

## · 职业病危害控制 ·

## 国外工作场所危险性评价和管理模式介绍

王忠旭

危险性评价(risk assessment)是一个简单的概念,它是识别工作场所存在什么危害(hazards),评价这些危害引起人身伤害(harm)可能性的一个过程,其目的是为了确定并提出相应的预防和控制措施<sup>[1]</sup>。危险度管理是用于建立危险与管理之间的相互联系,依据危险性水平,确定能够减少伤害的相应控制措施,使其持续改进成为可能的一个管理过程<sup>[2]</sup>。为了预防或控制环境(或职业)危害,美国国家研究委员会(NRC)于 1983 年在 1 份文件中提出了危险性评价和危险度管理理论。自此,欧洲的一些国家和美国、澳大利亚、新加坡等国针对工作场所的职业危害问题,相应建立了有关工作场所的危险性评价和管理方面的应用指南,形成了工作场所危险性评价与管理的系统模式。

## 一、国外研究现状

危险性评价和管理理论始于 1983 年,由美国 NRC 首先提出,并将其划分为危害识别(hazard identification)、剂量-反应评价(dose-response assessment)、暴露评价(exposure assessment)和危险度描述(risk characterization)4 个阶段。自此,围绕危险性评价与管理的 4 个阶段对环境污染物致机体危害的危险性评价技术和方法得到了广泛应用。美国环境保护局(EPA)针对不同危害相继建立了致突变、致生殖毒性、致神经毒性和致癌等危险性评价指南、暴露评价指南、化学混合物暴露评价指南和补充指南<sup>[3-6]</sup>;联合国环境程序、ILO 和 WHO 联合发布的环境健康标准(EHC210、214)提出了化学物暴露人体健康危险性评价原则和人体暴露评价<sup>[7,8]</sup>;欧洲化学品管理署(ECB)于 2003 年修订了化学物质危险性评价技术指南文件<sup>[9]</sup>。国际组织从不同侧面规范了环境污染物对人类健康危害的评价技术与方法。有些国家为了预防和控制工作场所的职业危害,依据国际组织提出的指导文件或标准分别建立了适合本国使用的工作场所危险性评价模式。澳大利亚 1999、2004 年在澳大利亚标准(AS/NZS)中建立了危险度管理标准<sup>[2]</sup>;罗马尼亚 1998 年参照欧洲标准(EN 292/1-19, EN 1050/96)建立了职业性事故和疾病的危险性评价方法<sup>[10]</sup>;新加坡针对有害化学物质建立了职业化学物质暴露的危险性评价指南<sup>[11]</sup>;罗马尼亚、美国、澳大利亚等国工作场所危险性评价方法综合考虑了安全与健康两方面的内容,其危害的后果包括安全事故和疾病,新加坡是仅对有害化学物质建立的工作场所危险性评价方法;我国目前尚无危险性评价与管理的系统模式。危险性评价是识别、评价和管理危险,是由多步骤组成的系统的关联过程。不同国家采用的危险性评价步骤各有不同。欧洲国家一般使用 5 步骤危险性

评价,近来伦敦危害中心简报(2004)提出了 10 步骤危险性评价<sup>[12]</sup>;罗马尼亚的危险性评价采用了 6 个强制性阶段;美国 CDC 和澳大利亚采取了 6 步骤评价方法<sup>[2,13]</sup>;新加坡的危险性评价包括了 11 个步骤。尽管各国采用的评价步骤有所不同,但工作场所危险性评价的系统模式都涵盖了 5 个方面的内容:(1)危害识别;(2)谁可能遭受危害,如何遭受危害;(3)评价危害产生的危险性和现行防护措施是否充分、有效以及进一步应该采取的措施;(4)记录评价结果;(5)必要的跟踪评价。不同国家建立的危险性评价与危险度管理的基本操作程序都是围绕这 5 个方面展开评价与管理工作的。危险性评价的结果用于危险度的管理,针对不同的危险程度,提出防控措施,并对防控措施效果进行评价和危险度的跟踪评价。危险性评价是完成评价与管理工作的关键技术。

## 二、危险性评价理论

工作场所危险性评价所依据的理论有所不同,关键技术是危险因素造成人体伤害的危险性水平的确定。危险因素可能造成人体伤害的严重程度、危害事故发生概率或暴露水平是确定危险性水平的重要指标。罗马尼亚确定危险性评价的基本原理是将系统的安全水平( $y$ )和危险程度( $x$ )作为 2 个定量指标,以两者的函数关系  $y = f(x)$  为基础,危险性越低,安全性越大;危险性越大,安全性越小,其两者的关系式应为:  $y = 1/x$ 。同样,系统发生的事故越严重,发生概率越小;事故越轻,发生概率越大。因此,危害事故的严重程度和事故发生概率两者之间的关系也可用此函数关系式  $y = 1/x$  来代替,形成一个双曲线的线性关系。将危害事故的严重程度和事故发生概率分别划分成不同等级的半定量指标,2 个半定量指标随机搭配的数据对在坐标图上形成一个坐标矩阵,将矩阵的右上角和左下角形成的对角线等分成等分点,分别过等分点画出  $y = 1/x$  双曲线的平行曲线作为确定危险度等级的界定曲线(两两平行曲线之间的区域为同一危险度分布区)。由此,依据数据对落在坐标图中的区域来确定危险度等级,根据所确定的危险度等级决定应采取的防护措施<sup>[3]</sup>。澳大利亚的危险性评价是建立在危害后果分级、暴露频度和后果发生概率分级的基础上,先对已识别的危险因素分别决定其可能造成的危害后果严重程度、暴露频度和后果发生概率的半定量级别,然后通过危险度分数计算器或手动板(手动板见图 1)来判定危险性水平,确定危险度等级<sup>[2]</sup>。例如:某一工作系统 CO 中毒事故发生概率为相当可能,CO 的暴露频度为经常,CO 中毒的严重程度为严重,则见图 1 中手动板画出的危险性分数为高度危险区,则该 CO 所在的工作系统处于 CO 中毒的高度危险之中。新加坡工作场所有害化学物的半定量危险性评价是在系统地识别危害、评价

暴露或暴露的可能性的基础上,确定危险性水平并提出针对不同危险度等级的优先控制活动,从而形成工作场所危险性评价的系统指南。新加坡半定量危险性评价的具体操作原理是首先依据各种化学物固有的毒性、刺激性、腐蚀性、致癌、致突变和致畸等特性将这种化学物可能造成的危害程度分成不同的等级,确定危害级别(HR),再依据暴露浓度、暴露频度、暴露时间等求算暴露水平并与容许暴露限值比较,将其比值大小划分成不同的等级,即暴露级别(ER),最后通过公式  $Risk = \sqrt{HR \times ER}$  求算危险性水平,依据危险性水平确定危险度等级。暴露浓度的确定考虑了有检测数据、无检测数据和应用经验和理论公式求算等多种方式,以及多种有毒化学物联合暴露问题,增强了半定量评价的实用性<sup>[11]</sup>。

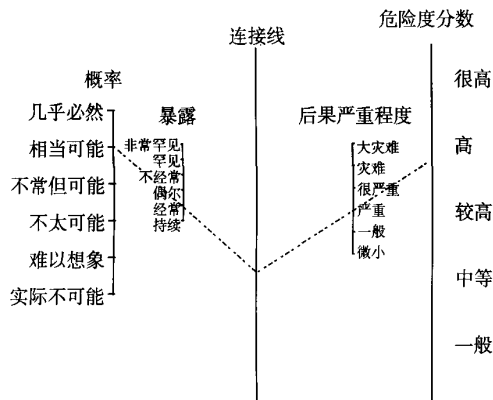


图1 澳大利亚危险度水平确定手动板

### 三、危险性评价中的关键技术指标

1. 危害的识别与分类:危害是引起伤害的潜在能力,可能包括有害物质、工作地点、工作过程和(或)工作环境;危险是因危害而可能导致疾病、伤害或甚至死亡的可能性<sup>[1]</sup>。危害识别是危险性评价的关键步骤,危害识别应解决的问题是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危险因素和可能暴露的人员都应该被包括。所要识别的危险因素包括有害物质(因素)、设备、工作过程和工作组织等<sup>[7]</sup>。不同国家对危险因素的分类有所不同,罗马尼亚将危险因素划分为人的因素(worker)、作业活动(work task)、生产过程(production means)和外界特殊因素(special character of the environment)4大类。芬兰将危险因素划分为化学因素、生物因素、物理因素、事故、身体负荷、心理负荷和数据系统及程序使用7大类<sup>[14]</sup>。我国职业有害因素按其来源一般可分为生产工艺过程中产生的有害因素、劳动过程中的有害因素和生产环境中的有害因素3大类。其中,生产工艺过程产生的有害因素包括化学因素、物理因素和生物因素;劳动过程中的有害因素包括劳动组织和制度、精神(心理)性职业紧张、劳动负荷、器官和系统紧张和长时间处于不良体位及工具使用不合理等;生产环境中的有害因素包括自然环境、厂房建筑或布局不合理和不合理生产过程所致的环境污染,与国外划分的方法相似。

2. 危害和暴露分级:危害可能造成事故后果的严重程

度和暴露水平或事故发生的概率是评估危险性水平的重要指标。不同国家在评估危险性水平时,首先将上述重要指标划分成不同的等级,然后根据各自的评估理论,选用上述不同的指标来求算危险性水平,确定危险度。对不同危险因素,各国采用的危害和暴露的等级和划分的依据各有差异。罗马尼亚是按照危害事故对人的伤残程度(因伤残而丧失工作日数、丧失工作能力的百分数及可恢复和不可恢复的伤害后果)将其划分成可忽略危害、有限危害、中等危害、较重危害、严重危害和致死性危害7个等级,其危害事故发生的概率是按照每年或月发生的次数为依据,将其划分成极罕见、很罕见、罕见、不太频繁、频繁和很频繁发生6个等级;澳大利亚将危害的严重程度按照人的伤害、财产损失、生产影响和环境损害等综合程度将其划分成微小、一般、严重、很严重、灾难和大灾难6个等级,暴露频度被划分成很罕见、罕见、不频繁、频繁和持续5个等级,危害事故发生的概率是依据危害事故发生的可能性将其划分成实际不可能、难以想象、不太可能、不常但可能、相当可能和几乎必然6个等级;英国的BS 8800对危害程度及危害发生的概率划分比较简单,按照暴露后产生危害后果的严重程度将其划分成轻度、中度和严重伤害,将伤害发生的概率划分为极不可能、不可能和可能;美国的分类与英国相似,伤害严重程度和发生概率均划分为高、中、低3个级别;新加坡是依据有害化学物本身的毒性潜力(包括急、慢性毒性、致癌性、皮肤黏膜刺激性)将危害划分为5个级别,同时将暴露分别按有监测数据和无监测数据两种情况进行分级,有暴露数据时综合考虑了暴露剂量、暴露频度和暴露时间等因素,无暴露数据时综合考虑了蒸汽压力和空气动力学直径、味阈与容许暴露限值比(OP/PEL)、有害控制措施、周工作时间等因素将其暴露分别划分为5个等级。

3. 危险度的确定:危险性评价的最终目的是将危险降低到不至于使暴露者产生健康危害,这种危险通常称作可接受危险。危险的大小通常以危险度来表示。危险度分析的目的就是决定危险是否是可接受的,如果是可接受的,认为接触者相对无危险,如果是不可接受的,则判断其危险性水平,确定危险度等级,并根据不同水平的危险度,决定相应危险的防控措施优先级、采取有效的防控措施。危险度等级作为一个半定量指标是危险程度、暴露和伤害发生概率的综合,可通过这3个变量求算危险性水平,确定危险度等级<sup>[2,10-12]</sup>。虽然不同国家危害程度分级、暴露分级和发生概率分级各有不同,但危险度评估的基本理论相似,且均是以这3项指标为基础。不同的危险度水平,将采取不同的防控措施,降低危害,并逐步使其达到可接受程度。罗马尼亚的危险度确定方法是依据危害严重程度和发生概率而产生的危害度描述,以“危险度接受曲线”为基础,应用危害严重程度和伤害发生概率两指标在坐标矩阵中的位置确定危险度等级,将危险度划分为7个等级<sup>[10]</sup>;新加坡依据危害分级和暴露分级两种指标,采用公式  $Risk = \sqrt{HR \times ER}$  求算危险性水平,再将危险度划分为5个等级。实际操作时,往往将

危险度分成不同的等级,用于危险度管理。

#### 四、危险度管理

危险性评价用于危险度管理,确定危险度等级的目的是为了提出相应的管理措施。危险度管理是根据危险度等级确定控制措施优先级并实施相应的控制措施,对危险度进行跟踪评价的过程。某一工作场所某种危险因素的暴露水平低于 TLV,可能评价为可接受危险,当生产工艺、生产量、作业活动等或由于现存的控制措施失效等不确定因素发生改变时,接触水平也可能发生相应的变化,使该作业场所存在有害危险,其危险度等级也可能随之发生改变;实际接触水平高于 TLV 的工作场所,可能评价为存在职业危害危险,当采取有效的防护措施后,使其暴露水平降低到 TLV 以下时,危险度等级可能重新评价为可接受水平。因此,危险度管理应该是一个动态的管理过程,并随时间、管理措施、作业活动、工艺过程等的改变而改变。危险度等级依不同国家各有不同,多数国家实行 5 个等级,包括可忽略危险、低度危险、中等危险、高度危险、极高度危险<sup>[2,3,5,8,10]</sup>。针对不同等级的危险度应采取不同的防控措施,并建立危险度跟踪评价体系。常见的纠正措施应包括:(1)选择消除或降低危险的有效措施,包括危害物质的取代、机械通风(局部排风或稀释通风)除尘、应用管理控制措施和个体防护用品(PPE)等;(2)安排暴露者职业卫生教育、培训措施;(3)决定是否需要监测;(4)决定是否需要医学监护;(5)建立应急救援预案<sup>[5]</sup>。危险度跟踪评价体系的建立应综合考虑上述 5 个方面的防控措施。根据上述危险度管理的思路,对已实施的防控措施的防控效果进行评价,跟踪评价其现行危险度并记录、追踪其评价结果等。

#### 五、我国建立模式的思路

我国于上世纪 80 年代建立了有害作业分级标准,但当时依据的限值标准采用的是最高容许浓度(MAC),目前多采用短时间接触容许浓度(STEL)和时间加权平均容许(TWA)浓度,因此,在判定有害作业级别时所选择的权重同原标准比较会有所不同。反映出我国职业危害评价方法已落后于我国卫生标准的发展和职业卫生相关法规的要求。从国外的危险性评价和管理模式来看,危险度确定的重要指标包括危害分级、暴露分级或危害发生的概率;配套的管理措施是依据不同职业危害因素危险度等级建立与之相适应的防控措施,即防控措施的分级管理。

建立我国的危害分级标准应综合考虑可逆与不可逆伤害程度、误工天数及其劳动能力丧失或下降程度以及急性毒性(LC<sub>50</sub>或 LD<sub>50</sub>)、慢性毒性可能造成的后果、致癌性、化学毒物刺激性和腐蚀性程度等综合指标,将危害严重程度划分成可忽略、轻度、中度、重度和极重度 5 个级别。对于不同类别的危害可考虑分别建立危害分级标准,如急性毒性、慢性毒性(包括致癌性)、刺激性和腐蚀性、粉尘引起的危害和物理因素引起的危害等。建立我国暴露分级标准可借鉴新加坡的分级方法并加以发展。按照有监测数据资料的实际暴露水平和无监测数据资料的估计暴露水平进行暴露分级,易将

暴露划分成 5 个等级,并将其分级范围由单纯的化学物暴露分级推广到粉尘、物理因素及其他类别危害的暴露分级。暴露分级应综合考虑暴露浓度(强度)、暴露方式、暴露时间、暴露频度等。危害发生的概率可依据不同职业危害因素的剂量-效应或剂量-反应资料确定不同危害程度可能发生的概率作为分级依据。

危险性评价用于危险度管理,不同等级的危险程度应采取不同的防控措施。我国目前尚无系统的将防护措施与危险度等级相配套的管理模式,建立与不同等级危险度相配套的职业危害防控技术分级原则是实现危险度管理的重要内容。根据《中华人民共和国职业病防治法》及其配套法规的要求,建立我国职业病防控措施的分级原则应综合考虑如下方面的内容:(1)技术、管理措施:选择消除或降低危险的有效措施,包括危害物质的取代、隔离操作、机械通风(局部排风或稀释通风)除尘或排毒、应用管理控制措施和 PPE 及其卫生保健措施等;(2)暴露监测策略;(3)健康监护策略;(4)建立应急救援预案;(5)教育、培训策略:安排暴露者职业卫生教育、培训措施。

#### 参 考 文 献

- 1 Robert EM Herber, John H Duffus, Jytte Molin Christensen, et al. Risk assessment for occupational exposure to chemicals-A review of current methodology(IUPAC Technical Report). Pure Appl Chem, 2001, 73: 993-1031.
- 2 The University of Queensland (Australia). Occupational Health and Safety Unit: Occupational Health and Safety Risk Assessment and Management.
- 3 EPA/630/R-98/003 September 1986. Guidelines for Mutagenicity Risk Assessment. Federal Register, 1986, 51: 34006-34012.
- 4 EPA/630/R-96/009 October 1996. Guidelines for Reproductive Toxicity Risk Assessment. Federal Register, 1996, 61: 56274-56322.
- 5 EPA/630/R-95/001F April 1998. Guidelines for Neurotoxicity Risk Assessment. Federal Register, 1998, 63: 26926-26954.
- 6 EPA/630/P-03/001A NCEA-F-0644A February 2003 Draft Final. Draft Final Guidelines for Carcinogen Risk Assessment(www.epa.gov/ncea/raf/cancer 2003. htm).
- 7 IPCS, Environmental health criteria 210(EHC 210). Principles for the Assessment of Risks to Human Health from Exposure to Chemicals.
- 8 IPCS, Environmental health criteria 214(EHC 214). Human Exposure Assessment.
- 9 ECB JRC-Ispra (VA), Italy. 2nd edition of the Technical Guidance Document on Risk Assessment of Chemical Substances following European Regulations and Directives.
- 10 National Research Institute for Labour Protection in Romania (1998). Risk Assessment Method for Occupational Accidents and Diseases.
- 11 Ministry of Manpower of Occupational Health Department in Singapore. Guidelines on Risk Assessment for Occupational Exposure to Harmful Chemicals.
- 12 The London Hazards Centre Factsheet, FEB 2004. Risk assessment—a simple standard.
- 13 Public Health Service of CDC in NIOSH. Focus on Prevention: Conducting a Hazard Risk Assessment.
- 14 Aromaa E, Naumanen-Tuomela P, Virkkala J, et al. Work Environment Profile (WEP)—The All-in-one Electronic Risk Assessment Method, Finnish Institute of Occupational Health, Finland Work Environment, 2005 Programme.

(收稿日期:2006-04-03)

(本文编辑:杨德一)