

物质安全评价学的构建研究^{*}

姜文娟^{**} 吴超

(中南大学资源与安全工程学院,长沙 410083)

摘要:为完善安全物质学学科体系,有效利用物质本质安全特性,预防和控制物因事故发生,提出物质安全评价学定义,并从研究目的及研究对象等方面解析其内涵。根据其学科性质,从理论和应用两个方面建立包括物质风险评价理论、物质风险控制理论、物质健康风险评价、物质生态风险评价、物质事故风险评价5个分支的物质安全评价学研究内容体系。在此基础上,概述物质危害性辨识-物质风险分析-物质风险评估-物质风险控制四步骤的研究程序,并给出各程序的具体内容及研究方法。所做研究明确了物质安全评价学的基本学科体系,系统化了物质安全评价学的研究方法。

关键词:安全科学;安全物质学;物质安全评价学;学科构建

中图分类号:X91 文献标识码:A doi:10.16507/j.issn.1006-6055.2016.06.023

Construction of Assessment Science for Materials Safety^{*}

JIANG Wenjuan^{**} WU Chao

(School of Resources & Safety Engineering, Central South University, Changsha 410083)

Abstract: In order to perfect the safety materials science, effectively use intrinsic safety properties of the material, and prevent and control accident occurring, the assessment science for materials safety had been studied. Based on the subject characteristics, a definition of assessment science for materials safety was put forward, its meaning was analyzed and the subject branches were established both in theory and application. The subject branches of assessment science for materials safety consisted of follow aspects: material risk evaluation theory, material risk control theory, material health risk assessment, material ecological risk assessment, material accident risk assessment. The research program of assessment science for materials safety were established. It consisted of follow aspects: material hazard identification, material risk analysis, material risk assessment, and material risk control. The results showed that the study made clear the basic subject system of assessment science for materials safety and systematized the relevant research methods.

Key words: safety science; safety materials science; assessment science for materials safety; discipline construction

1 引言

由事故致因理论可知,物的不安全状态是导致事故发生的主要原因之一。换言之,有效控制或消除物的不安全状态是预防事故的主要途径之一^[1]。而控制或消除物的不安全状态的措施等的选择必须基于对物质危险的正确分析和评价。因此,物质安全评价在安全科学领域是一个有价值的研究方向。

传统安全评价习惯于对人的不安全行为、物的不安全状态、环境等要素进行综合交叉研究,不利于安全物质学分支学科的发展。在对安全科学深入研究的基础上^[2],文献[3]阐述了安全物质学的定义、内涵、学科性质、研究对象等内容,填补了安全科学及物质学的交叉学科空白。对于物质安全性的研

究非常之多,主要集中在医药、化工、军事、农业、环境、生物化学、信息^[4]等方面,但目前尚未有学者深入地从学科科学层面展开相关研究。

鉴于此,笔者从学科建设的角度出发来定义物质安全评价学的研究对象、研究目的、研究内容与方法论,以期物质安全评价活动提供理论指导,并促进安全物质学的完善和发展。

2 物质安全评价学的定义及内涵

2.1 物质安全评价学的定义

文献[5]指出,安全物质学是以人的安全健康为出发点,研究各种可能对人造成伤害和危害人健康的物质(含人肉眼不可见物质)的状态及其演化对人类安全健康的直接和间接危害的规律,用最少的投入获得预防、减低、控制乃至完全消除这些危害的方法、措施和工程,并使之处于安全状态。

物质安全评价学作为安全物质学的分支学科,

2016-08-10 收稿,2016-09-19 接受,2016-12-25 网络发表

^{*} 国家自然科学基金重点项目(51534008)资助

^{**} 通讯作者, E-mail: jwj5139@163.com; Tel: 15084740304

结合安全评价的定义^[6]及内涵,本文对物质安全评价学作出如下定义:以实现物质及其赋存系统安全为目的,运用风险评价方法辨识物质危险有害因素,并分析、评估危险后果的严重性和危险发生的可能性,提出科学合理、经济有效的物质安全控制措施,进而做出评价结论的整个活动。

2.2 物质安全评价学的内涵

对物质及其与人、环境交互作用所在的系统进行风险评估是物质安全评价的核心,是评价过程中的一个中心环节,起承上启下的作用。在此,对物质安全评价学的内涵做如下解析:

1) 研究目的

物质安全评价学的基本目的是运用安全系统工程的理论和原理,研究危险有害物质的风险辨识、分析、评估、控制等实施过程,通过风险预控管理,建立危险有害物质的安全评价模式。具体包括:

①在系统的计划、设计、运行等全过程中考虑安全技术和安全管理问题,辨识生产过程中的物质危险有害因素及其与人、环境间的相互作用关系。

②分析、计算研究物质存在的危险性、导致事故后果的严重程度,运用相关物质安全评价方法评价其危险性,得出分析结果,从而为物因事故的预防和控制措施选择提供理论依据。

③对物质危险有害因素导致事故发生的原因进行分析,寻求“最满意”决策。由事故致因理论可知,查明事故原因是控制与预防事故的关键,因此,分析事故原因有助于做出“最满意”决策。

④以实现物质及其赋存系统的本质安全为目的,掌握系统的安全状态水平,了解物质生产系统安全运行的薄弱环节^[7],寻求达到事故率最低、损失最少、效益最优的安全措施。由安全经济学原理^[8]可知,用最少的安全投入取得最佳的安全价值是安全措施选择的重要标准,因此,有必要寻求最经济而最有效的安全措施。

⑤评价物质危险性对人、环境的危害程度或造成事故的严重程度是否可被接受,促进安全技术与安全管理更加趋于标准化和科学化。

2) 研究对象

从物质的角度看,物质安全评价学旨在阐明物质间的相互作用机制及其危险性。因此,物质安全评价学的研究对象理应是物质,进而分析人-物-环系统中物质危险与安全的动态转化规律,其具体研究对象包括:致灾物、承灾物、避灾物及上述三种

物质与人、环境间的交互作用^[9,10],如图 1 所示。

物质安全评价学的研究是从物质出发,加强对致灾物、承灾物、避灾物及其相互转化规律的研究宽度和研究广度,通过构建由人、物质、环境所构成的系统,研究各要素间相互作用机制,分析事故发生的深层次原因,并提出预防及控制措施,从而达到保障系统安全的目的。

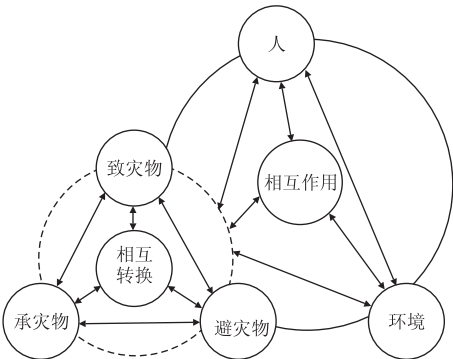


图 1 物质安全评价学研究对象

3 物质安全评价学的研究内容

物质安全评价学是一门兼具理论性和实践性的学科。基于物质安全评价学的定义与内涵,可从理论和应用两方面来建立物质安全评价学的研究内容体系,具体如图 2 所示。

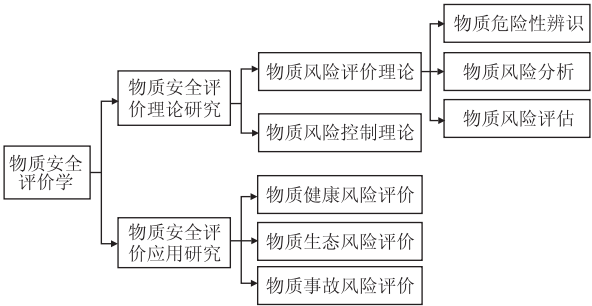


图 2 物质安全评价学研究内容体系

3.1 物质安全评价理论研究

物质安全评价理论研究包括物质风险评价理论、物质风险控制理论两方面。

1) 物质风险评价

物质风险评价是运用风险评价方法,通过物质危害性辨识、物质风险分析和物质风险评估,对物因事故发生的可能性、可能产生的后果的严重程度等进行综合分析,对物质致灾风险展开综合评价。物质风险评价为物质风险控制提供技术依据。物质风险评价包括物质危害性辨识、物质风险分析、物质风险评估三个方面。

2)物质风险控制

物质风险控制是在物质风险评价的基础上,依据风险的发生规律和控制技术,运用现代安全管理原理、方法和手段等,分析和研究有关物质的各种不安全因素,从技术、组织、管理和经济四方面考虑,选取“最满意”的安全措施来控制 and 预防物因事故发生的一种安全管理活动。

3.2 物质安全评价应用研究

物质安全评价应用研究包括物质健康风险评价、物质生态风险评价、物质事故风险评价^[11]三方面。概括而言,就是基于安全科学原理^[12],研究物质对人造成的伤害的可能性及其严重程度。物质安全评价应用研究的具体分类及实例^[13-20]见表 1。

表 1 物质安全评价的具体应用领域		
物质安全评价应用研究	分类	具体实例
物质健康风险评价	物理性风险评价	电离辐射、非电离辐射、高温、低温、噪声、高低气压、振动等
	生物性风险评价	生产过程中使用的原料、辅料及作业环境中都可存在某些致病微生物和寄生虫等
	化学性风险评价	生产过程涉及的物质(原料、中间产品与成品等),以及上述物质在生产过程中产生的“三废”(废气、废水和废渣)等
物质生态风险评价	物理性风险评价	大气污染物、沉积物污染、持久性有机污染物等
	生物性风险评价	水环境、平原、森林、铁路/公路沿线、垃圾场、采矿区、石油污染点等
	化学性风险评价	重金属、农药、难降解有机毒物等
物质事故风险评价	物理性风险评价	物体打击、车辆伤害、机械伤害、起重伤害、高处坠落、锅炉爆炸、容器爆炸等
	生物性风险评价	中毒和窒息等
	化学性风险评价	瓦斯爆炸、火灾、火药爆炸等

1)物质健康风险评价

物质健康风险评价是通过估算物质有害因子对人体不良影响产生的概率来评价暴露于该有害因子的个体或群体健康受到不良影响的风险^[21,22]。它以危险度为评价指标,将环境影响与人体健康有机结合,定量地描述物质有害因子对人体所造成的健康危害。

2)物质生态风险评价

物质生态风险评价是评估物质对生态风险引发负面生态效应的发生概率的大小,并实施相关风险管理活动的过程。其目的是:通过风险评估,为风险对策提供依据,以便使生态环境损失降至最低程度^[23]。生态风险评价的主要对象是生态系统及其不同生态水平的组分。

3)物质事故风险评价

物质事故风险评价是在事故发生前,预测其可能发生何种事故及其可能造成的环境或健康风险。它主要考虑易燃、易爆和有毒、放射性物质在失控状态下所引发的突发性灾难事故。由此可见,这类事故概率虽小,但影响程度极大。

4 物质安全评价学的研究程序及方法

物质安全评价学研究主要包括四个阶段:1)进行物质危害性辨识,确定物质安全特性及其所引发事故的机理;2)开展物质风险分析,确定事故发生的概率及可能产生的后果;3)进行物质风险评估,确定某种物因所引发事故后果的严重度;4)根据事故发生的概率及其后果的严重度,采取相应的安全措施进行物质风险控制。需指出的是,上述研究阶段完成后,还有必要进行事后反馈,以提高物因事故防控能力及物质风险管理水平。具体如图 3 所示。

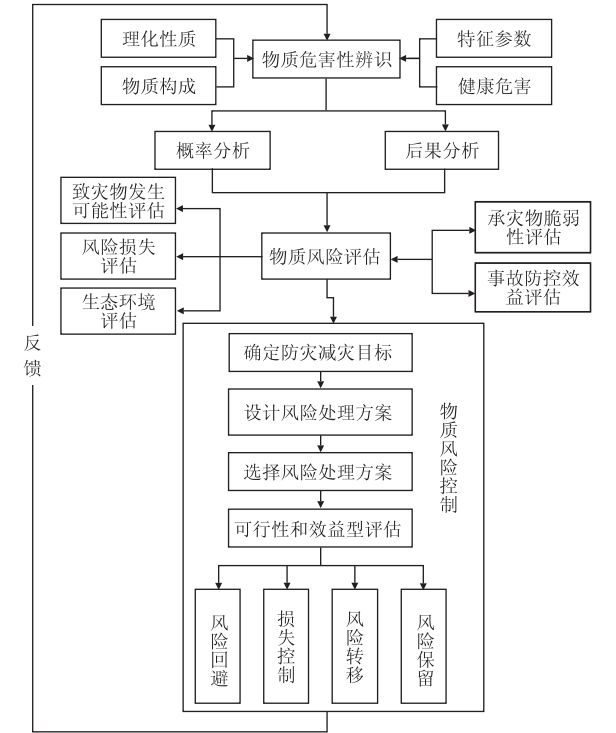


图 3 物质安全评价学研究程序

4.1 物质危害性辨识

对所要评估的物质对象,从其理化性质、物质构成、特征参数及健康危害等方面进行危险有害因素辨识,研究其风险暴露情况,并根据风险预控管理要求,分析其危害的产生方式。从研究对象的演变、运动、发展规律及不同物质间相互作用机制、物质能量转换等方面,确认其客观存在的风险,并列出风险清

单。危害性辨识是物质风险评价的首步,唯有准确地辨识风险,才可有效地规避或控制风险。

4.2 物质风险分析

根据安全系统工程的原理和方法,辨识、分析系统存在的健康、生态、事故方面的危险因素,并根据实际需要对其概率和后果进行分析,从而确定物质风险度的高低。

4.3 物质风险评估

运用风险评估方法,分析和计算与物质安全相关的危险源对象在某种控制状态条件下可能引发事故的可能性及其可能产生后果的严重程度^[24]。物质风险评估方法根据是否定量分为定性评价方法和定量评价方法,具体见表 2。

表 2 物质风险评估方法		
物质安全评价应用研究	定量/定性	风险评估方法举例
物质健康 风险评价	定性	流行病学调查、动物实验法、体外生物学实验、收集资料法等
	定量	F 值法、证据加权法、单因子指数法、模糊综合评价法、物元可拓综合评价法、简单评判法、详细分级法、分子结构比较、DCI 法、POSH 法、结构毒理学、敏感性分析法、外推法、数值模拟法、泰勒简化方法、专家判断法、灵敏度分析、灰色系统综合评价法、置信区间法、经典统计方法、直接使用监测数据法、概率树方法、短期简易测试系统(如 Ames 试验、微核)、模型法(对数-正态模型、威尔布模型、单击模型、多阶段模型、线性多阶段模型)等
物质生态 风险评价	定性	毒理实验外推技术、长期野外观测等
	定量	相对风险模型、商值法、地累积指数法、剂量-反应法、潜在生态风险指数法、风险因子法、生物效应模型、迁移转化模型、暴露分析模型、综合指标评价模型(模糊综合评判、灰色评价模型、敏感因子模型、定性分析推理、生物效应评价指数法、证据权重法、层次分析法)、敏感性分析法(一次一个变量法、标准回归系数法和敏感度指标法)、采样法(可靠性分析、蒙特卡洛法、响应曲面法、拉丁超立方体抽样法、傅立叶振幅敏感性检验)等
物质事故 风险评价	定性	SCL、专家评议法、LEC、FMEA、HAZOP、PHA、鱼刺图法等
	定量	蒙德法、重大危险源评价法、DOW、模糊综合评价法、属性数学模型、三角模糊数、B-S 评价模型、灰色层次分析评价模型、多维功效函数模型、模糊神经网络等

根据物质分类及其危险性、脆弱性、风险性共同构成的功能体系,物质风险评估包括致灾物引发事故的可能性评估、承灾物脆弱性评估、风险损失评估、生态环境评估及事故防控效益评估等。各评估指标内容^[25-27]见表 3。

表 3 物质风险评估指标内容	
物质风险评估内容	具体评估指标
致灾物引发事故的可能性评估	致灾因子可能强度评估指标、致灾因子概率评估指标
承灾物脆弱性评估	敏感性指标、暴露性指标、适应性指标、社会应灾能力评估指标
风险损失评估	直接经济损失指标、间接经济损失指标、人员伤亡指标
生态环境评估	理化性质指标、环境毒理指标、生态指数指标、污染风险指数指标
事故防控效益评估	事故防控基础能力指标、事故防控管理能力指标

4.4 物质风险控制

在物质风险评价的基础上,根据物因事故防控要求,对备选安全方案进行科学有效的评估,选择“最优”的风险管理技术手段,即采取科学合理、经济有效的物质安全控制措施,减少乃至消除物因事故发生的可能性,或降低物因事故后果的严重程度。

理论而言,物质风险控制有风险回避、损失控制、风险转移与风险保留四种基本方法,依次为:①风险回避是指事先掌握灾害风险事件发生机理,通过提高系统稳定性、降低致灾因子(致灾物)致灾强度或缩短致灾因子作用时间,在灾害发生时主动采取积极应对措施,预防物因事故发生;②损失控制是在灾害风险事件不可规避的情况下尽可能降低物因事故的损失;③风险转移是指通过一定的事故防控措施,在物因事故发生前对承灾物以迁移、变换、改造的方式进行风险转移;④风险保留是指利用可利用的资源进行物因事故防控。

5 结论

1)将物质安全评价学定义为“以实现物质及其赋存系统安全为目的,运用风险评价方法辨识物质危险有害因素,并分析、评估危险后果的严重性和危险发生的可能性,提出科学合理、经济有效的物质安全控制措施,进而做出评价结论的整个活动”。

2)物质安全评价学的基本目的是运用安全系统工程的理论和原理,研究危险有害物质的风险辨识、分析、评估、控制等实施过程,通过风险预控管理,建立危险有害物质的安全评价模式。

3)物质安全评价学以物质为研究对象,具体研究对象包括:致灾物、承灾物、避灾物及上述三种物质与人、环境间的交互作用;物质安全评价理论研究包括物质风险评价理论、物质风险控制理论两个方面;物质安全评价应用研究包括物质健康风险评价、

物质生态风险评价、物质事故风险评价三个方面。

4) 给出了物质安全评价学的研究程序及方法, 即: 物质危害性辨识-物质风险分析-物质风险评估-物质风险控制, 整理了物质风险评估研究方法, 为物质安全评价方法选择提供指导。

参考文献

[1] 隋鹏程, 陈宝智, 隋旭. 安全原理[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 1-25.

[2] 吴超. 安全科学学的初步研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(11): 5-15.

[3] 石东平, 吴超. 安全物质学的学科体系与研究方法[J]. 中国安全科学学报, 2015, 25(7): 16-22.

[4] 谭波. 有机过氧化物的参数统计分析及其安全性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.

[5] 安全物质学[EB/OL]. 2013-06-20. <http://blog.sciencenet.cn/home.php?mod=space&uid=532981&do=blog&id=701327>.

[6] 徐志胜, 姜学鹏. 安全系统工程[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012: 151-152.

[7] 雷芳. 危险化学品安全评价指标体系的研究[D]. 武汉: 中国地质大学, 2004.

[8] 马浩鹏, 吴超. 安全经济学核心原理研究[J]. 中国安全科学学报, 2014, 24(9): 3-7.

[9] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(6): 1-7.

[10] 丁玉兰. 人机工程学(第四版)[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2011: 5-6.

[11] 胡建英, 安伟, 曹红斌, 等. 化学物质的风险评价[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 22-178.

[12] 吴超, 杨冕. 安全科学原理及其结构体系研究[J]. 中国安全科学学报, 2012, 22(11): 3-10.

[13] 韩冰. 地下水有机污染场地健康风险评价[D]. 北京: 中国地质

大学, 2006.

[14] 倪彬, 王洪波, 李旭东, 等. 湖泊饮用水源地水环境健康风险评估[J]. 环境科学研究, 2010, 23(1): 74-79.

[15] 李如忠, 周爱佳, 童芳, 等. 合肥市城区地表灰尘重金属分布特征及环境健康风险评估[J]. 环境科学, 2011, 32(9): 2661-2668.

[16] 黄海涛. 水电开发中的生态风险评估与管理研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.

[17] 邓飞, 于云江, 全占军. 区域生态风险评估研究进展[J]. 环境科学与技术, 2011, 34(6G): 141-147.

[18] 曲欢寿. 企业知识管理风险评估研究[D]. 上海: 东华大学, 2011.

[19] 张珂, 刘仁志, 张志娇, 等. 流域突发性水污染事故风险评估方法及其应用[J]. 应用基础与工程科学学报, 2014, 22(4): 675-684.

[20] 赵艳民, 秦延文, 郑丙辉, 等. 突发性水污染事故应急健康风险评估[J]. 中国环境科学, 2014, 34(5): 1328-1335.

[21] 白志鹏, 王珺, 游燕. 环境风险评估[M]. 北京: 高等教育出版社, 2009: 58-59.

[22] U. S. NRC. Risk assessment in the Federal Government: managing the process [M]. Washington DC: National Academy Press, 1983.

[23] HARWEL M A, GENTILE J H, BARTUSKA A, et al. A science-based strategy for ecological restoration in south Florida. Urban Ecosystems, 1999, 3(3): 201-222.

[24] 李凌峰. 成品油库风险评估技术研究[D]. 成都: 西南石油学院, 2003.

[25] 田亚平, 向清成, 王鹏. 区域人地耦合系统脆弱性及其评价指标体系[J]. 地理研究, 2013, 32(1): 55-63.

[26] 潘争伟, 金菊良, 吴开亚, 等. 区域水环境系统脆弱性指标体系及综合决策模型研究[J]. 长江流域资源与环境, 2014, 23(4): 518-525.

[27] 胡浩鹏. 北京市泥石流灾害风险评估指标体系及方法研究[D]. 北京: 中国地质大学, 2007.