

· 论 著 ·

水泥生产企业粉尘职业健康风险评估

牛勇¹, 张璘¹, 刘凯¹, 俞兵², 章荣平³, 韩磊⁴, 谢丽庄⁴, 吴鹏², 叶萌¹1. 中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所, 北京 100050; 2. 恩施州疾病预防控制中心;
3. 句容市疾病预防控制中心; 4. 江苏省疾病预防控制中心

摘要: **目的** 评估4家水泥生产企业水泥粉尘暴露重点岗位的职业健康风险水平, 为防控水泥尘肺提供依据。**方法** 选取4家典型的水泥生产企业为调查现场, 开展水泥粉尘暴露重点岗位职业卫生现场调查和检测。采用半定量综合指数法、半定量接触比值法与国际采矿和金属委员会(ICMM)职业健康风险评估模型风险评级表法(ICMM风险评级表法)评估不同工种的水泥粉尘职业健康风险水平, 并对3种评估方法进行比较。**结果** 4家水泥生产企业所有工种接触粉尘的游离二氧化硅含量为(4.70±2.01)%~(5.63±2.48)%, 且袋装水泥上车工和袋装水泥插袋工的总粉尘和呼吸性粉尘浓度均超过我国时间加权平均容许浓度(PC-TWA)。各工种总粉尘和呼吸性粉尘采用半定量综合指数法的风险等级均为高风险, 而半定量接触比值法和ICMM风险评级表法提示袋装水泥插袋工和袋装水泥上车工处于极高风险或不可容忍的风险水平。3种方法评估结果差异均无统计学意义($P>0.05$); ICMM风险评级表法与半定量接触比值法的呼吸性粉尘风险评估结果呈高度正相关($r_s=0.894$, $P=0.016$), 总粉尘风险评估结果无相关性($r_s=0.733$, $P=0.097$); 半定量综合指数法与另外2种方法不适合进行相关性分析。**结论** 4家水泥生产企业中袋装水泥插袋工和袋装水泥上车工水泥粉尘的职业健康风险水平较高, 半定量接触比值法和ICMM风险评级表法在水泥粉尘重点暴露工种呼吸性粉尘方面的评估结果一致, 而半定量综合指数法的适用性仍需进一步研究。

关键词: 职业暴露; 水泥粉尘; 风险评估

中图分类号: R135

文献标识码: A

文章编号: 2096-5087(2021)06-0558-06

Occupational health risk assessment of dust in cement production enterprises

NIU Yong*, ZHANG Lin, LIU Kai, YU Bing, ZHANG Rongping, HAN Lei, XIE Lizhuang, WU Peng, YE Meng

*National Institute for Occupation Health and Poison Control, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 100050, China

Abstract: Objective To evaluate the occupational health risk of key posts exposed to cement dust in four cement production enterprises, and to provide reference for cement pneumoconiosis prevention and control. **Methods** Four Chinese typical cement enterprises and key posts exposed to cement dust were selected to carry out occupational health investigation and detection, and three risk assessment methods were used to assess their occupational health risk levels, including semi-quantitative comprehensive index method, semi-quantitative contact ratio method and risk rating method of International Mining and Metal Commission (ICMM). Meanwhile, the differences and consistencies among different assessment methods were compared. **Results** Dust free silica content ranged from (4.70±2.01)% to (5.63±2.48)%, and the total and respirable dust concentrations exposed by bagged cement loaders and cement baggers exceeded Chinese permissible concentration-time weighted average (PC-TWA). The results of semi-quantitative comprehensive index method showed that all the types of work were at high risk of total and respirable dust, while the results of the other two as-

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2021.06.004

基金项目: 国家自然科学基金项目(81472956); 职业健康风险评估与国家职业卫生标准制定项目(131031109000160004)

作者简介: 牛勇, 硕士, 副研究员, 主要从事卫生毒理研究工作

通信作者: 叶萌, E-mail: yemeng@niohp.chinacdc.cn

assessment methods showed that bagged cement loaders and cement baggers were at a extremely high or intolerable risk. There were no significant differences among three risk assessment methods whether in terms of total dust or respirable dust ($P>0.05$). ICMM risk rating method and contact ratio method showed highly positive correlation in term of respirable dust ($r_s=0.894$, $P=0.016$), but not in term of total dust ($r_s=0.733$, $P=0.097$). However, the correlations of comprehensive index method with the other two methods were unable to conduct. **Conclusion** Bagged cement loaders and cement baggers are at high occupational health risk levels. Moreover, semi-quantitative contact ratio method and ICMM risk rating method have high positive correlation in term of respirable dust, the applicability of comprehensive index method still needs further study.

Keywords: occupational exposure; cement dust; risk assessment

水泥是人工合成的无定型硅酸盐, 主要原料有石灰石、黏土、页岩、铁、煤、矿渣和石膏等。我国约有水泥生产企业 5 000 家, 从业人员约 60 万, 经常接触粉尘作业工人约 20 万^[1]。水泥生产行业的加料、包装和运输等工序均可产生大量水泥粉尘, 是造成水泥产业工人患水泥尘肺病的主要职业危害因素。国内某些地区新发水泥尘肺病例数居尘肺病前三位^[2-3], 且水泥尘肺病的病死率达 35.1%^[4]。本研究采用 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》的半定量综合指数法和半定量接触比值法^[5], 以及国际采矿和金属委员会 (International Mining and Metal Commission, ICMM) 职业健康风险评估模型风险评级表法 (ICMM 风险评级表法)^[6]对 4 家水泥生产企业的水泥粉尘主要暴露岗位进行风险评估, 为防控水泥尘肺病提供依据。

1 对象与方法

1.1 对象 选取 4 家典型的水泥生产企业为调查现场, 按生产规模划分^[7]: 3 家为大型水泥生产企业 (年产水泥 100 万~130 万吨), 1 家为中型水泥生产企业 (年产水泥 50 万吨)。4 家水泥生产企业均采用新型干法旋窑水泥熟料生产工艺, 并利用生产过程中排出的废气进行余热发电。主要生产工艺流程: 原料制备 (原料破碎及预均化、生料磨制、配料) → 熟料烧成 (煤粉制备、熟料烧成、脱硝处理、熟料进库) → 水泥制成 (掺和料制备、水泥粉磨、水泥包装及储运) → 水泥出厂 (袋装和散装发运)。

1.2 现场职业卫生调查 调查 4 家水泥生产企业的生产工艺、原辅料使用量、产品生产量、水泥粉尘作业岗位、作业人员、接触时间、工作场所游离二氧化硅含量、防尘设施与措施、个人使用的职业病防护用品、职业卫生管理制度、工作制度、工作内容、总体布局与设备布局等。

1.3 样品采集和检测 根据 GBZ 159—2004《工作

场所空气中有害物质监测的采样规范》^[8]、GBZ/T 192.1—2007《工作场所空气中粉尘测定 第 1 部分: 总粉尘》^[9]、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》^[10]和 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》^[11], 结合工人作业方式, 选择定点工作岗位定点采样或巡检工作岗位个体采样。定点采样在不同粉尘浓度的时段分别进行。个体采样选择有代表性的对象, 根据现场调查情况确定采样数目和采样时间。每个定点工作岗位每天选择 3 个时间段且包括粉尘浓度最高的时间段, 每个时间段采集总粉尘、呼吸性粉尘和降尘 3 种样品。计算 8 小时时间加权平均浓度 (concentration-time weighted average, C_{TWA}), 计算公式为 $C_{TWA} (\text{mg}/\text{m}^3) = (C_1T_1+C_2T_2+\dots+C_nT_n) / 8$, 其中 $C_1\dots C_n$ 为各检测位粉尘浓度, $T_1\dots T_n$ 为各检测位的工人实际接触时间。根据 GBZ 2.1—2019《工作场所有害因素和职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素》^[12] 时间加权平均容许浓度 (permissible concentration-time weighted average, PC-TWA) 判断各工种水泥粉尘浓度是否超标。

1.4 职业健康风险评估

1.4.1 半定量综合指数法 依据 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》化学有害因素毒性危害特征分级^[5], 水泥粉尘属于高腐蚀性物质, 其危害等级 (hazard rating, HR) 为 4。综合考虑水泥粉尘接触浓度 (exposure, E) / PC-TWA、每日使用量、日接触时间和危害控制措施, 分别对应的接触指数 (exposure index, EI), 确定各工种接触等级 (exposure rating, ER) 和风险指数 (risk, R): $ER=EI_1\times EI_2\dots EI_n$; $R = \sqrt{HR \times ER}$ 。根据 R 值将风险等级分为 5 级: <1.00 为可忽略风险; 1.00~<2.00 为低风险; 2.00~<3.00 为中等风险; 3.00~<4.00 为高风险; ≥ 4.00 为极高风险。

1.4.2 半定量接触比值法 依据 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》^[5]仅考虑 E 与相应的职业接触限值 (occupational exposure limit, OEL) 比值, 确定 ER 和 R。R 的计算公式及对应的风险等级同半定量综合指数法。

1.4.3 ICMM 风险评级表法 ICMM 风险评级表法综合考虑: 健康危害后果 (consequence, C)、接触概率 (probability of exposure, PrE)、接触时间 (prolonging of exposure, PeE)、危害风险和接触评估不确定性 (uncertainty, U), 计算风险等级 (risk rate, RR)。RR = C×PrE×PeE×U。C 按照接触限值及 2 倍超限量进行调整: 低于限值, C 等级为 1; 高于限值但低于 2 倍限值, C 等级为 15; 高于 2 倍限值但低于 4 倍限值, C 等级为 50; 高于 4 倍限值, C 等级为 100。考虑到个体防护用品的使用, PrE 赋值调整为: 低于接触限值为 2; 高于接触限值但低于 4 倍限值为 3; 高于 4 倍接触限值为 5。PeE 的赋值: 每年 1 次为 0.5; 一年几次为 1; 每月几次为 2; 每个班次连续暴露 2~4 h 为 6; 每个班次连续暴露 8 h 为 10。U 的赋值: 确定为 1; 不确定为 2; 非常不确定为 3。根据 RR 值将风险等级分为 5 级: < 20.00 为可容忍的风险; 20.00~<69.00 为潜在的风险; 69.00~<199.00 为高风险; 199.00~<400.00 为非常高的风险; ≥400.00 为不可容忍的风险。

1.5 统计分析 采用 SAS 9.4 软件统计分析。定量资料服从正态分布的采用均数±标准差 ($\bar{x}\pm s$) 描述, 不服从正态分布的采用中位数和四分位数间距 [$M(Q_R)$] 描述, 定性资料采用相对数描述。3 种风险评估方法的风险等级均为 5 级, 职业健康风险评估水平从低到高依次赋值 1、2、3、4 和 5 分^[13], 赋值后的风险评估结果均进行 Shapiro-Wilk 正态性检验, 若均服从正态分布, 采用随机区组设计方差分析分析不同方法评估结果的差异性, 采用 Pearson 相关

分析不同方法评估结果的一致性; 若不服从正态分布, 采用 Friedman M 检验分析不同方法评估结果的差异性, 采用 Spearman 秩相关分析不同方法评估结果的一致性。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 职业卫生调查结果 4 家水泥生产企业工程防护和应急救援措施充分且定期维护, 作业工人着工作服并佩戴防尘口罩, 领用和培训记录完备。接触水泥粉尘的车间和工种主要包括水泥磨磨车间负责水泥磨巡检的巡检工、水泥库负责水泥库巡检的巡检工、水泥车间负责机动检修的机修工、水泥包装车间负责散装水泥灌装操作的散装水泥灌装工、负责袋装水泥上车的袋装水泥上车工和负责插袋的袋装水泥插袋工。不同工种每日水泥原料平均使用量为 2 114.89~2 620.00 t, 各工种均接触噪声。水泥包装车间作业方式为定点作业, 其他车间均为巡检作业。工作制度均为三班四运转制, 即平均每天工作 8 h, 每周工作 5 d。见表 1。

2.2 水泥粉尘检测结果 所有工种接触的粉尘游离二氧化硅含量为 (4.70 ± 2.01) % ~ (5.63 ± 2.48) %。袋装水泥上车工和袋装水泥插袋工的总粉尘和呼吸性粉尘浓度均超过 PC-TWA (分别为 4.0 和 1.5 mg/m³)^[12], 袋装水泥上车工总粉尘和呼吸性粉尘浓度分别为 (9.35 ± 4.30) mg/m³ 和 (2.72 ± 1.55) mg/m³, 分别为 PC-TWA 的 2.34 倍和 1.81 倍; 袋装水泥插袋工总粉尘和呼吸性粉尘的 $M(Q_R)$ 分别为 9.31 (7.82) mg/m³ 和 2.91 (2.32) mg/m³, 分别为 PC-TWA 的 2.33 倍和 1.94 倍。水泥磨巡检工、散装水泥灌装工、水泥库巡检工和机修工的总粉尘和呼吸性粉尘浓度均未超过 PC-TWA。见表 1。

表 1 水泥粉尘岗位职业卫生学调查结果

车间	工种	企业暴露 数目人数	危害因素	作业 方式	日接尘 时间(h)	游离二氧化 硅含量(%)	每日使用/产 出量(t)	总粉尘 C_{TWA} (mg/m ³)	呼吸性粉尘 C_{TWA} (mg/m ³)
水泥粉磨	水泥磨巡检工	3 16	水泥粉尘、噪声	巡检	2.57 ± 0.42	4.70 ± 2.01	2 203.19 ± 731.57	1.37 ± 0.93	0.46 ± 0.30
	散装水泥灌装工	4 7	水泥粉尘、噪声	定点	4.25 ± 1.09	5.63 ± 2.48	2 114.89 ± 622.88	1.74 ± 0.66	0.49 ± 0.18
水泥包装	袋装水泥上车工	4 23	水泥粉尘、噪声	定点	5.25 ± 0.83	5.63 ± 2.48	2 114.89 ± 622.88	9.35 ± 4.30	2.72 ± 1.55
	袋装水泥插袋工	4 19	水泥粉尘、噪声	定点	5.25 ± 0.83	5.63 ± 2.48	2 114.89 ± 622.88	9.31(7.82) ^a	2.91(2.32) ^a
水泥库	水泥库巡检工	2 7	水泥粉尘、噪声	巡检	2.00(0.00) ^a	5.15(3.70)	2 620.00(240.00) ^a	2.32(1.14) ^a	0.69 ± 0.23
水泥车间	机修工	1 4	水泥粉尘、噪声	巡检	2.00(0.00) ^a	5.15(370.00) ^a	2 500.00	0.85 ± 0.23	0.32(0.09) ^a

注: a表示采用 $M(Q_R)$ 描述; 其他采用 $\bar{x}\pm s$ 描述。

2.3 职业健康风险评估结果

2.3.1 半定量综合指数法 采用半定量综合指数法评估总粉尘和呼吸性粉尘的结果显示,水泥磨巡检工、

散装水泥灌装工、袋装水泥上车工、袋装水泥插袋工、水泥库巡检工和机修工的职业健康风险等级均为高风险。见表2和表3。

表2 3种职业健康风险评估法评估结果(总粉尘)

车间	工种	半定量综合指数法				ICMM 风险评级表法						半定量接触比值法			
		ER	HR	R	风险等级	C	PrE	PeE	U	RR	风险等级	ER	HR	R	风险等级
水泥粉磨	水泥磨巡检工	2.68	4	3.27	高	1	2	6	1	12	可容忍	2	4	2.83	中等
	散装水泥灌装工	2.77	4	3.33	高	1	2	10	1	20	潜在	2	4	2.83	中等
水泥包装	袋装水泥上车工	3.13	4	3.54	高	50	3	10	1	1 500	不可容忍	5	4	4.47	极高
	袋装水泥插袋工	3.16	4	3.56	高	50	3	10	1	1 500	不可容忍	5	4	4.47	极高
水泥库	水泥库巡检工	2.81	4	3.35	高	1	2	6	1	12	可容忍	3	4	3.46	高
水泥车间	机修工	2.76	4	3.32	高	1	2	6	1	12	可容忍	2	4	2.83	中等

表3 3种职业健康风险评估法评估结果(呼吸性粉尘)

车间	工种	半定量综合指数法				ICMM 风险评级表法						半定量接触比值法			
		ER	HR	R	风险等级	C	PrE	PeE	U	RR	风险等级	ER	HR	R	风险等级
水泥粉磨	水泥磨巡检工	2.68	4	3.28	高	1	2	6	1	12	可容忍	2	4	2.83	中等
	散装水泥灌装工	2.77	4	3.33	高	1	2	10	1	20	潜在	2	4	2.83	中等
水泥包装	袋装水泥上车工	3.05	4	3.49	高	15	3	10	1	450	不可容忍	4	4	4.00	极高
	袋装水泥插袋工	3.08	4	3.51	高	15	3	10	1	450	不可容忍	4	4	4.00	极高
水泥库	水泥库巡检工	2.68	4	3.28	高	1	2	6	1	12	可容忍	2	4	2.83	中等
水泥车间	机修工	2.76	4	3.32	高	1	2	6	1	12	可容忍	2	4	2.83	中等

2.3.2 半定量接触比值法 袋装水泥插袋工和袋装水泥上车工的总粉尘和呼吸性粉尘的职业健康风险等级均为极高风险;水泥库巡检工的总粉尘和呼吸性粉尘的职业健康风险等级分别为高风险和中等风险;水泥磨巡检工、散装水泥灌装工和机修工的职业健康风险等级均为中等风险。见表2和表3。

2.3.3 ICMM 风险评级表法 袋装水泥插袋工和袋装水泥上车工的总粉尘和呼吸性粉尘的职业健康风险均处于不可容忍的风险水平;散装水泥灌装工的总粉尘和呼吸性粉尘的职业健康风险处于潜在的风险水平;水泥磨巡检工、水泥库巡检工和机修工的总粉尘和呼吸性粉尘的职业健康风险均处于可容忍的风险水平。见表2和表3。

2.3.4 3种风险评估方法评估结果比较 3种风险评估方法评估结果赋值后的正态性检验结果均不符合正态分布,且评估总粉尘和呼吸性粉尘的风险水平比较,差异无统计学意义($\chi^2=2.571, P=0.277$; $\chi^2=2.546, P=0.280$)。Spearman 秩相关分析结果显示,ICMM 风险评级表法与半定量接触比值法评估呼吸性粉尘的结果高度正相关($r_s=0.894, P=0.016$),与总粉

尘的结果无相关性($r_s=0.733, P=0.097$)。由于半定量综合指数法在总粉尘或呼吸性粉尘方面的评估结果均为中等风险,不适合与ICMM 风险评级表法或半定量接触比值法进行相关性分析。

3 讨论

本研究选取的4家水泥生产企业均采用新型干法旋窑水泥熟料生产工艺,其水泥磨巡检工、散装水泥灌装工、水泥库巡检工和机修工接触的水泥总粉尘和呼吸性粉尘暴露浓度均符合OEL,而袋装水泥上车工和袋装水泥插袋工接触的水泥总粉尘和呼吸性粉尘暴露浓度均超出OEL,与汪玉清等^[14]的水泥生产企业中水泥叠包装车、包装机插袋和散装装车岗位粉尘浓度较高,职业危害严重结果相似。可能在水泥生产企业中水泥磨巡检工、散装水泥灌装工、水泥库巡检工和机修工机械化程度高,且配备除尘器或收尘器;而袋装水泥上车工和袋装水泥插袋工主要是手工作业,加之运输车辆的进出,增加了操作环境中的二次扬尘。

采用半定量综合指数法评估总粉尘和呼吸性粉

尘的风险等级均为高风险,而袋装水泥插袋工和袋装水泥上车工采用半定量接触比值法和 ICMM 风险评级表法的评估结果为极高风险或不可容忍的风险,其他工种如水泥磨巡检工、散装水泥灌装工和机修工采用半定量接触比值法的评估结果均为中等风险,水泥库巡检工总粉尘和呼吸性粉尘的评估结果分别为高风险和中等风险;水泥磨巡检工、水泥库巡检工和机修工采用 ICMM 风险评级表法的评估结果均为可容忍的风险,散装水泥灌装工则处于潜在的风险水平。ICMM 风险评级表法和半定量接触比值法的评估结果与劳动卫生学调查结果符合,而半定量综合指数法未能根据劳动卫生学调查情况识别出需要重点防控的工种。与其他工种相比,袋装水泥插袋工和袋装水泥上车工处于较高的风险水平,主要原因是接触较高粉尘浓度和每天长时间接触粉尘。水泥生产企业应重点关注袋装水泥上车工和袋装水泥插袋工的身体状况,并进一步完善降尘防尘措施。

既往研究显示,半定量综合指数法与半定量接触比值法或风险评级表法的一致性并不强,而 ICMM 风险评级表法和半定量接触比值法的一致性较强^[15]。虽然本次研究选用的3种评估方法结果差异不具有统计学意义,但 ICMM 风险评级表法和半定量接触比值法均将袋装水泥上车工和袋装水泥插袋工评估为需要重点防控的工种,且2种评估方法对呼吸性粉尘的评估结果呈高度正相关;而半定量综合指数法与 ICMM 风险评级表法、半定量接触比值法均未观察到相关性。可能与不同风险评估方法的一致性和待测因素的超限倍数范围有关^[15-16]。既往研究显示,当 C_{TWA} 高于 OEL 时, ICMM 矩阵法评估结果高于或等于综合指数法的评估结果^[16];且 $C_{TWA}/OEL > 2$ 时, ICMM 风险评级表法与半定量接触比值法结果完全一致^[15],与此次研究结果相似。另有研究显示, ICMM 风险评估模型主观性较强^[17-19],容易高估职业健康风险水平^[20-21]。半定量综合指数法虽然考虑到工程防护措施、应急救援措施、职业卫生管理、接触时间和日使用量等因素,但水泥粉尘日使用量与生产原料的日使用量不对等易造成错误估计^[16]。水泥粉尘一般不易造成急性中毒,在水泥粉尘职业健康风险评估中是否需要纳入应急救援措施仍需进一步商榷。因此,有学者提出《工作场所化学有害因素职业健康风险评估技术导则》仍需在后续的应用实践中完善,如半定量方法中粉尘的危害等级需要进一步细化^[19]。

综上所述,水泥产业中袋装水泥插袋工和袋装

水泥上车工的职业健康风险水平较高;半定量接触比值法和 ICMM 风险评级表法适用于呼吸性水泥粉尘方面的职业健康风险评估,半定量综合指数法在水泥粉尘职业健康风险评估方面的适用性仍需进一步研究。

参考文献

- [1] 马骏. 水泥生产中粉尘危害与防治 [J]. 劳动保护, 2014, (3): 24-26.
- [2] 赵文莉, 李慧, 寇振霞, 等. 2010至2018年甘肃省尘肺病流行特征分析 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2020, 38 (10): 746-749.
- [3] 邓蕾. 2018年—2020年宜宾市尘肺病流行病学特征研究 [J]. 母婴世界, 2020, (29): 270.
- [4] 唐浩, 王一丹, 陈卉, 等. 我国尘肺病患者病死率的 meta 分析 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2015, 33 (3): 229-232.
- [5] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 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: 人民卫生出版社, 2017.
- [6] International Council on Mining and Metals. Good Practice Guidance on Occupational Risk Assessment [Z]. 2009.
- [7] 席耀忠. 中小水泥企业升级转产几种途径的分析 [Z]. 北京: 中国建筑材料研究总院, 2009.
- [8] 中华人民共和国卫生部. 工作场所空气中有害物质监测的采样规范: GBZ 159—2004 [S]. 北京: 人民卫生出版社, 2004.
- [9] 中华人民共和国卫生部. 工作场所空气中粉尘测定 第1部分: 总粉尘: GBZ/T 192.1—2007 [S]. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [10] 中华人民共和国卫生部. 工作场所空气中粉尘测定 第2部分: 呼吸性粉尘浓度: GBZ/T 192.2—2007 [S]. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [11] 中华人民共和国卫生部. 工作场所空气中粉尘测定 第4部分: 游离二氧化硅含量: GBZ/T 192.4—2007 [S]. 北京: 人民卫生出版社, 2007.
- [12] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 工作场所所有害因素和职业接触限值 第1部分: 化学有害因素: GBZ 2.1—2019 [S]. 北京: 人民卫生出版社, 2019.
- [13] 吴宾, 张永亮, 陈永青. 煤尘职业健康风险评估中两种风险评估方法的应用研究 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2017, 35 (4): 276-279.
- [14] 汪玉清, 湛莉莎, 朱若凯, 等. 江西省水泥行业粉尘职业危害调查与分析 [J]. 中国工业医学杂志, 2018, 31 (1): 51-53.
- [15] 边洪英, 康宁, 董一文, 等. 三种半定量风险评估方法在矽尘暴露岗位风险等级划分中的比较 [J]. 中国工业医学杂志, 2019, 32 (3): 167-171.
- [16] 李旭东, 丁俊, 刘明, 等. 三种职业健康风险评估方法评估涂料生产企业有机溶剂风险的应用比较 [J]. 预防医学, 2018, 30 (8): 794-798.
- [17] ZHOU L F, TIAN F, ZOU H, et al. Research progress in occupational health risk assessment methods in China [J]. Biomed Environ Sci, 2017, 30 (8): 616-622.

(下转第 567 页)