第 39 卷 第 4 期
2024 年 12 月:558 - 563

地 质 找 矿 论 丛
Contributions to Geology and Mineral Resources Research

Vol. 39 No. 4
Dec. 2024:558 - 563

doi:10.6053/j.issn.1001 - 1412.2024.04.014

热带草原景观土壤测量采样深度与样品粒级试验研究
——以尼日利亚纳萨拉瓦锂矿为例

董帅[1,2],刘高杰[1,2],王建青[1,2],陈向平[1,2],洪文武[1,2],李松彬[1,2]
(1.天津华北地质勘查总院,天津 300170;
2.天津华北地质勘查总院有限公司,天津 300170)

摘要: 纳萨拉瓦地区位于尼日利亚中部稀有金属成矿带的北东段,是尼日利亚最重要的伟晶岩型锂(铍铌钽)矿集中区之一。在纳萨拉瓦地区进行土壤测量采样深度与样品粒级试验研究,可为区域上寻找伟晶岩型锂矿提供土壤地球化学依据。以土壤垂向剖面法采样,选择有代表性的剖面进行验证,选取土壤测量采样深度 30~50 cm、截取样品粒级 -20~+60 目,获得土壤地球化学异常与隐伏矿体的对应性良好。研究表明,该技术方法在同类景观区稀有金属找矿工作中具有显著的地球化学找矿效果。

关键词: 锂矿床;土壤地球化学测量;采样深度;样品粒级;有效性试验;尼日利亚
中图分类号: P632.1;P618.71 **文献标识码:** A

0 引言

目前,众多企业在尼日利亚纳萨拉瓦地区从事伟晶岩型稀有金属矿产勘查和开发工作,然而该区覆盖较为广泛,利用地质、物探等方法寻找隐伏锂矿体具有较大的局限性。在国内外地质勘查中被广泛应用于寻找隐伏矿体的土壤地球化学测量方法[1-4]也逐步应用在锂矿的勘查工作中[5-7],肖瑞卿等[8]曾利用该方法在甲基卡锂矿勘查中圈定了多处找矿靶区。在利用土壤地球化学测量寻找锂矿过程中,关键技术问题是采样深度和样品截取粒级,这将直接影响地球化学找矿信息的提取[9-10]。

本研究以纳萨拉瓦矿区勘查项目为依托,通过对采样深度和样品截取粒级的研究,了解成矿元素在该区的分布规律和最佳富集深度,并通过剖面对比验证了土壤地球化学测量找矿方法在该区锂矿勘查中的有效性,为纳萨拉瓦地区和其它相同景观区的稀有金属矿床勘查提供借鉴和参考。

1 自然地理及景观特征

该区属热带草原气候,全年高温炎热,年均气温 27~30℃,年降雨量 1800 mm 以上,主要集中在 5 月至 10 月。自然植被以次生稀树草原为主,雨季野草繁盛茂密,高可达 2 m。区内水系发育,河流多自北向南汇入近东西向的贝努埃河,再向西注入西非第一大河——尼日尔河。

研究区地处尼日利亚中北部,海拔标高 150~500 m,为典型的低山丘陵景观区,地势总体北高南

收稿日期: 2024 - 07 - 10; **责任编辑:** 沈名星
基金项目: 天津华北地质勘查局科研项目(编号:HK2023-B01)资助。
作者简介: 董帅(1986—),男,工程师,硕士,主要从事区域地质矿产调查、矿产勘查工作。通信地址:天津市河东区广瑞西路 67 号,邮政编码:300170。E-mail:64031299@qq.com
通信作者: 刘高杰(1986—),男,高级工程师,学士,主要从事战略性矿产勘查和研究工作。通信地址:天津市河东区广瑞西路 67 号,邮政编码:300170。E-mail:858627975@qq.com

低,总体地形起伏不大。区内以风化残积地貌为主,还有冲积、洪积、河谷和低山丘陵地貌,山前局部发育细沟和切沟,可见零星冲沟。河流两侧河漫滩广泛发育,形成较为典型的河漫滩上曲流,阶地不发育。冲积、洪积地貌和风化残积地貌在研究区内分布最为广泛。土壤类型以黏土、亚黏土为主。土壤沉积层由白垩纪的砂岩、粉砂岩和黏土层组成,大部分为典型的非洲砖红壤[11]。

2　区域地质特征

尼日利亚位于西非的南东部,大地构造上处在西非克拉通和刚果克拉通之间的泛非活动带内。尼日利亚伟晶岩脉分布广泛,从西南的 Ago-Iwoye 延伸到东北的 Bauchi,直线距离超过 400 km[12]。纳萨拉瓦-凯菲地区位于尼日利亚中部伟晶岩型稀有金属成矿带的北东段(图 1),区内已发现有上千条花岗伟晶岩脉,是尼日利亚最重要的伟晶岩型锂(铍铌钽)矿集中区之一。

区域地层相对较为简单,除大面积(80%～90%)第四系冲洪积物覆盖层外,零星出露前寒武纪基底杂岩,主要由混合岩-片麻杂岩、片岩带(变质沉积岩和变质火山岩)和古老花岗岩(泛非花岗岩类)组成。

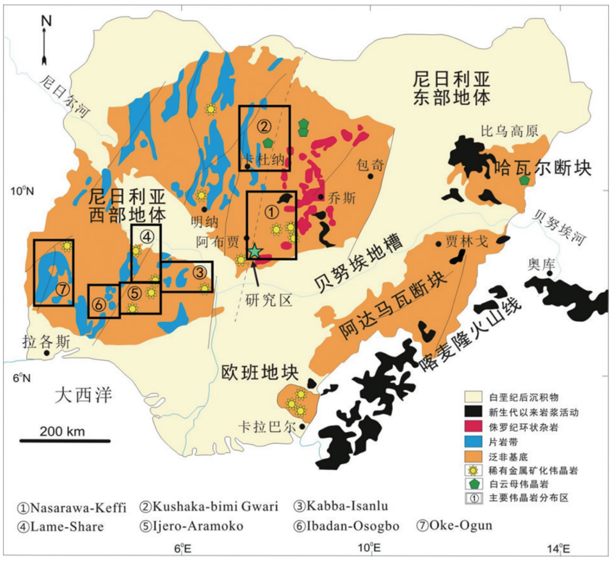

图 1　尼日利亚主要伟晶岩型矿床分布图
(据文献[12-13]修改)
Fig. 1　Map showing distribution of major pegmatitic deposits in Nigeria

岩浆岩以侏罗纪环状花岗杂岩为主。各类脉岩广泛发育,规模大小不一,宽度数厘米至上百米均有,最长可达数千米,岩性以花岗伟晶岩脉为主,局部见有花岗岩脉、石英脉、辉长岩脉等。

区域构造以 NE 向和 NW 向断裂为主,近 EW 向及 SN 向断裂较发育。大型构造主要发育于前寒武纪结晶基底区域,形成于泛非期,早期以 NE-SW 走向褶皱为主,形成宽缓褶皱;中期近 SN 向陡倾褶皱带分布广泛,常伴随发育近 SN 向断裂带;晚期构造变形期是重要的多金属成矿期。

3　样品采集与样品粒级

3.1　样品采集

为研究矿(化)体及背景地段土壤垂向微量元素赋存变化规律,在研究区选择 3 处剖面(LD1、LD2、LD3)作为试验研究剖面。LD1 位于近山顶处的缓坡上,采集于深约 10 m 的浅井内,深部基岩为云母片岩。LD2 和 LD3 位于缓坡上、采集于深约 2 m 的探槽内,据周围转石推测深部基岩为云母片岩。土壤垂向试验剖面选择在区内伟晶岩脉附近,避开冲洪积等松散堆积物覆盖区,目的是掌握微量元素含量变化特征与采样深度及样品粒级之间的关系,为下一步开展面积性土壤地球化学测量确定最佳采样深度和样品粒级。

首先对土壤剖面进行详细观察并分层,样品从地表向下穿过 A 层(A 层深度一般在 10 cm 左右)后,自 B 层开始向深部依次按 0～20 cm、20～40 cm、40～60 cm 三层分层,每个层位的样品按照 10×10 cm(宽度×深度)规格连续刻槽法采集,每条剖面按分层采集 3 件样品,3 条剖面共采集 9 件样品,野外采集的样品重量为 3～5 kg。

3.2　样品粒级选择、加工与分析

试验样品自然风干后,先用木棍轻轻敲打,再用手反复揉搓,除去颗粒物表面上附着的黏土,把每个样品用不锈钢筛按照－4～＋20 目、－20～＋60 目和－60 目套筛加工成 3 个粒级段样品,3 条剖面的样品按照 3 个粒级加工分解成 27 件样品。样品分析由具备甲级资质的湖北省地质实验测试中心按照行业标准执行,测试中采用一级标样进行准确度监控,并插入 10% 的密码样进行检查。检查结果表明,样品测试的准确度和精准度均优于标准要求,分析质量可靠。

4 土壤测量方法技术试验成果

4.1 采样深度

LD1 剖面采样深度 w(Li)、w(Be)、w(Nb)、w(Rb)变化特征(图 2):w(Li)、w(Be)、w(Rb)在 20 cm 深度开始富集,但随着采样深度的增加,含量大致相当,基本趋于稳定,其含量不随采样深度的加深而增高(图 2a、图 2b、图 2d)。w(Nb)在 20 cm 深度开始富集,其含量随采样深度的加深略有降低(图 2c)。

LD2 剖面采样深度 w(Li)、w(Be)、w(Nb)、w(Rb)变化特征(图 3):w(Li)、w(Nb)、w(Rb)在 20 cm 深度开始富集,但随着采样深度的增加,含量大致相当,基本趋于稳定,其含量不随采样深度的加深而增高(图 3a、图 3c、图 3d)。w(Be)在 20 cm 深度开始富集,其含量随采样深度的加深有所降低(图 3b)。

LD3 剖面采样深度 w(Li)、w(Be)、w(Nb)、w(Rb)变化特征(图 4):w(Li)、w(Nb)、w(Rb)在 20 cm 深度处开始富集,其含量随采样深度的加深而增高(图 4a、图 4c、图 4d)。w(Be)主要富集在 20～40 cm 处,其含量随采样深度的加深略有降低,但幅度不大(图 4b)。

总体而言,w(Li)、w(Be)、w(Nb)、w(Rb)随着采样深度的增加而趋于稳定,表明采样深度在 20 cm 以下,可以消除近地表次生富集的影响,真实地反映该区微量元素在土壤中的含量水平。

4.2 样品粒级

LD1 剖面样品粒级 Li、Be、Nb、Rb 含量变化特征:各元素粒级含量分布差异相对较小(图 2),但可明显看出,各元素在－20～＋60 目粒级段含量相对较高,－4～＋20、－60 目 2 个粒级段含量水平差异很小且含量相对较低。

LD2 剖面样品粒级 Li、Be、Nb、Rb 含量变化特征:Li、Nb、Rb 粒级含量分布差异相对较小,由图 3 反映出从－4～＋20 目、－60 目到－20～＋60 目元素含量呈逐渐增加的分布状态,在－20～＋60 目富集最强。Be 元素含量在－4～＋20 目、－60 目、－20～＋60 目内上下波动,无明显规律。

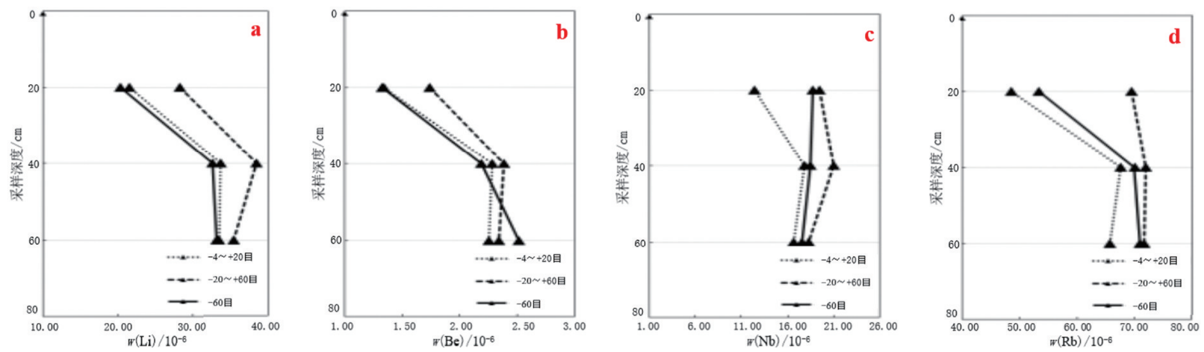

图 2 LD1 剖面不同采样深度样品粒级各元素含量变化图

Fig. 2 Variation of sampling grain size and element content at different depth at section LD1

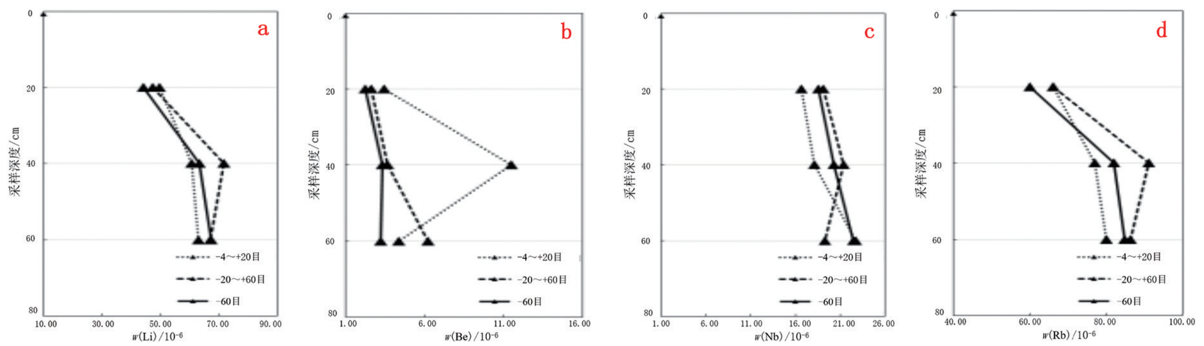

图 3 LD2 剖面不同采样深度样品粒级各元素含量变化图

Fig. 3 Variation of sampling grain size and element content at different depth at section LD2

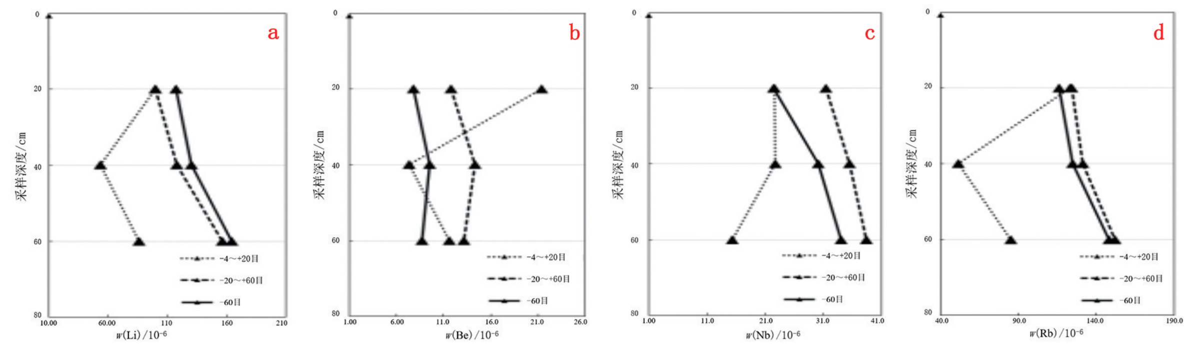

图 4　LD3 剖面不同采样深度样品粒级各元素含量变化图

Fig. 4　Variation of sampling grain size and element content at different depth at section LD3

LD3 剖面样品粒级 Li、Be、Nb、Rb 含量变化特征:各元素粒级含量分布差异较大(图 4),Li、Nb、Rb 在 −4～+20 目含量相对较低,−60 目和 −20～+60 目粒级段含量相对较高,且差异不大,Li 在−60 目富集度略高,Nb 和 Rb 在−20～+60 目富集度略高。Be 元素含量在−4～+20 目、−60 目、−20～+60 目内上下波动,无明显规律。

总体而言,Li、Be、Nb、Rb 元素在各剖面中在 −20～+60 目粒级段内相对富集。

4.3　采样深度和样品粒级有效性分析

在研究区 I－I′剖面上,对试验研究结果进行了有效性验证。按采样点距 20 m、采样深度 30～50 cm 进行样品采集,样品由 3 处以上组成,野外粗加工粒级−20～+60 目。结果表明(表 1),在锂矿体分布地段,Li、Be、Rb、Nb、Ta、Cs 平均含量、浓集克拉克值均比背景地段高,其中矿化地段 Li、Be、Ta 的平均含量分别是背景地段的 3.1 倍、3.2 倍、2 倍,变化系数分别为 0.40、0.43、0.41,表明这 3 种元素在区内分布特征具有不均匀性,同时也表明了 Li、Be、Ta 元素参与了次生富集成晕的过程,极易形成地球化学矿致异常。因此,本次选择的采样方法技术,既能反映矿化地段微量元素矿化信息特征及地球化学场变化特征,又能体现背景地段的地球化学特征。

通过元素含量曲线图(图 5)可以看出:在 160－260 点间,Li、Be、Rb、Nb、Ta、Cs 出现高值段,分别为 111.00×10^{-6}、8.16×10^{-6}、100.00×10^{-6}、37.9×10^{-6}、15.9×10^{-6}、21.4×10^{-6},经钻探工程验证,在覆盖层下探获 1 条花岗伟晶岩型锂矿体。总体上,锂矿体上方 Li、Be、Rb、Nb、Ta、Cs 元素出现明显异常,连续性好,具有明显浓集中心,浓集中心与锂矿体位置基本一致,对应性良好。

5　结语

(1)根据采样深度试验结果,穿过 A 层后的采样深度在−20 cm 以下能够客观反映土壤微量元素矿化信息特征。这既能避免人类活动所带来的污染,又能消除浅部次生富集带来的影响,也能客观反映深部基岩风化后的矿化信息特征。

表 1　纳萨拉瓦锂矿区 I-I′剖面元素地球化学参数特征

Table 1　Parameter characteristics of element geochemistry of section I-I′ in Nasarawa lithium Mining district

采样地段	地化参数	Be	Cs	Li	Nb	Rb	Sn	Ta	W
矿化地段	平均值	5.45	14.93	74.35	27.13	79.17	4.15	11.07	1.62
	标准离差	2.33	5.69	30.03	6.01	18.08	0.64	4.55	0.11
	变化系数	0.43	0.38	0.40	0.22	0.23	0.15	0.41	0.07
	浓集克拉克值	2.80	4.21	3.72	2.26	0.97	2.40	14.96	1.78
背景值地段	平均值	1.70	8.09	23.99	14.24	44.05	2.48	5.25	1.32
	标准离差	0.82	6.28	10.64	3.12	21.95	1.05	3.18	0.58
	变化系数	0.48	0.78	0.44	0.22	0.50	0.42	0.61	0.44
	浓集克拉克值	0.87	2.28	1.20	1.19	0.54	1.43	7.09	1.45
	克拉克值	1.95	3.55	20.00	12.00	82.00	1.73	0.74	0.91

注:量单位:$w_B/10^{-6}$;变化系数为标准离差与平均值的比值,浓集克拉克值为平均值与克拉克值的比值;分析测试单位:湖北省地质实验测试中心。

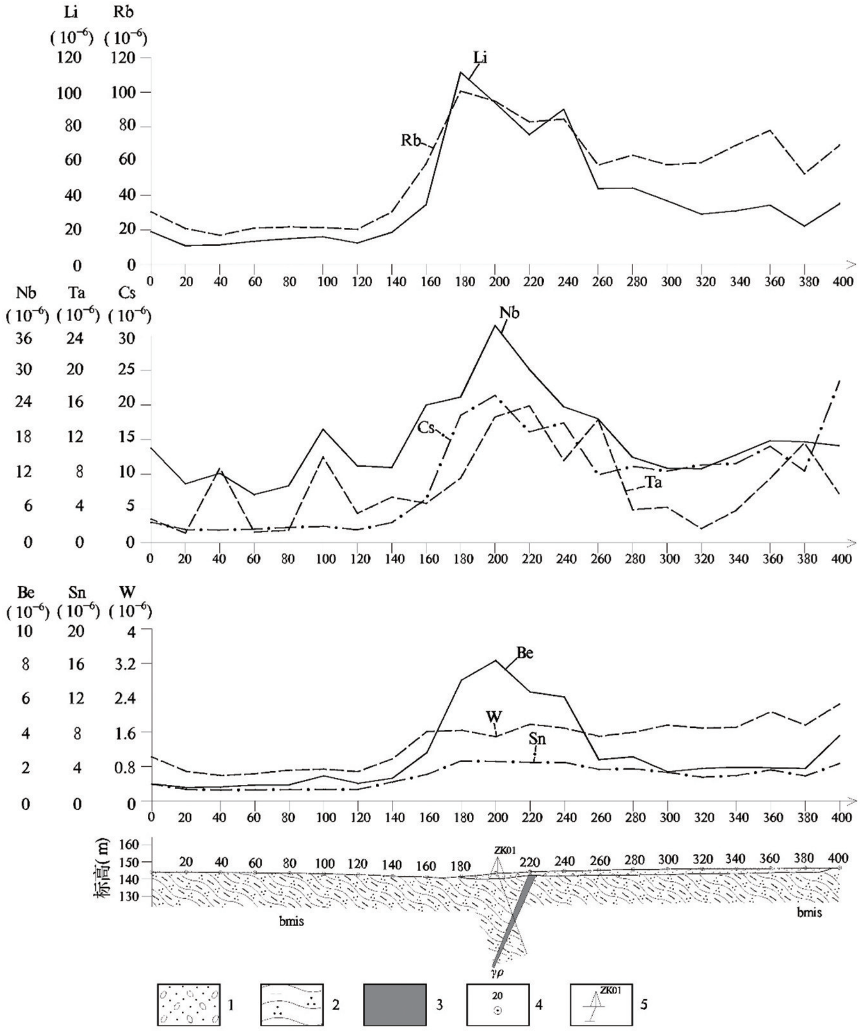

图 5 纳萨拉瓦锂矿区 I - I′剖面线土壤测量异常图

Fig. 5 Anomaly map of soil geochemical survey along section Ⅰ - Ⅰ′

1.第四系;2.云母片岩(bmis);3.伟晶岩型锂矿体;4.采样位置及编号;5.钻孔

(2)根据样品粒度试验结果,各元素含量在不同粒级有所差异,总体而言,中细粒级(-60 目、-20~+60)比粗粒级(-4~+20 目)效果好,-20~+60 目效果最好。

(3)采用采样深度 30~50 cm 和截取样品粒级-20~+60 目完成的验证土壤剖面显示,在锂矿体地段,Li、Be、Rb、Nb、Ta、Cs 元素出现明显异常,连续性好,具有明显浓集中心。这说明 30~50 cm 的采样深度和-20~+60 目样品加工粒级是合理的。

(4)试验研究结果表明,在尼日利亚热带草原景观条件下,采样深度对土壤异常的强弱影响较大,细粒级样品元素含量相对富集,采用 30~50 cm 采样深度、-20~+60 目样品加工粒级,能够体现矿化地段地球化学信息,获得的地球化学异常是真实、可靠的,完全能满足该区土壤地球化学找矿需要。

参考文献:

[1] 田云,林玮鹏,熊子良,等.粤西阳春旗鼓岭矿区土壤地球化学特征及找矿方向[J].矿产勘查,2023,14(12):2415-2425.

[2] 蒋永臻.土壤地球化学测量在赞比亚 Mwombezhi 地区铜钴矿预查中的应用[J].物探与化探,2017,41(5):821-825.

[3] 龚玉爽,侯海静,孙成杰,等.赞比亚西北省卡森帕 A 矿区土壤地球化学测量及找矿效果[J].物探与化探,2016,40(3):482-487.

[4] 连颖,刘战庆,张鸣远,等.赣南崇义石咀脑钨矿区土壤地球化学特征分析及找矿效果[J].地质与勘探,2022,58(1):86-95.

[5] 陈瑜,徐飞,程宏飞,等.锂同位素地球化学研究新进展[J].地学前缘,2023,30(5):469-490.

[6] 付小方,黄韬,郝雪峰,等.综合找矿模型在甲基卡隐伏区稀有锂金属找矿中的应用[J].矿床地质,2019,38(4):751-770.

[7] 张忠利,郭旭吉,屈有恒,等.地物化综合找矿方法在新疆阿尔泰卡鲁安锂辉石矿床中的应用[J].地质与勘探,2021,57(2):325-338.

[8] 肖瑞卿,赵春,付小方,等.四川甘孜甲基卡锂矿地质—地球化学特征和找矿标志[J].物探与化探,2018,42(6):1156-1165.

[9] 保善东,谢祥镭,王亚栋,等.寒冷半干旱草原景观大比例尺微沟系测量样品粒级试验——以锲墨格山锂铍稀有矿为例[J].物探与化探,2023,47(3):648-658.

[10] 丁兆举,常昊,张年生,等.热带雨林景观土壤测量采样深度与样品粒级试验研究——以加纳国雅卡锰金矿为例[J].地质与勘探,2021,57(3):554-562.

[11] 高建海.尼日利亚纳萨拉瓦州农业概况[J].世界农业,2013(2):113-115.

[12] 曹亮,崔森,胡鹏,等.尼日利亚矿产资源开发现状及投资环境[J].地质通报,2022,41(1):167-183.

[13] Bute S I, Yang X, Yang X, *et al*. Geochemistry, zircon U-Pb ages and Hf isotopes of granites and pegmatites from Gubrunde region in the eastern Nigeria Terrane: Insight into magmatism and tectonic evolution of the late Pan-African orogeny [J]. Geochemistry. DOI: 10.1016/j.chemer.2021.125809.

Experimental study on sampling depth and grain size of soil sample from tropical Savanna landscape: a case of Nasarawa lithium deposit in Nigeria

DONG Shuai[1,2], **LIU Gaojie**[1,2], **WANG Jianqing**[1,2], **CHEN Xiangping**[1,2], **HONG Wenwu**[1,2], **LI Songbin**[1,2]

(1. *Tianjin North China Geological Exploration General Institute*, *Tianjin* 300170, *China*; 2. *Tianjin North China Geological Exploration General Institute Co.*, *Ltd*. *Tianjin* 300170, *China*)

Abstract: Nasarawa Li deposit located at northeast rare metal belt in central Nigeria is one of the most important pegmatitic lithium deposit. Experimental study on sampling depth and grain size of soil sample collected in Nasarawa area is carried out to provide soil geochemical basis for prospecting pegmatitic Li deposits in the Region. Vertical section sampling method is adopted and is selected represntative section to verify the method. The Experimental sampling depth is 30-50 cm and grain size －20～＋60 mesh. Anomalies obtained are well corresponded with the burried ore bodies. The result shows that the method will be effective to prospect rare metal deposit in similar landscape.

Key Words: Li deposit; soil geochemical survey; sampling depth; sample grain size; experiment for effectiveness; Nigeria