

doi: 10.11720/wtyht.2021.1090

朱丽芬, 骆检兰, 鲁江, 等. 酶提取法在万古金矿区试点研究[J]. 物探与化探, 2021, 45(3): 669-678. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1090>  
Zhu L F, Luo J L, Lu J, et al. Pilot study on enzyme extraction method in Wangu gold mining area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(3): 669-678. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2021.1090>

# 酶提取法在万古金矿区试点研究

朱丽芬, 骆检兰, 鲁江, 王欢欢, 刘汉军

(湖南省地球物理地球化学勘查院, 湖南 长沙 410116)

**摘要:** 为探讨适应我国南方潮湿环境的深穿透地球化学找矿方法, 在酶提取方法基础上调整部分实验参数, 形成了一套非晶质锰吸附解析法室内及室外操作流程。选择万古金矿区 505 号剖面开展方法有效性验证, 与传统土壤王水溶矿测试、岩石测量等方法进行对比研究, 结果显示, 非晶质锰吸附解析法可以在隐伏矿上方有效地发现异常, -100 目样品中浸出率呈现  $Cl > Br > I > Au > Ag > Sb > As$  的特征, 且该方法检测出的 Au、Sb 异常敏锐度高于土壤全量测量, 并与岩石测量异常契合度较高。

**关键词:** 非晶质锰吸附解析法; 酶提取法; 隐伏矿; 万古金矿

**中图分类号:** P595      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2021)03-0669-10

## 0 引言

随着找矿的重点向深部转移, 一系列深部找矿地球化学方法诞生, 例如以土壤为采样介质的选择性提取方法<sup>[1]</sup>等深穿透地球化学方法。其中, 酶提取法 (enzyme leaching) 由美国地调所 Clark 于 20 世纪 90 年代研制出, 该方法主要利用葡萄糖氧化酶提取矿物颗粒表面的非晶质锰的氧化膜以寻找隐伏矿<sup>[2-5]</sup>。酶提取法在国外已有许多成功案例, 尤其在寻找 1 000 m 以内的硫化物矿床和贵金属矿床方面有很好的效果, 但该方法在国内成功的实例不多, 许多关键技术还有待攻克, 如标准的操作规程和完善的分析质量监控系统<sup>[6-7]</sup>。本课题主要通过对比酶提取法部分实验试剂用量及实验条件、样品条件等进行调整, 调整后的方法称为非晶质锰吸附解析法, 通过对湖南万古金矿区进行方法有效性验证, 探索针对我国南方温湿条件下的硫化物矿床行之有效的深部找矿工作方法, 为该区域寻找隐伏矿提供帮助。

## 1 方法基本原理

深部矿体中的成矿元素通过不同的途径能够穿透基岩层和厚层沉积覆盖到达地表。非晶质锰吸附解吸法与酶提取法方法基本原理一致, 均是利用酶提取矿物颗粒表面的非晶质锰的氧化膜来寻找隐伏矿体。该方法是要确定某种微量元素运移到表层中的含量, 而不是表层样品中该元素的总量。通过酶来催化糖、氧与水反应产生的少量过氧化氢, 化学反应如下:  $MnO_2 + H_2O_2 + 2H_2^+ \rightarrow Mn^{2+} + O_2(aq) + 2H_2O$ , 非晶质铁锰氧化物将捕获的痕量元素释放出来, 而结晶质的氧化锰只起很弱的化学反应<sup>[8]</sup>。该方法最大的优点是生成的痕量过氧化氢能够选择性溶解土壤中的非晶质二氧化锰, 当所有非晶质二氧化锰都已反应, 酶的作用也就停止, 不会进一步去溶解晶质铁锰氧化物, 从而提高了异常的可靠程度<sup>[9]</sup>。

## 2 地质概况

研究区位于湖南省岳阳市平江县城南约 8 km

收稿日期: 2020-02-25; 修回日期: 2021-01-22

基金项目: 湖南省科研计划项目

第一作者: 朱丽芬(1988-), 女, 2013 年毕业于中国科学院大学, 硕士研究生, 主要从事勘查地球化学方面的研究工作。Email: 411523364@

qq.com

处的万古金矿区内,万古金矿是湖南省地质矿产勘查开发局四〇二队于 1991~1995 年新发现并完成普查评价的一个中(大)型金矿床,在其外围仍显示出良好的找矿前景,具重要开采价值,1996 年以来,已部分开采利用,社会经济效益显著。

万古金矿是湘东北赋存于冷家溪群内的典型矿区,地处湘东北、扬子准地台南缘、江南地轴中部湘东台拱之幕阜山—望湘隆起带中,处于扬子板块与华南板块的会聚碰撞带上,具有良好的成矿地质条件。矿区及周边出露地层有中元古界冷家溪群、中生界白垩系及新生界第四系<sup>[10]</sup>。区域构造有近 EW 向和 NE 向两组,NE 向断裂为主要控矿构造,含矿构造是低次序的 NWW 向扩容断裂构造<sup>[11]</sup>。据

1:20 万及 1:5 万水系沉积物及金属量测量结果显示,区域单(多)元素异常较多(188 个),其中 Cu、Pb、Zn、Au、Ag、W、Co 为万古金矿区主要的成矿元素,其异常具有寻找相应矿产的直接指示意义,Au、Sb、As 等元素的富集场与金矿化关系密切。本区冷家溪群中金的含量普遍较高,岩石中以黄金洞—九岭一带含金最高,强度最高可达  $400 \times 10^{-9}$ 。地层中金含量与硫含量呈正相关关系,在冷家溪群第四岩组内,由下至上,金含量逐渐增高,而上部地层中硫化物含量也较高。坪原组第二、第三岩性段中黄铁矿含量分别高出第一岩性段的 8 倍和 10 倍,且第二岩性段中含有十分丰富的毒砂,其数量远超第一、第三岩性段。

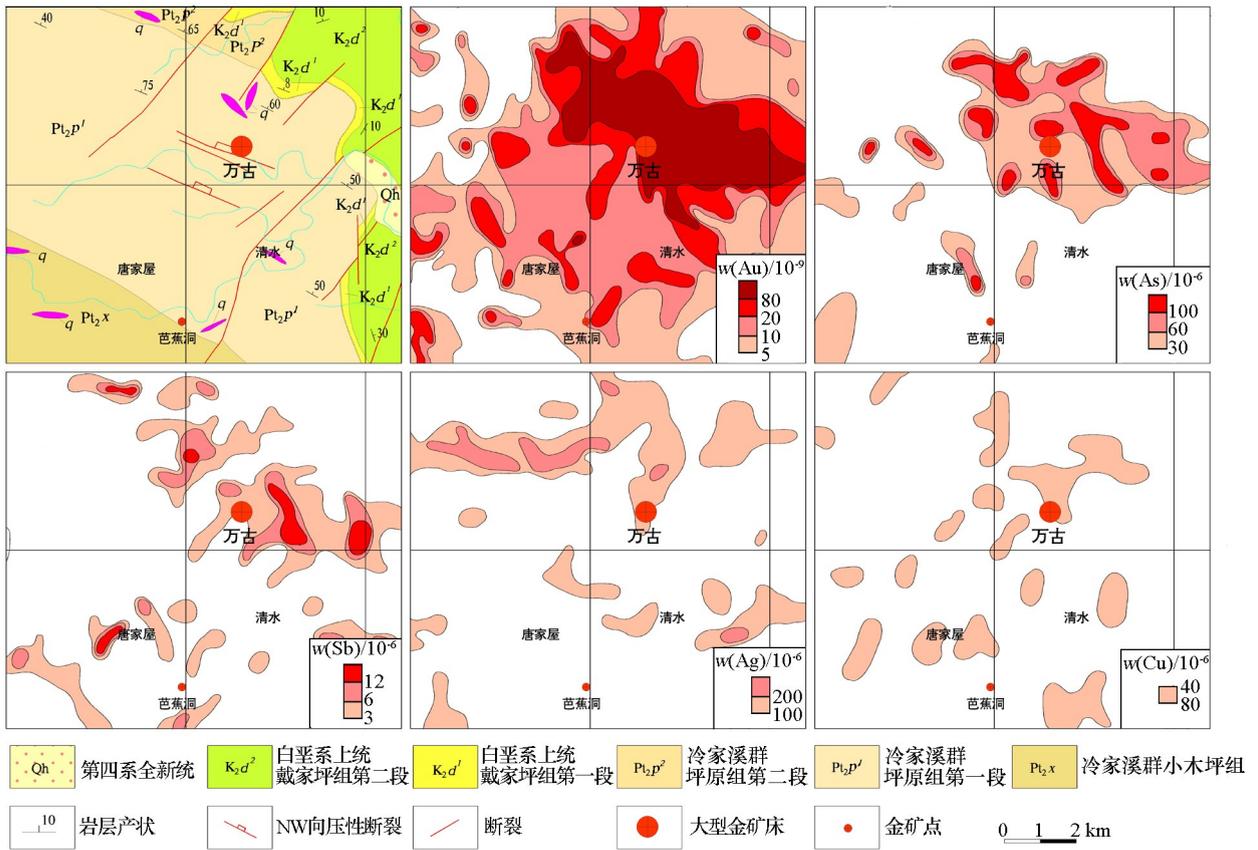


图 1 万古金矿区 1:5 万地球化学异常剖析

Fig.1 1:50 000 geochemical anomaly analysis map of Wangu gold mining area

### 3 试验样品采集及分析测试

#### 3.1 样品布设与采集

本文选择了万古金矿区童源—和尚坡矿段金矿 505 号剖面线进行可行性试验,由已知到未知,探索非晶质锰吸附解析法方法效果。在此次对比试验中,使用了两种深穿透地球化学方法——非晶质锰

吸附解析法及地电化学方法。布设剖面长度共 640 m,土壤样品间距 20 m/样(图 2)。

结合研究区土层特征,土壤样品采集深度为地表至地表下 30~40 cm 之间的 B 层土壤,土壤样品原始质量不低于 1 000 g。样品采集后,装入写有编号的干净布样袋中,并套上专用聚乙烯塑料袋,以免样品间相互污染。在样品制样过程中,将装在布袋中的样品自然风干,在干燥过程中及时揉搓样品,以

免胶结成块。干燥后的样品用木槌适当敲打,以便使土壤样品恢复至自然粒级状态。样品干燥后,用 20 目尼龙筛进行干筛,将筛上部分弃去,取筛下部分(小于 20 目)样品,确保样质量大于或等于 500 g。样品一式两份分装,在低温电烤箱内控制在 35℃ 以

下烘干,其中一份采用多头玛瑙磨样机细磨加工至 200 目粒度,做常规王水溶矿元素全量分析;另一份采用木质目筛及木质碾磨棒细磨,加工至-100 目粒径,做非晶质锰吸附解吸实分析。

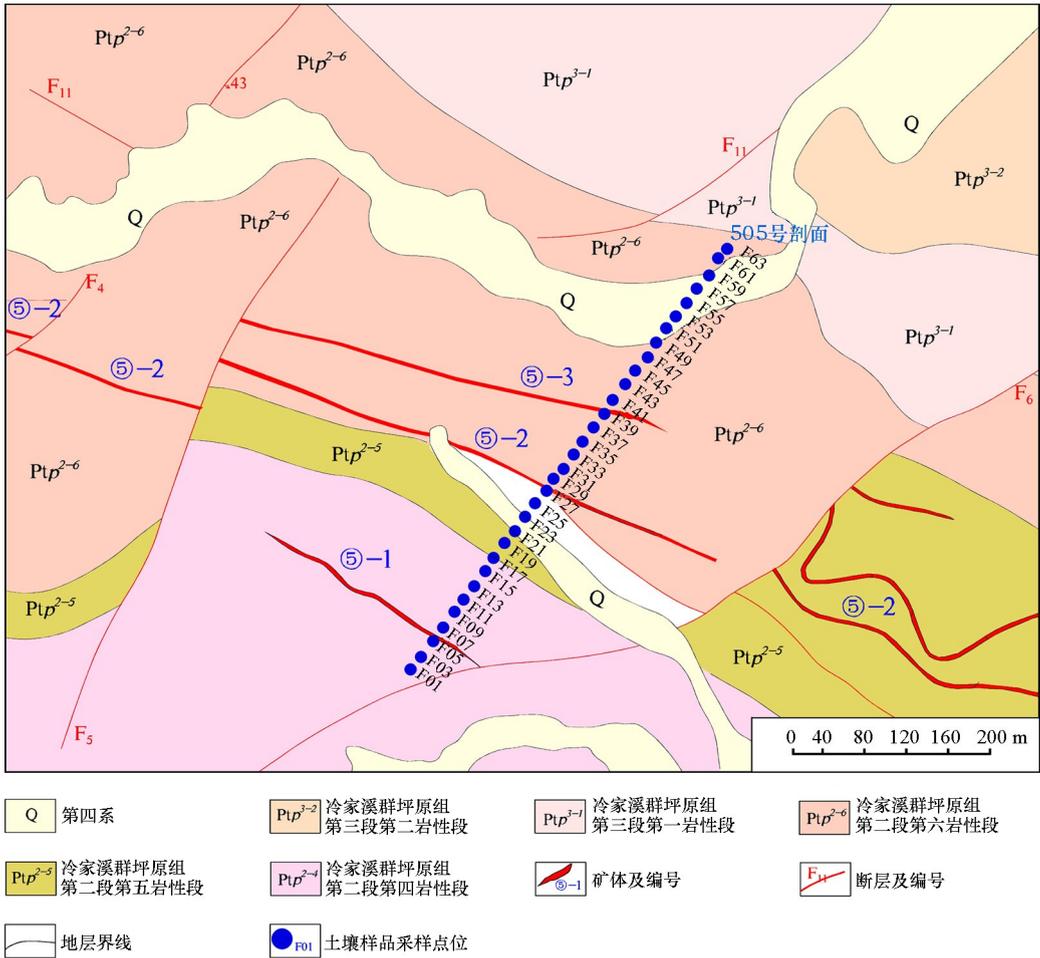


图 2 505 号剖面线样品采集实际点位分布

Fig.2 Soil sample collection point distribution map

### 3.2 样品分析测试

非晶质锰吸附解吸方法实验在参考 Clark 酶提取方法及前人的选择性提取方法实验的成功经验基础上<sup>[12-19]</sup>,在样品粒径、酶制剂活性浓度及用量上有所调整。实验在中国科学院亚热带农业生态研究所超净实验室进行。为保证酶活性及制剂浓度达到实验要求,涉及的操作流程为:相关器皿灭菌→土壤样品制备(土壤样品 35℃ 条件下干燥 24 h 后,使用木质碾磨棒制备-100 目样品)→无菌条件下配制浓度为 1 190 单位/mL 的酶溶液→配制浓度为 0.01 g/mL 的右旋葡萄糖溶液→电子天平称量 1 g 土壤样品与 0.1 mL 酶溶液及 15 mL 葡萄糖溶液充分混合→37℃ 条件下恒温震荡 2 h→2 000 rpm 离心操作 15

min→上清液提取→上清液中加入浓硝酸及甲醛防止微生物反应→ICP-MS 分析。

在器皿灭菌过程中,器皿放入高压灭菌锅灭菌处理 30 min 后,再放入恒温干燥箱中干燥 3 h 取出,将离心管加盖旋紧,防止微生物污染。量筒、玻璃棒、容量瓶采用双蒸水清洗后,倒挂通风橱中风干。在溶液配制过程中,采用浓度为 23 800 单位/g 的葡萄糖氧化酶粉末,制备的葡萄糖氧化酶的溶液浓度为 1 190 单位/mL,实验过程中该溶液当次使用当次配制。在样品测试过程中,样品方法检出限如下: Au 为 0.0002 μg/mL, As 为 0.2 μg/mL, Sb 为 0.03 μg/mL, Ag 为 0.01 μg/mL, Cl 为 5 μg/mL, Br 为 0.3 μg/mL, I 为 0.2 μg/mL。

土壤样品采用常规王水溶矿方法<sup>[20]</sup>,所有样品采用 ICP-MS 分析。

### 4 非晶质锰吸附解析法实验结果

#### 4.1 试验剖面特征

505 号试验剖面总长 640 m,从南至北地表剖面经过⑤-1、⑤-2、⑤-3 号已知金矿脉,剖面下部有这 3 条隐伏的金矿脉通过。3 条矿脉近平行产出,最长约 1 400 m,走向 NWW,倾向 NNE,倾角较缓,一般为 30°~45°(图 3)。3 条矿脉特征相似,厚 0.30~1.67 m,由破碎(含)粉砂质板岩、构造角砾岩、石英脉及断层泥组成<sup>[21]</sup>,主要蚀变有黄铁矿化、毒砂化、硅化、绢云母化、褐铁矿化,具弱碳酸盐化,破碎带中见退色现象。区内植被发育,土壤覆盖较厚,土壤为黄壤,植物根系发育较少,土质松软,较湿润,岩石风化强烈,半风化层可以见到细小石英脉。

#### 4.2 提取液中元素地球化学特征

F05、F25、F39~F41 点分别位于⑤-1、⑤-2、⑤-3

三条金矿脉上方,剖面上检测出清晰的地球化学综合异常(图 3)。Au、Sb、As 套合和分带关系较好,表现为剖面中上升及下降变化趋势具有高度一致性。Au 的异常峰值总体在矿脉地表上方东北侧地段出现,且 Au、Sb、As、Ag 均在 F05、F25 及 F45 点附近出现异常峰值,对应埋深分别为 26 m 左右的⑤-3 号矿脉、165 m 左右的⑤-2 号矿脉及埋深为 250 m 左右的⑤-1 号矿脉深部隐伏矿体。Cl、Br、I 总体升降变化趋势大体相似,在⑤-1 及⑤-2 矿脉地表及其两侧地段总体呈现出负异常的特征。

对样品提取液中元素含量进行相关分析(表 1),样品中 Au 与 Sb、As 均呈显著正相关关系,Sb 与 Br、I 均呈显著负相关关系,非晶质锰吸附解析法提取元素异常直观地反映了⑤-1、⑤-2、⑤-3 号矿脉 505 号剖面的地球化学性质,清晰地显示了元素的亲和性,说明该方法适合于万古矿区外围寻找同类型矿床。

表 1 非晶质锰吸附解析法-100 目样品提取液中元素含量相关性分析特征

Tabel 1 Correlation analysis of element content in -100 mesh sample extraction solution of amorphous manganese adsorption analysis method

元素	Au	Sb	As	Ag	Cl	Br	I
Au	1	0.614**	0.362*	0.057	0.096	-0.211	-0.306
Sb		1	0.701**	0.091	-0.006	-0.437*	-0.507**
As			1	0.203	-0.036	-0.236	-0.298
Ag				1	-0.174	-0.195	0.303
Cl					1	0.348	-0.328
Br						1	0.29
I							1

注:“\*\*”表示在 0.01 水平(双侧)上显著相关;“\*”表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关。

### 5 不同方法对隐伏金矿指示效果对比

为研究非晶质锰吸附解析法与传统地球化学探矿方法的区别,本文将非晶质锰吸附解析法、地电化学方法与传统的土壤全量测量、岩石测量结果进行对比。

#### 5.1 非晶质锰吸附解析法浸出率特征

将非晶质锰吸附解析法土壤样品提取物中元素含量与土壤王水溶矿方法析出的元素含量比值称之为浸出率。对比发现,土壤样品中不同元素的浸出率不同(表 2),Au、Sb、As、Ag 浸出率呈现 Au>Ag>Sb>As 的特征;Cl、Br、I 浸出率均高于 Au、Sb、As,浸出率呈现 Cl>Br>I 的特征。对于万古金矿区的

样本来说,通过计算浸出率证实非晶质锰吸附解析法提取能引起极低水平的基质分解,高度分离性是该方法最主要的特征之一。

#### 5.2 Au、As、Sb 等元素异常对比特征

图 4 为 3 种方法 Au 含量对比结果。岩石测量中在 Y10 点(对应 F27 点)及 Y12~Y13 点(对应 F33~F37 点)附近地段出现异常。Y10、Y12 及 Y13 测量点附近存在矿化,矿化类型为蚀变破碎带金矿化,Y10、Y13 样品为硅化碎裂板岩,Y12 样品为石英脉。土壤全量分析结果显示,Au 在 F13、F29、F35 及 F45 出现异常峰值,这些异常均与矿脉地表上方没有直接的对应关系,而是向矿脉隐伏东北方向横向迁移。非晶质锰吸附解析法中采用-100 目提取结果进行对比,异常峰值与矿体地表对应关系不明显,

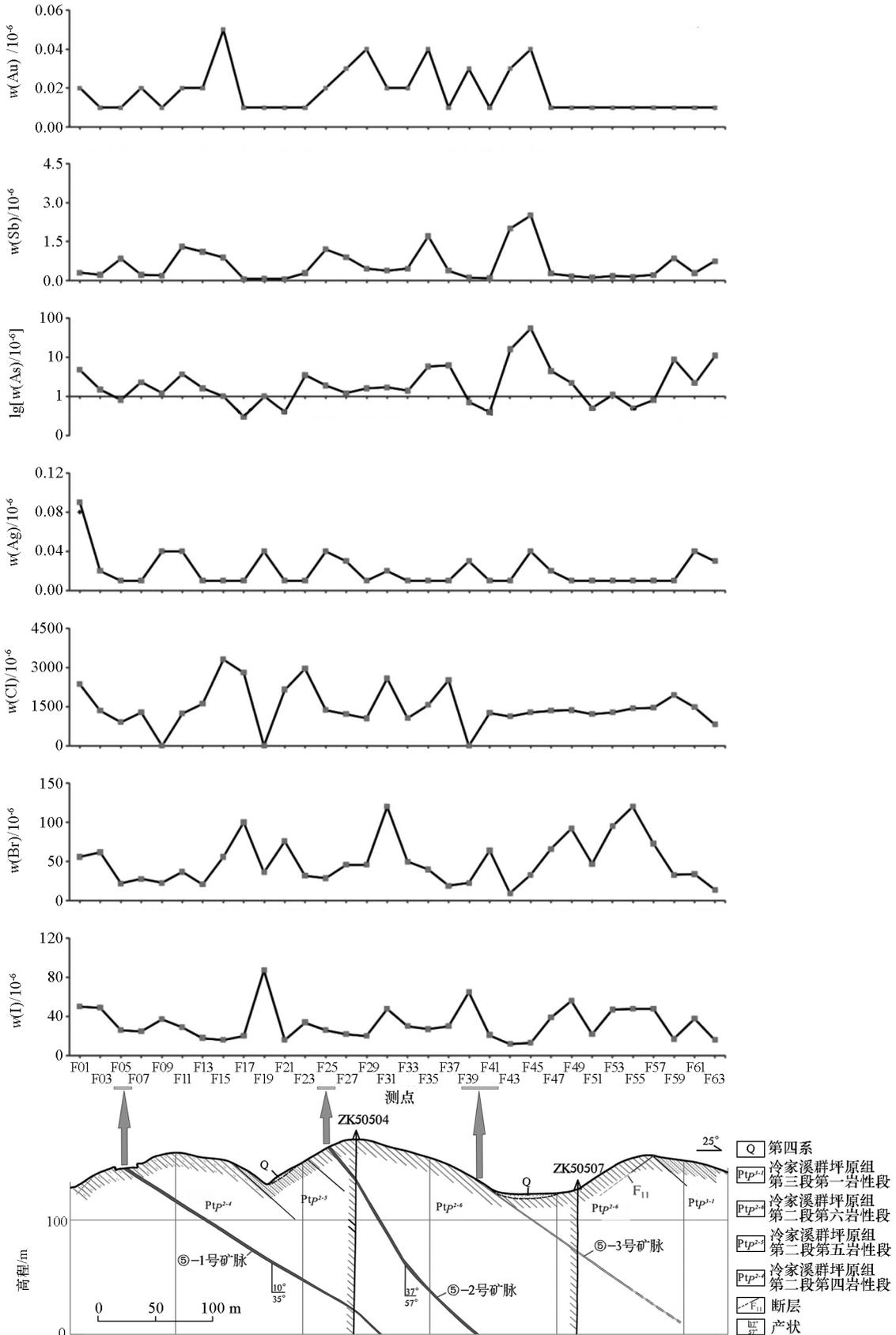


图 3 非晶质锰吸附解析法提取液中元素含量特征

Fig.3 Characteristic diagram of element content in extraction solution of amorphous manganese adsorption

表 2 浸出率特征统计

Table 2 Leaching rate characteristics statistics

指标	极小值/%	极大值/%	均值/%	中值/%	标准差/%
$w_{Au,-100目}/w_{Au,全量}$	0.0901	2.2523	0.4068	0.3109	0.3961
$w_{Sb,-100目}/w_{Sb,全量}$	0.0008	0.1008	0.0180	0.0068	0.0241
$w_{As,-100目}/w_{As,全量}$	0.0007	0.1101	0.0134	0.0054	0.0221
$w_{Ag,-100目}/w_{Ag,全量}$	0.0025	0.1268	0.0205	0.0087	0.0267
$w_{Cl,-100目}/w_{Cl,全量}$	1.4934	9.0437	4.1473	3.6416	1.7204
$w_{Br,-100目}/w_{Br,全量}$	0.3729	3.2258	1.1876	1.0000	0.7089
$w_{I,-100目}/w_{I,全量}$	0.2375	2.3636	0.8319	0.7500	0.5110

注：“指标”一列中分子为非晶质锰吸附解析法提取物中元素含量，分母为土壤王水溶矿方法析出的元素含量，比率为浸出率。

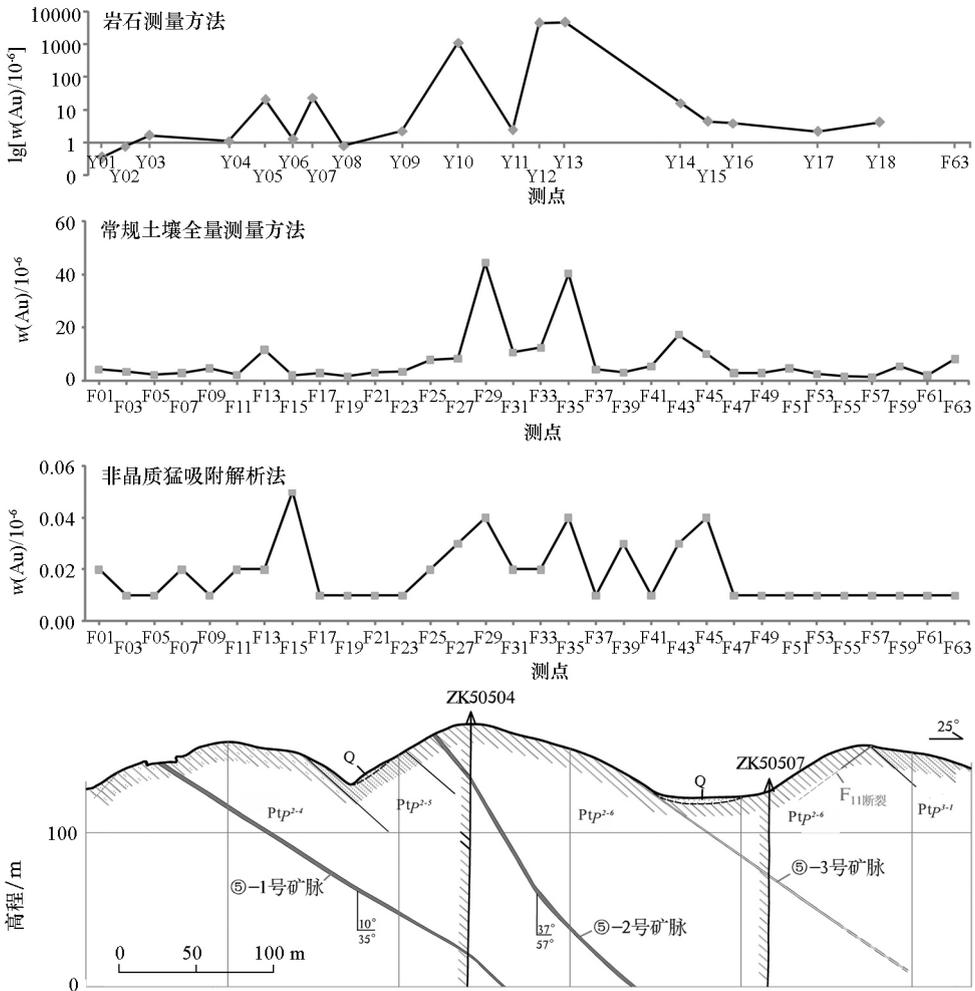


图 4 不同方法 Au 含量特征对比(图例同图 3)

Fig.4 Comparison chart of Au content in different methods(the legend is the same as Fig.3)

但却表现出向矿体隐伏 EN 向迁移的特征,该特征与土壤全量测量特征一致。

图 5 为 As 含量对比结果。岩石测量中在 Y05 (对应 F13 点)及 Y10~Y14(F27~F45) 地段出现异常, Y10-Y14 异常范围跨⑤-2、⑤-3 两条矿脉,异常强度高。土壤全量分析结果显示,在 F23、F35 点出现两处异常, F23 点的异常与矿脉对应,而 F35 点的异常与矿脉对应关系不明显。非晶质锰吸附解析法

提取后,仅在 F45 点出现异常,该点位于⑤-3 脉东北侧 60 m 左右,异常出现向脉体东北侧迁移的特征。而在 F45 点及其附近地段,土壤全量分析未检测到异常。通过 3 种方法对比发现,非晶质锰吸附解析法对于 As 的敏锐度弱于其他两种测量方法。

图 6 为 Sb 含量对比结果。岩石测量 Sb 异常集中在 Y05~Y13(对应 F13~F35 点)地段。土壤全量测量中 Sb 在 F05、F31、F51 点出现异常,尤其 F31

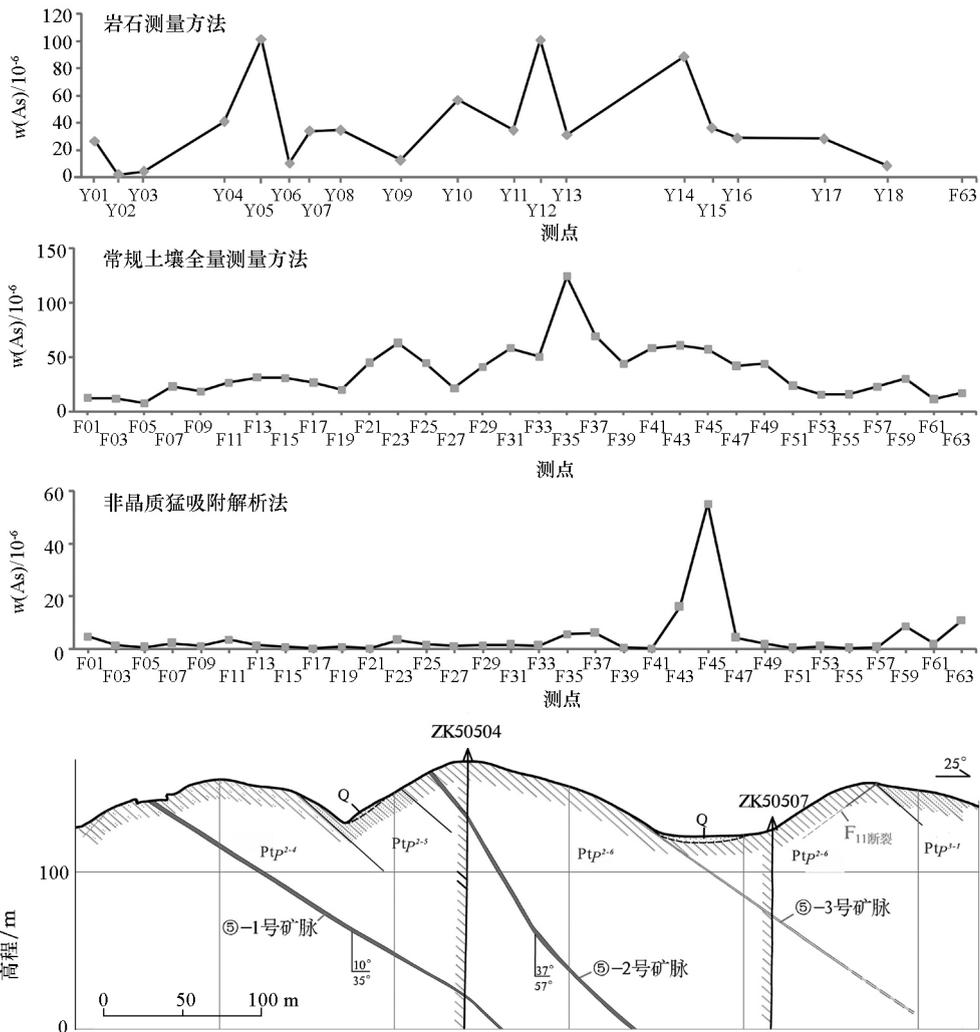


图5 不同方法 As 含量特征对比(图例同图3)

Fig.5 Comparison chart of As content in different methods(the legend is the same as Fig.3)

点处异常峰值高,异常点均位于矿脉地表东北侧地段,异常存在向矿脉隐伏东北侧迁移的趋势。非晶质锰吸附解析法提取后,出现5处Sb异常,异常点F05、F25与⑤-1、⑤-2脉对应关系较好,F35及F45地段出现的异常位于⑤-2脉两侧。对比以上3种方法,非晶质锰吸附解析法方法对Sb的检测与岩石测量契合度较高,对Sb的含量变化敏锐度大于土壤全量分析。

### 5.3 非晶质锰吸附解析法与传统方法效果对比

综合Au、As、Sb含量剖面图可以看出,传统地球化学方法获得的异常在垂直关系上与矿体没有明显的对应关系,而非晶质锰吸附解析法检测的异常与矿体在垂向上有一定对应关系,与矿体水平投影位置相差不大,且多位于矿体的隐伏东北侧地段。

非晶质锰吸附解析法与岩石测量、土壤全量分析不仅在剖面形态上有差别,在数理分析上也有不同。对这3种方法进行聚类分析,从图7可以看出

各种方法的相关性十分显著地分开或者合并。以阈值20为分类标准,这3种方法属于2个大类,其中第1大类具有明显的热证,这说明非晶质锰吸附解析法与土壤全量测量及岩石测量相关性强。

非晶质锰吸附解析法能够检测B层土壤以及盲矿床上方极度微细的地球化学异常。传统的部分提取方法仅需要提供表层土壤的部分结构,便可像王水提取ICP一样,从硫化物、氧化物以及硅酸盐中提取金属,而非晶质锰吸附解析法技术可以检测出因元素通过各种机制向表层移动而向土壤中添加的微量元素特征。非晶质混合氧化物表层微量可长期收集阳离子、阴离子与两极分子的通量,有选择性地非晶质二氧化锰从表层中去除,氧化物表层会出现崩塌,释放圈闭的微量元素。因此,非晶质锰吸附解析法技术可以在不溶解表层主要成分的情况下,提供检测地下盲矿床微细特征的有效方法。

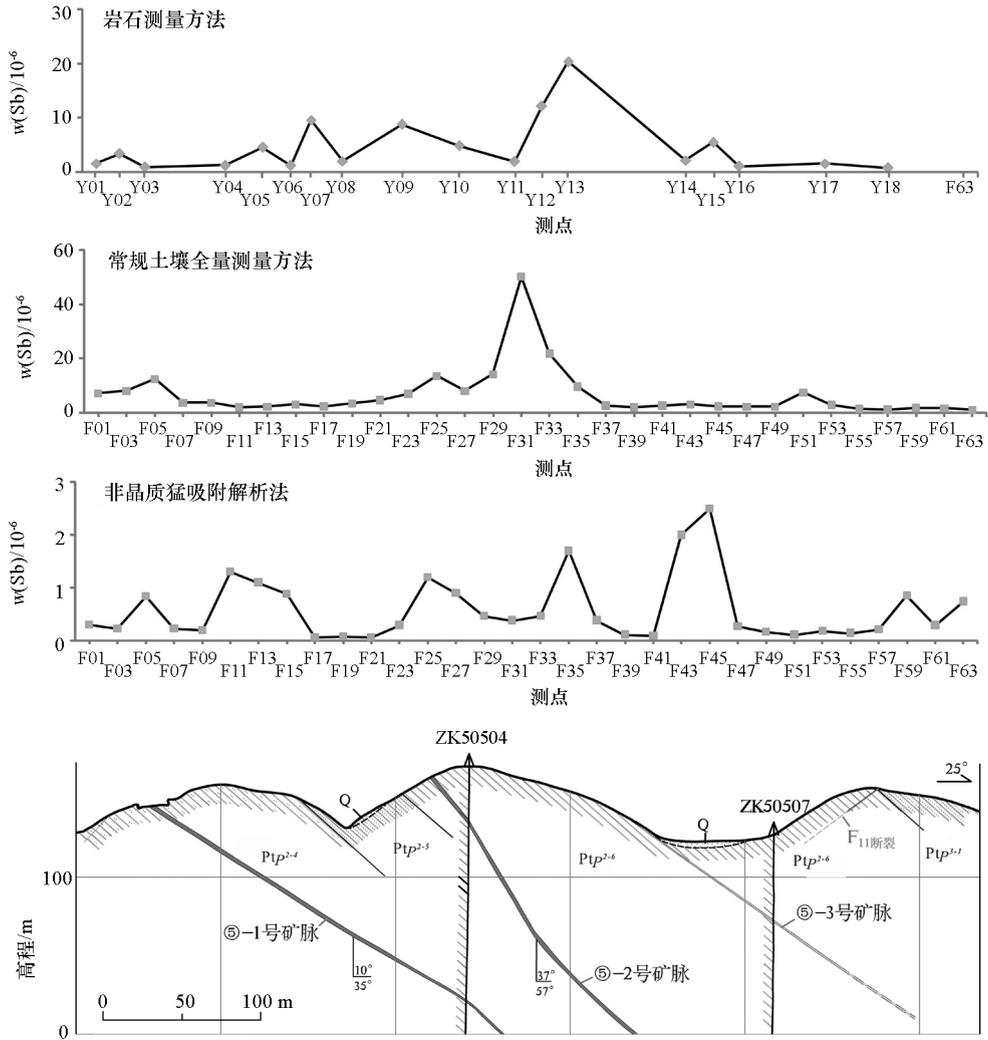


图 6 不同方法 Sb 含量特征对比(图例同图 3)

Fig.6 Comparison chart of Sb content in different methods(the legend is the same as Fig.3)

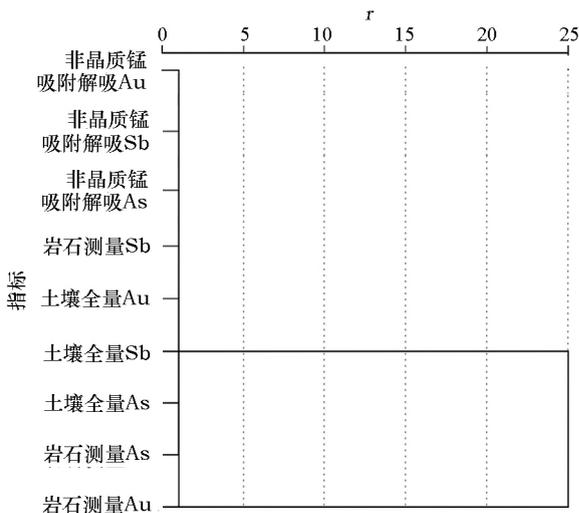


图 7 505 号线 3 种不同方法聚类分析谱系

Fig.7 Cluster analysis of line 505 with four different methods

## 6 结论与讨论

1) 本次实验初步形成了一套完整的操作流程。将非晶质锰吸附解析方法应用于万古矿区 505 号剖面 B 层土壤-100 目样品,可以有效地发现异常,证实该方法有效、可行。

2) -100 目样品中浸出率呈现  $Cl > Br > I > Au > Ag > Sb > As$  的特征。通过计算非晶质锰吸附解析法与土壤王水可提取微量元素的比例,证实前者提取能引起极低水平的基质分解。非晶质锰吸附解析法的高度分离性是该方法最主要的特征之一。

3) 通过对万古矿区 505 号剖面非晶质锰吸附解析法试验、土壤全量分析及岩石测量等 3 种方法对比,认为 505 号线土壤元素以非晶质锰氧化物形式存在的比例较高,非晶质锰吸附解析法提取获得的元素异常分布形态与土壤全量异常分布形态相

似,且与矿体在垂向上有一定的对应关系,对隐伏矿指示效果良好,且该方法对 Au 异常的敏锐度大于其他几种方法,但对 As 异常的敏锐度小于其他几种方法,多个元素异常呈现向矿体隐伏东北侧迁移的趋势。

### 参考文献 (References):

- [1] 王学求,张必敏,刘雪敏. 纳米地球化学:穿透覆盖层的地球化学勘查[J]. 地学前缘, 2012, 19(3): 101-112.  
Wang X Q, Zhang B M, Liu X M. Nanoeochemistry: Deep-penetrating geochemical exploration through cover[J]. Earth Science Frontiers, 2012, 19(3): 101-112.
- [2] 王学求,刘占元,白金峰,等. 深穿透地球化学对比研究两例[J]. 物探化探计算技术, 2005, 27(3): 250-255, 183.  
Wang X Q, Liu Z Y, Bai J F, et al. Deep-penetration geochemistry-comparison studies of two concealed deposits[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2005, 27(3): 250-255, 183.
- [3] 丁汝福. 国内外寻找隐伏矿化探新方法研究进展[J]. 地质与勘探, 1999, 35(2): 32-36.  
Ding R F. Research progress on new methods for geochemical exploration of hidden ore in China and abroad [J]. Geology and Exploration, 1999, 35(2): 32-36.
- [4] Clark J R, Kiddle G. Enzyme leaching of surficial geochemical samples of detecting hydromorphic trace-element anomalies as associated with pre-cious-metal mineralized bedrock buried beneath glaciad overburden in northern Minnesota[J]. Society of Mining Engineers, 1990, 19: 189-207.
- [5] Clark J R. Detection of bedrock-related geochemical anomalies at the surface of transported overburden[J]. Explore: Newsletter of the Association of Applied Geochemists, 1992, 76(1): 4-11.
- [6] 徐洋. 覆盖区隐伏矿地球化学弱信息提取技术研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2015.  
Xu Y. The geochemical methods to extract the weak geochemical signals from concealed deposits[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2015.
- [7] 汪明启. 地球化学弱信息提取技术研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2003.  
Wang M Q. The geochemical technique to extract the weak signal from mineralizations in overburden Area[D]. Beijing: China University of Geosciences(Beijing), 2003.
- [8] Williams T M, Gunn A G. Application of enzyme leach soil analysis for epithermal gold exploration in the Andes of Ecuador[J]. Applied Geochemistry, 2002, 17(4): 367-385.
- [9] 蒋永建,魏俊浩,周京仁,等. 勘查地球化学新方法在矿产勘查中的应用及其地质效果[J]. 物探与化探, 2010, 34(2): 134-138.  
Jiang Y J, Wei J H, Zhou J R, et al. The application of new geochemical exploration methods to mineral exploration and its geological effect[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(2): 134-138.
- [10] 邓会娟,夏浩东,息朝庄,等. 湖南平江童源一和尚坡金矿区成矿流体地球化学特征[J]. 矿物学报, 2013, 33(4): 691-697.  
Deng H J, Xia H D, Xi C Z, et al. Geochemical characteristics of ore-forming fluids for Tongyuan-Heshangpo gold deposit, Pingjiang County, Hunan Province[J]. Acta Mineralogica Sinica, 2013, 33(4): 691-697.
- [11] 袁兰陵,季玮. 湖南万古金矿地质地球化学特征及其成因探讨[J]. 华南地质与矿产, 2008(3): 22-28, 67.  
Yuan L L, Ji W. Geochemistry and its genesis of Wangu gold deposit, Hunan [J]. Geology and Mineral Resources of South China, 2008(3): 22-28, 67.
- [12] Clark J R. Enzyme-induced leaching of B-horizon soils for mineral exploration in areas of glacial overburden[J]. Trans Inst. Mining Metall., 1993(102): 19-29.
- [13] Clark J R. Concepts and models for the interpretation of enzyme leach data for mineral and petroleum exploration [G]//Enzyme leach: Model, sampling protocol and case Histories. Ontario: Activation Laboratories, 1997: 1-62.
- [14] Yeager J R, Clark J R, Mitchell W, et al. Enzyme leach anomalies associated with deep Mississippi Valley-type zinc ore bodies at the Elmwood Mine, Tennessee[J]. Geochemical Exploration, 1998, 61(1): 103-112.
- [15] 张必敏,王学求,徐善法,等. 盆地金属矿穿透性地球化学勘查模型与案例[J]. 中国地质, 2016, 43(5): 1697-1709.  
Zhang B M, Wang X Q, Xu S F, et al. Models and case history studies of deep-penetrating geochemical exploration for concealed deposits in basins[J]. Geology in China, 2016, 43(5): 1697-1709.
- [16] 聂兰仕,程志中,王学求,等. 深穿透地球化学方法在山东大尹格庄金矿区试验研究[J]. 物探化探计算技术, 2007, 29(S1): 207-210, 5.  
Nie L S, Cheng Z Z, Wang X Q, et al. Deep-penetrating geochemistry: A comparative study in the Dayingezhuang gold ore district, Shandong[J]. Computing Techniques for Geophysical and Geochemical Exploration, 2007, 29(S1): 207-210, 5.
- [17] 白金峰,卢荫蔭. 若干深穿透地球化学方法在智利 Spence 隐伏斑岩铜矿床上的应用试验[J]. 物探与化探, 2011, 35(5): 610-616.  
Bai J F, Lu Y X. The experimental application of some deep-penetrating geochemical methods over the spence concealed porphyry copper deposit in Chile[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2011, 35(5): 610-616.
- [18] 刘亚轩,李庆霞,董永胜,等. ICP-MS 法在元素活动态分析中的应用[J]. 物探与化探, 2010, 34(4): 503-507.  
Liu Y X, Li Q X, Dong Y S, et al. The application of ICP-MS to the analysis of active state elements[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2010, 34(4): 503-507.
- [19] 王学求,刘占元,叶荣,等. 新疆金窝子矿区深穿透地球化学对比研究[J]. 物探与化探, 2003, 27(4): 247-250, 254.  
Wang X Q, Liu Z Y, Ye R, et al. Deep-penetrating geochemistry: A comparative study in the Jinwozi gold ore district, Xinjiang [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2003, 27(4): 247-250+254.
- [20] 杨笑笑,罗先熔,文美兰,等. 地电化学法在豫西崆山黄土覆盖区找矿中的应用——以洛宁县石龙山预查区为例[J]. 物探与

化探, 2019, 43(2): 244 - 256.

Yang X X, Luo X R, Wen M L, et al. The application of geo-electrochemical methods to prospecting in the loess-covered Xiaoshan Mountain, western Henan Province: A case study of the Shilongshan gold polymetallic ore prospecting area in Luoning County [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2019, 43(2): 244 - 256.

[21] 袁兰陵, 吴俊, 王志林, 等. 湖南省评价县万古矿区童源和尚坡矿段金详查报告 [R]. 湖南省地质矿产勘查开发局四〇二队, 2012.

Yuan L L, Wu J, Wen Z L, et al. Detailed investigation report on gold in Tongyuan and Shangpo mine, Wangu mining area, Pingjia County, Hunan Province [R]. 402 Geological Prospecting Party, 2012.

## Pilot study on enzyme extraction method in Wangu gold mining area

ZHU Li-Fen, LUO Jian-Lan, LU Jiang, WANG Huan-Huan, LIU Han-Jun

(Hunan Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Changsha 410116, China)

**Abstract:** In order to discuss the deep-penetrating geochemical ore prospecting method suitable for the humid environment in southern China, this paper adjusted some experimental parameters based on the enzyme leach method to form a set of indoor and outdoor operating procedures for the analysis of amorphous manganese adsorption. We chose to verify the effectiveness of the analytical method for the adsorption of amorphous manganese at the No. 505 geological prospecting line in the Wangu Gold Mine, and compared the results with the two methods of traditional soil full-scale testing and rock measurement methods. The comparison results show that the analysis method of amorphous manganese adsorption can effectively find geochemical anomalies above the concealed ore. The leaching rate of 100 mesh samples showed the characteristics of  $Cl > Br > I > Au > Ag > Sb > As$ . The anomalous sensitivity of Au and Sb detected by the amorphous manganese adsorption analytical method is higher than that of the soil total measurement, and it agrees well with the geochemical anomaly of rock measurement.

**Key words:** amorphous manganese adsorption analysis; enzyme leach; hidden mine; Wangu gold mine

(本文编辑: 蒋实)