· 调查研究 ·

赴非洲从事汞齐法炼金作业工人职业汞暴露特征分析

罗玉麟[1,2,3], 赖燕[2,3]

(1. 南华大学公共卫生学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 湖南省职业病防治院/南华大学附属职业病防治院, 湖南 长沙 410007; 3. 南华大学-湖南省职业病防治院研究生创新基地, 湖南 长沙 410007)

摘要: 目的 调查中国工人在非洲地区采用传统汞齐法炼金中的职业汞暴露特征及健康损害状况, 为制定有效的职业卫生干预策略提供依据。**方法** 采用横断面调查方法, 选取 2022 年 6 月至 2025 年 6 月尿汞超标的 104 名作业工人, 系统收集其职业暴露情况、临床表现、神经电生理及血/尿汞检测结果。**结果** 炼金工人普遍处于高浓度汞暴露作业环境, 89.42%(93/104)的工人从事开放式高温冶炼(>400 ℃)作业, 42.31%(44/104)的工人日均用汞量>10 kg, 21.15%(22/104)作业频率>15 d/月。工作场所防护措施严重缺失, 仅 20.79%(22/104)工人佩戴专业防毒装备。78.85%(82/104)工人居住于生产区 1 km 范围内, 存在明显职业-居住复合暴露。工人慢性汞中毒检出率 80.77%(84/104), 主要表现为头晕/乏力(95.24%, 80/84)、震颤(59.52%, 50/84)等神经系统症状。驱汞治疗后多数工人尿汞水平显著下降, 但部分患者仍存在汞蓄积, 需长期随访。**结论** 非洲地区汞齐法炼金的工人因防护不足、认知缺乏及作业-居住区重叠等因素, 面临严重的多器官健康危害风险。建议通过改进工艺、加强防护、健康培训及动态监测等综合措施降低汞暴露危害。

关键词: 汞中毒; 跨境务工; 职业暴露; 健康监护

中图分类号: R135.13 **文献标识码**: A **文章编号**: 1002-221X(2025)06-0678-04 **DOI**: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2025.06-020

Analysis on occupational characteristic of Chinese workers engaged in mercury based alchemy operation in Africa

LUO Yulin*, LAI Yan

(*1. *School of Public Health*, *University of South China*, *Hengyang*, *Hunan* 421001, *China*; 2. *Hunan Prevention and Treatment Institute for Occupational Diseases*, *Changsha*, *Hunan* 410007, *China*; 3. *University of South China-Hunan Prevention and Treatment Institute for Occupational Diseases Graduate Innovation Base*, *Changsha*, *Hunan* 410007, *China*)

Abstract: Objective To investigate the occupational mercury exposure characteristics and health damage status of Chinese workers in traditional amalgam alchemy in Africa, and to provide a basis for formulating effective occupational health intervention strategies. **Methods** A cross-sectional survey was conducted, a total of 104 workers with excessive urinary mercury from June 2022 to June 2025 were selected. Their occupational exposure, clinical manifestations, neuroelectrophysiological and blood/urine mercury detection results were systematically collected. **Results** The results showed that workers were generally exposed to high concentrations of mercury in the working environment, and 89.42% (93/104) of the workers were engaged in open high temperature smelting (>400 ℃), 42.31% (44/104) of the workers consumed more than 10 kg of mercury per day, and 21.15% (22/104) of the workers worked more than 15 days per month. Workplace protective measures were severely lacking, with only 20.79% (22/104) wearing professional antigas equipment, and 78.85% (82/104) of the workers lived within 1 km of the production area, their were obvious occupation-residential combined exposure. The detection rate of chronic mercury poisoning among workers was 80.77% (84/104), mainly manifested as neurological symptoms such as dizziness/fatigue (95.24%, 80/84) and tremor (59.52%, 50/84). After mercury removal treatment, the urinary mercury level of most workers decreased significantly, but some patients still have mercury accumulation, and long-term follow-up is needed. **Conclusion** Workers in amalgam alchemy in Africa face serious multi-organ health risks due to factors such as insufficient protection, lack of awareness, and overlapping of living and working areas. It is suggested that comprehensive measures such as process improvement, strengthening protection, health training and dynamic monitoring should be taken to reduce the hazards of mercury exposure.

Keywords: mercury poisoning; cross border workers; occupational exposure; health surveillance

汞具有与金属形成汞齐的特性, 可从含金矿石中提取黄金, 因而被广泛用于手工和小规模金矿(artisanal and small-scale gold mining, ASGM)的非正规采金作业[1]。汞齐法工艺简单、对操作技能要求低, 但在提炼黄金过程中会释放出高毒性的汞蒸气[2], 对从

作者简介: 罗玉麟(2000—), 女, 在读硕士研究生, 研究方向: 环境医学与卫生监督。

通信作者: 赖燕, 主任医师, E-mail: 1276676924@qq.com

业者健康造成严重威胁，对环境造成持久性污染。近年来中国境外劳务输出规模不断扩大，大量务工者远赴非洲从事 ASGM 作业，从业人员流动性大且缺乏系统的健康监测[3]，目前难以准确评估该职业群体的汞暴露水平及其长期健康危害。

本研究基于 2022 年 6 月—2025 年 6 月湖南省职业病防治院收治的赴非洲 ASGM 作业工人的职业及临床资料，分析该人群的汞暴露特征及相关临床表现，为开展针对性的职业健康风险评估、早期症状识别以及制定有效的公共卫生干预措施提供科学依据。

1　对象与方法

1.1　对象　收集 2022 年 6 月—2025 年 6 月湖南省职业病防治院中毒医学科收治的在非洲从事汞齐法炼金作业人员的病例资料。纳入标准：(1)具有在非洲从事汞齐法炼金的职业暴露史；(2)年龄≥18 岁；(3)临床及职业史资料完整。排除标准：(1)存在认知功能障碍；(2)合并神经系统疾病；(3)患有免疫性疾病；(4)驱汞不足 1 个疗程。本研究经湖南省职业病防治院伦理委员会审批通过(审批号：2025090201-KY)。

1.2　方法　按照《职业性汞中毒诊断标准》(GBZ 89—2024)[4]，将研究对象划分为中毒组与单纯尿汞升高组，分析其职业暴露特征及典型临床表现。驱汞治疗主要为肌内注射二巯丙磺钠(Na-DMPS)，0.125 g 或 0.25 g，1~3 次/d(连续 3 d、间隔 4 d 为 1 个疗程)，辅以谷胱甘肽片、硒酵母片等改善循环、营养神经药物及补充微量元素，监测患者治疗后尿汞变化，视工人病情一般驱汞 2~4 个疗程。

1.3　统计分析　采用 SPSS 27.0 软件对数据进行描述分析，定性资料采用例数(%)表示。

2　结　果

2.1　工人基本概况　本研究共收集 104 名在非洲 ASGM 从事炼金作业工人的资料，男 101 人、女 3 人，研究对象年龄和工龄均呈非正态分布，平均年龄[$M(P_{25}, P_{75})$]48(39，52)岁，汞中毒集中于≥40 岁作业工人(≥90%)，不同年龄工人汞中毒诊断率差异有统计学意义($\chi^2=11.071$，$P=0.004$)；作业工人平均工龄[$M(P_{25}, P_{75})$]2(1，4)年，以工龄<1 年者汞中毒诊断率最高；汞中毒诊断率随着文化程度增高而下降。不同工龄及文化程度的工人汞中毒诊断率差异无统计学意义($P>0.05$)。见表 1。

赴非洲炼金的作业工人来自全国不同地区，以湖南、江西等地居多。参与境外劳务的务工者多为亲戚、朋友、同乡介绍进入该行业。见表 2。

表 1　炼金作业工人基本情况[人(%)]

特征因素	尿汞升高	汞中毒	χ^2 值	P 值
年龄(岁)			11.071	0.004
<40	10(38.46)	16(61.54)		
40~52	5(10.00)	45(90.00)		
>52	2(7.14)	26(92.86)		
工龄(年)			4.580	0.101
<1	0	12(100.00)		
1~11	15(18.52)	66(81.48)		
>11	2(18.18)	9(81.82)		
文化程度			3.874	0.144
小学及以下	1(5.26)	18(94.74)		
中学及中专	14(17.50)	66(82.50)		
大专及以上	2(40.00)	3(60.00)		

表 2　赴非洲炼金工人原籍分布

地区	人数(%)	地区	人数(%)
湖南	94(90.38)	江西	6(5.77)
邵阳	43(41.35)	九江	4(3.85)
长沙	30(28.84)	抚州	1(0.96)
常德	9(8.65)	上饶	1(0.96)
株洲	6(5.77)	其他地区	4(3.85)
益阳	4(3.85)	辽宁沈阳	1(0.96)
岳阳	1(0.96)	陕西汉中	1(0.96)
怀化	1(0.96)	上海嘉定	1(0.96)
		安徽安庆	1(0.96)

2.2　职业卫生状况

2.2.1　工艺流程　ASGM 多采用汞齐化工艺进行黄金提取，使用的汞主要购自国内，以罐装形式海上运输至非洲各矿区。工艺流程见图 1。

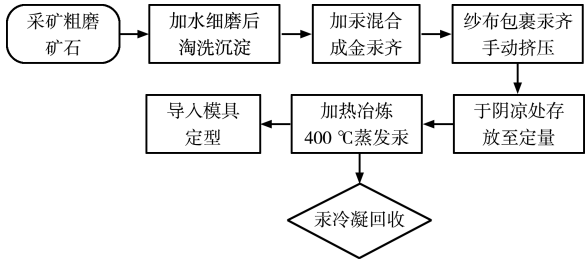

图 1　汞齐法炼金工艺流程

2.2.2　职业暴露特征　炼金作业特征、暴露指标及工人生活情况见表 3。

2.3　作业工人临床表现和辅助检查结果　慢性中毒患者以头晕、乏力和震颤症状最为普遍，急性中毒主要表现为神经-精神障碍、肺泡性肺水肿及口腔炎。工人周围神经损害普遍，神经电生理检查四肢感觉阈值改变率高。见表 4。肌电图异常主要表现为感觉神经传导波幅降低，以尺神经、腓神经为著；经颅多普勒检查异常以大脑中动脉血流速度减慢为主(45.16%，

表 3 炼金作业工人的职业暴露特征

特征因素	人数(%)	特征因素	人数(%)
作业指标		厂房类型	
汞加热方式		无顶棚/墙体	63 (60.57)
封闭电烧	11 (10.58)	半封闭型	30 (28.85)
开放式熔炉/焊枪冶炼	93 (89.42)	全封闭型	11 (10.58)
汞回收方式		通风方式	
改良回收	6 (5.77)	机械	70 (67.33)
简易回收	97 (93.27)	自然	23 (21.78)
无回收	1 (0.96)	无	11 (10.89)
工作时间(d/月)		生活情况	
<5	70 (67.31)	住宅距生产区位置(km)	
5~15	12 (11.54)	<1	82 (78.85)
>15	22 (21.15)	≥1	22 (21.15)
每天工作时长(h)		每日蔬菜摄入量(g)	
<2	39 (37.50)	<100	13 (12.50)
2~4	52 (50.00)	100~200	20 (19.23)
>4	13 (12.50)	>200	71 (68.27)
日均汞使用量(kg)		饮水	
<5	38 (36.54)	桶装矿泉水	86 (82.69)
5~10	22 (21.15)	过滤井水	18 (17.31)
>10	44 (42.31)	吸烟	
暴露指标		从不	50 (48.08)
皮肤防护		已戒烟	5 (4.81)
佩戴手套	4 (3.85)	一直	49 (47.11)
无手套及防护服	100 (96.15)	饮酒	
呼吸防护		从不	55 (52.88)
防毒面具/N95	22 (20.79)	一直	49 (47.12)
普通口罩	71 (68.32)	清洗部位	
无防护	11 (10.89)	全身	5 (4.81)
		双手	99 (95.19)

表 4 炼金作业工人汞中毒临床表现及辅助检查结果[人(%)]

临床表现/辅助检查	急性汞中毒(3 例)	慢性汞中毒(84 例)	临床表现/辅助检查	急性汞中毒(3 例)	慢性汞中毒(84 例)
一般神经症状			肾脏损害		
头晕/乏力	3 (100.00)	80 (95.24)	肾小管功能障碍	0	40 (47.62)
伸手/伸舌细震颤	2 (66.67)	50 (59.52)	肾病综合征	0	2 (2.38)
记忆力减退	0	31 (36.90)	其他损害		
睡眠障碍	1 (33.33)	29 (34.52)	肺部病变	3 (100.00)	35 (41.67)
肢体麻木	0	25 (29.76)	心血管损害	3 (100.00)	41 (48.81)
视力不清	2 (66.67)	6 (7.14)	胃肠道症状	2 (66.67)	0
性格改变	0	5 (5.95)	神经电生理检查		
口腔-牙龈炎			四肢感觉阈值改变	3 (100.00)	78 (92.86)
牙齿松动/流涎/牙龈肿痛	2 (66.67)	23 (27.38)	肌电图异常	2 (66.67)	42 (50.00)
汞毒性皮炎			脑电图异常	1 (33.33)	35 (41.67)
皮肤瘙痒/红疹	1 (33.33)	12 (14.29)	经颅多普勒异常	2 (66.67)	29 (34.52)

14/31)。

2.4 治疗 工人回国后 1 周内于门诊进行尿汞检测。结果显示, 尿汞 2.4 ~1 571.2 μg/g Cr, 中位水平 53.0(26.3, 97.4) μg/g Cr。经驱汞及抗氧化治疗后工人尿汞水平变化见表 5。作业人员平均驱汞[$M(P_{25}, P_{75})$]3(2, 4)个疗程。驱汞第 1 个疗程时尿汞水平达高峰, 3~4 个疗程后尿汞水平显著下降, 10 例慢性中毒患者 5 个疗程后体内仍有汞蓄积。

表 5　炼金作业工人尿汞水平变化［μg/g Cr］

时间	人数	尿汞范围	平均水平［$M(P_{25}, P_{75})$］
驱汞前	104	2.4～1 571.2	53.0（26.3，97.4）
第 1 疗程	8	6.2～2 608.2	473.1（145.9，872.9）
第 2 疗程	30	1.1～1 283.5	188.3（56.7，486.2）
第 3 疗程	27	14.7～837.1	172.9（67.9，342.2）
第 4 疗程	29	15.8～494.2	128.2（85.7，222.5）
第 5 疗程	10	33.3～260.9	86.1（50.1，191.5）

3　讨　论

3.1　*作业工人人口学特征与汞中毒风险*　104 名赴非洲从事汞齐法炼金作业工人中尿汞升高 17 例、急性汞中毒 3 例、慢性汞中毒 84 例。以≥40 岁人群中毒率最高，可能与代谢功能随年龄增长而下降有关。作业工人平均工龄 2（1，4）年，工龄<1 年者均出现汞中毒，可能与工人经非正规渠道从业，普遍缺乏系统职业卫生培训，初始接触高暴露熔炼作业时防护意识与行为不足[5]有关。长期汞暴露者中毒率下降，或与自然耐受体质形成或转至低暴露岗位有关[6]。建议强化职业卫生培训，重点提升短期工龄者的防护技能与应急处理能力，降低汞暴露风险。

3.2　*作业工人职业暴露三维特征*

3.2.1　*炼金生产中存在外部高剂量的汞暴露现象*　本研究中 21.15%工人每月炼金作业>15 d，50%工人单次作业持续 2～4 h，42.31%工人日均用汞量>10 kg。作业场所汞蒸气回收装置结构简易且维护不佳，易因堵塞或泄漏引发意外高浓度暴露。金汞齐存放方式不规范，堆置存放加剧了汞蒸气的持续逸散；运输中普遍采用塑料瓶等非密闭容器，且应急处理设备缺失。建议从源头推动汞使用的淘汰，普及无汞提金技术，或加装汞蒸气报警与高效回收装置并定期维护，强化运输管理，采用密闭容器并配备应急处理设备。

3.2.2　*工作场所系统性防护不足*　89.42%的工人在无顶棚或简易铁皮房等开放式环境中从事炼金作业，约 1/3 炼金作业场所通风不良。炼金作业工人普遍存在防护认知缺乏[7]，本研究中仅 20.79%工人配备防毒面罩或 N95 口罩；96.15%工人徒手接触液态汞，作业后仅清洗双手，未阻断衣物吸附等二次暴露风险。建议推行电烧封闭冶炼技术，加强通风排毒措施；强制配备并规范使用高效防毒面罩、防护手套及衣物等，建立作业后清洁制度，杜绝汞残留扩散。

3.2.3　*职业与居住空间重叠所引发的暴露效应*　本研究中 78.85%的工人居住于冶炼作业区 400 m 范围内，导致汞暴露时间显著延长，这或可解释 3 名仅从事营地膳食服务的女性亦出现汞中毒症状的原因。尽管现有调查未发现饮食、水与汞中毒存在直接关联，但已有研究指出，环境介质（如污染土壤及自产蔬菜）可能构成潜在暴露途径[8]。建议优化工人居住区空间布局，设立≥1 km 的防护缓冲区，以降低工人职业与生活场所的交叉暴露风险。同时，实施健康行为干预，推动戒烟限酒并加强膳食指导；开展居住区环境汞污染水平的系统监测。

3.3　*作业工人的临床损害及预后*　慢性汞中毒患者以神经精神症状为主，常伴肾小管功能障碍；急性汞中毒主要表现为神经与呼吸系统损害，符合典型汞中毒特征[9]。汞可穿透血-脑屏障并损伤周围神经[10]。本研究作业工人采用二巯丙磺钠驱汞治疗 3～4 个疗程后尿汞水平显著下降，症状改善，但部分慢性汞中毒者驱汞 5 个疗程后尿汞水平仍超过接触限值，需长期随访管理。建议在治疗期间开展系统职业健康干预，包括疾病教育、防护及用药指导、电子化随访及家属协同管理，以提高治疗依从性和效果。

参考文献

[1] Veiga MM, Maxson PA, Hylander LD. Origin and consumption of mercury in small-scale gold mining [J]. Journal of Cleaner Production, 2006, 14(3-4): 436-447.

[2] Mambrey V, Rakete S, Tobollik M, *et al*. Artisanal and small-scale gold mining: A cross-sectional assessment of occupational mercury exposure and exposure risk factors in Kadoma and Shurugwi, Zimbabwe [J]. Environ Res, 2020(184): 109379.

[3] Steckling N, Bose-O'Reilly S, Pinheiro P, *et al*. The burden of chronic mercury intoxication in artisanal small-scale gold mining in Zimbabwe: Data availability and preliminary estimates [J]. Environmental Health, 2014(13): 111.

[4] GBZ 89—2024, 职业性汞中毒诊断标准 [S].

[5] Ajith MM, Ghosh AK. Comparison of parameters for likelihood and severities of injuries in artisanal and small-scale mining (ASM) [J]. Safety Science, 2019(118): 212-220.

[6] 陈美祥，林丽颖，林洁，等. 77 例汞吸收临床分析 [J]. 中国工业医学杂志，2018，31(3)：190-191.

[7] Donkor P, Siabi EK, Frimpong K, *et al*. Socio-demographic effects on role assignment and associated occupational health and safety issues in artisanal and small-scale gold mining in Amansie Central District, Ghana [J]. Heliyon, 2023, 9(3): e13741.

[8] Gbedemah SF, Gbeasor AA, Hosu-Porbley GS, *et al*. Analysis of heavy metals and pathogen levels in vegetables cultivated using selected water bodies in urban areas of the Greater Accra Metropolis of Ghana [J]. Heliyon, 2024, 10(7): e27924.

[9] 任昊，袁丁，张岩，等. 85 例汞中毒患者临床特征分析 [J]. 中华急诊医学杂志，2023，32(11)：1530-1535.

[10] Pamphlett R, Bishop DP. Mercury is present in neurons and oligodendrocytes in regions of the brain affected by Parkinson's disease and co-localises with Lewy bodies [J]. PLoS One, 2022, 17(1): e0262464.

（**收稿日期**：2025-08-27；**修回日期**：2025-10-20）