

文章编号:1674-2869(2015)08-0026-06

油码头环境风险分析及预防措施

陈伟亚¹,张露萍²

1. 武汉工程大学资源与土木工程学院,湖北 武汉 430074;

2. 武汉工程大学化学与环境工程学院,湖北 武汉 430074

摘要:针对武汉新港某油码头火灾爆炸、溢油等环境风险事故,采用事故树分析法,对油码头火灾爆炸、溢油事故进行了定性分析。事故树采用布尔代数法确定最小径集和最小割集,并对事故原因进行结构重要度排序。从油气隔离、控制明火、防雷防静电、码头设备质量管理、船舶交通安全管理、人员管理、装卸设备维护、装卸流程规范等方面提出了防范措施。为有效预防油码头环境风险事故,应严格码头管理机制,贯彻实施相关法律法规和标准规范;优化码头准入机制,规范港口市场秩序;码头建设要满足防火距离和安全距离;制定完善的应急预案,配备相应的应急设施等。

关键词:油码头;火灾爆炸;溢油;事故树;防范措施

中图分类号:X507

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2015.08.005

0 引言

作为亚太地区的发展中国家,我国经济发展日新月异,从1993年我国成为原油净进口国开始,原油进口数量增长迅速。2003年我国已成为仅次于美国的世界第二大石油消费国,2015年我国已超越美国成为全球最大原油进口国^[1]。随着原油需求不断增长,现有码头将无法满足所需运量,因此,充分有效地利用河岸线资源,逐渐增多大型油码头的建设,是我国近年来发展的趋势和必然结果。这些油码头在建设运营过程中,存在一定的环境风险,油品泄漏事故一旦发生,必将对内河水环境造成严重危害,且泄漏事故与火灾爆炸、中毒等事故是紧密联系在一起的^[2]。发生泄漏事故后若遇到火源,极易酿成火灾爆炸事故,不仅对大气环境产生不良影响,而且可能会造成人员伤亡等损失。

因此,本文针对武汉新港某油码头,通过事故树分析法分析油码头发生火灾爆炸事故、溢油事故的主要原因,提出降低事故环境风险的一些防范措施和建议,并根据事故风险原因以期指导编制环境风险预案,可在事故发生时缩短应急反应时间,具有较强的实际指导意义,对同类码头环境风险防范工作也具有一定的借鉴意义。

1 武汉新港某油码头概况

武汉新港某油码头地处长江汉口河青山峡水道南岸,南面为长江河岸,北面为长江水域。码头由西向东布置,现拥有两艘成品油趸船、四艘原油趸船和一艘备用趸船,两个工作趸船,两艘拖轮。

1#、2#码头是成品油码头,3#~6#是原油码头,1#码头为1000吨级码头,2#码头为3000吨级码头,3#~6#码头均为5000吨级码头。6个码头型式均为浮式码头。油码头设计年吞吐能力为420万吨,油码头原油进厂能力为80万吨/年、成品油出厂量为130万吨/年。油码头主要装卸油品:原油、汽油、煤油、柴油、石脑油、甲醇、重油、MTBE(甲基叔丁基醚)甲苯、二甲苯等。

经实地现场踏勘,码头上游有其公司取水口、下游沿长江分布有武湖水厂取水口、阳逻水厂取水口。水环境保护目标详见表1。1km半径范围内大气环境保护目标见表2。

由表1表2可知,码头附近的敏感目标较多,而近年来的突发性环境事件频发,若发生环境风险事故,公众的健康和环境安全都会受到严重影响,因此分析事故原因并采取针对性预防措施显得尤为重要。

收稿日期:2015-05-11

作者简介:陈伟亚(1959-),女,上海人,教授,硕士。研究方向:环境工程、环境影响评价、循环经济。

表 1 水环境保护目标一览表
Table 1 The water environment protection target table

保护目标名称	位置	码头与保护目标最近距离/m			供水区域
		二级水源保护区	一级水源保护区	取水口	
公司取水口	长江南岸	50	250	350	码头所属公司
武湖水厂	长江北岸	5 100	6 300	6 900	中心城区
阳逻水厂	长江北岸	8 200	9 400	10 000	中心城区

表 2 码头周边环境保护目标一览表
Table 2 Environment protection target around the wharf table

序号	敏感目标	规模	与码头方位、最近距离
1	船厂生活区	2 500 户,约 6 250 人	东南 580 m
2	石化村(石化第一、第二生活区)	1 778 户,5 330 人	西南 220 m
3	石化第三生活区	1 100 户,3 042 人	南 210 m
4	向阳小区	308 户,924 人	东南 670 m
5	青山镇街居民	3 424 户,6 554 人	西南 590 m
6	石化医院	100 床位,200 人	南 285 m
7	青山中学	1 800 人	西南 495 m
8	青山船厂中学	1 500 人	东南 740 m

2 油码头事故风险识别及分析

根据油码头经营的危险货物物种,对照《剧毒化学品目录》(2002 年版)、《易制毒化学品管理条例》(国务院令第 445 号)和《监控化学品管理条例》(国务院令第 190 号)该码头无剧毒化学品、易制毒化学品和监控化学品。根据《国家安全监管总局关于公布首批重点监管的危险化学品名录的通知》(安监总管三[2011]95 号)和《国家安全监管总局关于公布第二批重点监管的危险化学品名录的通知》(安监总管三[2013]12 号),该码头原油、汽油、石脑油、甲醇、MTBE(甲基叔丁基醚)、甲苯为首批重点监管的危险化学品。

这些危险油品在装卸运输过程中,可能会因船舱密封不良、管线、阀门安装质量缺陷、管道破损等原因造成油品泄漏,泄漏及其挥发出的油气与空气形成爆炸性混合物,如遇火源(明火、静电或机械火花等),则可能发生火灾甚至爆炸事故^[3]。

其次,据国内交通部统计,在 1973 至 2006 年这 33 年之间,我国沿海共发生大小船舶溢油事故 2 635 起,其中溢油 50 吨以上的重大船舶溢油事故 69 起,总溢油量 37 077 t,平均每年发生 2 起,平均每起污染事故溢油量 537 t。不仅使自然环境、生态资源受到损害,经济蒙受损失,而且严重危害人体健康。

由此可知,油码头环境风险主要为火灾爆炸事

故和溢油事故。

2.1 码头油品燃爆事故原因分析

事故树分析(FTA)起源于故障树分析法,是一种图形演绎法,是故障事件在一定条件下的逻辑推理方法。即从要分析的特定事故(顶上事件)开始,一级一级地分析其发生原因,直到找出事故的基本原因(基本事件)为止。

以武汉新港某油码头油品发生燃爆事故作为顶上事件,寻找导致油码头发生燃爆事故所有可能的原因,再用相应的事件符号和适当的逻辑门把它们从上到下分层连接起来,层层向下,直到最基本的原因事件,这样就构成一个事故树,其事故树分析见图 1。

2.1.1 求最小割集或最小径集 利用布尔代数对事故树结构经行简化,根据简化结果,发现该事故树最小割集较多(共计 120 个),计算较繁琐,因此计算事故树的最小径集。

以补事件代替原事件,将与门换成或门,或门换成与门,则故障树则转化为成功树,求成功树最小割集,对各基本事件求补,即为故障树的最小径集^[4]。

根据简化结果,可以得出该事故树的最小径集有 11 个:

$$P_1 = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{15}, X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}\}$$
$$P_2 = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15},$$

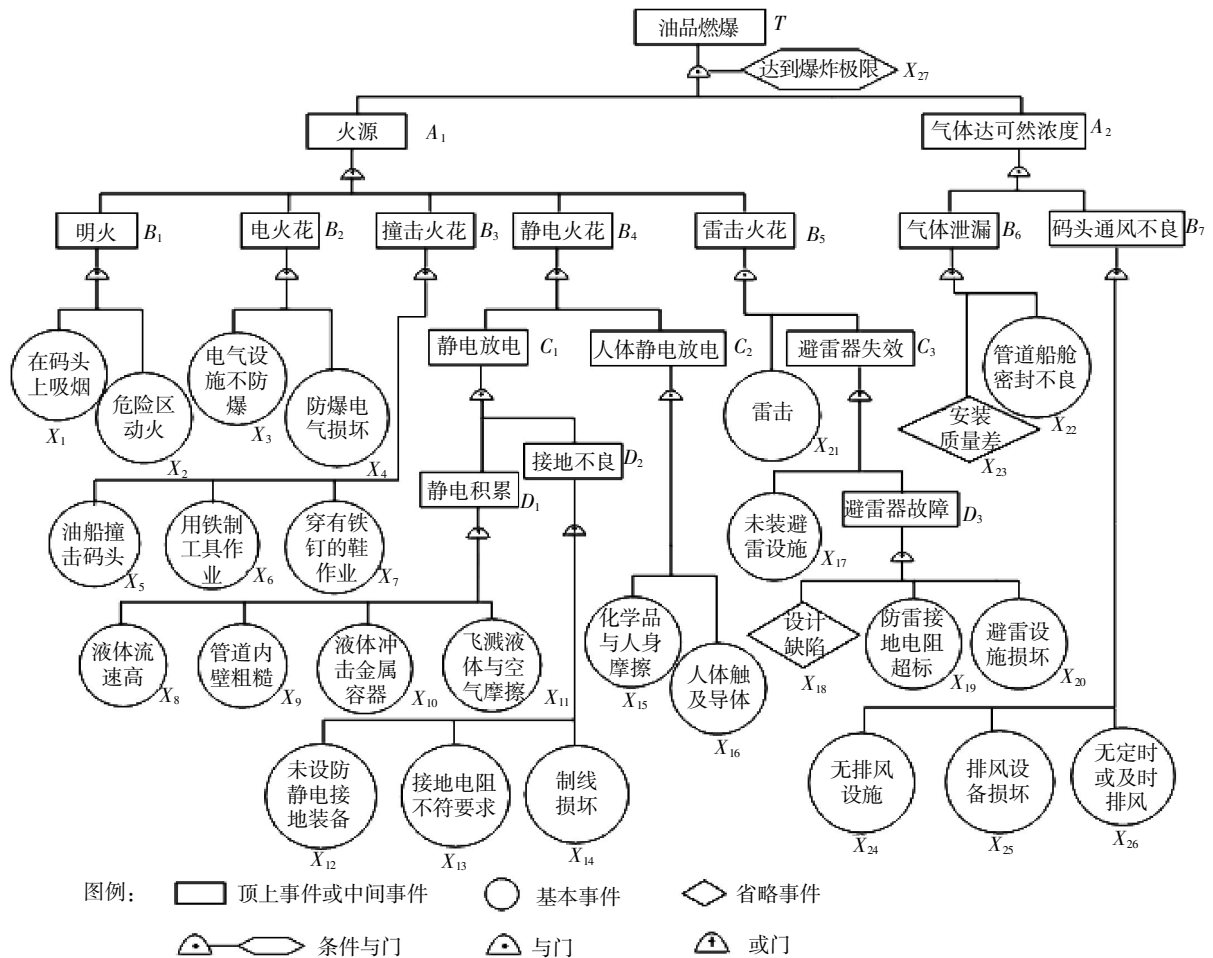


图 1 油码头燃爆事故树分析图

Fig. 1 Fault tree analysis of fire and explosion in petrol wharf

 $X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}\}$
 $P_3 = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{16},$
 $X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}\}$
 $P_4 = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{16},$
 $X_{17}, X_{18}, X_{19}, X_{20}\}$
 $P_5 = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11},$
 $X_{15}, X_{21}\}$
 $P_6 = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{15},$
 $X_{21}\}$
 $P_7 = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11},$
 $X_{16}, X_{21}\}$
 $P_8 = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_{12}, X_{13}, X_{14}, X_{16},$
 $X_{21}\}$
 $P_9 = \{X_{22}, X_{23}\}$
 $P_{10} = \{X_{24}, X_{25}, X_{26}\}$
 $P_{11} = \{X_{27}\}$

2.1.2 结构重要度分析 通过对结构重要度计算,得到结构重要度顺序为:

 $I(27) > I(22) = I(23) > I(24) = I(25) = I(26) > I(1)$
 $= I(2) = I(3) = I(4) = I(5) = I(6) = I(7) > I(21) > I(12)$
 $I(13) = I(14) > I(15) = I(16) > I(8) = I(9) = I(10) = I(11)$
 $> I(17) = I(18) = I(19) = I(20)$

2.1.3 定性分析结论 根据上述事故树分析,导致油码头发生燃爆事故的基本事件有 27 个,事故发生的可能途径有 120 种之多,最小径集 11 个,事故不发生,有 11 种可能方案,只要卡断“与门”下的任何一个最小径集,就可以使顶上事件不发生,也就是说,上述 11 组事件中,任何一组最小径集不发生,则油码头就不会发生火灾爆炸事故,因此只要确保最小径集,预防码头火灾爆炸事故是完全可以做到的。

2.2 码头溢油事故原因分析

码头区域的管线、装卸臂、阀门及船舶等,在装卸、运输过程中均有可能发生油品泄漏事故^[2]。选择溢油事故作为顶上事件,溢油事故的两个最直接原因分别是船舶事故、码头作业区事故,按这些原因自上而下追溯到各种能够引起油品泄漏的基本原因^[5],将各事件与其原因之间用逻辑门符号连接起来,即可得到事故树,其事故树分析见图 2(图例与图 1 一致)。

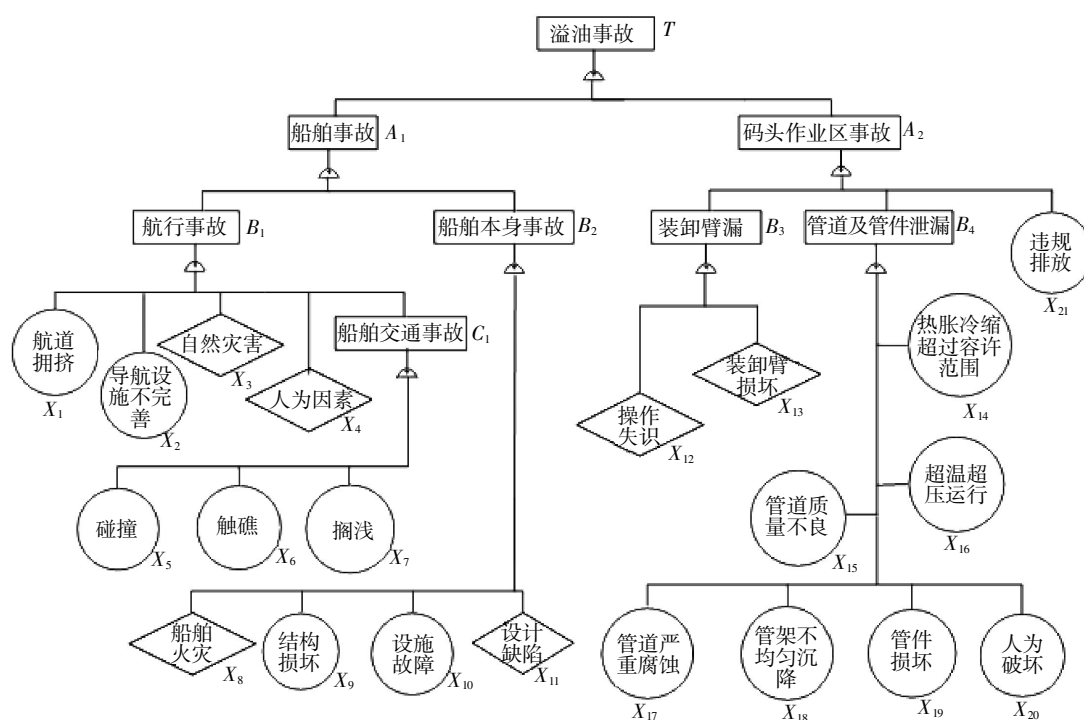


图2 码头溢油事故树分析图

Fig. 2 Fault tree analysis of oil spill in petrol wharf

通过事故树分析可知,造成油码头溢油事故的基本事件有21个,可能途径也有21种,即每个基本事件都是溢油事故发生的重要条件.只要确保21个最小割集中任何一个事件不发生,顶上事件(溢油事故)就不会发生.

3 码头事故风险预防措施

根据上述码头火灾爆炸事故、溢油事故原因分析,针对性地提出防止码头事故发生的预防措施并做好应急准备.

3.1 火灾爆炸事故预防措施

根据事故树分析,采取以下措施:

- 为防止可燃气体达到可燃浓度,设置可燃气体检测报警仪;
- 严格控制火源,在油轮和码头上严禁吸烟和动用明火,严禁用铁制工具作业,如需动火,应按相关规定办理一级动火手续,做好防范措施;
- 按规定要求,选用符合要求的防爆电器,并采取可靠的防雷、防静电措施;
- 加强码头管线、阀门、泵、仪表等设备的安全及质量管理,并定期进行检查、保养和维修.

3.2 溢油事故预防措施

由事故树分析,溢油到水体的可能途径有两种:一种是通过油船泄漏至水体;一种是通过管道、装卸臂或阀门等泄漏至水体,根据溢油到水体的途径

采取相应的预防措施.

3.2.1 降低船舶事故风险的预防措施

a. 设置必要的安全保障设施. 严格执行海事部门有关船舶安全管理的各项规定,把好船舶使用准入关,并在码头前沿、船舶掉头区设置导助航等安全保障设施,以确保船舶航行安全.

b. 推进船舶交通管理系统建设. 推进 VTS 建设,对重点水域、重点船舶、重点时段实施有效监管,不仅可以有效地防止大型船舶发生搁浅、触礁或碰撞事故,还可以提高海上搜救行动效率,缩短事故应急反应时间^[6].

c. 建立健全船舶管理体系. 人为因素也是造成水体污染的一个重要因素,主要包括船长及船员、船东、营运人的责任心、习惯、业务素质、精神状态和健康程度等^[7].

因操作人员违反安全操作规程制度,检查不到位或没有安全意识、自我防范的警觉性差;缺乏团结协作精神,不能互相提醒;安全监督员形同虚设等因素造成的突发性溢油事故屡见不鲜,因此,建立健全船舶管理体系,包括各船长、船员必须持证上岗,加强技术培训、专业培训,提高职工的环保意识和责任心,以杜绝人为因素造成的突发性溢油事故发生.

3.2.2 降低码头作业区预防措施

a. 码头装卸设备维护. 码头装卸工艺及设备

要符合《油码头安全技术基本要求》(GB16994-1997)有关规定,并适时加强管道巡检、保养及维修以确保其处于完好状态。

b. 设置检测报警系统.采用自动化控制系统,对管道运行状态进行监控分析,对码头可能产生泄漏的危险场区设仪器探头,同位素跟踪,及外观检查等监测手段。

c. 规范码头装卸流程.船舶靠泊后,核对货单,检查油船及趸船的安全状况,同时消防器材、围油栏等到位;装卸作业时,做到“四对两看三不装”即:对油品品种、对驳号、对容器合格证、对罐号、看船舶有无问题,看驳方装船是否正确,并由专人负责正常巡视,发现泄漏及时处理;装卸船作业结束时关好有关的阀门等设备。

d. 避免不利天气作业.为确保船舶安全,建议船舶在雷雨、台风、高温天气下停止装卸作业。即一旦遇到不利天气,码头应立即停止装卸作业,港口部门也应密切关注天气情况,等天气好转后再尽快为滞留船舶开通绿色通道。

e. 建立健全管理机制.设置先进的安全管理模式,积极推进 HSE 管理体系的建立和实施,全面提升安全、环保管理水平,建立安全生产长效机制。

4 指导编制环境风险预案

参照《国家突发环境事件应急预案》的事件分级,根据人员伤亡、经济损失、生态环境破坏、辐射污染和社会影响几个方面,将突发环境事件划分为特别重大突发环境事件(I级)、重大突发环境事件(II级)、较大突发环境事件(III级)和一般突发环境事件(IV级)4个等级并实行相应的预警级别。

对于已经出现的事,环境风险分析的目的在于查找原因,并采取针对性措施避免同类事故重演^[8]。因此,我们可以根据码头事故发生的原因,来初步判定事故是属于 I 级、II 级、III 级还是 IV 级事件,当事故一旦发生,可以快速决定采取哪一级别的预警和应急预案,缩短反应时间,最大限度降低事故造成的影响。

根据码头溢油事故树(图 2),以码头溢油事故为例进行分析:

a. 若船舶发生碰撞事故,根据费伊扩散公式预测,在丰水期不采取措施时,到港船舶发生意外碰撞泄漏污染的最大扩散距离 120 km,将对下游武湖水厂、阳逻水厂一定范围距离内的水质产生严重的污染影响,超过 57 671 s 后,油膜将逐步消散。

根据《国家突发环境事件应急预案》的事件分

级,因环境污染造成城市主要水源地取水中断的污染事故属于特别重大突发环境事件(I级);因环境污染造成重要河流、湖泊、水库水域大面积污染事故属于重大突发环境事件(II级)。由此,我们可以知道由船舶发生碰撞导致的溢油事故一般为 I 级、II 级事故,这样,可以根据事故原因来指导编制不同级别的预案,事故一旦发生,立即启动相应级别预警和预案,如立即设置围油栏,通知下游武湖水厂、阳逻取水口停止供水等。

b. 若油品管道发生泄漏,根据管道泄漏原因,常见管道泄漏分为两种:一是由管道腐蚀穿孔、管道连接处焊缝破损等引起的中、小孔泄漏(孔径 1~150 mm);二是由人为或外力破坏等引起的较大孔洞泄漏或破裂(孔径 >150 mm)。根据泄漏原因可知,管道发生泄漏事故一般为 II 级、III 级事故,事故一旦发生,立即启动相应级别应急预案(II 级、III 级),如立即划定警戒区域,消防人员及器材应及时到位,迅速制订抢修方案等^[9]。

5 建 议

风险分析研究最重要的着眼点应该是预防。为更好的避免事故发生,本文有以下建议:

a. 严格码头管理机制,贯彻实施相关法律法规和标准规范。

b. 优化码头准入机制,规范港口市场秩序,在产业结构调整上坚持优与新相结合,即鼓励大规模、新技术、防污和应急体系健全的企业从事油码头的运输和装卸,对于小规模、技术差、管理体系不健全的企业,应逐步实现淘汰。

c. 码头发生的火灾以及爆炸等环境风险很有可能导致周边码头的连锁反应,从而产生连带风险,为最大限度地降低项目的建设给周边其他码头带来的连带风险,在项目周边后来建设的企业码头、供水码头应严格按照《河港工程总体设计规范》JTJ212-2006 防火距离和安全距离要求建设。

d. 制定完善的应急预案,根据 JT/T451-2009《港口码头溢油应急设备配备要求》配备相应的应急设施、建立完善的应急组织指挥体系。

6 结 语

本文以武汉新港某油码头为例,对环境风险进行了研究和思考,提出了一些对策和建议,为同类码头编制应急预案提供参考依据,具有一定的实用性。环境风险分析是一个复杂的、开放性的系统,因此如何更好的预防与应急,还有待于在后续研究中

进一步修正和完善。

致谢

感谢武汉新港某油码头工作人员在本文收集资料时给予支持和帮助,同时也感谢本课题组成员的帮助和支持。

参考文献:

- [1] 程宇.大连港原油码头项目分析与评价[D].南京:南京理工大学,2010.
CHENG Yu. Study on analysis and evaluation of crude oil wharf in Dalian port[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2010. (in Chinese)
- [2] 刘春萍,沈有兵,丁少鹏.港口工程船舶污染环境风险与评估[J].水运工程,2012(5):69-72.
LIU Chun-ping, SHEN You-bing, DING Shao-peng. Marine environmental risk assessment of port engineering[J]. Port & Waterway Engineering, 2012(5): 69-72. (in Chinese)
- [3] 马世勇.基于事故树分析法的油品码头火灾爆炸事故原因分析[J].广东科技,2014(14):244-216.
MA Shi-yong. Fault tree analysis of fire and explosion in petrol wharf[J]. Guangdong Science and Technology, 2014(14): 244-216. (in Chinese)
- [4] 张继明.运用故障树分析法对加油站火灾爆炸事故原因进行探析[J].消防技术与产品信息,2013(11):52-55.
ZHAN Ji-ming. Fault tree analysis for analyzing the causes of fire and explosion in gas station[J]. Fire Technique and Products Information, 2013(11): 52-55. (in Chinese)
- [5] 陈荣昌.长江三峡库区突发性溢油事故环境风险及对策研究[J].工程研究—跨学科视野中的工程,2011,3(2):149-156.
CHEN Rong-chang. Research on oil spill risk of the three gorges reservoir and its emergency countermeasure[J]. Journal of Engineering Studies, 2011, 3(2): 149-156. (in Chinese)
- [6] 臧娜.石化码头溢油风险评价实例研究[D].青岛:中国海洋大学,2009.
ZANG Na. Study on oil spill risk assessment of petrochemical wharf based on an example[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009. (in Chinese)
- [7] 李成福.海上溢油事故原因探析[J].中国水运,2011,11(4):15-16.
LI Cheng-fu. Probe into the causes of marine oil spill[J]. China Waterway, 2011, 11(4): 15-16. (in Chinese)
- [8] 申瑞婷,胡宗敏,梁刚.港口船舶溢油环境风险评价方法研究[J].水运工程,2011(11):137-141.
SHEN Rui-ting, HU Zong-min, LIANG Gang. Assessment of environmental risks in port's marine oil spill[J]. Port & Waterway Engineering, 2011(11): 137-141. (in Chinese)
- [9] 曾多礼.成品油管道泄漏的抢修方法[J].油气储运,1999,18(9):51-54.
ZENG Duo-li. First-aid repairing the leaked oil product pipeline[J]. Oil and Gas Storage and Transportation, 1999, 18(9): 51-54. (in Chinese)

Environmental risk of petrol wharf and its preventive measures

CHEN Wei-ya¹, ZHANG Lu-ping²

1. School of Resource and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. School of Chemistry and Environmental Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: Aimed at the petrol wharf fire explosion and oil spill in Wuhan Newport, fault tree analysis was applied in qualitative analysis of petrol wharf fire explosion. The minimum cut sets and minimum path sets were worked out by Boolean algebra simplification method, and the structure importance of each basis events was given. The measures were proposed to effectively prevent the fire explosion and oil spill accidents of petrol wharf, from oil and gas isolation, controlling fire source, anti-lighting and electrostatic-proof, quality management on equipment, safety management on shipping transportation, personnel management, equipment maintenance, and standardizing process operation. We should strictly enforce management mechanism and implement the relevant laws, regulations and standards; optimize the terminal admittance mechanism and specify the order of port market; make the terminal construction meet the fire proof distance and safety distance; perfect emergency plan and equip with corresponding emergency facilities and so on.

Keywords: petrol wharf; fire and explosion; oil spill; fault tree; preventive measures

本文编辑: 龚晓宁