

化工安全技术

重(特)大泄漏事故统计分析及其事故模式研究

潘旭海, 蒋军成

(南京化工大学安全工程研究所, 江苏 南京 210009)

摘要:对新中国成立以来我国化工系统发生的重(特)大、典型泄漏事故进行了统计分析,总结出应优先进行控制和管理的危险性物质,分析了造成这些重(特)大典型泄漏事故的基本原因。结合对已经发生的重(特)大典型泄漏事故的剖析,总结出泄漏扩散事故的7大影响因素,建立了泄漏事故模式,并对各种事故模式的泄漏机理和发生条件进行了研究分析。

关键词:重(特)大典型事故;泄漏事故;泄漏模式;泄漏机理

中图分类号:TQ086 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-9533(2002)03-0248-05
X928

Analysis on Important Release Accidents and Modes Studying

PAN Xu-hai, JIANG Jun-cheng

(Institute of Safety Engineering, Nanjing University of Chemical Technology, Jiangsu Nanjing 210009, China)

Abstract: The important release accidents, which happened in the field of chemical industry in our country have been analyzed with the method of statistics. Based on it, some dangerous substances are put forward and suggested that should be controlled firstly. In addition, some basic reasons, which result in these important release accidents, are summarized and analyzed. Seven influence factors are analyzed and release accidents modes are built up under the condition of analyzing the happened release accidents. The release mechanisms and happening conditions are also studied.

Key words: important release accident; release modes; release mechanisms

据不完全统计^[1-4],自1949年10月以来,我国化工系统曾发生过重(特)大典型泄

收稿日期:2001-04-29

基金项目:国家自然科学基金资助项目(29936110)及教育部骨干教师资助计划。

作者简介:潘旭海(1977-),男,河南许昌人,南京化工大学安全工程研究所硕士生,主要从事过程安全数值模拟与仿真研究。

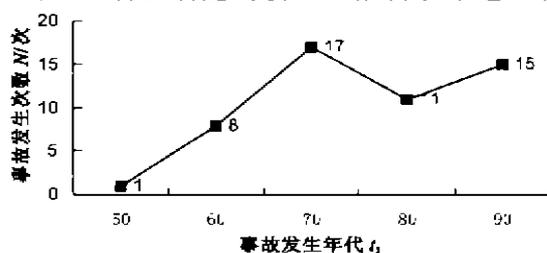
漏事故约 51 起,其中由泄漏导致中毒、火灾、爆炸事故为 41 起;而由爆炸等原因导致的泄漏中毒事故为 10 起。根据有关规定^[5],所谓重(特)大事故,是指一次导致 3 人及 3 人以上死亡,或经济损失大于 10 万元(含 10 万元)人民币的事故;而典型事故是指该事故在本行业或本系统内具有典型性。

对重(特)大典型泄漏事故进行统计分析,对今后指导安全生产,防止类似事故的再次发生具有重大意义。同时,泄漏影响基本因素的总结和泄漏事故模式的提取,也可为该领域系统今后全面地开展研究做某些基础性的工作。

1 泄漏事故统计分析

1.1 基本统计数据

新中国成立以来我国化工系统所发生的 51 起重(特)大典型泄漏事故按发生年代的分布情况及变化趋势如图 1 所示。51 起重(特)大典型泄漏事故中共涉及危险性物质 24 种,从事故的发生频率和事故所造成的伤亡人数分析,应优先考虑并进行控制的危险性物质依次是:液氯、液氨、液化石油气、氯乙烯、苯、一甲胺、一氧化碳和硫化氢等。事故发生的频率及造成的伤亡人数见表 1 和表 2 (受伤人数中包括中毒人数;表 2 中的百分比是指由该物质引起的伤亡人数占表中这 8 种



1——1 起事故;8——8 起事故;17——17 起事故;11——11 起事故;15——15 起事故

图 1 重(特)大典型事故发生次数随年代的变化

物质总共导致的伤亡人数的百分比)。

表 1 重(特)大典型泄漏事故发生频率

涉及物质	发生次数/次	百分比 %
液氨	8	15.69
液氯	7	13.73
氯乙烯	7	13.73
液化石油气	4	7.84
一氧化碳	4	7.84
苯	3	5.88
一甲胺	1	1.96
硫化氢	1	1.96

表 2 重(特)大典型泄漏事故死、伤人人数

涉及物质	死亡/人	受伤/人	百分比 %
液氯	72	1295	49.82
液化石油气	70	175	8.93
一甲胺	42	551	21.61
液氨	42	259	11.00
氯乙烯	31	60	3.32
一氧化碳	24	2	0.95
苯	23	84	3.90
硫化氢	5	9	0.51

1.2 事故原因统计分析

本文主要从以下 5 方面原因对 51 起重(特)大典型泄漏事故进行了分类和统计,结果见表 3。1) 工艺技术。工艺路线不合理,关键参数控制不严格;2) 设备(材料)固有缺陷;3) 主观因素。违章操作、误操作和工作责任心不强,缺少必要的安全生产和岗位技能知识;4) 外来因素。外来物体的打击、碰撞;5) 其它。不属于以上 4 种原因之一。

从表中数据可以看出,泄漏事故发生的主要原因在于设备(材料)固有缺陷(尤其是密封垫片的制造和选择)和主观因素。

表 3 重(特)大典型泄漏事故原因分类表

泄漏原因	工艺技术	设备(材料)固有缺陷	主观因素	外来因素	其它
事故次数	6	23	22	6	1
占事故的百分比 %	11.76	45.10	43.14	11.76	1.96

2 直接影响泄漏事故发生因素分析

2.1 泄漏影响因素

通过对 51 起重(特)大典型泄漏事故的分析,总结出以下 7 种影响泄漏扩散的主要因素^[6]。

1) 存储状态:危险性介质是液相存储还是气相存储。从某种意义上初步决定了泄漏的基本形式。

2) 存储条件:是加压液化储存、冷冻液化储存、还是常态储存。存储条件影响泄漏状态。

3) 填充程度:对于加压或冷冻液化储存来说,存储容器填充程度至关重要。填充程度高(接近 100%),容器一旦出现裂纹或孔洞,将会导致容器内液化气体迅速闪蒸,最终可能导致容器超压爆炸;若容器填充程度低,则容器内液化气体是否闪蒸由裂纹或孔洞的具体位置和泄漏面积的大小决定。

4) 泄漏位置:对于填充程度低的加压或冷冻储存,若漏源位于气相空间,容器内压有可能急剧下降,导致液体处于过热状态,迅速发生闪蒸,引发超压爆炸;若漏源位于液相空间,则形成两相流泄漏或蒸气泄漏,具体由泄漏介质的存储状态和环境条件决定。对于常态储存,泄漏是发生在罐壁上、运输管线上还是法兰连接处,将决定选用何种模型计算泄漏速率。

5) 泄漏面积:有效泄漏面积的大小将直接影响泄漏速率;同时,对于加压或冷冻液化储存的气相空间泄漏,泄漏面积的大小直接

决定容器最终是否会由于内部超压而爆炸。

6) 流动限制:对液相或两相泄漏,泄漏后液体的流动是否受阻,即周围是否存在防液堤。这将决定液池面积,进而影响液池内液体的蒸发速率。

7) 泄漏形式:瞬时泄漏、有限时间内泄漏、连续渗漏、连续泄漏。泄漏形式的不同会直接影响到泄漏介质在空间和时间上的浓度分布。

泄漏物质本身的理化特性对泄漏也有一定影响^[7]。例如,液氨储罐破裂后的泄漏扩散,如果储罐的气相空间出现微小裂纹,泄漏面积远远小于液氨液面面积,泄漏以气体形式发生,由于氨的相对分子质量为 17,密度小于空气的密度,其扩散过程以高斯模型进行描述^[8,9];当液氨储罐气相空间出现较大孔洞时(如灾难性破裂),由于闪蒸,液氨以微小雾滴的形式弥散于氨蒸气中,形成重气云团,此类扩散应采用重气扩散模型描述;当裂口面积与液氨液面面积之比处于上述两者之间时,泄漏后所形成的云团同样也夹带液氨雾滴,但云团密度的大小具有不确定性,要视裂口大小和当时的具体情况而定。因此,在总结泄漏模式时,一般按照气相空间泄漏面积的大小分为 3 种类型:1) 微小孔洞的泄漏;2) 有限孔洞的泄漏;3) 大面积的破裂。

2.2 泄漏模式

根据以上 7 种主要影响因素,结合新中国成立以来我国化工系统所发生的重(特)大、典型泄漏事故的剖析,总结出 16 种泄漏模式。每种泄漏模式的发生机理、条件及相关事故或典型描述,见表 4。

表 4 泄漏模式及其发生机理、条件、典型事故一览表

泄漏模式	发生机理	发生条件	相关事故或事故描述
高填充程度下加压(冷冻)液化气瞬时泄漏	内压迅速下降,液体处于过热状态,液体迅速汽化,容器灾难性破裂,在大气环境下迅速闪蒸为蒸气	容器壁上的微小裂纹	高填充程度下加压或冷冻液体储罐由于腐蚀或疲劳裂纹,外力打击出现孔洞造成灾难性破裂
低填充程度下加压(冷冻)液化气相空间小孔连续性气体泄漏	内压下降不剧烈,液体不处于过热状态,只是气相空间的蒸气泄漏	一般情况下,裂口的有效面积远小于容器内液体水平横截面积	1976-9-13,福建省福州化工原料厂液氨钢瓶受阳光曝晒,瓶内压力增高,安全阀起跳,造成大量氨外泄
低填充程度下加压(冷冻)液化气相空间大孔瞬时泄漏	内压迅速下降,液体处于过热状态,内部均匀产生大量气泡,体积膨胀,发生蒸气爆炸;为了维持气液平衡,大量雾化液滴存在,形成重气云团	裂口面积较大,其面积与容器内液体水平横截面积之比大于 0.01	1966-7-1,上海市上海天原化工厂,由于液氨钢瓶本身缺陷,出现裂缝,造成爆炸
低填充程度下加压(冷冻)液化气相空间有限孔瞬时泄漏	泄漏后云团处于重气云团和非重气云团之间,视具体泄漏介质而定	面积之比介于上述两种模式之间	
低填充程度下加压(冷冻)液化气相空间完全闪蒸连续性气体泄漏	泄漏液体与外界环境接触,发生闪蒸	过热液体本身所储存的热量大于液体完全闪蒸所需热量	液体的过热程度相对较大
受限低填充程度下加压(冷冻)液化气相空间部分闪蒸两相流泄漏	泄漏液体与外界环境接触,发生闪蒸;未闪蒸的液体形成液池;自由流动受限,液池最大面积一定	泄漏液体完全闪蒸所需热量大于过热液体本身储存的能量	液体的过热程度相对较小
不受限低填充程度下加压(冷冻)液化气液相空间部分闪蒸两相流泄漏	泄漏液体与外界环境接触,发生闪蒸;未闪蒸的液体形成液池;液体自由流动,最大液池面积根据最小液池厚度确定	同上	同上
受限常态液体有限时间泄漏	液体的自由流动特性;自由流动受限,泄漏后所形成的液池最大面积一定	液体流动的驱动力逐渐减小至零	储罐壁上由于腐蚀孔洞、裂纹造成液体在势能作用下泄漏,而随着液体的泄漏势能逐渐减小
不受限常态液体有限时间泄漏	液体的自由流动特性;泄漏后液体自由流动,最大液池面积根据最小液池厚度确定	同上	同上
常态液体连续渗漏	密封面间不能完全吻合,密封件毛细孔不能完全阻塞	密封本身技术问题;密封失效;密封件两边压差大于额定压差	密封失效造成液体连续渗漏出来
受限常态液体连续泄漏	液体的自由流动特性;自由流动受限,泄漏后所形成的液池最大面积一定	腐蚀孔洞,腐蚀或疲劳裂纹;碰撞,撞击造成容器、管道破裂或管线断裂	输送常态液体的管线遭外力打击或碰撞而断裂,大量液体沿管线泄漏

续表 1

泄漏模式	发生机理	发生条件	相关事故或事故描述
不受限常态液体连续泄漏	液体的自由流特性; 泄漏后液体自由流动, 最大液池面积根据最小液池厚度确定	同上	同上
常态气体瞬时泄漏	气体的自由扩散特性	容器内部超压, 容器瞬间粉碎性破裂	1975-1-28, 黑龙江省哈尔滨市化工四厂, 操作工人忘记关闭苯加热阀门, 造成苯温度急剧升高, 汽化, 罐内压力急剧升高, 造成储罐破裂, 大量苯蒸气泄漏
常态气体有限时间泄漏	气体的自由扩散特性	促使气体泄漏的驱动力逐渐或瞬间减小至零	系统压力升高时, 安全阀跳起, 造成一段时间的泄漏, 随着系统压力的下降, 安全阀自动关闭
常态气体连续性渗漏	气体的自由扩散特性; 密封面间不能完全吻合, 密封件毛细孔不能完全阻塞	同上	1980-3-7, 广东省茂名市化州化工厂因密封垫圈不符合要求, 造成精馏气渗漏, 引发爆炸
常态气体连续性泄漏	气体的自由扩散特性	腐蚀孔洞、腐蚀或疲劳裂纹; 碰撞、撞击造成容器、管道破裂或管线断裂	1990-12-12, 河北沧州化工厂因管道破裂, 发生氯气连续泄放, 持续时间约 5min, 泄漏总量 50kg~75kg

3 总结

通过对新中国成立以来我国化工系统所发生的 51 起重(特)大、典型事故案例进行统计分析, 给出了我国化工系统在生产、运输及储存过程中, 应优先考虑和控制的化学危险品(液氯、液氨及液化石油气等), 总结了泄漏扩散过程中表现的特性。

主观因素、设备(材料)固有缺陷是造成我国化工系统泄漏事故的主要原因。应在生产过程中, 加强管理, 强化生产者的安全生产教育。

影响泄漏因素较多, 本文根据泄漏发生的机理, 总结出 7 大泄漏因素, 并结合我国化工系统已发生的重(特)大、典型泄漏事故, 总结了 16 种泄漏模式, 对此类事故的鉴定及预防具有现实意义, 并为该领域今后开展科学研究提供可参考性意见。

参考文献:

- [1] 化工劳动保护编辑部. 50 年中国化工大事故记[J]. 化工劳动保护, 1999, 20(11): 403 - 406.
- [2] 中国化工信息中心. 1990 年以来一次死亡三人以上事故统计报告[R]. 北京: 中国化工信息中心, 1999.
- [3] 化学工业部科学技术情报研究所. 全国化工事故案例集 2[R]. 北京: 化学工业部科学技术情报所, 1989.
- [4] 化学工业部科学技术情报研究所. 全国化工事故典型案例分析报告[R]. 北京: 化学工业部科学技术情报所, 1989.
- [5] 安全科学技术词典编委会. 安全科学技术词典[M]. 北京: 中国劳动出版社, 1991.
- [6] 化工部劳动保护研究所. “八·五”课题研究报告[R]. 北京: 化工部劳动保护研究所, 1995.
- [7] KAISER G D. A review of models for predicting the dispersion of ammonia in the atmosphere [J].

(下转第 264 页)

参考文献:

- [1] 王宏志,高濂,郭景坤,等.纳米结构材料[J].硅酸盐通报,1999,(1):31-34.
- [2] 何天平,彭子飞.微乳法制备纳米级 WO_3 粉体[J].合成化学,1997,5(1):4-6.
- [3] 潘庆谊,徐甲强,刘宏民,等.微乳液法纳米 SnO_2 材料的合成、结构与气敏性能[J].无机材料学报,1999,14(1):83-88.
- [4] 陈龙武,甘礼华,岳天仪,等.微乳液反应制备 $\alpha-Fe_2O_3$ 超细粒子的研究[J].物理化学学报,1994,10(8):750-754.
- [5] 石硕,鲁润华,汪汉卿.W/O 微乳液中 CaO_2 超细粒子的制备[J].化学通报,1998,(12):51-53.
- [6] FANG J, WANG J. Ultrafine zirconia powder via microemulsion processing route [J]. Nanostructured Material, 1997, 8(4):499-505.
- [7] KAWAI T, FUJINO A. Synthesis of monodisperse ZrO_2 particles in polyoxyethylated nonionic reversed micelles[J]. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 1996, 109: 245-253.
- [8] 崔正刚,殷福珊.微乳化技术及应用[M].北京:中国轻工业出版社,1999.
- [9] 成国祥,沈锋,姚康德.智能微反应器及纳米微粒制备[J].化工进展,1998,(2):39-42
- [10] 覃兴华,卢迪芬.反胶团微乳液法制备超细颗粒的研究进展[J].化工新材料,1992,6(2):27-28
- [11] 王笃金,吴瑾光,徐光宪.反胶团或微乳液法制备超细颗粒的研究进展[J].化学通报,1995,(9):1-4.
- [12] OSSEO-ASARE K, ARRIGADA F J. Preparation of SiO_2 nanoparticles in a non-ionic reverse micellar system[J]. Colloids Surf, 1990, 50:321-339.
- [13] FRIBERG S E, JONES S M. The phase diagram water-ethanol-long chain alcohols and gels from hydrolyzed tetraethoxysilane[J]. J Disp Sci Techn 1992, 13(1):65-75.
- [14] BECK C, HARTL W, HEMPELMANN R. Size-controlled synthesis of nanocrystalline $BaTiO_3$ by a sol-gel type hydrolysis in microemulsion-provided nanoreactors [J]. J Mater Res, 1998, 13(11):3174-3180.
- [15] HERIBERT J W, CLAUDE DIESCHBOURG. Novel silica-biopolymer nanocomposites: the silica sol-gel process in biopolymer organogels [J]. Advances in colloid and interface science, 1994, 50:1-14

※ ※ ※ ※

(上接第 252 页)

- Plant/Operations Progress, 1989, 8(1):58-64.
- [8] DANIEL A C, JOSEPH F L. Chemical Process Safety - Fundamentals with Application [M]. New Jersey: Prentice - Hall, 1990.

※ ※ ※ ※

(上接第 260 页)

- [10] 赵国玺.表面活性剂的物理化学[M].第2版,北京:北京大学出版社,1991.
- [9] PAN X H, JIANG J C, WANG Z R, et al. Numerical Analysis of Diffusion Process of Flammable and Toxic Gases Discharging Accident [A]. LI S C, JING G X, QIAN X M. Progress in Safety Science and Technology [C], Beijing: Chemical Industry Press, 2000, 297-301.
- [11] BLOKZIJL W, ENGBERTS J B, BLANDAMER M J. Quantitative analysis of solvent effects in highly aqueous media [J]. J Am Chem Soc, 1990, 112(3):1197-1201.