

化学突发事故 风险评估的 研究与应用

胡德福 著

科学出版社

化学突发事件风险评估的 研究与应用

胡德福 著

科学出版社

1995

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书包括化学突发事件风险评估方面的研究报告、论文及应用实例文章共10篇。涉及事故灾害的分类与描述、化工企业风险评估的方法等。重点是介绍城市化学突发事件危害的预测研究,统计模拟预测软件适于制定应急救援方案用;快速估算系统则同时适于实时指挥用。对事故连续源长期平均浓度的预测也作了介绍。

读者对象:政府各级领导和管理人员,公安、消防、人防、劳动安全、环境保护部门,石油、化工、医药等企业,高等院校及军队有关技术和研究人员。

化学突发事件风险评估的 研究与应用

胡德福 著

责任编辑 杨淑兰

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

北京市怀柔黄坎印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1995年3月第一版 开本:850×1168 1/32

1995年3月第一次印刷 印张:3 1/8

印数:1—800 字数:77 000

ISBN 7-03-004401-0/O·763

定价:9.60元

前 言

1984年12月3日印度博帕尔联合碳化公司发生55吨甲基异氰酸酯泄漏事故，造成2500多人死亡，5万人失明，世界为之震惊。事件发生后，许多国家组织军队、民防、化工、环保等有关部门，开展专题研究，制定应急救援方案。有的建立起庞大的监测网及计算机预测系统。1987年欧洲共同体（EEC）立法，规定对有可能发生化学事故的工厂必须进行风险评估。EEC的联合研究中心配合这一立法，发展了计算机决策支持系统。美国军方更早在1977年，就把化学战剂的施放与有毒化学品的意外泄漏相提并论、同题研究，并针对失能剂、神经性毒剂、氯、氨等九类有毒气体，给出不同源强、不同气象条件下的危害区域。1991年4月9—11日，由美空军大气医学实验室、美海军医学研究院毒物研究室和美陆军生物医学研究室协同美国国家毒物研究委员会，在俄亥俄州举办化学品风险评价研讨会，从理论、实践及对策三个方面进行了深入的探讨。

1992年10月5—10日，在伦敦召开了化学品风险评估国际研讨会。此后不少国家先后制订了中短期的科研规划，选择的课题诸如风险评估的概率统计模式；易燃与有毒气体云团扩散的变化效应；若干主要危险品风险评估计算机模式的改进与验证；重大事故风险评估一个欧拉近似解的进展；关于快速放热效应/分解的化学系统的小尺度热分析技术的应用等，显示出相当的实力与水平。

我国政府各有关部门对此问题也很重视。化学工业部、劳动人事部、城乡建设部、全国人民防空委员会、国家环境保护局、中国人民解放军总参谋部防化部等都进行过专题调查或召开过专门会议，力求把防范化学事故纳入城市建设总体规划中去，采取

了一系列应急措施。受北京、天津、沈阳市人民防空委员会的委托，中国人民解放军总参谋部防化部防化处与防化研究院（全军环境科学研究中心）于1987年研制城市化学事故危害预测系统。1989年中国人民解放军总参谋部防化部主持通过了此项科学成果鉴定。该系统包括地形、人口、重点目标数据库、预测软件、图形显示及绘图软件等。1990年全国人防在苏州举办培训班推广该预测系统，同时着手研制快速估算系统。

1993年5月，中国环境科学学会在北京主持召开了我国第一届环境风险评价研讨会，交流学术论文30多篇，在开展环境风险评价工作的重要性、现状、目前水平等方面取得了共识，倡议筹建环境风险评价与管理研究会。同年12月，联合国环境规划署工业与环境活动中心和我国国家环保局在上海召开Apell（阿佩尔）计划（地区性紧急事故意识和防备）亚太地区研讨会。Apell计划始于1988年，其宗旨在于促使公众产生和增强对社区中可能产生的危险事故的意识；制定对可能产生的事故的合作行动计划，特别强调对事故的预防。国内许多省市的人防、环保、化工等部门过去多年的工作与Apell计划的精神是一致的，今后也可纳入同一目标之中。这是个庞大的系统工程，风险评估仅是其中的一环。会上介绍了瑞典政府帮助制订的“地方社区危险物的鉴定和估价”，国内也有许多类似的工作。为响应大会的号召，积极参与并推动Apell计划的开展，笔者从近几年的实际工作中选出十篇论文汇集成书，抛砖引玉，供读者参考，欢迎批评指教。为保持原来的面貌，这次未作内容上的修订，每篇均可单独成章，而彼此间又有其内在联系，涉及风险评估的综述、方法研究、数学模型及实际应用等方面。为便于编程，把常用的误差函数等拟合成连续的近似表达式，有关内容列于附录中。“城市化学突发事件危害预测研究之二”一文是和现今在大洋彼岸的徐赤裔、邓立平夫妇共同研制的；“株洲市化学事故风险评估”工作则是和防化研究院的陈丽惠女士、株洲市人防办公室的李翔、黄世冬先生合作完成的；早期参加城市潜在威胁危险源调查的还有防化研究院的吴庆

贤、李树仁先生；多年来各项工作得到许多领导、同仁、朋友的关怀与支持，在此仅表深切的谢意。

本书献给广大读者，首先献给诸工业城市的市长或秘书长先生。由于历史上的种种原因，不少城市出现工厂企业与居民区交错的情况，有些工厂技术装备陈旧，化学危险品种类杂、储量大、运输频繁，极易发生事故。一旦出现重大的化学突发事件，尽管化工、人防、环保、公安、消防、劳动及驻军等方面都会各司其职，但对于大多数城市而言，最后的抉择恐怕还是要落在市长或市府秘书长身上，恳望各级领导能在百忙之际，抽空审阅此书，敬请斧正。

目前，在加速发展经济的形势下，依然潜存着令人忧虑的问题。据新华社报道，1993年我国火灾空前严重，发生火灾 38 000 多起，造成 2467 人死亡，5977 人受伤，直接经济损失 11.2 亿元，是解放以来损失最为严重的一年。本书第一篇在事故灾害的种类与危害分析中，引用了公安部消防局 1985 年及 1990 年公布的数字，年均发生火灾 37 000 起。1993 年与之相比，火灾次数基本持平，但损失却剧增。这恐怕也绝非偶然。应该说，城市有关部门对于防火是极为重视的，119 火警电话是统一的；消防队官兵行实 24 小时值班，接到报警后 3 分钟内消防车必须出动；各种规章制度齐全，防范措施得力，而且积累了丰富的灭火经验。当然也存在着高层建筑消防能力不足、装备老化、投入不够、人手紧张等诸多问题。但是，当城市出现大量有毒气体外泄事故时，则没有统一的报警电话，也没建立完善的管理规章制度。许多问题，如怎样实施救援、撤离，由哪一部门牵头指挥等等，对于大多数城市都还是议而未决的。救火是刻不容缓的，对于木结构建筑的居住区，在 2—3 级风速下，火情每小时蔓延的距离大体在数十米的量级上；而有毒气体外泄，在同样风速下，每小时早越出数公里之遥！诚然，危害越大的突发事件，其出现的频率也越小，通常若干年也不一定出现一次，并未引起人们思想上的极大重视。最近两年来我国相继发生了多起重大事故，令人震惊。深圳清水

河危险品仓库爆炸、南京炼油厂油罐泄漏起火、北京隆福大厦及克拉玛依市友谊馆等火灾，损失巨大，但都还不属于化学突发事件。如果当时清水河仓库有一辆装满 40 吨液氯的槽车被引爆，其后果就不堪想像了。亡羊补牢犹未晚，要真正把历史与他人事故的教训变成自己保证安全的财富，就要从技术、装备、信息与管理上切实有所准备；也只有这样，才可能杜绝类似于博帕尔事件那样的灾难在我国出现。

目 录

一、事故灾害的分类与描述.....	(1)
二、化工企业的风险评估.....	(9)
三、非定常风场中污染浓度分布的预测.....	(22)
四、城市化学突发事件危害预测研究之一.....	(28)
五、城市化学突发事件危害预测研究之二.....	(35)
六、株洲市化学突发事件风险评估及有毒气体扩散危害区 域预测.....	(43)
七、科威特油井大火若干污染物危害估算.....	(52)
八、多源有害气体长期平均浓度预测.....	(60)
九、昌平化肥厂液氯外泄风险分析.....	(72)
十、某油库储罐火灾爆炸风险分析.....	(76)
参考资料.....	(81)
附录 I 误差函数和拉普拉斯函数的一个近似表达式.....	(82)
附录 II 准静风时扩散参数的连续化及一组高精度的拟合 表达式.....	(87)

第五章 固体废弃物

一、有害固体废弃物的来源.....	156
二、无害的固体废弃物.....	167
三、污泥的处置技术.....	168

第六章 噪声污染

某些拥有专利权的噪声控制方法.....	173
---------------------	-----

一、事故灾害的分类与描述

(一) 事故灾害的种类与危害

一般说来，灾害可分为自然灾害与非自然灾害两类，前者为地震、海啸、台风、洪水等，目前还不能预先防止它的发生，只能程度不同地作出预测，采取防范措施，以期减少损失。后者除了战争灾害外，大多属事故灾害。如有毒气体或放射性物质泄漏、火灾、爆炸、重大海空难事件等。究其发生缘由，归根到底与人的活动有关。从理论上讲，每一事故灾害均可预先防止，我们也是要从这个角度去探索预防措施。但是，结合到现实条件，各种事故灾害的出现都有其内在的必然性。就单个事故看，仿佛都是偶然的，但从统计的观点分析，事故灾害的分布服从某一规律，这也是不依人的意志为转移的。表 1-1 列出的是美国 1976 年至 1980 年全国火灾统计资料，五年内起火次数、财产损失及死亡人数大体在一个范围内波动。尽管每年发生火灾的地点、场所、规模、原因各异，每一次火灾或许皆非必然，但全年的统计结果却极其相近。1980 年后，美国广泛使用烟雾报警器，火灾损失才明显下降。

表 1-1 美国火灾损失情况

年 度	起 火 次 数	财产损失 (亿元)	伤 亡 人 数
1976	2 939 100	68.9	8 800
1977	3 513 000	89.9	9 950
1978	3 070 000	75.4	8 620
1979	2 850 000	89.4	7 780
1980	3 000 000	93.6	8 500

其它国家，如英、法、日等国火灾损失统计资料也雷同，我国公安部消防局 1985 年 7 月 27 日发布消息，该年上半年全国发生火灾 18 185 起，直接经济损失 1.59 亿元；1990 年底公布 10 年发生火灾 37 万起，直接经济损失 32.2 亿元，即半年平均发生 1.85 万起，损失 1.61 亿元，数据极为吻合。不仅火灾如此，其它事故灾害统计资料也呈现类似的规律性。譬如城市交通事故，在现有城市人口、车辆、道路状况、司机素质以及交通管理水平的现实条件下，出现事故的概率、财产人员损失也满足一定规律的分布。有关因素未有突破性的进展或变化之前，事故难以大幅度减少。当然，不同事故灾害所依赖的影响因素多少及复杂程度、交互作用等均不相同，所呈现的规律也各异。人们深入了解这些事故灾害发生的机理与过程，便于采取防范措施。

事故灾害的种类很多，有些安全学资料中曾按发生的场所进行划分，如交通灾害、工矿企业灾害、海空难事故、城市火灾、城市公害等。

从防护的角度，倾向于按事故灾害的性质分类。所谓事故灾害与各个行业单个的生产或设备事故在人员、财产损失程度，涉及的范围等方面有很大的区别，但两者又不能截然分开。如著名的印度博帕尔事件，倘若当时操作人员能打开备用储槽阀门或接通焚烧塔管道，那末充其量是一次跑料事故，远不会酿成近代工业史上的一次最大悲剧。若着眼于城市民众安全的防护，事故灾害主要指以下几类：

- (1) 化学突发事故灾害，即大量有毒有害气体突然外泄、扩散，造成大面积污染，危及人群；
- (2) 核泄漏事故灾害，主要指核电站、核燃料矿山及后处理工厂大量放射性物质外泄，环境辐射剂量严重超标；
- (3) 涉及人口疏散、转移的重大火灾、爆炸事件；
- (4) 突发性水污染灾害，病毒或病菌爆发性传播蔓延。

不同事故灾害的危害机理、危害范围、持续时间以及所依赖的因素均不尽相同，但却和水灾、地震等自然灾害一样，具有以

下若干共同的特点：

(1) 在一个比较广泛的范围内，突然造成巨大的环境破坏，招致大量的人员或财产的损失；

(2) 引起社会程序的混乱与动荡，一段时间内难以恢复，必须采取应急措施；

(3) 灾区需要各方面的救援，有的甚至需要国际社会的救援。

这里特别要提及人们通常相提并论的核化学事故，究其危险性而言，对于无防护的群众威胁都很大，而且都具有程度不等的长期效应。从心理状态分析，似乎多数人更惧怕核事故。我国核电站建设刚刚起步，我国建造的秦山核电站的安全壳刚通过鉴定，合营的大亚湾核电站正紧张施工，但国家核安全局早已正式成立，并有效地运转着。而对星罗棋布的大小化工企业还未见有动议成立化工安全局。从全球的角度看，严重的核电站泄漏事故与重大化学危险品泄漏事故相比，概率相近，大体都在千分之一至万分之一之间。但化工企业的基数大，其绝对值要高一个数量级以上。我们且拿著名的印度博帕尔事件与前苏联切尔诺贝利核电站事故作个比较，固然两者存在着伤害机理不同、事故时间尺度不同等不可比因素，但前者当时死亡2500人，失明五万人，从1984年至今，每天仍平均死亡一个人。而切尔诺贝利核泄漏，当时死亡人数在数百人量级下，这些年继续死亡的也大体在数百人的量级下，两者相差甚远。试想如果能像抓核安全那样，抓化工安全，那末化学突发事件的风险值将会明显下降。这自然有投入的问题，但也无不并存着认识问题。

(二) 化学突发事件灾害的描述

由于高压容器、储罐、输送管道节门的破裂，以及液化钢瓶爆炸等诸多原因，导致有毒有害气体外泄，包括有毒液体的迅速挥发，如果泄漏量小，或能及时堵塞，染毒范围不大，属于一般设备或操作事故，所在工厂或单位便适时处理了。倘若泄漏量大，

外泄气体毒性剧烈,且未能实时控制住,就可能酿成大祸。有毒气体外泄后,随大气弥散,中心位置浓度最高,向外逐步扩散稀释,下风向形成相应的时空浓度分布,即不同浓度的染毒区域。相应范围内的人员、牲畜、树木及农作物受到不同程度的危害。如果泄出的是易燃、易爆气体,遇明火或静电火花可引起燃烧爆炸;也有可能扩散相当一段距离后,遇明火引起回火爆炸。化学突发事件灾害的危害程度除与泄漏量多少、泄漏气体毒性大小、源高等条件有关外,还和当时的气象条件(包括风速、风向、大气垂直稳定度等)以及周围地形、人口分布密度等因素密切相关。对于1979年我国南方某电化厂液氯钢瓶的爆炸事故,我们曾作过实地追踪调查。该厂有400多名职工,主要产品是烧碱,负责供应该市部分液氯,厂周围紧靠着居民区。由于一用户违章操作,使用液氯钢瓶未加缓冲罐,致使瓶内倒灌入石蜡。而该工段重新充装时未预先对钢瓶进行检查或过磅,导致液氯和氯化石蜡发生强烈反应引起爆炸,并引起一系列连锁反应。另外三个同样的液氯钢瓶受冲击爆炸,总储罐亦被击穿,总共有10吨液氯外泄。爆炸气浪将一只总重1735千克的液氯钢瓶掀起,飞越12米高的.高压线,砸破盐仓屋顶,坠落在距爆心30米处的仓库内。据测算,爆炸威力相当于120—130千克TNT。当时正值东南风,风速约3.7米/秒,阴天。爆炸后风向曾一度转东,逸散出的氯气形成黄绿色带状烟雾向西北方向扩散,纵深约达3000米。按受害程度大致可分为三个区域:

(1) 重度危害区域

上风向40米至下风向500米,宽度约300米。其中,靠近爆心处当场死亡18人,送医院抢救无效死亡41人,逃离者也严重中毒,花木枯焦;离爆心百米外,人员严重中毒,花草部分枯死。这个区域内还有另外一个小厂,77名工人全部逃离,17人严重中毒住院,另60人咳嗽不止,其中20人咳出血。

(2) 中度危害区域

下风向500米至1100米,宽度约200—500米。该范围内

有一小学，7人住院，400人咳嗽呕吐，其中40人咳出血。

(3) 轻度危害区域

下风向1100米至3000米，宽度约600—900米。该区域内人员咳嗽，树叶枯黄。

该事故所幸发生在白天，大部分人员能迅速撤离，又因为风速较大，地面浓度相对要小些。如果该事故出现在夜间，风速又比较小，那末染毒面积要扩大几倍。此事故是爆炸引起，属瞬时源，如果是阀门损坏或裂缝外泄，连续释放，总量不变，其危害范围要小些。

所调查的重、中、轻危害区域数据与应用预测软件的模拟结果基本吻合，具体数据见表1-2。

表 1-2 调查与预测数据比较

项目 类别	S_1 (公里 ²)	S_2 (公里 ²)	S_3 (公里 ²)	X_1 (公里)	X_2 (公里)	X_3 (公里)	L_1 (公里)	L_2 (公里)	L_3 (公里)	SL (公里)
调查	0.113	0.385	2.25	0.5	1.1	3.0	0.21	0.35	0.8	0.04
预测一	0.182	0.347	2.30	0.824	1.484	3.214	0.246	0.291	0.819	0.066
预测二	0.102	0.206	1.43	0.779	1.15	2.705	0.162	0.222	0.657	0.066

表中， S_1 ， S_2 ， S_3 分别表示重、中、轻度危害区域；类似地 X 表示纵深距离； L 表示平均宽度； SL 表示上风向染毒距离。

预测一是按瞬时源在相应源强、源高条件考虑；预测二则是考虑连续源。

各种有毒气体的毒性不同，伤害机理也不同，所以中毒人员的症状也各异；不同气体受光照、氧化、水解而引起毒性降解的程度也不一样，这些都将影响到事故灾害的救护与处理。

(三) 我国化学突发事故灾害源的产生与分布

随着科学技术的进步和生产的发展，产品种类日益繁多，工

艺越趋复杂，高温、高压、高真空技术广泛应用，事故灾害的潜在危险性增大。目前世界上已知的化学品就有 600 余万种，其中被广泛应用的有 6—7 万种，每年还有数百种新产品投入使用。产量越来越大，储存也相当集中，一个大型液化气储罐容积达 6 千立方米，而巨型煤气储罐容积竟高达 15 万立方米！一个危险品仓库可存各种危险品物资 4 万多吨，一个大型铁路编组站每天过路危险物资近万吨。这些都蕴含着出现事故灾害的隐患。诚然，新技术也不断应用于安全、防护措施，从总体上说，危险与安全两种因素都可能有所增长，但由于某些有潜在危险的工厂选址不当、布局不合理，具有先天的缺陷；再加上人们对新工艺、新技术、新产品的认识有个过程，而采取防范措施、制订安全技术规定等等又难免带有某些滞后性，因此在一段时期内，种种事故可能呈现增长的势头。

能够污染环境，危及生态的化学品很多。美国公布的 24 类危险性物质中大部分是化学品（表 1-3）；联合国环境规划署也公布了危害全球的化学物质和化学过程清单（表 1-4）。但是，这些化学物质或化学过程并非都能对人群构成突发性的中毒灾害。只有具备毒性大、用量多、易于扩散、周围人口密集等四个条件，

表 1-3 美国公布的 24 类危险性物质

1. 丙烯腈	13. 二溴化乙烯
2. 砷	14. 环氧乙烷及其残留物
3. 石棉	15. 铅
4. 苯	16. 汞和汞化合物
5. 铍	17. 亚硝酸类化合物
6. 镉	18. 臭氧
7. 氯仿和氯代烃溶剂：三氯乙烯、全氯乙烯、甲基氯仿	19. 多溴联苯类化合物(PBBs)
8. 氯氟化碳类化合物	20. 多氯联苯类化合物(PCBs)
9. 铬酸盐	21. 放射性物质
10. 炼焦炉散发物	22. 二氧化硫
11. 二溴氯代丙烷	23. 氯乙烯、聚氯乙烯
12. 己烯雌酚	24. 能进入食物链的废弃物

表 1-4 联合国环境规划署公布的危害全球环境的化学物质和
化学过程清单

1. 镉	6. 二氧化碳及其衍生物
2. 铅	7. 富营养化
3. 汞	8. 煤和其它石化燃料的生产和使用
4. 二氧化碳	9. 油污染
5. 氮的氧化物和光化学氧化剂	10. 滥用杀虫剂

才可能构成化学事故灾害的危险源。使这种潜在威胁变成实际灾害的诱发因素很多，跟人的活动有关的主要有以下几个方面：

- (1) 设计上存在缺陷；
- (2) 设备质量差，或因无判废标准（或因不执行判废标准）而过度超时、超负荷运转；
- (3) 管理或指挥失误；
- (4) 违章操作。

结合我国具体情况，有毒化学品危险源中应特别注意以下几种：

(1) 光气与甲基异氰酸酯

光气，学名是二氯化碳酰 (COCl_2)，第一次世界大战中曾作为军用毒剂使用。1915 年 12 月由德国军队对法国军队首次施放。目前一些国家仍列为军用窒息性战剂。但近些年来光气已成为人造革、染料、农药和医药多种产品的重要原料，特别是在制药中的低残毒性大受人们重视。甲基异氰酸酯 ($\text{C}_2\text{H}_3\text{NO}$) 是光气的中间体，毒性比光气还大。它是农药与火箭燃料等产品的重要原料。据 1985 年的调查，我国生产光气与甲基异氰酸酯的企业共 32 家，光气的年生产能力 5.6 万千吨；有液态光气中间储存的企业 6 家，日常储量为 65.5 吨。最大储户为重庆市某化工厂，储量为 24 吨；生产甲基异氰酸酯的年生产能力为 400 吨。这些企业多建在城镇人口密集地区。有十家企业，在 1.5 公里范围内，居民人口超过 2 万。而且除烟台合成革厂的光气生产装置是 70 年

代从日本引进的外，其余的光气生产工艺、装置都很落后，多数厂的容器技术状况不佳。1985年后，化工部已采取紧急措施，严格控制生产布局，制定有关技术规程，对不符合安全要求的容器、设备进行更新；同时加快技术改造，逐步实现生产工艺自控，增加现场监测报警设施等，情况有所改善。

(2) 氯气

氯气(Cl_2)能严重刺激呼吸系统，第一次世界大战中曾作为军用毒剂广泛使用，导致重大伤亡。现今它是塑料、合成纤维、农药等产品的主要原料，也大量用于纺织、造纸和自来水消毒。我国除西藏外，所有省(市)自治区都有生产氯气的企业，用户遍及各地，储运环节繁杂。据1985年调查资料，我国有180家烧碱企业，主要采用电解法生产，每生产1吨烧碱，伴有0.885吨氯气产生，部分用于生产液氯，其余用其合成别的产品。其中年产5万吨以上烧碱的企业有十家。几年来，氯气泄漏事故时有发生。除要注意生产装置及储罐、钢瓶外，还应特别注意铁路专用罐车及陆路、水路运输液氯钢瓶的安全。

(3) 其它有毒气体或挥发性大的有毒液体

据上海、株洲等工业城市调查，可能酿成化学突发事故灾害的主要还有甲醛、氯丙烯、氯乙烯、二硫化碳、一甲胺、二甲胺、二氧化硫、一氧化碳、氨、氢氰酸、苯、氟化氢等30余种有毒化学品。这些也都是要密切注视的。1991年9月3日凌晨，在江西上饶的沙溪镇发生2.6吨一甲胺外泄事故，死30多人，伤600余人，造成严重恶果。

为了化学突发事故应急救援的需要，中国人民解放军环境科学研究中心已先后研制成功城市化学突发事故预测软件及快速估算系统。特别是后者，不仅可作预测，同时适合实时指挥用。软件在DOS下直接运行，输入相应数据后，在PC机上一分钟内可给出危害面积、纵深，并可通过屏幕编辑适时打出扩散图，适于应用推广。