丽斯湾相似。

贝尔格: 两个刻槽样品采用与前两者相同的方式在沿路切割面上采取(图3);但是在该矿山刻槽样品中得不到原生矿石。为此在地表样品位置以北30英尺补充采取一个钻孔样品,每10英尺岩心取一个样,

和50×50米迴线进行了过渡过程电动势的测量(图2B)。硫化矿在二次场形成的各个阶段都有异常(图2Γ)。矿体中心上方异常的强度因形成时间的不同而变化,1毫秒时为4700微伏/安,2毫秒时为800微伏/安(所用迴线为200×200米)。曲线有一极大值,呈不对称状。

迴线的大小减小到50×50米,在 $t_x=1$ 毫秒时过渡场的强度则减小到70微伏/安,这显然是埋在58米深处的硫化矿顶部的影响所致。

根据过渡场电动势剖面曲线的特征以及过渡过程的不同特性可以断言,矿体呈板状,产状倾斜。根据过渡场所得资料,其倾角为60°,厚度为260米,顶部埋深为76米;但根据钻探结果,其倾角、厚度和顶部埋深则分别为72°,200米和58米。

与矿体的导电率及线性尺寸的平方成反比的参数 α 等于30秒⁻¹,因之可求出电阻率等于1欧姆米。

根据在外贝加尔西部地区的矿床上应用过渡场所取得的研究结果,可以断定,这个地区的黄铁矿—多金属矿床和硫化矿床可以根据随时间呈缓慢变化的过渡场的强度来圈定。过渡场法的勘探深度可以达到100—200米(用200×200米的迴线,测网为200×400米,延迟时间小于1毫秒)。考虑到过渡场法在探寻大型矿床时的高度有效性,在外贝加尔西部地区物探找矿的中等比例尺阶段,与重、磁、化探等方法综合使用最为适宜。

贝庚译自《Разведка и охрана недр》,
1972, № 8, 52—55

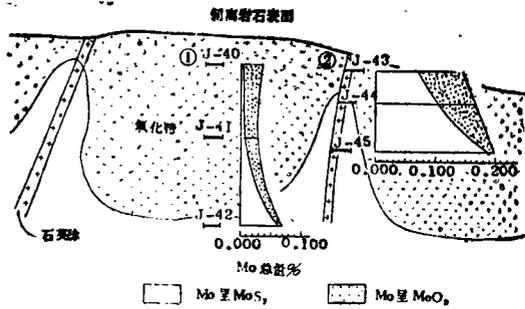


图1. 爱丽斯湾刻槽样品位置素描图

在140英尺深处得到原生矿。

所有样品均在温哥华北部的肯可实验室加工，由原子吸收法分析了氧化钼、铜、锰。还进行了银总量和淋滤银的分析(用5%柠檬酸溶液与氨水配成1:1)。比色测定二价铁和三价铁。重液法测定硫化物总量。

结果和讨论

爱丽斯湾钼的化验结果绘于图1。明显地显示了钼、特别是 MoS_2 的地表递减。钼总量从0.070%减至0.030%，递减约50%。

精选的几个褐铁矿用D.T.A.装置化验黄钾铁矾和针铁矿。将样品和褐铁矿送交莱杰蒙特实验室和克内柯特勘探服务部作X射线和电子绕射鉴定钼的氧化物。经D.T.A.装置检测无黄钾铁矾，仅有微量的针铁矿。将一个褐铁矿样送交诺尔顿勘探服务部用X射线绕射化验。经分析既无黄钾铁矾又无针铁矿，由X射线绕射鉴定怀疑黄钾铁矾应是白铅矿。

爱丽斯湾处于潮湿气候条件下其淋滤与铜不同，

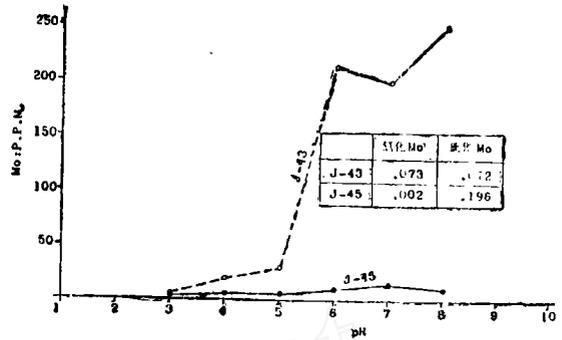


图2. 恩达可矿山刻槽取样分布素描图

钼含量与黄钾铁矾—针铁矿含量之间显示不出任何关系。

莱杰蒙特实验室的X射线和电子绕射分析表明大部分钼的氧化物是非晶质，可能存在着含钼的氢氧化铁。电子绕射在一个样品中鉴定出通称为贝尔格—X的尖晶石相，呈皮膜状。X射线绕射法鉴定的黄色粉末状薄膜主要是带某些闪锌矿的白铅矿和微量 α -石英。由电子绕射鉴定可能是新矿物 $\zeta FeO(OH)$ 。

水样分析

从爱丽斯湾矿井与岩样相同的地区采取5个水样，并分析了pH、Eh和钼的含量。部分水样和沉积物委托不列颠哥伦比亚研究学会作细菌分析。

地表水样pH值约为6.5，实验室中测定Eh值为0.42至0.47伏。说明所有被淋滤的钼未必全是在真溶液中。注意水样中的胶状悬浮体，在水中钼总量竟达12000ppb。恩达可的Eh-pH条件没有研究(只采得一个水样)，但是在贝尔格，1967年曾几次化验了

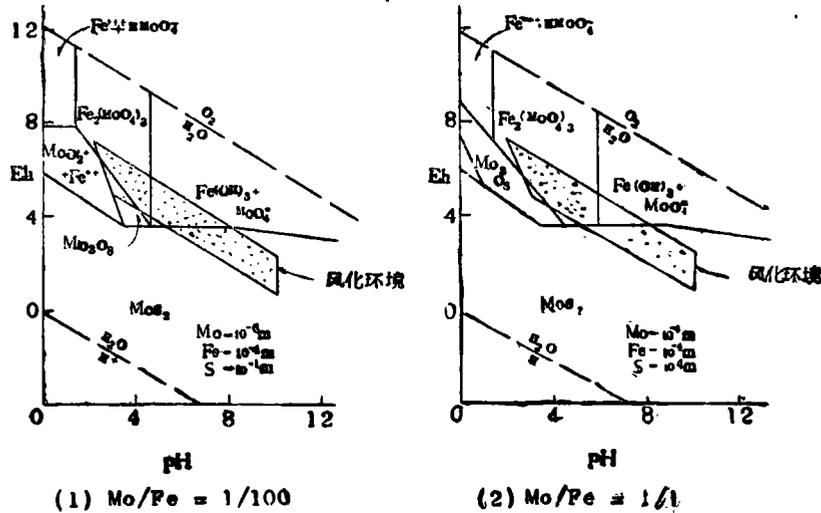


图3. 贝尔格沿路切割勘探槽样品素描图

11个部位的水样，在矿带周围平均值为： $pH=3.1-5.9$ ， $Eh=0.40-0.90$ 伏。

Eh 和 pH 的变化有可能指示钼的氧化和溶解的程度，应是评价钼矿床的有用指标。

不列颠哥伦比亚研究学会矿物生物部对水样作了细菌化验，表明五个样品中有四个样品含有某些细菌。最近对岩样的化验与其符合。

在有机的钼环境中硫细菌很稀少。细菌可以影响辉钼矿的氧化。根据以前在贝尔格的探矿工作和在实验室的试验，连同现在的资料指出辉钼矿是由细菌活动而被氧化。辉钼矿可能不是细菌的直接食料，而细菌的新陈代谢产物大概促进了辉钼矿的氧化。一旦采用了足量的铁，钼的相当部分不是受到含铁氧化钼的结合，就是受到含钼氢氧化铁的结合。其中硫作为硫细菌的食物而放出。

钼的地表迁移可以参考它的天然化学环境来解释。亨苏耳特在最近的论文中作出两个 $Eh-pH$ 关系图，如图4所示的钼-硫-铁-水系。亨苏耳特说：

“在此关系图上的四个固相是：原生硫化物辉钼矿和三个氧化产物，即蓝色的蓝钼矿、黄色的铁钼华以及棕至橙色的含钼氢氧化铁。

粗黑线代表辉钼矿的氧化反应势，势能最小时辉钼矿最易氧化。在酸性条件下反应稳定。在弱酸或碱性条件下辉钼矿氧化成铁钼华，并形成含钼氢氧化铁。无论是呈铁钼华还是呈含钼氢氧化铁，大抵都是 pH 值的函数，而不取决于钼的总量……”。

图5表明在酸性土壤环境中钼呈稳定的钼酸根离子($HMoO_4^-$)，特别是足够铁离子存在时钼保持稳定。在碱性的地表水中钼呈活动的阴离子(MoO_4^{2-})出现，并在溶液中被带走。铁钼华的可能形式与 pH 的依赖关系列于表1。

爱丽斯海湾具有黄铁矿氧化产生的正常酸性环境。辉钼矿被氧化并主要形成B、C、D和E产物。

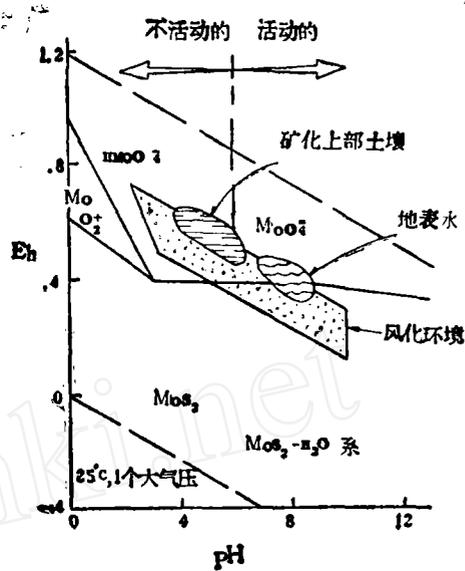


图4 钼-硫-铁-水系在25℃和1个大气压下的 $Eh-pH$ 关系图

呈水合铁钼华的非晶质形式。此外，在降雨量大、水多的高原条件下地表水的 pH 值变成高达6.5或更高。而钼将成为(MoO_4)²⁻活动的钼酸盐阴离子形式(表1中的F)，在溶液中被带走。

在恩达可和贝尔格偶尔也碰到类似的氧化和沉淀反应。在恩达可(图2)硫化物总量最少，氧化量也最少。同时 pH 值较低表示溶解度也较低。但是，在具有特殊地形和脉石的“剖面”上看到的递减与其说是特殊的气候因素还不如说是化学元素的影响。局部出现的钼华是最好的例子。

贝尔格矿体是氧化和淋滤的天然实验室(图3)。在三个矿山中它的硫化物总量最高，铜氧化深度达几百英尺，钼的氧化中等，可观察到的氧化深度仅40至50英尺。 pH 一般较低(>4.5)，足量的铁进入钼的络合物中。大部分钼呈铁的络合物和矿物碎屑迁移，

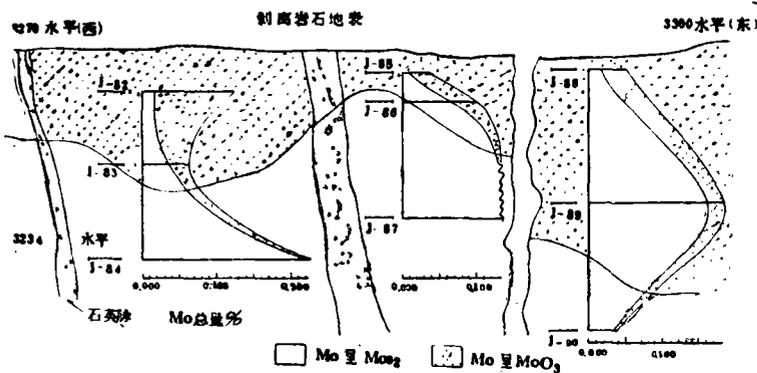


图5 钼在美国西南部典型分散介质中的相对迁移

钼的形式

- 离子
- MoO_4^{2-} 钼酸根阴离子
- $HMoO_4^-$ 亚钼酸阴离子
- MoO_2^{2+} 钼阳离子
- 氧化物
- Mo_2O_8 蓝钼矿?
- $Fe_2(MoO_4)_3$ 铁钼华
- 硫化物
- MoS_2 辉钼矿
- 离子种类
- 离子
- Fe^{2+} 二价铁阳离子
- Fe^{3+} 三价铁阳离子
- 氧化物
- $Fe(OH)_3$ 褐铁矿
- $Fe_2(MoO_4)_3$ 铁钼华

Fe₂O₃:MoO₃:H₂O 比值的变化取决于沉淀的 pH 值

表 1

pH	主要形式	产物	Fe ₂ O ₃ :MoO ₃ 比值	名称
1.0	Fe ⁺⁺⁺ +3HMoO ₄ ⁻	=Fe(HMoO ₄)	1:6	A
1.0至1.6	Fe(OH) ⁺⁺ +2HMoO ₄ ⁻	=Fe(OH)(HMoO ₄) ₂	1:4	B
2.4至6.2(a)	Fe(OH) ₂ ⁺ +HMoO ₄ ⁻	=Fe(OH) ₂ (HMoO ₄)	1:2	C
2.5至6.2(b)	Fe(OH) ₂ ⁺ +OH ⁻	=Fe(OH) ₃	1:0	D
(3-n) (c)	Fe(OH) ₃ + (3-n)(HMoO ₄) ⁻ + (3-n)H ⁺	=Fe(OH) ₃ (HMoO ₄) _{3-n} + (3-n)(H ₂ O)		E
6.2+	Fe(OH) ₃ (HMoO ₄) _{3-n} + (3-n)(H ₂ O)	=Fe(OH) ₃ (3-n)(MoO ₄) ⁻² + 2(3-n)H ⁺		F

注: pH项的注(a)、(b)、(c)将决定于Fe的活动

由于贝尔格和恩达可的降雨量低, 迁移过程不完全, 最终迁移范围很小。

淋 滤 实 验

为了研究环境对钼递减的控制, 做了少量化学实验工作。开始对两个样品, 即采自爱丽斯湾中部富含氧化物的样品和底部贫氧化物的刻槽样品进行了简单的淋滤实验(图 1, 位置 2)。岩样破碎后在不同 pH 条件下淋滤 24 小时, 结果示于图 6, pH 在 5 至 6 之间溶解度明显地增加。

淋 滤 实 验 表 2

样 品 号	实 验 次 序							样品中钼 总 量 ppm	钼氧化物 ppm
	1	2	3	4	5	6	7		
J-40	3	21	50	37	100	14	5	340	320
J-41	1	11	50	40	47	27	5	300	220
J-42	0	5	7	6	6	5	0	700	50
J-43	7	22	73	110	145	64	11	1450	730
J-44	9	38	73	120	145	70	15	1690	640
J-45	1	9	22	12	15	5	2	1980	20

1. 蒸馏水 (pH 4.5);
2. 三价铁离子出现时 pH 调至 8.0;
3. 加入饱和 CaO 溶液 pH 提高到 8.0;
4. 加入饱和 CaCO₃ 溶液 pH 提高到 8.0;
5. 加入饱和 Na₂CO₃ 溶液 pH 提高到 8.0;
6. 加入 Na₃PO₄ + 1m 0.1N 鞣酸 pH 提高到 8.0;
7. CaCO₃ + 1ml 0.1N 鞣酸

随后安排了一个比较复杂的实验, 用所有爱丽斯湾样品研究置于中性环境中钼的活动能力(表 2)。实验是用 125 毫升锥形烧瓶将 5 克样品放入 50 毫升水中, 在室温下搅动 24 小时, 然后过滤和化验。实验 1 表示辉钼矿氧化以后钼被含钼的氢氧化铁所吸附, pH 为 4.5 时淋滤量很少。实验 2 将 pH 提高到 8.0,

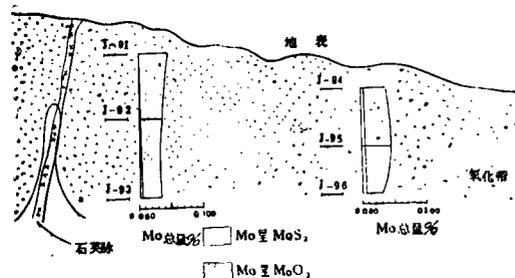


图 6 破碎样品在不同 pH 条件下作 24 小时的淋滤

即使出现过剩的三价铁离子仍然释放出 5~6% 的氧化钼。由于爱丽斯湾钼矿广泛分布长石, 在有些样品中钙含量超过 1%, 实验 3 和 4 得到若干钙影响的数据, 实验 5 和 6 作了钠影响的观察。另外, 因为该区有大量的森林覆盖, 土壤中含有大量有机质, 实验 6 和 7 中应用鞣酸溶液作为大多数容易采用的有机酸。

在这些实验中其它离子对钼的迁移有影响, pH 提高到 6.2 以上铁钼华或类似的氢氧化物被分解, 钼的迁移仍然依赖于其它离子的相互反应和吸附, 而使淋滤作用增强。

还安排了一种类似的实验: 使实验室具有与野外相同的 pH 和 Eh 条件, 不足的是由于难于保持准确的

瑞典泰美克—250型金刚石岩心钻机简介

瑞典Atlas-Copco-Cralius公司生产的泰美克—250型钻机是一种新型全液压的金刚石岩心钻机(图1)。它主要用于矿山坑道的勘探钻进,也可用于地面钻进。这种钻机安装容易,可以打直径36—56毫米、深度为250米的任何方向的取心钻孔,而且只需要一人操作。

它在比较小的重量和外形尺寸条件下,具有较大的功率。在硬的和极硬的岩层中钻进使用金刚石钻头,在中硬岩层(如石灰石)及软岩层,也可以采用硬质合金钻头钻进。

钻机的特点

1. 钻机的操纵手把和测量仪表大都集中在控制仪表板上,其控制仪表板还可以在给进机架上安装成各种不同的位置。

2. 采用液压系统来控制钻具的推进或拉出,以及钻杆的夹持和拧卸等,保证了钻具进出孔口工序的机械化,缩短了辅助时间。

3. 采用液压传动来保证给进力的大小及迴转速度,并可以无级调速。

4. 采用具有高强度和重量轻的铝合金钻杆,对于直径为46毫米的钻孔,采用 $\phi 43$ 毫米的钻杆,每根1.5米长重量,仅4.4公斤。用铝合金钻杆可以打350米深的钻孔。

5. 钻机的安装方式是直接固定于掌子面,减少钻机与孔口之间钻杆的自由长度,从而预防钻杆的纵向弯曲,减少钻杆工作时的振动。

6. 给进机架可以通过带伸缩的支腿来调节各种不同钻孔的方向,由于钻机的体积较小,最大部件重量不超过80公斤,动力部分又装在一单独带胶轮的车上,可在狭小的矿山坑道中使用。

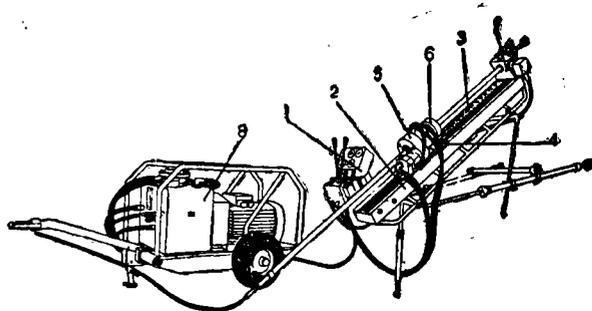


图1 钻机全貌图

1. 控制仪表板;
2. 给进机架;
3. 给进链条;
4. 拖板;
5. 迴转装置;
6. 液压卡盘;
7. 钻杆夹持器;
8. 动力部分

pH值,尤其是Eh值,在实验室中达不到野外的条件。

对贝尔格的几批样品进行了部分和类似的实验,其结果相似。

分析研究指出银总量与淋滤银之比是淋滤过程的定量地球化学参数。银即使呈次生矿物出现如自然银、氯化银或含银的黄钾铁矾,淋滤仍较其它元素少,这些矿物很稳定,在氧化和淋滤覆盖层中将保持不变。

结 论

爱丽斯湾、恩达可和贝尔格矿山钼的地表递减是由淋滤作用引起的。辉钼矿的氧化作用是借助于细菌的活动。仅地表采样和化验并不能够确定非氧化带钼总量的品位。在淋滤露头中铁钼华和蓝钼矿的缺失不

能排除深部重要矿化的出现。影响钼递减的主要因素如下:

- (1) 出现的硫化物量控制氧化的速率和深度;
- (2) Eh—pH的关系控制钼的迁移;
- (3) 出现的氧化铁和其它离子量去吸附和影响不同形式的钼离子;
- (4) 雨量直接形成大量水,淋滤走氧化钼离子,间接的是增加的水量将提高pH值,释放出较多的其它可溶离子,如钙、铁、钠、钡和有机络合离子。

所有这些因素在给定的环境中个别地或联合地影响着钼的递减。

梁国译自: Geochem. Explor. Proce. 3rd Inter. Geochem. Explor. Symposi. p. 78

作者: J. J. Barakso, B. A. Bradshaw,