

黄顺祥 陈海平 刘峰 李磊 ◇ 著

化学风险评估



本书由

国家科技支撑计划重大项目(2006BAK01A14)

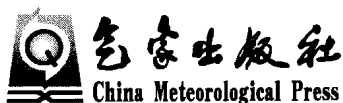
国家自然科学基金项目(40975089)

国家高技术研究与发展计划(863 计划)(2006AA06A306)

共同资助

化 学 风 险 评 估

黄顺祥 陈海平 刘 峰 李 磊 著



内容简介

本书全面阐述了化学风险评估的理论、技术与方法。主要内容包括:物质的毒性,毒性计量方法,毒害剂量与杀伤程度和杀伤率的关系;泄漏模型,蒸发模型,殉爆模型,源强反演模型;气象塔、系留气艇、边界层雷达观测与数据分析;快速化学危害评估方法;中尺度气象场模拟,微尺度气象场模拟;中尺度模式与微尺度模式的耦合;多尺度扩散数值模拟;外场扩散试验、水槽模拟试验与模式验证。

本书具有多学科交叉渗透的特点,涉及到毒物化学、大气科学、安全科学、数值计算技术等,将气象观测、气象场数值模拟、扩散模拟、化学危害评价与预测、应急决策支持等有机地结合在一起。书中包含了大量的试验内容和创新成果,资料翔实,具有重要的科学意义和实用价值。本书可作为环境科学与工程、化工等专业的研究生教材,也可供相关专业领域研究工作者参阅。

图书在版编目(CIP)数据

化学风险评估/黄顺祥等著. —北京:气象出版社, 2010. 6

ISBN 978-7-5029-5000-2

I. ①化… II. ①黄… III. ①化工产品-危险物品管理
IV. ①TQ086.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 105306 号

化学风险评估

黄顺祥 等著

出版发行:气象出版社

地址:北京市海淀区中关村南大街 46 号

总编室:010-68407112

网址:<http://www.cmp.cma.gov.cn>

责任编辑:蔺学东

封面设计:博雅思企划

责任校对:赵 媛

印刷:北京中新伟业印刷有限公司

开本:787mm×1092mm 1/16

字数:305 千字

版次:2010 年 12 月第 1 版

定价:30.00 元

邮政编码:100081

发行部:010-68409198

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

终审:黄润恒

责任技编:吴庭芳

印 张:11.5

印 次:2010 年 12 月第 1 次印刷

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等,请与本社发行部联系调换

序

环境污染被称为 21 世纪人类面临的三大威胁之一,绝大部分的污染是由化学物质造成的。化学污染危害的风险评估就是应对大气污染事故的重要内容。出于经济发展情况下国家和人民安全的考虑,近年来,化学危害已引起我国政府和人民的广泛关注。我国科技工作者也在研究预防和控制大气污染化学事故中积累了相当的经验,形成了相关的理论与技术,对重大工程的环境影响评价、突发公共化学事故应急、反化学恐怖、处理日本遗弃在华化学武器等起了相当大的作用。本书的目的就是初步总结这些经验、理论与技术,以利于相关科技的发展,并指导重大化学事故应急措施。

化学风险评估在 20 世纪早期即已萌芽,在两次世界大战中,要对化学武器使用效能进行评价,这在客观上促进了化学风险评估技术的发展。20 世纪后期,随着计算机的诞生与发展,大气数值模式重装问世,特别是数值天气预报和污染预报等得到了长足发展。本可为化学风险评估提供更新更先进的方法,但这段时期化学风险评估的发展明显滞后,例如当前仍在执行的相关法规性文件依旧推荐使用定常假设的 Gauss 扩散模式。这就需要理论方法的更新,随着大气污染预报和调控的日益广泛使用,最近二十年来,在理论技术方法上才有了较大发展,尤其可喜的是,中国人民解放军防化指挥工程学院一批专家学者致力于化学风险评估的研究,已经形成一个专业团队。该团队在著名化学专家陈海平教授的领导下,承担了处理日本遗弃化学武器、反化学恐怖、国家应急平台、重大活动安全保障等方面多项研究项目,积累了丰富的实践经验,一方面推动了化学风险评估理论和技术的发展,另一方面锻造了一支优秀的专业队伍,本书的作者,以黄顺祥等为代表就是这支年轻研究工作队伍的佼佼者。

化学风险评估与我们的生产和生活密切相关,印度博帕尔事件及我国重庆开县井喷事件、齐齐哈尔“8.4”事件(日本遗弃在华化学武器伤人事件)等给人们留

下了深刻印象。本书的内容凝聚了作者近十年的研究成果,从理论技术到实践应用均有涉足。书中的内容也不乏新颖性和创新性,其成果已在处理日本遗弃化学武器、重大活动安全保障、反化学恐怖等领域的实际应用中发挥了显著作用。

化学风险评估的关键理论与技术,涉及到毒物化学、大气科学、安全科学、数值计算方法等众多学科领域,学科交叉性和技术综合性很强。本书是我国迄今较为系统阐述化学风险评估理论、技术与实践应用的专著,对于从事这方面工作和有志于深入研究和发 展相关科技的读者会是大有裨益的。

曾庆存

2010 年 6 月

注:曾庆存,原中国科学技术协会副主席,中国科学院院士,第三世界科学院院士,俄罗斯科学院外籍院士,主要从事大气科学、地球流体力学、优化控制等领域的研究。

前 言

化学风险评估所涉及的科学领域很广,而且所涉及理论和技术又不失深奥和复杂。例如,化学风险评估中的重要内容之一——大气湍流,至今人类对其的认识还不很深刻,甚至连湍流是如何发生的都还不清楚。然而,化学风险评估对人类的生产和生活有着深远的影响,尤其是随着化工行业的快速发展,各种各样的化学事故频频发生,化学风险已经严重影响着人们的生命财产安全和人类生存的环境。因此,开展化学风险评估的研究不仅具有重要的科学价值,而且具有重大的现实意义。

化学风险评估正式成为人们关注的对象,可以溯源到第一次世界大战,化学武器的诞生叩响了化学风险评估的大门。为了有效使用化学武器,人们开始深入研究大气扩散规律,一些快速评估方法相继产生,Gauss 扩散模式就是成功的典范。计算机的问世,又极大地推动了化学风险评估的研究与发展,将定常假设条件下的 Gauss 方法发展到能够处理复杂的初、边界条件的数值模式。数值模式的诞生具有划时代的意义,尤其是对全球变暖、数值天气预报、大气污染数值预报等研究领域起到了巨大的推动作用。但遗憾的是,这段时期对化学风险评估的研究步伐反而放慢,我国一些法规性文件仍停留在以 Gauss 方法为主的解析方法进行化学风险评估。

本书作者有幸主持和参加了处理日本遗弃化学武器和化学危害应急预报与评价等相关项目的研究,面对实际问题,知难而进,潜心在该领域进行探索,本书就是近十年的主要研究成果,其中一部分已经在相关学术期刊和学术研讨会上发表,也有一部分还是首次面世。虽然本书为了内容的系统性,源强计算和快速危害评估的部分内容引用了前人的研究成果,但放弃了大篇幅记述基础知识的常套,着重着眼于化学风险评估在实际问题中的解决方法,由浅入深,较为全面系统地论述了化学风险评估所涉及的毒害计量方法、气象场模拟、扩散模式与试验验

证。既有利于读者认识化学风险评估的实质问题,又有利于读者应用本书提供的理论技术方法解决生产、生活中的实际问题。

本书虽然提出了化学风险评估的系列理论与技术,但该领域所涉及的基础理论尚不十分成熟,加上作者对化学风险评估的认识高度不够、研究深度欠缺,很多研究还只是尝试。例如,混合炮弹(爆炸物)殉爆、复合化学源的处理方法等问题还属于初步研究,对水槽试验中出现的流场在复杂地形影响下呈周期运动还不能通过数值模拟来实现。这些问题都有待于进一步深入研究。因此,希望本书能起到抛砖引玉之作用,为本领域内的同仁们提供一些有效的研究思路和方法。

本书的出版得益于防化指挥工程学院履约技术部石建华部长、周学志副部长和白晓波副部长的鼓励和支持,在此深表感谢!中国科学院大气物理研究所胡非研究员、洪钟祥研究员和北京大学桑建国教授、张伯寅教授、刘树华教授等为本书的有关内容进行悉心指导,在此深表谢意!另外,感谢全利红博士、彭珍博士、刘照明博士、张立杰博士、甄灿明硕士的帮助,感谢博士研究生李慧敏、硕士研究生李静和臧晓女士为本书的排版和文字校对付出的大量心血!

最后,因完成本书的时间仓促和作者的水平有限,书中的遗漏和错误在所难免,衷心地希望大家对本书中任何错误和不妥之处给予批评指正。

作者

2010年5月

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 化学危害的特点	(3)
1.3 化学危害的样式	(3)
1.4 化学危害与大气科学	(5)
1.5 内容概述	(6)
第 2 章 毒性与计量方法	(8)
2.1 物质毒性	(8)
2.2 毒性计量	(17)
2.3 毒害剂量与杀伤程度、杀伤率的关系	(30)
第 3 章 源强计算模型	(39)
3.1 泄漏模型	(39)
3.2 蒸发模型	(42)
3.3 殉爆模型	(44)
3.4 反演模型	(53)
第 4 章 大气观测试验	(55)
4.1 观测设备	(55)
4.2 大气边界层风分布特征	(59)
4.3 边界层温度分布特征和逆温	(66)
4.4 湍流统计特征	(73)
4.5 小结	(86)
第 5 章 快速危害评估	(88)
5.1 稳定度的判定	(88)
5.2 扩散系数计算	(89)
5.3 混合层厚度计算	(92)
5.4 连续点源扩散模式	(93)
5.5 连续体源释放模式	(93)
5.6 瞬时点源释放模式	(94)
5.7 瞬时体源扩散方程	(96)

5.8	垂直地面的连续面源.....	(98)
5.9	快速风险评估的应用.....	(99)
第 6 章	气象场数值模拟.....	(101)
6.1	中尺度气象场模拟	(101)
6.2	微尺度风场模拟	(118)
6.3	微尺度与中尺度的耦合问题	(125)
第 7 章	扩散数值模拟与危害评估.....	(137)
7.1	扩散基本原理	(137)
7.2	山区化学危害评估	(139)
7.3	城市化学危险评估	(146)
7.4	混合型化学危害评估	(149)
第 8 章	试验与模式验证.....	(159)
8.1	外场扩散试验	(159)
8.2	水槽模拟试验	(163)

第1章 绪论

化学风险评估在本书中是指对大气污染化学事件进行的危害评估,涉及毒物化学、边界层气象、污染气象学、大气扩散数值计算方法、安全科学等学科领域,是一个综合性极强的交叉科学。一方面,化学风险评估是重大化学工程的环境影响评价、安全评价、卫生评价和可行性研究报告的基础内容;另一方面,化学风险评估是应对突发性大气污染化学事故、重大活动安全保障和反化学恐怖的基本决策依据。

1.1 引言

随着化学工业的发展壮大,化学事故的发生频率也有所增加,近几年国内发生的多起大气污染化学事故,均造成了重大的人员伤亡和财产损失。例如,2004年4月16日,重庆市天原化工厂氯气泄漏事件导致重庆市江北区事故发生地附近居住的15万居民被迫紧急转移,给城市正常的秩序和居民生活造成严重影响;2005年3月29日,京沪高速公路淮安段发生液氯泄漏重大化学事故,造成31人死亡,436人中毒住院,10500人紧急疏散,大量家禽家畜死亡,直接财产损失2900多万元。有毒有害化学品爆炸和泄漏事故具有瞬间扩散性、突发性和不可逆性等特点,且发生在多尺度变化的时空范围内。

在常见的爆炸和火灾事故中,造成人员伤亡的主要因素不是来自于爆炸或燃烧造成的冲击波和烧伤,而是来自于爆炸或燃烧释放出的有毒有害气体的中毒伤亡。例如,2000年12月25日,洛阳市东都商厦所发生的特大火灾事故中死亡的309人全部是因吸入有毒烟气重度中毒窒息死亡。全国环境统计公报显示(如表1.1所示),2005年全国共发生环境污染与破坏事故1406起,其中大气污染事故538起。污染与破坏事故直接经济损失10515万元(未包括松花江事件)。环境污染受害面积达到4691万m²,其中,农作物受害面积4318.91万m²;自然保护区受害面积26.68万m²。

表 1.1 2003—2005 年中国环境污染和破坏事故统计

Table 1.1 The Statistic number of Chinese environmental pollution accidents during 2003—2005

年份	环境污染事故发生次数					伤亡人数(人)	
	特重大事故	重大事故	较大事故	一般事故	合计	死亡	受伤
2003	20	30	153	1640	1843	3	413
2004	25	29	166	1221	1441	12	327
2005	15	22	153	1216	1406	29	2371

注:资料来源于《中国环境年鉴》,中国环境年鉴社,北京,2004—2006年。

除了由于各种原因造成的化学事故之外,化学恐怖事件是国家和军队关注的热点问题。近年来,恐怖分子日益猖獗,受到全世界的密切关注,如以日本“东京地铁沙林事件”为代表的化学恐怖已震惊世界。恐怖活动除了直接实施核生化恐怖威胁之外,还通过破坏民用化工设施达到恐怖袭击的效果,甚至比直接实施核生化恐怖更为严重。例如,2002年4月11日,一名恐怖分子驾驶着一辆装满液化天然气的卡车,撞向突尼斯南部杰尔巴岛上的一座犹太庙,结果造成21人死亡。

日本在侵华战争期间,生产了大量的化学武器,其中,毒剂弹220余万枚、毒气筒500多万枚、生产毒剂7376吨。这些化学武器绝大部分运到了中国,杀害我国军民,造成20多万人伤亡。日本投降时,将大量未来得及使用的化学武器就地掩埋或抛之于江河湖海。目前,在我国19个省市发现70多个埋藏点,其中最大的埋藏点位于吉林敦化哈尔巴岭,大约有40万枚。这些化学武器严重威胁着我国人民的生命财产和生态环境安全,已造成2000多人伤亡,特别是齐齐哈尔“8.4”中毒事件、吉林莲花泡中毒事件、广州番禺中毒事件、巴彦淖尔航弹泄漏事件等一次又一次地给我们敲响了警钟,安全挖掘回收并彻底销毁这些日本遗弃化学武器工作刻不容缓。根据《禁止化学武器公约》及中日两国政府签订的《关于销毁中国境内日本遗弃化学武器的备忘录》规定和原则,必须对这些化学武器进行彻底销毁。中国政府同意在最优先确保人民安全及保护生态环境的基础上对日本遗弃化学武器进行挖掘回收和销毁处理。

这些化学事件令人触目惊心,且均具有共同的特征——有毒气体通过大气的传播而对人员和环境造成危害。

由于危险化学品性质特殊,极易引发物资、财产损失和人员伤亡事故,而且一旦发生事故,后果往往很严重,甚至会造成群死群伤的重特大事故。危险化学品事故的主要危害可以归纳为以下三个方面:

(1)引发火灾、爆炸事故。绝大部分危险化学品为易燃易爆物品,如压缩气体、液化气体、易燃液体、易燃固体、自燃物品、遇湿易燃物品、爆炸品、氧化剂和有机过氧化物等,极易发生火灾和爆炸事故。有相当一部分有毒品和腐蚀品也属于易燃易爆物品。在生产或使用危险化学品的过程中,往往处于温度和压力的非常态,如果在某些环节上处置不当,极易导致火灾、爆炸事故的发生。

(2)导致职业病。危险化学品中有相当一部分具有毒性,为化学性职业危害因素,容易导致职业病,目前已经有150~200种危险化学品被认为是致癌物。如果有毒品和腐蚀品因生产事故或管理不当而散失,则可能危及人的生命。

(3)造成环境污染。危险化学品易于流失,诸如运输过程中汽车倾翻、槽罐破裂,生产时容器爆炸等,都可能对地表和地下水、大气层、空气等造成严重污染,进而影响到人的健康。

因此,世界各国都高度重视有毒有害化学品的管理,相继制定了大量的法律法规。目前,我国在《安全生产法》、《港口法》、《固体废物污染环境防治法》等多部法律中明确规定了危险化学品的生产、运输、存储等相关行业需要制定应急预案。2004年4月国家环保总局发布了《危险化学品事故应急救援预案编制导则(单位版)》,指导危险化学品生产、运输、处置等企业级的应急预案编制方法。2004年5月国家发布《省(区、市)人民政府突发公共事件总体应急预案框架指南》,对地方政府应急预案的编制进行了详细规定。2007年1月9日国务院发布《国家突发公共事件总体应急预案》,2007年8月30日全国人民代表大会通过的《中华人民共和国突发事件应对法》,均旨在预防和减少突发事件的发生,控制、减轻和消除突发事件引起的严重社

会危害,规范突发事件应对处置预案、活动,保护人民生命财产安全。

对于突发性大气污染事件的应急,国内外已有很多研究,这些研究已经取得一些成效。但影响一个应急模拟系统所采用的模型的因子是多方面的,应急响应的时效性是一个重要的方面。及时准确地预报出事件影响的时空范围及后果,可为应急决策和采取有针对性的应急行动赢得必要的时间。在模型模拟应用过程中,模型的计算效率也是至关重要的,如事故风险分析中就可能涉及大量不同场景的结果计算。因此,模型的效率和可操作性成为实际应用中被强调的一个方面,计算效率较高的拉格朗日轨迹烟团模型、分段烟流模型或粒子随机游走模型往往成为事故扩散模拟的首选,如欧洲核应急决策支持系统 RODOS(Real-time On-line Decision Support)。我国田湾核电应急系统则采用了 Lagrangian 烟团模式。为应对发生在城市地区的突发化学事件,美国于 20 世纪末发起了一项大型研究计划——CBNP 计划,通过观测试验与数值模拟方法,从科学研究的角度探讨城市复杂下垫面条件下的近地层风场及污染扩散特征。作为 CBNP 计划的主要研究方法之一,数值模拟在刻画城市地区不同尺度风场变化与物质扩散方面起到了重要作用。在业务系统的研发方面,国外也有过一些成功的先例:印度与德国学者联合研制的 SPEEDI 模式系统,被用于核电厂泄漏事故中放射性物质的浓度预测;美国的 Savannah River 技术中心开发了基于 RAMS 的预测泄漏化学气体的扩散浓度的数值预报系统。我国在突发化学事件的应对方面,陈海平曾在 20 世纪 80 年代研制了化学估算盘,随着计算机的应用和普及,在 20 世纪 90 年代又建立了基于 Gauss 原理的化学评估系统,这些成果在化工行业和处理日本在华化学武器领域的应急中,发挥了重要的作用。但因这两种方法均只在理想大气条件下适用,所以在实际的应用中常常存在明显的不足。2004 年,黄顺祥等提出在应对化学恐怖袭击时应利用气象科学原理建立模式进行危害评估,指出了数值模拟方法在突发化学事件应对工作中应起到的核心作用,并研发了大气污染化学危害预测预警系统(Atmospheric Pollution chemical Accident predicting and Warning Systems, APAWS),在北京奥运会、反化学恐怖、国家应急平台、处理日本遗弃在华化学武器等领域得到了相应的应用。

1.2 化学危害的特点

化学物质主要以蒸气、气溶胶(雾和烟)、微尘和液滴等状态通过呼吸道、皮肤进入体内造成危害,或者直接接触眼、鼻、喉等通过黏膜进入体内造成伤害,以及被污染的水、食物等通过口服进入体内造成损伤。通过呼吸道中毒时,毒源主要缘于染毒空气;通过皮肤中毒时,毒物主要成液滴状;刺激眼、鼻等,毒物既可为蒸汽或气溶胶状,也可成液滴状。由于反材料化学物质的出现,化学危害也扮演了新的角色。如一种由气体、粉末或泡沫组成的内燃机窒息剂,可以使内燃机吸进这种物质后,燃油的燃烧性能丧失或极大降低,或者燃油在常温下凝固而造成无法行驶,以及应用特种细菌,使原油凝固或分解而无法使用。随着科技的发展和化学危害的复杂化和多元化,毒物的种类和伤害形式亦有相应的新特点,如经济破坏性毒物。

1.3 化学危害的样式

化学危害的样式很难准确描述和分类,但大多与其危害途径相关。本书根据伤害途径将

化学危害的样式划分为通过呼吸道毒伤人员、通过皮肤染毒造成连锁性毒伤、通过水体染毒、通过食物染毒、化工设施发生事故造成大面积人员中毒、加油站发生事故造成人员伤亡和财产损失、使用反材料化学物质以及在爆炸、燃烧事件中所造成的化学危害等 8 种样式。

1.3.1 通过呼吸道迅速毒伤人员

通过呼吸道迅速毒伤人员是化学危害最普遍的危害方式。易挥发性化学毒物或气溶胶等均可以通过呼吸道毒伤人员。通常有以下几种方式产生。

(1) 爆炸式

化学设施或化学弹爆炸之后,形成有毒初生云团,对场区和下风方向的人员造成伤害。

(2) 蒸发式

有毒化学品泄漏之后,依靠自然蒸发形成有毒再生云团,对场区和下风方向的人员造成伤害。

(3) 气压式

通过化学反应产生的压力气体,将有毒化学品喷向空间,迅速形成高浓度毒气,对场区和下风方向的人员造成伤害。

1.3.2 通过皮肤染毒造成连锁性毒伤

皮肤染毒不易被发现,人员流动相互接触,带到其他场所形成连续性染毒。

(1) 涂抹法:将剧毒不易挥发毒物泄漏或涂抹在车间用品、座椅、扶手、超市的商品或者公共运动、健身器械上。

(2) 喷洒法:气压式向人群喷洒小液滴,可能通过接触别人使之受害。

(3) 爆炸法:通过爆炸的方式,形成人体染毒和呼吸道中毒,造成复合伤。

1.3.3 通过水体染毒毒伤人员

自来水厂、建筑物顶的储水槽、储存地下水的高位储水槽、水井和饮料装料厂及供给生活用水的河流与水库染毒后,水体中的毒物通过供水系统输送到各家各户及相关使用单位,造成大范围毒害。

1.3.4 通过食物染毒毒伤人员

热稳定性较好且不易挥发的毒物造成食物染毒后,该食物煮熟后引起食用者中毒。当有毒物质造成熟食染毒时,可以造成就餐人员中毒。

1.3.5 化工设施发生事故造成大面积人员中毒

在化学品研制、生产、储存、运输、使用过程中,如果发生事故或人类投放毒物,将产生严重后果。由于化工厂储有大量有毒、有害、可燃、可爆化学品,大型化工厂通常处于工业发达的大城市或城镇周围,其地形和气象环境复杂,发生事故或对其进行破坏,可使大量有毒气体散布于大气中,随着气体流动将在大面积内毒伤人员。

1.3.6 加油站发生事故造成人员伤亡和财产损失

汽车加油站是一种非常特殊的化学危险源,分布非常广泛,由于它通常比较暴露,并且处

于城市交通干线或交通要道附近,其中有相当一部分位于人口相对密集的地带,发生事故或被恐怖分子破坏后均将造成人员伤害。

1.3.7 使用反材料化学物质

反材料化学物质是一种新型的化学剂,其特点是不具有杀伤作用,被称为“最仁慈”的化学武器。反材料如果被恐怖分子所拥有,很可能在大型运动会(如奥运会)、重大阅兵活动和军事演习等场合运用,造成各种活动瘫痪。

1.3.8 爆炸、焚烧形成有毒气体

绝大部分有机材料燃烧都会放出有毒有害气体。当空气中一氧化碳浓度大于1.3%时,人只需吸入几口就可以致命,二氧化碳浓度大于10%,也会很快致人死亡。一些有机材料燃烧产生的剧毒氰化物,人们只需吸入极少的量就将被毒死。

1.4 化学危害与大气科学

图1.1列出了生化污染的传播途径,其中明确的途径中,空中扩散所占比例最大。一旦发生化学事故,人员应怎样避免或减小危害?应急救援应怎样采取行动最科学?如何合理救治?这一系列问题都与大气科学密切相关。2002年11月21日,路甬祥院士在考察中国科学院大气物理研究所时,从各个方面分析强调了大气科学对国家安全、社会发展、人类活动的重要性。事实上,对化学事故的应急方面,主要需考虑危害范围、危害等级、危害时间和伤亡发展态势等技术指标,它们决定了人员疏散、防护的范围和时机、洗消区域、应急监测的布点和时间、人员救治等方案。而这些技术数据则由源和扩散决定,扩散又由气象条件决定。因此,化学危害与大气科学密切相关,这也是编写本书的关键点。

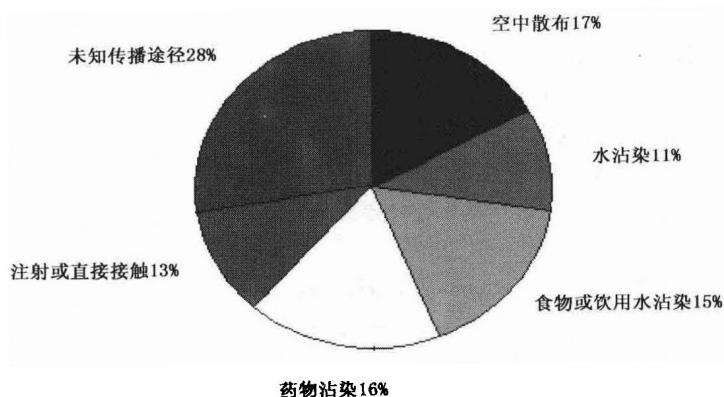


图 1.1 生化污染的传播途径

Fig. 1.1 The approaches of biological and chemical contamination

1.5 内容概述

本书材料主要取自于作者主持和参加的国家自然科学基金资助的《大气污染化学事故风险控制的优化理论与应用》、“十一五”国家科技支撑计划重大项目资助的《突发公共事件预测预警与智能决策技术研究——预测预警和模拟仿真技术研究》、北京市财政局资助的《北京市气象灾害监测预警及奥运气象服务系统建设》、处理日本遗弃在华化学武器气象观测与风险评估等项目的研究成果和国内外相关毒性试验数据。我们已经基本建成化学风险评估理论和技术体系,并付诸于业务之中,所建立的“化学危害预测预警与应急控制系统”已在相关领域应用推广。

本书其他七章分别介绍了化学风险评估的各个主要部分,包括毒性计量原理、气象观测与气象场数值模拟、扩散和应用等内容。为了方便读者,在每章的开头进行了本章的概述和说明。

第一章为绪论,主要介绍相关的背景知识和作用意义。第二章为毒性与计量方法,介绍了物质的毒性和剂量方法,既有对已有研究成果深化,也有新研究思路的阐述。第三章为源强计算模型,主要对常规模型进行归纳总结,同时提出了混合炮弹殉爆计算的理论和方法,并建立了计算殉爆量的模式,提出了源强反演的理论方法。第四章介绍了几个大气观测试验,对数据处理方法和数据分析进行较为详细的阐述。第五章为快速危害评估,从稳定度、扩散系数、混合层厚度的计算、各种源强的扩散模式系统地阐述了 Gauss 方法的应用与实践。第六章系统介绍流气象数值模拟,包括诊断模式、预报模式和 CFD 功能的软件等内容。第七章介绍了扩散数值模拟,对 Euler 原理和 Lagrange 原理的对比研究进行必要的阐述。第八章介绍了试验与模式验证,着重介绍了外场扩散试验和水槽模拟试验与数值模拟的对比。

参考文献 (References)

- 陈金周,陈海平. 化学武器效应及销毁[M]. 兵器工业出版社,2002:73-95.
- 黄磊. 氯泄漏及氯化物腐蚀灾害问题研究[D]. 南京工业大学硕士论文,2005.
- 黄顺祥,胡非,李昕等. 反化学恐怖危害评估[J]. 北京大学学报(自然科学版),2004, **40**(1):121-128.
- 李冬梅. 重大危险源分析、辨识与危险性评估研究[D]. 天津理工大学硕士论文,2008.
- 姚仁太,郝宏伟,黄杰等. 田湾核电站场外事故后果评价系统——TW-NAOCAS[J]. 辐射防护通讯,2006, **26**(2):1-9.
- Huang S X, Hu F, Chen H P, Liu F. Development of chemical agents dispersion models for countering chemical terrorism[J]. *International Chinese Ocean-Atmosphere Conference*, 2004, **06**: A7. 5, 1-10.
- Huang S X, Liu F, Liu P. Study on a chemical hazard early warning technology platform[C]. *Progress in Safety Science and Technology*(Ⅶ), 2008(10):394-398.
- Huang S X, Liu P, Hu F, Chen H P, Liu F. Countering nuclear, chemical and biological terrors and the essential role of atmospheric sciences[C]. *Progress in Safety Science and Technology* (V), 2005(10): 1830-1836.
- Naoei, et al. Current Status and Advancement of Speedi Network System[C]. The 13th International Conference on Nuclear Engineering. 2005.
- Raskob W J, Ehrhardt. Status of the RODOS system for off-site emergency management after nuclear and ra-

diological accidents[C]. The First International Conference on Risk Analysis and Crisis Response, 2007. 11.

Steven R, Hanna, *et al.* Comparison of Observed, MM5 and WRF-NMM Model-Simulated, and HPAC-Assumed Boundary-Layer Meteorological Variables for 3 Days During the IHOP, Boundary-Layer Meteorol [R]. 2009. 11, DOI 10.1007/s10546-009-9446-7.

Wang Y, *et al.* Methods for the manufacture and test of multi-gap resistive plate chambers[J]. *Nuclear instruments & methods in physics research. Section A*, 2005(2):698-702.

第2章 毒性与计量方法

毒性是有毒物质对人、动物机体产生毒害作用的能力,它是有毒有害物质的重要特性之一。有毒物质对人的毒性数据是较难得到的,尤其是军用毒剂。历次战争中使用过的毒剂,可根据敌方人员中毒效果进行分析,取得毒性数据;对正在研制中的毒剂,可通过偶尔中毒事故,得到一些有关的毒性资料,但都很不完整,也很不精确。因此获得毒剂的毒性数据,主要的途径是通过对动物的多次试验,并进行必要的处理,推算出对人体毒害的毒性数据。动物试验求得的数据只是近似值,因为毒性取决于一系列的因素,其中包括动物的种类、性别和年龄,以及健康和营养状况。另外,只有知道以何种中毒途径测得的数据,才有实际意义。

法西斯主义者为了获得他们所需要的毒性数据,灭绝人性地对人体直接进行试验。早在日本法西斯侵略我国期间,就用活人做试验。希特勒德国的一些研究机构所获取的某些致死性数据,也是用人做试验得到的。根据毒剂对机体的毒害作用特性和在战斗中不同的使用目的及所要求的杀伤效果,可采用不同的毒剂战斗状态和中毒途径,并以此确定毒剂的使用量。但是,不同条件下的毒剂使用量,是以毒性数据为依据的。毒剂的毒性根据使用者的需要,有各种各样的计量方法。对于民用有毒有害物质,通常的毒性数据是针对影响人的健康和环境的,对人体的毒伤作用评估需要的毒性数据可以根据常规数据转换得到,这些间接毒性数据可以反映物质对人体毒伤作用的基本状况。本章分别对物质的毒性、毒性计量和毒害剂量与杀伤率的关系等三个方面进行论述。

2.1 物质毒性

2.1.1 蒸汽(或气溶胶)状毒剂的毒性

毒剂以蒸汽(或气溶胶)状使用时,毒性的大小常以毒害剂量(L_a)来度量。它是指在一定的条件下,染毒浓度与作用时间的乘积,即浓时积,以 $(\text{mg} \cdot \text{min})/\text{L}$ 为单位。当蒸汽或气溶胶状毒剂对人员造成严重杀伤时,通常可取五个毒害剂量级,如表2.1所示。

毒剂蒸汽(或气溶胶)可以通过呼吸道、眼睛和皮肤使人员中毒。下面按不同的中毒途径讨论其毒性特点。

2.1.1.1 通过呼吸道吸入中毒

若毒剂云团通过呼吸道吸入中毒时,在时间 t 内被吸人体内的毒剂量 $Q(\text{mg})$ 为:

$$Q = CtV_\alpha - at \quad (2.1)$$

式中, C 为毒剂浓度 (mg/L) ; t 为作用时间 (min) ; V 为吸气速度 (L/min) ,通常是取人、畜处于静止状态时的吸气速度,如表2.2所示,若为其他活动状态,应加以修改; α 为呼吸系数,即吸入体内