

基于“2-4模型”的燃气爆炸事故致因研究

焦 昕, 刘心雨*

上海理工大学管理学院, 上海

收稿日期: 2024年8月1日; 录用日期: 2024年9月18日; 发布日期: 2024年10月8日

摘 要

为研究燃气爆炸事故原因, 运用“2-4模型”对2004~2023年期间全国范围内发生的30起燃气爆炸事故的直接原因、间接原因、根本原因和根源原因进行分析。建立燃气爆炸事故致因指标评价体系, 运用变异系数法确定各类致因权重。研究发现, 在燃气爆炸事故致因中, 直接原因(一次性行为)和间接原因(习惯性行为)是最需要关注的, 根本原因次之, 根源原因亦不可忽视。为减少燃气爆炸事故, 基于研究结果提出针对性的建议, 进而推动安全生产和社会健康发展。

关键词

“2-4”模型, 燃气爆炸事故, 致因研究

Study on the Causes of Gas Explosion Accidents Based on the 2-4 Model

Xin Jiao, Xinyu Liu*

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Aug. 1st, 2024; accepted: Sep. 18th, 2024; published: Oct. 8th, 2024

Abstract

In order to study the causes of gas explosion accidents, the “2-4 model” was used to analyse the direct, indirect, root and underlying causes of 30 gas explosion accidents nationwide during the period from 2004 to 2023. The evaluation system of gas explosion accident causation indicators was established, and the weight of each type of causation was determined by using the coefficient of variation method. The study found that, in the cause of gas explosion accidents, direct causes (one-time behaviour) and indirect causes (habitual behaviour) are the most important concern, followed by the root cause, the root cause can not be ignored. In order to reduce the number of gas explosion

*通讯作者。

accidents, based on the results of the study, targeted recommendations are provided to promote safety and healthy development of society.

Keywords

“2-4” Model, Gas Explosion Accidents, Causation Research

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

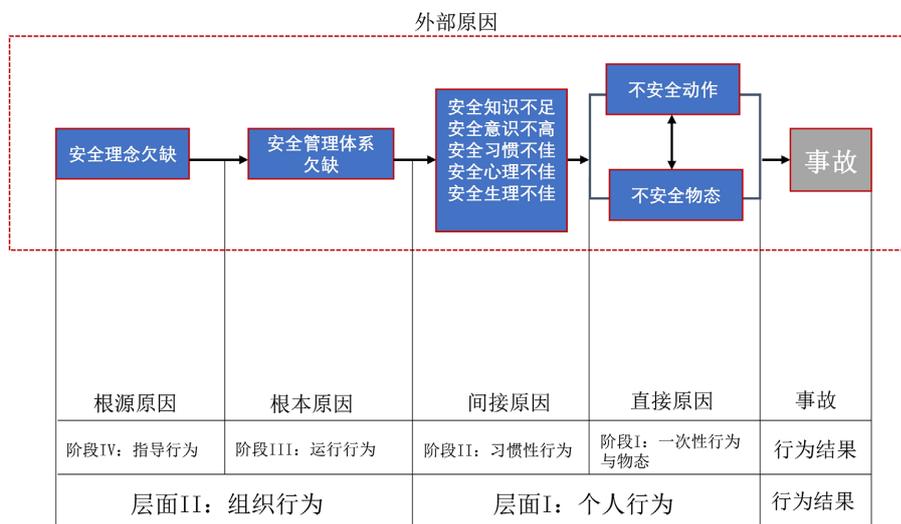
燃气爆炸事故是一种极其危险的事故,不仅会造成人员伤亡和财产损失,还会对社会稳定和经济展带来严重影响。近年来,燃气爆炸事故的发生率呈上升趋势,成为社会关注的焦点。目前已有一些研究对燃气爆炸事故的致因进行了探讨,如胡涛、林卫东等利用 SIF 事故致因模型整合城市燃气运营与使用过程中的安全信息链,剖析复杂燃气系统中的安全信息流,运用决策实验室分析方法定量分析燃气爆炸事故影响因素之间的相关关系[1],重点关注安全信息的重要性;郑彬彬、冯婷婷等采用文本挖掘与复杂网络理论相结合的方法,系统分析影响城镇燃气安全的事故致因及其关联性[2];孙逸林、郑小强等采用 AcciMap 模型系统辨识事故致因,引入复杂网络(CN)与 PageRank 算法辨识关键致因,再通过贝叶斯网络(BN)进行参数学习和诊断推理,分析事故最大致因链,主要探讨燃气管道泄漏爆炸事故系统及其致因的性质[3]。但多从分析事故中的安全信息重要性及事故致因因素之间的关联性角度开展,对不同类型燃气爆炸事故的致因尚需进一步研究。因此,本研究旨在基于“2-4 模型”,对燃气爆炸事故的致因进行深入研究,挖掘事故背后的直接原因、间接原因、根本原因及根源原因。研究采用案例分析方法,基于 2004~2023 年全国范围内发生的 30 起燃气爆炸事故,建立燃气爆炸事故致因模型,并对该模型的可靠性和适用性进行验证。本研究结果将为燃气爆炸事故的预防和控制提供重要的理论和实践指导。

2. 理论基础和事故样本

安全科学的研究对象是事故、研究目的是预防事故[4]。事故致因理论是安全科学的基本理论[5]。事故致因理论是在分析大量典型事故发生原因的基础上,提炼出的事故发生机理和模型[6]。通过事故致因理论可以阐明事故的成因、始末过程和事故后果,对安全事故发生的经过和导致事故发生的原因进行深入分析,从而为安全风险管理工作做好预防预报工作[6]。

2.1. 理论基础

事故致因“2-4”模型是以行为安全理论为基础的通用的事故原因分析方法,该模型认为行为安全贯穿于事故的整个行为链条,每一个环节的行为安全失控都将可能导致事故的发生。“2-4”模型将事故原因分为组织(事故主体单位)的内部原因和外部原因,内部原因又分为个人和组织 2 个行为层面[7]。个人层面的事故原因分为:事故的直接原因,即具象型的一次性不安全行为和不安全物态;其中不安全行为又可以从作业人员和管理人员 2 个角度进行分析;事故的间接原因,即抽象型的个人安全知识、安全意识和安全习惯欠缺。组织层面的事故原因包括事故的根本原因,即安全管理体系不完善和事故的根源原因,即安全文化的欠缺[8]。事故致因“2-4”模型结构见图 1。



图例: ■ 组织内部原因; ■ 事故; □ 组织边界; → 产生关系

Figure 1. The “2-4” model of accident causation

图1. 事故致因“2-4”模型

2.2. 事故样本说明

本文中所分析的事故案例从安全管理网站上搜索燃气爆炸事故获取, 为 2004~2023 年期间全国范围内发生的 30 起燃气爆炸事故案例。从安全管理网站[9]、北京应急管理年鉴[10] [11]以及四川特种设备年鉴[12]搜集以上事故案例对应的事故调查报告, 作为事故统计分析的样本数据。

对 2004~2023 年期间全国范围内发生的 30 起燃气爆炸事故进行梳理, 如表 1 所示。

Table 1. 30 Gas explosion accidents, 2004~2023

表 1. 2004~2023 年发生的 30 起燃气爆炸事故

编号	事故时间	事故过程
1	2004 年 5 月 29 日	泸州纳溪区炳灵路 15 号居民楼人行道下发生天然气管道爆炸, 造成 5 人死亡, 35 人受伤。
2	2005 年 5 月 12 日	深圳市某地下人行通道工程施工区域液化石油气泄漏, 引发爆炸并燃烧。造成 1 人死亡, 16 人受伤。
3	2009 年 8 月 27 日	广州市荔湾区西华路某海鲜酒家发生燃气爆炸事故, 造成 7 人受伤。
4	2011 年 9 月 8 日	江苏泰州市左岸名都小区发生燃气爆炸事故, 造成 3 人受伤。
5	2012 年 11 月 19 日	遂昌县湖山乡新街宾馆发生燃气中毒事故, 造成 3 人死亡。
6	2014 年 3 月 3 日	东莞市莞城街道旗峰路 162 号中侨大厦 B 座 M 层中石化东莞分公司内部员工食堂发生燃气泄漏爆炸事故, 造成 5 人死亡, 28 人受伤。
7	2014 年 3 月 31 日	桃洪镇桃洪中路 87 号杨带连家中发生燃气爆炸事故, 造成 5 人不同程度受伤。
8	2014 年 9 月 11 日	大连红旗谷高尔夫俱乐部有限公司管理分公司维护区职工食堂燃气泄漏并发生爆炸事故, 造成 2 人死亡。
9	2014 年 9 月 19 日	厦门市湖里区福园公寓家乡瓦罐煨汤馆发生燃气泄漏爆炸事故, 造成 5 人死亡, 18 人受伤。

续表

10	2014年11月25日	厦门市思明区美湖路29号味味川菜馆发生液化石油气泄漏爆炸事故, 造成4人死亡, 3人受伤。
11	2015年5月19日	青岛市市南区绍兴三路8号青岛颐荷商务酒店有限公司发生液化气爆炸较大事故, 造成3人死亡, 17人受伤。
12	2016年6月3日	潮州市人民广场东侧新春路津府楼C幢12-13号的西关饮食店发生燃气泄漏爆炸并引发火灾, 没有造成人员伤亡。
13	2018年7月20日	云浮市云城区兴云东路益华国际广场三楼正在装修的云城区正哥餐厅发生燃气爆炸事故, 造成2人死亡, 11人受伤。
14	2019年12月3日	顺义区牛栏山镇北京京日东大食品有限公司一期生产车间内发生燃气爆炸事故, 造成4人死亡, 10人受伤。
15	2020年5月21日	通辽市开鲁县开鲁镇北港润泽府小区20楼一正在装修商铺发生燃气爆炸事故, 造成1人死亡, 4人受伤。
16	2020年7月7日	田家庵区朝阳街道学院南路二孩海鲜店发生燃气爆炸事故, 造成2名过路人员擦伤。
17	2021年1月22日	石景山区八角街道的北京市家门口饭馆发生液化石油气爆燃事故, 造成10人受伤。
18	2021年2月23日	西城区西绒线胡同1号的北京德峰餐厅发生液化石油气爆炸事故, 造成1人死亡, 6人受伤。
19	2021年6月13日	湖北省十堰市张湾区艳湖社区的集贸市场发生重大燃气爆炸事故, 造成26人死亡, 138人受伤。
20	2021年9月10日	普兰店区商业大街130号楼5单元402室发生管道液化石油气泄漏爆炸事故, 造成9人死亡, 4人受伤。
21	2021年10月8日	沈阳市大东区珠林路238号2幢1-7轴的铭记翊品鲜菜馆发生燃气爆炸事故, 造成1人受伤。
22	2021年10月12日	市南区芝罘路47号甲204户发生燃气爆炸事故, 造成3人受伤。
23	2021年10月21日	沈阳市和平区太原南街222号盛王二牛烧烤店发生管道燃气泄漏爆炸事故, 造成5人死亡, 3人重伤, 49人轻伤。
24	2021年11月22日	呼和浩特市玉泉区东五十家街民和花园3号楼一单元内发生天然气爆炸事故, 造成1人死亡, 2人重伤, 12人轻伤。
25	2021年12月19日	安国市北段村乡西照村发生燃气泄漏爆燃事故, 造成1人死亡, 3人受伤。
26	2022年2月23日	海州区东门商店发生燃气爆炸事故, 造成1人受伤, 1间民房倒塌。
27	2022年3月10日	巴彦县巴彦镇吉庆街金泰嘉园小区二期B栋1-2层3号的李想饭店发生燃气爆炸事故, 造成9人受伤。
28	2023年5月11日	北京市通州区马驹桥镇东亚瑞晶苑小区某室发生燃气爆炸事故, 造成1人受伤。
29	2023年6月21日	宁夏回族自治区银川市兴庆区富洋烧烤民族街店发生特别重大燃气爆炸事故, 造成31人死亡, 7人受伤。
30	2023年10月9日	通州区梨园镇九棵树中路998号发生燃气爆炸事故, 造成1人死亡, 16人受伤。

3. 基于“2-4模型”的燃气爆炸事故致因分析

孙世梅、孙祖航等人运用行为安全“2-4”模型理论,全面、系统地分析建筑施工中5大典型伤害事故(高处坠落事故、物体打击事故、机械伤害事故、坍塌事故、触电事故)发生的原因[13]。徐超、郭琳等人运用“2-4”模型统计分析高校易燃易爆实验室事故致因频次和占比,建立事故行为分析模型,并提出针对性的事故防范对策[14]。事故致因“2-4”模型在以上学者的研究中得到了很好的应用,它适用于大部分领域的事故分析,能够模块化地分析事故发生的人因、物因、组织层面因素以及组织外部因素,具有较强的系统性和整体性[15],能够对事故致因进行全面分析。因此,选用该模型作为燃气爆炸事故分析的理论基础。

3.1. 直接原因分析

在事故致因“2-4”模型中,事故的直接原因主要定义为一次性行为与物态,包括人的不安全行为和物的不安全状态[16]。

3.1.1. 人的不安全行为

人的不安全行为分为一线操作人员和作业管理人员2个方面。由于一线操作人员与作业管理人员的工作内容不同,本文分别统计事故调查报告中提及的、能从中分析出的、与事故直接相关的不安全行为[16]。

表2统计表明,由作业管理人员的不安全行为引起的燃气爆炸事故中,3起为施工单位的野蛮施工,1起为气化站的违规操作。由一线操作人员的不安全行为引起的燃气爆炸事故中,9起为操作不当。2起为违反标准规范安装设备,其中1起同时有操作不当的不安全行为。2起为应急处置措施不当,其中1起同时有操作不当的不安全行为。3起为个人疏忽。

Table 2. Statistics on the causes of one-off behaviour

表 2. 一次性行为原因统计

不安全行为	案例编号	频数
施工单位野蛮施工	2、7、25	3
气化站的违规操作	8	1
操作不当	3、9、12、13、18、21、27、29、30	9
违反标准规范安装设备	5、13	2
应急处置措施不当	8、29	2
个人疏忽	11、22、23	3

3.1.2. 物的不安全状态

根据事故致因“2-4”模型理论,本文中物的不安全状态是指事故调查报告中提到的设备设施的设计、制造缺陷,生产设备出现损坏失修已形成事故隐患以及生产设备老化失效等直接导致当起事故产生的情况。通过分析事故调查报告得出物的不安全状态统计结果如表3所示。

表3统计表明,由物的不安全状态引起的燃气爆炸事故13起中,8起为生产设备受损存在事故隐患。1起为生产设备存在设计、制造缺陷,1起为生产设备老化失效。4起为设备处于开启状态,存在事故隐患,其中1起同时有生产设备受损存在事故隐患的不安全状态。

Table 3. Primary physical cause statistics**表 3.** 一次性物态原因统计

不安全状态	案例编号	频数
生产设备受损存在事故隐患	1、14、16、17、19、20、24、28	8
生产设备存在设计、制造缺陷	4	1
生产设备老化失效	6	1
设备处于开启状态, 存在事故隐患	10、15、16、26	4

3.2. 间接原因分析

事故致因“2-4”分析模型中的事故间接原因主要体现为作业人员以及管理人员安全知识、意识、习惯、心理等方面的习惯性行为。本文根据事故调查报告信息可以了解到作业人员及管理人员的安全知识、安全意识方面的情况。安全习惯的分析则是作业人员以往的长期工作状态特征, 很难通过调查报告明确得出, 因此, 本文主要统计分析作业人员及管理人员的安全知识和安全意识方面的习惯性行为原因。

表 4 统计表明, 在安全知识不足方面, 作业人员主要表现为违规操作未考虑事故隐患以及安装设备时未按照要求安装。其中, 11 起为违规操作未考虑事故隐患; 2 起为安装设备未按照要求安装。管理人员主要表现为安全教育培训工作不落实和燃气安全使用宣传教育不足。其中, 11 起为安全教育培训工作不落实; 2 起为燃气安全使用宣传教育不足。

Table 4. Statistics on accidents due to insufficient safety knowledge**表 4.** 安全知识不足所致事故统计

安全知识不足类型	案例编号	频数
违规操作未考虑事故隐患	1、14、16、17、18、19、20、21、23、25、29、30	12
安全教育培训工作不落实	5、6、7、8、9、11、12、13、17、18、22	11
安装人员未按照要求安装	5、16	2
燃气安全使用宣传教育不足	25、26	2

表 5 统计表明, 在安全意识不高方面, 作业人员主要表现为事发后的错误处置和未及时更新设备。其中 4 起为事发后的错误处置; 2 起为未及时更新设备。管理人员主要表现为未建立燃气安全评估和风险管理体系、未(定期)进行安全检查以及未落实安全生产主体责任。其中 4 起为企业未建立燃气安全评估和风险管理体系; 6 起为未(定期)进行安全检查; 13 起为未落实安全生产主体责任; 1 起为公司不具备管道燃气经营的基本条件。剩余 1 起为居民使用燃气安全意识不强。

3.3. 根本原因分析

事故致因“2-4”分析模型中导致事故发生的根本原因主要体现为安全管理体系欠缺的运行行为。组织的安全管理体系, 至少包括正式发布的安全方针、安全管理组织结构和安全管理程序 3 项内容, 其通过影响员工的习惯性行为从而产生不安全动作和不安全状态[17]。本文的 30 起案例中, 不能肯定企业的安全方针有无或其是否能高度概括企业安全文化, 但能肯定企业未健全和落实安全生产责任制和安全管理规章, 从而导致安全管理组织结构未正确建立和安全管理程序未有效执行[5]。

表 6 统计表明, 事故的根本原因中, 7 起为政府监管的缺位; 22 起为安全生产管理和监管不到位; 2 起为安全管理制度不完善。

Table 5. Statistics on accidents due to low safety awareness

表 5. 安全意识不高所致事故统计

安全意识不高	案例编号	频数
事发后的错误处置	2、7、19、29	4
企业未建立燃气安全评估和风险管理体系	8、9、10、17	4
未(定期)进行安全检查	8、14、15、18、20、28	6
未落实安全生产主体责任	11、12、13、15、16、17、19、20、21、23、24、25、26	13
公司不具备管道燃气经营的基本条件	20	1
未及时更新设备	24、26	2
居民使用燃气安全意识不强	28	1

Table 6. Statistics on root causes

表 6. 根本原因统计

事故根本原因	案例编号	频数
政府监管的缺位	2、5、14、20、25、26、30	7
安全生产管理和监管不到位	1、5、6、7、8、9、10、11、12、14、15、16、17、18、19、20、23、24、25、26、29、30	22
安全管理制度不完善	13、21	2

3.4. 根源原因分析

结合事故致因“2-4”分析模型, 本文中导致事故发生的根源原因主要体现为企业安全文化的缺失。安全文化是企业安全工作的指导思想, 通过影响企业安全管理体系来影响企业员工的习惯性行为, 最终影响其动作和物态[17]。

通过分析事故调查报告发现, 30 起事故案例的安全文化缺失主要表现在:

(1) 不重视安全生产的重要性。事故发生单位忽视安全生产工作, 未建立安全生产组织结构, 导致安全生产管理制度和操作规程不健全, 员工无章可循。

(2) 安全部门工作流于形式。对于隐患排查、入户检查等工作的落实情况不细致, 对项目及燃气系统等的隐患问题未进行认真整改, 使得长期存在的事故隐患未能得到有效治理。

(3) 安全文化意识淡薄。施工单位未制订专项施工方案盲目施工; 企业未建立燃气安全评估和风险管理体系, 在未进行风险辨识、安全评估的情况下, 擅自盲目改变燃气供气工艺流程等, 导致燃气管道被破坏、燃气泄漏爆炸风险增加。

4. 基于变异系数法的燃气爆炸事故风险分析

基于前文的事故致因, 进一步分析导致事故发生的关键原因, 从而有效识别危险因素, 减少燃气爆炸事故的发生。

变异系数法是直接利用各项指标所包含的信息, 通过计算得到指标权重。变异系数法是一种客观赋权的方法, 可以避免人为确定权重的主观性[18]。若某项指标的数值差异较大, 能明确地区分各被评价对象, 则该指标的信息分辨率高, 应予以该指标较大的权重; 相反, 若某项指标的数值差异较小, 则该指标的信息分辨率低, 应予以该指标较小的权重。变异系数法作为一种客观评价方法, 在事故分析中具有较强的适用性, 因此, 选用变异系数法对事故致因做进一步的分析。

结合本文事故案例分析建立燃气爆炸事故原因指标体系, 将指标体系分为目标层、准则层和指标层。以上文构建的直接原因、间接原因、根本原因、根源原因作为准则层, 以具体的原因作为指标层, 其中一级指标有 4 个, 二级指标有 6 个, 三级指标有 24 个, 采用变异系数法对二级评价指标做出权重分析。

基于变异系数法的燃气爆炸事故致因权重计算

首先, 根据指标体系内各个指标因素的频数, 计算出每个二级指标对应的三级指标频数平均数 X_j 和标准差 S_j

$$X_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_{ij}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

$$S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_{ij} - X_j)^2}, i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (2)$$

式中, i 表示第 j 个二级指标中的第 i 个三级指标序号。

计算变异系数 V_j :

$$V_j = \frac{S_j}{X_j}, j = 1, 2, 3, \dots, 6 \quad (3)$$

最后, 归一化处理得出各指标权重值 W_j :

$$W_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^6 V_j}, j = 1, 2, 3, \dots, 6 \quad (4)$$

表 7 统计结果表明, 一级指标直接原因(一次性行为)和间接原因(习惯性行为)被赋予同等重要的权重均为 0.4, 根本原因的权重为 0.2。图 2 结果表明, 在研究燃气爆炸事故致因中直接原因(一次性行为)和间接原因(习惯性行为)同为重要影响因子, 根本原因的重要程度略低于直接原因和间接原因。

Table 7. Gas explosion accident cause indicator system and weighting calculation

表 7. 燃气爆炸事故原因指标体系及权重计算

准则层	指标层	平均值	标准差	变异系数	二级指标权重	一级指标权重
直接原因 (一次性行为)	人的不安全行为	3.30	2.60	0.79	0.20	0.40
	物的不安全状态	3.50	2.90	0.83	0.20	
间接原因 (习惯性行为)	安全知识	6.80	4.80	0.71	0.18	0.40
	安全意识	4.40	3.90	0.89	0.22	
根本原因	安全监管及安全管理 管理制度	10.30	8.50	0.83	0.20	0.20

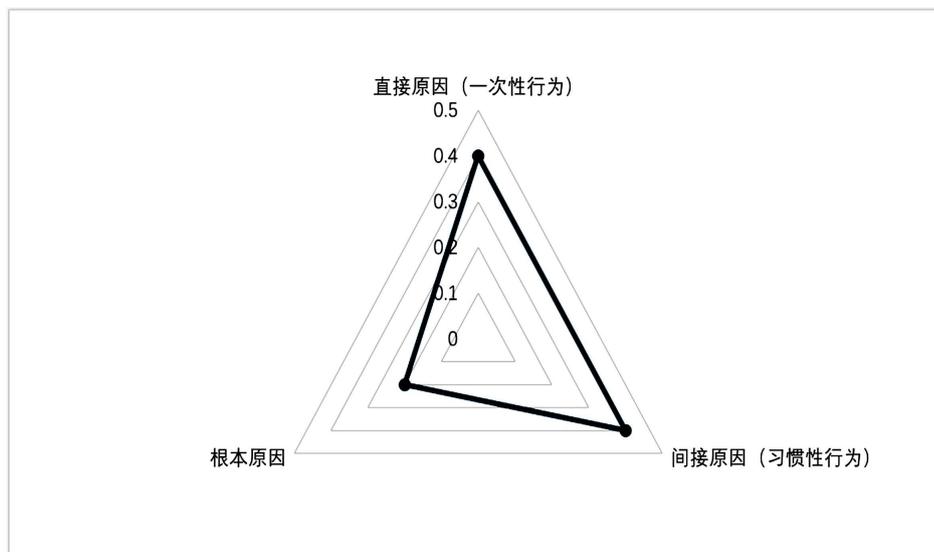


Figure 2. Radar diagram of weighting indicators for the causation of gas explosions
图 2. 燃气爆炸事故致因权重指标雷达图

5. 结论与建议

基于上述研究得出, 在燃气爆炸事故致因中, 直接原因(一次性行为)和间接原因(习惯性行为)是最需要关注的, 根本原因次之, 同时主要体现为安全文化缺失的事故根源原因也不可忽视。

操作不当、生产设备受损存在事故隐患为事故直接原因中的主要因素; 未落实安全生产主体责任、违规操作未考虑事故隐患、安全教育培训工作不落实为事故间接原因中的主要因素; 安全生产管理和监管不到位为事故根本原因中的主要因素; 安全文化意识淡薄为事故根源原因中的主要因素。对于这些主要因素, 提出有针对性的对策与建议, 以期有效减少燃气爆炸事故的发生。

5.1. 燃气技术层面

(1) 建立和执行严格的安全操作规程, 包括操作程序、检查清单、安全标准和操作指导书等, 确保操作人员按照规程进行操作。

(2) 建立健全燃气设施安全管理制度, 加强基层燃气设施的安全管理, 包括定期检查、维护和更新老化设施。积极推动燃气安全领域的技术创新, 开发出更安全、更高效的燃气设备和控制系统。最大程度减少因设备状态问题导致的事故发生。

(3) 加强对员工燃气安全知识和操作技能的培训与考核, 使员工熟练掌握必要的燃气安全知识与技能, 并定期组织演练, 提高突发事件应急处置能力。

5.2. 企业管理层面

强化企业的主体责任, 要求企业根据国家有关工程建设标准, 委托有资质的机构进行燃气设施的设计和安装; 健全公司安全生产责任制和安全管理机构, 全面开展风险评估管控和隐患排查治理, 加强责任制落实情况检查考核, 及时消除事故隐患。

5.3. 政府监管层面

(1) 制定和执行严格的燃气安全法律法规, 包括燃气设施的建设、维护和监管标准, 以及对违规行为的处罚措施。适时调整修改关于燃气安全的法律法规, 最大限度发挥法律的权威作用。

(2) 各级人民政府有关部门应当建立燃气安全监督管理制度, 加强燃气设施安全生产监督检查, 督促、检查燃气经营、使用单位依法履行安全生产职责, 最大程度减少燃气设施安全隐患。

(3) 严格执行《“十四五”国家安全生产规划》[19]《安全生产法》[20]要求, 完善和落实安全生产责任体系, 建立严格的监管体系, 压紧压实部门监管责任。对不认真履行职责, 发生较大及以上生产安全事故的, 严肃追究领导责任和监管责任。

5.4. 宣传教育层面

建议由燃气主管部门牵头, 定期组织开展燃气安全研讨会议, 加强行业技术人员安全技能培训, 加强不同地区燃气爆炸事故处理经验交流。

消防、建设等相关职能部门及各街道、乡镇应切实加大燃气安全宣传教育力度, 充分利用微博、微信公众号、视频号及报刊杂志等媒体途径, 结合全国范围内发生的燃气爆炸事故教训, 向广大人民群众科普安全使用燃气和应急处置救援知识, 营造全社会关注燃气安全的浓厚氛围。另外, 通过经常性地组织开展燃气安全进企业、进社区、进校园等安全宣传活动、开展燃气安全应急演练等, 增强广大群众的安全防范意识和应急自救能力。

参考文献

- [1] 胡涛, 林卫东, 李益平, 等. SIF 事故致因模型与 DEMATEL 方法在城市燃气安全管理中的应用[J]. 安全与环境工程, 2023, 30(6): 113-120, 129.
- [2] 郑彬彬, 冯婷婷, 王佳贺, 等. 基于文本挖掘的城镇燃气事故致因及关联分析[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(7): 190-195.
- [3] 孙逸林, 郑小强, 刘险峰, 等. 基于 AcciMap 模型的燃气管道泄漏爆炸事故分析[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(7): 140-146.
- [4] 傅贵, 郭孝臣. 事故致因理论的研究与应用简评[J]. 安全, 2019, 40(9): 1-5.
- [5] 王丹, 刘庆丽, 刘国峰. 基于事故致因“2-4”模型的模板坍塌事故研究[J]. 工程管理学报, 2017, 31(6): 130-134.
- [6] 许娜. 系统论事故致因理论及其应用[J]. 价值工程, 2018, 37(33): 208-209.
- [7] 傅贵. 安全管理学[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [8] 傅贵, 陆柏, 陈秀珍. 基于行为科学的组织安全管理方案模型[J]. 中国安全科学学报, 2005, 15(9): 21-27.
- [9] 安全管理[EB/OL]. <http://www.safehoo.com>, 2024-06-03.
- [10] 突发事件案例 西城区“2·23”液化石油气爆炸事故调查报告[M]//唐明明, 主编. 北京应急管理年鉴. 北京: 北京出版集团北京出版社, 2022: 453-458.
- [11] 突发事件案例 石景山区“1·22”液化石油气爆燃事故调查报告[M]//唐明明, 主编. 北京应急管理年鉴. 北京: 北京出版集团北京出版社, 2022: 450-453.
- [12] 压力容器(含气瓶)事故 潮州市湘桥区西关饮食店“6·3”燃气爆炸火灾事故调查报告[M]//张利民, 主编. 四川特种设备年鉴. 成都: 四川省特种设备安全管理协会, 2017: 625-626.
- [13] 孙世梅, 孙祖航, 冯子阳, 等. 基于行为安全“2-4”模型理论的建筑施工事故行为原因分析[J]. 中国安全科学学报, 2023, 33(11): 30-37.
- [14] 徐超, 郭琳, 赵春雨, 等. 基于“2-4”模型的高校易燃易爆实验室事故致因与对策[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(5): 248-254.
- [15] 关城, 张志珍, 栗婧, 等. 建筑物火灾事故致因及路径分析[J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(4): 163-170.
- [16] 吴红, 顾翩. 基于事故致因“2-4”模型的化工事故原因统计分析[J]. 化工安全与环境, 2022, 35(40): 6-8.
- [17] 傅贵, 杨春, 殷文韬, 等. 行为安全“2-4”模型的扩充版[J]. 煤炭学报, 2014, 39(6): 994-999.
- [18] 王欢, 王洪飞, 王浩天. 精准扶贫视阈下的高校贫困生资助管理工作探究[J]. 教书育人(高教论坛), 2017(3): 50-52.

- [19] “十四五”国家安全生产规划[J]. 中国安全生产, 2022, 17(4): 5.
- [20] 中华人民共和国应急管理部. 中华人民共和国安全生产法(中华人民共和国主席令第 88 号 2021 年修正)[Z]. 北京: 应急管理出版社, 2021: 21-62.