doi: 10.11720/wtyht.2026.1235
叶伟,刘攀峰,孙彬彬,等. 江西通江岭铜矿地电化学测量野外与室内试验对比[J]. 物探与化探,2026,50(1):119-127. http://doi.org/10.11720/wtyht.2026.1235
Ye W, Liu P F, Sun B B, et al. Comparative study on field and laboratory geo-electrochemical measurements in the Tongjiangling copper deposit, Jiangxi Province[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2026, 50(1): 119-127. http://doi.org/10.11720/wtyht.2026.1235

江西通江岭铜矿地电化学测量野外与室内试验对比

叶伟[1,2,3],刘攀峰[1],孙彬彬[2,3],吴超[2,3],李帅[4],徐云甫[2,3],
陈若[1,2,3],张晓涵[1],李全才[5],侯树军[2,3]

(1. 桂林理工大学 地球科学学院,广西 桂林 541006;2. 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所 自然资源部地球化学探测重点实验室,天津 300300;3. 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;4. 成都理工大学 地球与行星科学学院,四川 成都 610059;5. 青海大柴旦矿业有限公司,青海 海西 817300)

摘 要: 地电化学测量技术是探测隐伏矿的重要手段,可在近地表环境下有效识别覆盖层下及深部的矿产资源信息。在江西通江岭斑岩—矽卡岩型铜矿区选取 1 条勘探线,部署约 1.6 km 地电化学勘探试验剖面,识别地电化学测量技术的有效性及野外原位与室内地电化学测量效果差异,为方法技术升级推广及机理研究提供支撑。试验结果表明:①地电化学野外原位测量在通江岭铜矿区显现出良好的测量效果,可在浅埋藏及近 600 m 深埋藏矿体正上方显现出清晰的多元素地电化学异常;②室内地电化学测量可在浅埋藏矿体上方对 Cu、Ag、Zn 等部分元素具有一定的异常效果显示,但与矿体的空间对应位置存在一定偏移,在深埋藏矿体上方基本无异常显示。建议在类似景观、矿种及矿床类型勘查过程中优先选择野外地电化学原位测量方式。

关键词:地电化学测量;通江岭铜矿;野外测量;室内提取
中图分类号: P31;P632 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-8918(2026)01-0119-09

0 引言

地电化学测量技术起源于苏联,于 20 世纪 80 年代引入我国,是一种结合地球物理与地球化学的交叉找矿技术[1-2],其核心原理是通过外加人工电场驱动土壤中呈电活动态的金属微颗粒定向迁移,利用电化学吸附作用提取、富集深部含矿信息[3]。该技术突破传统地球化学测量技术局限,通过识别近地表土壤中深部矿体成矿元素极弱含量信息来推断深部隐伏矿体的赋存位置,是一种行之有效的穿透性地球化学技术手段[4-6]。当前,通用的地电化学测量技术主流已发展为“独立供电偶极子地电化学技术”,与大功率发电机为主的传统技术相比已经发生了显著的变化[7-10],取得了较好的实际应用效果[11-12]。近些年,部分学者提出并发展了室内地电化学测量,且在一些矿床的勘探试验中取得一定的效果[13-16]。与地电化学野外原位测量相比,室内地电化学测量在勘查效率和勘查成本等方面具有一定优势,因此对二者进行了对比研究,进而厘定不同地球化学景观、覆盖类型、覆盖深度、矿种/矿床类型条件下地电化学野外原位测量与室内地电化学测量勘查效果差异,对后续方法技术的规范化、升级迭代及应用推广具有重要意义。

本次研究选择江西九江通江岭斑岩—矽卡岩型铜矿区工程勘查 20 勘探线,以 50 m 点距部署了一条长约 1.6 km 的剖面,开展野外及室内地电化学测量对比试验,以期了解该地电化学测量室内与地电化学野外原位测量效果的差异,并为地电化学测量野外及室内勘查适用性总结提供实例支撑。

收稿日期: 2025-07-07; **修回日期**: 2025-09-29
基金项目: 中国地质科学院基本科研业务费项目(JKYZD202326);中国地质调查局地质调查项目(DD20242846)
第一作者: 叶伟(2000-),男,硕士研究生,研究方向为勘查地球化学。Email:vv46967x2@163.com
通讯作者: 孙彬彬(1982-),男,正高级工程师,主要从事应用地球化学研究工作。Email: sbinbin@mail.cgs.gov.cn

1　试验区简况

通江岭铜矿区隶属于江西省九江瑞昌市，地处长江中下游地区，距离瑞昌市区约 15 km（图 1a），大地构造上属于扬子陆块北缘下扬子断裂坳陷带西段，横跨瑞昌—九江和夏家桥—横港两个Ⅳ级褶断束构造单元，位于长江弧形重力梯度带构造转折部位[17-19]。区域地层发育较完整，奥陶系至三叠系均有出露，主要岩性为沉积成因的碎屑岩与碳酸盐岩。区域构造格局呈典型菱形断块特征，以 NWW 向基底断裂为主导控制因素，伴随 NE、NEE 向次级断裂交切，形成多向复合断裂网络系统。岩浆活动受此构造体系控制，主要发育邓家山、东雷湾等花岗闪长斑岩岩株及石英闪长玢岩、闪长岩等次火山岩体。成矿作用与燕山期岩浆活动密切相关，形成两个主要阶段：早期以铜矿化为主，花岗闪长斑岩侵入引发接触交代作用，形成矽卡岩型（层控式与接触式）和斑岩型铜矿体，伴生锌、铅、金、银等金属，局部发育隐爆角砾岩筒型矿化；晚期则以与石英斑岩侵入相关的钼矿化为特征，伴生少量铜矿化。区域矿床类型主要包括斑岩型、矽卡岩型及块状硫化物型，铜金矿体成因与花岗闪长斑岩具关系密切，金矿化多与石英闪长玢岩相关。

矿区海拔在 200～500 m 之间，地形特征表现为北部和西部较高、南部和东部较低，整体呈现出由西北向东南倾斜的趋势（图 1b）。矿区出露地层以二叠系茅口组燧石灰岩为主，次为长兴组灰岩、龙潭组

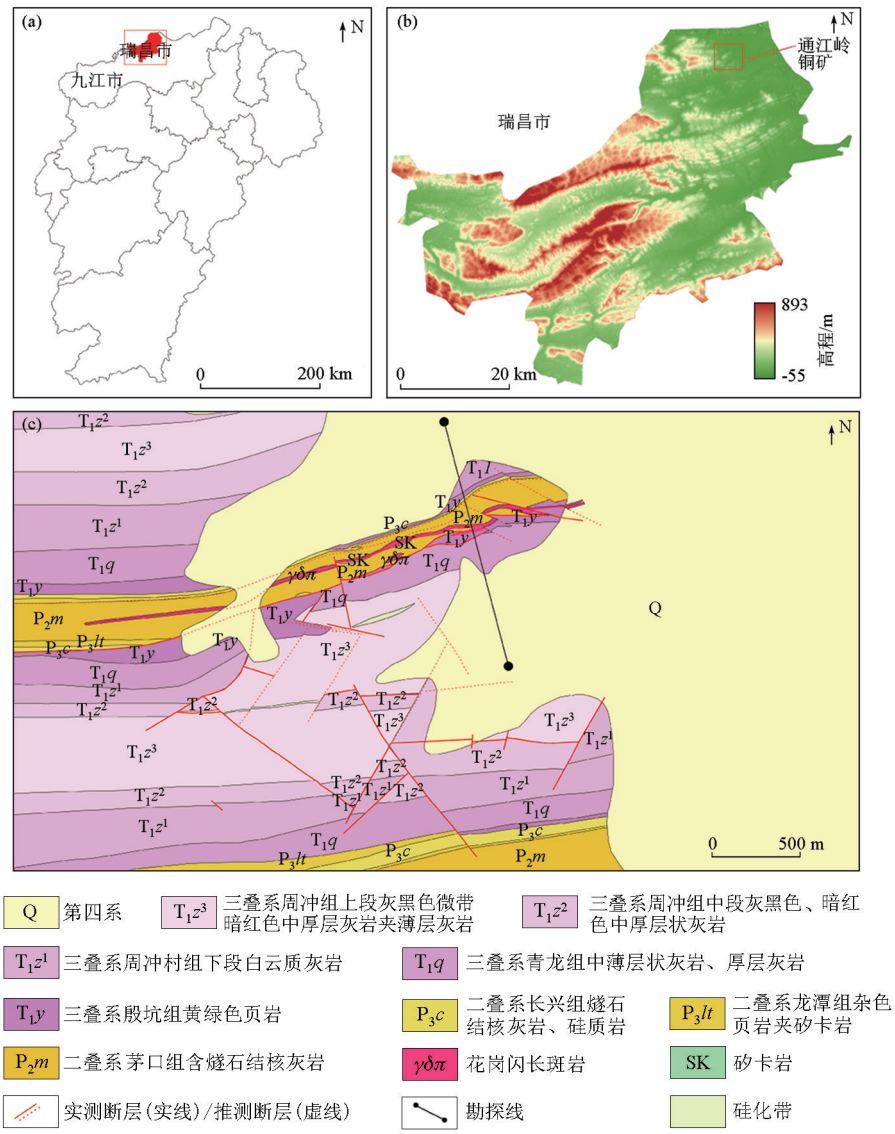


图 1　通江岭矿区位置（a）、瑞昌市高程（b）及研究区地质概况（c）

Fig. 1　The location map of Tongjiangling mining area (a), the elevation map of Ruichang City (b) and the geological map of the study area (c)

页岩及三叠系周冲组白云质灰岩等,局部被第四系覆盖(图 1c)。燕山晚期花岗闪长斑岩脉沿 NEE 向逆冲断裂侵入,与茅口组燧石灰岩接触带形成矽卡岩型矿化,岩脉自身发育斑岩型矿化[20-21]。目前圈定了 14 条 NEE 走向、SE 倾向的铜矿体,呈现浅部热液脉状与深部接触交代—斑岩复合矿化的垂向分带特征。浅部矿体赋存于二叠系—三叠系层间滑脱面及大理岩裂隙中,呈细脉状硫化物石英脉型,走向长数百米,厚 1~2 m,伴生铅锌矿化。深部主矿体分布于岩脉接触带及内部,埋深超过 600 m,走向延伸千余米,厚数米至数十米,岩脉内呈稀疏浸染状矿化,接触带矽卡岩中发育块状硫化物,尤以碳酸盐岩捕掳体富集显著。矿体空间展布受 NEE 向断裂及岩脉联合控制,成矿作用与岩浆活动密切相关,具有典型的斑岩—矽卡岩成矿系统特征。该矿床目前尚未开发,未受采矿活动影响,矿区中东部被第四系冲洪积物大面积覆盖,中西部以残坡积红土为主,适宜开展地电化学测量技术试验。

2　样品采集及分析测试

本次研究选择通江岭矿区 20 勘探线布设剖面开展工作,使用的地电化学测量装置为中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所研发的“时控固体载体型元素提取器”(图 2)[22]。测量提取条件:供电电压 9 V,供电时间 24 h,提取液为当地自来水,每个提取点用量 1~1.5 L,吸附载体为适用 8% 偏王水(HNO_3、HCl 比例 2∶1)进行去空白处理后的高密度(30 g/dm^3)聚氨酯泡塑。

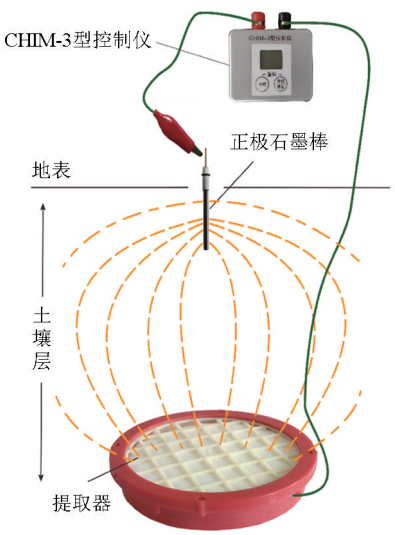


图 2　时控固体载体型元素提取器示意

Fig. 2　Schematic of time-controlled solid carrier element extractor

剖面采用 50 m 点距,布设了 32 个采样点。样品采集方法为:①选择无明显外来堆积物等人为影响区域挖掘 30 cm 深度埋藏坑,将提取器置入坑底,分批次回填土壤,同步加入提取液,保证坑内土壤均匀湿润;②连通地电化学提取装置,设定提取时间为 24 h,检查并记录通电性;③通电结束后取出提取器内吸附载体,装入防污染纸质样品袋,同批次送实验室分析测试;④基于野外试验环境复现原则,开展室内地电化学提取试验样品采集,选取内径 15 cm、高度 40 cm 的圆柱形有机玻璃罐作为试验容器,于野外试验同点位采集土壤约 2 kg(图 3);⑤试验容器内于野外同方法设置提取装置,样品同批次送实验室分析测试。

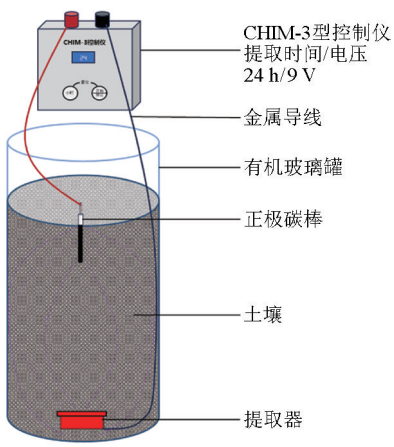


图 3　室内地电化学测量示意

Fig. 3　Schematic of indoor electrochemical measurement

本次试验共采集地电化学吸附载体样品(泡塑)64 件,其中野外样品与室内样品各 32 件。样品分析测试工作由河南省岩石矿物测试中心完成,采用高温密闭微波消解法溶样,测试指标为:Au、Ag、As、Cd、Co、Cr、Cu、Hg、Ni、Pb、Zn、Sb、Ti、Bi、La、U、Mo、Fe、Al、K 共 20 项。

泡塑样品预处理及含量测定流程如下:①称取 1.0 g 泡塑样品置于 50 mL 密闭罐中,加入 10 mL 硝酸进行消解;②将密闭罐置于 180 ℃电热板上加热分解,期间需适时补充硝酸以确保充分分解;③待样品完全分解后,将溶液浓缩至约 5 mL;④将密闭罐盖紧后转入 180 ℃烘箱中恒温处理 12 h;⑤取出冷却后,将溶液转移至 25 mL 比色管中定容;⑥静置后,采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)和原子荧光光谱仪(AFS)对样品进行元素含量测定[23]。分析过程中采用加标回收方法,加标回收率范围基本位于 95%~105%之间,可满足本项研究需求。

3 结果与讨论

3.1 统计参数特征

根据变异系数(C_V)的划分标准,当 C_V<0.5 时,表明元素在空间分布上较为均匀;当 C_V 介于 0.5~1 之间时,表明元素在局部区域存在不均匀现象,可能存在一定的异常;当 C_V>1 时,则表明元素在空间分布上极不均匀,可能存在较强的异常[24-25]。试验数据统计结果(表 1)表明,在野外地电化学测量数据中,Cu、Pb、Cd、As、Bi、Cr 的变异系数均大于 1,属于强分异类型,与矿床主成矿及伴生元素基本一致;Mo、Au、Ag、Zn、Sb、Hg、U、Al、K、Fe、Ti、Ni、La 的变异系数介于 0.5~1 之间,表明这些元素在试验区原地内存在一定程度的分异;未发现弱分异元素。在室内地电化学测量数据中,Cu、Ag、Pb、Zn、Cd、Bi、Cr、Ni、La 的变异系数均大于 1,属于强分异类型;Mo、As、Hg、U、Al、Fe、Ti、Co 的变异系数介于 0.5~1 之间,为中等分异;Au、Sb、K 为弱分异。

表 1 室内、外试验元素含量变异系数统计(n=32)

Table 1 Statistics of variation coefficient of element content in indoor and outdoor tests (n=32)

C_V 范围	野外原位地电化学测量元素	室内模拟地电化学测量元素
<0.5		Au、Sb、K
0.5~1	Mo、Au、Ag、Zn、Sb、Hg、U、Al、K、Fe、Ti、Ni、La	Mo、As、Hg、U、Al、Fe、Ti、Co
≥1	Cu、Pb、Cd、As、Bi、Cr	Cu、Ag、Pb、Zn、Cd、Bi、Cr、Ni、La

元素测量数据的统计特征能够有效反映试验区元素的富集与分散状态。本次研究基于野外及室内地电化学测量数据,统计了 20 种元素的最小值、平均值、中位数、最大值、标准差及变异系数等参数(表 2)。最小值、平均值、中位数、最大值、标准差是反映数据集内元素浓度水平的重要指标。表 2 显示,除 Cd、Ni 等少量元素外,大部分元素的野外地电化学测量参数值均高于室内测量试验,且差异倍数介于 1.5~2.5 倍之间。这可能表明,在野外环境中有更为充足的电活动态物质补充,更易于形成稳定的电化学平衡场。

3.2 异常显示效果评价

通江岭铜矿主成矿与伴生元素主要包括 Cu、Au、Ag、Mo、Zn、Pb 等,本次结果中具备指示特征的元素还包括 Al、Fe、K、As、U、Ti 等。该勘探线已探明两处矿体:浅部矿体(埋深≤50 m)位于试验剖面 450 m 处,深部隐伏矿体(埋深约 700 m)位于试验剖面 800 m 处。通过不同元素含量曲线图的直观对比(图 4),可以得到野外与室内样品的指示效果、指示强度等信息。

表 2 室内、外试验元素含量特征统计(n=32)

Table 2 Statistical of element content characteristics of indoor and outdoor tests (n=32)

元素	实验方式	最小值	平均值	中位数	最大值	标准差	变异系数
Al	野外	3382	10460	7858	31156	7722	0.74
	室内	1583	4364	3255	13108	2951	0.68
K	野外	1023	2061	1700	5332	1115	0.54
	室内	652	1196	1075	2536	452	0.38
Ti	野外	89.2	228	198	522	119	0.52
	室内	38.9	104	90.2	290	60.3	0.58
Cr	野外	4.01	22.04	11.7	231	40.4	1.83
	室内	2.72	21.7	12.4	73.5	21.7	1.00
Fe	野外	730	3760	2659	12316	3251	0.86
	室内	162	1267	954	4528	1146	0.90
Co	野外	0.76	2.31	1.85	6.02	1.49	0.64
	室内	0.35	1.51	1.06	4.92	1.13	0.75
Ni	野外	1.85	6.84	5.05	27.5	6.23	0.91
	室内	0.72	7.04	5.20	33.8	7.04	1.00
Cu	野外	7.05	53.4	36.8	346	62.8	1.18
	室内	5.45	41.1	30.1	219	44.8	1.09
Zn	野外	6.23	31.7	28.8	131	29.1	0.92
	室内	2.27	22.7	12.8	110	23.8	1.04
As	野外	0.22	1.12	0.60	6.67	1.33	1.19
	室内	0.15	0.39	0.25	1.47	0.32	0.83
Mo	野外	0.07	0.22	0.18	0.55	0.11	0.50
	室内	0.03	0.13	0.11	0.44	0.09	0.70
Ag	野外	0.02	0.06	0.05	0.27	0.05	0.80
	室内	0.01	0.04	0.02	0.26	0.06	1.38
Cd	野外	0.02	0.16	0.10	0.68	0.17	1.07
	室内	0.01	0.29	0.12	3.11	0.57	1.98
Sb	野外	0.06	0.13	0.10	0.40	0.07	0.56
	室内	0.06	0.09	0.08	0.17	0.03	0.30
La	野外	1.39	6.33	4.76	18.82	4.77	0.75
	室内	0.33	3.54	3.01	12.54	3.55	1.00
Au	野外	0.003	0.01	0.01	0.03	0.004	0.61
	室内	0.003	0.005	0.004	0.009	0.002	0.339
Hg	野外	0.01	0.05	0.04	0.16	0.03	0.69
	室内	0.003	0.02	0.01	0.04	0.01	0.66
Pb	野外	1.99	15.4	11.1	71.0	16.6	1.07
	室内	0.46	8.05	6.37	35.69	8.34	1.04
Bi	野外	0.06	0.66	0.43	2.94	0.79	1.19
	室内	0.02	0.29	0.10	2.35	0.47	1.62
U	野外	0.14	0.42	0.35	1.20	0.27	0.63
	室内	0.08	0.21	0.18	0.51	0.12	0.56

注:元素单位为 μg。

对于浅部矿体而言,野外与室内地电化学测量结果均有显示,但野外结果相较于浅部矿体空间位置对应关系更好,部分元素室内测量异常与矿体对应有一定空间偏移,且异常衬度整体显现出弱于野外测量态势。Au 在野外原位测量试验中有着明显的异常显示,但在室内试验中并无明显异常显示。

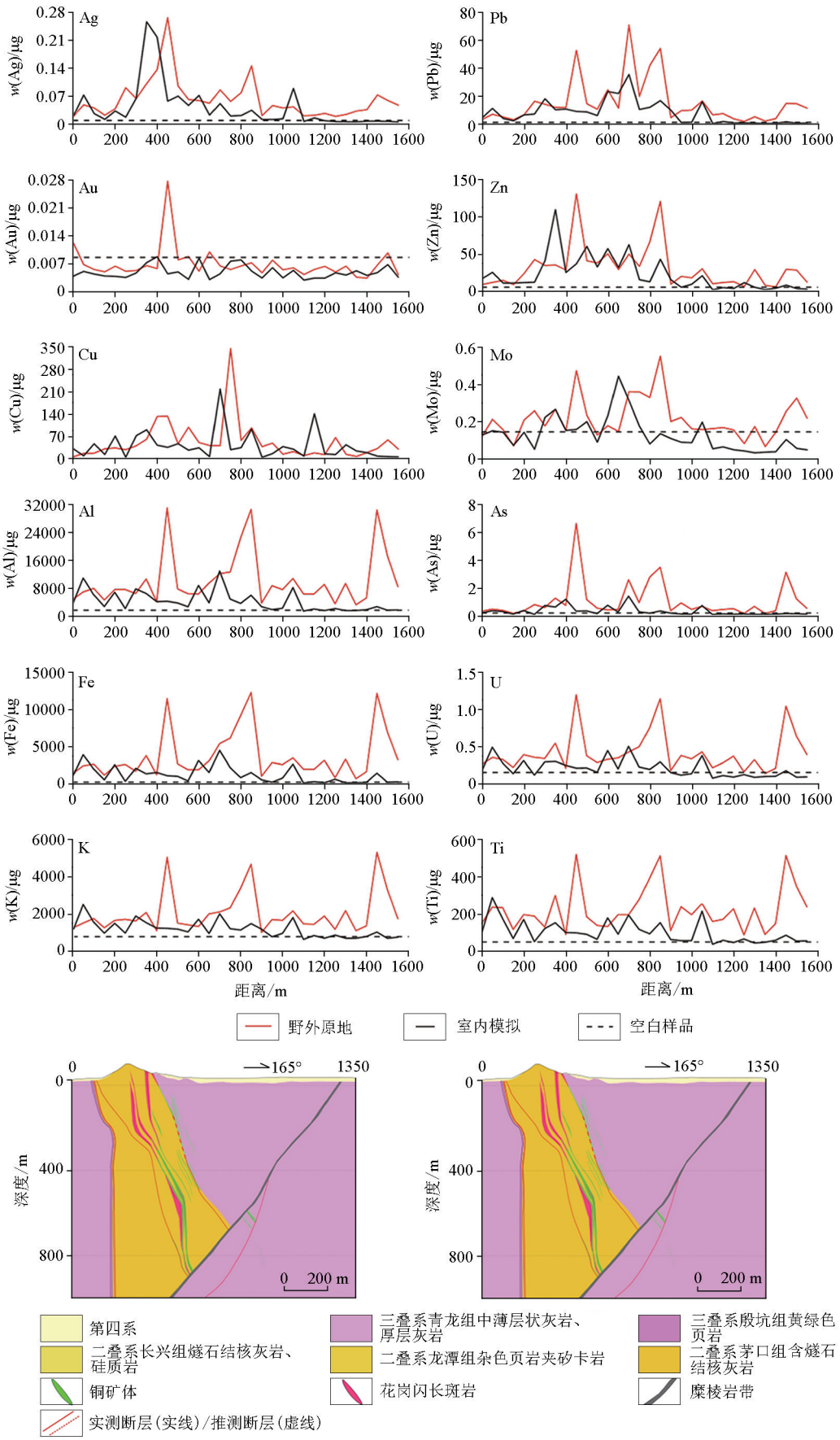


图 4　野外及室内地电化学测量试验元素含量曲线对比

Fig. 4　Comparison of element content curves in field and indoor geoelectrochemical measurement tests

对于剖面南西侧埋深约 600 m 的矿体，野外地电化学测量结果显现出较清晰的 Cu、Au、Ag、Mo、Zn、Pb 等元素异常，而室内测量结果除 Pb、Ti 等元素仅有弱异常显示外，其余元素基本上无异常显示。此外，Fe、Al、K 等常量元素显现出与微量元素异常一致的分布特征，在野外测量中显现出清晰的地电化学异常。结合已有地电化学异常形成机理研究成果[9]，以及野外及室内地电化学测量元素相关性分析(图 5)，认为地电化学所取得 As、Sb、Ti 等微量元素异常很可能直接或间接由提取土壤中的细粒黏土、铁锰氧化物矿物颗粒引起。因此，推断在通江岭矿床景观、矿种条件下，富含 Fe、Al、K 等常量元素的黏土、铁锰氧化物微颗粒在野外地电化学提取过程中发挥了重要的作用，地电化学过程对这些富含深部矿体信息的微颗粒具有选择性吸附。室内地电化学测量可能由于电活动态物质补充有限，在矿体埋藏较深条件下显现出的异常效果远不如野外原位测量。

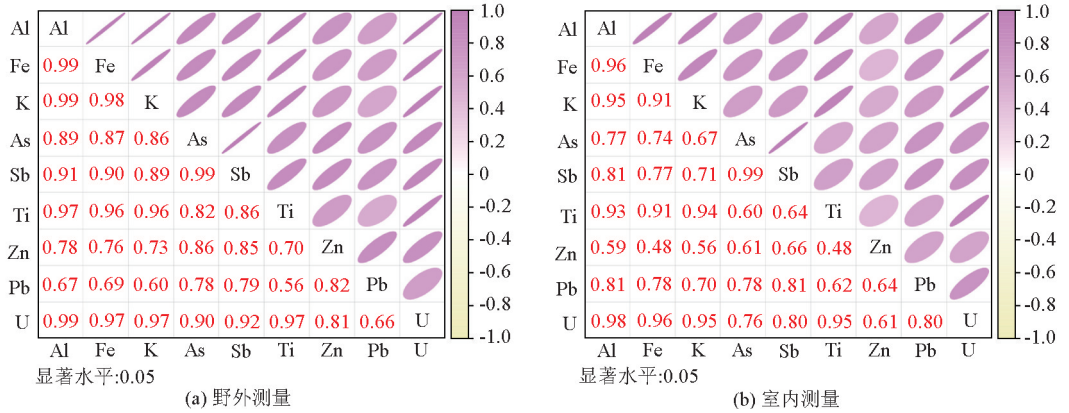


图 5　地电化学测量元素相关性热图

Fig. 5　Geoelectrochemical measurement elemental correlation heat maps

3.3　异常机理浅析

野外与室内地电化学试验的差异主要源于地电化学范围的不同，地电化学测量通过人工电场驱动周边土壤中电活动态颗粒向泡塑载体富集，其异常特征受控于电化学作用范围内土壤中电活动态物质总量[26]。地电化学装置在土壤环境中连续工作 24 h 的运行周期内，其作用机制可分解为 3 个共同作用阶段，即："电化学迁移"、"电化学溶解"与"电化学吸附"作用[27-28]。野外及室内地电化学测量在这 3 个作用过程中可能存在差异，从而导致最后异常显示效果的差异。"电化学迁移"过程主要是人工电场将带正电荷的电活动物质迁移至吸附载体所代表的阴极附近，因野外地电化学测量环境开放，对电场范围的限制小，作用范围远大于室内提取，这可能是地电化学野外原位测量对深部隐伏矿有较好异常显示的主要原因；而室内地电化学测量的"电化学迁移"仅作用在 2 kg 土壤范围内，没有更为充足的电活动态物质补充。在"电化学溶解"作用中，室内地电化学测量通过人工电场持续作用于试验容器范围，更容易导致土壤中以稳定态存在的元素在电场作用下转换为相对活性的赋存状态，进而被"电化学迁移"至载体物质附近，即"电化学溶解"作用强于野外测量，从而导致异常与矿体空间对应位置产生差异[9,29]。"电化学吸附"作用主要体现在地电化学作用过程形成了稳定的电化学平衡场后，载体物质对"电化学迁移"及"电化学溶解"综合作用后迁移到阴极附近电活动态物质的平衡吸附作用。

虽然两组试验采用同点位土壤样本，但在异常显示效果方面，室内地电化学测量试验远不及野外。室内试验采用密闭有机玻璃罐盛装土壤，其主要特点体现在被提取土壤容量被严格限制在容器有限的空间内，电场作用范围受罐体空间约束，有效提取吸附范围有限，吸附介质(泡塑)仅能捕获有限范围内的迁移元素；这种空间约束导致当有机玻璃柱内 2 kg 土壤中电活动态物质被完全提取后，缺乏持续的补给，统计数据显示室内试验吸附元素平均值通常仅为野外同点位数据的 40%～70%。而野外原位试验相对具备完整的动态补偿系统：人工电场覆盖范围可达数米；持续 24 h 供电过程中，人工电场作用范围内的元素呈现阶梯式迁移特征，中—远端元素在电势梯度驱动下可依次向近端电极区迁移补给。这种立体空间内的元素动态补偿机制，使得异常衬度显著提升，且真正达到识别深部矿体赋存位置的目的，而这种作用机制针对埋藏较深的矿体，尤为突出。以上因素可能是导致野外与室内地电化学测量在异常显示效果方面产生差异的主要原因。

4　结论与建议

在通江岭铜矿区开展的地电化学野外及室内测量对比试验,验证了地电化学测量技术在南方红土覆盖及第四系冲洪积物覆盖区斑岩—矽卡岩型铜矿探测隐伏矿的有效性,并得到以下结论:

1)野外及室内地电化学测量异常效果存在着显著差异。总体而言,野外原位地电化学测量异常与矿体空间位置对应性远好于室内地电化学测量试验。

2)在识别浅部矿体时,野外及室内地电化学测量试验都能有一定的异常显示效果,但室内地电化学测量异常与矿体的空间对应上存在一定偏移;在识别深部矿体时,野外地电化学测量能够更真实、准确地反映矿体的空间分布位置,且有效元素组合丰富,而室内地电化学测量几乎无异常显示。

3)室内地电化学测量可能由于电提取作用范围等因素影响,"电化学溶解"作用可能更强,从而导致对浅部及深部异常显示效果均不如野外地电化学测量。推荐在同类景观区、矿种/矿床类型条件下的地电化学测量工作优先选择野外原位测量方式,对一些浅埋藏矿体的识别可选择室内测量方式。

本次试验仅为在南方红土及第四系冲洪积物覆盖条件下的结果,后续应加强不同景观区、矿种条件下的野外及室内地电化学测量试验对比研究,以综合厘定野外及室内测量效果差异。此外,综合考虑室内地电化学测量具有的成本相对较低等优势,后续应加强室内地电化学提取条件试验研究,如优化提取液种类及用量、提取时间等条件,以综合评价地电化学测量野外及室内勘查适用性。

参考文献(References):

[1] ХайретДИНОВВВЕДЕНИЕВ И А. Введение в электрогеохимию[M]. Москва:Наука,1980.

[2] 雷斯 РыссIO. C. 地电化学勘探法[M]. 张肇元 崔霖沛,译. 北京:地质出版社,1986.
Рысс,IO. C. Geoelectrochemical prospecting method [M]. Zhang Z Y, Cui L P, translate. Beijing: Geological Publishing House, 1986.

[3] Levitski A,Filanovski B,Bourenko T,et al. "Dipole" CHIM:Concept and application [J]. Journal of Geochemical Exploration, 1996,57(1/2/3):101-114.

[4] 王学求. 深穿透地球化学迁移模型[J]. 地质通报,2005,24(10/11):892-896.
Wang X Q. Conceptual model of deep-penetrating geochemical migration[J]. Geological Bulletin of China,2005,24(10/11):892-896.

[5] 韩志轩,廖建国,张聿隆,等. 穿透性地球化学勘查技术综述与展望[J]. 地球科学进展,2017,32(8):828-838.
Han Z H,Liao J G,Zhang Y L,et al. Review of deep-penetrating geochemical exploration methods[J]. Advances in Earth Science, 2017,32(8):828-838.

[6] 张必敏,王学求,徐善法,等. 穿透性地球化学勘查技术在隐伏砂岩型铀矿调查中的应用研究[J]. 地球学报,2020,41(6):770-784.
Zhang B M,Wang X Q,Xu S F,et al. The research and application of deep-penetrating geochemical exploration technology in the survey of concealed sandstone-type uranium deposits[J]. Acta Geoscientica Sinica,2020,41(6):770-784.

[7] 康明,过磊. 地电提取异常的形成[J]. 矿物岩石地球化学通报,2008(2):195-199.
Kang M,Guo L. The Formation of halos chim bulletin of mineralogy [J]. Petrology and Geochemistry,2008(2):195-199.

[8] 康明,马孟浩. 地电化学离子晕的形成过程中外加电场的作用[J]. 物探与化探,2008,32(5):534-536,548.
Kang M,Ma M H. The role of the artificial electric field in the formation of geoelectrochemical ionic halos[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,2008,32(5):534-536,548.

[9] 孙彬彬,张学君,刘占元,等. 地电化学异常形成机理初探[J]. 物探与化探,2015,39(6):1183-1187.
Sun B B,Zhang X J,Liu Z Y,et al. A preliminary study of the formation mechanism of the geoelectric chemistry anomaly[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,2015,39(6):1183-1187.

[10] 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 geoelectrochemical methods[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,2015,39(1):16-21.

[11] Tang R,Sun L,Ouyang F,et al. CoDA-based geo-electrochemical prospecting prediction of uranium orebodies in Changjiang area, Guangdong Province,China[J]. Minerals,2024,14(1):15.

[12] 甘盟,刘攀峰,岳大斌,等. 基于随机森林算法的川西木绒锂矿区及外围地电化学技术找矿预测[J]. 地质与勘探,2025,61(2):359-370.
Gan M,Liu P F,Yue D B,et al. Geoelectrochemical prospecting prediction in the Murong lithium deposit and its periphery in western Sichuan Province based on the random forest algorithm[J]. Geology and Exploration,2025,61(2):359-370.

[13] 周奇明. 电吸附元素异常来源及找矿模式[J]. 矿产与地质,2003(6):705-708.
Zhou Q M. Origin of electrical absorption anomaly and lts exploration model[J]. Mineral Resources and Geology,2003(6):705-708.

[14] 周奇明,周立宏,董树政. 电吸附找矿方法[J]. 物探与化探,2004,28(3):199-201.
Zhou Q M,Zhou L H,Dong S Z. The electrical extraction method

for ore exploration[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2004,28(3):199-201.

[15] 李灵慧,周奇明,施玉娇. 电吸附寻找隐伏矿床研究进展:以大宝山铜矿为例[J]. 地质论评,2020,66(S1):35-38.
Li L H, Zhou Q M, Shi Y J. Research progresson finding hidden deposits by electrosorption: A case studyof the Dabaoshan copper mine[J]. Geological Review,2020,66(S1):35-38.

[16] 陈青云,张江波,种松树,等. 内蒙古金蟾山矿电吸附法找矿与有利区预测[J]. 物探与化探,2025,49(2):281-287.
Chen Q Y, Zhang J B, Zhong S S, et al. Exploration and play fairway prediction of the Jinchanshan mine in Inner Mongolia using electro-adsorption meth-od[J]. Geophysical and Geochemical Exploration,2025,49(2):281-287.

[17] 周涛发,范裕,王世伟,等. 长江中下游成矿带成矿规律和成矿模式[J]. 岩石学报,2017,33(11):3353-3372.
Zhou T F, Fan Y, Wang S W, et al. Metallogenic regularity and metallogenic model of the middle-lowerYangtze River Valley Metallogenic Belt[J]. Acta Petrologica Sinica,2017,33(11):3353-3372.

[18] 王先广,胡正华,黄秋芸,等. 九瑞矿集区通江岭铜钨矿成矿岩浆岩锆石 U-Pb 年龄及意义[J]. 中国地质,2019,46(4):832-840.
Wang X G, Hu Z H, Huang Q Y, et al. Zircon U-Pb age of ore-forming magmaticrocks in the Tongjiangling copper-tungsten deposit in the Jiurui ore concentration area and its significance[J]. Geology in China,2019,46(4):832-840.

[19] 蒋少涌,徐耀明,朱志勇,等. 九瑞矿集区燕山期构造-岩浆作用及其与铜金多金属成矿关系研究[J]. 岩石学报,2013,29(12):4051-4068.
Jiang S Y, Xu Y M, Zhu Z Y, et al. Study on Mesozoic tectonics and granitic magmatism andtheir relationship with Cu-Au mineralization in the Jiurui ore district, Jiangxi Province[J]. Acta Petrologica Sinica,2013,29(12):4051-4068.

[20] 韩志轩,张必敏,乔宇,等. 隐伏铜矿区土壤微细粒测量有效性实验——以江西通江岭铜矿为例[J]. 地球学报,2020,41(6):977-986.
Han Z X, Zhang B M, Qiao Y, et al. Validity experiments of fine-grained soil geochemical survey for exploring concealed copper deposits: A case study in the Tongjiangling copper deposit, Jiangxi Province[J]. Acta Geoscientica Sinica,2020,41(6):977-986.

[21] 王海,付海平,李永胜,等. 江西通江岭铜(钨)矿床石榴子石和锆石 LA-ICP-MS 原位 U-Pb 定年及其地质意义[J]. 地质学报,2023,97(7):2281-2292.
Wang H, Fu H P, Li Y S, et al. In-situ LA-ICP-MS U-Pb dating of garnet and zircon from Tongjiangling copper(tungsten) deposit in Jiangxi Province and its geological significance[J]. Acta Geologica Sinica,2023,97(7):2281-2292.

[22] 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 and Geochemical Exploration, 2011,35(3):375-378.

[23] 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 and Geochemical Exploration,2016,40(3):557-560.

[24] 刘明义,张晶,孟广路,等. 区域地球化学评价中变异系数校正参数的意义[J]. 现代地质,2018,32(5):1074-1079.
Liu M Y, Zhang J, Meng G L, et al. Significance of the correction parameters of variation coefficient in region-al geological evaluation [J]. Geoscience,2018,32(5):1074-1079.

[25] 娄德波,张长青,山成栋,等. 川滇黔铅锌(锗)成矿区区域地球化学测量在找锗预测中的作用[J]. 岩石学报,2019,35(11):3407-3428.
Lou D B, Zhang C Q, Shan C D, et al. Role of regional geochemical survey for Ge mineral prediction in Chuan-Dian-Qian Pb-Zn (Ge) metallogenic region[J]. Acta Petrologica Sinica,2019,35 (11): 3407-3428.

[26] 罗先熔. 地球电化学勘查及深部找矿[M]. 北京:冶金工业出版社,1996.
Luo X R. Geoelectrochemical propecting methods and searching for deep ore deposits[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press,1996.

[27] 孙彬彬. 地电化学异常形成机理及找矿技术规范化研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2017.
Sun B B. Study on the Formation Mechanism of Geoelectrochemical Anomalies and the Standardisation of Mineral Prospecting Techniques[D]. Beijin: China University of Geosciences (Beijing), 2017.

[28] 刘映东,张必敏,罗先熔. 地电化学在隐伏铜镍矿勘查中的应用及异常形成机理探讨[J]. 地质与勘探,2017,53(4):694-703.
Liu Y D, Zhang B M, Luo X R. Mechanism of geoelectrochemistry anomalies and appli-cation to prospecting of buried Cu-Ni deposits [J]. Geology and Exploration,2017,53(4):694-703.

[29] 柯丹,刘洪军,侯惠群,等. 层间氧化带砂岩型铀矿地电化学异常形成机理及其找矿意义[J]. 地质学报,2016,90(12):3545-3553.
Ke D, Liu H J, Hou H Q, et al. Formation mechanism of electro-geochemical anomalies in interlayered oxidation type sandstone-hosted uranium deposit and its prospecting significance[J]. Acta Geologica Sinica,2016,90(12):3545-3553.

Comparative study on field and laboratory geo-electrochemical measurements in the Tongjiangling copper deposit, Jiangxi Province

YE Wei[1,2,3], LIU Pan-Feng[1], SUN Bin-Bin[2,3], WU Chao[2,3], LI Shuai[4], XU Yun-Fu[2,3], CHEN Ruo[1,2,3], ZHANG Xiao-Han[1], LI Quan-Cai[5], HOU Shu-Jun[2,3]

(1. *College of Earth Sciences, Guilin University of Technology, Guilin* 541006, *China*; 2. *Key Laboratory of Geochemical Exploration, Ministry of Natural Resources, Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Tianjin* 300300, *China*; 3. *UNESCO International Center on Global-Scale Geochemistry, Langfang* 065000, *China*; 4. *College of Earth and Planetary Sciences, Chengdu University of Technology, Chengdu* 610059, *China*; 5. *Qinghai Dachaidan Mining Co., Ltd., Haixi* 817300, *China*)

Abstract: As a crucial means for detecting concealed orebodies, geo-electrochemical measurements can effectively identify the information of subsurface and deep-seated mineral resources in the near-surface environment. Focusing on the Tongjiangling porphyry- and skarn-hosted copper deposit in Jiangxi Province, this study selected an exploration line and then deployed a section extending about 1.6 km for geo-electrochemical measurements. This study aims to investigate the effectiveness of geo-electrochemical measurement technologies and the difference between field and laboratory geo-electrochemical measurements, providing support for technical optimization, wide application, and research on underlying mechanisms. The results indicate that the field geo-electrochemical measurement performed well in the Tongjiangling copper deposit. It can delineate distinct multi-element geo-electrochemical anomalies overlying shallow and deep (nearly 600 m) orebodies. Comparatively, laboratory geo-electrochemical measurement exhibited some anomaly response for elements such as copper (Cu), silver (Ag), and zinc (Zn) above the shallow orebodies, with certain spatial deviations from the actual orebody positions. In addition, it generally represented no anomaly response above deep-seated concealed orebodies. Therefore, it can be concluded that field geo-electrochemical measurement should be prioritized in the similar exploration of landscapes, minerals, and deposits.

Key words: geo-electrochemical measurement; Tongjiangling copper deposit; field measurement; laboratory extraction

(本文编辑:蒋实,沈效群)