

化学物质职业暴露健康风险分级方法的研究及应用

黄德寅, 薄亚莉, 管树利, 陈会祥, 王卉

(天津渤海化工集团公司劳动卫生研究所, 天津 300051)

建设项目职业病危害评价作为职业病前期预防的措施, 是职业卫生技术服务的主要内容。本文借鉴新加坡的有害化学品职业暴露半定量风险分析方法^[1], 并根据我国国情在危害等级、暴露等级的确定及风险控制的优先权确定等方面均进行了进一步的发展, 建立了适用于我国工作场所化学物质职业暴露健康风险分级的方法^[2]。现将我们在建设项目职业病危害预评价工作中应用化学物质职业暴露健康风险分级方法进行风险评估的实践和认识进行交流和讨论。

1 风险等级评估方法概述

风险表示特定危险源产生危害的可能性, 是危害和暴露和函数^[3]。风险等级评估是指具体条件下化学或物理暴露导致的有害事件(死亡、伤害或损失)的等级或概率; 职业健康风险评估是对人员暴露在职业危险环境下可能产生的有害健康影响的特征描述, 是对特定物质产生健康风险的识别和量化。

风险矩阵半定量分析方法对工作场所化学物质职业暴露健康风险进行等级评估, 风险等级评估的内容主要包括四部分: (1) 风险辨识; (2) 危害等级; (3) 暴露等级评价; (4) 风险等级确定及评价风险。其主要程序: 首先通过系统地识别化学品危害, 评价暴露或者暴露的可能性, 进行危害等级 HR 及暴露等级 ER 的评价, 然后通过公式 $Risk = [HR \times ER]^{1/2}$ 计算风险, 判断其风险水平, 确定风险等级, 根据不同水平的风险等级, 决定相应风险的防控措施优先级, 以采取有效的防护控制措施。通过计算将风险划分为 5 个等级, 也可根据风险级别矩阵图确定风险等级, 判断其风险水平。并根据不同水平的风险等级, 决定相应风险的防控措施优先级。结合我国职业卫生现状, 将优先控制风险措施从工程技术措施、职业卫生管理措施和操作规程、应急救援预案、职业健康监护策略、职业卫生培训等方面进行。

2 风险等级评估的主要内容

2.1 风险辨识

危害识别是风险评估的关键步骤, 工作场所存在哪些危害, 谁遭受危害和如何遭受危害, 危害产生的条件以及危害存在于哪些场所或生产环节等问题, 确保识别出所有可能存在的风险因素和可能暴露的人员等。为了辨识潜在的危害, 需要对工厂的工艺流程、工人操作环境和操作程序等有一个全面的了解。潜在危害识别的好坏和所获得资料的多少及职业卫生调查质量有很大关系, 不同来源的资料有不同的侧重点, 要全面考虑所有的资料从而得到综合的潜在危害。

在风险辨识过程中, 潜在危害和识别调查的内容包括生产工艺、包装运输、原辅料的使用量以及产品贮存等。辨识物质物化特性包括毒性、蒸气压、闪点、自燃点、燃爆范围、气味、腐蚀性、溶解度等。毒性分为急性和慢性作用, 还必须考虑挥发速率、挥发性、流动性和蒸气密度等物理性质。

2.2 化学物质暴露危害等级 (hazard rating HR) 评价

确定危害等级是实施风险评估的重要环节, 对识别出的化学物质危害因素, 明确其对人体可能造成危害的潜在能力, 这些危害的潜在能力对危害实际造成的可能后果以及风险水平起到重要的作用。不同的化学物质有不同的性质和毒性, 暴露于化学物质的方式和水平可能导致不同的健康影响, 对于化学物质的毒效应, 要通过综合分析确定。

确定危害等级综合考虑国外危害等级划分的原则: 综合考虑化学物质固有的毒性, 致癌、致突变和致畸等特性, 还根据化学物质的急性毒性、刺激性、腐蚀性及粉尘的特性和造成的后果等指标划分危害等级。结合我国国情将职业健康监护与职业流行病学资料中化学物质产生的明确健康效应、健康损害的可逆性等列入危害分级内容, 并将我国颁布的《高毒物品目录》作为确定危害等级的分级依据之一。见表 1 与表 2

表 1 依据有毒作用影响/危害分类结果划分危害等级

HR	作用影响/危害分类的描述
1	不确定的健康危害影响及未归类的有毒或有害物质; 职业健康监护与流行病学资料中未见明确健康影响; IARC G4 (未列为人类致癌物); 未按有毒或有害分类
2	对皮肤、眼睛、黏膜的可逆的结果或者并未造成严重的健康损害; 职业健康监护与流行病学资料中可见有健康影响为可逆的; IARC G3 (对人及动物致癌性证据不足); 皮肤过敏和刺激物质
3	可能为人类或动物致癌物或致突变物, 但尚无充足证据; 职业健康监护与流行病学资料中可分析到剂量效应关系, 健康影响一般为可逆的, 没有可靠的充足证据的流行病学资料; IARC G2B (可疑人类致癌物); 腐蚀性物质 (PH 3~5 或 9~11), 呼吸性敏感物质, 有害化学物质
4	基于动物研究的很可能人类致癌物、致突变物或致畸物; 职业健康监护可分析到有明显剂量与健康效应关系, 健康影响出现不可逆的并有可靠的流行病学资料证实; IARC G2A (可能人类致癌物); 高腐蚀性物质 (PH 0~2 或 11.5~14), 有毒化学物质作用影响/危害分类的描述
5	已知人类致癌物、致突变物或致畸物; 职业健康监护可分析到有明显剂量与健康效应关系, 流行病学资料中有典型病例报告; IARC G1 (确认人类致癌物); 高毒化学物质 (列入我国高毒物品目录)

收稿日期: 2008-02-13 修回日期: 2008-06-17

作者简介: 黄德寅 (1962-), 女, 主任医师。

表 2 依据急性毒性划分危害等级^[1]

HR	鼠经口吸收 LD ₅₀ (mg/kg)	鼠或兔经皮 吸收 LD ₅₀ (mg/kg)	鼠经吸入吸收 (气体和蒸气) LC ₅₀ [mg/(L·4h)]	鼠经吸入吸收 (浮质和微粒) LD ₅₀ [mg/(L·4h)]
2	> 2 000	> 2 000	> 20	> 5
3	> 200 ≤ 2 000	> 400 ≤ 2 000	> 2.0 ≤ 20	> ≤ 5
4	> 25 ≤ 200	> 50 ≤ 400	> 0.5 ≤ 2.0	> 0.25 ≤ 1
5	≤ 25	≤ 50	≤ 0.5	≤ 0.25

注: LD₅₀为半数致死量, LC₅₀为半数致死浓度。

实际应用中可能会出现与依据表 1 表 2划分的危害等级不同的情况, 为确保劳动者的职业健康与安全, 应选择高级别等级进行风险等级评估。

2.3 化学物质暴露等级 (exposure rating ER) 评价

化学物质对人体的健康危害作用还取决于化学物质的性质、蒸气压、暴露的浓度和时间、暴露量、暴露途径等因素, 这些均需要以正确可靠的职业暴露调查资料为基础, 主要应用职业流行病学方法与风险识别同步进行。并非在调查中所有的暴露因素都被应用于风险评估, 要在实际应用中分析参数是否可用, 然后根据职业暴露评估确定采用的暴露因素或暴露指数决定暴露等级。

2.3.1 主要暴露因素

2.3.1.1 蒸气压与粉尘微粒的直径 化学物质暴露危险常与某些物化特性有关, 如液体及气态化学品的蒸气压、嗅闻、固体化学品粉尘微粒的直径等因素。

因实际应用中, 经常用到蒸气压力的计算。蒸气压力依赖于温度, 当液体温度升高时, 其蒸气压力使用 Antoine 方程确定。

$$\lg P = A - \frac{B}{T + C}$$

式中 P 为气压 (bar), 1 bar = 100 kPa; T 为热力学温度 (K); A、B 和 C 均为特征参数, 称为安托因常数。许多物质的安托因常数在物性手册中可以查到。

当有害化学物质是一种固体时, 其吸入危险依赖于其在空气中粉尘微粒的大小, 这需要进行识别判断, 根据固体粉尘释放的潜力可以简单的进行定性分类^[1], 见表 3。

表 3 粉尘程度分类

粉尘的程度	使用固体化学物质产生粉尘的描述
低	不分裂的球状固体, 使用中很少有粉尘
中	晶状、粒状固体, 使用时形成粉尘, 但很快沉降, 使用后粉尘留在表面上, 如金属切割形成的大部分粉尘
高	细、轻的粉末, 使用时可以看到形成粉尘云, 在空中停留几分钟, 如水泥、煤粉、电焊烟尘等

固态颗粒的吸收取决于其粒径, 即微粒在空气动力学中的直径, 可以应用公式进行空气动力学直径的计算。

2.3.1.2 嗅闻 (Olfaction threshold OT) 嗅闻即为通过嗅觉感官察觉到的最低气味水平。化学物质气味的强度依赖于它在空气中的浓度, 只有达到一定的浓度才能感觉到它的气味, 亦即需要达到嗅闻。不言而喻, 感知到气味即说明化学物已经达到了某种特定浓度。根据该化学物的嗅闻资料可初步判断其在空气中的浓度, 通过与职业接触限值比较, 将会了解

其达到了何种暴露程度。

许多化学物质无色无味, 还有某些毒物中毒浓度及制定的职业接触限值低于人的嗅闻, 所以这些物质的少量泄漏有可能很长时间不被人们觉察。在评价工作中不能单纯依据气味来作为接触该化学物可能发生潜在危害的警戒值^[3]。

2.3.1.3 暴露剂量与健康效应 化学物质对人体的健康危害作用与暴露剂量是密切相关的, 剂量-反应关系是在各种调查与实验数据的基础上估算出来的, 所以人群流行病学调查资料是最可靠的首选资料。但多数情况下, 很难得到充足的人群暴露与相应反应的数据资料, 特别是低剂量、长期暴露的情况。在评价工作场所中某特定化学物质的健康影响时, 可应用化学物质未观察到有害作用水平 (NOAEL) 或可观察到最低有害作用水平 (LOAEL) 将职业人群暴露或可能暴露的暴露值 M (监测暴露量) 与 NOAEL 比较, 分析暴露剂量与健康效应强度之间的关系。

2.3.1.4 暴露量 在进行预评价中, 通过同类企业作业工人在基本相同职业暴露等情况下类比监测资料或可靠的职业流行病学资料进行分析, 如检测结果经分析可以采用, 通过下面公式估算平均每周工作时间的有毒物质暴露量 E:

$$E = \frac{F \times D \times M}{W}$$

其中: E—周暴露量 (mg/m³)

F—每周的暴露频率 (次/周)

M—类比监测暴露量 (mg/m³)

D—每次暴露的平均时间 (h)

W—平均周工作时间 (40 h)

周暴露量 E 与我国职业接触限值进行比较, 对于任意一天中短时间暴露不足 15 min 暴露量 E 应该与 PC-STEL 相比较, 进而得到预测暴露量因素下的暴露指数。

2.3.1.5 使用量与暴露时间 化学物质使用量, 使用时采用的防护及培训、暴露的时间等, 均为暴露等级评估必须要考虑的因素。这两个暴露因素均是基于周暴露时间而考虑的。

2.3.1.6 职业危害控制措施 主要包括卫生工程防护措施、职业卫生管理措施和操作规程、应急救援预案、健康监护策略、职业卫生培训等方面。

工程技术措施是消除或降低风险的最有效措施, 化学物质暴露的可能性很大程度上受卫生工程技术控制措施和它们的效能所决定。

职业卫生管理措施和严格的操作规程主要是为风险控制提供了制度的保障。培训可以帮助工人了解危险品对健康的危害, 采取合理的保护措施, 并及时发现中毒或暴露过量的早期症状。

对于容易发生急性中毒的化学物质而言, 应急救援预案是否完善对风险控制起到了至关重要的作用, 对工人的现场紧急自救与互救知识的培训也是相当重要的。

健康监护可以通过筛选职业禁忌证来确定工人是否适合做这份工作, 并给出其工作前的健康基准。在岗期间定期健康检查能尽可能早的发现身体状态的显著变化, 及时发现疑似病例, 使得工人及时脱离暴露并得到诊治。

2.3.2 暴露等级划分 据化学有害物质的理化性质、毒理学平等的相关资料评价暴露等级。根据确定使用的暴露因素确定暴露指数 E_I 见表 4

表 4 暴露因素和指数划分

暴露因素	暴露指数 (E_I)				
	1	2	3	4	5
蒸气压力或空气动力学直径	< 0.1mm Hg 粗糙的块状或湿材料	0.1~1mm Hg 粗糙和干燥的粒状材料	> 1~10mm Hg 干燥和小颗粒 > 100 μ m	> 10~100mm Hg 干燥的和 10~100 μ m 的材料	> 100mm Hg 干燥的和 > 10 μ m 的材料
OT/OEL*	< 0.1	0.1~0.5	> 0.5~1	> 1~2	> 2
E/OEL*	< 0.1	0.1~0.5	> 0.5~1	> 1~2	> 2
M/NOAEL*	< 0.1	0.1~0.5	> 0.5~1	> 1~2	> 2
职业危害控制措施	适当的工程控制和定期的维护等	适当的控制和不定期的维护	适当的控制, 没有维护, 粉尘程度高	控制不当, 粉尘程度中	无控制措施, 粉尘程度高
	完善的应急救援体系并定期演练	较完善的应急救援预案不定期演练	不完善的应急救援预案不定期演练	简单的应急救援预案, 不进行演练	无应急救援预案
	完善的职业卫生管理体系并定期监督	职业卫生管理体系有缺陷	职业卫生管理不定期监督	职业卫生管理未建立监督	未建立职业卫生管理体系
	健康监测策略完善	个别项目不规范	不定期不规范	有时健康监测	无健康监测
每周使用量	几乎可以忽略的使用量 (< 1 kg或 L)	小用量 (1~10 kg或 L)	中等用量 (10~100 kg或 L), 使用者接受过培训	大用量 (100~1 000 kg或 L) 使用者接受过培训	大用量 (> 1 000 kg或 L), 使用者未接受过培训
每周累计暴露时间	< 8 h	8~16 h	16~24 h	24~32 h	32~40 h

*: OT为气体的嗅闻 (mg/m³) E为每周工作时间暴露量, M为类比监测或实际监测暴露量。

暴露等级 (ER)分类依据如下方程从暴露指数 (E_I)来确定:

$$ER = [E_1 \times E_2 \times \dots \times E_n]^{1/n}$$

n为使用的暴露因素个数。

2.4 风险等级的确定及评价风险

2.4.1 风险等级的确定 通过公式 $Risk = [HR \times ER]^{1/2}$ 计算风险等级。

平方根限制了风险值在 1 到 5 的范围。当风险等级不是一个整数时, 应该取最接近的值 (四舍五入)。将风险划分为 5 个等级, 即 1 级——可忽略风险、2 级——低风险、3 级——中等风险、4 级——高风险、5 级——极高风险, 依据风险等级确定每一项任务和等级的风险。另外, 也可选择风险级别矩阵图 (图 1) 来确定风险水平。

ER \ HR	1	2	3	4	5
1	1 可忽略	1.4 可忽略	1.7 低	2 低	2.2 低
2	1.4 可忽略	1.7 低	2.4 低	2.8 中等	3.2 中等
3	1.7 低	2.4 低	3 中等	3.5 高	3.9 高
4	2 低	2.8 中等	3.5 高	4 高	4.5 极高
5	2.2 低	3.2 中等	3.9 高	4.5 极高	5 极高

图 1 风险级别矩阵图

2.4.2 评价风险 评价风险是指将风险等级计算结果与风险可接受水平进行对比。

得到风险等级后, 必须决定风险能否被接受, 哪些风险应该优先考虑, 来确定风险优先权, 并有针对性的提出风险控制措施, 从而更加有效地进行风险管理的研究及实施。见表 5。

表 5 风险优先处理表

风险优先权	风险控制行动
极高风险	不可接受, 必须立即改进或重新设计工艺和设备, 重新设计工程技术控制措施, 或用低毒物质代替高毒物质, 必要时采取封闭措施隔离操作, 改进后需要对该类风险重新进行评价, 必要时应进行定量分析。
高风险	应采取改进措施, 首先调整工程技术控制措施的设计, 采取严格的职业卫生管理措施减少暴露, 经常性的进行培训和定期规范进行职业健康检查, 并且需要对该类高风险进行日常监测等, 控制并降低风险。对该类风险要每年进行一次风险评价, 并应进行定量分析。
中等风险	人们对这类风险会表示关注, 愿意继续维持现行的措施预防和控制。对这类风险 2 年进行一次风险评价, 并通过进行日常监测等措施控制风险。
低风险	人们并不担心这类事故发生, 但应定期监测, 每 3 年进行一次风险评价, 以确保这类风险等级不会发生变化。

3 风险等级评估方法的应用

3.1 在建设项目职业病危害评价工作中的应用

本文主要对风险等级评估方法在预评价中的应用进行了讨论, 根据风险等级评估的功能及我们工作的实践经验, 这种方法完全可应用于控制效果评价及现状评价。在不同阶段进行风险评估的目的都是为寻求企业职业危害的发生率最低, 最大限度的保护劳动者的职业健康, 使得企业职业卫生投资效益最优。

3.1.1 预评价 在建设项目可行性研究阶段进行的风险评价, 其目的是预测风险的可能性, 提供职业卫生防护设施设计的依据和可靠性资料, 使职业危害的可能性和危险性在规划、设计阶段或施工之前得到解决, 起到事半功倍的作用。

3.1.2 控制效果评价 建设项目完成以后, 在投入试生产运

行阶段经过职业卫生现场调查、检测和风险评估,通过风险评估分析已有的职业卫生措施及设施的完备性、有效性。

3.1.3 现状评价 在建设项目运行阶段的现状评价,对工艺过程、设备、工作环境、人员素质和管理水平等情况定期进行系统的风险评估,以确定职业卫生管理对策及措施,保护劳动者职业安全与健康。

3.2 对建设项目的职业病危害进行分类

《建设项目职业病危害分类管理办法》中提出明确要求,职业卫生服务机构应当依据工作场所可能存在职业病危害因素的毒理学特征、浓度(强度)、潜在危险性、接触人数、频度、时间、职业病危害防护措施和发生职业病的风险程度等进行综合分析后,对建设项目的职业病危害进行分类。

风险等级评估方法与国家现行规定中提出的要求是完全相符的,又解决了目前职业卫生服务机构的技术难点,我们在建设项目职业病危害评价实践工作中通过大量实例应用进行了验证。在建设项目职业病预评价工作中根据风险评估得出的综合结论进行分类原则见表6

表6 建设项目职业病危害分类原则

风险等级	建设项目职业病危害分类	建议分类管理的原则
极高风险	职业病危害严重	职业病危害控制措施不可行
高风险	职业病危害严重	每年要进行一次风险评估
中等风险	职业病危害一般	每2年进行一次风险评估
低风险	职业病危害一般	每3年可进行一次风险评估
可忽略风险	职业病危害轻微	一般可4~5年重新进行评价

注:任何工艺、原料等发生变化,均需要立即重新进行风险评估。

3.3 指导进行风险管理

在国家卫生行政部门对职业病危害建设项目实行分类管理提供科学依据的基础上,在建设项目不同阶段进行风险评估可以实现防护措施与风险等级相配套的风险管理模式,实现职业卫生技术服务与职业卫生管理的标准化和科学化。

根据风险评估结果,不同等级的风险应采取不同的防控措施,可以进行风险控制的优先权确定。在高风险等级,必须提供并使用有效的个人防护用品,但注意个人防护用品的有无不能用于工作场所职业暴露的健康风险评估,也不能作为风险管理中降低风险的手段。风险的优先预防和控制必须从工程技术措施、职业卫生管理措施和操作规程、应急救援预案、健康监护策略、职业卫生培训等方面进行。即使评价得到的风险值是可接受的,仍有可能随着时间等情况而发生变化,所以对潜在有害暴露风险等级进行定期监测,按周期实施监督也是很重要的。

综上所述,风险评估过程伴随着对劳动者健康和工业加工过程严重后果的决策。因此,风险评估的重要性几乎无法估计,对控制和消除职业病危害,防治职业病,保护劳动者健康,对国家生产力的发展和社会经济的全面发展都是至关重要的。

参考文献:

- [1] A Semi-Quantitative Method to Assess Occupational Exposure to Harmful Chemicals. Ministry of Manpower Occupational Safety and Health Division Singapore [J]. 2005
- [2] 黄德寅,管树利,薄亚莉,等.有毒物质职业暴露健康风险评估[J].中华劳动卫生职业病杂志,2007,25(8):512
- [3] 刚葆琪,甘卉芳.工业化学物嗅闻值用作警示指标的探讨[J].工业卫生与职业病,2002,28(3):167-170

工作场所多种有毒物质混合接触时职业接触限值的应用

吕琳

(北京市疾病预防控制中心建设项目卫生评价所,北京 100020)

大多数职业接触限值为单一化学物质制定的。然而,劳动者在工作环境中通常同时接触多种化学物质,对劳动者接触的职业病危害程度进行准确的分析、评价,才能确保劳动者不出现健康损害。

化学混合物的交互作用可能有几种模式,如多种成分的联合生物学效应等于每种化学物质单独作用之和,为相加作用;如联合的生物学效应大于每种化学物质单独作用之和,为协同作用;如联合的生物学效应小于每种化学物质单独作用之和,为拮抗作用。

1 相关标准中有关相加模式的规定

GBZ 1-2007《工作场所有害因素职业接触限值 第1

部分:化学有害因素》附录A正确使用说明中指出:当工作场所中存在两种或两种以上有毒物质时,若缺乏联合作用的毒理学资料,应分别测定各化学物质的浓度,并按各种物质的职业接触限值进行评价。当两种或两种以上有毒物质共同作用于同一器官、系统或具有相同的毒性作用(如刺激作用等)或已知这些物质可产生相加作用时,则应按下列公式计算结果,进行评价。

$$C_1/L_1 + C_2/L_2 + \dots + C_n/L_n = 1$$

式中 C_1, C_2, \dots, C_n 代表各化学物质所测得的浓度;

L_1, L_2, \dots, L_n 代表各化学物质相应的容许浓度限值。

据此算出的比值 ≤ 1 时,表示未超过接触限值,符合卫生要求;反之,当比值 > 1 时,表示超过接触限值,则不符合卫生要求。

美国政府工业卫生师协会 (ACGIH) 制定和发布的阈限

收稿日期:2008-11-17

作者简介:吕琳(1963-),女,硕士,副研究员,研究方向:卫生工程、建设项目职业病危害评价。