

港口危险货物集装箱火灾风险辨识与事故树分析

张佳斌, 褚冠全

(交通运输部水运科学研究院安全与应急技术研究中心, 北京 100088)

摘要: 本文针对港口危险货物集装箱火灾风险, 分析了导致可燃物与空气混合的风险因素和会形成点火源的风险因素。以风险因素辨识为前提编制港口危险货物集装箱火灾事故树, 得到导致事故发生的基本事件及各基本事件的结构重要度, 提出预防港口危险货物集装箱火灾事故的措施。

关键词: 危险货物集装箱; 火灾; 风险辨识; 事故树

中图分类号: X951 文献标识码: A 文章编号: 1006—7973 (2020) 07—0036—04

我国港口危险货物集装箱堆场主要分布于上海、深圳、宁波、青岛、广州、天津、大连、厦门、太仓等沿海和长江港口的集装箱码头附近区域, 《危险货物分类和品名编号》(GB6944-2012) 将危险货物分为爆炸品等九大类, 按照现行做法, 我国港口同一危险货物集装箱堆场可能同时堆存除第 7 类放射性物质之外的其他 8 个类别危险货物的集装箱。一旦发生火灾, 由于各种复杂因素交织, 可能造成严重损失。

事故树分析 (Fault Tree Analysis, 简称 FTA), 是通过各种符号和其连接的逻辑门组成, 用于分析导致固定事件发生的基本事件的一种方法。事故树分析以系统所不希望发生的事件作为分析的目标, 逐层追溯可能的原因, 通过逻辑门进行连接, 直到原因事件不可再细分为止, 从而确定“基本事件”。初步建立的事故树, 可以通过布尔代数规则进行简化, 得到最小割集与最小径集, 即导致顶上事件发生的基本事件的组合和保证顶上事件不发生的事件的组合, 最后可计算出各基本事件对顶上事件的影响力度的

相对结构重要度系数, 对各基本事件的结构重要度进行排序, 为制定管理措施提供依据。

事故树分析法作为一个比较成熟的技术, 有很多的应用。在火灾爆炸研究方面, 文献 [1~3] 分别使用事故树研究法从定性分析和定量计算等方面针对丙烯、储油罐以及油库等不同的对象的火灾爆炸风险进行分析, 得出基本事件的结构重要度, 从而提出管理建议和措施; 文献 [4] 运用事故树分析法对高纯液氨罐式集装箱泄漏进行了分析, 找出影响泄漏的各基本事件并计算结构重要度, 提出响应的对策措施; 文献 [5] 采用事故树分析法针对 4.2 类易自然物质集装箱发生火灾事故的风险进行分析, 得出系统的薄弱环节预测和安全对策改进措施。

港口危险货物集装箱安全管理方面的研究有很多成果, 文献 [6] 通过分析集装箱化危险品船载运典型事故案例, 构建事故树并计算, 得到风险至因关键因子及各因子重要度; 文献 [7] 选取某危险货物集装箱堆场作为研究对象, 运用 CASST-QRA 软件模拟, 从而对危险货物集装箱堆场

表 5 各主要结构安全与抗震安全复核结果表

结构	复核等级	备注
船闸上闸首	B	稳定性及基地应力满足规范, 充填物松散
船闸下闸首	B	稳定性安全满足规范, 基底应力出现拉应力, 有漏水现象
船闸闸室	B	稳定性安全满足规范, 基底应力出现拉应力, 闸墙出现裂缝

重建, 可以重新设计、施工, 重新地基处理, 彻底解决防洪标准低及渗流安全问题, 从根本上消除枢纽安全隐患。综合航运、防洪、供水、发电等方面, 进行详细勘察, 重新规划选址, 解决岩溶问题, 以及解决枢纽淤积问题; 同时建设时全部采用钢筋混凝土结构, 摒弃水力自控旋倒门, 改用人工控制闸门, 扩大泄流闸孔尺度, 解决泄洪及结构安全问题。

(2) 提升航道等级; 由于 100t 级及以下船舶市场在竞争中处于劣势已逐渐退出市场。连江航道 100t 级维护标准已经偏低, 建议尽快开展前期规划研究工作, 并按 1000t 级标准进行论证, 以方便北江干流 1000t 级的船舶能通过转运进入连江航道, 提高通航效率, 加快经济发展。

参考文献:

- [1] 尤林贤, 钟惠钰, 周斌. 水闸工程安全监测系统数据分析及探讨 [J]. 水利科技与经济, 2009, (1): 29-31.
- [2] 于文蓬, 张超, 兰昊. 大型水闸工程安全检测设计研究 [J]. 水利建设与管理, 2013, (8): 50-52.
- [3] 王杭州. 船闸水工建筑物的检测评估与维修探讨 [J]. 中国水运, 2010, 10 (5): 194-197.
- [4] 陈灿明, 黄卫兰, 张敏, 等. 三河船闸闸室墙安全性评估 [J]. 水运工程, 2003(5): 54-57.
- [5] 张敏, 徐铭, 杨步松, 等. 三河船闸的安全检测与加固改造 [J]. 水运工程, 2008, 412 (2): 86-91.
- [6] 应宗权, 郁达, 苏林王. 船闸水工建筑物的检测与评估技术 [J]. 水运工程, 2011, 455 (7): 100-106.
- [7] SL 265-2001 水闸设计规范 [S].
- [8] JTJ 307-2001 船闸水工建筑物设计规范 [S].

进行安全评估;文献[8]综合运用层次分析法和粗糙集方法,建立评价模型对危险货物集装箱多式联运进行安全评价;文献[9]从危险货物分类、作业环节风险因素等多个角度对危险货物集装箱的风险进行分析和研究;文献[10]解读了法律法规和行业规范的相关要求,分析了集装箱运输危险货物瞒报原因与对策;文献[11]介绍了危险品集装箱瞒报行为的查验要点;文献[12]通过具体例子,论述了集装箱危险品堆场安全设计思路;文献[13]在分析事故特点和系统需求的基础上,提出了建立港口危险货物集装箱应急辅助决策支持系统的必要性及基本的模块组成;

1 港口危险货物集装箱火灾风险辨识

港口危险货物集装箱发生火灾需要满足可燃物与空气充分混合、点火源两个条件,能够造成导致可燃物与空气混合的事件与构成点火源的事件便是风险所在。

1.1 可燃物与空气混合

正常情况下,集装箱内的可燃物经过严格包装,隔绝空气,在未出现可燃物泄漏的情况下,无法形成可燃物与空气充分混合的条件。参考美国、英国危险货物泄漏事故研究结果可知,94%以上的泄漏事故不是由于包装本身的缺陷引起的,而是发生在危险货物的准备、包装、拆装箱和装卸的过程中。因此针对可燃物泄漏的分析从包装不规范的泄漏和操作不规范导致的泄漏两个方面分析。

1.1.1 包装不规范导致的泄漏

包装不规范包括包装不适用、包装操作不当和包装不合格三种。

包装不适用可分为包装容器与内容物不相容和超出包装承载能力。包装容器与内容物不相容会导致容器与所装危险货物发生化学反应,降低包装的强度甚至导致包装容器破损;超出包装承载能力也会导致包装容器的强度降低甚至损坏包装容器导致危险货物泄漏。

包装操作不当可分为桶装盖未拧紧、包装袋未扎紧和过量充装三种。桶装盖未拧紧和包装袋未扎紧可导致包装外留有残存危险货物,甚至导致可燃物泄漏;过量充装会导致包装破损造成危险货物泄漏。

包装不合格分为使用未检验合格的包装与使用检验过期的包装两种情况。使用未经检验合格的包装,包装的理化性能在使用前没有按照规定要求通过国家规定的检测机构检测合格,包装的质量无法保证;使用检验过期的包装,使用前已经检测合格,但是由于长时间不用,待到需要使用时已超出了检验合格的有效期限,包装在储存期间,受到自然界不同程度的腐蚀,导致包装品质降低。这两种情况都会成为危险货物储运过程中发生事故的隐患。

1.1.2 操作不规范导致的泄漏

导致操作不规范的原因有两个,一个是操作规程不规范,另一个是员工未严格执行操作规程。

操作规程不规范分为管理体系不健全和货物风险未辨识。健全的管理体系要求企业管理体系呈稳定和动态的统一,港口危险货物集装箱堆场的管理组织不合理必定会导致某些环节管理薄弱或缺失;风险辨识是对系统中的风险因素进行辨识和分析,判定发生事故和职业危害的可能性和严重程度,从而为制定管理措施提供依据。风险未辨识或者辨识不全,会造成管理盲区。

员工未严格执行操作规程的原因有三个:未进行安全培训、培训不到位、未严格执行操作规程。生产经营单位的特种作业人员以及其他作业人员,需要通过安全教育培训并合格方可上岗作业,未进行安全培训或者培训不合格,对操作规程不熟悉,导致操作不规范或者错误操作;进行了安全培训并培训到位,但是由于员工的侥幸心理等也可能造成未严格执行操作规程导致不规范的操作。以上三个原因的操作不规范都可能导致装卸过程中的暴力装卸,造成危险货物泄漏。

1.2 点火源

明火、电器火花、雷击火花、静电火花、高温等因素可能成为港口危险货物集装箱火灾事故的点火源。形成明火的情况包括违章吸烟、违章用火;造成电器火花的情况有使用非防爆电器和防爆器损坏;雷击火花需要满足发生雷击和避雷器失效;高温需要满足天气高温和箱体长时间日晒;静电火花包括静电放电和衣物与人体摩擦产生静电,其中静电放电需要满足静电积累和接地不良两个条件;撞击火花主要是作业过程中操作不当造成。

2 港口危险货物集装箱火灾事故树分析

编制港口危险货物集装箱火灾事故树,列出逻辑关系式并计算得到最小割集,对事故树的结果进行分析,确定各基本事件的结构重要度和系统的薄弱环节,从而有针对性地制定安全对策。

2.1 编制事故树

从顶上事件(危险货物集装箱火灾事故)开始,根据风险辨识的结果逐级找出直接原因事件,直到基本原因事件位置,按照逻辑关系,使用逻辑门对顶上事件、中间事件、基本事件进行连接,得到危险货物集装箱火灾事故树,如图1所示。

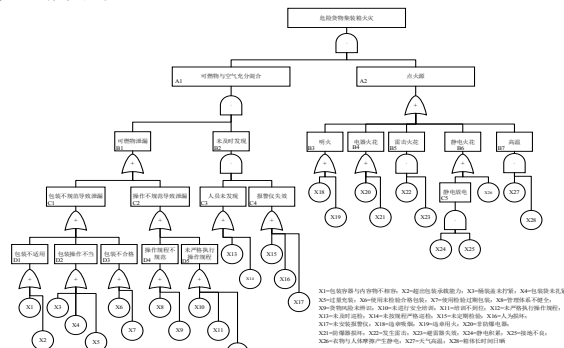


图1 港口危险货物集装箱火灾事故树

2.2 事故树化简计算与结构重要度分析

最小径集是指不引起顶上事故发生的最低限度的基本事件的组合，通过与事故树对偶的成功树可以得到系统的最小径集。最小径集计算方法为：

$$\begin{aligned}
 T^c &= A1^c + A2^c \\
 &= (B1^c + B2^c) + (B3^c \cdot B4^c \cdot B5^c \cdot B6^c \cdot B7^c) \\
 &= (C1^c \cdot C2^c + C3^c + C4^c) + (X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot (X22^c + X23^c) \cdot C5^c \cdot X26^c \cdot (X27^c + X28^c)) \\
 &= (D1^c \cdot D2^c \cdot D3^c \cdot D4^c \cdot D5^c + X13^c \cdot X14^c + X15^c \cdot X16^c \cdot X17^c) \\
 &+ (X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot (X22^c + X23^c) \cdot (X24^c + X25^c) \cdot X26^c \cdot (X27^c + X28^c)) \\
 &= (X1^c \cdot X2^c \cdot X3^c \cdot X4^c \cdot X5^c \cdot X6^c \cdot X7^c \cdot X8^c \cdot X9^c \cdot X10^c \cdot X11^c \cdot X12^c + X13^c \cdot X14^c + X15^c \cdot X16^c \cdot X17^c) \\
 &+ (X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot (X22^c + X23^c) \cdot (X24^c + X25^c) \cdot X26^c \cdot (X27^c + X28^c)) \\
 &= X1^c \cdot X2^c \cdot X3^c \cdot X4^c \cdot X5^c \cdot X6^c \cdot X7^c \cdot X8^c \cdot X9^c \cdot X10^c \cdot X11^c \cdot X12^c + X13^c \cdot X14^c + X15^c \cdot X16^c \cdot X17^c \\
 &+ X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot X26^c \cdot X22^c \cdot X24^c \cdot X27^c + X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot X26^c \cdot X22^c \cdot X24^c \cdot X28^c \\
 &+ X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot X26^c \cdot X22^c \cdot X25^c \cdot X27^c + X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot X26^c \cdot X22^c \cdot X25^c \cdot X28^c \\
 &+ X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot X26^c \cdot X23^c \cdot X24^c \cdot X27^c + X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot X26^c \cdot X23^c \cdot X24^c \cdot X28^c \\
 &+ X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot X26^c \cdot X23^c \cdot X25^c \cdot X27^c + X18^c \cdot X19^c \cdot X20^c \cdot X21^c \cdot X26^c \cdot X23^c \cdot X25^c \cdot X28^c
 \end{aligned}$$

根据上式可得系统的 11 个最小径集，即：

$$P1 = \{X1, X2, X3, X4, X5, X6, X7, X8, X9, X10, X11, X12\}$$

$$P2 = \{X13, X14\} \quad P3 = \{X15, X16, X17\}$$

$$P4 = \{X18, X19, X20, X21, X26, X22, X24, X27\}$$

$$P5 = \{X18, X19, X20, X21, X26, X22, X24, X28\}$$

$$P6 = \{X18, X19, X20, X21, X26, X22, X25, X27\}$$

$$P7 = \{X18, X19, X20, X21, X26, X22, X25, X28\}$$

$$P8 = \{X18, X19, X20, X21, X26, X23, X24, X27\}$$

$$P9 = \{X18, X19, X20, X21, X26, X23, X24, X28\}$$

$$P10 = \{X18, X19, X20, X21, X26, X23, X25, X27\}$$

$$P11 = \{X18, X19, X20, X21, X26, X23, X25, X28\}$$

计算各基本事件的结构重要度，公式如式 1 所示为：

$$I_i = \sum_{X_i \in P_j} \frac{1}{2^{r_{P_j}-1}}$$

式中， I_i 表示基本事件 X_i 的结构重要度， r_{P_j} 表示最小径集 P_j 的阶数，即基本事件的个数。计算可得各基本事件的结构重要度如表 1 所示：

表 1 各基本事件的结构重要度

基本事件	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
结构重要度	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹
基本事件	X11	X12	X13	X14	X15	X16	X17	X18	X19	X20
结构重要度	1/2 ¹¹	1/2 ¹¹	1/2	1/2	1/4	1/4	1/4	1/16	1/16	1/16
基本事件	X21	X22	X23	X24	X25	X26	X27	X28		
结构重要度	1/16	1/32	1/32	1/32	1/32	1/16	1/32	1/32		

由此可得各基本事件的结构重要度顺序：

$$\begin{aligned}
 I_{13} = I_{14} > I_{15} = I_{16} = I_{17} > I_{18} = I_{19} = I_{20} = I_{21} = I_{26} > I_{22} = I_{23} = I_{24} = I_{25} = I_{27} = I_{28} \\
 > I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = I_5 = I_6 = I_7 = I_8 = I_9 = I_{10} = I_{11} = I_{12}
 \end{aligned}$$

3 防范措施建议

任意最小径集中包含的全部基本事件不发生即可保证系统顶上事件不发生，因此最小径集越多，每个最小径集中包含的基本事件越少，顶上事件越不容易发生，系统越安全。根据分析可得， $X13$ 和 $X14$ 的结构重要度系数最大，其次是 $X15$ 、 $X16$ 、 $X17$ ，再次为 $X18$ 、 $X19$ 、 $X20$ 、 $X21$ 、 $X26$ ，剩下基本事件的结构重要度系数较低，对顶上事件发生的影响更弱。

针对港口危险货物集装箱火灾风险的防范措施，首先，要重点加强人员的巡检，确保巡检人员按照规程及时、严格巡检，增加危险货物集装箱堆存区域的检查频率，发生

泄漏能够第一时间发现，及时采取应对措施，最大限度地减少危险货物集装箱火灾发生率；其次，要加强报警仪等安全设施的可靠性，选用符合国家标准或者行业标准的安全设备设施，同时对安全设备进行经常性维护、保养，并定期检测，保证正常运转；第三，加强对员工的教育和培训，增强人员的安全意识，杜绝违章吸烟、违章用火等人员不安全行为的发生，使用防爆电器并确保防爆器可用，确保避雷器可用以及箱体接地装置安全可靠，高温天气防止箱体长时间日晒并对箱体采取降温措施，从根本上杜绝出现点火源；最后，应选用检验合格且在有效期内包装，包装的使用应得当，封口安全可靠，不存在盖子未旋紧或者扎口松动等情况。

针对危险货物集装箱火灾风险事故，除了预防措施外，还应尽一切可能做好事故应急处置措施，保证消防通讯联络畅通，应急处置物资可靠，火灾发生初期迅速扑灭，最大限度地减轻火灾的损失。

4 结束语

危险货物集装箱火灾事故往往会造成较大的人身伤亡与财产损失，应科学地进行预防。事故树分析方法通过对导致事故发生的基本事件的分析，能够简洁明了地分析和预测事故发生的原因，从而制定预防措施。本文针对港口危险货物集装箱火灾事故的风险因素进行辨识，编制事故树，得到导致事故发生的基本事件及各基本事件的结构重要度，进而提出管理措施，降低事故发生率，对港口危险货物集装箱的安全管理有一定的指导意义。

参考文献：

- [1] 刘中兴. 丙烯罐区火灾、爆炸风险的故障树分析[J]. 安全、健康和环境, 2009(07): 44-46.
- [2] 盛耀祖, 唐峰, 吴萍萍. 储油罐火灾爆炸故障树分析[J]. 安全、健康和环境, 2016, 16(04): 50-52.
- [3] 李卫东. 基于故障树分析的油库火灾爆炸研究[J]. 当代化工, 2015(07): 158-160.
- [4] 薛小龙, 鲁红亮, 耿雪峰. 基于事故树的高纯液氨罐式集装箱泄漏分析[J]. 中国特种设备安全, 2015(S1): 110-112+145.
- [5] 汪世锋. 基于事故树分析法的危险品集装箱安全对策分析[J]. 中国水运(下半月), 2009, 09(6): 43-45.
- [6] 刘明明, 胡基平, 郭云龙. 集装箱化危险品船载运输风险因子辨识[J]. 中国安全科学学报, 2017, 027(010): 168-174.
- [7] 胡广霞, 彭玉生, 段晓瑞. 区域定量分析方法在危险货物集装箱堆场安全评估中的应用[J]. 水运工程, 2017, (6): 87-91.
- [8] 黄凯, 李晟东. 基于 AHP 和粗糙集的危险货物集装箱多式联运安全综合评价[J]. 物流技术, 2016, 35(10): 74-77.
- [9] 吕广宇. 港口危险货物集装箱风险防控[J]. 劳动保护, 2018, (5): 90-92.

开放经济背景下岳阳港形象问题的对策研究

张百战, 李佳仪, 陈倩兰, 张沁, 廖婷

(湖南理工学院经济与管理学院, 湖南 岳阳 414000)

摘要: 岳阳港是湖南省对外开放的桥头堡, 是融入“一带一路”的重要节点, 更是湖南省全力打造的通江达海新增长极。要在开放经济背景下的建塑良好的岳阳港形象, 为岳阳港争取更多的发展机遇, 促进港区经济发展必须导入港区形象识别系统 HDIS, 通过理念识别系统 MI、行为识别系统 BI 和视觉识别系统 VI 的策划和实施, 对港区进行具吸引力的形象定位, 并解决其中存在的问题。

关键词: 开放经济; 港区形象识别系统; 形象问题; 对策分析

中图分类号: U651 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2020) 07—0039—03

1 开放经济背景下的岳阳港形象概述

岳阳为湖南省辖地级市、第二大经济体, 省域副中心城市。岳阳交通极为便利, 境内京广铁路、蒙华铁路(在建)、京港澳高速公路、杭瑞高速公路等国家交通主动脉在市区交织成网。2018年12月, 岳阳三荷机场通航, 必将促进岳阳市形成愈加明显的“水陆空”三位一体综合性大交通脉络。且岳阳港是长江沿岸的中转型国际集装箱大港、国务院批准的启运港, 与港澳台、日韩、东盟、澳大利亚等地区、国家有定期的海运直达航线和远洋接力航线, 并且设有国家综合保税区。

本文所指岳阳港, 泛指包括岳阳港口码头在内的整个岳阳港新港区, 又称城陵矶新港区, 位于岳阳市区的东北部, 地处“两带”(珠三角和长三角经济带)、“两区”长株潭城市群和武汉“两型社会”综合试验区之间的中心枢纽。城陵矶新港区设立于2009年12月, 规划控制区100平方公里, 规划建设区69平方公里, 区内有长江深水岸线18公里, 是国家长江经济带“黄金水道”的咽喉、环洞庭湖生态经济圈的核心区域, 是湖南省对外开放的桥头堡, 也是融入“一带一路”的重要节点, 在湖南省发展对外开放经济战略中有举足轻重的地位。而岳阳港形象问题是否能得到解决, 直接影响到新港区招商引资的效率、吸引人才的力度、产业发展的结构以及港区经济发展的速度。

2 开放经济背景下岳阳港形象问题之对策——导入港区形象识别系统 HDIS

针对在开放经济背景下岳阳港出现的形象问题, 可以导入港区形象识别系统 HDIS。所谓形象识别系统导入即对形象识别的相应内容进行策划和实施。

2.1 岳阳港形象理念识别 MI 导入

(1) 进行差别化的港区形象定位。首先必须明确岳阳港可以吸引目标公众的优势。地区的对外形象定位应要做到吸引就业者、当地企业、和投资者等。对于本地和外来就业者来说, 宜居环境是首当其冲的条件。岳阳有一二线城市不可比拟的自然环境和生活舒适度, 足以让人安居乐业; 对于企业发展来说, 若我们能够引进并留住他们所需的人才, 降低人才流失率, 便可帮助降低企业隐性成本; 随着经济发展形势良好, 就会吸引更多的投资者来岳阳港发展。因此, 虽然岳阳港区没有充足的财力提供更多的优惠政策来吸引目标公众, 但拥有适宜居住的环境, 符合人们薪资水平的房价。同时, 建议港区加快完善生活设施、引进先进的教育和医疗资源, 建设一流的宜居港口。而宜居的特质对于现代生态理念下的高科技企业来讲也必“宜业”, 这会为港区的未来集聚强大的发展潜力。同时这也符合习近平主席给岳阳提出的“守护一江碧水”的指示精神。

(2) 明确港区精神、文化和价值观并体现在港区的形象定位中。单凭宜居环境的形象定位是缺乏可识别性, 岳阳港所在的岳阳市因范仲淹的《岳阳楼记》而闻名天下, 因此岳阳市最具差异化和最大的特点就是“忧乐天下”的精神和文化。我们应做到港城文化结合, 在港区形象层面引入岳阳文化, 即可创造差异定位。

全国人大代表、岳阳市委书记刘和生说: “建设湖南发展新增长极, 是省委、省政府统筹全省区域发展大格局, 对岳阳发展作出的定位要求, 是岳阳人必须担当的重大责任和时代使命”。这种责任和使命与岳阳历史文化中的“忧乐天下观”一脉相承。

[10] 廖兵兵, 蒋立安, 衡晓周. 集装箱运输危险货物瞒报原因与对策[J]. 中国水运, 2011, (12): 30-31.

[11] 尹杰. 危险品集装箱瞒报行为查验要点[J]. 中国海事, 2015, (9): 49-50.

[12] 丁少鹏. 集装箱危险品堆场安全设计——以广州港南沙港

区一期工程为例[J]. 水运工程, 2008, (2): 61-65.

[13] 孙维维, 陈轩. 港口危险货物集装箱应急辅助决策支持系统研究[J]. 中国水运, 2012, (6): 47-48.