

WEIXIANYUAN XIELOU
YU YINGJI FENGDU JISHU

危险源泄漏 与应急封堵技术



闫宏伟 著



國防工業出版社

National Defense Industry Press

危险源泄漏 与应急封堵技术

闫宏伟 著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

危险源泄漏与应急封堵技术 / 闫宏伟著. —北京: 国防工业出版社, 2014. 1

ISBN 978-7-118-09203-5

I. ①危... II. ①闫... III. ①危险源—泄漏②危险源—封堵 IV. ①X924.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 019853 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×960 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 209 千字

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 59.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

前 言

突发环境污染事件具有很强的不确定性,会在瞬间或短时间内泄漏出大量污染物,如管道、贮罐等容器泄漏,对周围环境造成污染,如果得不到及时处理,就很可能造成进一步的损害,导致事故更严重。在突发环境污染事件处置过程中,各级政府和环保部门面临前所未有的压力和挑战,也暴露了仪器设备不足与处置经验欠缺等诸多问题。

本书对危险源管道、储罐及储运过程泄漏的成因及影响因素进行了分析,确定了管道、高压容器的主要泄漏部位,并对重大危险源的泄漏模式进行了研究,建立了危险源储罐及管道等泄漏模型以及介质流泄漏状态的数学模型;分析了影响泄漏扩散的主要因素,研究了泄漏模式的产生机理及条件,并建立了危险源管道的动力学模型。通过管道流体的 CFD 动力学仿真,对管道泄漏处流量和压力状态做出理论性评估,为封堵装置的设计提出了具体的性能指标。

本书内容中阐述的快速封堵装置是针对现有封堵装置效率低、难以适应复杂多变的工况和特定的泄漏状态而研发的快速有效的新型封堵装置。本书对适用于管道、储罐等压力容器泄漏时实施封堵的管道内封堵导流气囊、管口应急封堵导流装置、管道泄漏外封堵气囊、自适应万向强磁封堵导流装置的机械结构进行了详细剖析,确定了以内封法、外封法及磁压法为主要封堵实施方法,详细阐述了四种新型封堵装置的特点,为危险源泄漏的应急处理处置增添了新手段。

本书针对封堵试验系统进行了研究,并研发了直管口泄漏与弯管小孔泄漏的综合封堵试验平台,得出内封堵装置、外封堵装置及其改进装置封堵性能随气囊结构匝数、内外压影响的变化规律等有益结论。本书还对主要危险源发生泄漏的多种应急封堵技术和方法库的应用进行了研究,并以实物图的形式说明了应急封堵装置在处理处置平台上的运用,为危险源泄漏应急处理处置提供了重要依据,为企业安全生产提供了重要的技术保障。

本书是专业性较强的过程装备安全技术类书籍,以危险源应急处理处置为主线,以重大危险源管道或储罐泄漏时采取的传统封堵技术和创新封堵技术及实施方法为主要背景,在智能设计、可靠性设计、现代设计理论与方法等理论指导下,深入分析了危险源泄漏时的快速处理处置方法,为从事过程工业安全运行提供了清晰的思路和方法。

本书是作者在多年从事危险源应急处理处置等相关专业领域研究的基础上,结合目

前传统封堵技术,加上作者在本领域的研究成果和发明创新汇集而成。全书共分七个部分:第一部分主要概述国内外泄漏与封堵技术研究现状及泄漏案例综述;第二部分着重研究危险源辨识、泄漏模型建立、泄漏机理及泄漏状态分析;第三部分主要介绍危险源辨识与应急封堵机理;第四部分主要介绍危险源泄漏快速封堵创新装置的设计封堵实施方法;第五部分主要是阐述管道泄漏与快速封堵试验应用研究;第六部分主要是泄漏封堵装置的应用与封堵方法库的搭建;第七部分主要介绍泄漏封堵实施过程实时监测技术等。

本书可作为过程装备与控制工程专业的本科生教学课程《过程装备安全技术》的教材与课程设计参考资料,也可在本专业研究生中作为硕士论文参考资料。本书还可以为从事过程装备与控制工程、过程装备安全技术等专业领域的相关技术人员提供参考。

在本书出版之际,感谢太原理工大学寇子明教授及其创新团队的大力支持与帮助,并向为本书和作者本人提供各种技术支持与帮助的同仁们表示深深的感谢。

限于作者水平,书中难免错误和不足之处,恳请广大读者批评指正。

闫宏伟

2013年8月于山西太原

目 录

第 1 章 重大危险源泄漏与封堵技术概述	1
1.1 危险源泄漏传统封堵技术	1
1.1.1 化学危险源概述	2
1.1.2 近年典型危险源泄漏事件及处理处置概述	2
1.1.3 常见危险源泄漏形式与分类	5
1.1.4 泄漏事故的统计与分析	5
1.1.5 危险源事故性泄漏模式分析	9
1.1.6 常见危险源封堵技术与方法	11
1.2 国内外重大危险源泄漏与封堵技术研究现状	13
1.2.1 我国重大危险源研究现状及存在问题	13
1.2.2 国外重大危险源研究现状及存在问题	13
1.2.3 国内外重大危险源泄漏事故的模拟技术研究现状	14
1.2.4 国内外重大危险源泄漏快速封堵技术的研究	16
1.3 常用封堵技术及方法存在的问题	18
第 2 章 危险源泄漏机理及泄漏状态	21
2.1 重大危险源泄漏成因分析	21
2.1.1 危险源管道泄漏成因及影响因素	21
2.1.2 危险源储罐泄漏成因及影响因素	23
2.1.3 危险源储运过程泄漏成因及影响因素	24
2.2 重大危险源泄漏机理研究	26
2.2.1 危险源密封元件的渗漏模型	26
2.2.2 危险源储罐的泄漏模型	27
2.2.3 危险源输送管道的泄漏模型	30
2.2.4 危险源泄压元件的泄漏模型	31
2.3 重大危险源泄漏状态分析	32
2.3.1 泄漏模式的机理分析	32
2.3.2 管道流体动力学模型分析	34

2.3.3	危险源管道泄漏状态的分析方法	37
2.3.4	危险源管道泄漏状态仿真分析	39
第3章	危险源辨识与应急封堵机理	50
3.1	重大危险源辨识与分级	50
3.1.1	重大危险源定义划分	50
3.1.2	重大危险源临界量比较	51
3.1.3	重大危险源的辨识与分级	51
3.2	危险源泄漏带压封堵实施机理	54
3.2.1	危险源泄漏带压封堵原理	54
3.2.2	危险源泄漏带压封堵实施方法	55
3.3	危险源泄漏管道内封堵实施机理	56
3.3.1	危险源泄漏管道内封堵原理	56
3.3.2	危险源泄漏管道内封堵实施方法	59
3.4	危险源泄漏管口外封堵实施机理	59
3.4.1	危险源泄漏管口外封堵原理	59
3.4.2	危险源泄漏管口外封堵实施方法	61
3.5	危险源泄漏直管与弯管外封堵实施机理	61
3.5.1	危险源泄漏外封堵气囊封堵原理	61
3.5.2	危险源泄漏外封堵气囊实施方法	63
3.6	危险源泄漏自适应万向强磁封堵实施机理	64
3.6.1	危险源泄漏自适应万向强磁封堵原理	64
3.6.2	危险源泄漏自适应强磁封堵实施方法	65
3.7	危险源泄漏大型管道快速封堵装置实施机理	66
3.7.1	大型管道泄漏快速封堵原理	66
3.7.2	大型管道泄漏快速封堵方法	68
第4章	重大危险源泄漏快速封堵装置设计	71
4.1	快速封堵装置的设计方案	71
4.1.1	卡堵法的实现	71
4.1.2	顶压法的实现	72
4.1.3	管道连接法的实现	73
4.1.4	内封法的实现	74
4.1.5	外封法的实现	74
4.1.6	磁压法的实现	75
4.1.7	封堵方法的确定	76

4.2	危险源泄漏快速内封堵装置设计	77
4.2.1	快插接头选型	77
4.2.2	橡胶摩擦套选材与总体设计	78
4.2.3	管道内封装置机械总体结构设计	79
4.2.4	管道内封装置气道设计	82
4.2.5	管道内封装置总体结构设计	82
4.3	危险源泄漏快速外封堵装置设计	83
4.3.1	管道口外封堵装置设计	83
4.3.2	直管与弯管外封堵装置设计	85
4.4	危险源泄漏自适应万向强磁封堵装置设计	87
4.4.1	软橡胶球囊设计	87
4.4.2	自适应万向机构设计	87
4.4.3	强磁功能的实现	88
4.4.4	自适应万向强磁封堵装置总体设计	90
4.5	危险源泄漏大型管道快速封堵装置设计	90
4.5.1	输油管道泄漏强磁快速封堵装置设计	90
4.5.2	输油管道泄漏气囊快速封堵装置设计	97
第5章	危险源管道泄漏与快速封堵试验系统	105
5.1	危险源储罐泄漏试验原理及步骤	105
5.2	危险源管道泄漏试验原理及步骤	107
5.2.1	管道内封堵装置试验方案与实验数据测定	109
5.2.2	管道外封堵装置试验方案与实验数据测定	113
5.2.3	封堵技术指标确定	116
5.3	快速封堵装置性能分析	117
5.3.1	管道内封堵装置的封堵性能分析	117
5.3.2	管道外封堵装置的封堵性能分析	118
5.4	封堵装置接触问题的有限元分析	119
5.4.1	接触问题中的有限元法分析工具	119
5.4.2	内封堵装置面—面接触问题的有限元分析	120
5.4.3	外封堵装置面—面接触问题的有限元分析	124
第6章	封堵装置的应用与封堵方法库的搭建	126
6.1	危险源泄漏应急封堵装置的实现与应用	126
6.1.1	应急封堵装置在应急处理处置平台上的布置	126
6.1.2	应急封堵装置在应急处理处置环节的实现与应用	127

6.2	危险源泄漏应急封堵方法库研究	131
6.2.1	应急封堵方法库的总体架构设计	132
6.2.2	典型危险物物化特性数据表	133
6.2.3	危险源泄漏分类及特性数据表	134
6.2.4	危险源泄漏处理处置要点	135
6.2.5	危险源封堵方法及封堵工具数据表	139
第7章	快速封堵实时监测技术简介	144
7.1	系统要求	144
7.2	系统设计原则	144
7.3	系统组成与工作原理	145
7.4	主要芯片选型	145
7.5	系统调试	155
符号说明		157
参考文献		159

第 1 章 重大危险源泄漏与封堵技术概述

1.1 危险源泄漏传统封堵技术

随着改革开放的不断深入,我国的国民经济获得了飞速发展。但是生产安全的形势却不容乐观,尤其是因危险源泄漏造成的中毒、火灾和爆炸等重大事故不断发生。据有关资料统计,我国每年因工业灾害造成的经济损失就将近 500 亿元,占到全国工业总产值的 3.3% 左右,几乎都是发生在国民经济发展中占有特殊地位和经济文化都比较发达的城市,并且灾害具有连锁效应。如何预防和控制因重大危险源泄漏造成的灾害,是目前经济发展过程中所面临的主要任务和课题。

泄漏不仅使资源流失,而且还会造成环境污染,同时引发火灾、爆炸、中毒和人身伤亡等次生事故,企业生产有时也会因为泄漏问题而停产。于是,人们开始逐步意识到在危险源泄漏的紧急状况下,能够实施快速封堵的重要性。

1927 年,在美国福塞斯成立了动态密封技术作业公司,取名弗曼奈特,技术公司利用现有技术,研制开发出了多种专用密封注剂,又将这些注剂逐步应用到多种危险介质的动态密封作业当中,同时改进了操作方法,将压力从 1.0MPa 增加到 7.0MPa,温度也从 200℃ 提高到 400℃。1928 年,通过美国《工程导报》对注剂式带压封堵技术的详细报道,英国人敏锐地感觉到这是一个能进一步开发应用的技术宝藏。1929 年,英国人福斯从美国人手里买下了注剂式带压封堵技术专利权,并在英国本土成立了弗曼奈特公司。在现代化工业飞速发展的年代里,在异国他乡该项技术得到了迅猛的发展。

20 世纪 50 年代后期,我国钢铁行业的技师们,通过对各种危险源泄漏缺陷的细致观察和研究,并凭借多年的工作经验,研发出一种带压焊接封堵技术,当时称此项技术为“顶压焊技术”。这项技术主要针对有良好可焊性的金属容器、管道出现泄漏时,可在动态的情况下快速实施封堵,消除事故隐患。该项技术无论在理论上还是在实用性上都日趋完善,消除了许多钢铁生产中可能发生的泄漏事故。

20 世纪 70 年代初期,我国生产的合成胶黏剂产品达到了 600 多种,这项产业迅速发展起来,“带压黏接封堵技术”也应运而生。该项技术主要由磁力压固黏接法、顶压黏接法、引流黏接法、填塞黏接法、T 形炽栓法、紧固黏接法等方法构成。

20 世纪 80 年代后期,对于压力管道或罐体孔洞型泄漏已经出现了用专用封堵工具进行快速封堵的技术,封堵工具有捆绑充气式、管道内封式、管道外封式等,也出现了用木

楔、硬质橡胶塞或用金属螺钉加胶黏剂旋拧进行封堵的方法。当螺栓松动导致法兰泄漏时,出现使用无火花工具和紧固螺栓等制止泄漏的方法;当由于法兰垫圈老化而引发泄漏时,出现利用专用的法兰卡具夹紧法兰,同时在螺栓间进行打孔,而后注射密封胶进行封堵的方法;当储罐壁脆裂或因外力作用造成罐体撕裂时,泄漏流速快,泄量大而且呈现喷射状,出现利用专用的捆绑紧固法、充气橡胶塞加压充气封堵的方法。当不能有效封堵泄漏时,采取导流的方法将危险源介质导入其他的容器或储罐。因此封堵技术研究是一项技术性强、综合性高、责任性大的工作。

1.1.1 化学危险源概述

广义上来讲,危险源是指具有或潜在存在着物质与能量的危险性,从而有可能对人身、财产、环境造成危害的设备、设施或场所。

危险源主要是由三个要素组成:危险源潜在的危险性、存在条件和产生泄漏的因素。

化学危险源可理解为存在危险化学品并有可能构成化学事故的源点。

化学危险源的分类尚无统一的标准,可以从不同角度进行分类,例如根据危险化学品的分布、物质形态、存在形式以及泄漏方式等进行分类,如图 1-1 所示。

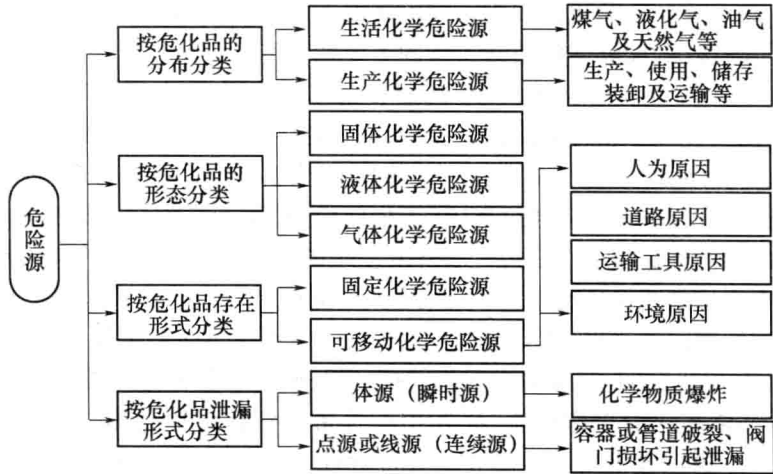


图 1-1 化学危险源分类

在世界范围内,每年产生的危险物约 40 亿 t,这些物质在储藏和运输时存在着巨大的潜在危险性,一旦发生事故,将造成严重后果。

1.1.2 近年典型危险源泄漏事件及处理处置概述

(1) 2004 年,浙江宁波善高化学有限公司“4.22”双氧水泄漏事件。因封堵不及时,

造成车间爆炸的严重事故,致使1人死亡,直接经济损失302.63万元。

(2) 2000年,山东潍坊弘润石化助剂总厂“7.2”油罐爆炸事故。因未堵盲板,违章动火焊接,造成两个500m³油罐爆炸起火,10人死亡,直接经济损失200余万元。原因是事先对柴油性质认识不足。柴油虽不易挥发,但柴油是混合物,在复杂高温情况下,挥发积聚于油罐相对密封的上部空间,形成了爆炸性混合气体,遇明火造成爆炸。处置措施消防队扑灭了火源,没有造成罐区其他汽轴、柴油罐的爆炸,避免了更大的损失。

(3) 2001年,麻章区金川路皇冠化工工业有限公司“5.26”浓硫酸泄漏事故。居住附近的居民和驻军吸入了有毒的硫酸气体后,有82人感到不适,送往医院检查治疗。事后发现厂内围墙边槽罐内装有浓硫酸的事故隐患。

(4) 2000年,成渝高速发生重大毒气(液氯)“7.7”泄漏事故。处置过程如图1-2所示。

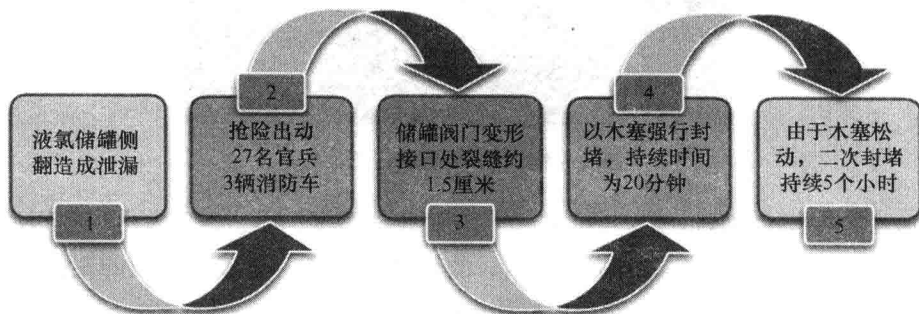


图1-2 液氯处置过程示意图

(5) 2009年,内蒙古赤峰发生“8.5”氨气泄漏事故。辽宁抚顺新宏明经贸公司的一辆装有30t液氨的槽罐车,在通过车带卸车金属软管向赤峰制药集团氨水配制车间卸液氨过程中,突然发生软管破裂,致使氨气泄漏。处置现场如图1-3所示。



图1-3 液氨泄漏处置现场

(6) 2009 年 8 月 18 日, 重庆渝隧高速路主段“8.18”苯乙烯致癌毒气泄漏事故。渝遂高速公路重庆往遂宁方向 24km 处, 一辆大货车与一辆装有超过 30t 危化品苯乙烯的槽车发生相撞, 造成槽车上约 3t 可致癌毒液——苯乙烯泄漏。消防队员用水稀释泄漏的苯乙烯, 6h 后排除险情。处置现场如图 1-4 所示。



图 1-4 苯乙烯泄漏处置现场

(7) 2004 年, 江西油脂化工厂“4.20”液氯残液泄漏事故。282 人出现中毒反应, 其中住院治疗 128 人, 留院观察 154 人。事故的直接原因是由于液氯钢瓶的瓶阀出气口及阀杆严重腐蚀, 由于气温升高, 瓶体内气体膨胀, 将阀门腐蚀堵塞物冲出, 导致液氯残液泄漏。液氯瓶的两个减压阀均为黄铜材质, 由于脱锌而改变颜色为紫红色。脱锌是由于黄铜发生了腐蚀, 使合金表面的锌发生溶解, 铜变得较疏松, 强度下降。泄漏闸阀有 32mm × 19mm 的椭圆形缺口, 内壁凹凸不平, 符合酸性物质腐蚀的特征。应急处置措施迅速有效, 2h 内排除了险情, 从而没有造成人员死亡。

(8) 2005 年, 京沪高速淮安段“3.29”液氯泄漏事故。载有约 35t 液氯的一辆槽罐车与一辆货车相撞, 造成危险介质液氯的大面积泄漏, 致使公路旁的三个乡镇大量村民中毒, 送医院治疗的就达 285 人, 有 27 人中毒死亡, 疏散村民近 1 万人, 造成京沪高速宿迁至宝应路段关闭近 20h。槽罐车的阀门已经破损, 裂口 5cm, 整个槽罐车内装有约 32t 液氯, 已经泄漏了“2/3”, 处置以木塞封堵, 在现场附近的一条小沟两头筑坝, 形成一个池塘。在池塘中投放烧碱, 形成碱水池。抢险时间 8h。处置现场如图 1-5 所示。

以上为近年来危险源泄漏事故的典型案例, 无论从发生的时间, 事故的性质, 还是应急处理的现场及过程, 均对本书的处理处置研究提供了一定的依据。



图 1-5 液氯泄漏处理处置现场

1.1.3 常见危险源泄漏形式与分类

在所有的输送与存储流体的物体上,几乎都有可能发生泄漏。泄漏的形式是多种多样的,按照人们的习惯称呼多是:漏水、漏风、漏汽、漏气、漏油、漏盐、漏碱、漏酸;阀门漏、水箱漏、法兰漏、焊缝漏、油箱漏、管道漏、变径漏、丝头漏、弯头漏、填料漏、三通漏、螺纹漏、轴封漏、四通漏、暖气漏、反应器漏、塔器漏、换热器漏、船漏、管漏、车漏、坝漏等,但工业生产中对泄漏有特定的称呼。常见危险源泄漏形式与分类,如图 1-6 所示。

1.1.4 泄漏事故的统计与分析

事故是指在生产活动中发生的意外事件,是大家所不希望发生的。在事故的多种定义中,伯克霍夫(Berckhoff)的定义较为著名。

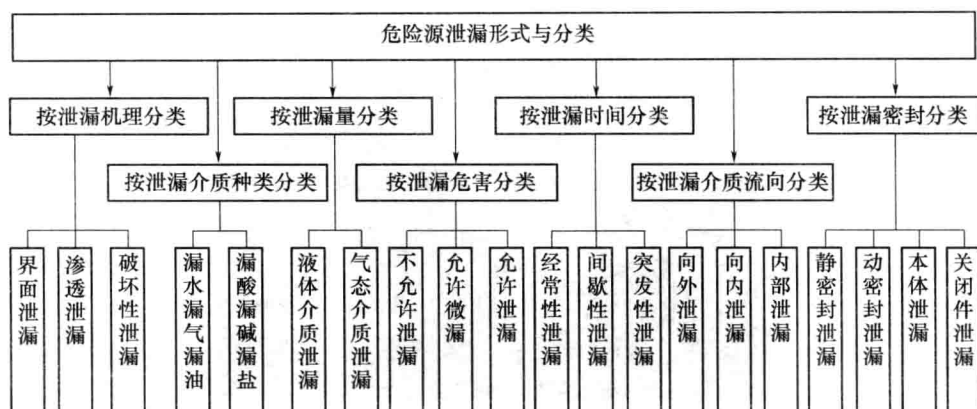


图 1-6 危险源泄漏形式与分类

伯克霍夫认为:事故是个人或集体在为实现某种目的而进行的活动过程中,违反人的意志的、突然发生和迫使活动停止的事件。因此,事故是一种违背大众意志的事件,是人们所不愿意看到的事件。我国对事故等级的划分标准,如表 1-1 所列。

表 1-1 我国事故等级的划分标准

事故等级	分级判断		
	死亡人数/人	重伤人数/人	直接经济损失/万元
特别重大事故	>30	>100	>10000
重大事故	10~29	50~99	5000~10000
较大事故	3~9	10~49	1000~5000
一般事故	1~3	1~9	<1000

重大危险源压力容器广泛分布在煤化工生产各个区域,是日常生产甚至生活中所必不可少的设备。据不完全数据统计,到 1998 年我国拥有固定式压力容器就达 122.8 万台、槽罐车达 1.8 万辆,各种气瓶达 6610.2 万只。供热管道 6000km,城镇燃气管道 35000km。如果按台计算,固定式压力容器占压力容器总数的 2% 左右,气瓶占 6% 左右。但到了 2005 年,固定式压力容器已经达到 130 万台,气瓶达到 8000 多万个,地埋管线的总长度也在大幅度增加。

因为压力容器主要分布在人口集中的地方,它是具有爆炸危险的特种承压设备,承受着高温、高压、剧毒、易爆、易燃及强腐蚀介质的作用,一旦发生泄漏,通常会并发火灾、中毒等严重事故,会造成重大财产损失和人员伤亡,使环境受到严重污染,破坏人民的生活秩序,直接影响社会安定。表 1-2 为 2005—2008 年我国锅炉、压力容器、气瓶以及管道事故的汇总表。

表 1-2 2005 年—2008 年锅炉、压力容器、气瓶和压力管道事故汇总表

项目 年度	爆炸事故数/起	严重事故数/起	死亡人数/人	受伤人数/人	直接经济损失/万元
2005	240	305	167	629	4021.55
2006	323	317	126	487	5503.56
2007	312	289	223	498	5503.23
2008	428	272	308	538	6851.70

据不完全统计,在 2005 年 8 月~2008 年 7 月间,我国共发生了危险源泄漏事故 1495 起,累计造成 882 人死亡,8857 人受伤。发生的危险源泄漏事故严重地危害了人民群众的生命和财产安全,造成巨大的经济损失和社会影响。3 年期间,我国危险化学品的生产、运输、存储、使用、销售以及废弃处置 6 大环节发生的事故数及死伤人数统计如表 1-3 所列。

表 1-3 6 大环节发生的事故数及死伤人数统计表

产业环节链	事故数/起	事故比例/%	死亡人数/人	受伤人数/人	伤亡人数/人
生产	332	22.2	277	6025	6302
运输	650	43.5	243	835	1078
存储	262	17.6	130	1019	1149
使用	204	13.6	185	804	989
销售	17	1.1	12	32	44
废弃	30	2.0	35	142	177

结合表 1-3,把六大产业环节链的事故起数和伤亡人数进行比较,如图 1-7 所示。

从图 1-7 中可直观地看出,在危险源产业环节链中,生产环节的伤亡人数比储运环节的伤亡人数的总和高出很多,且呈大幅上升趋势。在危险源的生产、使用和储运过程中产生泄漏的比例几乎占到 97%。因此,分析危险源泄漏应主要集中在危险源生产环节链、储运环节链与使用环节链中。

根据国外对 20 世纪以来发生的 3000 多起重大事故进行分析归类,按照事故发生的行业分类示意图如图 1-8 所示,按照事故产生的后果分类示意图如图 1-9 所示。其中由泄漏导致污染、中毒、火灾、爆炸事故约占 80%。据有关资料统计,这些重大典型泄漏事故总共涉及到的危险物达 24 种,从事故所造成的伤亡人数和发生频率来进行分析,应优先进行控制的危险介质依次是:液氯、液氨、液化石油气、氯乙烯、苯、一甲胺、一氧化碳、硫化氢等。

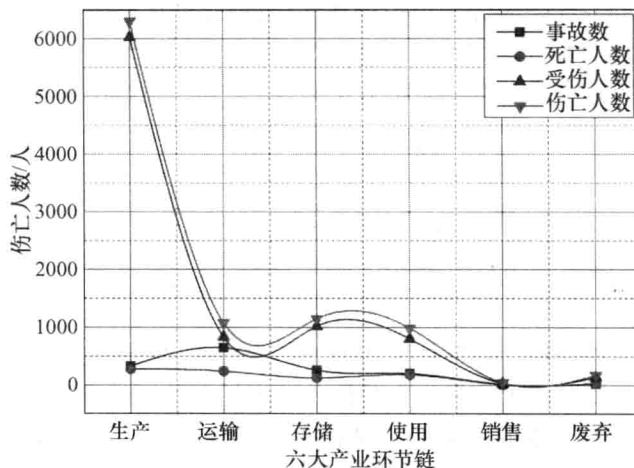


图 1-7 六大环节链事故起数和伤亡人数对比图

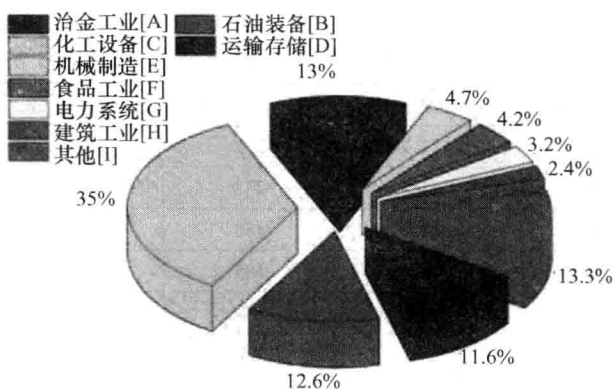


图 1-8 事故行业分类示意图

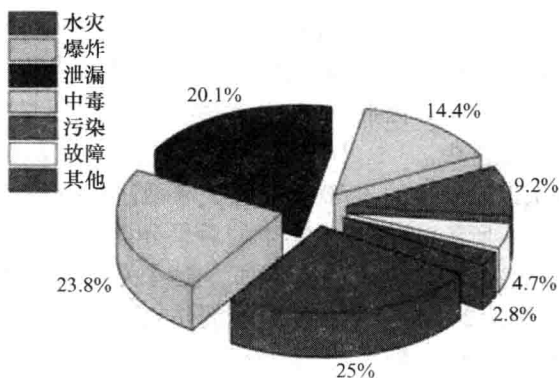


图 1-9 事故后果分类示意图