

两种职业健康风险评估法在非煤地下矿山粉尘危害中的应用

谭强, 高颖, 巫一芳, 孟琪, 刘江辉, 聂云峰

湖南省职业病防治院职业卫生科, 湖南 长沙 410007

摘要:

[背景] 非煤地下矿山的开采可能接触到铅、锌、铜、非金属矿石等多种类型的粉尘, 各类粉尘普遍存在于采选各个环节, 是非煤地下矿山的主要职业病危害之一。

[目的] 比较两种风险评估方法在非煤地下矿山生产性粉尘职业健康风险评估中的应用, 为非煤矿山粉尘危害健康风险评估方法的选用及粉尘危害的管理提供借鉴。

[方法] 对铅锌矿、铜矿、萤石矿 3 家典型非煤地下矿山开采企业的粉尘危害现状进行职业卫生现场调查, 并使用综合指数法与国际采矿与金属委员会职业健康风险评估法 (ICMM 法) 进行风险评估。综合指数法依据现场检测数据、粉尘的空气动力学直径、危害控制措施、职业卫生管理、日使用量和日接触时间确定接触等级; ICMM 法依据粉尘导致的后果、接触概率、接触时间、不确定系数确定风险等级。使用两种方法进行风险评估后, 使用肯德尔 (Kendall) 一致性检验方法对两种风险评估结果进行统计学分析, 比较其一致性程度。

[结果] 依据综合指数法, 3 家企业中, 粉尘性质为矽尘、铅尘时, 其风险指数为 3 级 (中等风险) 或 4 级 (高风险), 而粉尘性质为其他粉尘 (游离 SiO_2 含量 $< 10\%$, 含铅、锌、铜的粉尘, 使用其他粉尘限值参照比较)、萤石混合性粉尘、氟及其化合物、氧化锌、铜尘时, 风险指数为 1 级 (可忽略风险) 或 2 级 (低风险); 依据 ICMM 法, 3 家企业接触矽尘、铅尘的岗位风险分别为 4 级 (非常高风险)、3 级 (高风险), 接触其他粉尘 (游离 SiO_2 含量 $< 10\%$, 含铅、锌、铜的粉尘, 使用其他粉尘限值参照比较)、萤石混合性粉尘、氟及其化合物、氧化锌、铜尘的岗位为 1 级 (可容忍的风险) 或 2 级 (潜在风险)。两种方法一致性水平很高, Kendall W 系数为 0.974, $P < 0.05$ 。

[结论] 对于非煤地下矿山生产性粉尘的职业健康风险评估, ICMM 法与综合指数法风险评估结果的一致性水平很高。ICMM 法操作更为简便, 在非煤地下矿山粉尘危害健康风险评估中可优先选用。

关键词: 非煤矿山; 风险评估; 矽尘; 分级管理; 职业危害

Application of two occupational health risk assessment methods for dust hazards in non-coal underground mines TAN Qiang, GAO Ying, WU Yifang, MENG Qi, LIU Jianghui, NIE Yunfeng (Occupational Health Department, Hunan Prevention and Treatment Institute for Occupational Diseases, Changsha, Hunan 410007, China)

Abstract:

[Background] The mining of non-coal underground mines may come into contact with various types of dust, such as lead, zinc, copper, and non-metallic minerals. Dust of various kinds commonly exists in all aspects of mining and selection, and is one of the main occupational hazard groups in non-coal underground mines.

[Objective] To compare the application of two risk assessment methods in the occupational health risk assessment of productive dust in non-coal underground mines, and to provide a reference for the selection of dust hazard health risk assessment methods and the management of dust hazards in non-coal mines.

[Methods] A field investigation of the dust hazards of three typical non-coal underground mining enterprises (lead-zinc mines, copper mines, and fluorite mines) was carried out, and the comprehensive index method and the occupational health risk assessment method from the International Council on Mining and Metals (ICMM) were used to perform risk assessments. The comprehensive



DOI 10.11836/JEOM22433

组稿专家

张美辨 (中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制研究所), E-mail: zhangmb@niohp.chinacdc.cn

基金项目

湖南省卫生健康委科研计划项目 (20200583)

作者简介

谭强 (1989—), 男, 硕士, 工程师;
E-mail: 378884259@qq.com

通信作者

聂云峰, E-mail: 185243997@qq.com

作者中包含编委会成员 无

伦理审批 不需要

利益冲突 无申报

收稿日期 2022-10-29

录用日期 2023-04-26

文章编号 2095-9982(2023)06-0641-07

中图分类号 R13

文献标志码 A

引用

谭强, 高颖, 巫一芳, 等. 两种职业健康风险评估法在非煤地下矿山粉尘危害中的应用 [J]. 环境与职业医学, 2023, 40(6): 641-647.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM22433

Funding

This study was funded.

Correspondence to

NIE Yunfeng, E-mail: 185243997@qq.com

Editorial Board Members' authorship No

Ethics approval Not required

Competing interests None declared

Received 2022-10-29

Accepted 2023-04-26

To cite

TAN Qiang, GAO Ying, WU Yifang, et al. Application of two occupational health risk assessment methods for dust hazards in non-coal underground mines[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2023, 40(6): 641-647.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM22433

index method considers the following factors: dust monitoring data, the aerodynamic diameter of dust, hazard control measures, occupational health management, daily usage, and daily exposure time to determine exposure levels. The ICMM method determines the risk level based on the consequences caused by dust, exposure probability, exposure time, and uncertainty coefficient. Kendall consistency test was used to compare agreement between the results generated by the two methods.

[Results] The results generated by the comprehensive index method were as follows: level 3 (medium risk) or level 4 (high risk) for silica dust or lead dust; level 1 (negligible risk) or level 2 (low risk) for other dust (dust with free SiO_2 content < 10% and containing lead, zinc, and copper, using other dust limit values for comparison), fluorspar mixed dust, fluorine and its compounds, zinc oxide, and copper dust. The risk levels graded by the ICMM method were as follows: level 4 (very high risk) and level 3 (high risk) for exposure to silica dust and lead dust, respectively, and level 1 (tolerable risk) or level 2 (potential risk) for exposure to other dust (dust with free SiO_2 content < 10% and containing lead, zinc, and copper, using other dust limit values for comparison), fluorspar mixed dust, fluorine and its compounds, zinc oxide, and copper dust. The consistency level between the results graded by the two methods was very high (Kendall W coefficient=0.974, $P < 0.05$).

[Conclusion] For the occupational health risk assessment of productive dust in non-coal underground mines, the consistency level of risk assessment results between the ICMM method and the comprehensive index method is very high. The ICMM method is more convenient to operate and should be preferred in assessing health risks of dust hazard in non-coal underground mines.

Keywords: non-coal mine; risk assessment; silica dust; graded management; occupational hazard

据统计, 2021 年全国累计共报告各类职业病 15407 例, 其中职业性尘肺病共报告 11809 例^[1], 各行业中采矿业是粉尘危害最严重的行业之一^[2]。采矿业包含煤矿及非煤矿山的采选。其中非煤矿山采选包含金属、非金属矿物(煤炭除外)等多种不同类型材料的采选。我国非煤矿山规模小、矿种多、分布散、基础差、采矿方法多、地质条件复杂、从业人员多^[3-4], 在生产过程中产生的粉尘种类多, 粉尘中游离 SiO_2 含量高^[5-7], 且部分金属矿山开采过程中还伴有少量铅、铬、镉等金属粉尘^[8-9], 危害较为严重。

针对包含粉尘在内的化学有害因素的风险评估, 我国于 2017 年制定了 GBZ/T 298—2017《工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则》, 其中综合指数法考虑了毒物特征并结合了职业卫生调查、检测结果; 而对于采矿业, 国际采矿与金属委员会职业健康风险评估法(简称 ICMM 法)操作简单, 应用较为广泛。本研究利用以上两种方法, 探索非煤矿山粉尘危害风险分级方法, 为非煤矿山粉尘管理提供一定的借鉴。

1 对象与方法

1.1 对象

非煤地下矿山典型的采选工艺包含钻孔、破碎、球磨、浮选等工艺过程, 为了全面分析各主要工艺的粉尘危害, 选取包含上述全部工序的湖南省 3 家典型非煤地下矿山开采企业作为本次的研究对象。

1.2 方法

1.2.1 职业卫生调查 为了明确工作场所职业病危害因素及其控制措施, 对 3 家非煤地下矿山的概况、生

产工艺、生产设备、开采矿石、粉尘防护设施、职业健康监护、个体防护用品、应急救援设施、职业卫生管理等相关内容进行现场调查。

1.2.2 职业病危害因素检测 工作场所粉尘的采样、检测依据为 GBZ 159—2004《工作场所空气中有毒物质监测的采样规范》、GBZ/T 192.2—2007《工作场所空气中粉尘测定第 2 部分: 呼吸性粉尘浓度》。

工作场所粉尘浓度选用短时间采样的方法, 岗位时间加权平均接触浓度(C-TWA)选用个体采样的方法。

工作场所粉尘中游离二氧化硅的检测依据 GBZ/T 192.4—2007《工作场所空气中粉尘测定第 4 部分: 游离二氧化硅含量》。

1.2.3 综合指数法 依据 GBZ/T 298—2017, 职业健康风险评估包含了定性评估、半定量评估、定量评估^[10]。该方法首先依据接触的毒物特征, 确定危害分级(hazard rating, HR), 然后依据职业卫生调查或检测数据确定接触粉尘的空气动力学直径、危害控制措施、职业卫生管理、日使用量、日接触时间各项的接触指数(exposure index, EI), 并计算接触等级(exposure rating, ER), 其中 $ER = (EI_1 \times EI_2 \times \dots \times EI_n)^{1/n}$ 。式中: EI 为接触指数, 根据接触剂量的增加分 5 级, 1 级为极低接触水平, 2 级为低接触水平, 3 级为中等接触水平, 4 级为高接触水平, 5 级为极高接触水平; n 为接触因素的个数, 接触因素包括空气动力学直径、职业病危害控制措施、每周使用量、每周累计接触时间等。

最后风险指数 R 依据公式 $R = (HR \times ER)^{1/2}$ 计算, 计算出的 R 为非整数时, 采取四舍五入。风险等级为 1~5 级, 对应的风险等级分别为可忽略风险、低风险、中等风险、高风险、极高风险。

1.2.4 ICMM 法 ICMM 法的风险水平依据公式 $RR=C \times PrE \times PeE \times U$ 计算, 其中 C 为后果(即 1 人或多人死亡=100, 重大残疾=50, 严重疾病且缺勤超过 14 d=15, 重大疾病且缺勤超过 7 d 但少于 14 d=7, 小病且缺勤 7 d 或更少=1), PrE 为暴露概率, PeE 为暴露时间, U 为不确定系数^[11-12]。各参数赋值参考《国外职业健康风险评估指南》^[13]。据风险水平(RR 值)确定为 5 个风险等级, 分别为可容忍(<20)、潜在风险($20\sim69$)、高风险($70\sim199$)、非常高风险($200\sim399$)、不可容忍(≥ 400)。该方法综合考虑了接触化学有害因素导致的后果、暴露时间与概率及暴露评估不确定性情况。

1.3 统计学分析

使用肯德尔(Kendall)一致性检验方法对两种风险评估结果的差异进行统计学分析, 使用 SPSS 23.0 统计

学软件计算, 依据 Kendall W 系数将两种方法的一致性程度分为 5 个级别, 分别为较差(<0.2)、一般($0.2\sim<0.4$)、中等($0.4\sim<0.6$)、较强($0.6\sim<0.8$)、很强($0.8\sim1.0$)。将 $P<0.05$ 视为两种方法一致性具有统计学意义。

2 结果

2.1 职业卫生调查及检测结果

对 3 家企业的职业卫生情况进行调查, 重点调查了与粉尘防护相关的情况。3 家企业均为地下开采矿山, 主要工序包含炮采、破碎、球磨、浮选提纯, 其主要生产工艺相似, 工序一致, 且均按《工作场所职业卫生管理规定》建立了相应的职业病防护管理制度并基本落实。调查结果对比详见表 1。

表 1 3 家企业的职业卫生调查结果

Table 1 Occupational field investigation results of three companies

项目(Item)	萤石矿(Fluorite mine)	铅锌矿(Lead-zinc mine)	铜矿(Copper mine)
年产量/万t	7.3	55	1.8
粉尘防护设施	按照矿井通风技术要求, 建立有完整的矿井通风系统; 掘进工作面采用局部压入式送风; 掘进、装载、运输采用湿式作业; 无定期维护记录, 部分作业点防护设施未正常运行。 总体来说: 防护措施充分但不定期维护。	按照矿井通风技术要求, 建立有完整的矿井通风系统; 掘进工作面采用局部压入式送风; 掘进、装载、运输采用湿式作业; 有定期维护记录, 防护设施运行正常。 总体来说: 防护措施充分且定期维护。	按照矿井通风技术要求, 建立有完整的矿井通风系统; 掘进工作面采用局部压入式送风; 掘进、装载、运输采用湿式作业; 有定期维护记录, 防护设施运行正常。 总体来说: 防护措施充分且定期维护。
应急救援设施	设施充分但不定期维护。	设施充分且定期维护。	设施充分且定期维护。
个体防护用品	3M 3200 防尘口罩、3701 滤棉, 有质量保证、防护种类符合、有效, 但未按时佩戴、无领用记录、无培训记录。	3M 3200 防尘口罩、3701 滤棉, 有质量保证、符合性、有效、有领用记录、培训记录, 但未按时佩戴。	3M 3200 防尘口罩、3701 滤棉, 有质量保证、符合性、有效、有领用记录、培训记录, 但未按时佩戴。
应急救援措施	有应急救援预案、机构和人员培训, 无演练、无维护保养。	有应急救援预案、机构和人员培训、演练、维护保养。	有应急救援预案、机构和人员培训、演练、维护保养。
职业健康监护	上岗前、在岗期间、离岗时, 体检率 100%。	上岗前、在岗期间、离岗时, 体检率 100%。	上岗前、在岗期间、离岗时, 体检率 100%。
职业卫生管理	建立制度, 但防护设施维护不及时。	建立制度并执行良好。	建立制度并执行良好。

通过现场检测, 各岗位粉尘浓度及其对应的接触限值详见表 2。3 个研究对象, 场所矽尘检测浓度范围为 $0.37\sim1.37\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 其他粉尘检测浓度范围为 $0.5\sim1.8\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 萤石混合性粉尘、氟及其化合物、铅尘、氧化锌、铜尘等化学有害因素检测浓度范围为 $<0.008\sim$

$0.6\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$, 各类粉尘岗位浓度范围为 $<0.008\sim1.0\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ 。研究对象粉尘浓度的检测结果均符合 GBZ2.1—2019《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》中关于工作场所粉尘浓度职业接触限值的要求。

表 2 工作场所粉尘浓度及其接触限值

Table 2 Dust concentration and exposure limit in selected workplaces

车间 (Workplace)	岗位(Job title)	日接触时间 (Daily exposure time)/h	粉尘性质 (Dust type)	监测数据个数 (No. of data)	检测结果(Concentration)/($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)			判定结果
					场所浓度范围(Range)	岗位浓度(C-TWA)	岗位接触限值(PC-TWA)	
萤石矿 (Fluorite mine)	打钻工(Driller)	5	矽尘(Silica dust)	6	0.87~1.07	0.42~0.51	0.7	合格(Qualified)
	球磨工(Ball miller)	6	矽尘(Silica dust)	6	0.37~0.37	0.35~0.35	0.7	合格(Qualified)
	破碎工(Crusher)	6	矽尘(Silica dust)	12	1.07~1.17	0.50~0.52	0.7	合格(Qualified)
	浮选工(Flotation collector)	6	萤石混合性粉尘 (Fluorspar mixed dust)	6	0.6	0.5	0.7	合格(Qualified)
			氟及其化合物(Fluorine and its compounds)	6	0.05~0.08	0.06~0.07	2	合格(Qualified)

续表 2

车间 (Workplace)	岗位(Job title)	日接触时间 (Daily exposure time)/h	粉尘性质 (Dust type)	监测数据个数 (No. of data)	检测结果(Concentration)/(mg·m ⁻³)			判定结果 (Judgement)
					场所浓度范围(Range)	岗位浓度(C-TWA)	岗位接触限值(PC-TWA)	
铅锌矿(Lead-zinc mine)	打钻工(Driller)	4	矽尘(Silica dust)	6	1.03~1.13	0.62~0.68	0.7	合格(Qualified)
	球磨工(Ball miller)	4	矽尘(Silica dust)	12	0.90~0.97	0.66~0.70	0.7	合格(Qualified)
	破碎工(Crusher)	6	矽尘(Silica dust)	6	1.23~1.37	0.62~0.70	0.7	合格(Qualified)
	浮选工(Flotation collector)	4	其他粉尘(Particles not otherwise regulated)	6	0.53~0.57	0.33~0.38	8	合格(Qualified)
			铅尘(Lead dust)	6	<0.008~0.012	<0.008	0.05	合格(Qualified)
			氧化锌(Zinc oxide)	6	0.02~0.03	0.02	3	合格(Qualified)
铜矿(Copper mine)	打钻工(Driller)	4	其他粉尘(Particles not otherwise regulated)	18	1.2~1.3	0.7~0.8	8	合格(Qualified)
			铜尘(Copper dust)	18	0.003~0.02	0.002~0.01	1	合格(Qualified)
	球磨工(Ball miller)	4	其他粉尘(Particles not otherwise regulated)	6	0.5~0.6	0.4	8	合格(Qualified)
			铜尘(Copper dust)	6	0.001	0.001	1	合格(Qualified)
	破碎工(Crusher)	6	其他粉尘(Particles not otherwise regulated)	6	1.4~1.8	0.8~1.0	8	合格(Qualified)
			铜尘(Copper dust)	6	0.02~0.03	0.02	1	合格(Qualified)
	浮选工(Flotation collector)	4	其他粉尘(Particles not otherwise regulated)	6	0.5	0.3~0.4	8	合格(Qualified)
			铜尘(Copper dust)	6	0.01	0.01	1	合格(Qualified)

[注] 依据 GBZ 2.1—2019《工作场所有害因素职业接触限值 第 1 部分：化学有害因素》，C-TWA 大于时间加权平均容许浓度(PC-TWA)时，判定 C-TWA 为超标；各岗位接触粉尘的时间大于 1 h，当工作场所检测浓度大于 3 倍 PC-TWA 时，判定为短时间接触浓度超标；C-TWA、短时间接触浓度两者均合格才认定合格。

[Note] According to GBZ 2.1—2019 *Occupational exposure limits for hazardous agents in the workplace Part 1: Chemical hazardous factors*, when C-TWA is greater than the permissible concentration-time weighted average (PC-TWA), C-TWA is judged to be excessive; when the exposure time of each job to dust is greater than 1 h, and when the concentration in the workplace is greater than 3 times of PC-TWA, the short-time exposure concentration is judged to be excessive; the C-TWA and short-time exposure concentration are both qualified before the judgement is qualified.

2.2 健康风险评估结果

2.2.1 综合指数法评估结果 依据风险评估结果，3 个研究对象中，粉尘性质为矽尘、铅尘时，其风险指数为 3 级(中等风险)或 4 级(高风险)，而粉尘性质为其他粉尘(游离 SiO₂ 含量 < 10%，含铅、锌、铜的粉尘，使

用其他粉尘限值参照比较)、萤石混合性粉尘、氟及其化合物、氧化锌、铜尘时，风险指数为 1 级(可忽略风险)或 2 级(低风险)。粉尘职业健康危害的综合指数法评估结果详见表 3。

表 3 非煤矿山粉尘职业健康危害的综合指数法评估结果
Table 3 Results of the comprehensive index method for occupational health hazards caused by dust in non-coal mines

车间 (Workplace)	岗位(Job title)	危害因素 (Hazard)	蒸汽压或颗粒大小暴露 指数(Vapor pressure or particle size exposure index)	危害控制措施(Hazard control measures)							E/ OEL	接触危害风险		
				工程防护 措施 (Engineering protection measures)	应急救援 设施 (Emergency rescue facilities)	职业病防护用品 (Occupational disease protective equipment)	应急救援 措施 (Emergency rescue measures)	职业卫生 管理 (Occupational health management)	日使用量 (Daily usage)	日接触时间(Day exposure time)		等级 (ER)	分级 (HR)	指数 (R)
萤石矿 (Fluorite mine)	打钻工(Driller)	矽尘(Silica dust)	5	2	2	4	3	1	5	4	3	2.90	5	4
	球磨工(Ball miller)	矽尘(Silica dust)	5	2	2	4	3	1	5	5	3	2.97	5	4
	破碎工(Crusher)	矽尘(Silica dust)	5	2	2	4	3	1	5	5	3	2.97	5	4
	浮选工(Flotation collector)	萤石混合性粉尘 (Fluorspar mixed dust)	1	2	2	4	3	1	5	5	3	2.68	1	2
		氟及其化合物 (Fluorine and its compounds)	1	2	2	4	3	1	5	5	1	2.20	2	2

续表 3

车间 (Workplace)	岗位(Job title)	危害因素 (Hazard)	蒸汽压或颗粒大小暴露指数(Vapor pressure or particle size exposure index)	危害控制措施(Hazard control measures)							E/OEL	接触等级(ER)	危害分级(HR)	风险指数(R)
				工程防护措施 (Engineering protection measures)	应急救援设施 (Emergency rescue facilities)	职业病防护用品 (Occupational disease protective equipment)	应急救援措施 (Emergency rescue measures)	职业卫生管理 (Occupational health management)	日使用量 (Daily usage)	日接触时间(Day exposure time)				
铅锌矿(Lead-zinc mine)	打钻工(Driller)	矽尘(Silica dust)	5	1	1	2	1	1	5	4	3	2.04	5	3
	球磨机(Ball miller)	矽尘(Silica dust)	5	1	1	2	1	1	5	4	4	2.10	5	3
	破碎工(Crusher)	矽尘(Silica dust)	5	1	1	2	1	1	5	5	4	2.15	5	3
		其他粉尘												
	浮选工(Flotation collector)	Particles not otherwise regulated) ^a	1	1	1	2	1	1	5	4	1	1.51	1	1
		铅尘(Lead dust)	1	1	1	2	1	1	5	4	2	1.63	4	3
铜矿(Copper mine)		氧化锌(Zinc oxide)	1	1	1	2	1	1	5	4	1	1.51	1	1
		其他粉尘												
	打钻工(Driller)	Particles not otherwise regulated) ^b	1	1	1	2	1	1	5	4	2	1.63	1	1
		铜尘(Copper dust)	1	1	1	2	1	1	5	4	1	1.51	2	2
		其他粉尘												
	球磨机(Ball miller)	Particles not otherwise regulated) ^b	4	1	1	2	1	1	5	4	1	1.76	1	1
		铜尘(Copper dust)	4	1	1	2	1	1	5	4	1	1.76	2	2
		其他粉尘												
	破碎工(Crusher)	Particles not otherwise regulated) ^b	4	1	1	2	1	1	5	5	2	1.95	1	1
		铜尘(Copper dust)	4	1	1	2	1	1	5	5	1	1.80	2	2
	其他粉尘													
	浮选工(Flotation collector)	Particles not otherwise regulated) ^b	1	1	1	2	1	1	5	4	1	1.51	1	1
		铜尘(Copper dust)	1	1	1	2	1	1	5	4	1	1.51	2	2

[注] a: 游离 SiO₂ 含量<10%, 含铅、锌的粉尘; b: 游离 SiO₂ 含量<10%, 含铜的粉尘。

[Note] a: Dust with free SiO₂<10%, containing lead and zinc dust; b: Dust with free SiO₂<10%, containing copper dust.

2.2.2 ICMM 法评估结果 用 ICMM 法对本研究对象的岗位进行评估, 评估结果显示接触矽尘、铅尘的岗位风险分别为非常高的风险、高风险, 接触其他粉尘(游离 SiO₂ 含量 < 10%, 含铅、锌、铜的粉尘, 使用其他

粉尘限值参照比较)、萤石混合性粉尘、氟及其化合物、氧化锌、铜尘的岗位为可容忍的风险或潜在风险。ICMM 法评估结果详见表 4。

表 4 非煤矿山粉尘职业健康危害 ICMM 法评估结果

Table 4 Results of the ICMM method for occupational health hazards caused by dust in non-coal mines

车间(Workplace)	岗位(Job title)	化学有害因素(Chemical hazard)	C	PrE	PeE	U	RR	风险等级(Risk grade)	风险判定(Risk judgement)
萤石矿(Fluorite mine)	打钻工(Driller)	矽尘(Silica dust)	15	3	6	1	270	4	非常高的风险(Very high risk)
	球磨工(Ball miller)	矽尘(Silica dust)	15	3	6	1	270	4	非常高的风险(Very high risk)
	破碎工(Crusher)	矽尘(Silica dust)	15	3	6	1	270	4	非常高的风险(Very high risk)
	浮选工(Flotation collector)	萤石混合性粉尘(Fluorspar mixed dust)	1	3	6	1	18	1	可容忍的风险(Tolerable risk)
		氟及其化合物(Fluorine and its compounds)	7	1	6	1	42	2	潜在风险(Potential risk)

续表 4

车间(Workplace)	岗位(Job title)	化学有害因素(Chemical hazard)	C	PrE	PeE	U	RR	风险等级(Risk grade)	风险判定(Risk judgement)
铅锌矿(Lead-zinc mine)	打钻工(Driller)	矽尘(Silica dust)	15	3	6	1	270	4	非常高的风险(Very high risk)
	球磨工(Ball miller)	矽尘(Silica dust)	15	3	6	1	270	4	非常高的风险(Very high risk)
	破碎工(Crusher)	矽尘(Silica dust)	15	3	6	1	270	4	非常高的风险(Very high risk)
	浮选工(Flotation collector)	其他粉尘(Particles not otherwise regulated) ^a	1	3	6	1	18	1	可容忍的风险(Tolerable risk)
		铅尘(Lead dust)	15	1	6	1	90	3	高风险(High risk)
铜矿(Copper mine)		氧化锌(Zinc oxide)	7	1	6	1	42	2	潜在风险(Potential)
	打钻工(Driller)	其他粉尘(Particles not otherwise regulated) ^b	1	3	6	1	18	1	可容忍的风险(Tolerable risk)
		铜尘(Copper dust)	7	1	6	1	42	2	潜在风险(Potential)
	球磨工(Ball miller)	其他粉尘(Particles not otherwise regulated) ^b	1	3	6	1	18	1	可容忍的风险(Tolerable risk)
		铜尘(Copper dust)	7	1	6	1	42	2	潜在风险(Potential)
	破碎工(Crusher)	其他粉尘(Particles not otherwise regulated) ^b	1	3	6	1	18	1	可容忍的风险(Tolerable risk)
		铜尘(Copper dust)	7	1	6	1	42	2	潜在风险(Potential)
	浮选工(Flotation collector)	其他粉尘(Particles not otherwise regulated) ^b	1	3	6	1	18	1	可容忍的风险(Tolerable risk)
		铜尘(Copper dust)	7	1	6	1	42	2	潜在风险(Potential)

[注] a: 游离 SiO₂ 含量<10%, 含铅、锌的粉尘; b: 游离 SiO₂ 含量<10%, 含铜的粉尘。
[Note] a: Dust with free SiO₂ < 10%, containing lead and zinc dust; b: Dust with free SiO₂ < 10%, containing copper dust.

2.3 两种风险评估方法结果比较

将两种风险评估的结果均转换为风险等级, 共划分为 5 级。进行统计学分析, Kendall W 系数为 0.974, P 值小于 0.05, 说明两种方法得出的风险指数的一致性水平很高。

3 讨论

本研究表明: 综合指数法考虑了防护设施、个人防护用品使用等因素的影响^[14], 但在实际应用中, ICMM 法操作更为简便, 且通过本研究的统计分析, 其与综合指数法的风险评估结果的一致性很高, 在非煤地下矿山粉尘危害健康风险评估中可优先选用。

在 ICMM 风险评估模型中各个岗位暴露时间、暴露概率及不确定性基本一致, 风险差别主要来源于矽尘导致的健康后果相对于其他类型的粉尘更为严重, 因此接触矽尘的打钻工、球磨工、破碎工风险指数较高(4 级, 非常高的风险)。

两种评估方法均显示职业健康高风险岗位与粉尘危害性质相关。若粉尘中游离二氧化硅含量 > 10%, 定性为矽尘时, 导致的健康后果相对于其他类型的粉尘更为严重, 职业健康风险显著增加。因此, 非煤矿山可参考《煤矿安全规程》对于粉尘中游离二氧化硅监测的要求, 定期监测粉尘中游离二氧化硅含量^[15], 若发生变化需及时改变职业卫生工程防护措施及管理措施。

在生产过程中, 若发现粉尘危害风险指数升高时, 除采取已有的粉尘控制措施, 在采场、掘进工作面, 可结合实际情况加大局部通风设施风量或调整局部通风设施和风筒位置, 有条件的矿山可在回风道安设自

动控制风流净化水幕^[13]; 对于放矿、输送机转载点、破碎车间、带式输送机走廊等地点, 可采取喷雾加湿措施、封闭措施或安装除尘器, 作业时进行喷雾降尘或用除尘器除尘^[16-17]。

本次对非煤地下矿山的粉尘危害进行了分级评估, 是基于粉尘及粉尘中存在主要的化学有害因素共同导致的健康危害, 但本次的研究对象不存在明显放射性危害, 因此在本研究中未考虑部分金属矿山中可能存在的放射性的影响^[18], 在下一阶段研究可以考虑粉尘及金属毒物与放射性危害的联合作用并进行风险评估, 以提供更为准确的结果。

参考文献

[1] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 2021 年我国卫生健康事业发展统计公报[EB/OL]. (2022-07-12)[2022-09-22]. http://www.gov.cn/xinwen/2022-07/12/content_5700670.htm.
National Health Commission of the People's Republic of China. Statistical bulletin of China's health development in 2021[EB/OL]. (2022-07-12)[2022-09-22]. http://www.gov.cn/xinwen/2022-07/12/content_5700670.htm.
[2] 谭强. 非煤矿山职业病危害关键控制点分析及防护措施[J]. 现代矿业, 2021, 37(5): 225-227.
TAN Q. Analysis of key control points of occupational hazards in non coal mines and protective measures[J]. Mod Min, 2021, 37(5): 225-227.
[3] 刘长青. 非煤矿山安全现状分析及对策措施[J]. 安全, 2016, 37(7): 42-44.
LIU CQ. Analysis on safety status of non coal mines and countermeasures[J]. Safety, 2016, 37(7): 42-44.
[4] 赵嘉兴, 范红敏, 袁聚祥, 等. 非煤企业粉尘控制措施现状调查研究[J]. 中国安全生产科学技术, 2010, 6(1): 130-133.
ZHAO JX, FAN HM, YUAN JX, et al. Investigation on current situation of dust control measures in 5 non-coal enterprises[J]. J Saf Sci Technol, 2010, 6(1): 130-133.
[5] 吴珂, 嵇康, 祝贝思. 浙江省金属非金属矿山职业危害现状预防的探

- 讨[J]. 安全, 2015, 36(4): 48-50.
- WU K, JI K, ZHU BS. Discussion on the prevention of occupational hazards in metal and non-metal mines in Zhejiang Province[J]. Safety, 2015, 36(4): 48-50.
- [6] 石零, 陈红梅, 杨成武. 微细粉尘治理技术的研究进展[J]. 江汉大学学报(自然科学版), 2013, 41(2): 40-46.
- SHI L, CHEN HM, YANG CW. Research progress of fine dust control technology[J]. J Jiangnan Univ (Nat Sci Ed), 2013, 41(2): 40-46.
- [7] 邹富. 我国非煤矿山地下开采粉尘防治现状及发展趋势[J]. 现代矿业, 2018, 34(5): 8-12.
- ZOU CF. Present situation and development trends of dust prevention and controlling of underground mining non-coal mines in China[J]. Mod Min, 2018, 34(5): 8-12.
- [8] 谭建文, 杨成金, 朱丰玲, 等. 抽放负压干式钻孔除尘器的研制及应用[J]. 江西煤炭科技, 2012(3): 77-78.
- TAN JW, YANG CJ, ZHU FL, et al. Development and application of suction negative pressure dry drilling dust collector[J]. Jiangxi Coal Sci Technol, 2012(3): 77-78.
- [9] 刘少雨, 祝秀林, 杨静, 等. 港口抑尘技术研究的进展[J]. 港口装卸, 2013(2): 44-47.
- LIU SY, ZHU XL, YANG J, et al. The research progress of port dust-controlling technology[J]. Port Oper, 2013(2): 44-47.
- [10] 工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则: GBZ/T 298—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- Guidelines for occupational health risk assessment of chemicals in the workplace: GBZ/T 298—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017.
- [11] 孙悦, 江泽标, 康向涛. 多种职业健康风险评估法在煤矿企业粉尘危害评估中的应用[J]. 煤矿安全, 2020, 51(6): 158-162.
- SUN Y, JIANG ZB, KANG XT. Application of multiple occupational health risk assessment methods in dust hazard assessment of coal mine enterprise[J]. Saf Coal Mines, 2020, 51(6): 158-162.
- [12] 谢子煌, 王雪毓, 钟小欢, 等. 两种风险评估模型在深圳市石材加工企业粉尘危害评估中的应用[J]. 职业卫生与应急救援, 2020, 38(4): 357-360.
- XIE ZH, WANG XY, ZHONG XH, et al. Application of two risk assessment models in evaluation of dust hazards in stone processing enterprises of Shenzhen[J]. Occup Health Emerg Rescue, 2020, 38(4): 357-360.
- [13] 丁钢强, 张美辨. 国外职业健康风险评估指南[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2014: 204-226.
- DING G Q, ZHANG M B. Guidelines for overseas occupational health risk assessment[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2014: 204-226.
- [14] 汤瑛, 江荧荧, 马翠云, 等. 两种风险评估法在某铸造企业生产性粉尘职业健康风险评估中的应用[J]. 海峡预防医学杂志, 2022, 28(1): 84-86.
- TANG Y, JIANG YY, MA CY, et al. Application of two risk assessment methods in occupational health risk assessment of productive dust in a foundry enterprise[J]. Strait J Prev Med, 2022, 28(1): 84-86.
- [15] 国家安全生产监督管理总局令[J]. 中华人民共和国国务院公报, 2016(14): 94.
- Order of the state administration of work safety[J]. Communiqué State Counc People's Republic China, 2016(14): 94.
- [16] 刘振刚, 康淑慧. 我国冶金矿山职业卫生工程实用技术的新进展[J]. 矿业快报, 2001(22): 1-3.
- LIU ZG, KANG SH. New advances of practical technology of professional sanitary engineering of metallurgical mines in our country[J]. Express Inf Min Ind, 2001(22): 1-3.
- [17] 张强. 井下轨道大巷洒水除尘装置的设计应用[J]. 中州煤炭, 2007(3): 14,16.
- ZHANG Q. Design and application of dust prevention device by water spray in main haulage roadway of coal mine[J]. Zhongzhou Coal, 2007(3): 14,16.
- [18] 毛彦明, 李冠超, 阙泽胜, 等. 广东省某地重点矿山天然放射性环境调查与监测[J]. 世界核地质科学, 2022, 39(3): 614-622.
- MAO YM, LI GC, QUE ZS, et al. Investigation and monitoring of natural radioactive environment in key mines of an area in Guangdong province[J]. World Nucl Geosci, 2022, 39(3): 614-622.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 陈姣)

(上接第 640 页)

- [13] 刘伟东, 马争, 胡烈聪, 等. 东莞市家具制造行业职业病危害因素监测结果分析[J]. 工业卫生与职业病, 2021, 47(1): 15-18.
- LIU WD, MA Z, HU LC, et al. Monitoring occupational hazard factors of furniture factories in Dongguan City[J]. Ind Health Occup Dis, 2021, 47(1): 15-18.
- [14] 刘燕, 尹德雯, 杜美娜. 噪声与粉尘联合作用对摩托车发动机制造工人心电图及血压的影响分析[J]. 影像研究与医学应用, 2021, 5(14): 227-228.
- LIU Y, YIN DW, DU MN. Analysis of the influence of noise and dust on electrocardiogram and blood pressure of motorcycle engine manufacturing workers[J]. J Imag Res Med Appl, 2021, 5(14): 227-228.
- [15] 张玲, 王娟. 噪声联合金属粉尘暴露对听力损伤的影响分析[J]. 职业卫生与病伤, 2019, 34(1): 26-28,32.
- ZHANG L, WANG J. Analysis on the effect of exposed metal dust combined noise on hearing damage[J]. Occup Health Damage, 2019, 34(1): 26-28,32.
- [16] 刘浩中, 陈浩, 冯简青, 等. 某市木质家具制造企业木粉尘危害对工人肺通气功能影响的调查[J]. 职业卫生与应急救援, 2022, 40(5): 535-538, 542.
- LIU HZ, CHEN H, FENG JQ, et al. Effect of wood dust exposure on workers' pulmonary function in wood furniture manufacturing enterprises[J]. Occup Health Emerg Rescue, 2022, 40(5): 535-538,542.
- [17] 曹晓明, 李发强, 张媛. 职业性木粉尘接触与鼻-鼻窦恶性肿瘤的关系[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2019, 37(11): 873-876.
- CAO XM, LI FQ, ZHANG Y. The relationship between occupational wood dust exposure and nasal cancer[J]. Chin J Ind Hyg Occup Dis, 2019, 37(11): 873-876.
- [18] 王鑫峰, 欧阳伟, 王延赏. 我国卫生监督机构人力资源配置现状及空间分布研究[J]. 中国卫生政策研究, 2022, 15(2): 46-53.
- WANG XF, OUYANG W, WANG YS. Research on the current situation and spatial distribution of human resource allocation in health supervision institutions in China[J]. Chin J Health Policy, 2022, 15(2): 46-53.

(英文编辑: 汪源; 责任编辑: 王晓宇)