

· 论 著 ·

# 五种职业健康风险评估模型评估小型露天石料矿场 硅尘危害比较

徐秋凉, 曹艺耀, 王鹏, 任鸿, 袁伟明, 李飞, 张美辨

浙江省疾病预防控制中心职业健康与辐射防护所, 浙江 杭州 310051

**摘要:** **目的** 应用5种职业健康风险评估模型评估小型露天石料矿场硅尘危害风险, 为职业健康风险评估方法学的研究提供参考。**方法** 选择7家小型露天石料矿场为评估现场, 应用新加坡化学毒物职业暴露半定量风险评估方法(新加坡模型)、英国健康有害物质控制策略简易法(COSHH模型)、罗马尼亚职业事故和职业病风险评估方法(罗马尼亚模型)、澳大利亚职业健康与安全风险评估管理导则(澳大利亚模型)、国际采矿与金属委员会职业健康风险评估操作指南(ICMM模型)分别对接触硅尘岗位的职工进行职业健康风险评估。计算5种模型评估结果的风险比值(RR), 比较差异性、准确性和相关性。**结果** 新加坡模型、COSHH模型、罗马尼亚模型、澳大利亚模型和ICMM模型评估的RR值分别为0.8、1.0、0.4、0.6和0.8。新加坡模型和澳大利亚模型能明确区分汽车运输驾驶员与洒水车司机接触硅尘的风险水平差异, 与这2个岗位的实际风险相符。除COSHH模型外, 其他4种模型的RR值间均呈正相关( $P < 0.05$ ); RR值与浓度比值(CR)均呈正相关( $P < 0.05$ ), 其中新加坡模型的RR值与CR值的相关系数最大, 为0.801。**结论** 5种职业健康风险评估模型中新加坡模型相对更能识别石料矿场不同岗位的硅尘危害风险差异, 评估准确性较好, 与其他模型具有良好的相关性。

**关键词:** 石料矿场; 硅尘; 职业健康风险**中图分类号:** R135 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-5087(2021)09-0873-05

## Comparison of five occupational health risk assessment models applied to silica dust hazard in small open pits

XU Qiuliang, CAO Yiyao, WANG Peng, REN Hong, YUAN Weiming, LI Fei, ZHANG Meibian

*Department of Occupational Health and Radiation Protection, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China*

**Abstract: Objective** To quantitatively compare five occupational health risk assessment models in assessing silica dust hazard risk in small open pits, so as to provide the reference for the research of occupational health risk assessment methodology. **Methods** Seven small open pits were selected as the evaluation sites. The models from Singapore, the United Kingdom's Control of Substances Hazardous to Health Essentials (COSHH Essentials), Australia, Romania, and the International Council on Mining and Metals (ICMM) were applied to assessing the occupational health risk of the workers exposed to silica dust. The risk ratios (RRs) were calculated, and the parallelism, accuracy and correlation of the evaluation results of the five models were compared. **Results** The RRs of the Singaporean model, COSHH model,

**DOI:** 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2021.09.003

**基金项目:** 国家自然科学基金(81472961); 浙江省重点研发项目(215C03039); 浙江省基础公益研究计划项目(LGC21H260001); 浙江省卫生健康科技计划(2021KY616, 2021KY613, 2020KY517, 2018KY332); 2016年度浙江省卫生创新人才培养工程; 2018年度浙江省151人才工程; 浙江省疾病预防控制中心疾控英才孵育项目

**作者简介:** 徐秋凉, 硕士, 高级工程师, 主要从事职业卫生研究工作**通信作者:** 张美辨, E-mail: mbzhang@cdc.zj.cn

Romanian model, Australian model and ICMM model were 0.8, 1.0, 0.4, 0.6 and 0.8, respectively. The Singaporean model and the Australian model were able to distinguish transport drivers from sprinkler drivers in the health risk exposed to silica dust, which was consistent with the actual risk of the two posts. Except for COSHH model, the RRs of the other four models were positively correlated ( $P < 0.05$ ); the RRs were all positively correlated with concentration ratios (CRs) ( $P < 0.05$ ), and the correlation coefficient between RRs and CRs of the Singaporean model was the largest (0.801). **Conclusion** Among the five models, the Singaporean model can more accurately evaluate the hazard risk of silica dust in posts of open pits, and has a good correlation with the other models.

**Keywords:** stone quarry; silica dust; occupational health risk

硅肺是因长期吸入大量游离二氧化硅粉尘（硅尘）引起的以肺部广泛结节性纤维化为主的疾病，是尘肺中最常见、进展最快、危害最严重的一种类型，约占尘肺病总数的40%<sup>[1]</sup>。小型露天石料矿场职业卫生管理不当，作业场所硅尘危害严重，检测超标率在10%以上<sup>[2]</sup>，对其开展职业健康风险评估，以便企业和监管部门开展有针对性的源头治理，保障劳动者健康。目前职业健康风险评估模型有十几种，各有优势和局限性<sup>[3]</sup>，模型间的方法学差异可能导致对同一危害的评估结果不一致<sup>[4-9]</sup>。因此，有必要结合我国职业病危害重点行业的特点，对现有的职业健康风险评估模型开展方法学研究，为完善我国职业健康风险评估标准提供依据。本研究应用新加坡化学毒物职业暴露半定量风险评估方法（新加坡模型）<sup>[10]</sup>、英国健康危害物质控制策略简易法（Control of Substances Hazardous to Health Essentials, COSHH模型）<sup>[11]</sup>、澳大利职业健康与安全风险评估管理导则（澳大利亚模型）<sup>[12]</sup>，罗马尼亚职业事故和职业病风险评估方法（罗马尼亚模型）<sup>[13]</sup>以及国际采矿与金属委员会（International Council on Mining and Metals, ICMM）职业健康风险评估操作指南（ICMM模型）<sup>[14]</sup>5种常见的职业健康风险评估模型，对7家小型露天石料矿场接触硅尘岗位进行评估，并比较评估结果，为职业健康风险评估方法学研究提供参考。

## 1 对象与方法

**1.1 对象** 选择浙江省内7家小型露天石料矿场为评估现场，7家矿场均为小型私营企业，石料均为凝灰岩，石料矿生产工艺主要包括采矿、运输和破碎加工。（1）采矿：表皮剥离→穿爆设计（炮孔布置）→凿岩穿孔→爆破→铲运（挖掘、铲运），设置开采平台管理员、钻机驾驶员、挖掘机驾驶员和铲车驾驶员岗位，爆破作业外包。（2）运输：运输车将铲运的矿石运到破碎入口，设置汽车运输驾驶员岗位。（3）破碎加工：原矿→一破破碎→二破圆锥破碎→振动筛（建筑石料、石粉）→堆场。该区域基本为机械自动

化操作，设置破碎巡检人员和班长。为降低现场空气中粉尘浓度，设置洒水车司机岗位。

**1.2 现场职业卫生调查** 对接触硅尘的岗位开展现场职业卫生调查，内容包括工程概况、生产工艺、原料、辅料、副产品、职工人数、岗位设置情况和工作制度等企业基本情况，以及各岗位接触职业病危害因素、职业病防护设施设置与运行、个人职业病防护用品配备与使用、职业健康监护和职业卫生管理的落实情况等职业卫生情况。

**1.3 职业危害因素检测** 根据GBZ 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》<sup>[15]</sup>、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》<sup>[16]</sup>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》<sup>[17]</sup>测定作业场所空气中游离二氧化硅。根据GBZ 2.1—2019《工作场所所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素》<sup>[18]</sup>确定矿场粉尘为硅尘。

**1.4 风险评估** 新加坡模型、COSHH模型、ICMM模型、澳大利亚模型和罗马尼亚模型具有相似的评估框架，都是围绕风险损害后果及其发生概率进行评估<sup>[19]</sup>，主要包括危害识别、危害特征评估、暴露评估和风险特征描述4个要素。新加坡模型为半定量风险评估方法，其他4种模型为定性风险评估方法。5种模型的方法学原理和具体评估步骤参考文献[10-14]。（1）新加坡模型：根据危害等级（HR）和暴露等级（ER）进行计算风险水平，公式如下： $Risk = \sqrt{HR \times ER}$ 。（2）COSHH模型：综合考虑化学物质（固体或液体）的健康危害水平和暴露水平，通过风险评估给出控制等级。（3）罗马尼亚模型：评估工作场所风险因子对人体可能造成的最严重后果和发生概率，根据严重性-可能性等级组合结果，采用矩阵法评估风险等级。（4）澳大利亚模型：根据后果发生的可能性、暴露频率和后果严重程度，通过由几条连线组成的风险计算手动板确定风险水平。（5）ICMM模型：综合考虑可能发生的健康后果、接

触概率和接触时间等因素,通过赋值定量法或矩阵法确定风险水平。

1.5 5种模型评估结果的定量比较 COSHH模型的评估结果为控制方法分级,其他4种模型的评估结果均为风险水平分级。为便于比较,将COSHH模型的控制分级结果转换为新加坡模型的风险等级,COSHH模型评估得到控制等级分别为1、2、3、4级时,对应的风险等级分别为2、3、4、5级。此时5种模型均为风险水平分级,罗马尼亚模型的评估结果分为7级,其他4种模型分为5级。为使不同模型得出的风险水平之间具有可比性,进一步引入风险比值(risk ratio, RR)<sup>[20]</sup>,即某模型评估的某种职业病危害因素的风险水平等级与该模型的风险水平最高等级的比值。RR值表示应用某模型得出的职业病危害因素的相对风险水平,RR值>0.5判定风险水平为中等以上。

定量比较指标:(1)差异性。通过比较5种模型得到的RR值反映不同模型对同一职业病危害因素评估结果的差异性。(2)准确性。通过比较各模型评估不同岗位硅尘的RR值与实际风险水平的一致性,验证各模型评估结果的准确性。不同岗位职业病危害因素的实际风险水平判定取决于该危害因素的固有危害后果及其暴露概率或暴露浓度<sup>[11]</sup>,在固有危害后果相同的情况下,暴露概率或暴露浓度越高,健康风

险越大。浓度比值(concentration ratio, CR)为职业病危害因素的实测浓度与风险因子职业接触限值(occupational exposure limits, OEL)的比值<sup>[18]</sup>,代表职业病危害因素的相对暴露水平<sup>[21]</sup>。CR值>1表示接触某种职业病危害因素超过OEL。(3)相关性。对5种模型得出的RR值进行相关性分析,对5种模型评估的RR值与其对应的风险因子CR值进行相关性分析。

1.6 统计分析 采用SPSS 21.0软件统计分析。CR值和RR值不服从正态分布,采用中位数和四分位数间距[M(Q<sub>R</sub>)]描述;不同岗位CR值和RR值比较、不同模型RR值比较采用Mann-Whitney U检验;各种模型RR值和CR值的相关性分析采用Spearman秩相关分析。以P<0.05为差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 7家石料矿场硅尘检测浓度 通过卫生学调查确定7家小型露天石料矿场接触硅尘的重点岗位为开采平台管理员、钻机驾驶员、挖掘机驾驶员、铲车驾驶员、洒水车司机、汽车运输驾驶员和破碎组班长。除洒水车司机接触硅尘的CR值符合限值要求外,其他岗位均超过OEL。汽车运输驾驶员接触硅尘浓度最高,CR值的M(Q<sub>R</sub>)为1.857(1.928),高于洒水车司机(P<0.05)。见表1。

表1 7家小型露天石料矿场岗位硅尘浓度

岗位	工人 数	日接触 时间(h)	CR值							M(Q <sub>R</sub> )	Z值 <sup>a</sup>	P值 <sup>a</sup>
			矿场1	矿场2	矿场3	矿场4	矿场5	矿场6	矿场7			
洒水车司机	21	7	0.586	0.286	0.386	0.314	0.529	0.714	0.514	0.514 (0.272)		
开采平台管理员	21	7	2.186	0.714	0.914	0.986	0.929	0.786	1.114	0.929 (0.328)	-3.080	0.002
钻机驾驶员	56	7	1.286	1.586	0.514	0.600	0.986	1.071	1.286	1.071 (0.686)	-2.575	0.010
挖掘机驾驶员	28	7	1.286	0.900	0.714	0.614	0.786	1.000	1.286	0.900 (0.572)	-2.891	0.004
铲车驾驶员	14	7	1.000	0.971	1.114	1.214	0.929	1.071	0.929	1.000 (0.185)	-3.148	0.002
破碎组班长	14	7	3.714	1.600	0.614	0.429	0.714	1.214	0.971	0.971 (0.986)	-2.313	0.021
汽车运输驾驶员	28	7	2.386	0.914	0.386	0.429	2.143	1.857	2.357	1.857 (1.928)	-1.996	0.046

注:a表示其他岗位与洒水车司机的CR值比较。

2.2 5种模型评估结果的差异性 COSHH模型对7家小型露天石料矿场所有接触硅尘岗位评估的RR值为1.0,新加坡模型[M(Q<sub>R</sub>)]为0.8(0),ICMM模型为0.8(0),澳大利亚模型为0.6(0.2),罗马尼亚模型为0.4(0.2);5种模型RR值两两比较,差异均有统计学意义(P<0.05)。见表2。

表2 5种模型RR值两两比较Mann-Whitney U检验结果(Z值P值)

项目	RR <sub>COSHH</sub>	RR <sub>新加坡</sub>	RR <sub>ICMM</sub>	RR <sub>澳大利亚</sub>
RR <sub>COSHH</sub>				
RR <sub>新加坡</sub>	-8.295/<0.001			
RR <sub>ICMM</sub>	-3.132/0.002	-6.442/<0.001		
RR <sub>澳大利亚</sub>	-9.312/<0.001	-6.221/<0.001	-8.445/<0.001	
RR <sub>罗马尼亚</sub>	-9.286/<0.001	-8.805/<0.001	-8.991/<0.001	-6.640/<0.001

**2.3 5种模型评估结果的准确性** 根据结果2.1, 汽车运输驾驶员接触硅尘的实际风险高于洒水车司机。新加坡模型和澳大利亚模型均得出汽车运输驾驶员接触硅尘的RR值高于洒水车司机 ( $P < 0.05$ ), 与岗位实际风险相符; 其他模型未能区分两者风险差异。澳大利亚模型评估洒水车司机接触硅尘的RR值为常量。见表3。

表3 5种模型评估硅尘危害风险的RR值 [ $M(Q_e)$ ]

岗位	RR <sub>COSHH</sub>	RR <sub>新加坡</sub>	RR <sub>ICMM</sub>	RR <sub>澳大利亚</sub>	RR <sub>罗马尼亚</sub>
洒水车司机 ( $n=7$ )	1.0	0.8 (0.2)	0.6 (0.2)	0.6	0.4
汽车运输驾驶员 ( $n=7$ )	1.0	1.0 (0.2)	0.8 (0.4)	0.8 (0.2)	0.6 (0.2)
Z值	<0.001	-2.442	-1.875	-2.687	-2.280
P值	>0.999	0.015	0.061	0.007	0.073

**2.4 5种模型评估结果的相关性** RR<sub>COSHH</sub>为常量, 无法与其他模型相比较; 新加坡模型、ICMM模型、澳大利亚模型和罗马尼亚模型的RR值间均呈正相关 ( $P < 0.05$ )。新加坡模型、ICMM模型、澳大利亚模型和罗马尼亚模型的RR值与CR值均呈正相关 ( $P < 0.05$ ), 其中新加坡模型的RR值与CR值的关联强度较高,  $r_s$ 值为0.801。见表4。

表4 5种模型评估硅尘危害风险的相关性分析 ( $r_s$ 值/P值)

项目	RR <sub>新加坡</sub>	RR <sub>ICMM</sub>	RR <sub>澳大利亚</sub>	RR <sub>罗马尼亚</sub>
RR <sub>新加坡</sub>	1.000			
RR <sub>ICMM</sub>	0.665/<0.001	1.000		
RR <sub>澳大利亚</sub>	0.546/<0.001	0.440/0.002	1.000	
RR <sub>罗马尼亚</sub>	0.475/0.001	0.538/<0.001	0.728/<0.001	1.000
CR	0.801/<0.001	0.719/<0.001	0.668/<0.001	0.672/<0.001

### 3 讨论

本研究应用5种常见的职业健康风险评估模型对7家小型露天石料矿场作业场所硅尘危害进行风险评估, 比较RR值差异, 由大到小分别为COSHH模型、新加坡模型、ICMM模型、澳大利亚模型和罗马尼亚模型, 提示不同的职业健康风险评估模型评价同一风险因素的风险水平不一致, 与既往研究结论<sup>[21]</sup>一致。

研究结果显示, 汽车运输驾驶员接触硅尘实际风险高于洒水车司机, 仅新加坡模型能有效区分这2个岗位接触硅尘的风险水平差异。COSHH模型作为一种定性的职业健康风险评估模型, 主要基于粉尘的

固有危害水平、扬尘性及粗略使用评估风险水平, 而与空气中粉尘浓度没有直接关系, 无法评估石料矿场各岗位硅尘风险差异。其他3种定性职业健康风险评估模型未能区分各岗位硅尘风险水平的原因可能与定性方法学暴露评估能力较弱有关。澳大利亚模型、罗马尼亚模型和ICMM模型确定危险因素暴露水平受评估人员主观经验的影响较大, 而新加坡模型采用真实暴露浓度进行评估, 更加客观准确。

除COSHH模型外, 其他模型评估结果间均存在正相关关系。新加坡模型是半定量方法, 能够弥补定性方法的不足, 并与其他模型具有良好的相关性。另3种模型均为定性评估模型, 具有较好的相关性, 与既往研究结果<sup>[21]</sup>一致。

本研究引入RR值定量比较不同职业健康风险评估模型的差异, 其中新加坡模型相对更能识别石料矿场不同岗位的硅尘危害风险差异, 与粉尘暴露浓度的相关性最强, 评估准确性较好, 易得到较高风险水平。本研究可为职业健康风险评估方法学的研究提供参考, 为石料矿场硅尘职业健康风险评估提供实践指导。

### 参考文献

- [1] 郭堂春, 牛桥, 周志俊, 等. 职业卫生与职业医学 [M]. 北京: 人民卫生出版社, 2017: 186.
- [2] 牛东升, 王会宁, 郑响, 等. 小型露天采石场职业病危害调查与防治对策 [J]. 职业与健康, 2019, 35 (20): 2752-2755.
- [3] 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.
- [4] 张美辨, 唐仕川. 职业健康风险评估方法学实践应用 [M]. 北京: 人民军医出版社, 2016.
- [5] 谢红卫, 张美辨, 周莉芳, 等. 两种风险评估模型在印刷行业中的应用研究 [J]. 环境与职业医学, 2016, 33 (1): 29-33.
- [6] 周莉芳, 张美辨, 邹华, 等. 两种风险评估模型在多个行业职业健康风险评估的应用 [J]. 预防医学, 2017, 29 (12): 1217-1222.
- [7] XU Q, YU F, LI F, et al. Quantitative differences between common occupational health risk assessment models [J/OL]. J Occup Health, 2020, 62 (1) [2021-06-10]. <https://doi.org/10.1002/1348-9585.12164>.
- [8] 张鹏, 刘毅, 李辉, 等. 两种风险评估模型在转椅家具制造企业的应用比较 [J]. 预防医学, 2018, 30 (2): 158-162.
- [9] 邹亚玲, 陆利通, 汤小鹏, 等. 定性与半定量职业健康风险评估法在某胶黏剂生产企业的应用比较 [J]. 中国职业医学, 2018, 45 (6): 770-774, 778.
- [10] Ministry of Manpower Occupational Safety and Health Division. A semi-quantitative method to assess occupational exposure to harm-

(下转第 883 页)