

职业健康风险评估方法联合应用研究进展

Research advances in combined application of occupational health risk assessment methods

刘磊, 李鹏飞

LIU Lei, LI Pengfei

六安市疾病预防控制中心, 安徽 六安 237005

摘要:近年来,职业健康风险评估方法的联合应用备受重视。首先介绍了风险评估法联合应用的验证方式,其次分析了联合风险评估法在不同职业病危害因素中的应用现状和作用,接着阐述了风险评估法平行应用的互补、拼接和评价 3 种方式,最后探讨了职业健康风险评估方法与其他方法联合应用的可能性。未来研究将朝着多学科交叉融合、基于大数据和人工智能的方向发展,应用场景将不断优化和扩展,但风险评估方法的准确性和可靠性等问题仍需进一步解决。

关键词:职业健康;风险评估;联合应用;跨学科

中图分类号: R134;R136

文献标志码: A

文章编号: 1007-1326(2024)04-0551-06

引用:刘磊,李鹏飞. 职业健康风险评估方法联合应用研究进展[J]. 职业卫生与应急救援, 2024, 42(4): 551-556.

职业健康风险评估是一个系统的过程,通常采用定性、定量和半定量风险评估方法^[1],预测职业危害发生的可能性和程度,并采取相应的措施,使职业健康风险最小化^[2]。近年来,我国学者积极借鉴和改进国外的职业健康风险评估方法,及时总结职业健康风险评估经验,对保护劳动者的职业健康和提高工作环境的安全性起到了积极的指导作用^[3]。事实上,由于不同方法构建的原理不同、评价对象的特征不同,仅采用单一方法很可能难以满足风险评估的需求^[4]。研究人员越来越多地倾向于联合应用多种职业健康风险评估方法,以达到全面收集准确的风险数据,从而更好地识别和评估工作环境中潜在风险的目的。本研究对职业健康风险评估方法联合应用的研究进展做一综述,探讨不同方法联合应用的实际案例及优势,以期为实现更全面、精准的职业健康风险管理提供科学参考。

1 职业健康风险评估常用方法

目前,已发布的职业健康风险评估指南或规范主要分为定量、定性和半定量风险评估 3 类。定量风险评估方法主要有:美国环境保护局(Environmental Protection Agency, EPA)吸入风险评估模型(简称美国 EPA 吸入模型,包括致癌风险评估、非致癌风险

评估)^[5]、蒙特卡罗模拟法^[6]、GBZ/T 229—2010《工作场所职业病危害作业分级》^[7]、化学因素职业病危害风险评估指标体系(简称化学因素指标体系)^[8-9]、WS/T 754—2016《噪声职业病危害风险管理指南》(简称噪声风险管理指南)^[10]等。定性风险评估方法主要有罗马尼亚职业事故和职业病风险评估方法(简称罗马尼亚模型)^[11]、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)^[12]、国际采矿和金属委员会(International Council on Mining and Metals, ICMM)的职业健康风险评估操作指南(简称 ICMM 模型,包括定量法、矩阵法)^[13]、英国健康必需品有害物质控制方法(Control of Substances Hazardous to Health Regulations,简称 COSHH 模型)^[14-15]、风险矩阵法^[16]、风险程度分析法(简称 MES 法)^[17]、国际化学品控制工具箱职业健康风险评估方法(International Chemical Control Toolkit,简称 ICCT 模型)^[18]。半定量风险评估方法主要有: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,包括接触比值法、接触指数法)^[19]、职业危害风险评估指数法^[20]、职业病危害因素风险评估方程式 $R = \text{MLSN}$ ^[21]等。还有一些是工具包性质的综合性方法,其囊括了多种相互独立又彼此关联的方法,具有定量、定性、半定量的风险评估功能,如 GBZ/T 298—2017《工作场所化学有害因素职业健康

作者简介:刘磊(1985—),男,大学本科,副主任医师

风险评估技术导则》(简称风险评估技术导则),包括定性风险评估模型;半定量风险评估模型,即接触比值评估法、指数法、综合指数法;定量风险评估模型,即非致癌风险评估、致癌风险评估^[22]。面对多样化的工作场所与风险类型,单一评估方法的局限性日益显现,推动多种方法联合应用成为必然趋势。

2 职业健康风险评估方法联合应用

2.1 风险评估法联合应用:验证

多种职业健康风险评估方法的叠加联合应用,理论上可以增强评估的全面性,通过多角度验证评估结果的可靠性,可以为职业健康风险评估效果提供更清晰的视角。验证的具体路径包括评估方法之间的相互验证、借助工作场所检测数据的验证、借助职业健康检查结果的验证和借助统计学指标的验证。

(1) 评估方法之间的相互验证:在对同一个评价对象开展职业健康风险评估时,使用 2 种及以上的方法进行独立评估,再将评估结果进行叠加,利用方法间的相互验证评估结果的一致性,可获得较全面、准确的评估结果^[23]。如李燕峰等^[24]采用职业危害风险评估指数法和新加坡模型接触指数法,对硬质合金生产企业工作场所中粉尘职业病危害进行验证分析,结果显示 2 种风险评估法针对硬质合金生产企业粉尘暴露的 8 个作业岗位的职业健康风险评估结果一致。

(2) 借助工作场所检测数据的验证:通常当风险评估法的结果为高风险时,工作场所职业病危害因素的浓度或强度超出职业接触限值的可能性较高,故借助工作场所检测数据可进一步验证风险评估方法的准确性。如石婷等^[25]分别应用作业分级法、风险评估技术导则综合指数法、ICMM 模型定量法、职业危害风险评估指数法,对砖瓦制造业粉尘职业健康危害风险进行评估,发现风险等级较高的岗位与工作场所检测中粉尘浓度超标的岗位一致,进一步验证了上述方法的准确性和适用性。

(3) 借助职业健康检查结果的验证:职业健康检查可动态监测劳动者健康状况,分析职业相关因素与劳动者健康状况之间的关联。这种监测有助于验证风险评估方法的预测能力,特别是在评估长期健康影响时。例如,黎乾等^[26]采用风险评估技术导则综合指数法、定量风险评估模型(非致癌风险评估、致癌风险评估),评估某反光膜生产企业的职业健康风险等级,发现风险评估技术导则综合指数法

评估结果与职业健康检查的结果一致,评估结果更为客观。为探索更适合日光灯制造工人接触汞的职业健康风险评估方法,Ruan X Y 等^[27]筛选了美国 EPA 吸入模型、澳大利亚模型、罗马尼亚模型、新加坡模型、ICMM 模型和 COSHH 模型,研究发现新加坡模型评估的超出安全水平的风险与工人职业健康检查项目中的尿汞水平显著相关,该模型更适合该行业的职业健康风险评估。

(4) 借助统计学指标的验证:通过建立风险评估模型定量比较研究的理论框架,即可比性转换,引入风险比值(ratio of risk,RR)的概念^[28],选择合适的统计学方法,实现对多种评估模型评估结果准确性、平行性和相关性的分析与验证。如顾明华等^[29]在应用 COSHH 模型、澳大利亚模型和新加坡模型(接触比值法、接触指数法)评估氧化铝粉尘岗位的健康风险时发现 3 种方法的 RR 之间具有明显的相关性($r > 0.7$)。Zhu J 等^[30]针对封闭车间中使用正己烷的岗位开展职业健康风险评估,通过 Cohen's Kappa 分析发现,新加坡模型接触指数法与风险评估技术导则指数法、综合指数法之间有很好的 consistency。以上研究表明,借助统计学指标对多种评估模型的使用进行验证,可获得较全面、准确的评估结果。

2.2 风险评估法联合应用:差异

采用不同的风险评估模型对同一个评价对象进行职业健康风险评估时,得出的结果可能不完全一致,这很大程度上取决于各种方法之间的差异。因此,采用 2 种及以上的风险评估法对同一个评价对象进行评估,比较其评估结果的差异,可为不同危害因素、行业类别的企业选择职业健康风险评估方法提供参考依据。

(1) 粉尘类:赵雪等^[31]研究发现,ICMM 模型(矩阵法、定量法)、MES 法、风险评估技术导则(定性风险评估模型、综合指数法)均可用于电焊烟尘作业岗位的职业健康风险评估,在评估作业时间长、接触浓度高的岗位时,由于电焊烟尘具有致癌性,危害分级较高,在综合考虑工程防护、管理措施等因素后,其检测结果对风险评估结果的影响变小,风险评估技术导则综合指数法不能判断出更高的风险,具有局限性。王辉等^[32]对比了风险评估技术导则 4 种方法对矽尘和铅尘作业岗位职业健康风险的评估结果,其中指数法和综合指数法的评估结果一致性较好。综合指数法综合考虑了工程防护、职业卫生管理等多种因素影响,能够弱化工作场所中职业病危害因素浓度的影响,其优点在于评

估结果更加全面均衡,但也存在不够灵敏等缺陷,导致评估结果趋于平均化。定性风险评估模型仅仅考虑化学性有害因素(诸如毒性和使用量、挥发性和扬尘性等固有性质),忽略工艺特点、工程防护水平、职业卫生管理水平等,往往高估有害因素的职业健康风险等级。由于现有的定性和定量风险评估方法在评估纳米材料相关行业的职业健康风险时,均存在一定的局限性,Schmidt J R A 等^[33]构建的贝叶斯网络,作为不确定性决策的概率工具,在评估纳米材料工作环境的风险时,能够有效模拟风险并提出降低措施,展现出其相对于传统方法的明显优势。

(2) 化学毒物类:周志洋等^[34]研究发现,风险评估技术导则定性模型、澳大利亚模型和化学因素指标体系在接触苯系物、正己烷、环己烷等岗位的职业健康风险评估结果的一致性上表现较好(Kappa 值分别为 0.69、0.61、0.62),且综合指数法、非致癌风险评估、化学因素指标体系和罗马尼亚模型在预测不良后果方面显示出了较强的能力。钟加鹏等^[35]比较了化学物作业分级法和美国 EPA 吸入模型(非致癌风险评估、致癌风险评估)2 种方法的优缺点,前者依赖现场检测数据,考虑了危害程度和体力劳动强度,科学性较高;后者在筛选重点关注岗位时具有明显优势,但对无流行病学数据的危害因素缺乏评估能力,且致癌风险等级未细分。唐颖等^[36]研究显示,与美国 EPA 吸入模型相比,蒙特卡罗模拟法通过减少不确定性,能全面展示石化企业劳动者接触苯的风险概率分布。汪凤娇等^[37]研究了新加坡模型(接触指数法)、ICMM 模型(定量法、矩阵法)、ICCT 模型在化工企业化验室职业健康风险评估中的适用性,4 种方法各有适用场景,其中新加坡模型(接触指数法)和 ICMM 模型定量法较为优先,而 ICCT 模型和 ICMM 模型矩阵法因其操作简单,特别适合中小型企业化验室进行快速风险评估。

(3) 物理因素类:谭强^[38]发现噪声作业分级法操作简便,适用于实践,而噪声风险管理指南在评估早期高频听阈损失风险方面更为可靠。皮伟等^[39]研究指出,当作业噪声超过 90 dB(A)时,噪声风险管理指南的风险评估值更高;而在 85 dB(A)以下时,其与职业危害风险评估指数法的评估结果一致。职业危害风险评估指数法考虑因素全面,而噪声风险管理指南则能定量预测高频听损风险。巩泉泉等^[40]研究发现,在 110 kV 以上的变电装置中,澳大利亚模型和罗马尼亚模型均评估为低风险或中

等风险,而 ICMM 模型定量法的风险等级高于矩阵法。对于 110 kV 及以下的变电装置,3 种方法的评估结果一致。

(4) 多种因素混合:在现代工业中,同一岗位往往多种职业病危害因素共存,在评估多种因素混合危害时,必须综合运用不同的方法,考虑它们之间的相互作用及其对健康的总体影响。以某碳纤维生产企业为例,需要识别和管理包括粉尘、噪声、化学毒物(丙烯腈、多种氧化物和氮化物)等职业病危害因素。姬婧云等^[41]研究认为,职业危害风险评估指数法在评估混合暴露时,其结果与职业健康检查结果相符,且相较于 ICMM 模型,提供了更全面、合理和可靠的评估。Xu Q 等^[42]研究发现,美国 EPA 吸入模型和新加坡模型在区分行业或风险因素的内在风险方面表现出较好的可靠性。Coşkun Beyan A 等^[43]研究发现,对医院环境中的化学品风险估算的职业接触量与实际测量值有显著差异,劳动者对化学物暴露的感知与实际检测结果之间没有发现相关性,提示在医院环境中,传统的定性和定量评估方法可能需要进一步的改进和校准,以便更准确地反映实际的职业暴露风险。

综上所述,不同风险评估方法在特定情况下各有其优势和局限性。在实际工作中,通过比较不同的职业健康风险评估方法用于评估不同职业病危害因素、不同行业时的优缺点,可以帮助评估人员选择最适合的评估方法。而如何根据具体情况综合考虑评估方法的使用,实现对风险的精确控制和管理,依旧是职业健康领域的重大挑战。

2.3 风险评估法平行应用

联合应用多种职业健康风险评估方法的目的,不仅是挑选某一种方法用于特定行业中,而且是希望将这些方法相互结合,以实现更全面和精确的风险评估。这种平行应用不仅能够评估单一的职业病危害因素,还能够对多种混合因素进行综合评估,其具体方法及作用可分为互补、拼接和评价。

(1) 互补:将多种职业健康风险评估方法的结果进行相互补充,能够起到相互完善的作用。ICMM 模型具有定量法和矩阵法 2 种评估方法,可以评估多种职业病危害因素,适用范围较广,二者的评估结果各有优势。卢建国等^[44]利用 ICMM 模型定量法和矩阵法评估某蓄电池企业职业健康风险,前者评估风险危害等级比后者高。这提示在应用 ICMM 模型时,优先使用矩阵法,同时参考定量法的评估结果,使评估结果与实际情况更相符。彭志恒等^[45]研究发现,在对制鞋企业重点岗位进行职业健康风险

评估时,美国 EPA 吸入模型因受参数接触浓度值影响,容易“高估”评估结果;化学物作业分级法和 ICMM 模型侧重危害暴露水平,容易“低估”评估结果,均不适用于存在高毒化学物危害因素的制鞋行业。相比之下,风险评估技术导则综合指数法考虑的因素全面,因此,建议以风险评估技术导则综合指数法为主、MES 法和澳大利亚模型为辅,综合考虑企业的性质、职业人群特征等因素,采用多种评估方法互补的方式,对制鞋行业进行职业健康风险评估。

(2) 拼接:将同一个评价对象的职业病危害风险,分段采用不同的评估方法进行评估,再将评估结果进行接合,从而进行综合评价。金蕾等^[46]对某燃煤发电企业存在的职业危害风险因素与职业卫生管理因素进行综合评估,首先利用职业危害风险评估指数法进行半定量风险评估,再对职业卫生管理评价因素进行半定量评分及计算,基于矩阵原理将工作场所存在的职业病危害风险等级和职业卫生管理风险等级进行拼接,综合评估结果与现场检测结果、职业健康检查结果相一致。张焜等^[47]拼接使用美国 EPA 吸入模型、新加坡模型以及职业危害风险评估指数法,实现了综合判断企业职业危害风险水平的目的。该研究表明风险评估法接合应用,不仅是多种职业健康风险评估方法的接合,也是工作场所中存在的固有风险因素和企业职业卫生管理过程中的抵消风险因素评估结果的接合,为企业职业病危害现状评价提供了评价工具。王博等^[48]将模糊数学法与贝叶斯网络相耦合,建立了煤气化行业职业健康风险计算模型,从整体到局部的分析思路弥补了单一评价多于整体评价的不足,提高了评价的科学性,同时兼具较强的适用性。

(3) 评价:优化职业健康风险评估常用方法使其更适用于实践工作,一直是诸多学者不断探索的热点内容,其中优化后的评估模型评估结果的科学性评价也是探讨的重点。为使 ICMM 模型更加适用于国内煤矿企业实际粉尘危害程度的评价,王东华^[49]将原 ICMM 模型进行改进,再对煤矿企业典型产生岗位进行危害程度评估,其评估结果与工作场所实测粉尘检测结果、粉尘作业分级法和职业危害风险评估指数法的评估结果基本一致。改进型 ICMM 模型方便快捷,可操作性强,能避免人为因素干扰,评价结果科学合理。侯刚等^[50]研究发现,粉尘作业分级法(改良版)、新加坡模型接触指数法、ICMM 模型、职业危害风险评估指数法在评估贵金属矿采选粉尘的职业危害时,粉尘危害风险等级较高的岗位

均与粉尘浓度超标的岗位一致,且粉尘作业分级法(改良版)与 ICMM 定量法的可信度与稳定性较好,进一步肯定评价了前者的优化效果。

3 职业健康风险评估方法与其他方法联合应用

在实际工作中,仅用职业健康风险评估方法可能不能满足评估需求。金旭等^[51]尝试结合德尔菲法建立指标体系,用层次分析法确定权重,再通过风险矩阵法综合评估,成功定量评价潜航员的职业健康风险,显示了跨领域方法结合的有效性。Khoshakhlagh A H 等^[52]在对地毯制造行业醋酸乙烯酯的吸入性健康风险评估中,成功地结合了横断面流行病学研究、美国 EPA 吸入模型和蒙特卡罗模拟法,取得了积极结果。Lima K 等^[53]在职业安全健康领域,利用 MIAR (the method for the integrated assessment of risk) 框架结合德尔菲法并改进参数,开发了 MIAR^{forest} 新方法,有效简化了雨林管理员热带雨林风险的综合评估。刘磊等^[54]联合应用风险评估法结合文献类比法,预测垃圾焚烧发电项目的职业病危害因素及接触水平,计算风险值,综合评估项目风险,为建设项目职业病危害预评价方法提供了新的视角。

4 小结与展望

职业健康风险评估正向多学科融合、大数据和人工智能应用方向发展,不断推动国际创新与交流。评估方法需要提高准确性和兼容性,降低成本,建立统一标准以增强结果的可比性。职业健康风险评估方法的联合应用将优化职业病的预防控制、提供决策支持、提升工作环境和员工健康。

作者声明 本文无实际或潜在的利益冲突

参考文献

- [1] 张美辨,徐秋凉. 全面推进职业健康风险评估工作,助力我国职业健康保护行动[J]. 环境与职业医学,2020,37(2):121-124.
- [2] SU S,LIANG Z,ZHANG S,et al. Application of multiple occupational health risk assessment models in occupation health risk prediction of trichloroethylene in the electroplating and electronics industries[J]. Int J Occup Saf Ergon,2022:1-7.
- [3] 刘美霞,贾晓东. 加强职业危害评估 助力职业健康建设[J]. 上海预防医学,2020,32(11):885-887.
- [4] 冯玉超,陈琳,高原,等. 2005—2020 年我国职业健康风险评估文献计量学分析[J]. 中国工业医学杂志,2021,34(3):270-274.
- [5] OFFICE OF SUPERFUND REMEDIATION AND TECHNOLOGY

- INNOVATION ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY WASHINGTON. D C risk assessment guidance for superfund volume I: human health evaluation manual (part F, supplemental guidance for inhalation risk assessment) [EB/OL]. (2015-09-15) [2023-07-24]. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-09/documents/partf_200901_final.pdf.
- [6] EDOKPOLO B, YU Q J, CONNELL D. Health risk characterization for exposure to benzene in service stations and petroleum refineries environments using human adverse response data [J]. *Toxicol Rep*, 2015, 2: 917-927.
- [7] 中华人民共和国卫生部. 工作场所职业病危害作业分级: GBZ/T 229.1 ~ 4—2010/2012[S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- [8] 符传东, 黄汉林, 越飞. 化学因素职业病危害风险评估指标体系建立[J]. *中国职业医学*, 2011, 38(2): 123-125.
- [9] 林健, 黄汉林, 闫雪华, 等. 职业性化学危害风险评估指标体系验证与优化研究[J]. *中国职业医学*, 2014, 41(5): 507-512.
- [10] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 噪声职业病危害风险管理指南: WS/T 754—2016 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [11] PECE S, DASCALESCU A. Risk assessment method for occupational accidents and diseases [EB/OL]. (1998-12-31) [2023-05-24]. http://www.protectionamunci.ro/pdfs/risk_assessment_method.pdf.
- [12] UNIVERSITY OF QUEENSLAND. Occupational health and safety risk assessment and management guideline [R]. Australia: Occupational Health and Safety Unit, 2011.
- [13] ICM. Good practice guidance on occupational health risk assessment [EB/OL]. (2016-12-31) [2023-06-25]. https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/health_and_safety/2016/guidance_health-risk-assessment-2016.pdf.
- [14] RUSSELL R M, MAIDMENT S C, BROOKE I, et al. An introduction to a UK scheme to help small firms control health risks from chemicals [J]. *Ann Occup Hyg*, 1998, 42(6): 367-376.
- [15] HSE. COSHH e-tool: easy steps to control health risks from chemicals [EB/OL]. (2023-01-15) [2023-06-27]. <https://www.hse.gov.uk/coshh/essentials/coshh-tool.htm>.
- [16] GARVEY P R, LANSLOWNE Z F. Risk matrix: an approach for identifying, assessing, and ranking program risks [J]. *Air Force Journal of Logistics*, 1998, 22(1): 18-21.
- [17] 宋大成. 风险评价方法——MES 法 [J]. *中国职业安全卫生管理体系认证*, 2002, (5): 34-35.
- [18] 朱志良, 俞晓明, 丁燕, 等. 基于国际化学品控制工具箱的职业病危害风险评价方法[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2012, 30(12): 958-961.
- [19] MINISTRY OF MANPOWER. A semi-quantitative method to assess occupational exposure to harmful chemicals [EB/OL]. (2023-01-15) [2023-07-25]. <http://li.eversafe.com.sg/HTIM/6.%20A%20Semi%20quantitative%20Method%20to%20Assess%20Occupational%20Exposure%20to%20Harmful%20Chemical.pdf>.
- [20] 林嗣豪, 王治明, 唐文娟, 等. 职业危害风险指数评估方法的初步研究[J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2006, 24(12): 769-771.
- [21] 彭建明. 风险评估法结合类比法对建设项目职业病危害预评价探讨[J]. *职业卫生与应急救援*, 2011, 29(4): 186-189.
- [22] 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: 中国标准出版社, 2017.
- [23] HUANG Q, SU S, ZHANG X, et al. Occupational health risk assessment of workplace solvents and noise in the electronics industry using three comprehensive risk assessment models [J]. *Front Public Health*, 2023, 11: 1063488.
- [24] 李燕峰, 苏书贞, 李玲. 硬质合金企业粉尘暴露岗位的职业健康风险评估及护理措施[J]. *硬质合金*, 2021, 38(4): 279-285.
- [25] 石婷, 王永伟, 王德怡, 等. 砖瓦制造业粉尘职业健康风险评估技术应用研究[J]. *职业卫生与应急救援*, 2022, 40(3): 298-304.
- [26] 黎乾, 王芬, 提高兰, 等. 综合指数法和定量风险评估法在反光膜企业的应用比较[J]. *预防医学*, 2019, 31(9): 946-949.
- [27] RUAN X Y, TAN S W, ZHU L, et al. A multiple and comprehensive approach to assess health risk in amalgam-exposed Chinese workers [J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 999095.
- [28] TIAN F, ZHANG M, ZHOU L, 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.
- [29] 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.
- [30] ZHU J, SU S, WEN C, et al. Application of multiple occupational health risk assessment models in the prediction of occupational health risks of n-Hexane in the air-conditioned closed workshop [J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 1017718.
- [31] 赵雪, 曾强, 刘静, 等. 五种方法在电焊烟尘接触工人职业健康风险评估中的应用 [J]. *中华劳动卫生职业病杂志*, 2021, 39(5): 375-378.
- [32] 王辉, 邱乐平, 阴旅宁. 职业健康风险评估方法在铅锌矿开采行业中的应用分析[J]. *职业卫生与病伤*, 2020, 35(1): 10-15.
- [33] SCHMIDT J R A, NOGUEIRA D J, NASSAR S M, et al. Probabilistic model for assessing occupational risk during the handling of nanomaterials [J]. *Nanotoxicology*, 2020, 14(9): 1258-1270.
- [34] 周志洋, 苏世标, 曾运良. 常见职业健康风险评估方法在某涂料生产企业中的比较[J]. *中国卫生工程学*, 2021, 20(5): 719-723.
- [35] 钟加鹏, 刘宇, 徐广宇, 等. 2 种定量风险评估方法在某涂料固化剂生产线接触有机溶剂作业职业健康风险分级的应用比较[J]. *工业卫生与职业病*, 2023, 49(2): 155-158.
- [36] 唐颖, 宁勇, 杨思佳, 等. 石化企业苯暴露的概率风险评估[J]. *环境与职业医学*, 2018, (5): 452-456.
- [37] 汪凤娇, 田海霞, 郭航, 等. 廊坊市某化工企业化验室 4 种职业健康风险评估方法的应用[J]. *职业与健康*, 2023, 39(14): 1891-1896.
- [38] 谭强. 湖南省某机械加工企业噪声作业分级与噪声危害风险管理指南对比分析[J]. *职业与健康*, 2021, 37(19): 2602-2604.
- [39] 皮伟, 毛草诗, 梁娇君, 等. 2 种职业健康风险评估方法在某啤酒制造企业噪声评估中的应用[J]. *公共卫生与预防医学*,

- 2022, 33(3):94-97.
- [40] 巩泉泉, 杨治峰, 谢连科, 等. 3 种风险评估方法在接触工频电磁场危害风险评估中的应用[J]. 工业卫生与职业病, 2019, 45(5): 346-351.
- [41] 姬婧云, 周文慧, 姚武. 2 种评估模型在某碳纤维厂职业健康风险评估中的应用[J]. 职业卫生与应急救援, 2023, 41(3): 305-310.
- [42] XU Q, YU F, LI F, et al. Quantitative differences between common occupational health risk assessment models[J]. J Occup Health, 2020, 62(1): e12164.
- [43] COŞKUN BEYAN A, TUNA G, EMERCE E, et al. Chemical risk assessment in hospital settings: a comparison of workers' perceptions, expert opinions, and occupational hygiene measurements [J]. Med Pr Work Health Saf, 2023, 74(4): 241-250.
- [44] 卢建国, 唐杰彬, 邓小懂, 等. 基于 2 种 ICM 风险评估模型研究某蓄电池生产企业职业健康风险[J]. 职业卫生与应急救援, 2020, 38(5): 482-486.
- [45] 彭志恒, 何易楠, 冯玉超, 等. 多种职业健康风险评估方法在制鞋行业中的应用比较[J]. 职业卫生与应急救援, 2023, 41(6): 693-698.
- [46] 金蕾, 李宾, 王龙义, 等. 海南省某燃煤发电企业职业健康风险综合评估[J]. 职业与健康, 2021, 37(21): 2885-2890.
- [47] 张焜, 宋文华, 张桂钊. 企业职业卫生综合风险管理评估体系的研究与应用[J]. 中国安全生产科学技术, 2017, 13(5): 163-169.
- [48] 王博, 赵志博, 多依丽, 等. 基于模糊贝叶斯网络的煤气化职业健康风险分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2019, 15(8): 187-192.
- [49] 王东华. 煤矿粉尘危害程度评价方法改进及应用研究[D]. 北京: 首都经济贸易大学, 2019.
- [50] 侯刚, 石婷, 王永伟. 贵金属矿采选业粉尘职业危害风险评估技术应用[J]. 中国卫生工程学, 2023, 22(3): 289-292.
- [51] 金旭, 陈云赛, 赵晟娅, 等. 基于改进风险矩阵法的深海潜航作业职业健康风险评估[J]. 工业卫生与职业病, 2022, 48(3): 173-177.
- [52] KHOSHAKHLAGH A H, SABERI H R, GRUSZECKA-KOSOWSKA A, et al. Respiratory functions and health risk assessment in inhalational exposure to vinyl acetate in the process of carpet manufacturing using Monte Carlo simulations [J]. Environ Sci Pollut Res Int, 2023, 30(12): 32560-32572.
- [53] LIMA K, MEIRA CASTRO A C, BAPTISTA J S. Occupational risk assessment in native rainforest management (MIAR^{forest}) - parameters definition and validation [J]. Sustainability, 2023, 15: 6794.
- [54] 刘磊, 李鹏飞, 彭洋洋, 等. 风险评估法结合文献类比法在垃圾焚烧发电项目职业病危害预评价中的应用[J]. 环境与职业医学, 2018, 35(4): 341-346.

收稿日期: 2024-01-15

(上接第 539 页)

- [7] SHUYLER M, CORMIER Y. The Diagnosis of hypersensitivity pneumonitis[J]. Chest, 1997, 111: 534-536.
- [8] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 职业健康监护技术规范: GBZ 188—2014[S]. 北京: 人民卫生出版社, 2014.
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. 尘肺病诊断标准: GBZ 70—2015[S]. 北京: 中国标准出版社, 2016.
- [10] 张建中, 陈发明, 叶青, 等. 呋喃树脂砂铸造工艺职业危害特征流行病学研究[J]. 中国职业医学, 2012, 39(1): 45-47.
- [11] 杨玉花, 裘著革, 晁福寰. 甲醛污染与人体健康研究进展[J]. 解放军预防医学杂志, 2005, 23(1): 68-71.
- [12] 赵瞰, 徐嫚翎, 刘静, 等. 环境常见过敏原——甲醛及甲醛释放剂在一般人群中的致敏情况研究 [C]. //2014 全国中西医结合皮肤性病学术年会论文集. 2014: 122-122.
- [13] 金贝贝, 许文兵, 彭敏, 等. 过敏性肺炎 96 例临床特征分析[J]. 中华结核和呼吸杂志, 2013, 36(2): 83-87.
- [14] 张维, 罗凤鸣. 外源性过敏性肺泡炎的临床治疗进展[J]. 华西医学, 2019, 34(1): 82-85.

收稿日期: 2023-12-01