

文章编号: 0254-5357(2015)06-0665-07

DOI: 10.15898/j.cnki.11-2131/td.2015.05.010

便携式能量色散 X 射线荧光光谱仪在新疆东天山浅钴化探异常查证中的应用

杨 帆^{1,2}, 郝志红^{1*}, 刘华忠¹, 郭志娟¹, 王 徽¹

(1. 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. 中国地质大学(北京)地球科学与资源学院, 北京 100083)

摘要: 便携式能量色散 X 射线荧光光谱仪(EDXRF)具有大型 XRF 光谱仪的分析性能,在矿产资源勘查中具有广阔的应用前景,特别是在勘查难度大、找矿工作周期长的覆盖区的现场快速分析具有重要意义,但在野外快速分析方面亟需进一步开发。本文采用手工压制样片,建立了 Minipal 4 便携式能量色散 XRF 光谱仪现场测定新疆东天山浅覆盖区浅钴化探样品中的铜铅锌砷钴镍锰 7 种元素的野外快速分析方法,各元素的检出限分别为 2、2、1.5、2、2、2、6 $\mu\text{g/g}$,精密度(RSD, $n=12$)小于 4.7%。本方法能在浅覆盖区实施有效的地球化学样品分析,数据成图效果与实验室分析数据成图效果接近,可快速指导浅钴化探扫面和异常查证工作,缩短了工作周期,提高了矿产资源勘查效率。

关键词: 浅覆盖区; 浅钴化探样品; 现场分析; 地球化学异常查证; 便携式能量色散 X 射线荧光光谱仪

中图分类号: P62; O657.31

文献标识码: A

随着国家经济建设的发展,对其不可或缺的矿产资源扩大了需求。地表矿和掩埋矿基本上都被发现,地质找矿工作开始向浅覆盖区、深部逐步转移,开展浅覆盖区矿产勘查方法技术研究成为当前地质找矿工作的重点,相应地,地质勘查样品特别是地球化学样品的分析任务量剧增,分析周期相对增长,例如地球化学勘查中的异常查证工作周期至少两年。缩短异常查证周期、提高矿产勘查效率,将被更多的地质和地球化学工作者所追求^[1-4]。

2008 年起,中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所(以下简称“物化探所”)率先在内蒙古、安徽等地进行浅覆盖区地球化学调查方法技术研究,成功研制了浅钴化探测量方法。目前该方法技术已经基本成熟,国土资源部、中国地质调查局拟进行示范测量及方法技术推广。近年来,在新疆东天山地区相继新发现了玉海铜(钼)矿、白鑫滩铜镍矿、阿齐山铅锌矿、路北铜镍矿、沙西铜矿、哈西金矿以及其他众多找矿线索,显示了东天山地区具有巨大的找矿潜力^[5]。2012 年,物化探所选择在具有找矿潜力的新疆东天山浅覆盖区进行浅钴化探示范测

量及方法技术推广。而浅钴化探测量样品采集成本高,扫面点位和异常查证点位的快速确定显得尤为重要。因此,利用便携式快速分析仪^[6-7]在覆盖区野外现场快速测定样品中部分元素的含量,可为下一步勘查工作提供参考信息,节约成本并缩短工作周期,这对于覆盖区找矿工作具有重要的意义^[8]。

研究表明,大型 X 射线荧光光谱仪(XRF)和便携式能量色散 XRF 光谱仪都可有效测定地质样品中多项指标^[9-12],例如张勤等^[13]、李桂云等^[14]、赵琦^[15]测定了化探样品中的多项种组分,指出分析方法的精密度和准确度能满足野外现场分析要求,缺点是对低含量元素的测量准确度尚存不足。Kaniu 等^[16-17]、Paulette 等^[18]、Zhu 等^[19]利用能量色散 XRF 光谱仪快速分析土壤样品,认为其在土地质量快速评估研究中具有良好的应用前景。前人的研究主要是从分析测试角度讨论了便携式能量色散 XRF 光谱仪分析地质样品的可行性,缺乏其在实际地球化学勘查工作中的适应性、野外现场快速测定地质样品的数据可靠性及其与地质实验室室内分析结果的对比。

收稿日期: 2015-04-13; 修回日期: 2015-09-22; 接受日期: 2015-11-08

基金项目: 国土资源地质大调查项目(1212011220598,12120113101000); 国土资源部公益性行业科研专项(201411024)

作者简介: 杨帆,工程师,在读博士生,主要从事勘查地球化学基础理论及方法技术研究。E-mail: yangfan@igge.cn。

通讯作者: 郝志红,硕士,工程师,主要从事地球化学样品中元素配套分析方法及其标准化研究。E-mail: haozhihong@igge.cn。

针对当前地质找矿的需求,本文采用 Minipal 4 便携式能量色散 XRF 光谱仪在野外驻地开展了地球化学样品的现场分析工作,配合浅钻取样技术分析测定了新疆东天山浅覆盖区下覆残积物粉末岩心样品中的 Cu、Pb、Zn、As、Co、Ni、Mn,建立了上述 7 种元素的野外快速分析方法,并现场指导浅覆盖区的浅钻化探扫面和异常查证工作。

1 实验部分

1.1 便携式 XRF 光谱仪仪器及其工作条件

采用帕纳科公司的 Minipal 4 便携式能量色散 XRF 光谱仪。该仪器体积为 220 mm×530 mm×500 mm,质量约 28 kg。正常运行参数:温度 5~35℃;湿度 20%~80%(温度 5~30℃下),20%~60%(温度 30~35℃下);主电压 100~240 VAC±10%;频率 50/60 Hz±6%;最大电流 1000 μA;最高电压为 30 kV;X 光管功率最大为 9 W;分析元素范围为 Na~U,含量范围为 μg/g~100%;最大计数率 90000/s。该仪器的探测器为二级电制冷的 SDD 探测器,分辨率为 145 eV;X 光管为铑靶。配有 5 种过滤片,分别为 Kapton(厚 50 μm)、Al-thin(厚 50 μm)、Al(厚 200 μm)、Mo(厚 100 μm)、Ag(厚 100 μm);12 个位置的样品交换器,样品自旋,可分析固体和液体样品。

1.2 样品制备

野外现场分析要求制样工序简单快速,因此只能将粉末样品放在样品盒中手工压片制样^[2]。筛选粒径小于 74 μm 的样品 6 g,放入聚乙烯塑料测量杯中,轻轻压实后进行测量^[2]。

1.3 校准样品选择

为了降低野外现场分析中粉末样品压片制样过程中粒度、矿物和基体效应产生的分析误差,所选择的校准样品应具备以下特征:①与待分析样品具有相似的基体类型^[20],②各元素有足够宽的含量范围和适当的含量梯度^[21-22]。因此,实验选择了岩石国家标准物质 GBW07103~GBW07108、GBW07120~GBW07122,土壤国家标准物质 GBW07401~GBW07408、GBW07423~GBW07430、GBW07446、GBW07448、GBW07450、GBW07451 和水系沉积物国家标准物质 GBW07301~GBW07309 作为校准样品。校准样品中各元素含量范围见表 1。

1.4 基体效应与谱线重叠校正

使用经验系数法和铑靶 Kα 线康普顿散射线内标法校正基体效应,采用多个校准样品和下述方程,通过回归同时求出基体效应和谱线重叠干扰

因子^[13]: $C_i = D_i - \sum(L_{im}Z_m) + E_iR_i(1 + \sum_{j=1}^n \alpha_{ij}Z_j)$
式中: C_i 为未知样品中分析元素 i 的含量; D_i 为元素 i 的校准曲线截距; L_{im} 为干扰元素 m 对分析元素 i 的谱线重叠干扰校正系数; Z_m 为干扰元素 m 的含量或计数率; E_i 为分析元素 i 校准曲线的斜率; R_i 为分析元素 i 的计数率(或与内标线的强度比值); α 为校正基体效应因子; Z_j 为共存元素 j 的含量或计数率; n 为共存元素的数目;i、j 和 m 分别为分析元素、共存元素和干扰元素。

表 1 校准样品中各元素的含量范围
Table 1 Concentration of each component in calibration samples

元素	含量范围 (μg/g)	元素	含量范围 (μg/g)
As	0.25~412	Co	1~98
Cu	3.1~390	Ni	2.3~276
Pb	5~636	Mn	28~2490
Zn	7~680		

2 结果与讨论

2.1 方法质量参数

本分析方法的质量参数主要有检出限、精密度和准确度(表 2)。①选用国家标准物质 GBW07317(水系沉积物),制备成 12 份样片并连续测定,求出各组分 12 次分析结果的标准偏差,其标准偏差的 3 倍作为本方法的检出限。②选用未参加回归的国家标准物质 GBW07446(土壤),制备成 12 份样片进行测量,计算方法精密度。结果表明,各个组分的方法精密度(RSD)均能满足区域地球勘查规范(DZ/T 0167—2006)要求。③利用未参加回归的国家标准物质 GBW07446(土壤)和 GBW07309(水系沉积物),各压制 2 个样片,分别连续测定 2 次,计算各组分测定结果的平均值进行准确度验证,结果表明测定值与标准值基本吻合。

表 2 方法质量参数
Table 2 Parameters of the method

元素	检出限 (μg/g)	方法精密度		方法准确度			
		测定平均值 (μg/g)	RSD (%)	GBW07446		GBW07309	
				标准值 (μg/g)	本法 (μg/g)	标准值 (μg/g)	本法 (μg/g)
As	2	6.75	4.7	6.2±0.4	7.06	8.4±0.9	8.07
Cu	2	12.52	3.0	12.6±0.6	11.95	32±2	32.99
Pb	2	17.57	3.8	17.4±1.1	17.80	23±3	22.05
Zn	1.5	28.18	1.7	29±2	26.99	78±4	77.05
Co	2	4.76	3.5	5.0±0.2	4.44	14.4±1.2	12.7
Ni	2	9.56	4.3	9.6±0.6	9.23	32±2	34.37
Mn	6	309.07	1.0	309±6	312.1	620±20	619.02

2.2 试点测量结果分析

2.2.1 试点概况

试点位于新疆东天山浅覆盖区哈密市大南湖戈壁。工作区相对高差小,地形起伏不明显,水系不发育,无常年流水。覆盖地段大部分为浅覆盖区,主要被第四系所覆盖,厚度在 20 ~ 30 m 之间,少部分 >30 m,地球化学勘查须采用浅钻化探测量方法。

2.2.2 采样技术及样品性质

浅钻区域化探测量具体方案如下:①网格化均

匀布孔;②1 孔/4 km² (重点区段加密至 1 孔/2 km²);③钻进达基岩或风化基岩面,采样部位为风化基岩上部残积层或基岩上部;④采样介质(样品)为碎岩屑或由空气循环冲击钻所取颗粒粉末状岩心;⑤样品质量 250 ~ 300 g。

2.2.3 测量结果与讨论

用浅钻化探样品的现场分析数据与实验室分析数据分别编制 7 种元素的地球化学图(图 1 和图 2),主要从分析指标的区域地球化学分布特征方

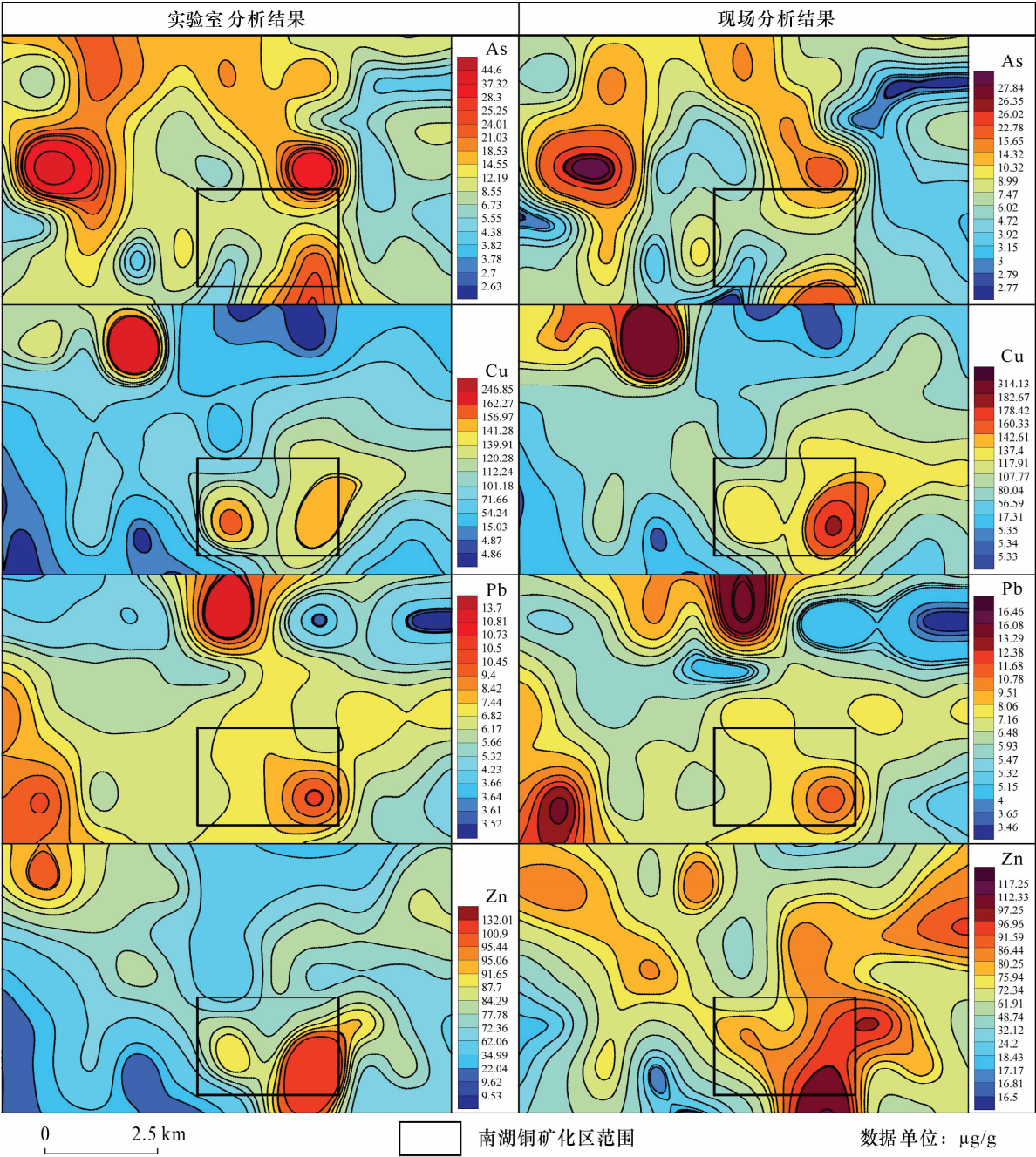


图 1 现场分析和实验室测试 As、Cu、Pb、Zn 地球化学图对比

Fig.1 Comparison of geochemical maps of As, Cu, Pb, Zn drawn by on-site and laboratory analysis

面对各元素的现场和实验室两类分析结果进行了对比,以验证 Minipal 4 便携式能量色散 XRF 光谱仪现场分析的可靠性,以及现场快速指导扫面点位布置和异常查证的可行性。

现场分析和实验室测试结果(图 1 和图 2)显示:①Cu、Pb、Zn、As、Ni、Mn 等 6 个元素,现场分析数据与实验室分析数据基本接近。在南湖铜矿化区内,两类分析的数据区域分布特征接近,圈定的各元素的异常范围、异常强度和主要的浓集中心基本吻合,表明上述 6 个元素的分析结果可以完全满足本试点的现场分析需求。②Co 的两类分析数据之间的差异较大,但地球化学分布特征比较相似,浓度展布趋势相近。其现场分析数据普遍较实验室的数据高,可能属于系统误差,有待进一步校准或研究^[3,23]。总体上,Minipal 4 便携式能量色散 XRF 光

谱仪现场分析结果可靠,可快速指导现场扫面点位布置,有效避免了盲目钻进,节约了成本。

根据上述结果可以认为,Minipal 4 便携式能量色散 XRF 光谱仪也可用来现场指导异常查证工作。因此,在实际工作中,本次研究又利用现场分析结果对南湖铜矿化区的铜异常进行了初步的快速检查,并对查证样品进行现场分析,确认了铜异常确实存在。随后又将查证样品送交物化探所中心实验室进行分析,并与现场分析结果进行对比(图 3),进一步确认了铜异常的存在,证明了利用现场分析数据确定的异常查证区确实可靠,即 Minipal 4 便携式能量色散 XRF 光谱仪可用来现场指导异常查证工作。

样品送地质实验室分析需要 6~12 个月,野外现场分析当天即可报出数据,而采用地质实验室分析数据进行异常查证工作需要 2 年。Minipal 4 便携

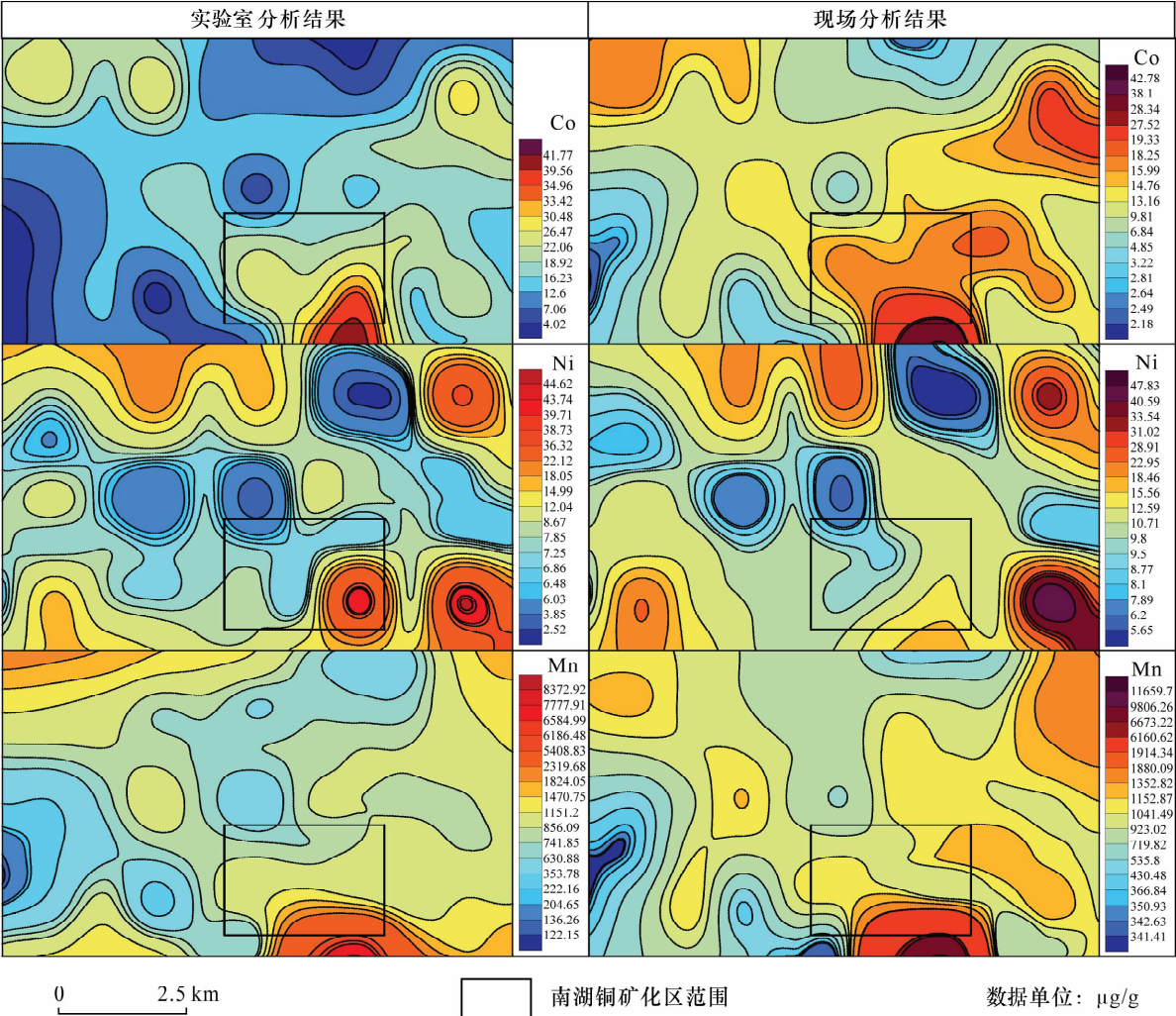


图 2 现场分析和实验室测试 Co、Ni、Mn 地球化学图对比
Fig. 2 Comparison of geochemical maps of Co, Ni, Mn drawn by on-site and laboratory analysis

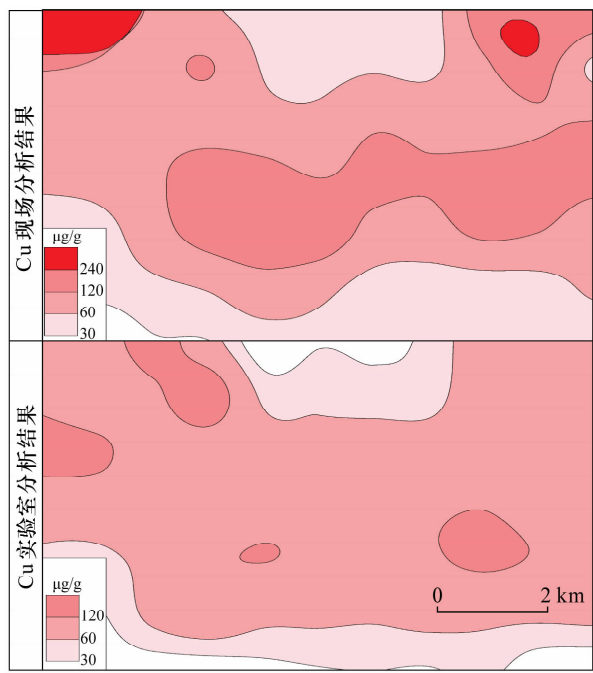


图 3 现场分析和实验室测试铜的地球化学异常图对比

Fig. 3 Comparison of anomalous geochemical maps of Cu drawn by on-site and laboratory analysis

式能量色散 XRF 光谱仪具有操作简单、能同时进行多元素分析、分析速度快等优点,适应于现场分析,其方法检出限、精密度、准确度可以满足现场分析要求,且地球化学样品的现场分析数据与实验室的分析数据基本吻合,可现场快速指导浅钻化探扫面点位布置和异常查证。因此,能有效避免盲目钻进,节约成本,并大大缩短了地球化学勘查工作周期,明显提高了勘查效率。

3 结论

新疆东天山浅覆盖区试点测量结果表明,Minipal 4 便携式能量色散 XRF 光谱仪能够快速、准确测定浅钻化探样品,测定数据成图效果与实验室内分析数据成图效果接近,可现场指导浅钻化探扫面和异常查证工作,提高了勘查效率。

本研究是利用 Minipal 4 便携式能量色散 XRF 光谱仪在野外现场测试化探样品,快速指导化探扫面及异常查证的一个成功案例,特别是在异常检查中具有良好的应用前景,可为覆盖区后续开展的地球化学勘查工作提供参考,以加快推进覆盖区找矿工作,更大程度地满足国家经济发展建设对矿产资源的需求。

致谢:感谢中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所李国会、于兆水教授级高级工程师和徐进力工程师在分析测试方面的指导。特别感谢李国会对本工作使用的 Minipal 4 便携式能量色散 X 射线荧光光谱仪进行校准。

4 参考文献

[1] 陈静,高志军,陈冲科,等. X 射线荧光光谱法分析地质样品的应用技巧[J]. 岩矿测试,2015,34(1):91-98.
Chen J, Gao Z J, Chen C K, et al. Application Skills on Determination of Geological Sample by X-ray Fluorescence Spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis, 2015, 34(1):91-98.

[2] 张素荣,杨帆,张华,等. 青藏高原条件下现场分析方法的适应性[J]. 物探与化探,2014,38(1):100-105.
Zhang S R, Yang F, Zhang H, et al. The Suitability of Field Analytical Methods under the Special Conditions of Tibetan Plateau [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2014, 38(1):100-105.

[3] 李强,张学华. 手持式 X 射线荧光光谱仪测定富钴结壳样品中锰铁钴镍铜锌[J]. 岩矿测试,2013,32(5):724-728.
Li L, Zhang X H. Determination of Mn, Fe, Co, Ni, Cu and Zn in Cobalt-rich Crusts by Portable X-ray Fluorescence Spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis, 2013, 32(5):724-728.

[4] 樊兴涛,李迎春,王广,等. 车载台式能量色散 X 射线荧光光谱仪在地球化学勘查现场分析中的应用[J]. 岩矿测试,2011,30(2):155-159.
Fan X T, Li Y C, Wang G, et al. On-site Geochemical Exploration Analysis by Vehicle-loaded Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis, 2011, 30(2):155-159.

[5] 王亚磊,张照伟,尤敏鑫,等. 东天山白鑫滩铜镍矿锆石 U-Pb 年代学、地球化学特征及对 Ni-Cu 找矿的启示[J]. 中国地质,2015,42(3):452-467.
Wang Y L, Zhang Z W, You M X, et al. Chronological and Geochemical Characteristics of the Baixintan Ni-Cu Deposit in Eastern Tianshan Mountains, Xinjiang, and Their Implications for Ni-Cu Mineralization [J]. Geology in China, 2015, 42(3):452-467.

[6] Weider S Z, Nittler L R, Starr R D, et al. Evidence for Geochemical Terranes on Mercury: Global Mapping of Major Elements with MESSENGER's X-ray Spectrometer [J]. Earth and Planetary Science Letters, 2015, 416:109-120.

[7] Escárate P, Bailo D, Guesalaga A, et al. Energy Dispersive X-ray Diffraction Spectroscopy for Rapid Estimation of

- Calcite in Copper Ores[J]. Minerals Engineering, 2009, 22:566 – 571.
- [8] 张鹏,张寿庭,邹灏,等. 便携式 X 荧光分析仪在萤石矿勘查中的应用[J]. 物探与化探, 2012, 36(5):718 – 722.
Zhang P, Zhang S T, Zou H, et al. The Application of Portable X-ray Fluorescence Analyzer to Fluorite Prospecting [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2012, 36(5):718 – 722.
- [9] Trunova V, Sidorina A, Kriventsov V. Measurement of X-ray Mass Attenuation Coefficients in Biological and Geological Samples in the Energy Range of 7 – 12keV [J]. Applied Radiation and Isotopes, 2015, 95:48 – 52.
- [10] Lanson B, Ferrage E, Hubert F, et al. Experimental Aluminization of Vermiculite Interlayers: An X-ray Diffraction Perspective on Crystal Chemistry and Structural Mechanisms[J]. Geoderma, 2015, 249 – 250: 28 – 39.
- [11] Ortolano G, Zappal L, Mazzoleni P. X-Ray Map Analyser: A New ArcGIS Based Tool for the Quantitative Statistical Data Handling of X-ray Maps (Geo- and Material-Science Applications) [J]. Computers and Geosciences, 2014, 72:49 – 64.
- [12] 罗立强,梁国立,马光祖,等. 地质样品中岩性自动分类 X 射线荧光光谱分析研究[J]. 分析科学学报, 1996, 12(3):189 – 193.
Luo L Q, Liang G L, Ma G Z, et al. X-ray Fluorescence Analysis Arranging Geological Samples under Automatically Categories [J]. Journal of Analytical Science, 1996, 12(3):189 – 193.
- [13] 张勤,樊守忠,潘宴山,等. Minipal 4 便携式能量色散 X 射线荧光光谱仪在勘查地球化学中的应用[J]. 岩矿测试, 2007, 26(5):377 – 380.
Zhang Q, Fan S Z, Pan Y S, et al. Application of Minipal 4 Portable X-ray Fluorescence Spectrometer in Geochemical Exploration Analysis [J]. Rock and Mineral Analysis, 2007, 26(5):377 – 380.
- [14] 李桂云,李国会. 能量色散 X 射线荧光光谱法测定铅冶炼中鼓风炉渣样品中 7 种组分[J]. 冶金分析, 2008, 28(9):16 – 19.
Li G Y, Li G H. Determination of Seven Components in Slag from Smelting Lead Blast Furnace by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer [J]. Metallurgical Analysis, 2008, 28(9):16 – 19.
- [15] 赵琦. X 荧光测量在区域化探异常检查中的应用[J]. 四川地质学报, 2000, 20(2):158 – 160.
Zhao Q. The Application of X-ray Fluorescence Analysis to Regional Geochemical Anomaly Exploration [J]. Acta Geologica Sichuan, 2000, 20(2):158 – 160.
- [16] Kaniu M I, Angeyo K H. Challenges in Rapid Soil Quality Assessment and Opportunities Presented by Multivariate Chemometric Energy Dispersive X-ray Fluorescence and Scattering Spectroscopy [J]. Geoderma, 2015, 241 – 242:32 – 40.
- [17] Kaniu M I, Angeyo K H, Mwala A K, et al. Direct Rapid Analysis of Trace Bioavailable Soil Macronutrients by Chemometrics-assisted Energy Dispersive X-ray Fluorescence and Scattering Spectrometry [J]. Analytica Chimica Acta, 2012, 729:21 – 25.
- [18] Paulette L, Man T, Weindorf D C, et al. Rapid Assessment of Soil and Contaminant Variability via Portable X-ray Fluorescence Spectroscopy: Copsa Mică, Romania [J]. Geoderma, 2015, 243 – 244:130 – 140.
- [19] Zhu Y D, Weindorf D C, Zhang W T. Characterizing Soils Using a Portable X-ray Fluorescence Spectrometer: 1. Soil Texture [J]. Geoderma, 2011:167 – 177.
- [20] 于兆水,张勤,李小莉,等. 高压粉末制样波长色散 X 射线荧光光谱法测定生物样品中 23 种元素[J]. 岩矿测试, 2014, 33(6):844 – 848.
Yu Z S, Zhang Q, Li X L, et al. Determination of 23 Elements in Biological Samples by Wavelength Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer with High Pressure Powder Pelleting Preparation [J]. Rock and Mineral Analysis, 2014, 33(6):844 – 848.
- [21] 詹秀春,樊兴涛,李迎春,等. 直接粉末制样 – 小型偏振激发能量色散 X 射线荧光光谱法分析地质样品中多元素[J]. 岩矿测试, 2009, 28(6):501 – 506.
Zhan X C, Fan X T, Li Y C, et al. Multi-elements Determination in Geological Materials by Bench-top Polarized Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry Coupled with Directly Pressed Powder Sample Preparation Technique [J]. Rock and Mineral Analysis, 2009, 28(6):501 – 506.
- [22] 龙昌玉,李小莉,张勤,等. 能量色散 X 射线荧光光谱仪现场快速测定多金属矿中 17 种组分[J]. 岩矿测试, 2010, 29(3):313 – 315.
Long C Y, Li X L, Zhang Q, et al. On-site Determination of 17 Components in Polymetallic Ores by Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometry [J]. Rock and Mineral Analysis, 2010, 29(3):313 – 315.
- [23] 张学华,李强,黄雪华,等. 手持式 X 射线荧光光谱仪在富钴结壳资源勘查中的应用[J]. 岩矿测试, 2014, 33(4):512 – 516.
Zhang X H, Li Q, Huang X H, et al. Application of Hand-held X-ray Fluorescence Spectrometer in the Exploration of Cobalt-rich Crust Resources [J]. Rock and Mineral Analysis, 2014, 33(4):512 – 516.

Application of Minipal4 Portable Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer in the Verification of Geochemical Anomaly Delineated by Shallow Hole Drill Core in Eastern Tianshan

YANG Fan^{1,2}, HAO Zhi-hong^{1}, LIU Hua-zhong¹, GUO Zhi-juan¹, WANG Hui¹*

(1. Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Chinese Academy of Geological Sciences, Langfang 065000, China;

2. School of Earth Science and Resources, China University of Geosciences (Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: A portable Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer (EDXRF) has similar properties to an X-ray Fluorescence Spectrometer in the geological laboratory. EDXRF has a broad application prospect in the mineral exploration and is particularly suitable for in situ analysis at areas with a difficult and long prospecting period. However, further developments of rapid in situ analysis are necessary. A method for rapid determination of Cu, Pb, Zn, As, Mn, Co and Ni by XRF in the field has been proposed. Samples were collected by a vehicle-mounted drilling rig in the shallow overburden areas in the eastern Tianshan area of the Xinjiang Uygur Autonomous Region. Sample powder pellets were pressed manually. The determination limits of the method for Cu, Pb, Zn, As, Mn, Co and Ni are 2, 2, 1.5, 2, 2, 2 and 6 $\mu\text{g/g}$, respectively. The precision (RSD, $n = 12$) is less than 4.7%. This method can be used to analyze geochemical samples. The data of in situ rapid analysis was evaluated by comparing with that obtained from the geological laboratory. The geochemical maps of elements drawn by the two types of analytical data were completely consistent. This method can rapidly analyze geochemical samples in the field, decreasing the time of verification of geochemical anomaly and improving geochemical exploration efficiency.

Key words: shallow overburden areas; geochemical samples from short hole drill; on-site analysis; verification of geochemical abnormality; Portable Energy Dispersive X-ray Fluorescence Spectrometer