

应用美国 EPA 吸入风险评估模型评估 3 家医药化工企业 职业健康风险

何晓庆¹, 王祚懿¹, 陈强¹, 盛建荣¹, 张美辩²

摘要:

〔目的〕 应用美国 EPA 吸入风险评估模型对 3 家化工制药企业进行职业病危害风险评估, 评价该模型在职业病危害风险评估应用的适用性。

〔方法〕 选择化工制药企业为研究对象, 应用该模型对重点岗位进行风险评估。计算非致癌效应风险值和致癌风险值, 判定化学物所致职业健康风险水平。

〔结果〕 2 家化工企业危害因素的非癌症危害商数 (HQ 值) 为 0.23~18.49, 其中干渣装车岗位吸入硫化氢和磷化氢的 $HQ < 1$, 发生相应的非癌症健康风险的概率较低; 其他岗位吸入危害因素的 $HQ > 1$, 发生相应的非癌症健康风险的概率较高。制药企业中存在盐酸的解析岗位和酸碱配置岗位鼻黏膜喉支气管增生的 HQ 分别为 5.274 和 9.041, 存在较高的非癌症健康风险。化工企业吸入四氯乙烯的癌症风险值 ($Risk$ 值) 为 5.33×10^{-7} , 该岗位发生癌症的健康风险较低, 吸入三氯甲烷的 $Risk$ 值为 1.02×10^{-3} , 该岗位发生癌症的健康风险较高。无法得到相应岗位工人吸入粉尘、二氧化硫、氟化氢、丙酮、氢氧化钠和接触噪声的职业健康风险结果。

〔结论〕 美国 EPA 吸入风险评估模型在化工制药企业职业健康风险评估中有一定的应用价值和局限性, 评估结果可以为企业的职业健康风险管理为提供科学依据。

关键词: 美国 EPA 吸入风险评估模型; 医药化工企业; 癌症风险; 非癌症风险; 职业健康

引用: 何晓庆, 王祚懿, 陈强, 等. 应用美国 EPA 吸入风险评估模型评估 3 家医药化工企业职业健康风险 [J]. 环境与职业医学, 2017, 34 (1): 53-57. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.16276

Application of US EPA inhalation risk assessment model to occupational health risk assessment in three pharmaceutical and chemical enterprises HE Xiao-qing¹, WANG Zuo-yi¹, CHEN Qiang¹, SHENG Jian-rong¹, ZHANG Mei-bian² (1.Environmental and Occupational Health Department, Jinhua Center for Disease Control and Prevention, Jinhua, Zhejiang 321002, China; 2.Environmental and Occupational Health Department, Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China). Address correspondence to ZHANG Mei-bian, E-mail: mbzhang@cdc.zj.cn · The authors declare they have no actual or potential competing financial interests.

Abstract:

〔Objective〕 To evaluate the applicability of the inhalation risk assessment model provided by US Environmental Protection Agency (US EPA) to occupational health risk assessment in three pharmaceutical and chemical enterprises.

〔Methods〕 Three pharmaceutical and chemical enterprises were chosen as study subjects. The US EPA inhalation risk assessment model was used to assess the occupational health risk levels of selected work stations, including cancer and non-cancer risks.

〔Results〕 The related hazard quotient (HQ) values of two chemical enterprises were 0.23-18.49. The HQ values of hydrogen sulfide and hydrogen phosphine inhalation at dry residual loading port were both less than 1, indicating low non-cancer health risks; the HQ values at other work stations were all more than 1, which indicated high non-cancer health risks. The HQ values for hyperplasia of nasal mucosa larynx and trachea caused by hydrogen chloride at two work stations of the selected pharmaceutical enterprise were 5.274 and 9.041 respectively, which indicated high non-cancer health risks. The $Risk$ values of tetrachloroethylene inhalation was 5.33×10^{-7} , indicating low risk of cancer; the $Risk$ values of methenyl trichloride inhalation was 1.02×10^{-3} ,

· 作者声明本文无实际或潜在的利益冲突。

〔基金项目〕 美国 EPA 吸入风险评估模型在职业危害风险评估的技术应用研究 (编号: 2013KYA042)

〔作者简介〕 何晓庆 (1981—), 女, 硕士, 副主任医师; 研究方向: 职业卫生; E-mail: hxq2003.love@163.com

〔通信作者〕 张美辩, E-mail: mbzhang@cdc.zj.cn

〔作者单位〕 1. 金华市疾病预防控制中心环境与职业卫生科, 浙江 金华 321002; 2. 浙江省疾病预防控制中心环境与职业卫生所, 浙江 杭州 310051

indicating high risk of cancer. The inhalation of dust, sulfur dioxide, hydrogen fluoride, acetone, sodium hydroxide, and the exposure to noise were not eligible to the US EPA model.

[Conclusion] The US EPA inhalation risk assessment model is applicable to the occupational health risk assessment in pharmaceutical and chemical enterprises, though with limitations. The assessment results could provide scientific evidence for occupational health risk management in enterprises.

Keywords: US EPA inhalation risk assessment model; pharmaceutical and chemical enterprise; cancer risk; non-cancer risk; occupational health

Citation: HE Xiao-qing, WANG Zuo-yi, CHEN Qiang, et al. Application of US EPA inhalation risk assessment model to occupational health risk assessment in three pharmaceutical and chemical enterprises[J]. Journal of Environmental and Occupational Medicine, 2017, 34(1): 53-57. DOI: 10.13213/j.cnki.jeom.2017.16276

医药化工行业是金华市的重点行业, 生产工艺复杂, 职业病危害因素种类繁多, 是急性职业中毒高发的场所, 所以做好医药化工行业的职业病危害风险评估十分重要。美国环境保护署 (EPA) 吸入风险评估模型是一种定量风险评估方法, 根据空气中化学物浓度、暴露时间、暴露频率、暴露工龄、期望寿命等资料, 计算每日空气摄入量并推导出吸入暴露估算值, 计算吸入风险值, 从而判定致癌风险和非致癌风险水平。本研究应用美国 EPA 吸入风险评估模型的基本理念, 对金华市医药化工企业开展职业病危害风险评估, 并探究其适用性和局限性, 为职业健康风险评估技术研发和职业健康风险管理提供科学依据。

1 对象与方法

1.1 对象

根据企业规模, 选取2家化工企业和1家制药企业为研究对象, 其中2家化工企业分别为制冷剂企业 (大型) 和乙炔厂 (小型), 制药企业为盐酸大观霉素厂 (中型)。

1.2 现场调查

对评估对象开展现场职业卫生学调查, 识别其环境中存在吸入风险的化学性健康危害因素, 并调查其暴露特征、工人工龄等基本信息。

1.3 风险因子识别

通过劳动卫生学调查, 识别所选工作场所中可能存在的职业病危害因素, 确定致癌性或非致癌性化学毒物。

1.4 工作场所空气中有毒化学物浓度监测

根据 GBZ 159—2004《工作场所空气中有毒物质监测的采样规范》和 GBZ/T 160—2004《工作场所空气有毒物质测定》对工作场所空气中有毒化学物质量浓度 (以下简称“浓度”) 进行采样和实验室检测。

1.5 吸入风险评估模型

美国 EPA 吸入风险评估模型来源于《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)》^[1]。该模型将人类吸入化学品所致健康风险分为两类: 癌症风险和非癌症风险。通过人类对化学品的暴露浓度和相应参数, 估算出人类吸入某种化学性健康危害因素所导致癌症风险或非癌症风险的水平。

1.5.1 非癌症风险评估模型 $HQ=EC/(RFC \cdot 1000)$ 。式中, HQ 为非致癌危害商数; EC 为暴露浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [急性暴露时, $EC=CA$; 慢性或亚慢性暴露时, $EC=CA \cdot ET \cdot EF \cdot ED/AT$ 。 CA 为空气中污染物浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), ET 为暴露时间 (h/d), EF 为暴露频率 (d/年), ED 为暴露持续时间 (年); AT 为平均时间 (h), $AT=ED \cdot 365 \cdot 24$ 。当暴露周期持续时间低于1年时, EC 公式中各参数单位为: EF (d/周), ED (周, 暴露期), AT (h, 暴露期)]; RFC 为参考浓度, mg/m^3 。 HQ 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。

1.5.2 癌症风险评估模型 $Risk=IUR \cdot EC$ 。式中, $Risk$ 为癌症风险值; IUR 为吸入单元风险, $(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$; EC 为暴露浓度, $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [$EC=CA \cdot ET \cdot EF \cdot ED/AT$ 。 CA 为空气中污染物浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), ET 为暴露时间 (h/d), EF 为暴露频率 (d/年), ED 为暴露工龄 (年); AT 为平均时间 (h), $AT=$ 期望寿命 (岁) $\cdot 365 \cdot 24$]。其中, 期望寿命值取2014年金华市平均期望寿命79.35岁。 $Risk$ 以 10^{-6} 作为风险限值, 若 $Risk>10^{-6}$, 则存在致癌风险, 风险值越大, 致癌风险越高; 若 $Risk<10^{-6}$, 则致癌风险很小或无风险。

2 结果

2.1 主要职业病危害因素特征分析

通过现场劳动卫生学调查, 识别所选工作场所中可能存在的职业病危害因素, 确定致癌性或非致癌性

化学毒物。制冷剂企业主要的职业病危害因素为氟化氢、硫化氢、氯化氢、氨、三氯甲烷、四氯乙烯和粉尘；乙炔企业主要的职业病危害因素为硫化氢、磷化氢、丙酮和粉尘；制药企业主要产品为盐酸大观霉素，主要职业病危害因素为丙酮、氢氧化钠、氯化氢、药物粉尘和活性炭粉尘。不同企业的主要职业病危害因素暴露岗位、危害因素、暴露人数、暴露时间和暴露工龄见表1。

表1 不同岗位职业病危害因素暴露情况调查表

企业	岗位/工种	危害因素	暴露人数 (n)	暴露时间 (h/d)	暴露频率 (d/周)	平均暴露 工龄(年)
制冷剂	污水处理	硫化氢	3	8	5.25	10.67
		氟化氢				
		氯化氢				
	尾气处理	硫化氢	4	8	5.25	9.5
		二氧化硫				
	134a 催化剂制备	氨	6	8	5.25	7.83
		混合粉尘				
	R22 反应釜	氯化氢	7	4	5.25	5.14
		三氯甲烷				
	143a 反应釜		7	4	5.25	3.71
	141b 反应釜	氯化氢 氟化氢	8	4	5.25	8.38
	134a 反应釜		8	4	5.25	1.88
	HFC125 反应釜	四氯乙烯	8	4	5.25	1.13
		氟化氢				
乙炔	乙炔发生岗位	硫化氢	2	4	5	4
		磷化氢				
	乙炔充装岗位	丙酮	3	4	5	2.5
	干渣装车岗位	硫化氢	1	0.5	5	2
		磷化氢				
	电石破碎岗位	其他粉尘	2	4	5	6
制药	解析	盐酸	4	7	5	3.31
		氢氧化钠				
		丙酮				
	酸碱配置	盐酸	1	4	5	2
		氢氧化钠				
	离心	丙酮	3	5	5	2.70
	包装	药物粉尘	2	5	5	1.54
	粉碎	活性炭粉尘	1	5	5	2

2.2 风险因子识别

根据模型适应条件，美国EPA吸入风险技术仅适用于吸入性化学性职业病危害因素所致癌症和非癌症风险的健康评估，故对识别出的粉尘不适用。通过美国EPA的综合风险信息系统(Integrated Risk Information System, IRIS)数据库，化工企业得到硫化氢、氯化氢、氨、四氯乙烯、三氯甲烷和磷化氢以吸入方式进入人体所致部分健康危害的毒性参考值(RFC

或IUR)；制药企业得到氯化氢以吸入方式进入人体所致健康危害的毒性参考值(RFC)。氟化氢、氢氧化钠和丙酮的毒性参考值目前尚无实验数据，暂时无法使用吸入风险评估模型进行健康风险评估。

硫化氢和氯化氢对人类鼻黏膜刺激，氨气对肺功能有影响，磷化氢对肝肾有损害，四氯乙烯对人类神经系统有损害。根据“1.2.1”对相关岗位工人进行非癌症健康风险评估。四氯乙烯和三氯甲烷具有致癌性，故根据“1.2.2”对遭受其影响的岗位工人进行致癌性风险评估。以上6种职业病危害因素的健康危害及相应的毒性参考值见表2。

表2 危害因素吸入毒性参考值

职业病危害因素	健康危害	吸入毒性参考值
硫化氢	鼻嗅黏膜病变	$RFC=2\mu\text{g}/\text{m}^3$
氯化氢	鼻咽、气管黏膜增生	$RFC=20\mu\text{g}/\text{m}^3$
氨	肺功能下降或鼻炎、肺炎等呼吸道疾病的症状加重	$RFC=100\mu\text{g}/\text{m}^3$
四氯乙烯	神经毒性	$RFC=40\mu\text{g}/\text{m}^3$
	肝癌	$IUR=2.6\times 10^{-7}(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$
三氯甲烷	肝癌	$IUR=2.3\times 10^{-5}(\mu\text{g}/\text{m}^3)^{-1}$
磷化氢	肺肝肾损伤	$RFC=0.3\mu\text{g}/\text{m}^3$

2.3 风险评估结果

评估模型应用过程中，设计的原理参数在具体工作场所中的应用和参考指标参照张美辩等^[2]的评估方法执行。根据各岗位职业卫生监测浓度、暴露时间、暴露工龄和平均时间(或人均期望寿命时间)，参照化学物的RFC和IUR，确定非致癌和致癌化学有害因素暴露水平，结果见表3和表4。

表3显示制冷剂的污水处理、尾气处理、134a 催化剂制备和各反应釜岗位均 $HQ>1$ ，存在较大健康风险。污水处理岗位工人同时具有鼻嗅黏膜病变和鼻咽、气管黏膜增生两种风险；R22 反应釜、143a 反应釜、141b 反应釜和 134a 反应釜均具有鼻咽、气管黏膜增生的风险；尾气处理岗位工人和 HFC125 反应釜工人都具有鼻咽、气管黏膜增生的风险；134a 催化剂自备岗位具有肺功能下降或鼻炎、肺炎等呼吸道疾病的症状加重的健康风险；不同岗位氯化氢导致的非癌症效应风险也不同，各反应釜岗位的风险比污水处理岗位低。乙炔工企业的乙炔发生岗位硫化氢和磷化氢的 $HQ>1$ ，存在较大健康风险；乙炔发生岗位同时具有鼻嗅黏膜病变和肺肝肾损伤两种风险。干渣装车岗位的 $HQ<1$ ，该岗位健康风险较小。制药企业的解析和酸碱配置岗位氯化氢的 HQ 均 >1 ，均存在较大的健康

风险,酸碱配置的风险比解析岗位高;解析岗位和酸碱配置岗位都具有鼻咽、气管黏膜增生的健康风险。

表4显示制冷剂企业的四氯乙烯所致癌症可能性的风险为 5.33×10^{-7} ,小于 10^{-6} ,致癌风险较低,说明在其生命周期中,制冷剂企业的HFC125反应釜岗

位工人呼吸暴露于四氯乙烯发生癌症的健康风险较低。三氯甲烷所致癌症可能性风险为 1.02×10^{-3} ,大于 10^{-6} ,存在较高的致癌风险,说明在其生命周期中,制冷剂企业的R22反应釜岗位工人呼吸暴露于三氯甲烷具有较高的致癌风险。

表3 非致癌效应风险评估

企业	岗位	化学毒物名称	CA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ET (h/d)	EF (d/年)	ED (年)	AT (h)	EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	RFC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	HQ	健康效应	风险判定
制冷剂	污水处理	硫化氢	270	4	300	10.67	93469.2	36.99	2	18.49	鼻嗅黏膜病变	高
		氯化氢	500	2	300	10.67	93469.2	34.25	20	1.71	鼻咽、气管黏膜增生	高
	尾气处理	硫化氢	270	4	300	9.5	83220.0	36.99	2	18.49	鼻嗅黏膜病变	高
	134a 催化剂制备	氨气	450	8	300	7.83	68590.8	123.29	100	1.23	肺功能下降或鼻炎、肺炎等呼吸 道疾病的症状加重	高
	R22 反应釜	氯化氢	2400	4	300	5.14	45026.4	328.77	20	16.44	鼻咽、气管黏膜增生	高
	143a 反应釜		1300	4	300	3.71	32499.6	178.08	20	8.90		高
	141b 反应釜		500	4	300	8.38	73408.8	68.49	20	3.42		高
	134a 反应釜		1600	4	300	1.88	16468.8	219.18	20	10.96		高
	HFC125 反应釜	四氯乙烯	1050	4	300	1.13	9898.8	143.84	40	3.60	神经毒性	高
	乙炔	乙炔发生岗位	硫化氢	1000	4	286	4	35040	130.59	2	65.30	鼻嗅黏膜病变
磷化氢			45	4	286	4	35040	5.88	0.3	19.60	肺肝肾损伤	高
干渣装车岗位		硫化氢	800	0.5	24	2	17520	1.10	2	0.55	鼻嗅黏膜病变	低
		磷化氢	50	0.5	24	2	17520	0.07	0.3	0.23	肺肝肾损伤	低
制药	解析	氯化氢	400	7	330	3.3	28908	105.48	20	5.274	鼻咽、气管黏膜增生	高
	酸碱配置	1200	4	330	2	17520	180.82	20	9.041	高		

[注] CA: 空气污染物浓度; ET: 暴露时间; EF: 暴露频率; ED: 暴露工龄; AT: 暴露周期平均时间 ($ED \times 365 \times 24$); EC: 暴露浓度。

表4 致癌效应化学有害因素暴露水平

行业	岗位	化学毒物名称	CA ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	ET (h/d)	EF (d/年)	ED (年)	AT (h)	EC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	IUR ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹	致癌风险	风险判定
化工	HFC125 反应釜	四氯乙烯	1050	4	300	1.13	695106	2.05	2.6×10^{-7}	5.33×10^{-7}	低
	R22 反应釜	三氯甲烷	5000	4	300	5.14	695106	44.37	2.3×10^{-5}	1.02×10^{-3}	高

[注] CA: 空气污染物浓度; ET: 暴露时间; EF: 暴露频率; ED: 暴露工龄; AT: 暴露周期平均时间 ($79.35 \times 365 \times 24 = 695106$); EC: 暴露浓度。

3 讨论

美国 EPA 吸入风险评估模型包括癌症风险和非癌症风险。其中,癌症风险评估是将特定人群之前所有暴露周期内吸入化学物浓度等效为其整个生命周期平均暴露化学物浓度后,评估其一生中致癌的风险水平。非癌症风险评估是将特定人群不同暴露周期内吸入化学物浓度等效为工龄内所有时间平均吸入化学物浓度来评估其非致癌类健康风险水平。

美国 EPA 吸入风险评估模型已在电镀行业和本制家具制造行业中探讨应用^[3-4],本次应用该评估模型对化工和制药企业进行职业健康风险评估。化工企业主要化学毒物为氯化氢、硫化氢、氨和四氯乙烯;本次研究对 IRIS 数据库可查询到 RFC 或 IUR 的氯化氢、硫化氢、氨、四氯乙烯、三氯甲烷和磷化氢进行风险评估。制药企业存在的主要职业病危害因素有盐酸、氢氧化钠、丙酮和药物粉尘,本次研究对 IRIS 数

据库可查询到 RFC 或 IUR 的氯化氢进行风险评估。氯化氢对眼和呼吸道黏膜有较强的刺激作用,对皮肤也有刺激作用,文献报道职业性氯化氢中毒患者出现呼吸系统刺激症状和神经系统症状^[5]。硫化氢中毒已成为导致急性职业中毒的主要毒物之一,发病率和死亡率一直居高不下。高浓度吸入时可直接麻痹呼吸中枢而立即使人窒息,造成“电击样”死亡,低浓度对中枢神经系统、呼吸道和眼都有不同程度刺激症状^[6-7]。氨是常见的职业病危害因素,吸入后对呼吸道具有强烈的刺激和腐蚀作用,中毒后病死率也较高。职业性氨中毒患者常出现呼吸困难、肺功能下降、气管黏膜损害、咽喉部肿胀肥厚等呼吸系统损害症状和体征,易合并肺部感染,预后较差,严重者呼吸衰竭或多脏器功能衰竭死亡^[8-9]。磷化氢属高毒类,吸入中毒者早期症状以呼吸系统及神经系统为主,可出现咳嗽、气短、胸闷、发绀,严重者出现肺水肿。中枢神经系统

症状主要表现为头晕、头痛、乏力、失眠、精神不振、烦躁、复视、共济失调,严重者意识障碍、昏迷、抽搐等^[10]。虽然国内未见报道四氯乙烯和三氯甲烷导致癌症的病例,但GBZ 2.1—2007《工作场所有害因素职业接触限值第一部分:化学有害因素》标准中明确四氯乙烯为可能的人类致癌物,三氯甲烷为可疑的人类致癌物。

尽管根据我国目前的职业卫生标准判断,3家企业工作岗位的有害因素浓度均未超过职业接触限值,但是大部分岗位职业健康风险水平均高于风险界值,说明工作场所有害因素浓度不超标并不意味着对作业工人健康不产生影响。制冷剂企业全部工作岗位接触不同有害因素的非致癌风险水平、四氯乙烯和三氯甲烷癌症风险水平均高于风险界值。乙炔企业的发生岗位硫化氢和磷化氢的非致癌风险高于风险界值,干渣装车岗位硫化氢和磷化氢的非致癌风险低于风险界值。制药企业的全部工作岗位接触不同有害因素的非致癌风险均高于风险界值。

该模型局限性在于未考虑粉尘以及物理因素的风险评估,对于美国EPA官方网站未给出*IUR*和*RFC*值的因素,无法进行评估。医药化工行业与电镀行业主要职业病危害因素以化学物为主,经呼吸道吸入是其主要暴露途径,员工的暴露特征与美国EPA评估模型适用条件非常吻合,所以美国EPA模型在这两种行业评估上有一定的优势。木质家具制造行业主要职业病危害因素因既有通过呼吸暴露途径接触的急性化学性危害因素和粉尘,又有其他途径接触的物理危害因素。美国EPA评估模型仅适应于吸入性化学性职业病危害因素所致癌症和非癌症风险的健康评估,对存在粉尘和噪声危害因素岗位较多的行业具有一定的局限性。

我国的GBZ 230—2010《职业性接触毒物危害程度分级》是以毒物的急性毒性、扩散性、蓄积性、致癌性、生殖毒性、致敏性、刺激与腐蚀性、实际危害与后果共9项指标为基础的定级标准,是对工作场所进行有毒作业分级和分类管理的标准,反映职业性接触毒物对劳动者健康危害的可能性,不是职业性接触毒物的实际危害程度。美国EPA吸入风险评估模型是根据*IUR*或*RFC*定量和定性评估由化学性职业病危害因素呼吸暴露后所致的急性慢性职业中毒和肿瘤的风险水平,客观性较强,但仅限于IRIS中存在的化学毒物。

美国EPA吸入风险评估模型适用于急性慢性化学中毒、肿瘤等职业病危害风险评估,可对产生和使用

化学毒物的各种行业进行定量风险评估。根据我国目前的职业卫生标准判断岗位未超过职业接触限值,通过EPA吸入风险评估模型更能够准确地评估化学危害因素可能引起的潜在职业病危害风险。由此可以推断,美国EPA吸入风险评估模型与我国当前的职业卫生标准相比,敏感度更高,更容易识别危险作业,且能够根据风险值的高低对危害程度进行量化,从而有利于识别重点岗位,并采取相应的预防控制措施。因此,该模型的评估结果可以为化工制药行业以及其他行业的职业健康风险管理提供科学依据。

参考文献

- [1] 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]. EPA-540-R-070-002, OSWER 9285.7-82. Washington: Environmental Protection Agency, 2009.
- [2] 张美辨, 张鹏, 邹华, 等. EPA吸入风险评估模型在职业危害风险评估中的应用 [J]. 浙江预防医学, 2012, 24 (12): 46-49.
- [3] 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.
- [4] 郑文慧, 王志平, 柴鹏飞, 等. 美国EPA吸入风险评估模型在某电镀企业职业危害风险评估中的应用 [J]. 环境与职业医学, 2014, 31 (10): 764-769.
- [5] 李艳萍, 张立仁, 熊永根. 急性氯化氢吸入中毒144例临床报告 [J]. 工业卫生与职业病, 2007, 33 (1): 51-52.
- [6] 李凤娟. 急性硫化氢职业中毒的探讨 [J]. 职业与健康, 2011, 27 (23): 2794-2796.
- [7] 蒋元强, 姜永根, 孙中兴, 等. 一起硫化氢中毒死亡事故调查 [J]. 职业卫生与应急救援, 2013, 31 (6): 306-307.
- [8] 刘桂桃, 罗玲, 杨春霞, 等. 职业性急性氨中毒患者治疗一年内随访观察 [J]. 环境与职业医学, 2010, 27 (3): 186-188.
- [9] 何为, 李思惠. 急性氨吸入损伤发病特征及救治要点临床研究 [J]. 中国职业医学, 2012, 39 (5): 396-397, 400.
- [10] 吴娜, 夏玉静. 急性磷化氢中毒研究进展 [J]. 中国职业医学, 2012, 39 (4): 345-347.

(收稿日期: 2016-03-28; 录用日期: 2016-09-12)

(英文编辑: 汪源; 编辑: 汪源; 校对: 王晓宇)