

低浓度苯暴露工人的职业健康风险评估

冷朋波, 李晓海, 王群利, 毛国传, 王爱红

摘要:

[目的] 评估低浓度苯职业暴露下工人的健康风险, 为涉苯企业的职业健康管理提供依据。

[方法] 在宁波市1133家涉低浓度苯的制造企业中随机抽取3家中小型企业, 分别于2016年和2017年的3—9月调查其使用的原辅材料、涉苯岗位分布、暴露方式和暴露时间、防护措施和职业卫生管理情况, 并检测苯暴露浓度; 采用美国环保署吸入风险模型评估低浓度苯暴露岗位工人的致癌风险和非致癌风险。

[结果] 3家企业涉苯作业地点均设置有防护设施, 涉苯岗位工人均没有正确佩戴个人防护用品, 职业卫生管理制度未完全执行。3家企业涉苯岗位工人短时间接触浓度最高为 6.79 mg/m^3 , 8 h时间加权平均接触浓度为 $0.34 \sim 1.40 \text{ mg/m}^3$, 均符合我国苯的职业接触限值要求。致癌风险值为 $(0.023 \sim 1.800) \times 10^{-4}$, 部分超过致癌风险限值(1×10^{-4}); 非致癌风险值为 $2.83 \sim 10.65$, 均超过非致癌风险限值(1)。

[结论] 长期低浓度苯职业暴露下工人仍存在健康风险。

关键词: 低浓度苯; 职业暴露; 职业健康; 吸入风险模型; 风险评估

引用: 冷朋波, 李晓海, 王群利, 等. 低浓度苯暴露工人的职业健康风险评估[J]. 环境与职业医学, 2018, 35(11): 985-989. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.18252

Occupational health risk assessment for workers exposed to low concentration of benzene LENG Peng-bo, LI Xiao-hai, WANG Qun-li, MAO Guo-chuan, WANG Ai-hong (Institute of Environmental and Occupational Health, Ningbo Municipal Center for Disease Control and Prevention, Ningbo, Zhejiang 315010, China). Address correspondence to WANG Ai-hong, E-mail: 77828079@qq.com • The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

[Objective] To assess the health risks of workers exposed to low concentration of benzene, and to provide a basis for occupational health management of benzene enterprises.

[Methods] A simple random sampling method was used to select three enterprises from 1 133 manufacturing enterprises registered with low-concentration benzene exposure in Ningbo. From March to September in 2016 and 2017, the usage of raw and auxiliary materials, distribution of benzene-exposed workstations, exposure mode, exposure time, protective measures, occupational health management, and benzene concentrations were investigated and detected. EPA inhalation risk models were used to assess the carcinogenic risks and non-carcinogenic hazard quotients (HQs) of the workers exposed to low concentration of benzene.

[Results] Protective facilities were installed in the benzene-involved workstations of the three enterprises, workers in the benzene-involved workstations did not properly wear personal respiratory protective equipment, and occupational health management system was not thoroughly implemented. The highest short-term concentration of benzene in the three enterprises was 6.79 mg/m^3 , and the 8 h time weighted average concentration was $0.34 \sim 1.40 \text{ mg/m}^3$, which were within the occupational exposure limits of benzene in China. The risks were $(0.023 \sim 1.800) \times 10^{-4}$, which partly exceeded the limit of 1×10^{-4} ; the HQs were from 2.83 to 10.65, which exceeded the limit of 1.

[Conclusion] Workers' long-term exposure to low concentration of benzene poses a health risk.

Keywords: low concentration of benzene; occupational exposure; occupational health; inhalation risk model; risk assessment

• 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

[基金项目] 宁波市科学计划项目(编号: 2017A610272)

[作者简介] 冷朋波(1979—), 男, 学士, 高级工程师; 研究方向: 环境与职业卫生监测, 健康风险评估; E-mail: 83408179@qq.com

[通信作者] 王爱红, E-mail: 77828079@qq.com

[作者单位] 宁波市疾病预防控制中心环境与职业卫生所, 浙江 宁波 315010

Citation: LENG Peng-bo, LI Xiao-hai, WANG Qun-li, et al. Occupational health risk assessment for workers exposed to low concentration of benzene[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2018, 35(11): 985-989. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2018.18252

苯具有血液毒性,可引起再生障碍性贫血及急性髓细胞性白血病^[1-3],被国际癌症组织确认为人类致癌物^[4],可引起。自20世纪20年代开始,相关学者对苯的危害展开了广泛研究,重点关注高浓度苯暴露导致的急性和慢性毒性^[5],近年来,随着苯的使用限制,低浓度苯的职业接触危害成为当前国内外学者研究的热点^[3, 5-10]。

自《中华人民共和国职业病防治法》实施后,国内多数涉苯企业工作场所空气中苯浓度低于国家规定的职业接触限值。为此,国内学者开展了低浓度苯职业暴露工人的主观感受^[10]以及外周血象变化等^[11-12]健康损伤早期表现的相关研究,但少有对低浓度苯暴露职业健康风险水平的定量研究。为此,本研究对宁波地区涉苯企业作业环境中低浓度苯进行检测分析,评估其健康风险,为制定涉苯企业的职业健康管理方案提供数据支持。

1 对象与方法

1.1 对象

在《宁波市职业安全健康信息管理系统》登记的作业环境中苯浓度低于职业接触限值[8h时间加权平均容许接触浓度(PC-TWA)为6 mg/m³,短时间接触容许浓度(PC-STEL)为10 mg/m³][13]的1133家制造企业中随机抽取3家中小型企业作为调查对象,分别于2016年和2017年的3月至9月开展调查和评估。

1.2 方法

采用现场调查和检测获取评估对象职业卫生基本信息。采用美国环保署(EPA)推荐的《超级基金风险评估指南第一卷人类健康评估手册(F部分:吸入风险评估补充指南)》吸入风险评估模型评估低浓度苯作业岗位工人的职业健康风险。

1.2.1 现场调查 根据评估需要,分别于2016年和2017年对评估对象涉低浓度苯岗位开展每年1次的职业卫生现场调查,调查内容包括:原辅材料、涉苯岗位工序分布、涉苯作业工人对苯的暴露方式、暴露浓度和暴露频率、已采取的职业病防护设施、个人防护以及职业卫生管理制度及执行情况等。

1.2.2 现场检测 分别于2016年和2017年在评估对象正常生产状况下对其低浓度苯岗位作业环境空气

中苯进行每年1次的采样和检测。

作业环境中苯的现场采样依据GBZ 159—2004《工作场所空气中有害物质监测的采样规范》开展,采用个体采样和定点采样相结合的方式采样。其中,定点采样设置在涉苯岗位工人经常停留的工作地点,每年在工作岗位1个工作日不同时段采样1~3次,每次15 min,且包括浓度最高时段;个体采样采集工作岗位1个工作日所有工作时段。检验方法参考GBZ/T 160.42—2007《工作场所空气有毒物质测定芳香烃类化合物》,最低检出浓度为0.009 mg/m³。

1.2.3 健康风险评估 采用美国EPA推荐的吸入风险评估模型^[13]。致癌风险: $Risk = IUR \times EC$; 非致癌风险: $HQ = EC / (RfC \times 1000)$ 。其中: $Risk$ —风险值,以 10^{-4} 作为风险限值,若 $Risk > 1 \times 10^{-4}$ 则存在致癌风险,风险值越大,致癌风险越高;若 $Risk < 1 \times 10^{-4}$ 则致癌风险很小或无风险。 HQ —危害商数,以1作为风险限值,若 $HQ > 1$ 则存在非癌症类健康风险,风险值越大,健康风险越高;若 $HQ < 1$ 则健康风险较小,属于安全范围。 IUR —吸入单元风险, $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$,苯致白血病的 IUR 为 $(2.2 \sim 7.8) \times 10^{-6} (\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$ ^[14]; RfC —参考浓度, mg/m³,苯致淋巴细胞计数下降的吸入 RfC 为0.03 mg/m³^[14]; EC —暴露浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。 $EC = (CA \times ET \times EF \times ED) / AT$; CA —空气中污染物浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$; ET —暴露时间, h/d; EF —暴露频率, d/年; ED —暴露持续时间(工龄), 年; AT —暴露周期平均时间, h(致癌风险评估中 $AT = \text{期望寿命} \times 365 \times 24$,以2016年宁波市民期望寿命81.34岁^[15]计;非致癌风险评估中 $AT = ED \times 365 \times 24$)。

1.3 质量控制

现场调查:制定详细的职业卫生调查表,并经调查组多次修改完善,确保调查资料的完整性,调查过程详细记录低浓度苯暴露岗位工人工作地点、防护措施、工作时长等信息,并经厂方职业卫生管理人员确认。现场采样日选择在调查对象低浓度苯作业岗位工人正常生产负荷的工作日,每次每个岗位均采集平行样,取平均值;每次每批样品设2个空白样品;实验室检测均设置试剂空白。每个岗位吸入暴露苯的时间加权平均浓度取2年检测结果的算术平均值。

2 结果

2.1 职业卫生调查结果

3家企业使用物料均有油漆及其稀释剂,3家企业涉低浓度苯作业岗位分别为面漆、喷漆和喷漆加浸漆岗位,生产班制:5~6 d/周,4~8 h/d。面漆、喷漆(或浸漆)岗位的生产工艺过程为:工人先按比例要求将不同规格的桶装油漆成品按比例要求倒入调漆桶进行机械搅拌,之后搬运至喷漆房(或船舱或浸漆房)倒入喷漆瓶(或浸漆桶),面漆工和喷漆工手持喷枪对物件表面进行手工喷漆,喷漆完毕后将物件摆放

晾干。浸漆作业采用自动流水线,浸漆工人手工将物件挂在浸漆流水线上自动进入浸漆房进行浸漆,之后进入烘干房烘干下件等待后续工序使用。苯主要来源于油漆中稀释剂的挥发。作业工人对苯的暴露方式主要是呼吸暴露,另偶有少量皮肤接触。3家企业所有涉苯作业地点均设置了机械通风或密闭等相应防护设施,且运行正常;均为涉苯岗位工人配备了半面罩防毒面具,但未有效佩戴;均制定有职业卫生管理制度,但没有完全执行。职业卫生调查结果具体见表1。

表1 宁波市3家企业涉苯岗位职业卫生调查结果

企业名称	主要产品	涉苯物料	涉苯岗位	接触方式	人数 (人)	工作时间 (h/d)	工作频率		工龄 (年)	防护设施	个体防护及有效性
							d/周	d/年			
A	卫浴橱柜	油漆	面漆	吸入	6	7.5	6	300	2~3	水帘式通风柜	半面罩防毒面具/未有效佩戴
B	船舶	油漆	喷漆	吸入	5	4	6	300	1~4	全面机械通风	半面罩防毒面具/未有效佩戴
C	自动扶梯	油漆	喷漆	吸入	5	8	5	250	2~6	水帘式通风柜	半面罩防毒面具/未有效佩戴
		油漆	浸漆	吸入	1	8	5	250	2	密闭、隔离	半面罩防毒面具/未有效佩戴

2.2 暴露浓度检测结果

检测发现,3家企业涉苯岗位作业环境空气中苯浓度普遍较低,短时间最高为6.79 mg/m³,最低低至未检出。涉苯岗位工人对苯的呼吸暴露浓度均远低于国家规定的职业接触限值PC-TWA(6 mg/m³)和PC-STEL(10 mg/m³)。见表2。

2.3 职业健康风险定量评估

定量风险评估结果显示,在目前低浓度苯的暴露环境下:3家企业涉苯岗位中暴露时间最长(6年)的工人致癌风险*Risk*值大于1×10⁻⁴,其他涉苯岗位工人致癌风险*Risk*值均小于1×10⁻⁴;3家企业涉低浓

度苯岗位所有工人的非致癌风险*HQ*值均大于1。见表3、表4。

表2 宁波市3家企业涉苯岗位工人暴露浓度一览表

企业名称	涉苯岗位	年份	样品数	浓度范围(mg/m ³)	暴露浓度(mg/m ³)	
					TWA	TWA _{2年} 平均
A	面漆	2016	10	<0.09~0.96	0.32	0.34
		2017	12	<0.09~1.13	0.35	
B	喷漆	2016	7	<0.09~1.30	0.73	0.62
		2017	9	<0.09~1.00	0.50	
C	喷漆	2016	7	0.83~5.32	1.06	1.40
		2017	11	1.11~6.79	1.75	
	浸漆	2016	5	1.00~3.73	1.08	1.20
		2017	4	1.31~6.53	1.31	

表3 宁波市3家企业涉苯岗位工人暴露于低浓度苯的致癌风险

企业	岗位	CA(μg/m ³)	ET(h/d)	EF(d/年)	ED(年)	AT(h)	EC(μg/m ³)	IUR(μg/m ³) ⁻¹	Risk
A	面漆	340	7.5	300	2~3	712538.4	2.1~3.2	(2.20~7.80)×10 ⁻⁶	(0.047~0.251)×10 ⁻⁴
B	喷漆	620	4	300	1~4	712538.4	1.0~4.2	(2.20~7.80)×10 ⁻⁶	(0.023~0.326)×10 ⁻⁴
C	喷漆	1400	8	250	2~6	712538.4	7.8~23.6	(2.20~7.80)×10 ⁻⁶	(0.173~1.800)×10 ⁻⁴
	浸漆	1200	8	250	2	712538.4	6.7	(2.20~7.80)×10 ⁻⁶	(0.148~0.525)×10 ⁻⁴

表4 宁波市3家企业涉苯岗位工人暴露于低浓度苯的非致癌风险

企业	岗位	CA(μg/m ³)	ET(h/d)	EF(d/年)	ED(年)	AT(h)	EC(μg/m ³)	RfC(mg/m ³)	HQ
A	面漆	340	7.5	300	2~3	17520~26280	87.33	0.03	2.91
B	喷漆	620	4	300	1~4	8760~35040	84.93	0.03	2.83
C	喷漆	1400	8	250	2~6	17520~52560	319.63	0.03	10.65
	浸漆	1200	8	250	2	17520	273.97	0.03	9.13

3 讨论

在风险评估过程中,评估技术方法的适用性、暴露途径的确定、模型参数获取方式、毒理学数据的选

择等因素严重影响评估结果的不确定度。本研究中没有对作业工人苯暴露浓度做多日连续检测,导致吸入暴露浓度数据和风险数据存在一定不确定性。油漆溶

剂中除含苯外,还同时含有二甲苯、乙酸乙酯或乙酸丁酯,本次评估并没有考虑油漆相关作业工人同时吸入暴露以上多种化学物对身体健康影响的联合作用,导致本次评估所得风险值同样存在不确定性。本研究仅对低浓度苯吸入暴露进行了健康风险评估,未考虑皮肤暴露的健康风险,因此,涉苯岗位工人实际对低浓度苯的暴露风险可能高于本研究结果。3家企业涉苯作业工人均没有正确佩戴个体防护用品,导致个体防护无效,故在风险评估时按没有佩戴个体防护用品处理,若工人能够正确有效佩戴个体防护用品,则其健康风险将明显低于本次评估的结果。

唐颖等^[16]在石化企业苯暴露的概率风险评估中利用美国EPA吸入暴露风险模型对涉低浓度苯(均值 $=0.58\text{ mg/m}^3$, $P_{90}=1.39\text{ mg/m}^3$)暴露外操工和分析员的健康风险进行定量评估,结果显示外操工和分析员的职业接触苯的致癌风险分别为 0.43×10^{-4} 和 0.37×10^{-4} ;同时采用概率估算发现外操工和分析员苯职业接触致癌低风险概率分别为88.9%和93.3%,而非致癌性高风险概率均为100%。王爱红等^[17]在木质家具制造企业职业健康风险评估中,应用两种风险评估模型对家具组装和喷漆工人进行健康风险评估,结果发现工龄在5年内的组装和喷漆岗位工人吸入低浓度苯(低于 0.6 mg/m^3)的致癌风险分别为 $(0.1\sim0.3) \times 10^{-4}$ 和 $(0.04\sim0.1) \times 10^{-4}$ 。本研究中除最长工龄(6年)工人吸入暴露低浓度苯致癌风险高于 1×10^{-4} 外,其他吸入暴露低浓度苯岗位工人致癌风险均低于 1×10^{-4} ,但非致癌风险均高于1,与前述研究结果基本一致。

本次评估显示,3家企业涉苯工人在对苯的呼吸暴露浓度低于国家规定的职业接触限值仍存在健康风险。曾汕等^[18]根据苯暴露浓度($>3.25\text{ mg/m}^3$ 、 $0.325\sim3.25\text{ mg/m}^3$ 、 $<0.325\text{ mg/m}^3$)对20世纪70年代以来公开发表的文献资料中的5340名苯暴露工人血常规指标统计后发现,其白细胞、红细胞、血小板、中性粒细胞、淋巴细胞、血红蛋白等血常规指标计数与对照组相比明显降低;当苯暴露浓度高于 3.25 mg/m^3 时,白细胞、红细胞、血小板、中性粒细胞、淋巴细胞、血红蛋白6项血常规指标计数明显下降,即使在低于 3.25 mg/m^3 的暴露浓度下苯也具有血液毒性。而《科学》和《职业与环境医学》杂志也分别于2004年和2015年报道指出,工人暴露在 1 ppm (3.5 mg/m^3)以内的低剂量苯工作场所中,仍有造血毒性的危害^[3,7],而SWAEN等^[19]对Dow公司接触低浓度苯员工的8532份

血样与12173名无苯接触者血样进行对照研究,发现研究组与对照组平均淋巴细胞计数相似;在经过混合模型对吸烟、年龄和采样月份等因素回归校正后显示,研究组血液学参数与对照组差异也无统计学意义,没有发现低苯浓度暴露工人血液学效应风险增加。这一研究成果虽有争议^[8],但确认长期低浓度苯的职业暴露导致骨髓增生异常综合征^[4],并可能导致淋巴造血系统肿瘤^[20]。GLASS等^[9]在2014年的研究结果发现,在低浓度苯暴露中,慢性粒细胞白血病患者中平均暴露浓度为 0.3 ppm (1.04 mg/m^3),骨髓增生性疾病病例的平均暴露浓度为 0.17 ppm (0.59 mg/m^3),以上浓度均明显低于我国苯的职业接触限值。本研究中3家企业相关岗位工人对苯的呼吸暴露浓度较低,虽然符合我国的职业卫生限值要求,但仍有较高的健康风险,这一结果与以上国外研究结果一致。这些研究成果对我国目前苯的职业接触限值安全性提出了质疑。

美国EPA健康风险评估技术是一种基于详实的现场卫生调查和大量的动物实验数据、暴露剂量与效应关系,综合考虑化学物固有危害性、暴露浓度、暴露时间、暴露频率、平均时间(人类期望寿命或平均暴露时间)等多种因素,评估人群暴露化学物所致健康风险的技术^[21]。根据暴露途径的不同,美国EPA健康风险评估技术可以实现对食入、吸入和皮肤接触三种途径暴露化学品的健康风险的评估,技术相对成熟,得到国内外相关学者及环境和卫生领域工作者的高度认可,并得到广泛应用和实践。美国EPA《超级基金风险评估指南第一卷人类健康评估手册(F部分:吸入风险评估补充指南)》推荐的风险模型的局限性在于仅适用于评估化学物质经呼吸暴露途径的健康风险,且仅能评估IUR值和RfC值已知的化学因素,不能评估化学物质摄入和皮肤暴露的健康风险,若要评估化学物质全途径暴露的健康风险,需要将《超级基金风险评估指南第一卷人类健康评估手册》A部分和F部分推荐的评估模型结合使用才能实现。

伴随对苯危害研究的深入,国内外对苯的职业接触限值的规定经历了由松到严的过程。如美国早在1946年,其工业卫生协会(AIHA)推荐将苯的职业接触限值定为 325 mg/m^3 ,到1997年将其降低为 1.65 mg/m^3 。1971年,美国职业安全与健康管理局署(OSHA)将苯的职业接触容许浓度定为 32.5 mg/m^3 ,到1987年将其降低为 3.25 mg/m^3 并使用至今^[5]。在我国,苯的职业接触最高容许浓度从1956年的 50 mg/m^3 降低

到40 mg/m³,并于2002年将其PC-STEL定为10 mg/m³,PC-TWA定为6 mg/m³并使用至今。

基于本研究 and 国内外相关结果,建议对涉苯作业场所进行特殊管理,加强机械设备及管线的密闭性和场所通风效果,在保证苯浓度符合当前职业接触限值的前提下,尽可能地降低作业场所环境中苯的浓度,以降低其健康风险。

参考文献

- [1] HAYES RB, DOSEMECI M, WACHOLDER S, et al. Benzene and the Dose-Related Incidence of Hematologic Neoplasms in China[J]. J Natl Cancer Inst, 1997, 89(14): 1065-1071.
- [2] KOH DH, JEON HK, LEE SG, et al. The relationship between low-level benzene exposure and blood cell counts in Korean workers[J]. Occup Environ Med, 2015, 72(6): 421-427.
- [3] RUSHTON L, SCHNATTER AR, TANG G, et al. Acute myeloid and chronic lymphoid leukaemias and exposure to low-level benzene among petroleum workers[J]. Br J Cancer, 2014, 110(3): 783-787.
- [4] IARC. International Agency for Research on Cancer: Chemical Agents and Related Occupations Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol 100F[M]. WHO, 2012: 257.
- [5] 夏昭林, 孙品, 张忠彬, 等. 苯的职业健康危害研究的回顾与展望[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2005, 23(4): 241-243.
- [6] SNYDER R. Recent developments in the understanding of benzene toxicity and leukemogenesis[J]. Drug Chem Toxicol, 2000, 23(1): 13-25.
- [7] STOKSTAD E. TOXICOLOGY: Factory Study Shows Low Levels of Benzene Reduce Blood Cell Counts[J]. Science, 2004, 306(5702): 1665.
- [8] FRACASSO ME, DORIA D, BARTOLUCCI GB, et al. Low air levels of benzene: correlation between biomarkers of exposure and genotoxic effects[J]. Toxicol Lett, 2010, 192(1): 22-28.
- [9] GLASS DC, SCHNATTER AR, TANG G, et al. Risk of myeloproliferative disease and chronic myeloid leukaemia following exposure to low-level benzene in a nested case-control study of petroleum workers[J]. Occup Environ Med, 2014, 71(4): 266-274.
- [10] 黄丽静, 于碧鲲, 郭志伟, 等. 低浓度苯职业接触健康危害研究[J]. 实用预防医学, 2015, 22(8): 978-980.
- [11] 刘洋, 张巧耘, 韩磊, 等. 低浓度苯作业工人外周血象及尿中苯代谢产物分析[J]. 中国工业医学杂志, 2013, 26(5): 347-349.
- [12] 陈金茹, 钟海盛, 赵转地. 长期低浓度苯系物接触的早期职业健康损害[J]. 职业与健康, 2010, 26(1): 24-26.
- [13] Office of Superfund Remediation and Technology Innovation, Environmental Protection Agency. Risk Assessment Guidance for Superfund Volume I: Human Health Evaluation Manual (Part F Supplemental Guidance for Inhalation Risk Assessment)[R]. Washington, DC: OSWER, 2009: 22-24.
- [14] US Environmental Protection Agency. Integrated risk information system[EB/OL]. (2003-04-17)[2018-03-01]. <https://www.epa.gov/iris>.
- [15] 宁波市疾病预防控制中心. 宁波市居民病伤死亡原因监测年度报告[R]. 宁波: 宁波市疾病预防控制中心, 2017: 1.
- [16] 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, 35(5): 452-456.
- [17] 王爱红, 冷朋波, 边国林, 等. 两种风险评估模型在木质家具制造企业职业健康风险评估中的应用[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2016, 34(10): 756-761.
- [18] 曾汕, 高晨, 张波, 等. 不同苯暴露水平工人血常规指标的meta分析[J]. 环境与健康杂志, 2017, 34(2): 128-134.
- [19] SWAEN GM, VAN AMELSVOORT L, TWISK JJ, et al. Low level occupational benzene exposure and hematological parameters[J]. Chem Biol Interact, 2010, 184(1/2): 94-100.
- [20] SCHNATTER AR, GLASS DC, TANG G, et al. Myelodysplastic Syndrome and Benzene exposure Among Petroleum Workers: An international Pooled Analysis[J]. J Natl Cancer Inst, 2012, 104(22): 1724-1737.
- [21] 冷朋波, 边国林, 王爱红, 等. 美国EPA吸入风险模型在木质家具制造企业职业健康风险评估中的应用[J]. 环境与职业医学, 2014, 31(11): 858-862.

(收稿日期: 2018-04-01; 录用日期: 2018-09-28)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 陈姣; 校对: 王晓宇)