

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

徐秋凉, 张美辨, 邹华, 袁伟明, 李飞

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

DOI 10.13213/j.cnki.jeom.2020.19624

摘要:

[背景] 目前国际研究领域职业健康风险评估模型多达十几种, 每种模型由于其建立的技术原理不同, 各有其自身的优势和局限性。采用不同的模型对同一危害进行评估, 得出的结果并不完全一致, 目前有关各种职业健康风险评估模型间差异的研究报道很少。

[目的] 研究六种常用职业健康风险评估模型之间的差异, 为相关标准制定、职业健康风险评估方法学研究及应用提供参考依据。

[方法] 于2019年选取浙江省7家小型印刷企业印刷和复合岗位作为研究对象, 印刷岗位和复合岗位接触的风险因子种类相同, 可通过比较两个岗位各风险因子浓度比值(即检测浓度与职业接触限值的比值)来确定岗位的固有风险, 作为判定各模型风险评估结果准确性的依据。运用六种常见的职业健康风险评估模型(美国EPA模型、新加坡模型、英国COSHH模型、澳大利亚模型、罗马尼亚模型和ICMM模型)对7家企业印刷和复合岗位各风险因子进行职业健康风险评估; 利用风险比值(RR)对各风险评估模型进行定量比较, 验证六种模型评估结果的准确性, 分析评估结果的平行性及相关性。

[结果] 7家印刷企业复合岗位二甲苯和乙酸乙酯浓度比值均值(0.33±0.40)大于印刷岗位(0.08±0.07) ($P < 0.05$), 故以复合岗位二甲苯和乙酸乙酯的固有风险高于印刷岗位作为判定模型评估结果准确性的依据。美国EPA模型、新加坡模型得出复合岗位二甲苯和乙酸乙酯的RR均值高于印刷岗位($P < 0.05$), 与岗位固有风险结果相符; 而其他模型未能区分复合岗位、印刷岗位风险的差别。六种模型评估结果平行性分析结果显示: 美国EPA模型RR均值(0.65±0.34)最大, 其次为英国COSHH模型(0.50±0.15), 再次为新加坡模型(0.36±0.15)、澳大利亚模型(0.34±0.15)和ICMM模型(0.34±0.08), 罗马尼亚模型RR均值(0.20±0.10)最小(4个层次之间两两比较, $P < 0.05$)。相关性分析结果显示: 7家企业复合岗位和印刷岗位各风险因子浓度比值与各模型RR间均存在相关性($P < 0.01$), 其与RR_{美国EPA模型}和RR_{新加坡模型}的相关系数最大($r=0.761$ 、 0.792 , $P < 0.01$), 与RR_{英国COSHH模型}的最小($r=0.330$, $P < 0.01$)。各模型RR间相关性分析结果显示: 除了RR_{美国EPA模型}与RR_{英国COSHH模型}之间无相关性, 其他各模型RR间均存在一定的相关性; RR_{美国EPA模型}与RR_{新加坡模型}的 r 值为0.601, 与其他模型RR的 r 值均小于0.5 ($P < 0.01$); RR_{新加坡模型}与其他各模型RR间的 r 值均大于0.7。

[结论] 美国EPA模型和新加坡模型评估结果准确, 与风险因子浓度比值相关性较强; 美国EPA模型和英国COSHH模型相对较独立, 而新加坡模型与其他模型的相关性均较强。

关键词: 印刷行业; 职业健康; 风险评估; 模型; 定量; 比较研究

Quantitative comparison of six common occupational health risk assessment models for small printing companies XU Qiu-liang, ZHANG Mei-bian, ZOU Hua, YUAN Wei-ming, LI Fei (Institution for Occupational Health and Radiation Protection, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China)

Abstract:

[Background] There are more than ten kinds of occupational health risk assessment models in the world. Each model has its own advantages and limitations due to its different technical principles. Different models may generate inconsistent results of risk assessment towards a single hazard. At present, there are few reports on the differences among various occupational health risk assessment models.

[Objective] The purpose of this study is to understand the differences among six commonly

组稿专家

张美辨(浙江省疾病预防控制中心职业健康与辐射防护所), E-mail: mbzhang@cdc.zj.cn

基金项目

国家自然科学基金(81472961); 浙江省重点研发项目(215C03039); 广东省职业病防治重点实验室开放课题基金(2017B030314152); 2016年度浙江省卫生创新人才培养工程(无编号); 2018年度浙江省151人才工程(无编号)

作者简介

徐秋凉(1981—), 女, 硕士, 高级工程师; E-mail: qlxu@cdc.zj.cn

通信作者

张美辨, E-mail: mbzhang@cdc.zj.cn

利益冲突 无申报

收稿日期 2019-09-12

录用日期 2019-12-26

文章编号 2095-9982(2020)02-0131-07

中图分类号 R13

文献标志码 A

引用

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.

本文链接

www.jeom.org/article/cn/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19624

Funding

This study was funded.

Correspondence to

ZHANG Mei-bian, E-mail: mbzhang@cdc.zj.cn

Competing interests None declared

Received 2019-09-12

Accepted 2019-12-26

To cite

XU Qiu-liang, ZHANG Mei-bian, ZOU Hua, et al. Quantitative comparison of six common occupational health risk assessment models for small printing companies[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2020, 37(2): 131-137.

Link to this article

www.jeom.org/article/en/10.13213/j.cnki.jeom.2020.19624

used occupational health risk assessment models, and to provide references for the formulation of relevant standards and for the methodological study and application of occupational health risk assessments.

[Methods] The printing and laminating positions of seven small printing companies in Zhejiang Province were selected as study subjects in 2019. Because they were exposed to the same risk factors, the inherent risks of both positions were estimated by comparing occupational hazard concentration ratio (the ratio of hazard concentration to occupational exposure limit), and then were used to determine the accuracy of results calculated by each risk assessment model. Six common occupational health risk assessment models (i.e., U.S. EPA model, Singapore model, UK COSHH model, Australian model, Romanian model, and ICMM model) were used to assess the identified occupational health risk factors of the selected printing and laminating positions. A quantitative comparison of the risk assessment models was conducted using risk ratio (RR) to verify the accuracy and analyze the parallelism and correlation of the assessment results.

[Results] The average xylene and ethyl acetate concentration ratio of the laminating positions (0.33 ± 0.40) in the selected seven printing companies was greater than the ratio of the printing positions (0.08 ± 0.07) ($P < 0.05$), thus it was the basis for judging the accuracy of model evaluation results that higher inherent risk of xylene and ethyl acetate in laminating positions than that in printing positions. According to U.S. EPA model and Singapore model, the mean RR of xylene and ethyl acetate in laminating positions was higher than that in printing positions ($P < 0.05$), which was consistent with the inherent risk of the two positions. The assessment results of other models failed to distinguish the risk difference between the two positions. The parallelism analysis results showed that $RR_{U.S. EPA} = 0.65\pm 0.34$, $RR_{UK COSHH} = 0.50\pm 0.15$, $RR_{Singapore model} = 0.36\pm 0.15$, $RR_{Australian model} = 0.34\pm 0.15$, $RR_{ICMM} = 0.34\pm 0.08$, and $RR_{Romanian} = 0.20\pm 0.10$ ($P < 0.05$). The correlation analysis results showed that the concentration ratio of each occupational hazard in the laminating and printing positions of the seven companies was correlated with the RR of each model ($P < 0.01$), and the correlation coefficient was the largest for $RR_{U.S. EPA model}$ and $RR_{Singapore model}$ ($r = 0.761$ and 0.792 , $P < 0.01$), and the smallest for $RR_{UK COSHH model}$ ($r = 0.330$, $P < 0.01$). The correlation analysis results also showed that there was a correlation between RR of each model except that between $RR_{U.S. EPA model}$ and $RR_{UK COSHH model}$; the correlation coefficient (r) between $RR_{U.S. EPA model}$ and $RR_{Singapore model}$ was 0.601, the values between $RR_{U.S. EPA model}$ and other RRs were < 0.5 ($P < 0.01$), and the values between $RR_{Singapore model}$ and other RRs were greater than 0.7.

[Conclusion] Both U.S. EPA model and Singapore model have better assessment accuracy and strong correlation with the field survey based occupational hazard concentration ratio. U.S. EPA model and UK COSHH model are relatively independent, while Singapore model has strong correlations with other models.

Keywords: printing industry; occupational health; risk assessment; model; quantitative; comparative study

目前国际研究领域中职业健康风险评估模型多达十几种,包括定性、定量和半定量评估模型,最常用的主要是以下六种:美国环境保护署风险评估指南(简称为美国EPA模型)^[1]、新加坡化学毒物职业暴露半定量风险评估方法(简称为新加坡模型)^[2]、英国健康必需品有害物质控制方法(简称为英国COSHH模型)^[3]、澳大利亚职业健康与安全风险评估管理导则(简称为澳大利亚模型)^[4]、罗马尼亚职业事故和职业病风险评估方法(简称为罗马尼亚模型)^[5]及国际采矿和金属委员会职业健康风险评估操作指南(简称为ICMM模型)^[6]。我国在参考美国EPA模型、新加坡模型和英国COSHH模型的基础上,于2017年推出了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》。该导则推荐了定量风险评估法、定性风险评估法以及接触限值比值法、接触指数法和综合指数法三种半定量风险评估法。导则中的定量方法改良自美国EPA模型;定性方法改良自英国COSHH模型;半定量方法参考了新加坡模型,且在其基础上结合我国实际情况,增加了综合指数法。

每种模型由于其建立的技术原理不同,各有其自身的优势和局限性。采用不同的模型对同一危害

进行评估,得出的结果并不完全一致^[7-12],这很大程度上取决于各种职业健康风险评估模型之间的差异。目前对各种职业健康风险评估模型差异的研究报道很少,因此,有必要结合我国职业病防治行业危害特点,针对现有模型开展方法学差异的研究。本研究旨在通过建立定量比较研究的理论框架,在印刷行业中运用六种常见的职业健康风险评估模型(美国EPA模型、新加坡模型、英国COSHH模型、澳大利亚模型、罗马尼亚模型和ICMM模型)进行定量比较研究,了解常用职业健康风险评估模型之间的定量差异,为相关标准制定及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 对象

本次研究于2019年选取浙江省7家小型印刷企业印刷和复合岗位作为研究对象,原因如下:(1)印刷行业为使用有机溶剂的典型行业,所用有机溶剂(包含苯等)严重危害工人健康,具有风险评估意义,印刷和复合岗位是印刷企业使用有机溶剂的主要岗位;(2)我国中东部地区印刷企业大部分以中小企业

为主, 7家企业工作类型、生产过程、职业危害相似, 且这些中小企业往往缺乏全面的职业病防治措施, 导致职业健康危害发生的概率较高^[13]。

1.2 风险因子识别及职业病危害因素检测

1.2.1 现场劳动卫生学调查 运用职业卫生现场调查方法, 收集企业基本情况、工艺流程、作业方式和工作制度, 识别现场职业病危害因素, 调查现场职业病危害防护设施等情况。

1.2.2 风险因子识别、确定 本次选取的7家印刷企业均为小型私营企业, 主要对塑料包装袋进行印刷。印刷工艺包括印前处理、印刷、复合、印后加工(裁切制袋等)。印刷企业接触有毒有害化学品较多, 如乙醇、异丙醇、乙酸乙酯、丙酮、丁酮、苯、甲苯、二甲苯等。印刷、复合过程是产生职业病危害因素的主要环节。本次调查通过对选定的7家印刷企业进行风险因子识别, 确定其主要风险因子为苯、甲苯、二甲苯、乙酸乙酯、丙酮、丁酮; 主要风险岗位为印刷和复合岗位。

1.2.3 职业病危害因素检测 根据GBZ 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》和GBZ/T 160《工作场所空气有毒物质测定》、GBZ/T 300《工作场所空气有毒物质测定》对7家印刷企业印刷和复合岗位工作场所空气中存在的苯、甲苯、二甲苯、乙酸乙酯、丙酮、丁酮进行浓度测定。

1.3 职业健康风险评估模型及定量比较理论

六种常用职业健康风险评估模型(美国EPA模型、新加坡模型、英国COSH H模型、澳大利亚模型、罗马尼亚模型和ICMM模型)原理和评估模型详见相关报道^[1-6, 8, 14]。

1.3.1 风险等级转换^[15] 六种职业健康风险评估模型所得出的风险水平不一, 为了便于比较各模型的风险评估结果, 将美国EPA模型非致癌风险评估结果, 即危害商数进行风险水平分级, 划分为5级; 参考新加坡模型的风险等级将英国COSH H模型的控制等级进行了转换, 详见表1。转换后, 六种模型的评估结果均转换为代表风险水平的分级资料: 美国EPA模型、澳大利亚模型、新加坡模型和ICMM模型的风险评估结果分为5级, 罗马尼亚模型的风险评估结果分为7级, 英国COSH H模型的风险评估结果分为4级。

1.3.2 风险比值(ratio of risk, RR)的引入^[15] 为了使各模型的风险评估结果之间具有可比性, 引入RR的概念。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。RR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, 使得应用不同模型得出的风险水平之间具有可比性。RR大于0.5, 其风险水平判定为中等以上。

表1 美国EPA模型和英国COSH H模型风险评估结果转换
Table 1 Transformation of risk assessment results of U.S. EPA model and UK COSHH model

美国EPA模型 U.S. EPA model		英国COSH H模型 UK COSHH model	
危害商数 Hazard quotient	风险等级 Risk grade	控制等级 Control grade	风险等级 Risk grade
<0.1	1	—	—
0.1~0.5	2	CS1	2
0.5~1.0	3	CS2	3
1.0~2.0	4	CS3	4
≥2.0	5	CS4	5

[注] CS: 职业危害控制方法。

[Note] CS: Calibration strategy for occupational hazards.

1.4 定量比较

1.4.1 六种模型评估结果准确性验证 印刷和复合岗位固有风险水平高低的判定主要是基于风险定义, 即在风险因子的固有危害后果相同情况下, 其暴露概率或暴露浓度越高, 其风险越大。两个岗位产生的风险因子(苯、甲苯、二甲苯、乙酸乙酯、丙酮、丁酮)是相同的, 其固有危害后果相同, 因此两个岗位的固有风险大小取决于风险因子的浓度大小。为了便于比较两个岗位之间不同风险因子的浓度大小, 本研究采用了浓度比值, 即各风险因子的浓度与其职业接触限值(苯、甲苯、二甲苯、乙酸乙酯、丙酮、丁酮的职业接触限值分别为: 6、50、50、200、300、300 mg·m⁻³)的比值。通过比较各企业印刷岗位和复合岗位浓度比值大小, 来确定各企业印刷和复合岗位的风险大小, 以此作为判定各模型风险评估结果准确性的依据。

1.4.2 六种模型评估结果平行性分析 对同一风险进行评估, 六种模型得到的风险比值并不完全相同, 以7家印刷企业印刷和复合岗位作为研究对象, 对六种模型得出的平均风险比值进行排序, 评价其平行性。

1.4.3 六种模型评估结果的相关性 对六种模型得出的RR进行相关性分析, 对六种模型评估的RR结果与其对应的风险因子浓度比值进行相关性分析。

1.5 统计学分析

采用SPSS 21.0软件进行统计分析。对印刷、复合两个岗位的浓度比值差异分析采用非参数检验; 采用单因素方差分析对六种模型评估结果进行统计分

析(方差齐时采用LSD两两比较法, 方差不齐时采用Dunnett T3两两比较法)。采用Spearman相关分析对各种风险评估模型的评估结果进行相关性分析。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 7家企业各风险因子的浓度比值

企业职业卫生基本情况及检测结果见表2。7家企业印刷和复合岗位风险因子浓度比值范围: 苯为0.10~0.33; 甲苯为0.02~0.27; 二甲苯为0.04~0.62;

乙酸乙酯为<0.01~1.49, 印刷企业3的复合岗位乙酸乙酯浓度超标; 丙酮为<0.01~0.03; 丁酮为<0.01~0.01。

从表2可以看出, 各企业复合岗位风险因子的浓度比值普遍大于印刷岗位。各企业印刷岗位和复合岗位各风险因子浓度比值均值结果见表3, 7家企业印刷岗位和复合岗位间苯、甲苯、二甲苯、丙酮和丁酮浓度比值差异无统计学意义; 但复合岗位二甲苯和乙酸乙酯浓度比值均值(0.33±0.40) 大于印刷岗位(0.08±0.07) ($P<0.05$), 因此以复合岗位的固有风险高于印刷岗位作为六种模型评估结果准确性的判定依据。

表2 7家印刷企业职业卫生基本情况及风险因子检测结果

Table 2 Basic information of occupational hygiene and risk factor levels in seven printing companies

企业编号 Company ID	岗位 Position	工人数量 Number of workers	日接触时间/h Daily exposure duration	最长工龄/年 Maximum length of service/year	职业病危害因素检测浓度比值(浓度水平与职业接触限值的比值) Occupational hazard concentration ratio (ratio of hazard concentration to occupational exposure limit)						结果评价 Evaluation result
					苯 Benzene	甲苯 Methylbenzene	二甲苯 Xylene	乙酸乙酯 Ethyl acetate	丙酮 Acetone	丁酮 Butanone	
印刷企业1 Printing company 1	印刷(Printing)	4	8	1	0.10	0.02	0.07	<0.01	<0.01	<0.01	合格
	复合(Laminating)	2	8	4	0.10	0.03	0.07	0.14	0.02	0.01	合格
印刷企业2 Printing company 2	印刷(Printing)	5	8	1	0.10	0.02	0.07	0.06	<0.01	<0.01	合格
	复合(Laminating)	3	8	2	0.10	0.03	0.07	0.14	0.02	0.01	合格
印刷企业3 Printing company 3	印刷(Printing)	2	8	1	0.10	0.02	0.06	0.25	<0.01	<0.01	合格
	复合(Laminating)	2	8	3	0.33	0.02	0.10	1.49	<0.01	<0.01	乙酸乙酯超标
印刷企业4 Printing company 4	印刷(Printing)	3	8	1	0.10	0.02	0.04	0.12	0.02	0.01	合格
	复合(Laminating)	3	8	1	0.10	0.02	0.07	0.33	0.02	0.01	合格
印刷企业5 Printing company 5	印刷(Printing)	6	8	1	0.10	0.02	0.07	0.21	0.03	0.01	合格
	复合(Laminating)	4	8	2	0.10	0.02	0.07	0.40	0.02	0.01	合格
印刷企业6 Printing company 6	印刷(Printing)	2	8	1	0.10	0.11	0.06	0.04	<0.01	<0.01	合格
	复合(Laminating)	1	8	1	0.10	0.02	0.62	0.78	<0.01	<0.01	合格
印刷企业7 Printing company 7	印刷(Printing)	6	8	1	0.10	0.06	0.06	0.01	<0.01	<0.01	合格
	复合(Laminating)	3	8	1	0.10	0.27	0.06	0.26	<0.01	<0.01	合格

表3 7家印刷企业印刷岗位和复合岗位风险因子浓度比值均值比较

Table 3 Comparison of mean occupational hazard concentration ratios of printing and laminating positions in seven printing companies

岗位 Position	职业病危害因素检测浓度比值均值(Mean occupational hazard concentration ratio)						
	苯 Benzene	甲苯 Methylbenzene	二甲苯 Xylene	乙酸乙酯 Ethyl acetate	丙酮 Acetone	丁酮 Butanone	二甲苯和乙酸乙酯 Xylene and ethyl acetate
印刷岗位(n=7) Printing position	0.10±0.00	0.04±0.04	0.06±0.01	0.10±0.10 ^a	0.01±0.01	0.005±0.005	0.08±0.07 ^a
复合岗位(n=7) Laminating position	0.13±0.09	0.06±0.10	0.15±0.21	0.51±0.49	0.01±0.01	0.008±0.007	0.33±0.40

[注] a: 与复合岗位比较, $P<0.05$ 。

[Note] a: Compared with laminating position, $P<0.05$.

2.2 职业健康风险评估模型结果及定量比较

2.2.1 六种模型评估结果准确性验证 各企业印刷岗位和复合岗位二甲苯、乙酸乙酯RR见表4, 美国EPA

模型、新加坡模型得出复合岗位RR均值高于印刷岗位($P<0.05$), 与岗位固有风险相符。其他各模型未能区分印刷岗位和复合岗位的风险差异。

表 4 7 家印刷企业六种风险评估模型风险比值 (RR)
Table 4 Risk ratios (RR) of six risk assessment models of seven printing companies

岗位 Position	RR 美国 EPA 模型 RR _{U.S. EPA model}	RR 新加坡模型 RR _{Singapore model}	RR 英国 COSHH 模型 RR _{UK COSHH model}	RR 澳大利亚模型 RR _{Australian model}	RR 罗马尼亚模型 RR _{Romanian model}	RR _{ICMM} 模型 RR _{ICMM model}
印刷岗位 (二甲苯和乙酸乙酯) Printing position (xylene and ethyl acetate)	0.79±0.31 ^x	0.34±0.09 ^x	0.40±0.00	0.30±0.10	0.20±0.10	0.30±0.00
复合岗位 (二甲苯和乙酸乙酯) Laminating position (xylene and ethyl acetate)	0.97±0.07	0.43±0.07	0.40±0.00	0.33±0.10	0.23±0.10	0.31±0.05
印刷岗位和复合岗位 (6 种风险因子) Printing and laminating positions (six risk factors)	0.65±0.34 ^{bcddef}	0.36±0.15 ^{ace}	0.50±0.15 ^{abdef}	0.34±0.15 ^{ace}	0.20±0.10 ^{abcdff}	0.34±0.08 ^{ace}

[注] X : 与复合岗位比较, $P < 0.05$; a : 与美国 EPA 模型比较, $P < 0.05$; b : 与新加坡模型比较, $P < 0.05$; c : 与英国 COSHH 模型比较, $P < 0.05$; d : 与澳大利亚模型比较, $P < 0.05$; e : 与罗马尼亚模型比较, $P < 0.05$; f : 与 ICMM 模型比较, $P < 0.05$ 。

[Note] X: Compared with laminating positions, $P < 0.05$; a: Compared with the U.S. EPA model, $P < 0.05$; b: Compared with the Singapore model, $P < 0.05$; c: Compared with the UK COSHH model, $P < 0.05$; d: Compared with the Australian model, $P < 0.05$; e: Compared with the Romanian model, $P < 0.05$; f: Compared with the ICMM model, $P < 0.05$.

2.2.2 六种模型评估结果的平行性结果 7 家企业印刷岗位和复合岗位 6 种风险因子的 RR 均值: 美国 EPA 模型 RR 均值 (0.65±0.34) 最大, 其次为英国 COSHH 模型 (0.50±0.15), 再次为新加坡模型 (0.36±0.15)、澳大利亚模型 (0.34±0.15) 和 ICMM 模型 (0.34±0.08), 罗马尼亚模型 RR 均值 (0.20±0.10) 最小 (4 个层次之间两两比较, $P < 0.05$)。

2.2.3 六种模型评估结果相关性分析 从表 5 可以看出各风险因子浓度比值与各模型 RR 间均存在相关

性 ($P < 0.01$), 浓度比值与 RR 美国 EPA 模型和 RR 新加坡模型的相关系数最大 ($r=0.761$ 、 0.792), 与 RR 英国 COSHH 模型的最小 ($r=0.330$)。各模型 RR 间相关性分析结果显示: RR 美国 EPA 模型与 RR 英国 COSHH 模型之间无相关性, 其他各模型 RR 间均存在一定的相关性 ($P < 0.01$); RR 美国 EPA 模型与其他模型 RR 间的相关系数较小, 与 RR 新加坡模型的 r 值为 0.601 , 与其他模型 RR 的 r 值均小于 0.5 ; RR 新加坡模型与其他各模型 RR 间的 r 值均大于 0.7 。

表 5 六种模型风险比值与浓度比值及六种模型风险比值间相关性分析
Table 5 Correlation analysis between risk ratio and concentration ratio and between risk ratios of six models

项目 (Item)	RR 美国 EPA 模型 RR _{U.S. EPA model}	RR 新加坡模型 RR _{Singapore model}	RR 英国 COSHH 模型 RR _{UK COSHH model}	RR 澳大利亚模型 RR _{Australian model}	RR 罗马尼亚模型 RR _{Romanian model}	RR _{ICMM} 模型 RR _{ICMM model}
RR 美国 EPA 模型 (RR _{U.S. EPA model})	1	—	—	—	—	—
RR 新加坡模型 (RR _{Singapore model})	0.601 ^a	1	—	—	—	—
RR 英国 COSHH 模型 (RR _{UK COSHH model})	0.095	0.714 ^a	1	—	—	—
RR 澳大利亚模型 (RR _{Australian model})	0.468 ^a	0.889 ^a	0.804 ^a	1	—	—
RR 罗马尼亚模型 (RR _{Romanian model})	0.373 ^a	0.815 ^a	0.661 ^a	0.943 ^a	1	—
RR _{ICMM} 模型 (RR _{ICMM model})	0.496 ^a	0.705 ^a	0.732 ^a	0.703 ^a	0.445 ^a	1
浓度比值 ^b (Concentration ratio)	0.761 ^a	0.792 ^a	0.330 ^a	0.537 ^a	0.495 ^a	0.444 ^a

[注] a : $P < 0.01$; b : 7 家企业印刷和复合岗位 6 种风险因子浓度比值。

[Note] a: $P < 0.01$; b: The concentration ratio of six occupational hazards of printing and laminating positions in seven printing companies.

3 讨论

本研究通过建立风险评估模型定量比较研究的理论框架, 即通过可比性转换, 引入 RR 的概念, 使得各种职业健康风险评估模型的风险评估结果具有可比性。对 7 家印刷企业印刷和复合岗位运用六种常见的职业健康风险评估模型 (美国 EPA 模型、新加坡模型、英国 COSHH 模型、澳大利亚模型、罗马尼亚模型和 ICMM 模型) 进行了定量比较研究, 重点从六种模型评估结果准确性、平行性和相关性进行了分析。

从六种模型 RR 准确性验证结果可以看出: 复合

岗位二甲苯 + 乙酸乙酯的职业健康风险高于印刷岗位, 美国 EPA 模型、新加坡模型得出复合岗位 RR 均值高于印刷岗位 ($P < 0.05$) 的结果, 而其他模型未能发现两种岗位的健康风险差异; 可能原因是美国 EPA 模型、新加坡模型暴露评估是根据暴露浓度计算的, 英国 COSHH 模型评估风险与现场暴露浓度无关, 澳大利亚模型、罗马尼亚模型和 ICMM 模型为定性评估模型, 暴露等级的判定受主观经验影响较大, 不够客观。从表 5 结果可以看出: 浓度比值与各模型 RR 相关性分析结果也可以验证该结论, 美国 EPA 模型与新加坡模

型RR与浓度比值相关系数最大,最能体现相同危害因素在不同暴露浓度下的风险差异。

有文献报道,印刷企业发生过使用有机溶剂导致的急性苯中毒事故^[16-17]:1998年某女工在一外资企业印刷岗位工作3个月后,经体检发现白细胞、红细胞数目降低,周身乏力、食欲差,偶有鼻血和牙龈出血,根据GB 3230—1997《职业性苯中毒诊断标准及处理原则》诊断为慢性重度苯中毒,治疗4个月后病情不断恶化后死亡;2005年北京某印刷厂复合岗位女工工作3年后出现头晕、牙龈出血、全身乏力等症状,诊断为重型再生障碍性贫血(慢性苯中毒)。本研究中美EPA模型、新加坡模型、英国COSHH模型、澳大利亚模型、罗马尼亚模型、ICMM模型评估7家印刷企业苯的RR分别为1、0.6、0.8、0.6、0.3、0.5,美国EPA模型、新加坡模型、英国COSHH模型和澳大利亚模型RR均在0.6以上,属于中度以上风险。

综合上述分析,美国EPA模型、新加坡模型具有相对较好的评估准确性。

6种模型的RR顺序为:RR_{美国EPA模型}最大,其次为RR_{英国COSHH模型},再次为RR_{新加坡模型}、RR_{澳大利亚模型}和RR_{ICMM模型},RR_{罗马尼亚模型}最小(4个层次之间均 $P < 0.05$)。分析可能的原因如下:(1)危害等级判定方式不一致。美国EPA模型、英国COSHH模型和新加坡模型对危害因素的危害等级划分是依据大量动物实验数据和人群流行病学调查,等级划分比较明确。美国EPA模型中的吸入单元风险和参考浓度两个参数是根据大量的实验动物或职业人群空气化学物暴露的吸入毒性研究所获得的资料,应用吸入剂量模型,通过一系列的模型外推而得到。英国COSHH模型中的健康危害水平是根据欧盟危害分类系统的危险度术语进行分级。新加坡模型主要根据美国政府工业卫生学家协会和国际癌症研究机构致癌作用分类对化学物的毒性进行危害分级,还可根据化学物急性毒性实验的半数致死剂量和半数致死浓度进行化学物的危害分级。因此,上述三种模型对危害因素的危害水平判定依据充分,较为客观准确。而澳大利亚模型、ICMM模型、罗马尼亚模型属于定性模型,对危害分级的判定基于评估人员的主观判断,可能出现偏倚。(2)暴露等级判定方式不一致。美国EPA模型、英国COSHH模型、新加坡模型对暴露等级的判定均主要依据危害因素本身的理化特性、暴露浓度、暴露时间等因素,暴露等级判定相对客观和准确。澳大利亚模型、ICMM模型、

罗马尼亚模型在评价暴露水平时,一般基于评估人员的专业知识和工作经验来判定某危害因素发生健康损害的概率大小,主观性较强,也容易产生低估。这与本课题组之前在电镀行业、起重制造业和木质家具制造业进行评估得出的结果^[15]相似。

美国EPA模型与英国COSHH模型不存在相关性,其他各模型之间均存在一定的相关性($P < 0.01$)。美国EPA模型与其他模型间的相关系数较小;新加坡模型与其他各模型之间的相关系数均大于0.7。这与本课题组之前在电镀行业、起重制造业和木质家具制造业进行评估得出的结果(美国EPA模型与其他5个模型没有相关性,英国COSHH仅与新加坡模型相关,新加坡模型与罗马尼亚模型、澳大利亚模型和ICMM模型相关,罗马尼亚模型、澳大利亚模型和ICMM模型之间也存在正相关关系)^[15]有相似之处,但存在差异。两项研究结果均发现美国EPA模型和英国COSHH模型相对较独立,新加坡模型与其他模型的相关性均较强;本研究得出各模型间的相关性高于本课题组之前得出的结论^[15]。可能的原因是:本研究选取了同行业的7个企业,企业规模、岗位、风险因子、接触时间均相似,现场风险因子检测浓度偏低(只有企业3的复合岗位乙酸乙酯超标,其他均符合要求,且苯、甲苯、二甲苯、丙酮和丁酮检测结果均很低),这导致很多影响风险评估结果的因素未能发挥作用,评估结果总体差距较小,未能明显区分出各模型RR的差异。

从以上比较分析可以得出以下结论:(1)引入RR的定量比较框架可以区分不同职业健康风险评估模型的差异;(2)美国EPA模型、新加坡模型具有相对较好的评估准确性,与风险因子现场浓度相关性较强;(3)美国EPA模型和英国COSHH模型相对较独立,新加坡模型与其他模型的相关性均较强。

本研究结果可为职业健康风险评估方法学的研究提供参考依据,为印刷行业职业性化学危害因素的职业健康风险评估提供方法的选择、应用指导。本研究是在7家印刷企业进行研究测试,测试样本间区别较小,可将本研究复制到更多的行业,进一步比较各模型间的定量差异,以便得到更客观的结果。

参考文献

- [1] USEPA. Risk assessment guidance for superfund volume I: human health evaluation manual (Part F, supplemental guidance for inhalation risk assessment): EPA/540/-R-070-/002 [R].

- Washington, DC : U.S. Environmental Protection Agency, 2009.
- [2] Ministry of Manpower Occupational Safety and Health Division. A semi-quantitative method to assess occupational exposure to harmful chemicals [EB/OL] . [2019-07-28] . <https://www.wshc.sg/files/wshc/upload/cms/file/2014/A%20Semi-quantitative%20Method%20to%20Assess%20Occupational%20Exposure%20to%20Harmful%20Che.pdf>.
- [3] 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, 6 : 367-76.
- [4] University of Queensland. Occupational health and safety risk assessment and management guideline [R] . Australia : Occupational Health and Safety Unit, 2011.
- [5] National Research Institute for Labour Protection. Risk assessment method for occupational accidents and diseases [EB/OL] . [2019-07-28] . http://www.protektiamuncii.ro/pdfs/risk_assessment_method.pdf.
- [6] International Council on Mining and Metals. Good practice guidance on occupational health risk assessment [EB/OL] . [2019-07-28] . <http://www.eisourcebook.org/cms/Feb%202013/ICMM-Good-Practice-Guidance-on-Occupational-Health-Risk-Assessment.pdf>.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 袁伟明, 冷朋波, 周莉芳, 等. 应用国外两种风险模型评估职业危害的对比研究 [J] . *环境与职业医学*, 2015, 32 (1) : 51-55.
- [12] 张鹏, 刘弢, 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.
- [13] 赵林辉, 朱士新, 蔡见远, 等. 昆山市印刷行业职业健康状况调查 [J] . *职业与健康*, 2013, 29 (11) : 1317-1318, 1321.
- [14] 张美辨, 邹华, 袁伟明, 等. 职业危害风险评估方法研究进展 [J] . *中华劳动卫生职业病杂志*, 2012, 30 (12) : 972-974.
- [15] 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.
- [16] 魏云芳, 张占岭, 冯冰, 等. 印刷覆膜工慢性苯中毒 1 例报告 [J] . *职业卫生与应急救援*, 2005, 23 (2) : 107.
- [17] 王开启, 乔连民, 王兴山. 短间接苯引起慢性苯中毒 1 例报告 [J] . *职业与健康*, 2001, 17 (1) : 38.

(英文编辑 : 汪源 ; 编辑 : 陈姣 ; 校对 : 丁瑾瑜)