# 地电化学离子晕的形成过程中外加电场的作用

## 康明,马孟浩

#### (长安大学 地球科学与资源学院 成矿作用及其动力学开放实验室,陕西 西安 710054)

摘要:在地电提取实验研究过程中,通过对外加电压、提取液实验研究对比,泡塑电极在有无外加电压的条件下进 行的实验对比,对土壤样品中不同赋存形式的金属元素进行通电对比实验研究,结果表明在地电提取成晕过程中, 外加电场一方面激活了土壤溶液中离子的赋存状态,使之成为电活动态,将不可溶相态转化为可溶相态;另一方 面,外加电场可加速离子的迁移速度和阴阳离子的两极分化,使阴离子向阳极迁移,阳离子向阴极迁移。外加电压 不可能在通电时将深部矿体或来自深部的离子直接提取到提取电极上。

关键词: 地电化学;离子晕;外加电场;隐伏矿床

中图分类号: P632 文献标识码: A 文章编号: 1000-8918(2008)05-0534-03

地电化学法是将地球物理、地球化学和电化学 综合交叉为一体组成的找矿方法。深部盲矿或隐伏 矿经过电化学溶解、氧化溶解及其他复杂地质作用, 与成矿物质有关的成矿元素及伴生元素通过浓差扩 散、地下水活动、大地电场、植物毛细作用、干旱地区 的蒸发泵流作用、地球脱气作用等多种机制,迁移至 地表,并以多种形式赋存下来。在人工电场作用下, 与矿有关的金属离子平衡发生了变化,其中的金属 正离子在电场作用下向阴极移动,并形成电解物,收 集并分析电极上吸附的电解物,可发现与矿有关的 金属离子异常,从而达到找矿和评价的目的<sup>[1]</sup>。

地电化学法关于离子的迁移和提取的机制,众 说纷纭,尚无统一认识。原苏联学者认为人工电场 是驱使金属离子从深部上升的动力,为加大探测深 度,他们使用装在汽车上的大功率电源;而中国和美 国的一些学者认为人工电场作用的深度是有限的, 用 500 mA 的电流所得结果与用 20 mA 电流并无大 的差别<sup>[2]</sup>。针对以上问题的提出,笔者进行了一些 研究。

 外加电压与提取液在地电提取过程中的 贡献大小对比

金属离子通过各种地质作用达于地表,在外加 电场作用下,阴离子向电提取装置的阳极迁移,阳离 子向电提取装置的阴极迁移。根据 $v = u \cdot E = u \cdot I\rho/2\pi r^2$ (式中v为离子电迁移速度,u为离子淌度, E 为电场强度,I 为供电电流,ρ 为介质电阻率,r 为 提取半径)可知,离子迁移速率与外加电压大小成 正比。关于离子迁移质量(m<sub>i</sub>)和迁移浓度(c<sub>i</sub>),李 金铭教授进行了理论推导和实验研究<sup>[3]</sup>。

$$m_i = c_i V_i = c_i \int_0^r S(r) dr = c_i u_i \rho I t$$
,

式中, $V_i$  为离子的迁移体积, $u_i$  为离子淌度,t 为供 电时间。从该式可以得出,当 $c_i$ 、 $u_i$ 、 $\rho$ 一定时,电极 提取的离子质量 $m_i$  与供电电压及供电时间成正比 (在某一测点处,介质电阻率 $\rho$ 、离子淌度ui和迁移 浓度ci 是一定的)。

笔者在广西大瑶山西侧北段盘龙铅锌矿区 24 线进行了不同供电电压和加入不同电解质溶液的地 电提取实验研究,目的是研究地电提取成晕机制与 供电电压和加入电解质溶液的关系。

不同供电条件和加入不同电解质溶液的地电提 取金属含量特征值见表 1。可以看出,高电压(300 V)提取的金属离子含量值比低电压(9 V)提取的金 属离子含量值高,加入 HNO3 作为提取液比加入 H<sub>2</sub>O 作为提取液所提取的金属离子含量值高。相 比之下,外加电压所起的作用比提取液所起的作用 要显著的多。以矿体上方 120 号点为例,高电压提 取的 Ag、Pb、Zn 元素含量值是低电压提取的 6.1 ~ 12.3 倍,以 HNO3 作为提取液所提取的 Ag、Pb、Zn 金属离子含量值是以 H<sub>2</sub>O 作为提取液的 1.5 ~ 7.0

收稿日期:2007-11-09

基金项目:国家自然科学专项基金项目(40743018);"十五"国家科技攻关计划课题(2001BA609A-3); 广西国土资源厅地质勘查科研项目(020211)

表 1 盘龙铅锌矿 24 线不同电压、不同提取液的地电提取金属元素含量对比

	$w(Ag)/10^{-6}$			w(Pb)/10 <sup>-6</sup>			$w(Z_n)/10^{-6}$			
上作力式	平均值	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	
300V 电压、HNO3 溶液	0.069	0.479	0.010	243.43	901.0	28.5	84	548	27	
9V 电压、HNO3 溶液	0.028	0.073	0.012	90.5	173. <b>0</b>	32.1	44	95	29	
9V 电压、H <sub>2</sub> O 溶液	0.014	0.022	0.010	11.5	24.8	4.0	37	48	29	
120 号点上方(高电压提取值/低电压提取值)	12.3			6.1			11.7			
120 号点上方 9V (HNO3 提取液/H2O 提取液)	)提取液) 3.3			7.0			1.5			



图1 盘龙铅锌矿 24 线不同电压、提取液地电提取异常剖面 倍。所以,在地电提取成晕过程中,外加电压起主导 作用,酸性提取液主要是起到防止电极周围碱化的 作用。

从图1可以看出,无论是高电压提取还是低电 压提取,在矿体上方均有明显的地电化学异常,该离 子晕与深部矿体在空间上对应关系较好,说明深部 矿体离子晕的向上运移机理是存在的。高电压提取 在矿体上方的效果更为显著,峰值明显,衬度值高, 证实了外加电场所起的作用。

2 在泡塑电极上外加电压对异常的影响

在新疆荒漠戈壁景观的金窝子-210 金矿区 I 线 剖面上,将泡塑电极埋入土中,在不通电的情况下进 行泡塑吸附实验,实验结果见图 2、表 2。可以看出: ①地电提取的元素幅值较同点泡塑吸附样品的元素



图 2 新疆金窝子-210 金矿区 1 线地电化学剖面

金窝子-210 金矿区 I 线实验结果 10-9

类别	参数	样品数	w(Au)	w(Ag)	w(Cu)	w(La)	w(Th)
地电	背景平均值	15	3	10	18	0.2	16
提取	异常平均值	15	10	17	30	0.5	40
泡塑	背景平均值	15	0.7	2	1	0.04	4
吸附	异常平均值	15	2	8	6	0.1	30
确定背	肾景值方法			剖	 面法		

幅值高。地电提取的 Au、Ag、Cu、La、Th 元素背景平 均值为同点泡塑吸附样品元素背景平均值的 4~18 倍,异常平均值为 1.3~5倍;②从图 1 可以看出,在 矿体上方近地表处,地电提取元素异常呈"双峰"式 展布,幅值较高。尤其 Au、Ag、Th 元素更为明显。 而在不通电的情况下(泡塑吸附),Au 显示为背景 含量,有微弱的 Ag、Cu 异常,无 La、Th 异常显示。 只是在矿体的延深部位有 Au、Ag、Th 异常显示。这 一事实表明,在地电提取过程中,外加电场对成晕机 制起了很重要的作用。

同样,在山东招远尹格庄金矿1号矿体64 线也 进行了电提取(9 V)和泡塑吸附实验(图3)。由图 3可以看出:在隐伏矿体上方有明显的阳离子(阴极 提取)异常和阴离子(阳极提取)异常;而在不通电 的条件下(泡塑吸附),虽然也有异常显示,但与矿 体的空间对应关系不密切,整体呈"锯齿"状,连续 性较差,规律性不强。说明在地电提取过程中,外加 电场使呈活动态的、有充足离子来源的阴离子或阳 离子源源不断地向阳极或阴极迁移,而形成离子晕。

3 人工电场作用对土壤中元素相态赋存 形式的影响

元素在土壤中能以可溶的、吸附的、各种腐殖酸 盐及残渣等相态分布。通电后,各种相态的元素分 布会发生变化,前苏联在这方面做了很多工作<sup>[4]</sup> (表3)。

由表3看出,在人工电场作用下,土壤中元素的 各种相态的赋存形式会互相转变。不溶→较易溶 (吸附态等)→可溶。在电流作用下,元素的析出作 用促进了固相的溶解作用。溶解作用涉及到所有的



图 3 尹格庄金矿 1 号矿体 64 线地电化学剖面

赋存形式	Pb		Fe		Ni		Cu		Fe	
	原样中	通电后	原样中	通电后	原样中	通电后	原样中	通电后	原样中	通电后
可溶的	1.38 ~ 2.54	7.55	0.02~0.08	2.64	0.90~1.62	32.60	1.73~2.38	51.0	0.04~0.05	6.95
吸附的	4.12~12.70	33.60	0.03~0.04	1.25	7.50	6.98	3.46	2.13	0.038	0.10
富里酸盐 腐殖酸盐	5.18	28.6	0.87~1.09	2.14	6.26~38.10	2.32	22.45~37.7	10.15	3.17~15.02	8.01
残渣(有机 物、硅酸盐)	84.5	31.0	98.5~99.9	94.5	69.5~70.0	58.1	55.5~59.5	38.1	85.0~96.8	85.0
样品性质	鲁得内依阿尔泰黑土				科拉半岛淤积-腐殖土					

表3 地电提取前后土壤中元素占样品中金属含量的百分数(E=4 V/cm)

(据 IO.C. 雷斯, 1983)

相的变化,富里酸盐和腐殖酸盐的溶解作用使呈可 溶和吸附形式的金属含量增大,在同一时间金属又 从吸附形式转入可溶形式,从残渣转入可溶和吸附 形式以及富里酸盐和腐殖酸盐形式。因此,在地电 提取过程中,金属首先从最易溶解的形式中被提取 出来,随着时间的推移,难溶部分可直接转变为可溶 部分,或难溶部分转变为较易溶的形式,然后经由较 易溶的形式转化为可溶形式。

4 结论

以上事实表明,在地电提取成晕过程中,外加电场一方面激活了土壤溶液中离子的赋存状态,使之成为电活动态,将不可溶相态转化为可溶相态;另一方面,外加电场可加速离子的迁移速度和阴阳离子

的两极分化,使阴离子向阳极迁移,阳离子向阴极迁移。外加电压在通电时将深部矿体或来自深部的离 子直接提取到提取电极上是难以实现的。

### 参考文献:

- [1] 康明,罗先熔,庞保成,等.地电化学方法在广西横县泰富金矿 的应用效果[J].桂林工学院学报,2004,24(1).
- [2] 康明,罗先熔.金属矿床地电化学勘查方法研究现状及前景展 望[J].地质论评,2005,51(4).
- [3] 李金铭,卢军.电提取法基础理论研究[J].物探与化探,1992, 16(4).
- [4] 雷斯 Ю С. 地电化学勘探法[M]. 张肇元, 崔霖沛 译. 北京: 地 质出版社, 1986.

下转 548 页

#### 参考文献:

[1] 谢学锦. 面向 21 世纪的应用地球化学——谢学锦院士从事地 球化学研究 50 周年[M]. 北京:地质出版社,2002.

- [2] 王崇云.地球化学找矿基础[M].北京:地质出版社,1987.
- [3] 刘幼平,杭家华,张伦尉,等.黔西北铅锌矿集区成矿条件及找 矿潜力探讨[J].矿产与地质,2004,106(18):1.

## THE BAIBUKA LEAD-ZINC DEPOSIT IN WEINING COUNTY OF GUIZHOU PROVINCE: ITS CHARACTERISTICS AND ORE-SEARCH PROSPECTS

HONG Wan-hua<sup>1,2</sup>, YAN Xue-chun<sup>2</sup>

(1. Academy of Geological Survey, Guiyang 550005, China; 2. No. 103 Geological Party, Guizhou Bureau of Geology and Mineral Resources, Tongren 554300, China)

Abstract: Using such new geochemical evaluation theories as planar metal amounts, zoned values of anomaly concentrations and integrated quantitative indices of regional geochemical anomaly sieving in combination with geological and mineral resources data, geophysical high-precision magnetic anomalies and remote-sensing anomalies, the authors evaluated the Baibuka lead-zinc deposit and analyzed its ore-search prospects.

Key words: geochemical evaluation; high-precision magnetic survey; remote sensing; lead-zinc deposit; Qeining County of Guizhou Province

作者简介:洪万华(1980-),男,2005 年毕业于中国地质大学(北京)地球化学系,获得学士学位,现主要从事勘察地球化学生 产。

上接 536 页

## THE ROLE OF THE ARTIFICIAL ELECTRIC FIELD IN THE FORMATION OF GEOELECTROCHEMICAL IONIC HALOS

#### KANG Ming, MA Meng-hao

(School of Earth Sciences and Resources Management Chang'an University, Xi'an 710054, China)

Abstract: Test data indicate that the artificial electric field can activate and change the binding modes of occurrence of elements in the soil. On the one hand, It can bring about decomposition of a great number of complex anions and other stable or sub – stable forms of elements, and on the other hand, it can make anions and cations move to the extraction electrode, and can accelerate ionic movement, as can be seen from the comparison of the artificial electric field and the extracted liquid in the element – collectors (ECs), no matter whether the artificial electric field is close to the ECs or not and how different the modes of occurrence of elements in the samples from the soil are. In fact, it is quite impossible for the artificial electric field to extract directly the metal ions from the ore body at depth. Key words: electrogeochemistry; ionic halos; artificial electric field; concealed deposit

作者简介:康明(1965-),男,博士,副教授,现主要从事地球化学教学和科研工作。

万方数据