

XIAOFEIPIN ANQUAN FENGXIAN PINGGU FANGFA YANJIU
JIYU FANGZHEN JISHU

消费品 安全风险评估方法研究 ——基于仿真技术

刘霞 刘碧松 吴倩◎著

 中国质检出版社
中国标准出版社

消费品安全风险评估方法研究

——基于仿真技术

刘 霞 刘碧松 吴 倩 著

中国质检出版社
中国标准出版社
北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

消费品安全风险评估方法研究: 基于仿真技术/刘霞,
刘碧松, 吴倩著. —北京: 中国标准出版社, 2017. 9

ISBN 978 - 7 - 5066 - 8528 - 3

I. ①消… II. ①刘…②刘…③吴… III. ①消费品—
质量管理—安全评价—研究 IV. ①F273. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 316774 号

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010)68533533 发行中心: (010)51780238

读者服务部: (010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 7.25 字数 154 千字

2017 年 9 月第一版 2017 年 9 月第一次印刷

*

定价 28.00 元



如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

前言

近年来，我国消费品行业迅猛发展，我国已成为世界上最大的玩具、纺织品等产品的生产国和出口国。然而，频繁出现的消费品安全事件也使我国消费品安全成为社会各界关注的焦点之一，人民群众对此深感“中国制造”品牌危机，甚至对我国消费品的国家标准产生了质疑。可见，亟需一种新型技术方法来促进和保障消费品安全。

另据美国 CPSC 和欧盟 RAPEX 召回通报数据，我国消费品自 2007 年以来，每年召回通报数量都位居全球第一。仔细探究召回通报的依据，欧美对我国消费品的召回通报很多都是基于“防范于未然”的风险评估技术得出，即：如若该产品在预期的使用或可合理预见的误使用中，可能对消费者造成频繁伤害，则其将面临被召回通报的处置。

综上可知，引发消费品安全事件并非单纯标准之责，更重要的是由于消费者超出产品设计者预期使用行为导致误使用所致。本书立足风险评估理论，系统收集和分析来自风险监测、监督抽查、消费者投诉、召回通报、网络舆情、实验仿真等渠道的数据，在分析儿童用品伤害场景各影响因素特征的基础上，构建了消费品安全伤害场景影响因素的特征数据库。依据风险评估、风险耦合、仿真技术、机器学习等理论和方法，构建消费品安全伤害场景构成因素关联模型以及消费品安全风险评估模型，通过把特征数据库和关联模型导入到产品风险评估软件中，制定出一种具有极强可操作性的规范化消费品安全风险评估方法，实现了消费品安全风险评估工具化的目标。

本书受到国家重点研发计划项目“消费品安全管控关键技术标准研究”（项目编号：2016YFF02022600）、中央基本科研业务费项目“基于仿真技术”

的消费品安全风险评估方法研究——以儿童用品为例（项目编号：552015Y-3990）的资助。本书的研究成果，有利于促进监管部门对消费品开展监管。可为企业提供一种方便、可行的消费品安全风险评估方法，为提升企业产品安全水平提供技术依据。

在本书即将付梓之际，要特别感谢曾经给予我们极大帮助的聂学俊、钟圣、王治华、高济禾、刘铁忠等消费品研究领域的专家们，他们曾为本书的编写不辞辛劳地提供了许多相关资料。

由于时间仓促，加之我们水平有限，书中难免有不妥及不足之处，恳请读者予以批评指正。

著 者

2017年3月

目 录

第1章 理论基础	(1)
1.1 相关概念	(1)
1.1.1 消费品安全	(1)
1.1.2 事故致因	(1)
1.1.3 风险评估	(1)
1.1.4 风险耦合	(1)
1.1.5 仿真技术	(1)
1.1.6 贝叶斯网络	(2)
1.1.7 贝叶斯神经网络	(2)
1.1.8 机器学习	(2)
1.1.9 增强学习	(2)
1.2 国内外研究现状	(2)
1.2.1 消费品安全	(2)
1.2.2 风险评估	(4)
1.2.3 风险耦合	(7)
1.2.4 仿真技术	(9)
1.2.5 机器学习	(11)
1.2.6 小 结	(13)
第2章 消费品安全伤害场景构成因素关联模型研究	(15)
2.1 构成因素特征分析	(15)
2.1.1 消费者特征分析	(15)
2.1.2 产品特征分析	(16)
2.1.3 环境特征分析	(20)
2.2 消费品伤害场景构成因素关联关系分析	(21)
2.2.1 构成因素关联关系特征	(21)
2.2.2 消费品安全伤害因素风险耦合机理	(22)

2.2.3	构成因素同质单因素耦合关系分析	(24)
2.2.4	构成因素异质双因素耦合关系分析	(26)
2.3	基于 N-K 模型的构成因素风险耦合测度分析	(32)
2.3.1	耦合风险分类	(33)
2.3.2	构成因素风险耦合测度计算公式	(35)
2.4	消费品风险耦合 N-K 模型验证	(36)
2.5	小 结	(37)
第 3 章	消费品安全多源数据采集与融合分析	(38)
3.1	总体情况	(38)
3.1.1	数据来源	(38)
3.1.2	消费品类别	(42)
3.2	消费品伤害事件各项因素统计分析	(43)
3.2.1	人的因素	(43)
3.2.2	环境因素	(44)
3.2.3	产品因素	(45)
3.2.4	伤害类型	(45)
3.3	纺织品及服装鞋帽类产品伤害事件各项因素统计分析	(47)
3.3.1	人的因素	(47)
3.3.2	环境因素	(47)
3.3.3	产品因素	(48)
3.3.4	伤害类型	(49)
3.4	儿童用品伤害事件各项因素统计分析	(50)
3.4.1	人的因素	(50)
3.4.2	环境因素	(51)
3.4.3	产品因素	(53)
3.4.4	伤害类型	(53)
第 4 章	基于仿真方法的消费品安全风险评估模型研究	(55)
4.1	消费品安全风险评估模型构建流程	(55)
4.1.1	风险因素识别	(55)
4.1.2	基于贝叶斯网络的伤害因素—伤害场景关联模型	(57)
4.1.3	基本分类器模型构建	(58)
4.1.4	基于贝叶斯网络的增强学习分类器构建	(59)

4.1.5 消费品安全风险等级判定	(59)
4.2 基于伤害数据的危害因素识别	(59)
4.2.1 多源数据处理	(59)
4.2.2 风险因素库的建立	(60)
4.3 基于贝叶斯网络的伤害因素—伤害场景关联模型	(64)
4.3.1 建立分层贝叶斯网络网络的边	(64)
4.3.2 贝叶斯网络初始化	(64)
4.4 基于贝叶斯网络的基本分类模型	(65)
4.4.1 基于马尔科夫—蒙特卡洛算法的结构学习	(65)
4.4.2 基于 EM 算法的参数学习	(67)
4.5 基于增强学习的分类器设计	(67)
4.5.1 基于 AdaBoost 增强学习算法的强分类器结构	(68)
4.5.2 AdaBoost 增强学习的算法实现	(68)
4.6 基于矩阵法的消费品危害风险评估	(70)
4.7 小 结	(71)
第 5 章 实证研究	(72)
5.1 基于贝叶斯网络和增强学习的风险评估模型(强分类器)	(72)
5.1.1 风险评估强分类器设计	(72)
5.1.2 模型效果测评	(73)
5.2 基于马尔科夫—蒙特卡洛算法的贝叶斯网络实现产品多因素综合风险评估	(79)
5.2.1 多因素耦合关系风险评估模型	(79)
5.2.2 模型效果测评	(79)
5.2.3 产品的多危害因素综合风险评估	(80)
附 录	(82)
1 贝叶斯网络及其 NetLogo 实现	(82)
2 节模型训练的网络参数	(98)
参考文献	(101)

第1章 理论基础

1.1 相关概念

1.1.1 消费品安全

根据 GB/T 22760—2008《消费品安全风险评估通则》，消费品安全是指免除了不可接受风险的状态。

1.1.2 事故致因

事故致因理论起源于 20 世纪初，是从本质上阐明事故的因果关系，说明事故的发生、发展过程和后果的理论。发展至今，共经历了以海因里希因果连锁论为代表的早期事故致因理论，以能量意外释放为主要代表的二次世界大战后的事故致因理论，以及以系统安全理论等为代表的现代事故致因理论 3 个阶段。

1.1.3 风险评估

根据 GB/T 22760—2008《消费品安全风险评估通则》，风险评估包括风险分析和风险评价的全过程。

1.1.4 风险耦合

风险耦合是指系统中一种或一种以上风险因素相互依赖、相互影响的关系，分为同质单因素风险耦合、异质多因素风险耦合。风险因素间的依赖和影响程度越大，风险耦合度越大；反之，风险耦合度越小。

1.1.5 仿真技术

仿真科学与技术是以建模与仿真理论为基础，以计算机系统、物理效应设备及仿真器为工具，根据研究目标，建立运行模型，对研究对象进行认识与改造的一门综合性、交叉性的信息科学。

1.1.6 贝叶斯网络

贝叶斯网络也称为置信网络或有向无环图模型，是一种概率图模型，是模拟人类推理过程中因果关系的不确定性处理模型，其网络拓扑结构是一个有向无环图，主要用于解决复杂设备不确定性和关联性引起的故障。

1.1.7 贝叶斯神经网络

贝叶斯神经网络是一种将贝叶斯原理与神经网络相结合的数据挖掘方法，它将贝叶斯原理引入到神经网络的权值学习中，以权的后验概率为优化目标函数，通过最大化权值的后验概率来求取神经网络的权值，从而建立完整的神经网络模型。

1.1.8 机器学习

机器学习是一门涉及计算机科学、统计学、数学和工程学的交叉学科，通常被作为人工智能的一部分来进行研究，主要关注计算机程序如何随着经验积累自动提高自身性能。

1.1.9 增强学习

增强学习是一种以环境反馈作为输入的、特殊的、适应环境的机器学习方法，所谓强化学习是指从环境状态到新给映射的学习，以使系统行为从环境中获得的积累奖赏最大。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 消费品安全

1.2.1.1 消费品安全问题的成因

虽然消费品安全事件在最近几年层出不穷，但在学术界关于消费品安全技术监管防范不当，而引起高风险消费品出现或是引发召回消费品的问题，仍然极少引起学者们关注（Kumar and Schmitz, 2011）。在 20 世纪 80 年代和 90 年代，消费品安全的研究集中在诸如质量控制等方面的工厂层面，抑或是产品设计技术方面。近年来，消费品安全问题的成因也逐步进入人们的研究视野，学者们将消费品安全问题出现的主要原因归结为以下 3 个方面：①政府监管部门、产品供应链以及消费者的信息不对称导致产品安全问题

(Lee and Whang, 2005; Pyke and Tang, 2010; Tang, 2008; Wein and Liu, 2005; Ann Marucheka, 2011); ②产品设计不当 (Chiang et al. 2001; Hora et al., 2011); ③生产环节未按设计要求推进, 质量安全把关不严 (Kjellen, 2002)。

在消费品安全问题的问责方究竟集中在设计环节还是生产环节方面, 大部分学者认为产品安全问题是设计不当所致。Chiang et al. (2001) 通过对产品设计和生产方面产生安全问题的文献进行系统梳理, 发现设计阶段是消费品安全问题频发的关键环节。一些学者分析了美国 CPSC 通报召回的数据, 发现设计环节的失误, 即设计环节未能对消费品预期可能的使用行为和误使用行为进行综合风险评估, 是出现产品召回事件的主要原因 (Hora et al., 2011)。另一些研究发现, 归咎于设计环节引发的消费品召回事件在近年来增长迅猛, 其增长速度远远超过制造环节引起的召回 (Bapuji and Beamish, 2007; Bapuji et al., 2007; Dowlatshahi, 2000)。

1.2.1.2 消费品安全事件的发生机理

根据系统安全理论, 一般伤害事件的发生可以认为是人因、物因、环境因素以及它们共同影响和作用的结果。事故致因理论则认为, 人的不安全行为和物的不安全状态是事故的直接原因。20 世纪 30 年代海因里希 (Heinrich) 通过观察和分析建立了著名的海因里希 1:29:300 法则, 即平均地看, 在同一个人身上发生的 330 起同种类的事故中, 300 起事故没有造成伤害, 29 起造成了轻微伤害, 1 起造成了严重伤害。受海因里希的启发, 20 世纪六七十年代, 博德 (F. E. Bird) 考察了群体行为, 建立了博德法则, 即反映严重伤害、轻微伤害、财产损失和无伤害无损失事故的比例关系 1:10:30:600。与事故致因理论同时发展的还有事故频发倾向论。1939 年, 法默 (Farmer) 等人提出了事故频发倾向的概念, 认为少数人具有事故频发倾向, 是事故发生的主要原因。20 世纪 60 年代, 吉布森 (Gibson) 和哈登 (Haddon) 提出了解释事故发生的能量意外释放论, 认为安全事故的发生是一种不正常的或不希望的能量释放并向人体的转移。进一步将人因和物因结合起来考虑, 构成了 70 年代以后出现的轨迹交叉论的主要内容。这一理论同时考虑人因和物因对事故的影响, 但更侧重认为, 人的失误难以控制, 设备的控制、物因的控制应当是减少故障发生的首选考虑。轨迹交叉论的这个特点, 被美国消费品安全委员会 (The U. S. Consumer Product Safety Committee, CPSC) 在考虑消费品安全问题时加以继承。CPSC 在《制造更安全消费品手册》中认为, “在改进消费品整体安全状态方面, 消费者行为发生显著改变的可能性比较渺茫。同样, 家庭环境很快发生改善的希望也很渺茫。就所能观察到的情形而言, 常规教育方式的能力和效果也相当有限。因而, 除了应注重鼓励制造商在设计和制造产品时加以额外用心以减少不必要的危害外, 别无更多选择。”

在国内,消费品安全伤害机理的研究尚处于起步阶段,刘卓军等(2010)通过构建伤害情景的方式,建立了描述导致消费品伤害事件的关键原因及其作用机理的多层网络结构模型。该机理模型揭示了消费品安全危害与使用者使用方式及所处使用环境存在着相互作用,使得处于不安全状态的危害被活化后通过多层传导影响到整个消费品的功能和性能,最终导致伤害事件以一定的概率发生。刘霞等(2011)运用事故因果论、能量转移理论、瑟利人因系统理论系统分析了消费品安全伤害的发生机理,揭示了“消费者特征—消费品—使用环境”之间互动时可能发生伤害事件的机理。

1.2.2 风险评估

1.2.2.1 消费品安全风险评估方法概述

(1) 定量评估方法

定量的评估方法是指运用数量指标来对风险进行评估。典型的定量分析方法有因子分析法、聚类分析法、时序模型、回归模型、等风险图法、决策树法等。定量评估方法的优点是用直观的数据来表述评估的结果,看起来一目了然,而且比较客观,定量分析方法的采用可以使研究结果更科学、更严密、更深刻。有时,一个数据所能够说明的问题可能是用一大段文字也不能够阐述清楚的。但常常为了量化,使本来比较复杂的事物简单化、模糊化了,有的风险因素被量化以后还可能被误解和曲解。

(2) 定性评估方法

定性的评估方法是主要依据研究者的知识、经验、历史教训、政策走向及特殊变例等非量化资料,对系统风险状况作出判断的过程。它主要以与调查对象的深入访谈作出个案记录为基本资料,然后通过一个理论推导演绎的分析框架,对资料进行编码整理,在此基础上作出调查结论。典型的定性分析方法有因素分析法、逻辑分析法、历史比较法、德尔斐法。定性评估方法的优点是避免了定量方法的缺点,可以挖掘出一些蕴含很深的思想,使评估的结论更全面、更深刻;但它的主观性很强,对评估者本身的要求很高。

(3) 定性与定量相结合的综合评估方法

现实中,风险评估是一个复杂的过程,需要考虑的因素很多,有些评估要素是可以量化的形式来表达,而对有些要素的量化又是很困难甚至是不可能的,所以我们不主张在风险评估过程中一味地追求量化,也不认为一切都是量化的风险评估过程是科学、准确的。我们认为定量分析是定性分析的基础和前提,定性分析应建立在定量分析的基

础上才能揭示客观事物的内在规律。定性分析则是灵魂,是形成概念、观点,作出判断,得出结论所必须依靠的,在复杂的信息系统风险评估过程中,不能将定性分析和定量分析两种方法简单的割裂开来。而是应该将这两种方法按照合适的方式融合起来,采用综合的评估方法。

1.2.2.2 消费品安全风险评估模型的理论框架

一些文献深入考察了消费品安全事件发生的原因,认为估计安全事件发生的频率和严重程度,即运用风险评估方法,能有效避免和减少设计环节引发的安全事件(Hale et al., 2007; Kinnersley and Roelen, 2007; Kirwan, 2007),但上述研究仅从产品安全事件发生成因的角度,提出了在消费品安全管理中运用风险评估思想的理念,缺乏对具体风险评估模型的深入研究。部分学者力图构造一个统一和系统的方法来分析产品可能发生的安全问题,以及提出避免产品安全事件发生的措施(Fadier and Ciccotelli, 1999; Kjellen, 2002)。

减少因产品设计不当而引发消费品安全的问题已被很多学者研究出许多方法和方案(Fadier and De laGarza, 2006; Hasan et al., 2003)。一些研究提出应综合考虑消费人群的特征、使用行为、使用环境、使用目的等方面,围绕使用场景来进行产品设计,并在设计过程中引入产品安全风险评估方法(Blaise et al., 2003; De la Garza and Fadier, 2005; Fadier et al., 2003)。于彭(2011)分析了消费品伤害事件的不确定性因素,基于消费品的特点提出了一种消费品安全危害评价的方法,并给出了具体的实施步骤。

1.2.2.3 风险评估方法在消费品安全监管中的应用

美国、欧盟、日本等发达国家和地区在消费品安全风险评估领域走在世界前列,通过学者的前期研究积累,风险评估方法已成为保障消费品安全的重要技术支撑,并已用相关政府文件进行了规范,开始初步应用。

美国消费品安全委员会(CPSC)管理着生产和流通领域的约15000种消费品,该委员会的行动纲领在2008年发布的《消费品安全改进法》中得以体现(Flaherty, 2008)。CPSC还拥有—个涵盖其管辖范围内所有产品的有关消费品安全问题的公共投诉数据库(www.saferproducts.gov),该数据库为美国各界了解消费品安全问题,并开展消费品安全风险评估提供了持续和丰富的数据。

美国的CPSC早在2008年就将风险评估技术应用到消费品安全监管中,其下属的技术研究机构和企业—在系统科学的风险评估方法指导下,每年针对美国生产的消费品进行风险评估,并针对流通到美国市场的国外消费品进行流通环节产品抽样风险评估(刘霞等, 2011; Gene Ridar, 2009)。风险评估、风险交流和风险控制组成的风险管理体系,

已成为美国政府对消费品安全进行监管的重要手段,美国风险评估方法主要通过消费者投诉的产品伤害数据,如来源于美国国家电子伤害监测系统(National Electronic Injury Surveillance System, NEISS)的数据,得到消费品伤害发生的概率和严重程度,采用 5×3 风险矩阵法,即将伤害发生的概率分为5级,伤害发生的严重程度分为3级,以此两个要素构成风险矩阵,综合判定产品安全风险。

欧盟国家为确保投放到欧盟市场上的消费品是安全的以保护消费者的健康和安全,同时确保内部市场的正常运转,发布了《通用产品安全性指令》(the General Product Safety Directive, GPSD)。该指令约束了生产者只向市场投放安全产品,要求生产者必须采取措施,让消费者了解其产品的危害性,并追踪危险产品。同时,为保证产品安全性的实现,各成员国均设立了专门的政府管理机构负责管理和运行有关产品安全性的工作,通过采用产品安全性风险评估方法,对产品进行风险评估,并通过欧盟官方的非食品类消费品快速预警系统(Rapid Alert System for non-food dangerous products, RAPEX),使得欧盟各国内部拥有了快速交换各类危险消费品的信息渠道,以便各国采取相应的风险控制措施,最大可能地保证产品安全性(<http://ec.europa.eu/consumers/safety>)。

欧盟消费品安全风险评估方法可分为两类。一类是正式风险评估方法,欧盟各国采用的方法略有差异,此类方法包括斯洛文尼亚诺模图(Benis H, 1990)、比利时风险矩阵法(Björnstig and Johnsson, 1992)、北欧故障代码表 Buszard (2001)、捷克风险矩阵 Ball DJ (2002)、英国 LACORS 商务标准风险评估方案(LACORS, 2004)、RAPEX 风险矩阵法(DG SANCO, 2006)等,上述方法可提供风险的量化评估。另一类是非正式风险评估,这些非正式的评估方法包括通过利用内部和外部的专家或者委员会、查阅现有的产品标准和法律要求,对消费品安全风险进行判定,此类方法是正式风险评估的有益补充(DG SANCO, 2006)。

日本消费品风险评估的大量工作由日本国家技术评估研究所(NITE)来完成。NITE通过报纸、电视、消费者投诉、医院等途径,收集了大量消费品伤害信息,运用风险评估方法对消费品安全风险进行科学分析。从风险评估方法来看,NITE主要采用R-MAP的方法(刘霞, 2012)。R-MAP是一套由日本科学技术联盟于2004年开发的风险管理方法。这套方法是依据产品和服务的寿命周期,针对开发、设计、制造、销售、使用、报废等各个阶段的特点进行风险评估和召回预警的可视化工具。在R-Map图中,综合考虑了消费品伤害发生的严重程度和发生的可能性,用产品发生火灾或消费者是否需要医院救治作为判断伤害发生严重程度的指标,用某件消费品每年发生伤害事件的件数表示其伤害发生的可能性。从本质来看,R-Map图类似于风险矩阵,但在表现形式上更为细化和具体化。该法采用 6×5 风险矩阵来评估风险,即:伤害的严重程度分为5个等级,将发生频率分为6个等级,用风险矩阵进行判定。

R-MAP方法已经开始在家用电器、办公用品、医疗器械、零件生产厂家等众多的企业内加以采用。

我国在食品、药品、医疗器械等领域已开展了大量产品安全风险评估模型和方法构建的研究和应用(饶朝龙等, 2012; 陈秋玲等, 2011; 邹小南等, 2008), 并取得了大量卓有成效的成果。但在消费品安全领域, 风险评估仍然处于研究初期, 其应用示范还任重道远。

张倩(2007)利用层次分析法求出了体育用品、儿童用品、照明灯具、玩具、电器、装饰品等消费品的风险指数, 为消费品的质量检验和抽样方案的确定提供了依据。江艳等(2010)总结了产品质量安全风险评估的一般过程, 并提出了儿童用品质量安全风险评估的构想; 孙嘉天等(2010)从消费品质量安全影响因子的概念入手, 分析了质量安全影响因子与质量安全风险之间的关系。根据一般性的风险评估方法, 提出了基于影响因子的消费品质量安全风险量化评估的思路及研究步骤; 谢秋慧等(2010)利用轻纺消费品的固有风险评价指数, 结合产品发生不合格的概率和产品不合格产生后果的严重度, 通过格雷厄姆-金尼法可计算得到此产品的风险指数, 最终评判该产品的风险等级, 并以此作为实施召回的依据。实例证明, 该风险评估方法在轻纺消费品召回机制中的应用具有较好的可操作性和可行性。孟鹏等(2011)提出了建立非食品类消费品质量安全监测和预警系统的思路, 重点对非食品类消费品质量安全风险评估进行了研究, 建立了以伤害严重程度和伤害发生概率为二维矩阵的非食品类消费品质量安全风险评估模型。根据该模型建立质量安全风险检测和预警系统, 可对非食品类消费品的质量安全状况进行有效监测, 并及时发现重大产品安全隐患, 保障消费者的人身和财产安全。成嫣等(2012)根据纺织产品质量安全风险评估的工作流程, 从纺织产品的分类、风险信息收集、危害识别、风险估计以及风险评价等方面对纺织产品风险评估方法进行研究。此外, 电气附件、一般消费品等领域, 我国相继出台了一系列国家标准如: GB/T 22760—2008《消费品安全风险评估通则》、GB/T 22696.1—2008《电气设备的安全 风险评估和风险降低 第1部分: 总则》、GB/T 22696.2—2008《电气设备的安全 风险评估和风险降低 第2部分: 风险分析和风险评价》、GB/T 22696.3—2008《电气设备的安全 风险评估和风险降低 第3部分: 危险、危险处境和危险事件的示例》、YY/T 0316—2008/ISO 14971—2007《医疗器械 风险管理对医疗器械的应用》等。

1.2.3 风险耦合

风险耦合是指系统中一种或一种以上风险因素相互依赖、相互影响的关系, 分为同质单因素风险耦合、异质多因素风险耦合。风险因素间的依赖和影响程度越大, 风险耦合度越大; 反之, 风险耦合度越小。目前, 国内外有关风险耦合的研究主要在企业风险、

灾害风险、航空航天、交通安全、道路危险货物运输等方面。

1.2.3.1 企业组织管理领域

在企业风险方面, David (2000) 在对企业信用风险的研究中, 探讨了用 Copula 函数描述企业间违约的相关性结构。任秀梅等 (2006) 基于风险耦合理论, 在对国有企业资本运营风险及其耦合分析的基础上, 构建了国有企业资本运营整体风险的图示模型。邓明然等 (2006) 基于对风险传导过程中风险耦合的分析, 阐述了稳态以及非稳态风险传导的特点及其机理, 构建了企业风险传导模型。夏喆等 (2007) 在对风险传导过程中风险因子间耦合效应分析的基础上, 把其耦合分为零耦合、弱耦合以及强耦合三类; 最后基于触发器工作原理, 对风险的强耦合形成机理进行了深入研究。张友棠等 (2011) 基于系统理论, 认为企业财务风险是企业财务竞争力与行业环境支持力两者耦合的结果, 通过解析其耦合机理, 构建了企业财务风险耦合度模型。程鑫等 (2012) 在分析风险耦合特性的基础上, 解析了风险的耦合机理, 构建了基于耦合的企业风险管理模型。

1.2.3.2 灾害领域

在自然灾害方面, 李勋贵等 (2011) 基于信息熵理论和 USLE 模型, 给出了约束信息量因子和水土流失耦合风险的定义及其计算式, 建立了水土流失耦合风险等级和汛期洪水弃水系数之间的关系式。薛晔等 (2013) 基于灾害系统理论及其风险评估理论, 在对灾害耦合风险分类的基础上, 分别从相关性、力的合成和风险矩阵 3 个角度, 探讨了其耦合效应, 最后基于触发器工作原理, 对灾害耦合风险的形成机理进行了深入的研究。

在煤矿灾害方面, Sun Peide (2004) 从交互固体和气体力学角度, 在分析固体煤岩体变形和气体泄漏流相互作用机制的基础上, 建立了固体煤岩体变形和气体泄漏流风险耦合模型, 通过数值模拟预测了煤矿开采的安全范围。李润求等 (2010) 对煤矿瓦斯爆炸事故特征与耦合规律进行了研究, 给出了不同因素之间耦合所占的比例。刘全龙等 (2011) 利用改进的模糊 DEMATEL 模型, 对煤矿系统多因素之间的耦合作用强度进行风险度量。

1.2.3.3 航空航天领域

罗帆 (2004) 从人为因素、飞机和设备因素、环境因素以及管理因素 4 个方面, 系统地分析了航空事故的风险因素, 首次提出了基于贝叶斯网络的航空事故成因机理分析模型。高伟等 (2008) 认为, 空管分析了管制员人为差错的促成因素、差错发生的原因以及减少差错的方法, 指出减少人为差错是预防空管不安全事件的途径。杜红兵等

(2010) 运用三角模糊数学和 ANP 原理, 构建了基于 Fuzzy - ANP 的空管安全风险评价模型, 并采用某空管单位的数据进行了实证分析。刘堂卿 (2011) 基于系统动力学模型, 对空中交通管制安全风险因素之间的耦合作了因果关系分析, 并构建了基于复杂网络的空中交通管制安全风险耦合的 N - K 模型。王慰 (2011) 基于解释结构模型、耦合度模型、非线性动力学模型对空中交通管制安全风险因素之间的耦合进行了探究。林嘉豪等 (2011) 在对航空事故的本质致因分析的基础上, 构建了基于风险耦合理论的航空本质安全管理图示模型以及系统安全度和耦合风险度的计算模型。

1.2.3.4 交通安全领域

姜宁 (2011) 从交通事故发生的概率和事故的严重程度两个方面, 分析了影响交通安全的耦合风险, 并对风险事件在耦合风险中的结构、概率以及临界重要度进行了研究。姜玲 (2010) 从框架结构、体系结构和功能模块 3 个方面, 构建了基于风险耦合的交通安全应急管理系统。姜宁 (2011) 基于对影响交通安全的人为风险因素、设备风险因素、环境风险因素和管理风险因素的耦合分析, 构建了基于风险耦合的交通安全应急管理系统。马伶伶 (2014) 在界定城市轨道交通运营风险耦合的涵义、风险耦合的分类基础上, 对人员、设备、环境、管理 4 类风险的同质耦合和异质耦合进行深入研究, 基于系统动力学的 SD 模型和风险耦合理论, 构建了城市轨道交通运营风险的 N - K 耦合模型, 对其耦合度进行定性、定量分析, 为提高城市轨道交通风险管理的科学性和有效性提供了技术支撑。

1.2.3.5 货物运输领域

沈小燕 (2009) 在对道路危险货物运输事故统计分析的基础上, 认为道路危险货物运输系统是由人、车、危险货物、环境和管理 5 个子系统构成的复杂动态系统, 5 个子系统相互作用导致事故的发生。尚鸿雁等 (2009) 认为道路危险货物运输系统是由人、物 (包括运输车辆及其设备实施以及危险货物)、环境 3 个子系统构成的复杂动态系统, 基于人一物一环境系统的单因素风险致因机理、双因素风险耦合致因机理以及三维轨迹交汇耦合致因机理, 对道路危险货物运输事故的致因进行了研究。王亚东 (2013) 通过对道路危险货物运输安全风险耦合机理的研究, 揭示了影响道路危险货物运输安全的各种风险因素之间相互作用、相互影响的规律, 为及时识别、预防和控制道路危险货物运输安全风险, 降低事故发生的概率和后果的严重程度提供了方法依据。

1.2.4 仿真技术

仿真技术起源于 20 世纪 50 年代中期, 在经历了发展阶段与成熟阶段, 目前仿真技术