

## 尼日利亚内陆砂矿的主要特点与勘查开发探讨 ——以乔斯 (Jos) 高原铌钽锡稀有多金属砂矿为例

刘海风<sup>1</sup>, 邓斌<sup>1</sup>, 郭杨豪<sup>1</sup>, 刘百顺<sup>2</sup>, 袁帅<sup>1</sup>, 张红新<sup>3</sup>

(1. 河南省地质矿产勘查开发局第五地质勘查院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省地质科学研究所, 河南 郑州 450001; 3. 中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所, 河南 郑州 450006)

**摘要:** 尼日利亚内陆砂矿种类主要有稀有金属砂矿和砂金矿等, 空间分布上具有带状分布规律; 矿砂矿物组成复杂, 其中稀有金属砂矿有用矿物主要有钛铁矿、铌(钽)铁矿、锆石、钍石、独居石和锡石等, 目前可供开发利用的主矿种以铌(钽)铁矿和锡石为主, 钛铁矿、锆石、钍石、独居石等多为伴生矿物综合评价利用; 研究确定砂金矿床以冲积型为主, 稀有金属砂矿主要为冲(洪)积型和坡积型矿床。针对尼日利亚内陆砂矿的主要特点, 提出主要评价手段为砂钻和砂井; 提出了开发建议。

**关键词:** 尼日利亚; 内陆砂矿; 主要特点; 勘查开发; 探讨

doi:[10.12476/kczhly.202210240671](https://doi.org/10.12476/kczhly.202210240671)

中图分类号: TD954 文献标志码: A 文章编号: 1000-6532 (2025) 05-0054-10

**引用格式:** 刘海风, 邓斌, 郭杨豪, 等. 尼日利亚内陆砂矿的主要特点与勘查开发探讨: 以乔斯 (Jos) 高原铌钽锡稀有多金属砂矿为例[J]. 矿产综合利用, 2025, 46(5): 54-63.

LIU Haifeng, DENG Bin, GUO Yanghao, et al. Characteristics of nigeria inland placer and approaches of exploration and development—take the rare polymetallic placer of nb-ta-sn in jos plateau as an example[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2025, 46(5): 54-63.

砂矿作为第四纪外生地表松散矿产, 具有易采易选的开发属性。进入新世纪后, 由于开发程度已经很高和国家不断加强对土地资源和环境的保护, 中国国内对内陆砂矿的勘查开发逐渐退出历史舞台<sup>[1]</sup>。在非洲地区, 不少国家对砂矿的开发历史悠久, 基本可以追溯到前殖民地时期。但开发活动主要以本地居民和小公司零星采矿活动及前殖民地时期白人公司小型开采为主, 开采规模较小, 保有资源和远景资源量仍然巨大。

笔者在西非国家尼日利亚工作多年, 主持过多个大中型砂矿床(以稀有金属矿产为主)的评

估、勘查、开发、管理和投融资一体化工作, 也见证过不少中国投资者开发非洲内陆砂矿的艰辛历程; 希望通过对尼日利亚内陆砂矿勘查开发的系统总结分析, 为开发利用提供参考和借鉴。

### 1 尼日利亚内陆砂矿的主要特点

尼日利亚地处西部非洲的尼日尔河中下游, 东临喀麦隆, 南濒几内亚湾, 西接贝宁, 北接尼日尔, 地理位置十分优越, 是非洲第一人口和经济大国<sup>[2]</sup>。境内丛林密布, 属热带草原气候, 全年分为雨季和旱季。5—10月西南季风盛行时为雨

收稿日期: 2022-10-24

基金项目: 2017 年河南省财政地质勘查(国外)项目(豫国土资发〔2017〕22 号); 2016、2017 年河南省地质矿产勘查开发局地质科研项目(豫地矿〔2016〕13 号、豫地矿〔2017〕02 号)

作者简介: 刘海风(1983-), 女, 高级工程师, 主要从事地质勘查、境外地质矿产勘查开发、水工环地质和管理工作。

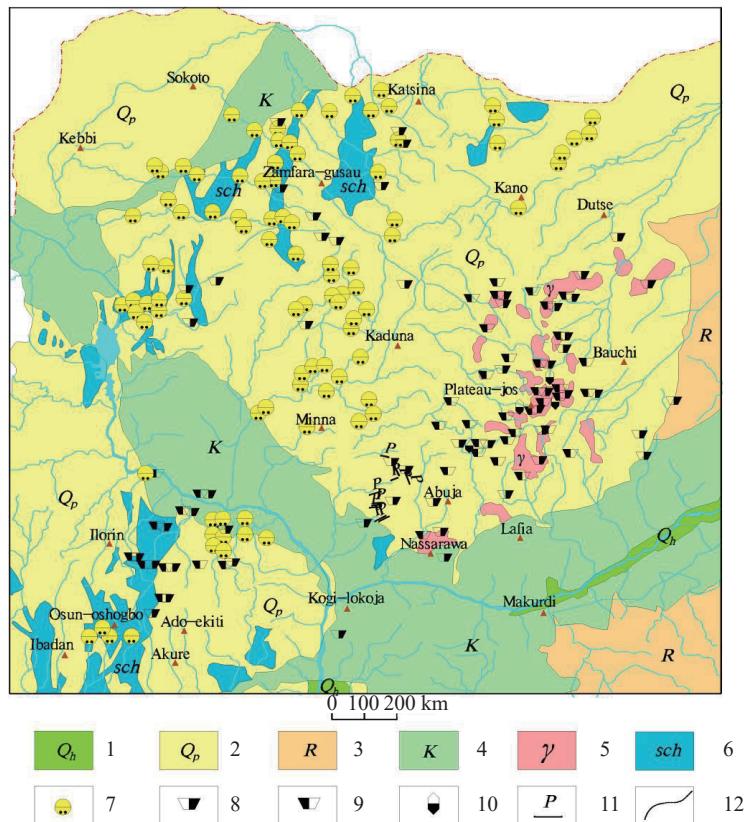
通信作者: 邓斌(1983-), 男, 高级工程师, 主要从事境外地质矿产勘查开发技术和管理工作。

季，降雨集中、强度大、冲刷强烈；而旱季内极少有降水，蒸发量较大。区域地表水系发育，河流、溪沟密布，且多为以大气降水为主要补给来源的季节性河流。独特的气候和地貌环境，为区内砂矿的形成提供了良好的自然条件。

### 1.1 砂矿种类相对集中，分布广泛，区域分布特性明显

尼日利亚内陆砂矿种类主要集中在黄金、锡石、铌铁矿、钽铁矿、锆石和钛铁矿等矿种。分布十分广泛，但区域分布特性明显。其中黄金主要分布在卡诺（Kano）—卡杜纳（Kaduna）—赞法拉（Zamfara）一带的西北部各州和西南部的奥

逊（Osun）州—科吉（Kogi）州一带两个集中分布区域。锡石、铌铁矿、锆石和钛铁矿等主要分布在以乔斯高原为中心的中北部高原（Plateau）州、包奇（Bauchi）州、卡杜纳（Kaduna）州和阿布贾（Abuja）首都特区及西南部的科吉（Kogi）—奥逊（Osun）等各州；其中锆石和钛铁矿等由于矿产品价值相对较低，很少作为主矿种予以单独开发利用，多作为铌铁和锡石砂矿的伴生矿种综合回收利用。钽铁矿则主要分布在中部的高原（Plateau）州、阿布贾（Abuja）首都特区和纳萨拉瓦（Nasarawa）及西南部的科吉（Kogi）—奥逊（Osun）等州（见图1）。



1-冲积层；2-第四系沉积物；3-第三系沉积物；4-白垩系沉积物；5-中生代混合花岗岩；6-片岩；7-黄金；8-钽铁矿；9-铌铁矿；10-锡石；11-伟晶岩；12-地层岩性界线

图1 尼日利亚内陆砂矿主要分布<sup>[3]</sup>  
Fig.1 Main distribution of Nigeria inland placer

### 1.2 矿物成分组成复杂，共（伴）生有用矿物种类多样

以乔斯高原一带的砂矿为例，通过系统的自然重砂详细鉴定，发现主要有用重矿物组成为钛铁矿、铌（钽）铁矿、锆石、钍石、独居石和锡石等。主要脉石矿物有角闪石、石英、长石等，脉石矿物主要黏附于其他矿物表面<sup>[4]</sup>。矿物成分组成

复杂，且可供综合回收利用的共（伴）生有用矿物种类多样<sup>[5-7]</sup>。以尼日利亚的优势矿种铌铁矿为例，尼日利亚的铌铁矿为铌钽共生（见表1、2）。

### 1.3 具备工业开发价值的砂矿矿床成因类型以冲（洪）积型和坡积型为主

#### 1.3.1 砂金矿与原生矿产的主要成因类型

尼日利亚的砂金矿成因类型主要以冲积型为

表 1 锰铁矿中铌、钽氧化物含量比分析

Table 1 Content ratio analysis of niobium and tantalum oxide in the columbite ore

编号	检测结果/%			铌钽氧化物含量比
	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TFe	
A	71.1	8.00	9.41	8.89:1
B	68.4	5.00	9.67	13.68:1
C	69.3	6.50	9.24	10.66:1
D	65.9	6.75	9.09	9.76:1

注：测试单位为河南省岩矿测试中心；测试时间：2015。

主，且由于区内河流大多为季节性河流，阶地地貌多不发育，砂金则主要赋存于河床和河漫滩等部位，矿体大多连续性较差、规模较小。

区内分布有较多包括前殖民地时期遗留的中小型岩金矿区。近年来在奥逊（Osun）州的赛吉罗拉（Segilola）地区新发现了大型金矿床。其中西南部奥逊（Osun）州一带的含金石英脉主要发育在 Egbe—Isanlu 片岩带的北南走向剪切带中。剪切带内岩性组成以片麻状变质沉积岩、片岩、角闪岩、混合岩和条带状片麻岩为主。西北部各州的原生金矿则主要分布在 Yelwa 片岩带中，由一套发育在泛非花岗岩接触变质带的剪切带内的石英脉和细脉组成。其中位于花岗岩侵入体接触变质带的角岩化千枚岩内发现有较多的高品位含金石英脉矿体。区域广泛分布的原生金矿床为区内砂金矿的形成提供了丰富的物质来源。

表 2 锰、钽金属量平衡计算

Table 2 Calculation list of niobium and tantalum metal balance

矿物种类	矿物量	铌		钽	
		含量/%	金属量/10 <sup>-2</sup> g	分布率/%	含量/%
铌铁矿 <sup>+</sup>	0.13	70.03	9.10	96.96	6.77
锡石	0.07	0.68	0.05	0.51	0.65
钛铁矿 <sup>+</sup>	0.72	0.33	0.24	2.53	0.01
其他	99.08	0.00	0.00	0.00	0.00
合计	100.00	0.09	9.39	100.00	0.01
金属量平衡系数/%		98.94			99.23
集中系数/%		96.96			94.35

注：测试单位为中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所；测试时间：2017。

### 1.3.2 稀有金属类及其共（伴）生砂矿与原生矿的主要成因类型

尼日利亚境内具备工业开发价值的稀有金属类砂矿以锡石、铌（钽）铁矿为主要矿种，砂矿成因类型主要有冲（洪）积型和坡积型，其中已发现的大中型稀有金属类砂矿则主要以冲（洪）积型为主。其赋矿层位纵向上黏土层、砂层、砂砾石层互层频繁，具有黏土质含量高和多期次的沉积特点；局部地段黏土层、砂层、砂砾石层等各层呈渐变接触，接触界线不明显，接触带上黏土、砂和砂砾石岩性混合，组分含量变化较大，形成过渡的黏土（质）砂（砂砾）层、砂（质）黏土层等；横向上古河道横向摆动特征明显，较为完整地揭示了区内河漫滩由原始河漫滩—河漫滩—河漫滩上曲流的演变过程，构成了区内的主要赋矿单元（见图 2）。

尼日利亚中部地区广泛发育富含稀有金属成矿物质的多期次中生代花岗岩体。稀有金属类矿

床主要集中分布在中部的乔斯—包奇成矿带，成矿带区域内断裂构造发育，以北东向、北西向和近南北向三组断裂为主，在 Zuku—Dumbu 的较大区域内，环形构造较为发育，主要为中生代花岗岩体侵位切割前寒武纪基底所形成<sup>[8-9]</sup>。乔斯高原一带广泛发育的含矿花岗岩，为区内大量分布的稀有金属类砂矿提供了丰富的成矿物质来源，形成了数量众多的砂矿床；在一些地质地貌条件优越的地区，发现了数量可观的大中型锡石、铌（钽）铁砂矿床。而在阿布贾（Abuja）首都特区和纳萨纳瓦（Nasarawa）州一带，分布有较多钽铁矿区，原生矿（化）体岩性主要为伟晶岩；伟晶岩易风化的物理特性，也为该区一带以钽铁矿为主矿种的稀有金属砂矿床的形成提供了良好的条件<sup>[10-11]</sup>。

### 1.4 乔斯高原砂矿中的锆石矿物中大多包裹放射性矿物—钍石

乔斯高原一带砂矿中含有少量的放射性矿物—

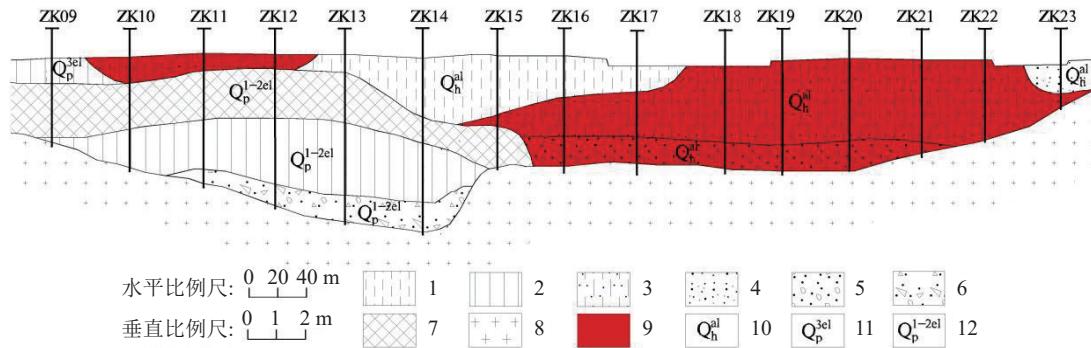


图2 尼日利亚包奇州福如法拉铌钽铁砂矿02X剖面结构

Fig.2 Sketch of the structure of the 02X profile of the Kulufala niobium-tantalite sand mine in Bauchi State, Nigeria

钍石，其嵌布特征分为单体和微细粒两种类型，单体钍石解离性好，微细粒钍石则主要包裹在锆石矿物中。区内锆石多呈红棕色和褐色等，硅和锆含量较稳定，其中锆含量多在64.60%~67.70%之间，平均66.59%。部分锆石由于遭受长时间的放射性同位素辐射，晶格遭到破坏，有利于铁等元素进入，使锆石铁染严重。自然状态下，区内放射性矿物含量很低，对人体健康没有影响；但是通过精选进一步富集分离锆石精矿后，锆石精矿具有一定的放射性，应注意安全保存<sup>[3]</sup>。

## 2 尼日利亚内陆砂矿的勘查技术方法探讨

笔者在主持尼日利亚多个大中型砂矿的勘查和矿山开发建设的基础上，基于该地区砂矿的特点和矿山开发建设的技术需求等，对尼日利亚内陆砂矿勘查评价需要重点关注的要点做如下梳理。

### 2.1 勘查评价手段和方法

由于尼日利亚内陆砂矿的赋矿地层为第四系松散层。结合国内地质行业规范《砂矿（金属矿产）地质勘查规范》（DZ/T 0208—2020）的要求，建议勘查评价手段和方法选择以地质地貌测量、水工环地质调查、砂钻、砂井和槽探工程等为主要勘查手段，同时辅以地形测绘及采样化验等手段进行综合勘查。而物、化探等技术手段目前对大比例尺的内陆砂矿勘查评价作用不突出，且出于对尼日利亚丛林地区的实际条件、工作周期和勘查成本的综合管理等因素考虑，一般情况下不建议优先采用。

### 2.2 地表地质工作

地表地质调查工作，是指导系统勘查评价的基础。应重视与砂矿成矿条件关系密切的第四纪地质测量和地貌测量，而相对淡化对基岩地区的调查研究。在地质地貌测量过程中，需要详细调查研究第四纪地质及其与区内砂矿的形成关系，以及矿区地貌特征、划分地貌单元（图3）；注重调查松散沉（堆）积物的层序、时代、岩性、厚度、空间分布、沉积环境及其与砂矿的形成关系等（表3）<sup>[3]</sup>。

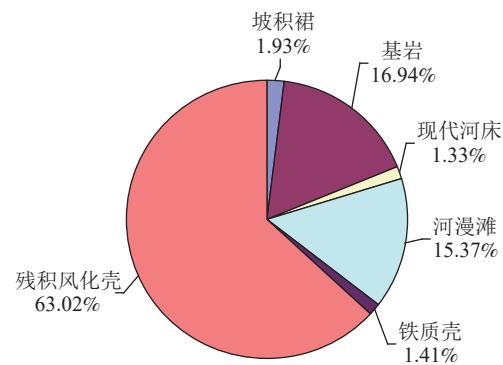


图3 乔斯高原西北部Pingell砂矿区二级地貌类型组成及比例

Fig.3 Composition and scale of secondary geomorphology in pingell placer area northwest of Jos Plateau

### 2.3 探矿工程

尼日利亚以典型的西非丛林地貌为主。在探矿工程的采用上，需要综合运用砂钻、砂井和槽探等多种工程手段，在保证质量的同时，大幅提高勘查施工效率。

表 3 Pingell 砂矿区第四系松散层  
Table 3 List of quaternary loose layer in Pingell placer area

地层时代		岩性及分带	厚度/m	成因类型	地貌类型
全新统 (Qh)	砂层和砂砾石层	0.50~2.00			现代河床
		黏土层	0.20~3.00	冲(洪)积物 (al)	
		砂层	0.25~4.95		河漫滩
	砂砾石层	0.30~1.00			
第四系 (Q)	上更新统 (Qp <sup>3</sup> )	黏土、砂质黏土和砂砾石层	0.60~5.00	坡积物 (sl)	坡积裙
		铁质壳带	0.50~5.00		
	中下更新统未分 (Qp <sup>1-2</sup> )	砖红壤带	≤0.50	残积物 (el)	风化壳
		高岭土残积层	0.30~4.00		
		碎石角砾残积层	≤0.30		

### (1)砂钻

为保证取样样品不受扰动和破坏, 砂矿探矿工程中普遍采用冲击式砂钻开展钻探施工。冲击式砂钻体积小、质量轻、结构简单、移动便捷高效, 十分适合在西非丛林中对松散层的钻探施工。但砂钻虽然作为内陆砂矿勘查施工的首选普遍使用, 本身也有自身的局限性。主要体现在两个方面: 一是遇到砾石较多的地层和有大体积漂砾的部位就难以施工, 也无法对深部矿层的砾石情况进行具体调查。二是砂钻施工中, 对松散层不同岩性层位的划分主要以自然分层为主; 冲击钻进过程中, 主要通过测量钻进回合进尺和进样长度、测算进样率等来对分层层位位置的孔深和

标高等进行换算; 因此, 难免会出现实际偏差, 影响数据的准确性。为补足砂钻的短板, 砂井的布置和施工就十分重要了。

### (2)砂井

砂井的布置和施工, 除了在砂钻难以施工的地段投入砂井工作量, 还应该有代表性地选择在已施工砂钻的位置重复布置少量砂井施工, 以对砂钻划分地层层位、取样品位等数据的准确性进行印证和及时纠正(以表 4 为例)。此外, 采集选矿技术样品及调查深部巨砾等, 也主要通过砂井来实现。但是在松散层中、特别是在砂(砾)石层中施工砂井, 往往难度不小, 必须要做好施工过程中的排水和支护, 才能确保施工安全和质量。

表 4 Pingell 锰铁砂矿区砂井与砂钻 (08781 和 01269) 对比结果<sup>[3]</sup>  
Table 4 Comparison results of sand well and sand drill in Pingell columbite sand mining area

对比工程号	层号	岩性名称	砂井			砂钻			换层误差/m	单层品位误差/(g/m <sup>3</sup> )
			层厚/m	换层深度/m	单层品位/(g/m <sup>3</sup> )	层厚/m	换层孔深/m	单层品位/(g/m <sup>3</sup> )		
QJ08781 VS ZK08781	1	砾质砂质黏土层	1.25	1.25	3.67	1.30	1.30	2.97	0.05	-0.70
	2	砂黏土层	0.65	1.90	15.45	0.57	1.87	12.10	-0.08	-3.35
	3	含黏土砂层	0.95	2.85	7.93	0.93	2.80	5.76	-0.02	-2.17
	4	含黏土砾砂层	0.80	3.65	10.12	0.79	3.59	8.37	-0.01	-1.75
	5	黏土层	0.75	4.40	0.67	0.74	4.33	0.01	-0.01	-0.66
	6	黏土质砂层	1.90	6.30	1.38	1.96	6.29	0.04	0.06	-1.34
	7	含砂黏土层	1.70	8.00	2.28	1.72	8.01	1.64	0.02	-0.64
	8	砾质黏土砂层	0.55	8.55	153.78	0.42	8.43	145.46	-0.13	-8.32
QJ01269 VS	1	含砂黏土层	1.30	1.30	7.84	1.23	1.23	9.21	-0.07	1.37
	2	砂质黏土层	1.50	2.80	1.57	1.59	2.82	0.91	0.09	-0.66
ZK01269	3	砂黏土层	0.60	3.40	2.33	0.60	3.42	1.04	0.00	-1.29
	4	黏土砂砾石层	0.60	4.00	1 228.79	0.60	4.02	1 232.04	0.00	3.25

槽探在砂矿勘查中, 主要在松散层厚度和埋深均较小的地段灵活使用, 同时更多地用于对原

生矿体的综合探寻中; 是对砂钻和砂井的有效补充。

## 2.4 样品的制备和分析测试

尼日利亚内陆砂矿样品制备和分析测试，主要有以下几个需要特别关注的重点<sup>[12]</sup>：

(1) 自然重砂样品制备量大，要在勘查现场及时淘洗完成，淘洗和制备要确保质量合格，淘洗系数应小于 1.02。

(2) 要合理开展矿砂物理技术性能测定，使所有测定样品具有充分的代表性；矿砂物理技术性能测定项目主要包括湿度、胶结性、孔隙度、含泥率、巨砾率、松散系数、砂矿层水上及水下稳定边坡角、尾砂各粒级水上及水下安息角等（以表 5 为例），测试工作在勘查评价现场及时完成。

表 5 Pingell 砂矿区物理技术性能测定<sup>[3]</sup>

Table 5 Summary of physical and technical performance determination of Pingell placer area

样品号	样品岩性	实际松散体积/ m <sup>3</sup>		湿重量/ kg		干重量/ kg		泥干重/ kg		排水 体积/ m <sup>3</sup>	松散 系数	湿体重/ (t/m <sup>3</sup> )	干体重/ (t/m <sup>3</sup> )	含水率/ %	孔隙度/ %	稳定边坡角/(°)		含泥量/ %
		体积/ m <sup>3</sup>	体积/ m <sup>3</sup>	kg	kg	kg	体积/ m <sup>3</sup>	kg	体积/ m <sup>3</sup>							水上	水下	
QJ00364-3	黏土质砂	0.10	0.113	130.2	117.4	31.1	0.068	1.13	1.30	1.17	9.83	32	43.5	21.5	26.49			
QJ01974-3	含黏土砂	0.05	0.057	88.0	76.8	6.3	0.041	1.14	1.76	1.54	12.73	18	41.2	30.5	8.20			
QJ01974-5	中粗砂	0.05	0.055	77.0	68.0	4.7	0.039	1.10	1.54	1.36	11.69	22	40.8	21.2	6.91			
QJ02868-9	砂砾石	0.10	0.121	178.0	162.0	6.3	0.087	1.21	1.78	1.62	8.99	13	41.0	30.5	3.89			
QJ10982-1	黏土砂	0.10	0.102	125.0	103.5	42.0	0.068	1.02	1.25	1.04	17.20	32	37.3	18.5	40.58			
QJ04069-6	砾砂	0.05	0.057	89.0	82.5	2.7	0.046	1.14	1.78	1.65	7.30	8	41.0	30.2	3.27			

(3) 要特别重视样品在运输回国途中的风险，提前预防样品可能出现的意外损失（包括途中损耗和海关查验等）；特别是自然重砂样品，一旦在运输途中出现损失，就意味着样品对应的砂钻工作量基本作废；因此，作为保险手段，可考虑在勘查现场保存备份重砂副样。

(4) 自然重砂鉴定测试手段要跟随技术进步与时俱进；中国国内传统的自然重砂鉴定测试方法主要是人工镜下鉴定，即通过岩矿鉴定技术人员在光学显微镜下手动挑选测定目标矿物来实现定量测试，效率较低且难以避免人为因素的干扰；在目前的技术条件下和从我们前期的技术实践来看，采用扫描电镜开展重砂矿物定量测试，不仅测试质量准确可靠，还极大地提高了测试效率，尤其适合大批量的重砂样品定量测试。

## 2.5 成矿物质来源和原生矿产的探寻

内陆砂矿作为第四纪次生沉积矿产，探寻其原生物质来源是研究其矿床成因的重要途径，也是争取更大找矿突破的基础。开展成矿物质来源的溯源分析，适量布置和开展原生矿产的探寻工作，是内陆砂矿勘查评价工作的一个重要组成部分。

以乔斯高原北部稀有金属砂矿为例，我们曾经对 TORO 地方政府区域的宾盖（Pingell）和福如法拉（Kurufala）矿区，NINGI 地方政府区域的吉嘎瓦（Jigawa）、提布奇等 6 个稀有金属砂矿区均进行了成矿物质来源的溯源和原生矿产的探寻

工作，虽然未能发现原生岩石矿体（脉），但通过调查研究发现了区内中生代花岗岩体富含成矿物质，从而对区域一带的砂矿床成因作出了推断。

以目标矿种之一铌铁矿为例，通过选取数百个有代表性的基岩样品和砂钻底板样品，发现区内以粒状花岗岩和花岗斑岩两期次花岗岩体为主，通过对样品中铌钽氧化物含量进行定量测试，显示样品中 Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量多在 (30.0~494.0) g/t 之间，较高品位为 1 369 g/t，较低品位为 14.7 g/t；Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含量多在 (2.13~49.20) g/t 之间，较高品位为 97.60 g/t，较低品位为 0.77 g/t。表明了区内花岗岩体普遍含有铌铁矿物的基本特征，为区内铌铁砂矿的形成提供了丰富的物质来源<sup>[13]</sup>。

## 2.6 丛林地区地质勘查安全工作

尼日利亚属于典型的西非丛林地貌，境内低树、灌木等植被发育。进入丛林开展地质勘查等工作时，不仅肉眼可视范围小，毒蛇、毒虫等也比较常见。笔者在主持几个矿区的地质勘查工作时，就曾遭遇毒蛇和野蜂等毒虫的袭击，令人十分难忘。因此，在这些地区开展地质工作，须做好劳动防护，备足专用药品，甚至需要考虑常备一些蛇毒血清，以防患于未然。丛林地区容易传染病流行，虽然在出境之前会接种黄热病和霍乱疫苗等，但恶性疟疾等蚊虫传播疾病却是防不胜防，必须高度重视防治。此外，尼日利亚雨季期间强对流天气频繁，雷暴、阵发性洪水等十分常

见。因此，笔者建议在该地区进行地质勘查等，如非必要应尽量考虑避开 7、8、9 月三个月的雨季强降雨集中时期，以降低工作难度和保障野外职工人身安全。

### 3 尼日利亚内陆砂矿的开发探讨

尼日利亚内陆砂矿，特别是中北部地区的砂矿，主要以高价值的贵金属和稀有金属为主，极具开发价值。虽然砂矿具有易采易选的属性；但尼日利亚内陆砂矿开发，技术难点和风险点也同样特点鲜明。为此，笔者主要以难度相对较高的乔斯高原稀有金属砂矿开发为例，通过总结分析前期开发投资者暴露出的普遍问题和经验教训，来有针对性地探讨尼日利亚内陆砂矿的开发。

#### 3.1 资源和技术的投入与论证

##### (1) 资源勘查评价

一些砂矿投资者认为砂矿开发简单易行、风险较低，忽视对矿区的资源勘查评价工作。笔者见证过不少在尼日利亚投资开发内陆砂矿的投资者，仅仅简单通过采取少量样品就启动矿山开发建设，缺失了资源勘查评价工作。造成的后果也往往让人不胜唏嘘，遇到的困局主要有以下四个方面：

一是矿区资源量较小，很快就无矿可采，远不足以收回投资成本。二是矿体连续性很差，形态复杂，分枝复合和无矿夹层很多，开采难度大，混合开采的矿砂品位贫化严重，经济性差。三是地表覆盖层厚度过大，大部分含矿区域剥采比太大，基本不具备开采价值。四是巨砾率太高，特别是该地区的一些坡积砂矿，覆盖表层之下堆积了大量体积巨大的块石，开采难度很大。

##### (2) 采选技术研究论证

部分投资者在作出投资开发决定后，简单依靠少数可能具备此类矿产工作经验的采选技术人员或团队来提供技术决策，或仅进行程度较低的可选性试验等基础采选论证工作，而忽略开展为生产提供较可靠决策依据的中间级别、(半)工业级别的采选冶试验等。在采矿等方面也往往缺乏系统全面的规划设计。由此可能导致采选设备不符合矿区的矿产实际，或者采选生产线各个生产环节的技术参数错误、设备配套性很差、互相“卡壳”甚至缺位，无法顺利生产或达到设计指

标。而就比较集中的采选技术难点而论，通过笔者调查研究，发现乔斯高原一带的砂矿主要有两个最常见的难点：

##### ① 采矿和选矿的气候和水源问题

尼日利亚雨季旱季分明，进入雨季后，降雨十分频繁、雨量很大；特别是每年第三个季度的三个月内，几乎每天都有强烈的降雨过程。砂矿采矿活动为地表直接开采。频繁的降雨，使得地表十分松软泥泞；尤其是冲（洪）积型矿床，雨季地下水位极浅，且含矿层富水、稳定性很差、很容易塌方。使得以机械开采、卡车运输的常规地表采矿方式困难重重。而船采等其他采矿工艺，又大多受矿体厚度变化大、形态复杂、底板起伏大和矿层黏土矿物含量高、流动性差等因素影响，实际使用效果并不理想。

而进入旱季后，半年时间内极少有降雨。区内的季节性河流很快就完全干涸断流，几乎需要近半年的时间才会重新恢复流水。砂矿的粗选又主要以重选工艺为主，粗选用水量大。在没有蓄水工程的情况下，旱季生产将遭遇水源瓶颈问题。

##### ② 原矿砂黏土矿物含量高和粗选脱泥困难

经过调查统计，乔斯高原一带的砂矿矿体中黏土矿物含量普遍较高，且黏土矿物类型以高岭石为主，含量多高于 15%，黏土矿物含量高的矿段甚至达到 60%。尤其是冲积型砂矿体，黏土矿物的分布形态更为复杂；除了在矿体砂砾中呈分散状态分布外，还有不少高岭石黏土呈透镜体和块状在矿体中分布。黏土矿物含量高、黏性大和分布形态复杂是粗选脱泥面临的关键难点，尤其是高岭土的高黏性和在水中长期持续悬浮、难以自然沉淀的特性，更是为脱泥工作增添了相当大的难度<sup>[14-16]</sup>。

#### 3.2 组织管理的国际化、精细化和本地化

在尼日利亚进行内陆砂矿开发的一些中小企业，在初始阶段容易出现一些组织管理方面的问题，主要集中在以下几个方面<sup>[17]</sup>：

(1) 生产组织管理“水土不服”，成本居高不下，生产效率低下。特别是在用工问题上，容易出现两方面的问题：

一是部分企业大量使用中国工人，拒绝本地工人，造成人力资源成本失控，也违反了项目所在国的用工法规，引起社区矛盾等。

二是虽然选择了本地化的用工策略，但由于文化习惯差异和管理粗放等因素，使得生产效率低下、人为生产事故频发、用工和社区矛盾激化等，导致生产开发工作难以为继。

(2)不尊重当地文化习俗，忽视环境保护，拒绝履行企业社会责任等，造成与当地社区矛盾激化，从而使矿业开发项目无法开展。这种情况的产生，往往是少数管理者的傲慢轻视心态所致，其实是完全可以避免的。

(3)隐性的时间成本等因素作用导致实际投资和生产管理成本大幅超标。有些投资者由于资源勘查和采选技术论证等基础技术工作的投入不足，在开发阶段中出现了不少问题。这是很多中小私营投资者都经历过的“试错”阶段。出现问题要解决，缺少设备要补充，设备型号不匹配要更换等诸多问题；有些企业由于后勤设备物资管理粗放，在生产过程中不时出现设备、配件和物资短缺等情况。尼日利亚薄弱的工业基础条件，基本意味着新的设备和物资需要从遥远的中国获取。向中国厂家下订单生产采购、两到三个月的海运和清关运输周期、非洲大陆雨季旱季分明的气候特点等，都意味着每一次“试错”的周期很长。这期间累积形成的各种计划外成本，往往可能是中小企业投资者所难以承受的，成为“压垮骆驼的最后一根稻草”。

#### 4 尼日利亚内陆砂矿勘查开发的几点建议

(1)建议高度重视境外矿业投资的巨大风险，严密审慎科学地开展投资勘查开发活动。重视风险评估和控制工作。充分重视内陆砂矿地质勘查评价工作，注重针对性和抓住重难点。开发投资要摒弃简单粗放的行为模式，充分做好做实技术论证研究工作；重视技术攻关和创新，做好共（伴）生有用矿物的综合回收利用，综合提高开发经济效益。

(2)建议高度重视防范化解外部环境所造成的潜在风险，主要应注意以下几个方面：

①腐败严重问题。作为英国曾经的殖民地，尼日利亚拥有较为完备的法律体系，其矿业管理总体来说有章可循<sup>[18]</sup>。但由于腐败问题的存在，造成了矿政管理的混乱。除了常见的敲诈勒索

外，也可能引起矿权权属等严重纠纷，需要引起投资者的充分警惕。

②国内高安全风险地区问题。在尼日利亚东北部的博尔诺州，盘踞着世界有名的恐怖组织“博科圣地”，尼日利亚政府军与“博科圣地”的武装斗争至今已持续近十年。而在尼日利亚的主要黄金产区赞法拉州，多年来治安形势严峻，和黄金生产有关的恶性案件极为高发；为此，尼日利亚联邦政府曾一度要求外资企业暂时撤离该地区，以集中力量打击涉矿犯罪。尼日利亚重要的矿产中心—高原州首府乔斯市和卡杜纳州的部分区域，游牧民族富拉尼人和当地村民的民族流血冲突，以及穆斯林和基督教徒的宗教流血冲突，一直是困扰当地安全局势的老大难问题。这些安全高风险区域，目前均是不太适宜开展矿业开发投资的地区<sup>[19]</sup>。

③社区、酋长、工会和宗教等势力的巨大影响力问题。尼日利亚民族众多、社会治理结构复杂，政府、部落酋长、宗教和协会组织等势力交错。若想在该国一个地区取得矿业权和开展矿业开发活动，必须首先与社区签订共同发展协议，对社区的发展做出几项具体承诺，在获得该地区酋长的批准后才能获得联邦政府的矿权批准，获得在当地开展具体的矿业勘查开发活动的许可。在生产运营期间，除了要与社区和酋长保持良好关系外，还需要关注宗教和工会的影响力，警惕卷入宗教事务，防止和化解与工会等协会组织的矛盾等。否则，无论与哪一方的矛盾激化，都可能带来无法预料的后果<sup>[20]</sup>。

④日常安全风险问题。在尼日利亚，治安问题是老大难，抢劫、绑架等治安事件高发，外国公民往往更容易成为不法分子的目标。因此，寻求当地警察机构和专业安保机构等的协助，对保证员工的人身安全和公司的财产安全就显得十分重要。除此之外，尼日利亚是恶性疟疾等烈性传染病的高发地区，少数在尼工作的中国同胞甚至付出了生命的代价。尤其是恶性疟疾等的发病潜伏期特性，导致少数中国公民自尼回国后，误认为疟疾导致的发热等身体不适是感冒症状，不引起重视，等到确诊时已经恶化成脑疟回天乏力了，导致的教训异常沉重。因此，对防治疟疾等烈性传染病必须引起高度重视。

(3)尼日利亚优势优质和高价值的铌钽砂矿、锡石砂矿和砂金矿等内陆砂矿，不仅是国内国际市场亟需的“一贵三稀”矿种，还具有投资小、易采易选、投入产出比高，投资回收期短、经济效益高等综合优势<sup>[21]</sup>。建议对非洲矿业长期看好的中小投资者和新投资者，在充分的风险评估和严谨的技术评价的基础上，适时科学考虑资源配置计划。

## 参考文献：

- [1] 闵隆瑞,范蕙. 中国第四纪外生矿床的成因类型与成矿期[J]. 地质与勘探, 1988(10):8-11.
- MIN L R, FAN H. Geology and prospecting, genetic types and metallogenic periods of quaternary exogenous deposits in China[J]. 1988(10):8-11.
- [2] 世界银行数据库 (DB/OL). (2016-08-03). <http://databank.shihang.org/data/databases.aspx>.
- World Bank Database (DB/OL). (2016-08-03). <http://databank.shihang.org/data/databases.aspx>.
- [3] 邓斌,徐林,张天增,等.尼日利亚包奇州宾盖铌铁砂矿详查及外围普查报告[R].郑州:河南省地质矿产勘查开发局第五地质勘查院,2015.
- DENG B, XU L, ZHANG T Z, et al. Report on the detailed investigation and peripheral census of the Binguy columbite sand mine, Bauchi State, Nigeria [R]. Zhengzhou: Fifth Geological Exploration Institute of Henan Provincial Bureau of Geology and Mineral Resources Exploration and Development, 2015.
- [4] 张成强,张红新,李洪潮,等. 非洲某钽铌砂矿矿石性质及预选工艺研究[J]. 金属矿山, 2015(2):63-67.
- ZHANG C Q, ZHANG H X, LI H C, et al. Study on property and pre-separation for a tantalum-niobium placer deposit in Africa[J]. Metal Mine, 2015(2):63-67.
- [5] 吴西顺,王登红,黄文斌,等. 全球锂矿及伴生铍铌钽的采选治技术发展趋势[J]. 矿产综合利用, 2020(1):1-9.
- WU X S, WANG D H, HUANG W B, et al. Global technical development trends of lithium minerals and associated beryllium-niobium-tantalum exploitation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(1):1-9.
- [6] 吴师金,刘庭忠,周渝,等. 坦桑尼亚潘达地区某铌矿工艺矿物学研究[J]. 矿产综合利用, 2020(2):122-127.
- WU S J, LIU T Z, ZHOU Y, et al. Study on the process mineralogy of Niobium in the columbite ore in Mpanda, Tanzania[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(2):122-127.
- [7] 赵玉卿,应用朋,熊艳,等. BPMA 在某低品位铌钽矿工艺矿物学研究中的应用[J]. 矿产综合利用, 2021(5):129-134.
- ZHAO Y Q, YING Y P, XIONG Y, et al. Application of BPMA in process mineralogy of a low-grade Nb-Ta Ore[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):129-134.
- [8] 李丽文,温彬,黄明生,等. 尼日利亚拉弗勒德铌铁矿床地质特征与成矿规律研究[J]. 甘肃冶金, 2015(2):115-118+126.
- LI L W, WEN B, HUANG M S, et al. Research on geological characteristics and metallogenic regularity of laffer luddite Nb-Fe ore deposit in Nigeria[J]. Gansu Metallurgy, 2015(2):115-118+126.
- [9] 郭杨豪,刘果果. 广东大旗山钨锡矿床地质特征及控矿因素[J]. 世界有色金属, 2019(7):113-115.
- GUO Y H, LIU G G. Geological characteristics and ore-controlling factors of the Daqishan tungsten-tin deposit, Guangdong Province[J]. World Nonferrous Metals, 2019(7):113-115.
- [10] 谭洪旗,朱志敏,周雄,等. 川西九龙地区两期伟晶岩型稀有金属成矿作用[J]. 矿产综合利用, 2022(1):15-24.
- TAN H Q, ZHU Z M, ZHOU X, et al. Two periods rare metal mineralization of the pegmatite in Jiulong Area, Western Sichuan[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(1):15-24.
- [11] 叶亚康,周家云,曾令熙,等. 格陵兰岛 Ilmaussaq 岩体异霞正长伟晶岩中稀土元素赋存状态研究[J]. 矿产综合利用, 2021(5):120-124.
- YE Y K, ZHOU J Y, ZENG L X, et al. Occurrence of rare earth elements in Lujaureite-pegmatite in the Ilmaussaq complex, Greenland[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):120-124.
- [12] 胡志中,杨波,杜谷,等. LA-ICP-MS 在地质研究中的样品前处理方法[J]. 矿产综合利用, 2020(5):52-57.
- HU Z Z, YANG B, DU G, et al. Research progress on pretreatment methods for sample of geological materials by LA-ICP-MS[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2020(5):52-57.
- [13] 徐林,雷德正,李昕,等. 尼日利亚乔斯—包奇锡(铌钽)矿成矿前景分析[J]. 世界有色金属, 2018(5):138-139.
- XU L, LEI D Z, LI X, et al. Analysis on the metallogenesis prospect of Jos-Bauchi metallogenic-belt, Nigeria[J]. World Nonferrous Metal, 2018(5):138-139.
- [14] 马驰,常学勇,赵平,等. 矿床成矿地质特征与矿物分离的关系研究[J]. 矿产综合利用, 2021(6):198-207.

- MA C, CHANG X Y, ZHAO P, et al. Study on relationship between ore-forming geological characteristics and mineral separation[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(6):198-207.
- [15] 陈向,廖德华. 磁处理对细粒钽铌尾矿浮选实验影响[J]. 矿产综合利用, 2021(5):86-91.
- CHEN X, LIAO D H. Effect of magnetic treatment on flotation test of fine tantalum niobium tailings[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2021(5):86-91.
- [16] 王普蓉,徐国印,苏刚. 昌宁含铁低品位高泥锡石矿重-磁选工艺研究[J]. 矿产综合利用, 2022(1):136-141.
- WANG P R, XU G Y, SU G, et al. Study on gravity and magnetic separation process of an iron-containing low-grade and high slime tin ore in Changning[J]. Multipurpose Utilization of Mineral Resources, 2022(1):136-141.
- [17] 张红新,邓斌,王守敬,等.尼日利亚包奇州宾盖铌铁砂矿现场半工业试验研究报告[R].郑州:中国地质科学院郑州矿产综合利用研究所,2017.
- ZHANG H X, DENG B, WANG S J, et al. Report on the on-site semi-industrial test study of the Binguay columbite iron ore mine in Bauchi State, Nigeria[R]. Zhengzhou: Zhengzhou Institute of Comprehensive Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, 2017.
- [18] 李青梅. 尼日利亚矿产资源管理制度[J]. 国土资源情报, 2019(4):36-42.
- LI Q M. Nigeria's mineral resources management system[J]. GUOTU ZIYUAN QINGBAO, 2019(4):36-42.
- [19] 刘仁华,倪善芹,安伟才,等. 尼日利亚矿产资源及相关产业投资前景分析[J]. 中国矿业, 2017, 26(11):145-149.
- LIU R H, NI S Q, AN W C, et al. Analysis on the investment prospect of mineral resources and related industries in Nigeria[J]. China Mining Magazine, 2017, 26(11):145-149.
- [20] 王永中,万军. 尼日利亚经济发展与中尼经贸合作[J]. 海外投资与出口信贷, 2020(1):26-30.
- WANG Y Z, WAN J. Nigeria's economic development and Sino-Nigerian economic and trade cooperation[J]. Overseas Investment & Export Credits, 2020(1):26-30.
- [21] 邓斌,刘海风,袁帅,等. 新冠疫情背景下中资企业在非洲矿业投资面临的问题和对策研究[J]. 矿业研究与开发, 2020(9):176-181.
- DENG B, LIU H F, YUAN S, et al. Emerging problems of investment in African mining industry from Chinese enterprises and countermeasures research under the COVID-19 epidemic[J]. Mining Research and Development, 2020(9):176-181.

## Characteristics of Nigeria Inland Placer and Approaches of Exploration and Development—Take the Rare Polymetallic Placer of Nb-Ta-Sn in Jos Plateau as an Example

LIU Haifeng<sup>1</sup>, DENG Bin<sup>1</sup>, GUO Yanghao<sup>1</sup>, LIU Baishun<sup>2</sup>, YUAN Shuai<sup>1</sup>, ZHANG Hongxin<sup>3</sup>

(1.No. 5 Institute of Geological Exploration of Henan, Zhengzhou, Henan 450001, China; 2.Henan Institute of Geological Sciences, Zhengzhou, Henan 450001, China; 3.Zhengzhou Institute of Multipurpose Utilization of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Zhengzhou, Henan 450006, China)

**Abstract:** Rare metal placer deposits and gold placer are scattered in Nigeria's inland region. The spacial order of distribution is belt-like. Placers are of complex compositions. The usable minerals are mainly ilmenite, columbite-tantalite, zircon, thorite, monazite and cassiterite. Columbite-tantalite and cassiterite are the major mines for developing. Ilmenite, zircon, thorite, and monazite are always comprehensively assessed as associated minerals. Gold placer type we confirmed in this study is mostly alluvial. Rare metal placer deposits are alluvial and slope-washing. Considering the main character of inland placer in Nigeria, we propose placer drilling and sand drain as general assessing methods. Developing advice is given in this study.

**Keywords:** Nigeria; inland placer; characteristics; exploration and development; approaches