

文章编号:1674-2869(2019)05-0476-06

基于层次分析法的涉氨企业风险管控体系研究

周德红,陈慧芳

武汉工程大学兴发矿业学院,湖北 武汉 430074

摘要:结合2005~2014年的208起液氨事故案例,分析我国涉氨企业安全生产状况,采用层次分析法构建涉氨企业风险管控体系,并运用MATLAB软件对体系各指标权重进行计算。结果表明:154起事故主要发生在食品厂、冷冻厂、肉类加工厂等以氨作为制冷剂作用的制冷企业中,泄漏和中毒是事故的高发类型,材料失效、设备故障及人为因素是导致事故发生的主要原因。涉氨企业风险管控体系综合考虑了风险分析与分级、隐患排查与治理、安全教育培训、风险管理、应急救援及职业健康方面的内容,隐患排查与治理是该体系的核心内容,是有效控制事故直接原因(人的不安全行为和物的不安全状态)及事故间接原因(管理缺陷)的重要举措。液氨事故的分析及风险管控体系的构建,可有效改善我国风险管控现状,加强企业安全生产。

关键词:涉氨企业;层次分析法;液氨事故;管控体系;权重;安全生产

中图分类号:TQ086.5 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2019.05.013

Risk Management and Control System of Enterprises Involving Ammonia Based on Analytic Hierarchy Process

ZHOU Dehong, CHEN Huifang

School of Xingfa Mining Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: We analyzed the domestic safety production situation of the enterprises involving ammonia using the 208 cases of liquid ammonia accidents from 2005 to 2014. The risk management and control system for the enterprises involving ammonia via analytic hierarchy process have been constructed. And each index weight of the system was calculated by MATLAB software. The results show that 154 cases mainly occurred in the refrigeration industries (e.g., food products factory, refrigerating plant, meat packing plant) with ammonia as the refrigerant. Most of the accidents were caused by leakage and poisoning. The main reasons are material failure, equipment malfunctions, and human error. The risk management and control system of the enterprises involving ammonia should be comprehensively considered including risk analysis and classification, hidden accident threat detection and control, safety education and training, risk management, emergency rescue and occupational health. Among of them, hidden accident threat detection and control is the key of the system, which is an important measure to effectively control the direct causes of accidents (people's unsafe behaviors and objects' unsafe states) and the indirect causes of accidents (management defects). The analysis of liquid ammonia accidents and the construction of risk management and control system can effectively improve the current situation of risk management and control in China, and also strengthen the safety production of enterprises.

Keywords: enterprises involving ammonia; analytic hierarchy process; liquid ammonia accident; management and control system; weight; work safety

收稿日期:2018-09-03

基金项目:2015年安全生产重大事故防治关键技术科技项目(hubei-0008-2015AQ);湖北省安全生产监督管理局安全生产专项资金项目(鄂安监发[2015]73号,鄂安监发[2016]54号);武汉工程大学第九届研究生教育创新基金(CX2017051)

作者简介:周德红,博士,副教授。E-mail:dhzhou2007@sina.com

引文格式:周德红,陈慧芳.基于层次分析法的涉氨企业风险管控体系研究[J].武汉工程大学学报,2019,41(5):476-481.

氨,分子式为 NH_3 ,常温常压下为无色有毒气体,通过加压或冷却可形成液氨,爆炸极限为15.7%~27.4%。随着社会经济的快速发展,氨在化工企业及冷冻冷藏等行业中也得到了广泛的使用。众所周知,在液氨生产、运输、使用、储存等环节中时常发生泄漏事故,基于氨的毒性及燃烧爆炸危险特性,泄漏之后又很有可能会引起中毒、火灾、爆炸等二次事故的发生。国内外研究学者对液氨事故、风险管理等内容展开了大量的研究,其中,周德红等^[1]结合层次分析法与模糊综合评价理论对涉氨企业的氨泄漏事故进行了定性与定量的风险分析,构建液氨泄漏原因阶层结构模型,同时以湖北省某化工园区的4家企业为例,利用该模型对企业展开评价,得出企业安全优劣等级及液氨泄漏风险特征,根据分析评价结果提出相关控制措施,以此规范和指导企业的安全生产工作;一些科研工作者^[2-9]通过运用相关数值软件对液氨泄漏扩散规律做了数值模拟研究,依据研究结果总结提出了相应的应急措施;Gangopadhyay等^[10]通过对印度西孟加拉邦发生的2起工业氨泄漏事故进行分析,对事故原因及氨泄漏之后引发的二次事故展开研究,结合研究结果及企业实际生产情况提出应对措施,为相关企业的安全生产提供参考及借鉴,有效遏制危险化学品泄漏特别是氨泄漏事故的发生;张昱涵^[11]和吴胜男^[12]对液氨制冷企业风险进行了评估,并在此基础上构建基于互联网与安全管理相结合的涉氨企业风险信息系统,进而实现企业生产安全的全面动态监管,有效减少事故的发生,为企业的安全长效机制建设提供科学的技术支持;以孟凡亭为代表的学者对液氨储罐火灾爆炸的风险及危害做了研究^[13-17]。在液氨泄漏、中毒、火灾爆炸等方面有大量学者做了研究,也取得了一定的成绩,但在风险管控方面的研究却相当缺乏。近年来液氨事故层出不穷,事故类型繁多,事故原因、因素等多种多样,对企业的安全生产及人民群众的生命财产带来严重影响。因此,本文拟以液氨泄漏事故为研究对象,围绕涉氨企业风险管控体系展开研究,以期为企业的安全生产及应急救援技术提供参考,减少液氨事故的发生。

1 涉氨企业液氨事故分析

氨做为化工业的中间产品,在我国国民经济中扮演着重要的角色,特别是近年来制冷剂氟利

昂的使用逐步受到限制,促使氨又重新回到制冷界的舞台。氨对我国社会经济发展做出的巨大贡献是值得被肯定的,同时由于氨的危险特性带来的一系列安全问题也是不能忽视的。近年来,我国液氨事故频繁发生,造成了巨大的人员伤亡和财产损失。相关数据显示,2005~2014年我国共发生液氨事故208起,造成169人死亡、182人中毒,疏散45 482人,其中2013年6月3日吉林德惠市宝源丰禽业有限公司发生的特大火灾爆炸事故及2013年8月31日上海翁牌冷藏实业有限公司发生的重大液氨泄漏事故共造成了136人死亡,101人受伤及直接经济损失2.071亿元。事故主要集中在使用 and 储存环节中,本文主要针对这两个环节中的事故展开分析。

1.1 涉氨企业类别分析

通过分析得出,在使用和储存环节中共发生154起事故,其中食品厂40起,冷冻厂21起,肉类加工厂14起,冷库及冷饮厂各11起,酒厂及水产公司各8起,其他7起,果蔬公司、制冰厂及制药厂各5起,化工厂及冶金厂各4起,化肥厂3起,机械厂、矿厂、粮库、热处理厂、乳业公司、水厂、五金厂及制冷制备厂各1起。由上述分析结果可知,液氨事故主要发生在以氨做为制冷剂的企业中,相反,发生在化工企业的事故明显较少。为了有效改善液氨事故的频繁发生,液氨制冷企业应加大对液氨泄漏的监督管理力度,同时在制冷工艺及设备设施上加大安全生产投入,引进国外先进制冷技术,或借鉴国内化工企业生产及管理经验,从而有效改善我国涉氨企业的安全生产状况。

1.2 事故类型及原因分析

液氨事故类型包括泄漏、中毒、爆炸、火灾、其他事故共5种,其中泄漏事故90起,占使用和储存环节事故总数的58.44%;中毒事故53起,占使用和储存环节事故总数的34.42%;爆炸事故6起,占使用和储存环节事故总数的3.9%;火灾事故3起,占使用和储存环节事故总数的1.95%;其他事故2起,占使用和储存环节事故总数的1.3%。事故原因主要包括材料失效、设备故障、人为因素等,具体的事故类型及事故原因如图1所示。由此可以得出,泄漏和中毒是涉氨事故的高发类型,导致事故发生的主要原因是材料失效、设备故障及人为因素,相关企业及监督管理部门可依据该分析结果提出相应的事故预防与控制措施。

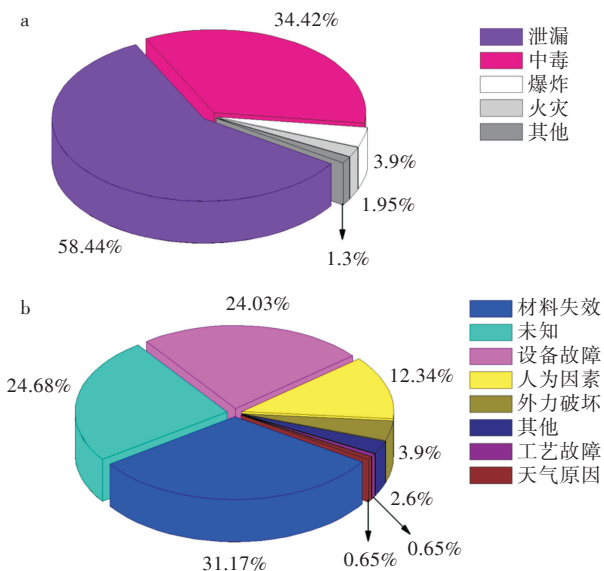


图 1 统计图:(a)事故类型,(b)事故原因
Fig. 1 Statistical charts:(a)types of accidents,
(b)causes of accidents

2 风险管控体系的建立与评价

层次分析法是一种定性与定量相结合的决策分析方法,根据决策元素之间的联系将其分成目标层、准则层、要素层等层次,逐层进行比较,得出各关联因素的重要性,进而为决策提供定量的依据。层次分析法的一般步骤为:①建立层次结构模型,在本文中即为建立涉氨企业风险管控体系;②构造成对比较阵;③构造判断矩阵,判断矩阵的标度及定义如表 1 所示;④计算权重向量;⑤一致性检验,当 $C_r<0.1$ 时则为通过一致性检验。

表 1 判断矩阵的标度及其含义

Tab. 1 Scale and its meaning of judgement matrix	
标度	含义(两个要素作对比时)
1	具有相同的重要性
3	前者比后者稍重要
5	前者比后者明显重要
7	前者比后者强烈重要
9	前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值
1/3	前者比后者稍微不重要
1/5	前者比后者明显不重要
1/7	前者比后者强烈不重要
1/9	前者比后者极端不重要

2.1 风险管控体系的建立

通过查阅相关资料及咨询行业专家,利用层次分析法建立涉氨企业风险管控体系,如图 2 所示:目标层为涉氨企业风险管控体系;准则层包括风险分析与分级、隐患排查与治理、安全教育培训、风险管理、应急救援及职业健康方面的内容;要素层共 26 个元素。准则层各元素分布为:风险分析与分级可从风险辨识、风险评估、风险分级与风险控制展开分析;隐患排查与治理可从隐患排查、隐患申报、隐患治理展开分析;安全教育培训可从管理人员的教育培训、技术人员的教育培训、从业人员的教育培训等 6 个方面展开分析;风险管理可从风险管理规章制度、安全操作规程、风险管理信息化展开分析;应急救援可从应急组织、应急队伍、应急准备等 6 个方面展开分析;职业健康可从职业危害因素、职业病申报、职业健康监护档案、职业危害控制展开分析。

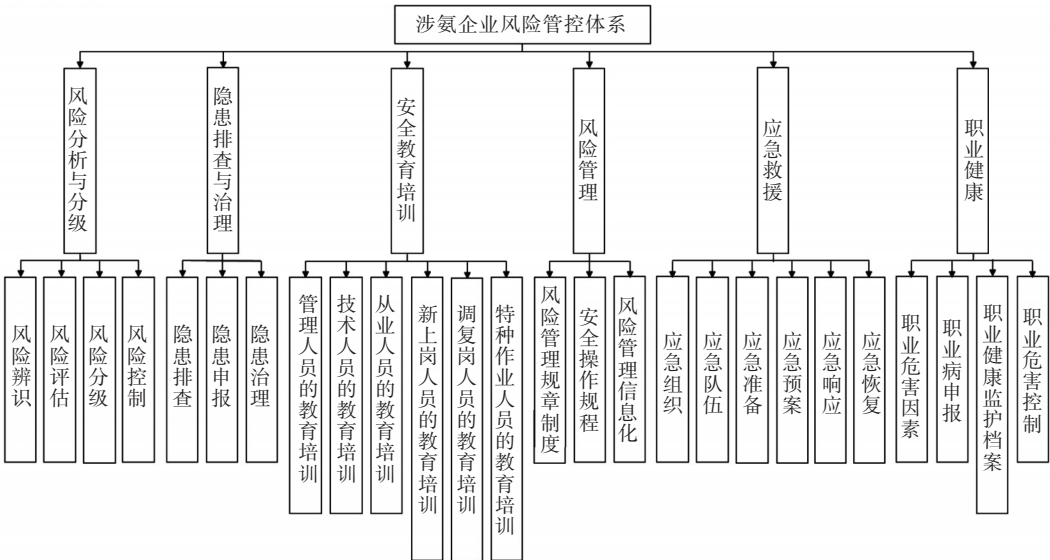


图 2 涉氨企业风险管控体系

Fig. 2 Risk management and control system of enterprises involving ammonia

2.2 指标权重计算

为了确定涉氨企业风险管控体系综合评价各指标的权重,邀请了10位行业领域专家对涉氨企业风险管控体系进行综合打分(见表2),利用层次分析法构造判断矩阵,最后采用MATLAB软件计算出权重并进行一致性检验。现结合专家1对涉氨企业风险管控体系综合评价的打分情况(见表3)进行如下步骤的计算,再根据表3构造判断矩阵A,结果如表4所示。

表2 分值参考表

Tab. 2 Reference table of scores	
重要度	分值 / 分
不重要	0~3
一般重要	3~7
非常重要	7~9

表3 涉氨企业风险管控体系各指标的分值

Tab. 3 Scores of indicators in risk management and control system of enterprises involving ammonia	
涉氨制冷企业风险管控体系	分值 / 分
风险分析与分级 B_1	8
隐患排查与治理 B_2	9
安全教育培训 B_3	7
风险管理 B_4	6
应急救援 B_5	5
职业健康 B_6	5

表4 判断矩阵A

Tab. 4 Judgment matrix A						
A	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
B_1	1	1	1	1	2	2
B_2	1	1	1	2	2	2
B_3	1	1	1	1	1	1
B_4	1	1/2	1	1	1	1
B_5	1/2	1/2	1	1	1	1
B_6	1/2	1/2	1	1	1	1

根据表4中的数据,利用MATLAB计算出权重,计算过程如下:

```
>> A=[1,1,1,1,2,2;1,1,1,2,2,2;1,1,1,1,1,1;1,1/2,1,1,1,1;1/2,1/2,1,1,1,1;1/2,1/2,1,1,1,1];
>> [X,Y]=eig(A);
>> eigenvalue=diag(Y);
>> lamde=max(eigenvalue);
>> Y_lamde=Y(:,1);
>> W=X(:,1)/sum(X(:,1));
>> CI=(lamde-6)/(6-1);
>> CR=CI/1.24;
>> lamde
```

```
lamde =
    6.107 6
>> CI
CI =
    0.021 5
>> CR
CR =
    0.017 4
>> W
W =
    0.205 7
    0.229 4
    0.163 7
    0.144 9
    0.128 1
    0.128 1
```

由此得出该判断矩阵的最大特征值为 $\lambda_{\max}=6.107\ 6$,其对应的特征向量 $W=(0.205\ 7,0.229\ 4,0.163\ 7,0.144\ 9,0.128\ 1,0.128\ 1)$,对矩阵进行一致性检验,则有: $CR=0.017\ 4<0.1$,故该矩阵符合一致性要求。以此类推,将其他专家的调研结果按照上述步骤进行计算,求出判断矩阵的最大特征值及其对应的特征向量,并进行一致性检验,取平均值得出: $W_A=(0.186\ 09,0.220\ 19,0.144\ 31,0.162\ 99,0.139\ 15,0.147\ 23)$, $W_{B1}=(0.282\ 37,0.230\ 29,0.230\ 29,0.230\ 29)$, $W_{B2}=(0.387\ 15,0.223\ 51,0.389\ 35)$, $W_{B3}=(0.183\ 89,0.159\ 39,0.173\ 69,0.157\ 86,0.118\ 49,0.206\ 62)$, $W_{B4}=(0.273\ 21,0.357\ 35,0.369\ 44)$, $W_{B5}=(0.169\ 77,0.175\ 97,0.185\ 93,0.152\ 75,0.213\ 71,0.101\ 85)$, $W_{B6}=(0.252\ 35,0.196\ 73,0.218\ 35,0.332\ 57)$ 。由此得出各指标的权重,结果如表5所示。

由表5可以看出:在涉氨企业风险管控体系中,分项权重占比分布为: $w_{B_2}=0.220\ 19>w_{B_1}=0.186\ 09>w_{B_4}=0.162\ 99>w_{B_6}=0.147\ 23>w_{B_3}=0.144\ 31>w_{B_5}=0.139\ 15$,而准则层中的“隐患排查与治理”指标中,“隐患治理”与“隐患排查”所占的单项权重十分接近,均比“隐患申报”的权重高出0.16左右,即在涉氨企业日常生产活动中,隐患排查与治理是保证企业安全生产活动顺利进行的重要举措,但是并非做好隐患排查与治理工作就能够保证企业的安全生产,而是在风险分析与分级、隐患排查与治理、安全教育培训、风险管理、应急救援和职业健康这6个方面工作均正常展开的

表 5 各指标权重系数
Tab. 5 Weight coefficient of each index

各项指标		分项权重	单项权重	综合权重
涉氨企业 风险管控体系	B_1 风险分析与分级	C_1 风险辨识	0.282 37	0.052 546 2
		C_2 风险评估	0.230 29	0.042 854 7
		C_3 风险分级	0.230 29	0.035 403 6
		C_4 风险控制	0.230 29	0.055 296 6
	B_2 隐患排查与治理	C_5 隐患排查	0.387 15	0.085 246 6
		C_6 隐患申报	0.220 19	0.049 214 7
		C_7 隐患治理	0.389 35	0.085 731 0
	B_3 安全教育培训	C_8 管理人员的教育培训	0.183 89	0.026 537 2
		C_9 技术人员的教育培训	0.159 39	0.023 001 6
		C_{10} 从业人员的教育培训	0.173 69	0.025 065 2
		C_{11} 新上岗人员的教育培训	0.157 86	0.022 780 8
		C_{12} 调、复岗人员的教育培训	0.118 49	0.017 099 3
		C_{13} 特种作业人员的教育培训	0.206 62	0.029 817 3
涉氨企业 风险管控体系	B_4 风险管理	C_{14} 风险管控规章制度	0.273 21	0.044 530 5
		C_{15} 安全操作规程	0.162 99	0.058 244 5
		C_{16} 风险管理信息化	0.369 44	0.060 215 0
	B_5 应急救援	C_{17} 应急组织	0.169 77	0.023 623 5
		C_{18} 应急队伍	0.175 97	0.024 486 2
		C_{19} 应急准备	0.185 93	0.025 872 2
		C_{20} 应急预案	0.152 75	0.021 255 2
		C_{21} 应急响应	0.213 71	0.029 737 6
		C_{22} 应急恢复	0.101 85	0.014 172 4
	B_6 职业健康	C_{23} 职业危害因素	0.252 35	0.037 153 5
		C_{24} 职业病申报	0.196 73	0.028 964 6
		C_{25} 职业健康监护档案	0.218 35	0.032 147 7
		C_{26} 职业危害控制	0.332 57	0.048 964 3

前提下,加大对隐患排查与治理工作的监督力度,这样企业的安全生产工作才能得到有效保证。

3 结 语

1)氨具有优良的制冷性能,且不会产生温室效应,更不会破坏臭氧层,近年来广泛应用在制冷行业中。随着氨的广泛使用,液氨事故数量也随之增加,根据 2005~2014 年液氨事故统计结果可知,事故主要集中发生在液氨使用和储存过程中(共 154 起),食品厂等制冷行业是事故多发易发的场所;泄漏和中毒依然是液氨事故的高发类型,其中泄漏事故 90 起,占使用和储存环节事故总数的 58.44%,中毒事故 53 起,占使用和储存环节事故总数的 34.42%;人的不安全行为和物的不安全状态是导致事故发生的直接原因,由材料失效引起的事故共 48 起,占使用和储存环节事故总数的 31.17%;由设备故障引起的事故共 37 起,占使用和储存环节事故总数的 24.03%;由人为因素引起的事故共

19 起,占使用和储存环节事故总数的 12.34%。

2)采用层次分析法构建涉氨企业风险管控体系,其中目标层为涉氨企业风险管控体系,准则层由风险分析与分级、隐患排查与治理、安全教育培训、风险管理、应急救援和职业健康等 6 个指标组成,要素层包括 26 个元素;结合 10 位专家对各项指标的打分情况,利用层次分析法与 MATLAB 相结合的方法对各指标的权重进行计算,得出如下结果:在风险管控体系中,隐患排查与治理所占的权重最高,其次为风险分析与分级,再次为风险管理,应急救援所占的权重最低。液氨企业生产安全状况的分析及涉氨企业风险管控体系的构建,可有效指导企业开展风险分级管控工作,隐患排查与治理是预防和控制事故发生的前提与保障,通过对人的不安全行为、物的不安全状态及管理上的缺陷进行排查,及时提出整改措施,对减少生产安全事故数量、加强企业安全生产具有重要指导意义。

参考文献

[1] 周德红,王浩然,李文,等. 基于层次分析法和模糊理论的液氨泄漏风险研究[J]. 武汉工程大学学报, 2017,39(3):281-287.

[2] 周玉希,蔡治勇,王文松. 液氨储罐泄露事故模拟分析与定量风险评估[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版),2015,32(12):88-93.

[3] QU F, HAO K, NIU H C. Application of phast in the quantitative evaluation for the liquefied ammonia leakage accidents [J]. Advanced Materials Research, 2013, 706/707/708:579-582.

[4] PANG B, LIANG C, MA L, et al. Numerical simulation of leakage and diffusion of liquid ammonia tank[C]// LI J B. 2014 Fourth International Conference on Instrumentation and Measurement, Computer, Communication and Control. [S.l.] : IEEE, 2014: 216-220.

[5] JI J, CHEN X X, HAN X F. Rapid simulation and visualization analysis of liquid ammonia tank leakage risk [J]. Procedia Engineering, 2014, 84:682-688.

[6] 王丹,赵江平,刘冬华,等. 基于高斯模型的液氨储罐泄漏扩散仿真分析[J]. 环境工程, 2016, 36(7): 140-144.

[7] 李豆豆. 涉氨制冷机房泄漏排查及扩散规律研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2016.

[8] 潘东,赵江平. 基于 MATLAB 的钼化工企业中液氨储罐泄漏扩散及爆炸危险区域研究[J]. 中国钼业, 2017,41(2):27-30.

[9] LIU D L, WANG L, WANG T, et al. Optimization of ventilation and alarm setting during the process of ammonia leak in refrigeration machinery room based on numerical simulation [J]. Journal of Risk Analysis and Crisis Response, 2017, 7(1):37-44.

[10] GANGOPADHYAY R K, DAS S K. Ammonia leakage from refrigeration plant and the management practice [J]. Process Safety Progress, 2010, 27(1):15-20.

[11] 张昱涵. 液氨制冷企业隐患排查体系研究及其信息系统的实现[D]. 北京:中国地质大学(北京),2018.

[12] 吴胜男. 基于 GIS 的液氨制冷企业安全管理风险区划及信息系统实现[D]. 北京:中国地质大学(北京),2018.

[13] 孟凡亭,吴欣甜,张苗,等. 液氨泄漏爆炸的模糊事故树分析研究[J]. 南开大学学报(自然科学版), 2014,47(4):14-20.

[14] 姜楠,吕东,王婕,等. 涉氨场所火灾爆炸风险分析与控制[J]. 广东化工,2016,43(7):104-105.

[15] 徐科. 液氨储罐的火灾爆炸危险性分析与控制[J]. 大氮肥,2012,35(5):347-351.

[16] 盛于蓝. 液氨罐区爆炸危害分析及预防[J]. 安全, 2017,38(9):6-8.

[17] 陈力宇. 基于 MATLAB 的高层框架结构动力响应与仿真研究[D]. 合肥:安徽建筑工业学院,2012.

本文编辑:苗 变