严洪泽,陈海杰,孙彬彬,等.湿法消解预处理地电化学泡塑样品有效性研究[J].岩矿测试,2017,36(5):510-518.
YAN Hong-ze, CHEN Hai-jie, SUN Bin-bin, et al. Study on the Availability of Wet Chemical Digestion of Geo-electrochemical Polyurethane Foam Samples[J]. Rock and Mineral Analysis,2017,36(5):510-518.

[DOI: 10.15898/j. cnki. 11 – 2131/td. 201610050150]

湿法消解预处理地电化学泡塑样品有效性研究

严洪泽^{1,2,3},陈海杰^{1,2},孙彬彬^{1,2*},周国华^{1,2},贺灵^{1,2},刘银飞^{1,2,3},王腾云^{1,2,3}

(1.国土资源部地球化学探测技术重点实验室,中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所, 河北 廊坊 065000;

2. 联合国教科文组织全球尺度地球化学国际研究中心, 河北 廊坊 065000;

3. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院,北京 100083)

摘要: 灰化法和微波消解法作为地电化学泡塑样品的预处理方法适用于多数元素,但二者都存在局限性,如 灰化法的高温加热过程会造成 As、Hg 等元素的损失影响测定结果,微波消解法则因用样量小(0.1 g),存在 样品代表性和检出限方面的问题。湿法消解是一种传统的样品预处理方法,具有消解完全、元素损失量低、 样品代表性好等优点,可以有效解决以上两种方法的不足。但因为加入高氯酸消解泡塑(有机物)样品过程 中易爆炸和酸空白等问题,一直没有在泡塑样品的预处理中得到推广。本文选取内蒙古洛恪顿热液型铅锌 多金属矿床一条地电化学勘查剖面,用20 mL 硝酸 +5 mL 高氯酸和5 mL 王水对泡塑样品(约0.5 g)进行预 处理,氢化物发生原子荧光光谱法和高分辨电感耦合等离子体质谱法测定元素含量。结果表明:大多数元素 的空白含量都比较低,地球化学剖面图上有良好的异常显示;湿法消解处理泡塑样品是可行的,分析泡塑样 品主要使用这种预处理方法。

近年来,随着地表矿的勘查殆尽,寻找新的大型 矿床的机遇转到了隐伏区,常规找矿方法在覆盖区 往往受到极大限制,有关深穿透找矿方法的研究越 来越多^[1-3]。地电化学测量作为一种有效的深穿透 找矿方法开始逐渐被重视,该方法最早起源于前苏 联,随后各国地质工作者对其进行了大量原理与实 践方面的研究^[4-8]。近几年有关地电化学的研究主 要集中在方法的实际找矿方面^[9-10],样品分析测试 方面的研究比较缺乏^[11-12]。与其他地球化学样品 (如:岩石、土壤、植物)完善的分析测试方法和分析 质量监控体系^[13-14]相比,泡塑样品的分析测试方法

还很不成熟。

本课题组在前期进行了灰化法和微波消解法处 理泡塑样品效果的对比实验^[15],取得了一定的认 识:对于 Zn、Cu、La、Fe 等多数元素,灰化法和微波 消解法取得的效果基本一致;Au、Pb 适合采用灰化 法;Hg 应采用微波消解法;As、Cd、Se、Ag 等元素使 用两种方法都没有取得理想的结果。总体上,灰化 法和微波消解法可以满足泡塑样品中大多数元素的 分析测试要求,这两种方法存在的问题是:灰化法在 马弗炉灼烧过程中会造成 Hg、As 等易挥发元素的 损失;微波消解法在密闭容器中进行,避免了元素的

收稿日期: 2016-10-05; 修回日期: 2017-07-14; 接受日期: 2017-08-14

基金项目:国家重点研发计划项目"穿透性地球化学勘查技术"(DD20160116);中国地质调查局地质矿产调查评价项目 "东乌旗整装勘查区热磁与地电化学方法技术研究应用"(12120113100400),"勘查地球化学特殊样品分析新方 法新技术应用研究"(1212011120278)

作者简介:严洪泽,硕士研究生,勘查地球化学专业。E-mail: 1033376202@qq.com。

通讯作者:孙彬彬,高级工程师,博士研究生,现从事应用地球化学研究工作。E-mail: sunbinbin@igge.cn。

损失,缺点是取样量小(0.1 g),在样品代表性及检 出限等方面存在一定问题。因此,现在急需确定一 种新的预处理方法来解决以上问题。湿法消解具有 操作简便、消解完全、元素损失量小、样品代表性好 等优点,广泛应用于各种地质样品的预处理^[16-18], 但在加入高氯酸消解有机体时,容易产生燃烧、爆炸 等副作用,且过多的酸用量可能增大试剂空白,目前 使用湿法消解处理泡塑样品的报道很少。

为了研究湿法消解处理泡塑样品的可行性,本研究对前期实验中使用的同一批泡塑样品进行了湿法消解实验。用硝酸 – 高氯酸体系和王水对样品进行预处理,使用氢化物发生 – 原子荧光光谱法(HG – AFS)和高分辨率电感耦合等离子体质谱法(HR – ICP – MS)测定主要元素含量,在评价空白的基础上,以野外实际勘探效果为依据分析湿法消解在泡塑样品预处理中的应用效果,旨在寻找更加合适的泡塑样品预处理方法。

1 研究区概况

工作区位于朝不楞多金属矿外围东部地区,区 域上属于内蒙古—兴安岭晚古生代—中生代铜、铅、 锌、金、银、锡、铬(钼)成矿区,锡林浩特—东乌旗多 金属成矿带东段。出露的主要地层有古生界泥盆系 中统塔尔巴格特组(D₂t)、中生界侏罗系下统满克 头鄂博组(J₃mk)及第四系全新统(Q₄h)。其中,塔 尔巴格特组(D₂t)是本区与成矿直接有关的围岩, 岩性组合为砂岩、粉砂岩、板岩和火山碎屑岩^[19]。 区内自二叠世—侏罗世经历了多期构造运动,形成 了北东向和北北东向的构造格局,褶皱构造强烈,断 裂构造发育,伴随断裂有大量的岩浆侵入活动。在 朝不楞矿区及外围,海西期辉长岩、石英闪长岩及燕 山期黑云母花岗岩分布广泛。其中,燕山期黑云母 花岗岩与铁多金属矿体在时空分布上关系密切^[20]。

该区降水量稀少,地表水系不发育,80%以上被 第四系风成沙所覆盖,基岩出露面积小,常规化探方 法受到极大限制,找矿效果不佳,是开展地电化学测 量实验的理想地区。

2 实验部分

2.1 野外样品采集

本次地电测量实验剖面长 2500 m, 剖面上主要 被第四系风积物覆盖, 仅有两个勘探点位于低缓小 山头附近, 地表可积物见零星基岩风化碎屑(土壤 中含残积土成分), 但土层依然较厚。按 50 m 点距 布置采样点,在距离原点 0~400 m 和 2100~2500 m 范围内,将点距放宽至 100 m,共布设 43 个采样 点。使用"固体载体型元素提取器"^[21]采集样品,在 每一个点上挖取深 30 cm 的坑,放入地电化学元素 提取器,加 1000 mL 水,回填土通电 24 h 后取出泡 塑样品装入样品袋,送实验室分析。

2.2 样品分析测试

2.2.1 样品预处理

将野外采集的地电化学泡塑样品剪下约 0.5 g,称重后放入锥形瓶中,加入 20 mL 硝酸及 3 mL 高氯酸,放置过夜后,于低温电热板加热至蒸干。室温下 冷却,加入 5 mL 王水,于电热板上继续加热 5 min, 至溶液清亮后取下,冷却后转入 25 mL 比色管中,加 去离子水定容,摇匀,备采用 HR – ICP – MS 及 HG – AFS 测定相关元素含量。

值得一提的是,聚氨酯泡塑基体为有机物,加高 氯酸消解过程中易爆炸,且用酸量较大,空白含量可 能较高,故一些实验室人员不建议将该方法用于地 电化学泡塑样品的预处理工作。通过与实验室人员 沟通、协调,试验了多种酸用量及酸组合的方法、方 式,最终确定了上述预处理方案,有效地避免了多酸 联合消解泡塑产生爆炸的不利因素,并在消解过程 中使用了高纯酸以降低元素空白含量。

2.2.2 元素含量测定

根据研究区已知矿床类型和特征元素组合,对 包括 Pb、Zn、Cu、Ag、As、Fe 在内的 20 种元素的含量 进行了测定。除 As、Se 采用 HG – AFS 法测定外,其 余元素均用 HR – ICP – MS 法测定。为监控分析结 果的重现性,在所测试的 40 件样品中随机抽取 3 件 进行了重复性测定(同一份样品进行两次测定),重 复测定的结果见表 1。Au 在第三组重复性测定中 出现较大差异,可能是该取样点的泡塑样品吸附的 Au 含量很低,低于分析仪器检出限,致使重复测定 偏差较大。其余各元素的三组重复测定结果的相对 偏差均小于 30%,满足分析要求。

3 结果与讨论

3.1 样品分析测试结果数据统计

泡塑样品测试结果一般用绝对含量表示,此次 实验是从整块泡塑样品上剪取一部分(约0.5g)进 行分析测试,因各分析样品的质量有所差异,所以需 将测试结果经质量比换算为整块泡塑样品中的元素 绝对含量,最终得到该地电测量勘探剖面上各元素 的数据统计结果(表2)。

表 1 样品分析重复测定监控结果

Table 1 Repeated measurement results of samples

元素	样品 10	样品 10 重复测定 编号 288001	相对偏差 (%)	样品 25	样品 25 重复测定 编号 288002	相对偏差 (%)	样品 40	样品 40 重复测定 编号 288003	相对偏差 (%)
Au	1.35	1.55	12.90	5.62	5.73	1.94	0.40	0.93	79.70
Ag	3.58	4.73	27.68	63.69	63.42	0.42	3.49	4.10	16.07
Al	38	40	5.13	85	88	3.47	188	215	13.40
As	64	59	8.13	80	77	3.82	134	134	0.00
Bi	5.88	5.53	6.13	7.04	6.68	5.25	18.81	19.63	4.27
Cd	12.72	13.77	7.93	4.42	4.38	0.91	23.01	26.61	14.51
Co	85	85	0.00	226	234	3.48	155	171	9.82
Cr	913	902	1.21	7496	7687	2.52	2083	2337	11.49
Cu	3358	3421	1.86	123925	126908	2.38	1688	2053	19.51
Fe	79	81	2.50	213	216	1.40	162	185	13.26
Κ	25.9	26.4	1.91	36.5	37.0	1.36	57.4	63.7	10.40
La	68	53	24.79	165	143	14.29	265	285	7.27
Mo	17.3	19.8	13.48	28.9	29.2	1.03	50.5	51.0	0.99
Ni	196	180	8.51	2196	2253	2.56	738	821	10.65
Pb	200	185	7.79	416	399	4.17	1612	1670	3.53
\mathbf{Sb}	45	39	14.29	32	30	6.45	1065	1145	7.24
Se	23	25	8.33	23	24	4.26	50	43	15.05
Ti	5918	6234	5.20	7241	7532	3.94	9813	11069	12.03
U	26	25	3.92	45	43	4.55	79	82	3.73
Zn	3039	2991	1.59	6595	6680	1.28	5794	6446	10.65

注: K、Fe、Al 含量的单位为 µg,其余元素的单位为 ng。

为验证空白对样品分析测试结果的影响,取三 组原始泡塑,分别用与处理样品同样的方法进行酸 溶消解并上机测试,对得到的三组空白结果取平均 值,结果列于表2。需要指出的是,空白泡塑使用的 是未经酸洗处理的泡塑,而实际采样用的泡塑均经 过酸洗处理,已有研究表明酸洗可有效降低地电提 取中固体吸附载体的空白^[5]。从表2可以看出,对 于大部分元素,样品分析结果均值都能达到空白结 果的2倍以上,空白对这些元素的分析不会产生大 的干扰,也不会影响这些元素的异常显示效果。但 对于 Co、La、Ti 三个元素,空白值超过了测定平均 值,仅从此项数据来看,高空白可能会对这三个元素 的分析测试造成较大的干扰。

变异系数可以在一定程度上反映元素分布的均匀性^[22-23]。变异系数越大,说明该元素的分布越不均匀,在无矿地区可能是受人为活动的影响,在矿产 勘查区则可能指示元素的富集特征。一般认为变异 系数大于0.5,元素为显著分异。从表2中的数据 可以看出,大部分元素的变异系数都超过了0.5,与 该区矿床类型丰富、成矿元素多样的地质背景相吻 合。变异系数大于1的元素包括 Au、Ag、Cr、Cu、Ni、 Sb,变异系数介于0.5~1的元素包括 Al、Co、Fe、 La、Pb、U、Zn。其中 Pb、Zn、Cu、Fe、Au、Ag 作为该区 域的主要成矿或伴生成矿元素,它们的变异系数高, 尤其是 Cu、Ag 的变异系数分别高达 4.75 和 3.05, 说明这些元素在区域上分布极不均匀,具有强烈的 分异作用,在局部地段具有富集特征。此外,Au、 Ag、Cr、Cu、Ni 含量的平均值明显高于中值,说明这 些元素的测试值中存在异常值。如 Au、Ag、Cu 的极 大值是极小值的数十倍至上百倍,且与平均值相比 亦有较大差异,这些极高的异常点很可能与成矿作 用密切相关。

3.2 地电测量异常显示效果

分析得到的元素测量统计结果只能说明某些元 素具有局部富集趋势,以及存在异常点位。为了更 好地了解元素异常显示与矿体的对应关系,以便验 证湿法消解处理地电化学泡塑样品的实际应用效 果,本研究制作了元素地球化学剖面图(图1),并将 部分元素的异常显示效果与使用灰化法和微波消解 法的异常显示效果进行了对比(图2)。从图中可以 获得以下特征。

(1) Pb、Zn、Cu 作为该矿床的主要成矿元素及 伴生成矿元素,元素地球化学剖面图中在矿体上方 均有异常出现,其中Zn为明显的多峰异常,且异常

表 2 酸溶法处理内蒙古洛恪顿矿区电提取剖面样品测量数据统计结果

Table 2 Measurement data statistics of elements in samples from electric extraction profile of the Luokedun deposit in Inner Mongolia, pretreated with polyacid digestion

指标	Au	Ag	Al	As	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	K	La	Mo	Ni	Pb	\mathbf{Sb}	Se	Ti	U	Zn
样品数	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40
极大值	72.08	816.5	3.10	1.52	0.14	172.9	3.11	96.09	1588	3.24	0.87	4.64	0.73	69.9	12.12	8.01	0.38	222	1.72	84.54
极小值	1.44	6.39	0.28	0.27	0.04	25.25	0.60	5.17	2.67	0.42	0.19	0.52	0.14	1.44	1.59	0.20	0.18	38.1	0.11	14.63
平均值	7.51	42.17	0.85	0.65	0.06	55.92	0.99	15.06	52.6	0.90	0.34	1.57	0.26	6.22	2.98	1.15	0.25	70.3	0.44	31.87
中值	3.96	13.69	0.77	0.56	0.05	50.08	0.83	8.72	7.28	0.76	0.31	1.36	0.24	2.92	2.37	0.63	0.24	62.8	0.42	25.52
标准差	12.01	128.5	0.52	0.26	0.02	25.64	0.52	17.73	249.8	0.55	0.13	1.03	0.11	11.4	1.97	1.47	0.05	32.7	0.30	18.09
变异系数	1.60	3.05	0.61	0.40	0.34	0.46	0.52	1.18	4.75	0.61	0.38	0.66	0.42	1.83	0.66	1.28	0.19	0.47	0.68	0.57
泡塑空白	2.80	6.91	0.27	0.26	0.06	26.72	2.37	5.89	1.75	0.68	0.19	1.82	0.08	1.24	1.88	0.21	0.14	168	0.15	16.34

注: K、Fe、Al 含量的单位为 mg, Au、Ag、Cd 含量的单位为 ng, 其余元素含量的单位为 µg。



图 1 洛恪顿矿区 5 勘探线部分元素多酸联合消解法地电化学提取效果图

Fig. 1 Geo-electrochemical extraction results of some elements in samples on prospecting line 5 in Luokedun mining area, pretreated with polyacid digestion

衬度较高,Pb为弱的双峰异常,Cu为衬度极高的双 峰异常,异常衬度远高于灰化法和微波消解法取得 的异常。值得一提的是,Zn在该剖面上距离原点 300~700 m范围内也出现了较为明显的异常。

(2)对于 Fe、Ni、K,异常显示主要集中在距离原 点 1400~1800 m 范围内,与已知矿体对应性较好, 其中 Fe 和 Ni 都表现为双峰异常,K 为矿体正上方 的单峰异常。Al、Cr、U 在元素地球化学剖面图上有 两处明显的异常集中区,第一处是距离原点 1400~ 1700 m 范围内,该范围与矿体对应较好,这三个元 素在该范围内都表现为明显的单峰异常;第二处是 距离原点 300~700 m 范围内,该范围内的异常目前 还没有与之对应的已知矿体,但结合 Zn 在此范围也 出现了明显的异常,可以初步推断该范围风成沙覆 盖之下可能存在未知的隐伏矿体,建议在此处做进 一步的详查工作。

(3) 对于 Co、La、Ti,在元素测试数据统计结果 中泡塑空白值超过了元素含量平均值,但在剖面图 上这三个元素的异常显示效果却较好,异常集中于 距离原点 1200~1800 m 范围内,此异常范围宽且与 矿体对应较好,La 为明显的多峰异常,Co 为双峰异 常,Ti 为单峰异常。这三个元素的高空白含量可能 是由于它们在原始泡塑(未经酸洗)中的含量较高, 实际勘查工作前进行的酸洗大大降低了这些元素在 泡塑中的含量,减小了对样品分析测试的影响。

(4) 对于 As、Au、Ag、Se 等元素,使用灰化法和 微波消解法时,二者在剖面图中无显著异常或异常 与已知矿体对应差,此次采取湿法消解处理泡塑样



图 2 洛恪顿矿区 5 勘探线 As、Au、Ag、Se 元素不同预处理方法地电化学提取效果对比

品,这些元素都在矿体上方出现了比较明显的异常。 Au、Ag的异常衬度极高,As、Se表现为矿体上方的 多峰异常。As作为一种高温易挥发元素,灰化法高 温加热过程可能会发生损失,而微波消解法可能存 在样品代表性的问题,此次测试参照植物样品中测 定 As的预处理方法^[24],使用硝酸 + 高氯酸直接溶 样,得到了比较理想的结果。至于 As含量比之灰化 法偏低,不排除是不同批次系统误差造成的影响,毕 竟泡塑中吸附的元素含量普遍较低。对于 Au,之前 采用灰化法和微波消解法处理样品时没有得到理想 的结果,当时做出的分析中 Au 并非该矿床的伴生 元素,泡塑吸附的 Au 含量很低,部分样品中 Au 含 量低于检出限,测试结果受泡塑空白影响较大。根 据以往对金矿区取得的泡塑样品使用灰化法处理所 获得的较好的效果,本研究认为分析泡塑中的 Au 含量时更适合使用灰化法处理样品。此次使用湿法 消解来处理泡塑样品,Au 在矿体上方有明显的异 常,说明之前 Au 的异常显示效果差主要不是含量 太低造成的,而与 Au 在泡塑中的赋存状态相关。 在金矿的地电化学勘查中,地电化学泡塑样品在扫 描电镜下可见大量的褐铁矿等颗粒,这些矿物颗粒 可能很难仅凭灰化法和王水处理实现完全的消解, 而湿法消解能达到基本完全消解的效果。如有研究 表明,在有机质发育的森林沼泽区,使用常规的 Au 分析测试方法(王水溶解),水系沉积物中并没有明 显的 Au 异常显示,而使用四酸联合消解的方法时, 出现了较明显的 Au 地球化学异常^[25]。从 Se 的地 球化学剖面图中可以发现,使用湿法消解测得的

— 514 —

Fig. 2 A comparison of geo-electrochemical extraction results of As, Au, Ag and Se for samples in prospecting line 5 in Luokedun mining area, pretreated with different digestion procedures

Se 含量值比灰化法和微波消解法要高出一个数量级,可能是灰化法和微波消解法存在消解不完全的问题,事实上对于某些 Se 含量很低的样品,使用湿法消解(硝酸+盐酸+高氯酸+氢氟酸)处理确实可以得到不错的效果^[26]。

(5)对于元素 Cd 和 Mo,使用湿法消解处理泡 塑样品没有得到理想的异常效果。不仅是湿法消 解,采用灰化法和微波消解法处理泡塑样品时这两 个元素的效果也不佳。对于 Cd,可能与此次取得的 泡塑样品中 Cd 的含量较低有关。在采用 ICP – MS 法测定 Cd 含量时,干扰情况较为复杂,尤其对于 Cd 含量低的样品,空白和仪器波动可能会带来较大的 误差^[27]。对于 Mo,由于灰化法得到的异常图的形 态与微波消解法比较相似,而与湿法消解的差异较 大,因此,建议测定泡塑样品中的 Mo 含量时,使用 灰化法或微波消解法进行前处理。

综上所述,采用湿法消解处理地电化学泡塑样 品,Pb、Zn、Cu、Cr、La、Fe、Ni 等大多数元素都取得了 不错的效果,在地球化学剖面图上显示出与矿体对 应较好的异常。对于使用灰化法和微波消解法无异 常显示或异常与矿体对应不好的 As、Au、Ag、Se 等 元素,此次采用湿法消解都显示出较好的地电化学 异常。总的来说,湿法消解具有以下优势:①作为一 种分析测试常规化探样品的成熟方法,该方法操作 简便,工作效率较高;②使用混合酸溶样,消解完全; ③因为是在低温电热板上进行加热,可以有效避免 除 Hg 外的其他元素的损失;④与微波消解法仅使 用0.1g样品进行分析相比,湿法消解法的样品代 表性更优;⑤地电化学泡塑样品分析测试一直缺少 分析质量监控,前人曾提出使用标准溶液加入空白 泡塑插入野外勘查样品中的方法^[28],但在使用灰化 法对泡塑样品进行预处理时,这种方法只适用于 Au 元素,而Cu、Pb、Zn、Ni等元素在550℃灰化条件下 其离子态部分有不同程度的损失,如果使用湿法消 解进行预处理,这种监控方式可能就不存在元素损 失,因而有望解决分析准确度监控缺失的问题。

4 结论

湿法消解处理有机样品时因为加入高氯酸可能 会发生爆炸,所以一直没有应用于泡塑样品的前处 理。本次实验采用 20 mL 硝酸 + 5 mL 高氯酸和 5 mL王水对地电化学泡塑样品进行预处理,在样品 消解完全的基础上避免了燃烧和爆炸。研究表明, 大部分元素的泡塑空白含量都比较低,并且在元素 地球化学剖面图上有良好的异常显示,说明湿法消 解处理泡塑样品是切实可行的。该方法可以解决灰 化法元素损失和微波消解法样品代表性等问题,并 且操作简便、消解完全、工作效率高,建议在地电化 学泡塑样品分析测试中,主要使用这种预处理方法。

由于此次实验只是针对某一矿床的一条勘探 线,可能存在一定的偶然性,在今后的工作中,应在 评价酸、水等空白的基础上,结合其他覆盖景观区的 不同矿种、不同矿床类型进行湿法消解处理泡塑样 品的实验,以尽快完善、推广该方法在地电化学测量 中的应用。

5 参考文献

- [1] 谢学锦,王学求. 深穿透地球化学新进展[J]. 地学前缘,2003,10(1):225-238.
 Xie X J, Wang X Q. Recent developments on deeppenetrating geochemistry [J]. Earth Science Frontiers, 2003,10(1):225-238.
- [2] Wang M Q, Wu H, Liao Y, et al. Pilot study of partial extraction geochemistry for base metal exploration in a thick loess-covered region [J]. Journal of Geochemical Exploration, 2015, 148:231 – 240.
- [3] Wang X Q,Zhang B M,Xin L, et al. Geochemical challenges of diverse regolith-covered terrains for mineral exploration in China [J]. Ore Geology Reviews, 2016, 73:417-431.
- [4] Alekseev S G, Dukhanin A S, Veshev S A, et al. Some aspects of practical use of geo-electrochemical methods of exploration for deep-seated mineralization [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1996, 56(1):79 - 86.
- [5] 刘占元,程志中,孙彬彬.电提取技术中载体物质应用 效果提高的途径[J].物探与化探,2005,29(5): 401-403.
 Liu Z Y, Cheng Z Z, Sun B B. The processing of the carrier material in the cathode receiver[J]. Geophysical
- [6] Luo X R, Hou B H, Wen M L, et al. CHIM—geoelectrochemical method in search of concealed mineralisation in China and Australia [J]. Chinese Journal of Geochemistry, 2008, 27(2):198 – 202.

& Geochemical Exploration, 2005, 29(5): 401 – 403.

 [7] Hoover D B, Smith D B, Leinz R W. CHIM; an electrogeochemical partial extraction method; an historical overview[R]. U.S. Geological Survey, 1997:1-27.

- [8] 孙彬彬,刘占元,周国华. 地电化学方法技术研究现状 及发展趋势[J]. 物探与化探,2015,39(1):16-21.
 Sun B B, Liu Z Y, Zhou G H. Research status and development trends for geo-electrochemical methods[J].
 Geophysical & Geochemical Exploration, 2015, 39(1): 16-21.
- [9] 满荣浩,罗先熔,易超.地电化学法在鄂尔多斯盆地东 胜地区寻找隐伏铀矿中的应用[J].矿物岩石地球化 学通报,2015,34(5):1007-1013.

Man R H, Luo X R, Yi C. Application of the geoelectrochemical method on prospecting for concealed uranium deposits in the Dongsheng area of the Ordos Basin [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2015, 34(5):1007 - 1013.

[10] 刘攀峰,文美兰,张佳莉.地电化学集成技术在云南
 西邑铅锌矿区的找矿应用[J].物探与化探,2016,40
 (4):655-660.

Liu P F, Wen M L, Zhang J L. The application of geoelectrochemical integrated technology to the prospecting in the Xiyi Pb-Zn deposit, Yunnan Province [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2016, 40(4): 655-660.

- [11] 聂凤莲,艾晓军,逮艳军.地电化学(泡塑)样品中金的预处理[J].黄金科学技术,2007,15(6):52-55.
 Nie F L, Ai X J, Dai Y J. Pretreatment of Au geoelectrical chemical samples (foam)[J]. Gold Science and Technology,2007,15(6):52-55.
- [12] 施意华,杨仲平,黄俭惠,等. ICP MS 测定电吸附找 矿泡塑样品中微量元素[J].光谱学与光谱分析, 2009,29(6):1687-1690.

Shi Y H, Yang Z P, Huang J H, et al. Determination of trace elements in electrical absorption prospecting polyform sample by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2009,29(6):1687-1690.

- [13] 张勤,白金峰,王烨. 地壳全元素配套分析方案及分析质量监控系统[J]. 地学前缘,2012,19(3):33-42.
 Zhang Q, Bai J F, Wang Y. Analytical scheme and quality monitoring system for China geochemical baselines[J].
 Earth Science Frontiers,2012,19(3):33-42.
- [14] 刘亚轩,李晓静,白金峰,等. 植物样品中无机元素分析的样品前处理方法和测定技术[J]. 岩矿测试, 2013,32(5):681-693.

Liu Y X, Li X J, Bai J F, et al. Review on sample pretreatment methods and determination techniques for inorganic elements in plant samples [J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32(5):681-693.

[15] 严洪泽,孙彬彬,徐进力,等.灰化法与微波消解法处理地电化学泡塑样品的分析效果对比研究[J].岩矿测试,2016,35(3):59-66.
Yan H Z, Sun B B, Xu J L, et al. Comparison of ashing and microwave digestion in analyzing geo-electrochemical polyurethane foam samples [J]. Rock and Mineral

Analysis, 2016, 35(3):59 - 66.

- [16] Bednar A J, Jones W T, Chappell M A, et al. A modified acid digestion procedure for extraction of tungsten from soil[J]. Talanta, 2010, 80(3):1257 - 1263.
- [17] 胡艳巧,程文翠,支云川,等.四酸溶矿-电感耦合等 离子体发射光谱法测定铬铁矿中多种元素[J].分析 试验室,2016,35(11):1312-1316.
 Hu Y Q, Cheng W C, Zhi Y C, et al. Simultaneous determination of 11 elements in chromites by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry with HCl – HNO₃ – HF – HClO₄ digestion method [J]. Chinese Journal of Analysis Laboratory, 2016, 35(11):1312 – 1316.
- [18] 马生凤,温宏利,马新荣,等.四酸溶样 电感耦合等 离子体原子发射光谱法测定铁、铜、锌、铅等硫化物矿 石中22个元素[J].矿物岩石地球化学通报,2011,30
 (1):65-72.

Ma S F, Wen H L, Ma X R, et al. Determination of 22 elements in iron, copper, zinc, and lead sulphide ores by ICP-AES with four acids digestion [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2011, 30(1):65 – 72.

[19] 李晓辉,王亮.内蒙古自治区东乌珠穆沁旗洛恪顿铅 锌多金属矿详查年度总结报告[R].赤峰:内蒙古赤 峰地质矿产勘查开发院,2013.
Li X H, Wang L. Detailed Survey Annual Summary Report of Luokedun Pb-Zn Polymetallic Deposit in Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia [R]. Chifeng: Chifeng Mineral Resources Exploration and Development Institute

of Inner Mongolia, 2013.

- [20] 徐立权,陈志勇,陈郑辉,等.内蒙古东乌旗朝不楞铁 矿区中粗粒花岗岩 SHRIMP 定年及其意义[J].矿床 地质,2010,29(2):317-322.
 Xu L Q, Chen Z Y, Chen Z H, et al. SHRIMP dating of medium-coarse-grained granite in Chaobuleng iron deposit, Dong Ujimqin Banner, Inner Mongolia [J].
- Mineral Deposits,2010,29(2):317-322.
 [21] 孙彬彬,刘占元,周国华. 固体载体型元素提取器研制[J]. 物探与化探,2011,35(3):375-378.
 Sun B B, Liu Z Y, Zhou G H. The development of the

solid carrier elements extractor [J]. Geophysical & Geochemical Exploration,2011,35(3):375-378.

[22] 钱建平,黄德阳,谢彪武,等.西藏谢通门县斯弄多铅 锌矿区矿床地质特征和构造地球化学找矿研究[J]. 大地构造与成矿学,2013,37(1):29-41.

> Qian J P, Huang D Y, Xie B W, et al. Study on geology and tectono-geochemistry of the Silongduo lead-zinc deposit in Xietongmen country, Tibet[J]. Geotectonica et Metallogenia, 2013, 37(1):29-41.

 [23] 胡剑辉,吉蕴生,曾志钢,等.新疆萨热克铜矿床地球 化学异常评价研究[J]. 矿产勘查,2014,5(2): 281-292.

Hu J H, Ji Y S, Zeng Z G, et al. Evaluation of geochemical anomalies of the Sareke copper deposit in Xinjiang [J]. Mineral Exploration, 2014, 5 (2): 281-292.

 [24] 赵斌,陈志兵,董丽.氢化物发生 - 原子荧光光谱法 测定植物样品中汞硒砷[J].岩矿测试,2010,29(3): 319-321.

> Zhao B, Chen Z B, Dong L. Determination of Hg, Se and As in plant samples by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis, 2010, 29(3): 319 – 321.

[25] 程志中,王学求,胡忠贤,等.森林沼泽区富含有机质样品中金的存在形式及对分析的影响[J].物探与化探,2004,28(3):206-208.
 Cheng Z Z, Wang X Q, Hu Z X, et al. Modes of

occurrence of gold in samples rich in organic matter from forest-swamp areas and their influence upon analysis [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2004, 28 (3):206-208.

- [26] 贺攀红,杨珍,荣耀,等. 氢化物发生-电感耦合等离子体发射光谱法测定铀矿地质样品中痕量硒[J]. 岩矿测试,2016,35(2):139-144.
 He P H, Yang Z, Rong Y, et al. Determination of trace selenium in uranium-bearing geological samples by hydride generation-inductively coupled plasma-optimal emission spectrometry[J]. Rock and Mineral Analysis, 2016,35(2):139-144.
- [27] 李自强,李小英,钟琦,等. 电感耦合等离子体质谱法 测定土壤重金属普查样品中铬铜镉铅的关键环节研 究[J]. 岩矿测试,2016,35(1):37-41.
 Li Z Q,Li X Y,Zhong Q, et al. Determination of Cr,Cu, Cd and Pb in soil samples by inductively coupled plasma-mass spectrometry for an investigation of heavy metal pollution[J]. Rock and Mineral Analysis,2016,35 (1):37-41.
- [28] 孙彬彬,张学君,周国华,等.地电化学泡塑载体分析 质量监控预研究[J].物探与化探,2016,40(3): 557-560.

Sun B B, Zhang X J, Zhou G H, et al. Pre-research on analytical quality monitoring for geo-electrochemical foam carrier [J]. Geophysical & Geochemical Exploration, 2016,40(3):557 – 560.

Study on the Availability of Wet Chemical Digestion of Geoelectrochemical Polyurethane Foam Samples

YAN Hong-ze^{1,2,3}, CHEN Hai-jie^{1,2}, SUN Bin-bin^{1,2}*, ZHOU Guo-hua^{1,2}, HE Ling^{1,2}, LIU Yin-fei^{1,2,3}, WANG Teng-yun^{1,2,3}

- Key Laboratory of Geochemical Exploration, Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China;
- 2. International Center on Global-scale Geochemistry, United Nations Educational Scientific and Cultural Organization, Langfang 065000, China;
- 3. School of Earth Sciences and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Highlights

- The system of nitric acid-perchloric acid-aqua regia is attempted to decompose the geo-electrochemical polyurethane foam samples.
- · The adverse factors such as explosion is avoided when using perchloric acid to dissolve foam samples.
- The pretreatment method of geo-electrochemical polyurethane foam samples is evaluated based on the exploration effect.

Abstract: As the pretreatment methods in analyzing geo-electrochemical polyurethane foam samples, ashing and microwave digestion methods are suitable for determination of most elements. Both methods have their disadvantages. The ashing method may cause volatilization loss of some elements (e.g. Hg, As) under high temperature, whereas issues about sample representation and detection limit exist in the microwave digestion method because of the small amount of sample (0, 1 g). Wet chemical digestion is a traditional pretreatment method, which is widely used in the pretreatment of various geochemical samples and has the advantages of complete digestion, low element loss and good sample representation. However, because of the problems of explosion and acid blank during digestion of polyurethane foam (organic) samples, this method has not been used in pretreatment of geo-electrochemical foam samples. For this study a geo-electrochemical exploration line in Luokedun hydrothermal lead-zinc polymetallic deposit in Inner Mongolia was selected as the research subject. 20 mL of Nitric acid, 5 mL of perchloric acid, and 5 mL of aqua regia were used to digest 0.5 g foam samples. The contents of some related elements were determined by High-resolution Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry (HR-ICP-MS) and Atomic Fluorescence Spectrometry (AFS). Results show that contents of the foam blank are relatively low for most elements, and the geochemical profiles show good anomalies. It is suggested that wet digestion is feasible in the analysis of geo-electrochemical polyurethane foam samples, and could be used widely in the future.

Key words: geo-electrochemistry; polyurethane foam samples; wet digestion; Hydride Generation-Atomic Fluorescence Spectrometry; High-resolution Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry