方法研究
Methodology

胸片影像学改变应用于氧化铝粉尘作业职业健康风险评估结果的验证

顾明华，陈轶君，王忠诚，李延红，章敏华

上海市疾病预防控制中心公共服务与健康安全评价所，上海 200336

CC BY NC ND

DOI 10.11836/JEOM21361

摘要：

[背景] 粉尘作业职业健康风险评估是职业卫生工作的重要内容，但风险评估结果缺乏客观和有效的验证方法。

[目的] 探讨胸片影像学改变在氧化铝粉尘作业职业健康风险评估结果验证中的应用价值。

[方法] 选择某磨料磨具制造企业中氧化铝粉尘作业岗位的劳动者作为研究对象。应用澳大利亚职业健康与安全风险评估方法（澳大利亚模型）和新加坡有害化学物质职业接触半定量风险评估方法（新加坡模型）进行氧化铝粉尘作业职业健康风险评估，比较评估结果的一致性。计算研究对象的累积风险值和累积风险等级。对研究对象进行后前位高千伏胸片检查和诊断，比较不同岗位风险等级和不同累积风险等级研究对象铝尘阴影检出率的差异。

[结果] 澳大利亚模型和新加坡模型对该企业氧化铝粉尘作业岗位的风险评估得出的平均风险比值 RR 均为 0.49 ± 0.10，即该企业氧化铝粉尘作业岗位的职业健康风险总体处于中等水平。2 种模型评估结果具有明显的一致性（kappa 检验，$k = 0.823$，$P < 0.001$）。192 名作业工人胸片检出铝尘阴影 62 人（32.3%），无尘肺病病例。铝尘阴影形态以 s 影为主（30.7%）；密集度以“不到 0/1”为主（31.3%）；分布肺区数量以 2 个肺区为主（18.8%），分布肺区位置以右下肺最多（18.8%），两上肺均未见铝尘阴影。澳大利亚模型评估得出的重大风险岗位研究对象的铝尘阴影检出率（41.7%）高于中等风险岗位（22.9%）（$P < 0.01$）。新加坡模型得出的中等风险岗位研究对象的铝尘阴影检出率（42.7%）明显高于低风险岗位（23.3%）（$P < 0.01$）。2 种模型评估得出的累积风险等级均为 Ⅰ ~ Ⅲ级，研究对象铝尘阴影的检出率随着累积风险等级的增加，均呈现明显增高趋势（$P < 0.05$）。

[结论] 澳大利亚模型和新加坡模型的风险评估结果具有明显的一致性，可联合应用于粉尘作业的风险评估。胸片影像学改变应用于氧化铝粉尘作业职业健康风险评估结果的验证具有一定价值。

关键词：职业健康；风险评估；粉尘；影像学改变；验证

Application of chest imaging changes in result validation for occupational health risk assessment of alumina dust-exposed operations

GU Minghua, CHEN Yijun, WANG Zhongcheng, LI Yanhong, ZHANG Minhua (Division of Public Health Service and Safety Assessment, Shanghai Municipal Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200336, China)

Abstract:

[Background] Occupational health risk assessment of dust-exposed operations is an important part of occupational health work. However, there is a lack of objective and effective methods for validating the risk assessment results.

[Objective] To explore the application value of chest imaging changes in validating occupational health risk assessment results of dust-exposed operations.

[Methods] Alumina dust-exposed workers in an abrasive manufacturing company were selected as study subjects. The Australian Occupational Health and Safety Risk Assessment model (Australian model), and the Singapore semi-quantitative risk assessment model of occupational exposure to chemical substances (Singaporean model) were used to conduct occupational health risk assessment for the target group. Consistency of the assessment results was compared. The cumulative risk value and cumulative risk level of the subjects were calculated. The subjects were examined and diagnosed by chest radiographs, and the differences in the positive rates of

作者简介
顾明华（1976—），男，学士，副主任医师；
E-mail：guminghua@scdc.sh.cn

通信作者
章敏华，E-mail：zhangminhua@scdc.sh.cn
李延红，E-mail：liyanhong@scdc.sh.cn

伦理审批 已获取
利益冲突 无申报
收稿日期 2021-08-22
录用日期 2022-04-21

文章编号 2095-9982(2022)07-0809-06
中图分类号 R135
文献标志码 A

▸引用
顾明华，陈轶君，王忠诚，等. 胸片影像学改变应用于氧化铝粉尘作业职业健康风险评估结果的验证 [J]. 环境与职业医学，2022，39（7）：809-814.

▸本文链接
www.jeom.org/article/cn/10.11836/JEOM21361

Correspondence to
ZHANG Minhua, E-mail: zhangminhua@scdc.sh.cn
LI Yanhong, E-mail: liyanhong@scdc.sh.cn

Ethics approval Obtained
Competing interests None declared
Received 2021-08-22
Accepted 2022-04-21

▸ To cite
GU Minghua, CHEN Yijun, WANG Zhongcheng, et al. Application of chest imaging changes in result validation for occupational health risk assessment of alumina dust-exposed operations[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2022, 39(7): 809-814.

▸ Link to this article
www.jeom.org/article/en/10.11836/JEOM21361

aluminum dust shadows of workers at different job risk levels and different cumulative risk levels were compared.

[Results] The average risk ratios (RR) of selected alumina dust-exposed workers estimated by the Australian model and the Singapore model were both 0.49±0.10, indicating generally medium occupational health risk level. The evaluation results of the two models were obviously consistent (kappa test, k = 0.823, P < 0.001). Among the 192 subjects, 62 (32.3%) were found to have aluminum dust shadows on their chest radiographs, and there were no case of pneumoconiosis. The aluminum dust shadows were mainly classified by shape and size as "s" (30.7%); the profusion of small opacities was mainly "less than 0/1" (31.3%); they were mostly distributed in 2 pulmonary zones (18.8%), and mostly in the right lower lung (18.8%), and none was seen in the two upper lung zones. The positive rate of aluminum dust shadows in the high-risk workplaces (41.7%) assessed by the Australian model was significantly higher than that in the medium-risk workplaces (22.9%) (P < 0.01). The positive rate of aluminum dust shadows in the medium-risk workplaces (42.7%) assessed by the Singapore model was significantly higher than that in the low-risk workplaces (23.3%) (P < 0.01). The cumulative risk levels evaluated by the two models were all at Ⅰ - Ⅲ levels. With the increase of cumulative risk level by the two models, the positive rates of aluminum dust shadows in the subjects both showed an obvious increase trend (P < 0.05).

[Conclusion] The risk assessment results of the Australian model and the Singapore model are obviously consistent for the target group. They can be jointly applied to the risk assessment of dust-exposed operations. The application of chest imaging changes is of certain value to validate the results of occupational health risk assessment for dust-exposed operations.

Keywords: occupational health; risk assessment; dust; imaging change; verification

尘肺病目前仍是我国危害最严重和最常见的职业病[1]，粉尘作业职业健康风险评估是职业卫生工作的重要内容。国内学者应用各种职业健康风险评估模型对各类粉尘作业开展了风险评估。在职业健康风险评估后，采取有针对性的干预措施，能有效降低岗位风险水平，减少工伤和工作相关疾病的发生[2]。但实践发现，风险评估并不是越严格越好，如果所有岗位均被评估为高风险或极高风险，将无法区分出真正存在严重危害的岗位，不利于后期采取针对性的干预措施，也会造成有限资源的浪费。因此，需要对风险评估的结果进行验证，判断评估结果是否正确和合适。

既往研究尝试了不同方法对风险评估结果进行验证。王爱红等[3]在应用 2 种风险评估法对黑色金属铸造企业矽尘岗位开展风险评估中，使用企业历年职业健康监护和职业病发病情况对风险评估结果进行评价；徐秋凉等[4]应用 6 种风险评估模型对 7 家印刷企业的印刷和复合岗位开展风险评估中，通过分析不同评估方法区分岗位固有风险水平的准确性、平行性和相关性对评估结果进行验证。但是这些验证方法尚缺乏客观、统一的标准，不利于推广使用。

尘肺病是在职业活动中长期吸入生产性矿物性粉尘并在肺内潴留而引起的以肺组织弥漫性纤维化为主的疾病，在胸片上可出现特征性的影像学改变。因此，本研究尝试使用胸片影像学改变对澳大利亚职业健康与安全风险评估方法（简称澳大利亚模型）和新加坡有害化学物质职业接触半定量风险评估方法（简称新加坡模型）的评估结果进行验证，以探索胸片影像学改变应用于粉尘作业职业健康风险评估结果验证的价值，并为粉尘作业职业健康风险评估方法学的研究及应用提供依据。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选择某磨料磨具制造企业中氧化铝粉尘作业岗位的劳动者作为研究对象，纳入条件：2014—2018 年连续接触氧化铝粉尘，无肺结核、肺结节病等肺部既往病史。于 2018 年 6 月开展现场调查、风险评估和高千伏胸片检查。

1.2 方法

1.2.1 职业卫生现场调查 根据澳大利亚模型和新加坡模型的评估要素，对企业进行职业卫生现场调查，调查内容：企业基本情况、工艺流程、原料、职业卫生管理情况、各岗位职业病危害因素、每班暴露时间、操作方式、工程防护类型、个人防护类型、接害工龄等情况。

1.2.2 职业健康风险评估 （1）澳大利亚模型[5]。澳大利亚模型属于定性风险评估方法，评估步骤：①识别后果，即识别潜在危害最可能的结局；②估计暴露，即估计个体暴露于危害的频率；③估计概率，即估计一旦个体暴露于某危害后出现这些后果的可能性；④确定风险，即根据已确定的后果、暴露和概率等值，应用风险等级评估手工版或电子版计算器得出风险等级，分为 1~5 级，分别表示低（可接受）风险、中等风险、重大风险、高风险、非常高风险。（2）新加坡模型[5]。新加坡模型属于半定量风险评估方法，评估要素包括危害等级（hazard rank, HR）和暴露等级（exposure rank, ER）。

HR 是根据化学物的毒性进行危害分级，分为 1~5 级；ER 是根据暴露指数（exposure index, EI）进行分级，计算公式：$R_{ER} = (I_{EI_1} \cdot I_{EI_2} \cdots I_{EI_n})^{1/n}$，式中 n 为暴露因素的个数，每个暴露因素的 EI 均分为 1~5 级。风险等级（risk, R）的计算公式：$R = (R_{HR} \cdot R_{ER})^{1/2}$，$R$ 分为 1~5 级，分别表示可忽略风险、低风险、中等风险、高风险和极高风险，当 R 为非整数时，取其最接近的整数。

1.2.3 风险比值转换[6] 由于 2 种评估模型的结果描述不相同，为了便于比较分析，进行风险比值（risk ratio, RR）的转换。RR 的定义为：应用某种模型得出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总等级数之间的比值（取值范围 0~1）[7]，其可以代表应用某模型得出的职业病危害因素的相对风险水平，使应用不同模型得出的风险水平之间具有可比性。将 RR 取值范围平均分为 3 等分，0~0.33 为低等风险、0.34~0.66 为中等风险、0.67~1.0 为高等风险。

1.2.4 个体累积风险值和累积风险等级 职业健康风险是指在工作过程中发生工作相关事故或疾病的可能性[5]。部分职业病危害因素（如粉尘、铅、汞、锰等物质）在劳动者长期接触后，会在体内蓄积，对人体产生慢性健康损害，而且健康损害的严重程度与进入人体的累积剂量密切相关，即具有剂量-反应关系。既往研究显示，随着累积接尘量的增加，尘肺病患病率有逐渐增加的趋势[8]。因此，本研究参考累积接尘量的计算方法，将岗位风险比值 RR 与粉尘接触工龄 Y（取值范围 1~25 年）相乘，得出个体累积风险值（cumulative risk, CR），用以反映研究对象累积接触的职业健康风险水平。进一步划分研究对象个体累积风险等级：将 CR 取值范围平均分为 5 等分，0~5 为 Ⅰ 级风险、5.1~10 为 Ⅱ 级风险、10.1~15 为Ⅲ级风险、15.1~20 为Ⅳ级风险、20.1~25 为 Ⅴ 级风险。研究对象如果从事多个岗位，取工作时间最长岗位的 RR 值。

1.2.5 高千伏胸片检查和诊断 根据 GBZ188—2014《职业健康监护技术规范》相关技术要求，由同一个技术员使用 Digital Diagnosis VR 摄片机（Philips，德国）对研究对象开展后前位高千伏胸片检查。摄片条件：源像距 1.8 m，自动曝光控制，摄影电压 100~125 kV，曝光时间 < 100 ms。

由于研究对象均接触氧化铝粉尘，根据铝尘肺病的影像学特征[9]，将研究对象的胸片影像学改变定义为氧化铝粉尘阴影（简称铝尘阴影）。参考 GBZ 70—2015《职业性尘肺病的诊断》及标准片，由 3 位高年资尘肺病诊断医师对胸片进行集体诊断，记录铝尘阴影形态、密集度和分布肺区。每张胸片至少读片 2 次，2 次读片间隔 1 周，分别记录 2 次读片结果，如 2 次结果不一致，则进行第 3 次读片，以多数结果为准。

1.3 统计学分析

使用 Stata7.0 软件进行统计分析。计量资料经正态性检验服从正态分布者，以 $\bar{x} \pm s$ 描述；不服从正态分布者，以 $M(P_{25}, P_{75})$ 描述。计数资料率的比较采用 Pearson χ^2 检验。2 种模型风险评估结果的一致性进行简单 kappa 检验。检验水平 $\alpha = 0.05$（双侧）。

2 结果

2.1 基本情况

该企业为外商投资，共有 2 个车间 4 条生产线，职工共 330 人，其中接触职业病危害因素 220 人。企业具有较完善的职业卫生管理制度和保障体系。主要原料有刚玉磨料（Al_2O_3 含量 93%~96%，另含有少量 Fe_2O_3、SiO_2、TiO_2）、酚醛树脂、铝板；产品有砂轮、切割打磨片。工艺流程如下：配料→混料→成型→烧成/灌孔/固化→后加工→检验→包装。

纳入符合条件的研究对象 192 人，其中男性 159 人（82.8%），女性 33 人（17.2%），年龄（43.3 ± 6.9）岁（28~58 岁），氧化铝粉尘接触工龄（15.3 ± 6.0）年（4~25 年）。

2.2 现场调查和风险评估

该企业氧化铝粉尘作业岗位共 23 个，仅车间 A 生产线成型岗位的粉尘浓度超标（4.31 $mg \cdot m^{-3}$），超标率为 4.35%。现场采用机械+手工的作业方式，每周工作 5 d。工程防护措施为整体排风、局部吸风、真空除尘。个人防护用品有防尘口罩、耳塞、护目镜等，个人防护用品佩戴率为 100%。

岗位风险评估显示，澳大利亚模型评估结果，中等风险岗位 13 个（56.5%），重大风险岗位 10 个（43.5%），无低、高和非常高风险岗位；新加坡模型评估结果，低风险岗位 13 个（56.5%），中等风险岗位有 10 个（43.5%），无可忽略风险、高风险和极高风险岗位；2 种模型得出的平均风险比值 RR 均为 0.49 ± 0.10；说明该企业氧化铝粉尘岗位的职业健康风险总体处于中等水平。见表 1。经检验，2 种模型的评估结果具有明显的一致性（kappa 检验，$k = 0.823\,1$，$P < 0.001$）。

2.3 研究对象胸片铝尘阴影的检出情况

192 名研究对象中胸片检出铝尘阴影 62 人（32.3%），无尘肺病病例。铝尘阴影形态以 s 影为主（30.7%）；密集度以“不到 0/1”为主（31.3%）；分布肺区

数量以 2 个肺区为主(18.8%),分布肺区位置以右下肺最多(18.8%),两上肺均未见铝尘阴影。见表 2。

2.4 不同岗位风险等级研究对象的铝尘阴影检出率比较

澳大利亚模型的重大风险岗位研究对象的铝尘阴影检出率(41.7%)高于中等风险岗位(22.9%);新加坡模型的中等风险岗位研究对象的铝尘阴影检出率(42.7%)高于低风险岗位(23.3%)($P < 0.01$)。见表 3。

2.5 不同累积风险等级研究对象的铝尘阴影检出情况

计算 192 名研究对象的累积风险值,澳大利亚模型的 $M(P_{25}, P_{75})$ 为 7.2(5.2, 9.2),新加坡模型的 $M(P_{25}, P_{75})$ 为 7.2(5.2, 9.2)。对累积风险值进行分级显示,澳大利亚模型得出的累积风险等级 I 级 41 人(21.4%)、II 级 116 人(60.4%)、III 级 35 人(18.2%),无累积风险等级IV级和 V 级,研究对象铝尘阴影的检出率随着累积风险等级的增加,呈现明显增高趋势(趋势 $\chi^2 = 5.93$, $P < 0.05$);新加坡模型得出的累积风险等级 I 级 41 人(21.4%)、II 级 118 人(61.5%)、III 级 33 人(17.2%),无累积风险等级IV级和 V 级,研究对象铝尘阴影的检出率随着累积风险等级的增加,呈现明显增高趋势(趋势 $\chi^2 = 5.67$, $P < 0.05$)。见表 4。

表 1 某磨料磨具制造企业职业卫生现场调查和风险评估结果

Table 1 Results of occupational health field investigation and risk assessment in an abrasive manufacturing company

部门	岗位	操作方式	每班工作时间/h	工程防护	个体防护	氧化铝粉尘浓度C_{TWA}/(mg·m^{-3})*	澳大利亚模型						新加坡模型					
							暴露频率类别	后果结局类别	后果发生概率类别	风险描述	风险等级R	风险比值RR	暴露等级ER	危害等级HR	风险值Risk	风险描述	风险等级R	风险比值RR
一车间A生产线	配料	手工	1	整体通风	防尘口罩	2.90	经常	较小	十分可能	中等	2	0.4	2.99	2	2.45	低风险	2	0.4
	混料	机械+手工	3	局部除尘	防尘口罩、耳塞	2.00	连续	较小	十分可能	重大	3	0.6	3.31	2	2.57	中风险	3	0.6
	成型	机械+手工	6	局部除尘	防尘口罩、耳塞	4.31	连续	较小	十分可能	重大	3	0.6	3.72	2	2.73	中风险	3	0.6
	烧成	机械+手工	6	整体通风	防尘口罩	0.34	连续	较小	十分可能	重大	3	0.6	2.91	2	2.41	低风险	2	0.4
	灌孔	机械+手工	0.5	局部除尘	防尘口罩、耳塞	0.03	经常	较小	小但有可能	中等	2	0.4	1.86	2	1.93	低风险	2	0.4
	后加工	机械+手工	6	局部除尘	防尘口罩、耳塞	1.46	连续	较小	小但有可能	中等	2	0.4	2.63	2	2.29	低风险	2	0.4
	检验	机械+手工	6	整体通风	防尘口罩	0.36	连续	较小	小但有可能	中等	2	0.4	2.00	2	2.00	低风险	2	0.4
一车间B生产线	配料	手工	1	局部除尘	防尘口罩	1.17	经常	较小	十分可能	中等	2	0.4	2.99	2	2.45	低风险	2	0.4
	混料	机械+手工	4	局部除尘	防尘口罩、耳塞	2.46	连续	较小	十分可能	重大	3	0.6	3.66	2	2.71	中风险	3	0.6
	成型	机械+手工	2	局部除尘	防尘口罩、耳塞	0.76	经常	较小	十分可能	中等	2	0.4	3.46	2	2.63	中风险	3	0.6
	后加工	机械+手工	6	局部除尘	防尘口罩、耳塞	1.49	连续	较小	小但有可能	中等	2	0.4	2.63	2	2.29	低风险	2	0.4
	检验	机械+手工	6	整体通风	防尘口罩	0.31	连续	较小	小但有可能	中等	2	0.4	2.00	2	2.00	低风险	2	0.4
二车间C生产线	配料	手工	6	局部除尘	防尘口罩	0.34	连续	较小	十分可能	重大	3	0.6	4.23	2	2.91	中风险	3	0.6
	混料	机械+手工	6	局部除尘	防尘口罩、耳塞	0.76	连续	较小	十分可能	重大风险	3	0.6	3.94	2	2.81	中风险	3	0.6
	成型	机械+手工	6	局部除尘	防尘口罩、耳塞	0.54	连续	较小	十分可能	重大风险	3	0.6	3.72	2	2.73	中风险	3	0.6
	后加工	机械+手工	6	局部除尘	防尘口罩、耳塞	0.97	连续	较小	小但有可能	中等风险	2	0.4	2.63	2	2.29	低风险	2	0.4
	检验	机械+手工	6	整体通风	防尘口罩	0.47	连续	较小	小但有可能	中等风险	2	0.4	2.00	2	2.00	低风险	2	0.4
二车间D生产线	配料	手工	4	局部除尘	防尘口罩	1.13	连续	较小	十分可能	重大风险	3	0.6	3.94	2	2.81	中风险	3	0.6
	混料	机械+手工	6	局部除尘	防尘口罩、耳塞	1.34	连续	较小	十分可能	重大风险	3	0.6	3.94	2	2.81	中风险	3	0.6
	成型	机械+手工	6	整体通风	防尘口罩、耳塞	0.57	连续	较小	十分可能	重大风险	3	0.6	3.72	2	2.73	中风险	3	0.6
	固化	机械+手工	2	整体通风	防尘口罩、耳塞	0.18	经常	较小	十分可能	中等风险	2	0.4	2.71	2	2.33	低风险	2	0.4
	后加工	机械+手工	6	整体通风	防尘口罩、耳塞	1.08	连续	较小	小但有可能	中等风险	2	0.4	2.63	2	2.29	低风险	2	0.4
	检验	机械+手工	2	整体通风	防尘口罩	0.62	经常	较小	小但有可能	中等风险	2	0.4	1.68	2	1.83	低风险	2	0.4

[注]*: 氧化铝粉尘职业接触限值 PC-TWA: 4 mg·m^{-3}。

表 2 某磨料磨具制造企业研究对象的胸片铝尘阴影检出情况（n = 192）

Table 2 Detection of aluminum dust shadows on chest radiographs of subjects in an abrasive manufacturing company (n = 192)

观察内容	描述	检出数	检出率/%
铝尘阴影形态	p影	3	1.6
	s影	59	30.7
铝尘阴影密集度	不到0/1	60	31.3
	0/1	2	1.0
分布肺区数量	1个肺区	26	13.5
	2个肺区	36	18.8
分布肺区位置	左中肺	23	12.0
	右中肺	16	8.3
	左下肺	23	12.0
	右下肺	36	18.8

表 3 某磨料磨具制造企业不同岗位风险等级研究对象的铝尘阴影检出率比较

Table 3 Comparison of the positive rates of aluminum dust shadows of subjects at different job risk levels in an abrasive manufacturing company

方法	岗位风险等级	风险比值 RR	人数 (n=192)	铝尘阴影检出数(n=62)	铝尘阴影检出率/%	χ^2	P
澳大利亚模型	中等风险	0.4	96	22	22.9	7.72	**0.005**
	重大风险	0.6	96	40	41.7		
新加坡模型	低风险	0.4	103	24	23.3	8.21	**0.004**
	中等风险	0.6	89	38	42.7		

表 4 某磨料磨具制造企业不同累积风险等级研究对象的铝尘阴影检出率比较

Table 4 Comparison of the positive rates of aluminum dust shadows of subjects at different cumulative risk levels in an abrasive manufacturing company

方法	个体累积风险等级	人数 (n=192)	铝尘阴影检出数(n=62)	铝尘阴影检出率/%	趋势 χ^2	P
澳大利亚模型	I	41	10	24.4	5.93	**0.015**
	II	116	34	29.3		
	III	35	18	51.4		
新加坡模型	I	41	10	24.4	5.67	**0.017**
	II	118	35	29.7		
	III	33	17	51.5		

3 讨论

磨料磨具制造行业是粉尘危害严重的行业之一。磨料磨具的主要原料是刚玉粉末（Al_2O_3 含量 > 75%），刚玉所致铝尘肺呈现累计发病率高、病例晚发、工种聚集、肺纤维化持续进展等特点[10]。本研究在应用澳大利亚模型和新加坡模型对某磨料磨具制造企业中氧化铝粉尘作业岗位开展职业健康风险评估的基础上，探索性地将胸片影像学改变这一特征性的健康效应指标应用于风险评估结果的验证，并分析其应用价值，为评价粉尘作业职业健康风险评估方法提供了一种方法。

澳大利亚模型和新加坡模型分别是定性和半定量的风险评估方法，被广泛应用于化学危害因素和粉尘的风险评估，其适用性和可靠性已得到众多实践证实[4, 6]。同时，这 2 种模型的评估要素并不一致，具有一定的互补性，澳大利亚模型侧重于粉尘危害后果的严重程度和发生概率，新加坡模型侧重于粉尘的固有毒性和暴露强度。本研究结果显示，这 2 种模型的评估结果具有明显的一致性，因此可联合应用于粉尘岗位的风险评估。

尘肺病是在职业活动中长期吸入生产性矿物性粉尘并在肺内潴留而引起的以肺组织弥漫性纤维化为主的疾病。肺部纤维化在 X 线胸片上可出现特征性的改变。本研究发现，研究对象长期接触氧化铝粉尘后，胸片出现的铝尘阴影主要以密集度“不到 0/1”的 s 影为主，弥散分布在双侧中下肺区，符合铝尘肺早期胸片表现[9]。岗位风险等级较高的研究对象的铝尘阴影检出率明显高于岗位风险等级较低的研究对象；随着累积风险等级的增加，研究对象的铝尘阴影检出率呈现明显增高趋势。这说明胸片影像学改变应用于粉尘作业职业健康风险评估结果的验证具有一定价值。

尘肺病诊断的影像学基础是小阴影，现行尘肺病诊断标准中小阴影密集度分为 4 大级（0~3 级）、12 小级，除石棉肺以外，尘肺壹期的诊断起点是“总体密集度 1 级的小阴影，分布范围至少达到 2 个肺区”。密集度从 0 级到 1 级有相当长的过程，而职业健康监护的目的之一是早期发现职业相关的健康损害；因此，有必要“向前一步”在粉尘作业人群胸片诊断中对尘肺小阴影早期改变进行影像学分级评价，以期及早发现尘肺病风险和评估风险大小，为及早干预提供依据。陈达民等[11]对某制造企业 194 名电焊工胸片诊断中，应用和验证了基于尘肺小阴影早期改变的影像学分级评价标准，并指导企业对不同胸片等级的劳动者采取针对性的干预措施，预防尘肺病的发生。在本研究中，虽然未发现铝尘肺病例，但研究对象中胸片检出铝尘阴影的有 32.3%，可以对这些重点人群开展针对性干预措施，如调整工作岗位、缩短工作时间、加强个人防护等，以降低未来发生尘肺病的风险。

胸片诊断是客观指标、主观判断；粉尘作业人员胸片影像学改变具有明显特征性，但特异性不高，本研究的铝尘阴影属于尘肺早期影像学改变。因此，在

进行胸片评判时，对胸片质量和诊断医师的读片经验提出了较高要求。

本研究尚存在以下不足：①对从事多个岗位的研究对象，其岗位风险等级选择工作时间最长的岗位，可能对验证结果造成不确定性；②仅选择一家磨料磨具制造企业的劳动者作为研究对象，样本量较少；③氧化铝粉尘导致的胸片影像学改变与矽肺、煤工尘肺、石棉肺等高发尘肺病具有明显差别，其代表性受到一定限制。在今后的研究中应使用胸片影像学改变对不同评估模型、不同类型粉尘的评估结果开展验证，以检验其科学性和适用性，为建立和完善我国粉尘作业职业健康风险评估方法积累更多经验。

本次研究发现，澳大利亚模型和新加坡模型的风险评估结果具有明显的一致性，可联合应用于粉尘作业的风险评估。胸片影像学改变应用于氧化铝粉尘作业职业健康风险评估结果的验证具有一定价值。

参考文献

[1] 中华预防医学会劳动卫生与职业病分会职业性肺部疾病学组. 尘肺病治疗中国专家共识(2018年版)[J]. 环境与职业医学, 2018, 35(8): 677-689.
Occupational Lung Disease Group of Labor Hygiene and Occupational Diseases Branch of Chinese Preventive Medicine Association. Consensus of Chinese experts on pneumoconiosis treatment (2018)[J]. J Environ Occup Med, 2018, 35(8): 677-689.

[2] ROUT B K, SIKDAR B K. Hazard identification, risk assessment, and control measures as an effective tool of occupational health assessment of hazardous process in an iron ore pelletizing industry[J]. Indian J Occup Environ Med, 2017, 21(2): 56-76.

[3] 王爱红, 冷朋波, 李晓海, 等. 两种风险评估法在某黑色金属铸造企业职业健康风险评估中的应用[J]. 环境与职业医学, 2017, 34(10): 909-913.
WANG A H, LENG P B, LI X H, et al. Application of two risk assessment methods to occupational health risk assessment in a ferrous metal foundry[J]. J Environ Occup Med, 2017, 34(10): 909-913.

[4] 徐秋凉, 张美辨, 邹华, 等. 六种常用职业健康风险评估模型在小型印刷企业中的定量比较[J]. 环境与职业医学, 2020, 37(2): 131-137.
XU Q L, ZHANG M B, ZOU H, et al. Quantitative comparison of six common occupational health risk assessment models for small printing companies[J]. J Environ Occup Med, 2020, 37(2): 131-137.

[5] 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: 1-5, 176-204.
DING G Q, ZHANG M B. Guowai zhiye jiankang fengxian pinggu zhinan[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2014: 1-5, 176-204.

[6] 顾明华, 徐晓雯, 章敏华, 等. 应用3种职业健康风险评估模型评估氧化铝粉尘岗位的健康风险[J]. 环境与职业医学, 2021, 38(1): 64-69.
GU M H, XU X W, ZHANG M H, et al. A comparative study on application of three methods of occupational health risk assessment for alumina dust exposure workstations[J]. J Environ Occup Med, 2021, 38(1): 64-69.

[7] TIAN F, ZHANG M B, ZHOU L F, et al. Qualitative and quantitative differences between common occupational health risk assessment models in typical industries[J]. J Occup Health, 2018, 60(5): 337-347.

[8] 华正兵, 孙志谦, 秦天榜, 等. 河北某煤矿工人累积接尘量与尘肺发病危险性的剂量-反应关系[J]. 环境与职业医学, 2015, 32(1): 1-6.
HUA Z B, SUN Z Q, QIN T B, et al. Dose-response relationship between cumulative dust exposure and pneumoconiosis risk among workers exposed to dust in a coal mine in Hebei province[J]. J Environ Occup Med, 2015, 32(1): 1-6.

[9] 李德鸿, 赵金垣, 李涛. 中华职业医学[M]. 2版. 北京: 人民卫生出版社, 2019: 271-277.
LI D H, ZHAO J H, LI T. Chinese occupational medicine[M]. 2 nd ed. Beijing: People's Medical Publishing House, 2019: 271-277.

[10] 叶开友, 陆辰汝, 刘晓晓, 等. 黑刚玉粉尘所致铝尘肺发病的流行病学调查[J]. 环境与职业医学, 2019, 36(8): 750-754.
YE K Y, LU C R, LIU X X, et al. Epidemiologic investigation of aluminosis caused by black fused alumina dust[J]. J Environ Occup Med, 2019, 36(8): 750-754.

[11] 陈达民, 章敏华, 虞慧婷, 等. 电焊工高千伏胸片影像学分级评价[J]. 中国职业医学, 2011, 38(6): 471-474.
CHEN D M, ZHANG M H, YU H T, et al. Grading evaluation of arc-welders HKV chest imaging[J]. China Occup Med, 2011, 38(6): 471-474.

(英文编辑：汪源；责任编辑：丁瑾瑜)

(上接第 803 页)

[9] RICHARD A J, STEPHENS J M. The role of JAK-STAT signaling in adipose tissue function[J]. Biochim Biophys Acta, 2014, 1842(3): 431-439.

[10] SUGII S, EVANS R M. Epigenetic codes of PPARγ in metabolic disease[J]. FEBS Lett, 2011, 585(13): 2121-2128.

[11] CHEN T, ZHANG Y, LIU Y, et al. MiR-27 a promotes insulin resistance and mediates glucose metabolism by targeting PPAR-γ-mediated PI3K/AKT signaling[J]. Aging (Albany NY), 2019, 11(18): 7510-7524.

[12] XU Q, QI W, ZHANG Y, et al. DNA methylation of JAK3/STAT5/PPARγ regulated the changes of lipid levels induced by di (2-ethylhexyl) phthalate and high-fat diet in adolescent rats[J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2020, 27(24): 30232-30242.

[13] DESRIVIÈRES S, KUNZ C, BARASH I, et al. The biological functions of the versatile transcription factors STAT3 and STAT5 and new strategies for their targeted inhibition[J]. J Mammary Gland Biol Neoplasia, 2006, 11(1): 75-87.

[14] DODINGTON D W, DESAI H R, WOO M. JAK/STAT-emerging players in metabolism[J]. Trends Endocrinol Metab, 2018, 29(1): 55-65.

[15] BURRELL J A, BOUDREAU A, STEPHENS J M. Latest advances in STAT signaling and function in adipocytes[J]. Clin Sci (Lond), 2020, 134(6): 629-639.

[16] ZHANG Y Z, ZHANG Z M, ZHOU L T, et al. Di (2-ethylhexyl) phthalate disorders lipid metabolism via TYK2/STAT1 and autophagy in rats[J]. Biomed Environ Sci, 2019, 32(6): 406-418.

[17] JIA Y, LIU T, ZHOU L, et al. Effects of Di-(2-ethylhexyl) phthalate on lipid metabolism by the JAK/STAT pathway in rats[J]. Int J Environ Res Public Health, 2016, 13(11): 1085.

[18] 李丽萍, 黄凌燕, 张亚娟, 等. DEHP低剂量慢性暴露对雌性大鼠糖代谢的影响[J]. 环境与职业医学, 2017, 34(8): 669-675.
LI L P, HUANG L Y, ZHANG Y J, et al. Effects of chronic exposure to low-dose DEHP on glucose metabolism in female rats[J]. J Environ Occup Med, 2017, 34(8): 669-675.

(英文编辑：汪源；责任编辑：王晓宇)