

摘 要

本文运用安全系统工程理论和方法,对镇海港散化码头进行危险性危害性分析。镇海港液化码头经过 20 年的发展,现在已经发展成为拥有 9 个液化码头,180 多个储罐和 70 多万立方罐容的大型液化油品仓储区。宁波本地以及萧山绍兴等地很多生产企业以镇海港为生产原料进口基地。镇海港散化码头装卸、储运的大部分货种具有火灾、爆炸和毒物泄漏等危险性,需要管理者投入巨大的精力和物力来控制生产的安全,以保证港区和后方生产企业的平稳。而目前对镇海港区液化码头的危险性和危害性评价方面,比较缺乏系统性的评价。本文通过对导致散化码头事故的原因进行定量的分析,导致散化码头事故的原因有一定的普遍性,同时本文结合镇海码头的实际的储罐、管线、码头条件、气候条件等因素,选取具有代表性的货种进行危险性和危害性分析,找出薄弱环节,有助于安全管理者科学地制定对策,从而保证港区的生产稳定。

散化码头的火灾、爆炸和毒物泄漏事故虽然经常彼此引发,互相交叉,但在伤害机制、抑发因素、事故时间和空间尺度上都有很大区别,构成散化码头危险性综合评价的基本组成因素。本文特别选取在镇海港散化码头作业货种最有代表性也重点安全关注对象的货种—丙烯腈,从储运货种的本身性质出发,运用道化法分别对码头前沿、储罐区、装车区等作业场所进行定量计算、比较,给出定性的评价结果。在初步评价后,对可采取的安全补偿措施作分析,给出安全补偿系数。本文运用多因子综合积分等级评估法对毒物泄漏风险进行评价。这部分的评价结论可使决策者直观地看到镇海化工码头发生不同规模的丙烯腈泄漏扩散事故后可能造成的后果。并在此基础上,运用层次分析法,对可能导致散化码头的各种事故原因相对事故的重要性进行排序,进行镇海港散化码头综合危险性评价。确定管理工作的重心,制定相应控制方案,从实际出发,优先控制有条件,易控制的危险因素,逐步走向全面控制。

本文在最后的风险预防和对策中分别针对散化码头的重点作业场所,提出防火、防爆、防泄漏的措施。并提出安全管理对策。本评价结论可为相应安全措施的采取提供依据,从而实现散化码头的科学管理,以防止重大事故的发生。并在事故一旦发生,尽最大可能减少人员伤亡和财产损失,避免环境的严重污染。

关键词: 镇海港, 散装液体化学品, 层次分析法, 风险综合评价

The analysis of danger and imperilment of Zhenhai chemical terminal Abstract

This thesis applies Safety System Engineering to the risk assessment of Zhenhai chemical terminal . The Zhenhai chemical terminal has developed for about twenty years , By now, they have built nine chemicals berths and 180 tanks in the harbour area. The total capacity of the whole tank is more than 700,000 stere . A lot of manufactories in Ningbo and Xiaoshan,shaoxin county has choose the Zhenhai chemical terminal as the storage base for producer's goods. Most of the cargoes handled in the zhenhai chemical terminal are the inflammable and explosive chemicals. Serious accident such as fire & explosion and leakage & diffusion of poison cargo would happen there . In order to avoid such serious accident , the administrators should pay great attention to the safety of the harbour .But now there are lack of the systemic assessment to the dange and imperilment of the Zhenhai chemical terminal, In general , The occurrence of fire & explosion and leakage & diffusion of poison cargo accidents in different chemical terminal may due to the similar reason, So the quantitative analysis of the occurrence is not only necessary but also referential . In this thesis, the danger and imperilment of the representative cargo-Acrylonitrile has been analysed in different site ,the condition of tanks , wharfs and also climate in zhenhai chemical terminal are adopted in the assessment. After assessment, the shortage of management can be find, which will make for the safety manager to establish pertinence measures for safety.

Although these accidents in chemical terminal can beget and effect each other, they are different in theory, time and area. This thesis choose the representative cargo-Acrylonitrile which is also the focus of safety in Zhenhai chemical terminal. The assessment of occurability of the accident is focused on the nature of the cargo and is assessed through quantitative analysis. The quantitative analysis of the wharf area, tank area and truck loading site are conducted respectively. Here DOW Fire&Explosion index and Integral Rate will be used to assess the danger and imperilment of Zhenhai chemical

terminal . Based on the preliminarily synthetic risk assessment, analysis the safety compensation measures ,and put the safety compensation coefficient to the result of preliminarily synthetic risk assessment. The result of the risk assessment of leakage of Acrylonitrile can make the managerial personal see the consequence of the accidents of different scale and dangerous grade visualizedly. Respectively, based on this ,the synthesis risk index can be obtained on the principle of AHP . According to the synthesis risk index, the influence of all kinds of occurrences can be distinguished apparently. so we can find the most important measures of management, corresponding measures can be adopted to prevent accident. So we can achieve the aim of comprehensive safety.

At the parts of risk defence , Respectively safeguards to prevent fire & explosion and leakage & diffusion accident in different site are established . The result of assessment can be adopted to constitute safety management system, to prevent serious accident, and once accident happen, efficient policy could be used to reduce the life and property loss, and avoid the serious pollution to the environment.

Ran xiong han(MTE)

Directed by Zong bei hua

Key words: Zhenhai chemical terminal, Liquid chemical in bulk, Analytical Hierarchy Process, Risk assessment

论文独创性声明

本论文是我个人在导师指导下进行的研究工作及取得的研究成果。论文中除了特别加以标注和致谢的地方外，不包含其他人或其他机构已经发表和撰写过的研究成果。其他同志对本研究的启发所做的贡献均已在论文中做了明确的声明并表示了谢意。

作者签名： 张水华 日期： 2006.6.30

论文使用授权声明

本人同意上海海事大学有关保留、使用学位论文的规定，即：学校有权保留送交论文的复印件，允许论文被查阅和借阅；学校可以上网公布论文的全部和部分内容，可以采用影印、缩印或者其他复制手段保存论文。保密的论文在解密后遵守此规定。

作者签名： 张水华 导师签名： _____ 日期： _____

前言

宁波港镇海港区液体化工码头(含仓储区)发展起步于1986年,经过近二十年的开发建设,目前化工区已拥有专用液化(油品)装卸泊位9座,其中由全国最大的5万吨级(兼靠8万吨级)液化专用泊位2座,万吨级泊位1座,3000吨级以下泊位6座。目前化工区已有12家各类合资性质的专业液化油品仓储企业在此落户,建成液化油品储罐180余座,超过70万立方米的仓储容量规模,并与国内外40多个港口和地区建立了业务往来。到2005年年底,已接卸苯,醇,酮,酸,烃等10大类90多个品种的液化品和油品,累计完成液化品吞吐量超过1700多万吨,是我国最大的进口液化品中转港之一。目前已有相当的化工、化纤企业将镇海港化工区作为其原料和产品的进出基地,因此镇海港化工区的安全问题不仅直接影响到化工区内仓储企业自身的安全,更直接影响以港口为依托的临港工业的发展。因此,需要通过对镇海港化工区进行综合危险性评价,找出安全生产方面的薄弱环节,制定相应的防范措施,对港区安全生产具有重要的现实意义。

散装液态危险货物(油类、液态化学品、液化气体)以专用船散装运输因具有运量大、中间环节少、周转快;节省包装、灌桶、堆存、清洗、处理等费用;货物损失少、经济效益和社会效益显著等特点,成为地区之间石化原料运输的主要方式。散装液化品船舶运输首先在西方发达国家兴起,并呈快速发展的趋势。据估计,目前全世界海运危险货物已超过世界海运总量的一半以上,并且在危险货物运量不断增长的同时,危险货物的品种也呈增加的趋势,目前,常运的危险货物已达三千多种。而随着我国经济的快速发展,对化学品的需求日益增加,相对应的却是自身石化工业发展的滞后,大量的基础性化工原料以及大部分的精细化工品需要从国外进口,从而带动了国内散装液化品船舶运输以及码头装卸仓储行业的飞速发展。

散化具有易燃性、易爆性、毒性、污染性和反应性等多种危险性。我国散化运输和码头装卸呈现品种多、性质各异、船舶大型化、过境货多、拼装货多、新品种多和污染性升级等特点。而且我国的散化码头和储运公司多位于城市工业区、人口密集区、水陆交通繁忙区段或水源保护区。一旦由于不可抗力的作用、设备故障、操作者疏忽、船舶灾难等因素造成码头散化的泄漏,就可能引起易燃化学品的燃爆事故或散装有毒液体物质对陆域、大气、水域的污染事故。根据《欧共体指南》的定义,散化码头属于重大危险工业领域,需要进行风险控制,进行安全评价。

第一章 概述

1.1 论文选题背景

宁波港镇海港区液体化工码头(含仓储区)发展起步于 1986 年,经过近二十年的开发建设,目前化工区已拥有专用液化(油品)装卸泊位 9 座,其中由全国最大的 5 万吨级(兼靠 8 万吨级)液化专用泊位 2 座,万吨级泊位 1 座,3000 吨级以下泊位 6 座。目前化工区已有 12 家各类合资性质的专业液化油品仓储企业在此落户,建成液化油品储罐 180 余座,超过 70 万立方米的仓储容量规模,并与国内外 40 多个港口和地区建立了业务往来。到 2005 年年底,已接卸苯,醇,酮,酸,烃等 10 大类 90 多个品种的液化品和油品,累计完成液化品吞吐量超过 1700 多万吨(资料来自镇海港埠有限公司化工油品部),是我国最大的进口液化品中转港之一。特别是随着宁波市将港口作为城市发展的重要的基础设施,加大投入,加大吸引外资,形成临港工业带,港口对经济发展的促进作用更加突出。

宁波市化工区就坐落在离镇海港约 30 公里的地方,根据规划将有大批化工项目落户于化工区,这些项目的原料和产品大部分要经过港口以水路的方式进出。目前已有相当的化工、化纤企业将镇海港化工区作为其原料和产品的进出基地,因此镇海港化工区的安全问题不仅直接影响到化工区内仓储企业自身的安全,更直接影响以港口为依托的临港工业的发展。因此,需要通过对镇海港化工区进行综合危险性评价,找出安全生产方面的薄弱环节,制定相应的防范措施,对港区安全生产具有重要的现实意义。

1.2 论文研究的目的和意义

20 世纪 60 年代石油化工工业的发展及其石化原料和产品供需的地域不平衡性,散装液体化学品船舶运输业开始兴起。石化工业所创造的生产总值也呈现出逐年增长的态势。散装液态危险货物(油类、液态化学品、液化气体)以专用船散装运输因具有运量大、中间环节少、周转快;节省包装、灌桶、堆存、清洗、处理等费用;货物损失少、经济效益和社会效益显著等特点,成为地区之间石化原料运输的主要方式。散装液化品船舶运输首先在西方发达国家兴起,并呈快速发展的趋势。据估计,目前全世界海运危险货物已超过世界海运总量的一半以上,并且在危险货物运量不断增长的同时,危险货物的品种也呈增加的趋势,目前,常运的危险货物已达三千多种。而随着我国经济的快速发展,对化学品的需求日益增加,相对应的却是自身石化工业发展的滞后,大量的基础性化工原料以及大部分的精细化工品需要从国外进口,从而带动了国内散装液化品船舶运输以及码头接卸仓储行业的飞速发展。

在世界各国化学工业的发展过程中，曾发生一系列影响大、危害严重的事件。这些事件与有毒化学品的燃爆事故及突发泄漏密切相关。据《国内外危险化学品重特大典型事故案例》报道：到 1998 年的 20-25 年间，在 95 个国家所登记的化学事故中，发生过突发性泄漏的常见化学品按其物质形态分析：液体 47.8%，液化气 27.6%，气体 18.8%，固体 8.2%；从事故的来源看：运输 34.2%，碰撞事故 26.8%，人为因素 22.8%，外部因素(地震、雷击等)16.2%。从以上数据不难看出，液体化学品所导致事故比例是最大的。

散化具有易燃性、易爆性、毒性、污染性和反应性等多种危险性。我国散化运输和码头装卸呈现品种多、性质各异、船舶大型化、过境货多、拼装货多、新品种多和污染性升级等特点。而且我国的散化码头和储运公司多位于城市工业区、人口密集区、水陆交通繁忙区段或水源保护区。一旦由于不可抗力的作用、设备故障、操作者疏忽、船舶灾难等因素造成码头散化的泄漏，就可能引起易燃化学品的燃爆事故或散装有毒液体物质对陆域、大气、水域的污染事故。根据《欧共体指南》的定义，散化码头属于重大危险工业领域，需要进行风险控制，进行安全评价。

就镇海港液体化工码头具体来说，码头位置处于镇海城关的东北方向，离群众生活中心不过 4 公里左右，因此对码头的环境风险、火灾、爆炸事故等风险进行分析是很必要的。

1.3 文献综述

目前国内外对风险评价的理论和方法主要集中在以下一些方面：

1、对风险评价的分类和定义：风险评价也称危险度评价或安全评价。所谓安全评价，是以实现系统安全为目的，应用安全系统工程的原则和方法，对系统中存在的危险因素、有害因素进行辨识与分析，判断系统发生事故和职业危害的可能性及其严重程度，从而为制定防范措施和管理决策提供科学依据。安全评价包括安全预评价、安全验收评价、安全现状综合评价和专项安全评价^[1]。安全预评价是在项目建设前分析和预测该建设项目存在的危险、有害因素的种类和程度，提出合理可行的安全技术和安全管理的建议。安全预评价使建设项目的安全设计和工艺设计形成有机的结合，避免了项目投产后因为安全要求引起的返工和调整，从而提高了安全投资的效果。不至于建设完毕才发现有一些因素未考虑到而引起的返工。预评价改变了“先建设、后治理”的被动局面，使建设项目“三同时”（即环保设施与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用）的管理、监察工作沿着规范化、科学化方向深入开展。安全验收评价是在建设项目竣工、试生产运行正常后，通过对建设项目的设施、设备、

装置实际运行状况的检测、考察，查找建设项目投产后可能存在的危险、有害因素，提出合理可行的安全技术调整方案 and 安全管理对策。通过验收评价可以查出设计中的缺陷和不足，以利于企业及早采取改进和预防措施，提高生产项目的安全水平。安全现状综合评价是在系统生命周期内的生产运行期，通过对生产经营单位的生产设施、设备、装置实际运行状况及管理状况的调查、分析，根据国家有关的法律、法规规定或生产经营单位的要求进行的，运用安全系统工程的方法，进行危险、有害因素的识别及其危险度的评价，查找该系统生产运行中存在的事故隐患并判定其危害程度，提出合理可行的安全对策措施及建议，使系统在生产运行期内的安全风险控制在安全、合理的程度内。专项安全评价指对系统运转过程中的某一设备、某一部分或某一环节进行检测、测试、分析、实验等来确定其安全现状。通过专项安全评价，企业应该对本企业的安全、现状有一总体的把握。并把评价报告中提到的危险、有害因素纳入到操作规程、应急预案、安全管理制度的制定以及企业的日常安全管理当中去，尽量减少事故的发生，使企业在正常化的轨道上运行。

2、对安全事故致因原理的研究：工业革命后，人们在与各种工业伤害事故的斗争中积累经验，探索伤亡事故发生及预防规律，相继提出了许多阐明事故发生机理，以及如何防止事故发生的理论。这些理论被称为事故致因理论^[2]。最早出现的海因里希理论和事故频发理论，把大多数工业事故的责任都归因于工人的不注意等，表现出时代的局限性。二次大战后，随着科技的进步，新工艺、新能源、新材料及新产品的出现给人们生活带来巨大变化的同时，也带来了更多的危险，促使人们安全观念发生了变化。在安全工作中比较强调实现生产条件、机械设备的固有安全，使得对事故致因原理的研究更加全面。

3、识别、分析和消除危险方法的研究^[3]：识别、分析和消除危险方法的研究的发展最主要体现在安全系统工程学科的兴起，它是应用科学和工程的原理、规则和技术，来识别和消除危险或减少有关风险的专门知识和技能安全系统工程为实现系统安全，提供了识别、分析和消除危险的方法，提供了对系统安全进行评价的方法。系统安全工作包括危险源识别、系统安全分析、危险性评价及危险源控制等一系列内容。博德提出了反映现代安全观点的事故因果连锁论，用以阐明导致伤亡事故的各种原因因素间及与伤害间的关系^[4]。

4、对液化码头危险源项分析的研究^[5]：散化码头生产储运活动中重大火灾、爆炸、毒物泄漏事故的起因和影响不尽相同，但都有一个共同的特征：都是因失控的事件而引起，导致码头及周边区域人员伤亡，或是导致财产损失和环境的严重破坏，或者两者兼有。根据危险源理论，从导致散化码头发生事故和造成伤害的角度，可以把其危

险源划分为第I类危险源和第II类危险源两大类。第I类危险源是可能发生意外释放而伤害人员和破坏财产的能量、能量载体或有毒有害危险物质。第II类危险源是指导致第I类危险源失控及造成第I类危险源的屏蔽失效的各种作用于人员、物质和环境的因素，如硬件故障、人为失误因素等。辨识第I类危险源的原则是确定可能意外释放的能量、有毒有害物质量的多少、强度及作用范围。第II类危险源出现于第I类危险源的控制系统中，或出现于可影响第I类危险源的相关系统中。

5、具体评价方法的研究：道化法评价方法^[6]——道（DOW）化学公司于1962年首次提出使用火灾爆炸指数评价法作为一种安全评价方法，它是对化工工艺过程和生产装置的火灾、爆炸危险性进行评价并采取相应安全措施的一种方法，受到许多国家注意，此后几经修改，1989年已发展到第七版。道化学公司火灾及爆炸指数评价法是以物质系数为基础，另外加上对特定物质、一般工艺及特定工艺的危险修正系数，求出火灾爆炸指数，再根据指数的大小分成几个等级，按等级的要求及火灾爆炸危险的分组采取相应的措施。

蒙德法评价方法——1974年英国帝国化学公司蒙德部在对现有装置和设计建设中装置的危险性研究中，既肯定了道化学公司的火灾、爆炸危险指数评价法，又在定量评价基础上对其作了改进和扩充，扩充的内容主要有：加了毒性的概念和计算、发展了某些补偿系数、增加了几个特殊工程类型的危险性、能对较广范围内的工程及储存设备进行研究^{[7] [8]}。

1.4 本文主要研究内容和研究方法

本文针对镇海港化工区的实际情况，着重进行散化码头风险综合评价研究：

- (1). 分析宁波港镇海港区散化码头典型事故发生率。
- (2). 定性分析、定量计算化工码头区泄漏、扩散污染事故，客观地评价事故风险危害水平。
- (3). 对散化码头风险综合评价的可行性进行探讨。并对散化码头综合危险性进行评价。
- (4). 根据评价结果，提出相应的火灾、爆炸和毒物泄漏扩散事故预防对策与措施。

主要研究方法：应用安全系统工程理论对化工码头进行整体危险性分析，采用道化法评价火灾爆炸危险性、采用源强计算和高斯数学扩散模型进行泄漏毒性风险评价，运用层次分析法进行综合危险性评价。

第二章 镇海港液体化工码头危险性风险问题

2.1 散装液体危险化工品的危险性

散装液态危险货物具有燃烧性、腐蚀性、毒性、污染性和反应性等特性，并且数量大、品种多、性质各异。在运输过程中，任何一个环节出现问题，都可能造成船毁人亡及散装有毒液体物质对陆域、大气和水域的污染等恶性事故。

宁波港镇海港化工区储运的主要化工品的性质^[9]（选取作业量大、危险性、毒性大的品种）列于表 2-1 中。

表 2-1 主要作业化工品的理化特性

化学品名	闪点	爆炸极限 % (体积百分比)	健康危害
苯乙烯	34.4℃	1.1~6.1	毒性中等，可燃。在 400-500ppm(体积时)可觉察其气味，并对眼睛和呼吸系统有刺激作用，对中枢神经系统有抑制作用。在 10000ppm(体积)下停留 30-60 分钟，人可致命。
丙烯腈	-5℃	2.8~28.0	抑制呼吸酶，有头痛、乏力、恶心、呕吐、呼吸困难。在严重及死亡病例中表现为极度呼吸困难，意识丧失。
丁二烯	-78℃	1.4~16.3	具有麻醉刺激作用，中毒表现为头昏、头痛、恶心、乏力皮肤接触引起冻伤、灼伤，长期接触会出现头昏、头痛、记忆减退。
环氧丙烷	-37℃	2.8~37	可引起刺激作用。高浓度对粘膜、上呼吸道、眼睛、皮肤等组织有极强的损害作用。中毒症状有灼痛感、咳嗽、喘息、气短、头痛等。
甲醇	11℃	5.5~44.0	碰到身上会引起皮肤疼痛、变红，在高浓度下引起眼睛或呼吸道短时间疼痛，有麻醉作用，严重时导致失明。

续表2-1

丙酮	-20℃	2.5~13.0	危害性较小，在高浓度下，能引起呼吸道、眼睛短时间轻微疼痛。
对二甲苯	25℃	1.1~7.0	二甲苯对眼及上呼吸道粘膜有刺激作用，高浓度时对中枢神经系统有麻醉作用。短时间吸入较高浓度二甲苯可对眼及上呼吸道有明显的刺激作用、头晕、头痛、恶心、四肢无力、意识模糊，重症可有躁动、抽搐或昏迷。
甲苯	4℃	1.2~7.0	常温下是无色、易挥发液体，具有芳香味，但比苯柔和。甲苯的毒性类似苯，低浓度时表现为刺激作用，高浓度时表现为麻醉作用，但对造血系统的作用弱于苯。

2.2 液体化工码头的风险问题

据《国内外危险化学品重特大典型事故案例》^[14]报道，在95个国家所登记的化学事故中，发生过突发性泄漏的常见化学品按其物质形态分析见图2-1突发性泄漏事故物质形态比例，泄漏事故来源比例见图2-2。

—— 资料来源文献[14]

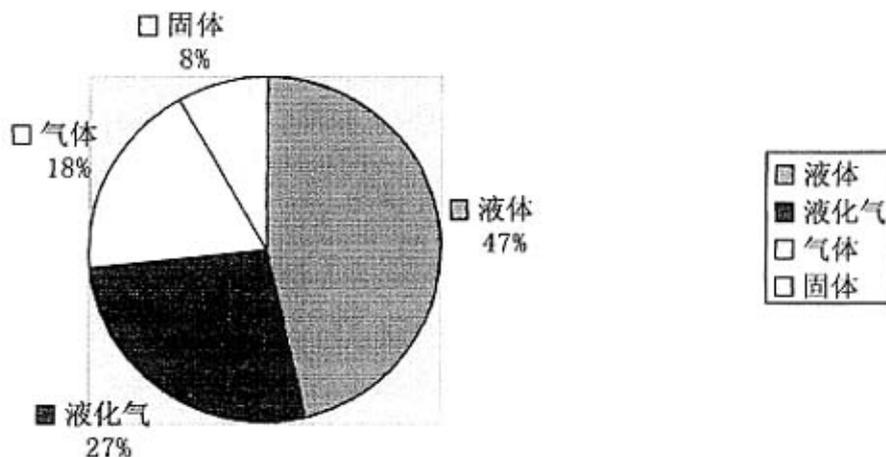


图2-1 突发性泄漏事故物质形态比例

突发性泄漏事故物质形态比例：液体47%，液化气27%，气体18%，固体8%；

—— 资料来源文献[14]

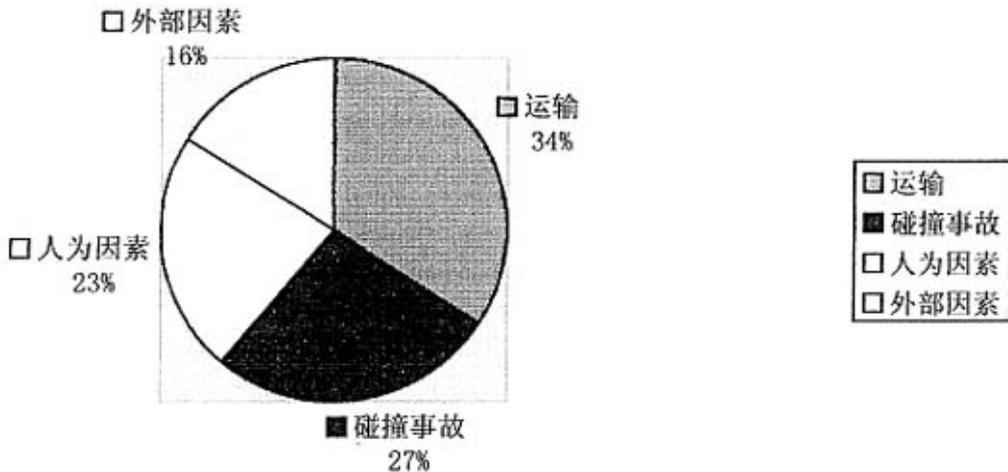


图2-2 泄漏事故来源比例

从事故的来源比例：运输34%，碰撞事故27%，人为因素23%，外部因素(地震、雷击等)16%。

从以上数据不难看出，液体危险货物所导致的事故比例是最大的。液体危险货物具有易燃性、易爆性、毒性、污染性和反应性等多种危险性，而有毒化学品的燃爆事故及突发泄漏又密切相关。液体危险货物码头的主要污染物^[10]包括：(1)散装有毒液体物质；(2)含有散装有毒液体物质的污水；(3)挥发性有机化合物蒸气。主要污染源有：(1)船舶事故，如碰撞、火灾、爆炸等造成大量液体化学品外泄。(2)装卸作批时的跑、冒、滴、漏，如溢舱，泵、阀门、法兰泄漏、软管破裂等造成的化学品污染。(3)船舶洗舱水，岸罐清洗水，泄漏物冲洗水等的排放。(4)船舱、岸罐因大小呼吸作用释放的有毒蒸气污染。(5)岸罐灌桶、灌槽车，储罐与储罐间化学品的转换，陆上槽车液货卸入储罐等液体化学品挥发排放。

近年来我国液体危险货物运输和码头装卸呈现品种多、性质各异、船舶大型化、过境货多、拼装货多、新品种多、安全和污染性升级等特点。散化码头内进行装卸、洗舱、罐桶等易于发生事故的操作频繁，而且港区内人员、设施设备、财产相对集中，事故危害后果严重。我国的散化码头和储运公司多位于城市工业区、人口密集区、水

上交通繁忙区段或水源保护区，因此，一旦由于不可抗力、设备故障、操作者疏忽、船舶灾难等因素造成码头散化的泄漏，就可能引起易燃化学品的燃爆事故或散装有毒液体物质对陆域、大气、水域的污染事故。

以镇海港化工码头为例，镇海港化工码头装卸液体化工品和油品的数量已经超过500万吨/年，装卸作业船舶超过2000艘次/年，作业货种在60种/年以上，出运汽车和火车槽车数量每年在10万辆左右，并呈进一步发展趋势，因此港区内装卸船舶、洗罐、灌桶、装卸车辆等作业量大。多年来我们一直将生产安全作为工作的重中之重，使得化工码头的生产一直在安全稳定的情况下发展，从码头投产至今的20年里尚未发生火灾爆炸和泄漏污染等事故，但是作业过程中人员疏忽、外来人员的影响以及部分设备方面的不完善所导致的不安全因素未能完全避免，化工区曾经还是出现过偶发性的事故苗子，给我们敲响警钟。

第三章 散化码头危险性风险评价方法

3.1 风险评价的必要性

《欧共体指南》^[11]指出:工业领域是在彼此相距50米以内,并同属于一个企业的全部装置,如果该领域内的化学危险物质超出了规定的限量,则该领域属于重大危险工业领域。散化码头储运的货种本身具有重大火灾、爆炸、毒物泄漏和污染等危险性,储运量一般都比较较大。按照该指南,散化码头属于重大危险工业领域,需要进行重大危险的控制,进行安全评价。散化码头储运作业的液体化学品数量大,若发生事故,将造成对人身健康、自然环境以及社会经济严重破坏。进入环境的有毒液体物质质量巨大,污染严重,而且有毒液体物质及其蒸气毒性和污染性普遍比石油大。进入水中的化学品行为复杂,清污困难。进入水域的化学品行为分为:可形成气体和蒸气云雾的物质、可在水中漂浮的物质、可在水中溶解和弥散的物质、可下沉的物质、能与空气或海水起反应的物质等5种。上述5种情况给清除污染带来困难,许多进入水中的化学品靠人为方法清除难以奏效,只能靠自然力逐步使之消失。

当前,经济与环境可持续协调发展战略已为人们所普遍接受。它是人们对于“先污染,后治理”发展道路进行反思的产物。协调发展以提出经济和环境目标为出发点,以实现这一双重目标作为考察经济发展质量的重要评价标准之一。近年来,许多发达国家将环境风险评价纳入环境管理的范畴,环境风险评价已成为建设项目环境影响评价的重要组成部分。

根据笔者实际调研及所搜集的有关资料来看,目前液体危险货物码头储运业在诸多方面存在着一些不足。如:在港口设施方面,部分港口使用油码头的设备或稍加改良后即从事散化储运作业,不符合散化储运设备的专门要求;在技术工艺方面,有的码头仍然使用落后的车船直取工艺开敞作业;在劳动保护方面,未给操作人员提供必要的防护设备;在环境保护方面,未采用环保技术或配备适当的环保设备;在管理方面,没有较为成熟的散化码头储运安全管理模式;在人员培训方面,有很多实际操作人员未接受过全面的安全与防污染的培训;在事故应急方面,事故应急措施、人员、设备等存在缺陷和实用性不足等问题。

散装液体危险货物码头(简称液货码头)属于重大危险工业领域,迫切需要建立以安全评价为基础、实现预防为主导的动态安全管理体系。目前国际尚未建立完整的散化码头安全评价体系,国内一般也仅限于工程建设项目的“三同时”。一个不安全的港口可能会将船舶卷入严重的事故;另一方面,一艘不安全的船舶可能会对港口的人命财产和环境造成严重威胁。由于液体危险货物的特殊危险性和特殊装卸形式,液货

码头安全更是显得尤为重要。液化码头是水陆运输的关键区域，是水路运输的交汇点。液化码头内进行装卸、洗舱等操作频繁，发生操作事故的可能性大，而且，港区范围内人员、设施设备、财产相对集中，事故危害后果严重。进行液化码头安全评价具有代表性，也最有现实意义。

3.2 散化码头风险综合评价机理

3.2.1 事故致因原理

安全工作的中心任务是防止伤亡事故和财产损失事故发生。工业革命后，人们在各种工业伤害事故的斗争中积累经验，探索伤亡事故发生及预防规律，相继提出了许多阐明事故发生机理，以及如何防止事故发生的理论。这些理论被称为事故致因理论。最早出现的海因里希理论和事故频发理论，把大多数工业事故的责任都归因于工人的不注意等，表现出时代的局限性。二次大战后，随着科技的进步，新工艺、新能源、新材料及新产品的出现给人们生活带来巨大变化的同时，也带来了更多的危险，促使人们安全观念发生了变化。在安全工作中比较强调实现生产条件、机械设备的固有安全。

能量意外释放论的出现是人们对伤亡事故发生的物理实质认识方面的一大飞跃。能量在生产过程中是不可缺少的，人类利用能量做功以实现生产的目的。如果由于某种原因能量失去了控制，超越了人们设置的约束或限制而意外地溢出或释放，则称发生了事故。如果失去控制的、意外释放的能量达及人体，并且能量的作用超过了人体的承受能力，则人体将受到伤害。吉布森和哈登从能量的观点出发，认为事故是一种不正常的，或不希望的能量释放。机械能、电能、热能、化学能、电离及声能等形式的能量，都可能导致人员伤害。其中前4种能量引起的伤害最为常见。当散化码头储运中发生火灾爆炸事故时，化学能可以转化为热能，如可燃物燃烧时释放出大量的热能。人体在热能作用下，可能遭受烧灼或发生烫伤。若有毒有害的化学物质使人员中毒，是化学能引起的典型伤害事故。根据能量意外释放论，防止伤害事故就是防止能量意外释放，防止人体接触能量。人们要经常注意生产过程中能量的流动、转换、以及不同形式能量的相互作用，防止发生能量的意外逸出或释放。本世纪50年代以后，科学技术进步的一个显著特征是设备、工艺及产品越来越复杂。战略武器研制、宇宙开发及核电站建设使作为现代科学技术标志的大规模复杂系统相继问世这些复杂的系统往往由数以千、万计的元素组成，元素之间以非常复杂的关系相连接，在被研制

或使用过程中往往涉及高能量，系统中微小差错就会导致灾难性的事故，大规模复杂系统安全性问题受到了人们的关注，于是，出现了系统安全理论和方法。

3.2.2 安全系统工程概念

安全系统工程^[12]是60年代发展起来的一门具有重要意义的学科，是应用科学和工程的原理、规则和技术，来识别和消除危险或减少有关风险的专门知识和技能。危险是安全系统工程中常用的一词，与我们常说的事故隐患有相同的含义。危险是指系统或某项操作中存在的一种潜在的状态或条件，此种状态一旦受到某种因素的刺激，就会变成一系列现实的损失事故。某种危险源造成人员伤害或物质损失的可能性称作危险性，它可以用危险度来衡量。安全可以定义成免除了可能对人类引起危害、不幸或死亡的条件，或者对设备及财产可能遭到破坏或损失的条件。安全是一个相对和主观的概念，它和危险不是绝对互不相容的，世界上不存在绝对安全的事物，任何人类活动都存在潜伏的危险因素，当危险降到某种程度时，人们就认为是安全的。安全系统工程为实现系统安全，提供了识别、分析和消除危险的方法，提供了对系统安全进行评价的方法。系统安全工作包括危险源识别、系统安全分析、危险性评价及危险源控制等一系列内容。博德提出了反映现代安全观点的事故因果连锁论，用以阐明导致伤亡事故的各种原因因素间及与伤害间的关系。事故因果连锁中一个最重要的因素是安全管理的工作要以得到广泛承认的企业管理原则为基础。安全管理人员应该充分理解，他控制是管理机能(计划、组织、指导、协调及控制)中的一种机能。安全管理中的控制是指损失控制，包括对人的不安全行为，物的不安全状态的控制。它是安全管理工作的核心。人的不安全行为或物的不安全状态是引起工业伤害事故的直接原因。一方面在生产技术进步的同时，生产装置、生产条件的不安全的问题越发引起人们的重视；另一方面是人们对人的因素研究的深入，能够正确地地区分人的不安全行为和物的不安全状态。反映这种认识的一种理论是轨迹交叉论。该理论认为，在事故发展过程中，人的因素的运动轨迹与物的因素的运动轨迹的交点，就是事故发生的时间和空间。即，人的不安全行为和物的不安全状态发生于同一时间、同一空间，或者说人的不安全行为与物的不安全状态相遇，则在此时间、空间发生事故。在事故原因的统计分析中，伤亡事故的直接原因—人的不安全行为和物的不安全状态，以及其背后的深层原因—管理失误。

3.3 评价方法的选择

3.3.1 道化法

道化学公司于1962年首次提出使用火灾爆炸指数评价法作为一种安全评价方法，它是对化工工艺过程和生产装置的火灾、爆炸危险性进行评价并采取相应安全措施的一种方法，受到许多国家注意，此后几经修改，1989年已发展到第七版^[13]。道化学公司火灾及爆炸指数评价法是以物质系数为基础，另外加上对特定物质、一般工艺及特定工艺的危险修正系数，求出火灾爆炸指数，再根据指数的大小分成几个等级，按等级的要求及火灾爆炸危险的分组采取相应的措施。

1、物质系数MF

物质系数是计算火灾、爆炸指数和进行事故损失评价的一个基本数据，它表示物质在由燃烧或其他化学反应引发的火灾爆炸事故中所释放能量大小的内在特征。宁波港镇海港液化码头所装卸的危险货物有：丙烯腈、苯乙烯、甲醇、丙酮。对于这种情况，宜选择火灾、爆炸及毒性危险性较大的重点货种为代表物质，这里选择丙烯腈为重点物质，它的MF为24

2、一般工艺危险系数F1

一般工艺危险是指那些在事故损失中的基本影响因素，一般工艺危险系数为基本系数与所有选取系数之和。

3、特殊工艺危险系数F2

特殊工艺危险是影响事故发生概率的基本因素。特殊工艺危险系数等于基本系数与各项系数之和。

4、单元工艺危险系数F3

单元工艺危险系数是一般工艺危险系数和特殊工艺危险系数的乘积。

5、火灾、爆炸指数F&E1

该指数被用来估计生产过程中事故可能造成的破坏。该指数为单元工艺危险系数和物质系数的乘积。

6、单元破坏系数DF

确定单元破坏系数DF是由单元工艺危险系数和物质系数MF确定的，该系数代表了单元中危险货物泄漏或反应能量释放所引起的火灾、爆炸事故的综合效应，即破坏程度。

7、影响半径

影响半径代表了影响区域的大小，在这个区域的设施、设备会在火灾爆炸事故中遭受破坏。火灾爆炸事故视为全方位扩散的立体圆柱形破坏。产生的影响是同心圆柱形的破坏，当然还取决于设备的位置、风向、安全防护措施等因素。

8、计算影响区域内的财产价值

影响区域内的财产价值表示火灾爆炸事故发生时，影响区域内可能遭受破坏的全部设备、设施的财产价值，还应包括影响区域内易损失的产品或物料的价值。对于虽在影响区域内，但不会遭受损失或事故后无需更换的部分设备、设施，如场地、道路、地下管线、地基等的价值不计算在内。

9、计算最大可能财产损失(基本MPPD)

各单元最大可能财产损失为影响区域内的财产价值与该单元破坏系数的乘积。

10、确定安全补偿系数C

液化码头各工艺环节、各作业场所一般都要采取相应的安全措施，这在一定程度上降低了火灾爆炸事故发生的频率，也减轻了事故的危害。安全措施可以分为三类：工艺控制(C1)、物质隔离(C2)、防火设施(C3)。安全补偿系数C为三者的乘积。安全补偿系数越小，说明降低火灾爆炸事故危险的作用越明显。

11、计算实际最大可能财产损失(实际MPPD)

基本最大可能财产损失与补偿系数的乘积即为实际最大可能财产损失。它表示在采取适当的安全措施后事故可能造成的最大损失。

12、确定最大可能工作日损失(MPDO)

确定最大可能工作日损失是评价停产损失必须经过的一个步骤。由于事故或灾害造成停产，其停产天数由设备系统破坏程度及恢复时间决定。

13、估算停产损失(BI)

罐区的停产损失主要是停产期间损失的存储费。码头等单元的停产损失由两部分组成：一是码头停产期间的装卸费损失；二是船舶停止营运后减少的运费收入。前者因为码头在事故后能较快的恢复生产，因此对于装卸费减少量不必过多考虑。后者缺乏数据，较难估算。鉴于此，本文不对码头等单元的停产损失进行计算。

3.3.2 蒙德法评价方法

1974年英国帝国化学公司蒙德部门在对现有装置和设计建设中装置的危险性研究中，既肯定了道化学公司的火灾、爆炸危险指数评价法，又在其定量评价基础上对其作了改进和扩充，扩充的内容主要有：

- 1、加了毒性的概念和计算
- 2、发展了某些补偿系数
- 3、增加了几个特殊工程类型的危险性
- 4、能对较广范围内的工程及储存设备进行研究。

该法首先将评价系统划分为单元，选择有代表性的单元进行评价。评价过程分为两个阶段进行，一是初期危险度评价，二是最终危险度评价。

1、初期危险度评价

初期危险度评价是不考虑任何安全措施，评价单元潜在危险性的大小。评价的项目包括：确定物质系数(B)、特殊物质的危险性(M)、一般工艺危险性(P)、特殊工艺危险性(S)、数量的危险性(Q)、布置上的危险性(L)、毒性危险性(T)。

2、最终危险度评价

此外，还有一些其他的方法，比如安全检查表法、安全六阶段法等，但是纵观这些评价方法，大多数对于人为因素、安全管理体系、环境因素等的综合考虑不足。

道化法和蒙德法均属于定量评价方法，比较适用化工工厂等这类系统比较复杂，用概率难以表述各类因素危险性的一个可行的方法。指数的采用避免了事故概率及后果难以确定的困难。这类方法均以系统中危险物质和工艺为评价对象，评价指数值同时考虑事故频率和事故后果两个方面的因素。不过由于指标值的确定只和指标的设置与否有关，而与指标因素的客观状态存在水平无关。致使危险物质的种类、含量、空间布置相似，从而使得这类方法的灵活性和敏感性有所欠缺。

道化法已有20多年的历史，是目前世界上最有影响的化工生产风险评价方法之一。道化法利用工艺过程中的物质、设备、数量等数据逐步推算，求出其火灾爆炸的潜在危险，评价过程中所使用的数据源自物质的潜在能量、以往的事故统计、以及现行防灾措施的经验数据。考虑影响因素比较全面，如物质闪点、沸点及危险物质成分等均涉及到。本文主要研究镇海港化工码头内的丙烯腈储罐及相应的卸船和装车系统，货物性质特殊，各系统过程危险系数考虑因素多，因此用道化法比用蒙德法更为完备。

第四章 镇海港液体化工码头火灾爆炸危险性分析

4.1 火灾爆炸危险性评价

4.1.1 散化码头储运货物的普遍特性^[15]:

1、易燃性

根据《建筑设计防火规范》中“储存物品的火灾危险性分类”标准,闪点低于28℃的液体为甲类危险物品,闪点于28℃和60℃之间的液体为乙类危险物品。按照其划分标准,绝大部分散化物种都具有较高的火灾危险性。甲类、乙类危险物品(如苯、丙烯晴)闪点低,挥发性强,在空气中只要有很小的点燃能量,就会闪光燃烧。表4-1给出几种可燃气体与空气混合物的最小点燃能量^[16]。

表4-1 最小点燃能量

—— 资料来自文献[16]

名称	丙烯晴	丙酮	甲醇	甲苯	苯
最小点燃能量 mj	0.16	1.15	0.215	2.5	0.2

2、易爆性

液化烃、可燃液体挥发出来蒸气与空气混合,浓度处于爆炸极限范围时,遇到一定能量的着火源,容易发生爆炸。爆炸极限范围越宽,爆炸下限越低,爆炸危险性就越大。在液化烃、可燃液体的储运过程中,燃烧和爆炸经常同时出现,相互转化。由于液化烃、可燃液体蒸气具有易燃、易爆特性,因此在储运中,应防止可燃性蒸气的聚积,尽可能将其浓度控制在下限以下,防止火灾、爆炸事故发生。

3、较大蒸气压

甲类、乙类可燃液体大都是些蒸气压较大的液体,它易产生能引起燃烧所需要的最低限度的蒸气量,蒸气压越大,其危险性也越大。温度对蒸气压的大小影响很大,温度升高,其蒸气压迅速增大。所以盛装可燃液体的容器,如储罐、槽车、桶及管路等,应有足够的强度,以防止容器涨裂,同时,还应远离热源、火源。

4、易积聚静电荷性

据资料介绍,电阻率在 10^{10} — 10^{15} Ω·cm范围内的液体容易产生和积聚静电,且不易消散。苯、甲苯、氯仿、苯胺、柴油等均有可能产生静电作用。在化学品储运、装卸过程中,静电的产生和积聚量大小与管道内壁粗糙度、流速、运送距离、设备的导电性有关。

5、易扩散、流淌性

液体化工品的粘度一般较小，容易流淌扩散。同时，由于其渗透、浸润和毛细管引力等作用，而扩大其表面积，使蒸发速度加快，并向四周迅速扩散，与空气混合，遇有火源极易发生燃烧爆炸。另一方面，可能造成水、土地及大气环境的污染，危害人体健康。液体化工品的蒸气一般比空气重，容易滞留在地表、水沟、下水道及凹洼等低洼处，并且贴着地面流向远处，往往在预想不到的地方遇火而引起火灾或爆炸事故。同时，增大了地面人员油气中毒的危险性。因此，在储运设施的建设、修理、清洗和装卸作业中，要有安全距离并考虑风向的影响。

6. 受热膨胀性、易沸溢性、忌接触氧化剂、强酸等。

4.1.2 储运设施存储量计算

本次评价分别对卸船（码头前沿）、储罐区、装车区进行分析，根据道化法评价要求，需要进行评价区域货物的危险系数Y，而Y的确定以评价区域内总能量值（存储物料量乘以燃烧热）查图确定危险系数Y。因此需分别确定各评价区域内的储存量。

散化码头区储运设施以储罐区为主，相关设施有火车栈台及火车槽车、汽车装车站及汽车槽车、灌桶间、以及码头前沿停靠作业的油轮、化工品船舶等。

镇海港化工区单只储罐容积一般在250-25000m³，存储量在200—20000吨之间。目前化工区内共有液化品储罐155座，罐容44.6万m³，油品储罐27座，罐容11.76万m³，全部储罐容积为56.36万 m³，存储量高峰时可达30万吨。表4-2为镇海港化工区内各仓储公司储罐情况。

表4-2 各仓储公司储罐情况介绍

——资料来源 镇海港埠有限公司化工油品部

公司名称	储罐数量	罐容(立方米)	公司名称	储罐数量	罐容(立方米)
华宁	14	28250	新翔(原海翔)	4	16000
海云	3	5600	宁翔	8	13000
中化建	7	20000	宁兴	13	26300
金海菱	11	19750	孚宝	38	65100
港贸	2	8000	中燃	13	47250
越洋	10	18000	舜龙	3	14700
镇海港埠有限公司	8	16000	中石化镇海油库	11	190000

丙烯腈储罐区的罐容为2座4000立方米的碳钢储罐，充装系数在0.79左右，可存储丙烯腈数量为 $6.2 \times 10^6 \text{Kg}$ 。

丙烯腈汽车装车区为不采用高位槽的直接装车方式，汽车槽车容积25 立方米，装车区同时可以装两辆汽车，装车区丙烯腈数量为 $4.0 \times 10^4 \text{Kg}$ 。

码头前沿装卸区各泊位停靠的船舶吨位不尽相同，在估算码头前沿作业状态下危险货种最大存储量时，以各泊位设计船型为准。表4-3列出了镇海港各化工泊位情况。

表 4-3 镇海港化工区泊位情况

——资料来源 镇海港埠有限公司工程技术部

泊位名称	泊位长度 (M)	前沿水深 (M)	泊位等级 (T)	用途
12#	50	-5.5	1000	化工
13#	48	-7	3000	化工
14#	50	-7	5000	化工、油品
14-2#	40	-6.5	1500	油品
15#	40	-6	3000	油品
16-1#	190	-9	10000	化工、油品
16-2#	40	-6.5	2000	化工
17#	350	-14	50000	化工、油品
18#	350	-14	50000	化工、油品

本评价目标是以装卸丙烯腈的泊位为对象，即14#泊位，考虑到卸船时是动态的，即一旦发生紧急情况船舶可以离开泊位，根据道化法在计算物质数量时以“最大可能泄漏量”为准，即来不及关闭有关阀门而泄漏出来的货物，数量为船岸连接软管及岸管内部分货物，大致计算为 $4.2 \times 10^4 \text{Kg}$ 。

4.1.3 火灾爆炸起因分析

1、燃烧、爆炸的必要条件

燃烧、爆炸必须具备以下三个条件：

- (1) 要有可燃物质，化工码头区大部分货种为可燃物质；
- (2) 要有助燃物质，空气即为助燃物质；
- (3) 要有着火源，着火源有电火花、静电火花、高温表面、热辐射、明火、自然着火、

冲击、摩擦、绝热压缩及雷击等。

对化工码头区来说，当可燃气体浓度(与空气混合物)处于燃烧极限或爆炸极限以内，又存在超过最小点燃能量的着火源时，便会发生火灾或爆炸事故。

2、散化码头火灾爆炸起因分析

有关部门收集了我国建国以来，在成品油储运和石油化工生产储运方面比较典型，损失较大的火灾爆炸事故459起^[17]。导致这些火灾爆炸的起因比例关系见图4-1。散化码头装卸、储运生产同成品油储运及石油化工生产中的储运生产有较大的相似之处，导致化工码头区火灾爆炸事故的起因大致符合上述规则

——资料 来源文献[17]

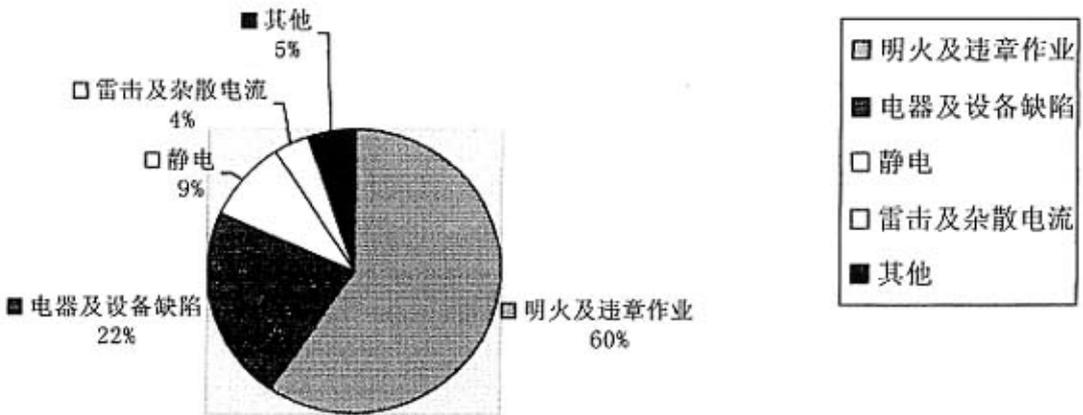


图4-1 石油化工生产储运火灾爆炸起因比例图

- (1) 明火和违章作业273起占60%
- (2) 电气及设备缺陷或故障103起占22%
- (3) 静电42起占9%
- (4) 雷击及杂散电流17起占4%
- (5) 其他24起占5%

上述比例关系说明：明火、违章作业和电气及设备缺陷或故障是导致火灾爆炸事故的主要原因，静电的危害也比较明显。

事故树是一种演绎地表示事故发生原因及其逻辑关系的逻辑树图，上下层故障事件是结果原因关系。对散化码头火灾爆炸进行事故树分析如图4-2。

— 资料来源文献[17]

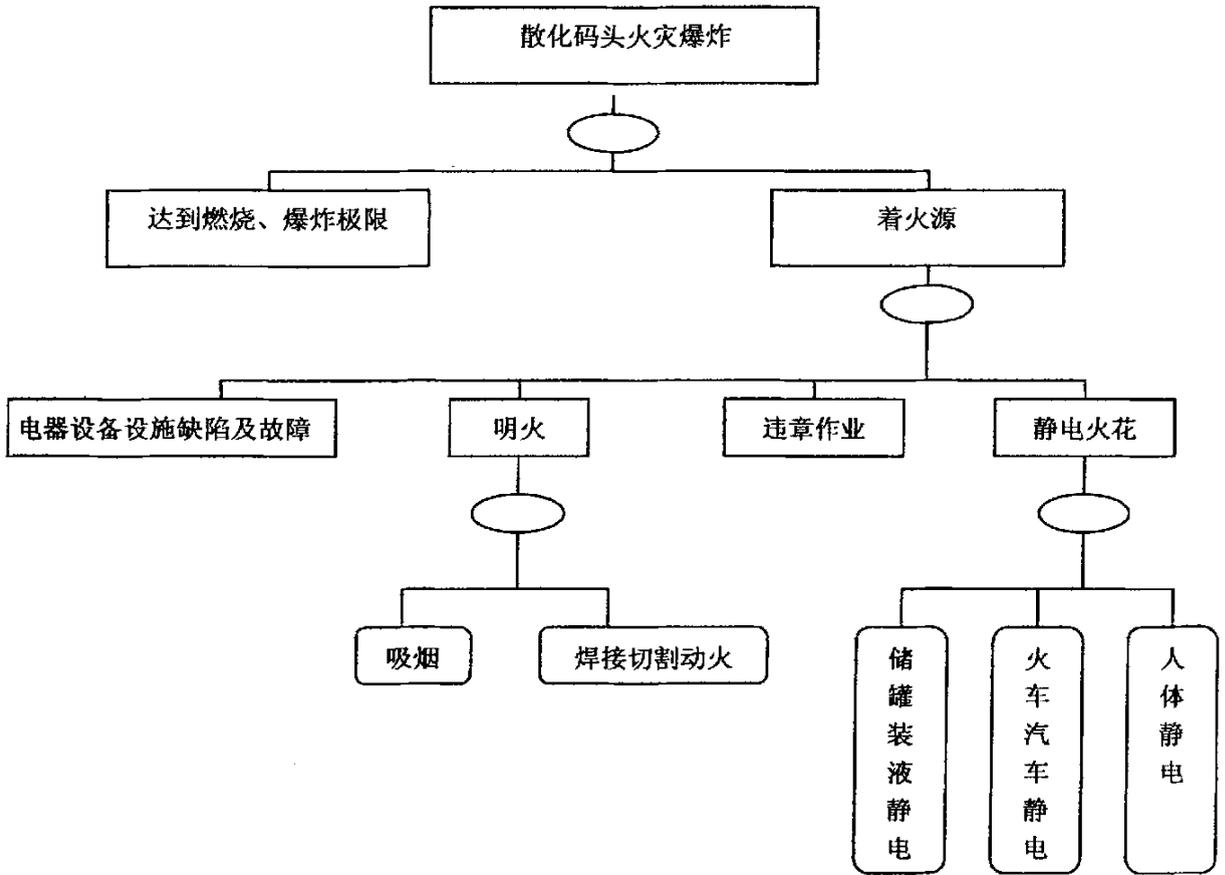


图4-2散化码头火灾爆炸事故树分析

有上图事故树分析可以看出，码头引起爆炸事故的着火源有电器设备缺陷和故障、吸烟、焊接切割动火、违章作业、储罐、火车汽车作业时人体的静电，一旦这些着火源遇到已经达到燃烧和爆炸极限的可燃气体和液体，就会发生火灾爆炸事故。根据上面的分析，因为液化码头储罐发生的火灾爆炸事故的原因与成品油和石油化工储运有极大的相似之处，所以液体化工码头的火灾爆炸各种事故因素分析就可以用石油化工生产储运火灾爆炸起因比例进行分析。

4.1.4 火灾爆炸事故发生频率预测

新加坡通过对OPITSC(石油和石油化学工业技术和安全委员会，它包括12家地区性或跨国公司)的所有成员的常压储罐火灾事故的调查^[16]，得到火灾频率为：

拱顶罐= 1.8×10^{-4} 每年;

浮顶罐= 5.6×10^{-3} 每年

边缘密封火灾= 4.9×10^{-3} 每年;

全表面火灾= 0.7×10^{-3} 每年

一般来说,全表面火灾并不意味着边缘密封火灾的升级,尽管这是可能的。全表面火灾主要是由于塌顶或油品冒顶而发生的。就边缘密封火灾而言,救火成功率很高。国内1982年2月的调查材料表明,交通部、商业部、石油部三个部系统的油品储罐年着火频率平均为 4.48×10^{-3} 。

化工码头区的储罐以拱顶罐为主,另外也有不少浮顶罐,储运货种以液体化学品为主,以及部分成品油,如柴油、汽油、燃料油等。参照国内外油品储罐火灾频率值,同时考虑到有些液体化工品特殊危险性,化工码头区储罐的火灾危险指数一般高于原油、成品油储罐区。

化工码头区的装卸、储运生产同成品油储运及石油化工行业的储运生产有较大的相似之处。通过考察成品油及石化行业储运生产中火灾爆炸事故的发生频率,有助于说明化工码头区储运生产中火灾爆炸事故发生的可能性大小。有关部门分析了我国建国以来,在成品油储运及石化行业储运方面各类比较典型、损失较大的事故1000多例^[19],其中582例成品油储运事故中,各类事故的比例关系见图4-3成品油储运事故比例关系

——资料来源文献[19]

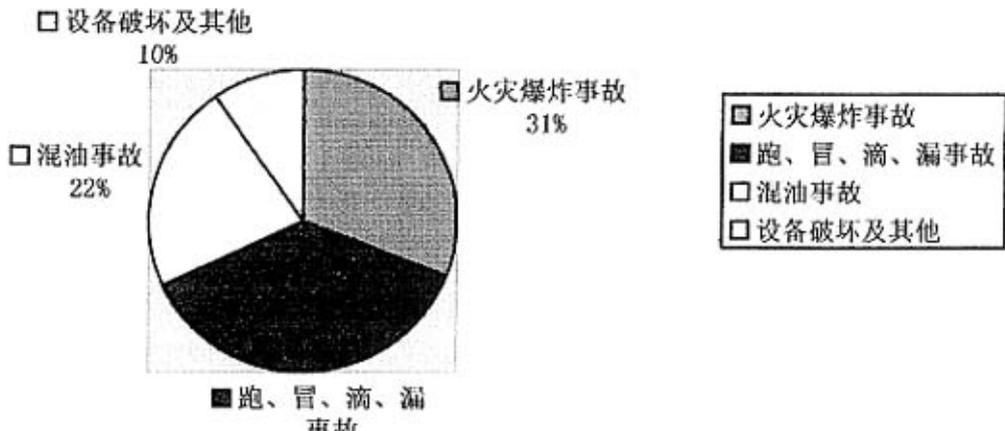


图4-3成品油储运事故比例关系

- (1) 火灾爆炸事故179例占31%
- (2) 跑、冒、漏事故218例占37%
- (3) 混油事故128例占22%
- (4) 设备破坏及其它57例占10%

在981例石油化工行业的储运方面的事故中各事故原因比例关系见图4-4

——资料来源文献[19]

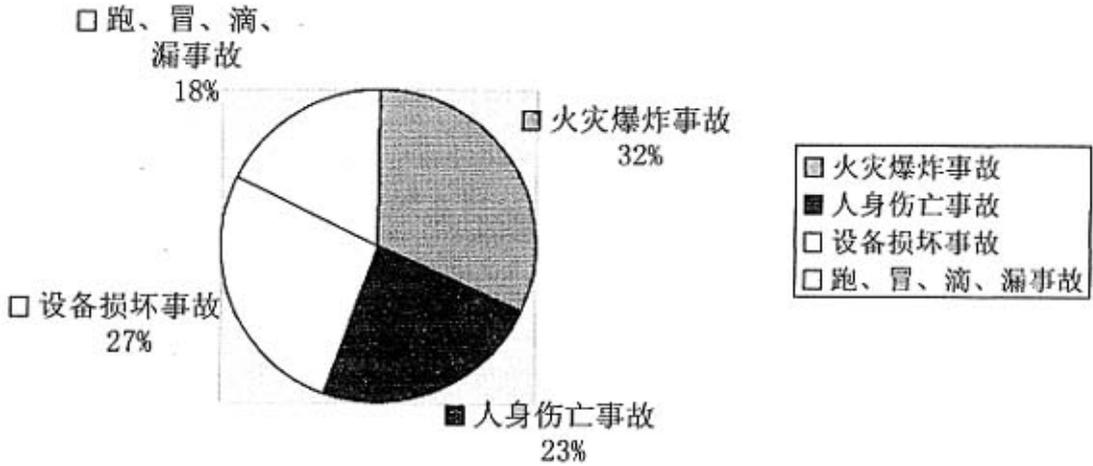


图4-4 石油化工行业储运事故比例关系图

- (1) 火灾爆炸事故280例占32%
- (2) 人身伤亡事故204例占23%
- (3) 设备损坏事故235例占27%
- (4) 跑、冒、漏事故154例占18%

从以上统计数据可以看出，火灾爆炸事故显著，发生频率较高。另据有关资料¹⁹介绍，国内石化系统的储罐火灾爆炸事故中大部分发生在储存甲、乙类危险物质的储罐。国内储罐20起典型事故中甲、乙类危险物质为18起占90%，化工码头装卸、储运的大部分货种为甲、乙类危险物质，故可以认为发生火灾、爆炸事故的可能性较大。

4.1.5 火灾爆炸事故危险性定量评价^[20]

美国道化公司提出的火灾爆炸指数评估法已有20多年的历史，是目前世界上最有影响的化工生产风险评价方法之一。道氏火灾爆炸指数评估法利用工艺过程中的物质、设备、数量等数据逐步推算，求出其火灾爆炸的潜在危险，评价过程中所使用的数据源自物质的潜在能量、以往的事故统计、以及现行防灾措施的经验数据。考虑影响因素比较全面，如物质闪点、沸点及危险物质成分等均涉及到。

散化码头风险评价可借鉴其他领域的评价方法并根据散化码头特点加以改进。散化码头除了没有化学反应工艺过程之外，在设施设备、流程、建筑布局等方面与石油化工企业有很大相似，本章根据散化码头特点结合道氏法原则提出散化码头火灾爆炸危险评价方法。但该方法在某些分类及取值上尚有待斟酌。图4-5为采用道化法对宁

波镇海散化码头火灾爆炸风险评价程序。

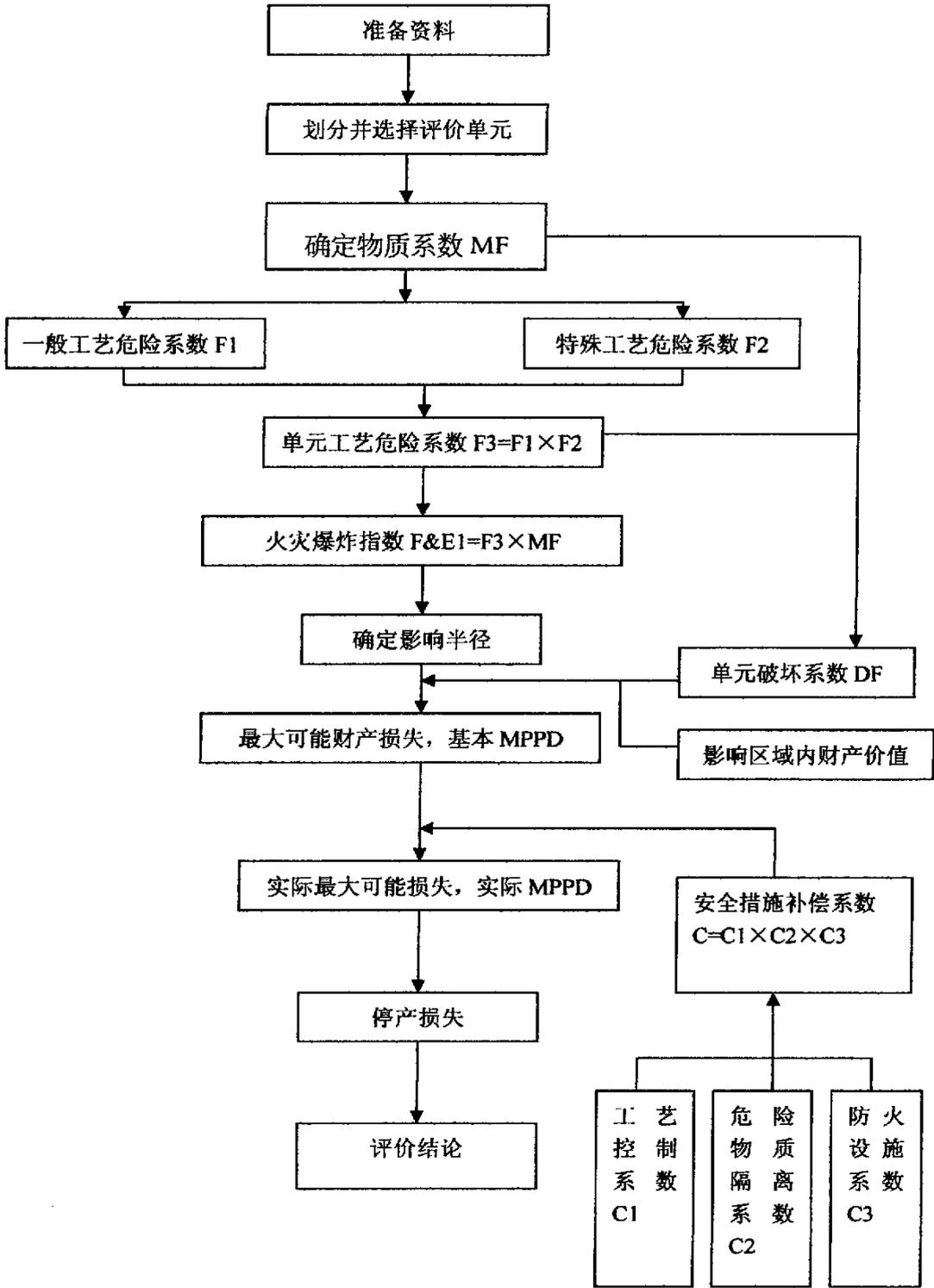


图4—5 道化法散化码头火灾爆炸风险评价程序

4.2 评价过程

4.2.1 选择评价单元

镇海港化工区内有多个相对独立的工艺系统组成，每个系统可以视为一个单元，在评价化工区火灾爆炸事故后果时，首先选择那些对化工区内装卸、储运生产影响较大的单元，以便分别展开评价。单元的划分依据工艺特点自然划分，关键设施（如船舶、码头、储罐、汽车装车站等）是划分单元的重要依据。本位以镇海港化工区最为典型的丙烯腈作业为评价对象，因为丙烯腈是目前镇海港化工区作业品种中毒性最大，且易燃易爆，是化工区内的安全监护的重中之重，对丙烯腈储罐的危险性分析，制定相应控制措施有助于化工区域内其他作业场所的安全管理，因此很有代表性。根据丙烯腈装卸、储存作业的实际情况，把评价单元分成三个：码头前沿接卸区、储罐区、汽车装车区。

4.2.2 确定物质系数

物质系数用MF表示，物质系数是计算火灾爆炸指数和进行事故损失评价的一个基本数据，它表示物质在燃烧或其他化学反映引起的火灾、爆炸中所释放能量大小的内在特性。本文以丙烯腈作为评价对象，查资料^[21]得其MF值为24。

4.2.3 计算工艺单元危险系数(F_3)

工艺单元危险系数(F_3)包括一般工艺危险系数(F_1)和特殊工艺危险系数(F_2)，计算工艺单元危险系数(F_3)中各项系数时，应选择物质在工艺单元中所处的最危险的状态，计算R&EI时，一次只评价一种危险，只有导致最高的R&EI和实际的可能的最大财产损失的计算结果才需要报告。

1、确定一般工艺危险系数 F_1

一般工艺危险系数指那些在事故中的基本影响因素，一般工艺危险系数 F_1 为基本系数与所有选取系数之和，表4-4给出各单元的有关内容所对应的危险性系数，各单元的 F_1 值均列表与表4-4中。根据道化法 F_1 的基础系数为1.0

- 1) 处理与输送是散化码头的主要生产活动，操作频繁，是散化码头火灾爆炸事故的主要环节之一，因此是评价的重要内容。丙烯腈储罐有很频繁的进出物料，所以取系数0.5。一一列于表4-4中。
- 2) 没有足够的排放和泄漏控制设备是液体泄漏之后造成损失的重要因素，本项系数适用于闪点低于60℃或操作温度高于闪点的液体（丙烯腈闪点为-5℃），设有

防止液体流到其他区域的堤坝,但所有设备暴露于堤坝之内,选取危险系数0.5;单元周围有允许流体四处扩散的平地,一旦着火蔓延大片区域,选取危险系数0.5;设有维护的堤坝,使泄漏单元和液池或非暴露地沟满足排放和泄漏控制的最低要求(单元内最大容器液体容量的10%以及30分钟消防水流量之和)不满足这些要求的,选取危险系数0.5。根据镇海港区的实际情况,码头前沿装卸区四周为海面,改项系数为0;储罐区有维护的堤坝,且泄漏单元能满足排放和泄漏控制要求,选取该项系数选取0;汽车装车区没有堤坝,一旦着火将蔓延大片区域,所以选取系数为0.5。

各区域内所有项目之和即为过程危险系数F1——列于表4-4中。

2、确定特殊工艺危险系数F2

特殊工艺危险系数是影响事故发生概率的基本因素,特殊工艺危险系数F2等于基本系数与各项系数之和,列于表4-4中,基本系数为1.0。

- 1) 散化码头的货种大多数具有毒性,毒性物质的存在增加了应急救援人员的困难,削弱他们消除和减轻事故损失的能力。毒性物质的危险系数为 $0.2 \times N_H$ 。 N_H 是美国消防协会在NFPA704中定义的物质毒性系数,经查资料^[40]丙烯腈的NH值为4,故毒性物质系数为0.8——列于表4-4中。
- 2) 散化码头一些操作过程中,一般均为正压,所以本项数值为0——列于表4-4中。
- 3) 操作压力大于常压,导致更快泄漏,泄漏速度受压力影响很大,压力与危险系数的关系如下:

$$Y = 0.16109 + 1.61503 \times X/6895 - 1.42879 \times (X/6895)^2 + 0.5172 \times (X/6895)^2$$

Y表示危险系数, X表示操作压力(KPa)也根据操作压力查表^[40]得Y。

丙烯腈装卸船舶和汽车时压力不超过400KPa,根据公式计算得释放压力系数0.21——列于表4-4中。

- 4) 存储单元内液体危险系数计算方法:闪点低于37.8℃得液体危险系数为:

$$\text{Log}(Y) = -0.0403115 + 0.378703 \times \text{Log}(X) - 0.046402 \times \text{Log}(X)^2 - 0.015379 \times \text{Log}(X)^3$$

式中:Y表示危险系数;X表示以英制单位表示的热量(BTU) $1\text{Btu} = 1.055 \times 10^3\text{J}$ 。根据道化法计算方法,分为工艺过程危险系数和存储单元危险系数,装卸船作业和装车作业适用工艺过程危险系数计算,储罐区适用存储单元危险系数计算,根据丙烯腈的燃烧热为: $31.9 \times 10^6\text{J/kg}$,以及4.1.2中计算得储运设施存储当量,分别计算并查道化法计算表[13]得Y值——列于表4-4中。

- 5) 尽管良好的设计已经考虑了腐蚀得余量,腐蚀引起得事故仍然时有发生。因此,

指南规定：腐蚀速率低于0.127/年，危险系数为0.10；根据镇海港化工区丙烯腈储罐的实际情况，由于码头前沿区直接临海，容易受到海水的影响，而在储罐区和汽车装车区由于定期进行防腐处理，腐蚀相对较缓，所以分别取系数0.2、0.1、0.1——列于表4-4中。

- 6) 丙烯腈储罐区以及码头前沿和装车区管线连接的垫片、连接处的密封，轴承的填料可能发生易燃、可燃物质的泄漏，承受压力、温度的周期变化使得泄漏的可能性提高，选择危险系数0.10。
- 7) 明火设备的存在提高了火灾爆炸发生的可能性，该系数的选取主要与明火设备的空气吸入口和可能泄漏处的距离有关。丙烯腈储罐区没有明火设备，取系数为0。

计算特殊工艺危险系数F2，填入表4-4中。

单元工艺危险系数是一般工艺危险系数F1和特殊工艺危险系数F2的乘积，即 $F3=F1 \times F2$ ，各单元的F3值列于表4-4中。

4.2.4 计算火灾、爆炸指数(F&E1)

计算火灾、爆炸指数指用来估计生产过程中事故可能造成的破坏。该指数是单元工艺危险系数F3和物质系数MF的乘积，即 $F&E1=F3 \times MF$ 。各单元的(F&E1)值也列在表4-4中。

表4-4 各单元危险性系数及火灾、爆炸指数计算

项目	评价单元		
	码头前沿接卸区	储罐区	汽车装车区
选取重要物质	丙烯腈	丙烯腈	丙烯腈
物质系数MF	24	24	24
1 一般工艺危险系数F1			
基本系数	1.0	1.0	1.0
A 放热反应	/	/	/
B 吸热反应	/	/	/
C 物料输送与处理	0.5	0.5	0.5
D 封闭式结构	/	/	/
E 通道	/	/	/
F 排放与泄漏	/	/	0.5
一般工艺危险系数F1 (上述之和)	1.5	1.5	2.0
2 特殊工艺危险系数F2			
基本系数	1.0	1.0	1.0
A 毒性物质	0.8	0.8	0.8
B 负压	/	/	/
C 燃烧范围内及附近操作	/	/	/
D 粉尘爆炸	/	/	/
E 压力——释放压力	0.21	0.21	0.21
F 低温	/	/	/
G 可燃和不稳定物质重量Kg	4.2×10^4	6.2×10^6	4.0×10^4
燃烧热 英热单位/磅	13.7	13.7	13.7
危险系数Y	1.6	1.1	1.6
H 腐蚀	0.2	0.1	0.1
I 泄漏、接头和填料	0.1	0.1	0.1
J 使用明火设备	/	/	/

续表4-4各单元危险性系数及火灾、爆炸指数计算

K 热油变化系统	/	/	/
L 转动设备	/	/	/
特殊工艺系数F2 (上述之和)	3.91	3.31	3.81
单元工艺危险系数F3 (F1*F2)	5.87	4.97	7.62
火灾爆炸指数(F&E1) F3*MF	140.88	119.28	182.88

F&E1数值的大小表示了该单元危险程度,表4-5 给出了评价各单元的火灾爆炸指数危险程度标准。

表4-5 (F&E1) 危险等级

—— 资料来源 道化评价法

F&E1	危险等级
1-60	最轻
60-96	较轻
97-127	中等
128-158	很大
>159	非常大

4.2.5 确定单元破坏系数 (DF)

确定单元破坏系数DF是由单元工艺危险系数(F3)和物质系数(MF)确定的,系数代表了单元中燃料泄漏或反应能量释放所引起的火灾、爆炸事故的综合效应,即破坏程度。丙烯腈的物质系数为24,各单元的工艺危险系数F3由表4-4计算所得,查道化法评价表可得各单元得破坏系数,列于表4-7中。

4.2.6 确定影响半径

影响半径代表了影响区域的大小,在这个区域内的设施、设备会在火灾、爆炸事故中遭受破坏。火灾爆炸事故是为视为全方位扩散的立体圆柱形破坏。影响半径 $M(F&E1 \times 0.84 \times 0.3048)$,由丙烯腈各单元的F&E1值(表4-4计算所得)计算各单元的半径,列于表4-7中。

4.2.7 计算影响区域内的财产价值

影响区域内的财产价值表示发生火灾爆炸事故时，影响区域内可能遭受破坏的全部设备、设施的财产价值，还包括影响区域内易损失的产品或物料的价值(以储罐满载时计算)。尽管火灾和爆炸的实际损失由于受到建筑布局、设备位置、风向等因素影响而不会在各方面的损害相同，假定事故影响区域为圆柱形仍然有一定的参考意义，也是估算财产损失的基础。用F&E 1表示暴露区域半径，对于小型设备暴露区域圆心可以取设备中心，大型设备事故的圆心为设备的外缘，对于通风口，膨胀接头、装卸管线接头等特殊情况，事故中心为可能泄漏点。确定暴露区域应考虑防火和防爆墙的存在。影响区域内的财产价值包括发生火灾爆炸事故时其中可能遭受破坏的全部设施设备的价值和其中易损失的产品、货物的价值。对于虽在影响区域内但不会遭受损失或事故后不需要修理更换的设施设备，如场地、道路、地下管线等价值不应计算在内。

丙烯腈码头前沿区：包括码头的管线、消防和供水设施，码头的水工建筑、以及船舶可能受到的损失，财产价值6.4百万美元（估计数值）。

丙烯腈汽车装车区：根据影响半径范围内，主要有管线、流量计、消防设施、汽车槽车等，财产价值0.16万美元（估计数值）。

丙烯腈储罐区：主要是储罐罐体、管线、物料泵、以及储罐满载时物料价值，财产价值7.5百万美元（估计数值）。——列于表4-7中

4.2.8 计算最大可能财产损失（基本MPPD）

最大可能财产损失(基本MPPD)与单元破坏系数(DF)的乘积，即基本MPPD=影响区域内的财产价值* DF，各单元的最大可能财产损失列于表4-7中。

4.2.9 确定安全补偿系数

化学品码头各工艺环节、各作业场所均采取了相应的安全措施，安全措施的采用在一定程度上降低了火灾爆炸事故发生的频率，并减轻了事故的危害。安全措施可以分为三类：工艺控制(C1)，物质隔离(C2)，及防火设施(C3)。安全补偿系数按下列程序经行计算：

第1步：根据各项目中具体措施确定相应系数（具体项目见表4-6）

第2步：每一类安全措施的安全补偿系数是该类别中全部内容选取系数之乘积；

第3步：计算 $C1 * C2 * C3$ ，得到总的补偿系数。

补偿系数越小，说明降低火灾爆炸事故危险的作用越明显。

表4-6 单元安全措施补偿系数表

——资料来源道化评价法

项目	项目	项目
1 过程控制系数C1	2 隔离系数C2	3 防火设施系数C3
A 应急电源 0.98	A 远距离紧急切断阀0.96-0.98	A 泄漏检测装置0.94-0.98
B 冷却装置0.97-0.99	B 备用泄放装置0.96-0.98	B 钢制结构 0.95-0.98
C 抑爆装置 0.84-0.98	C 液体排放系统 0.91-0.97	C 消防用水供应 0.94-0.97
D 紧急停车装置 0.96-0.99	D 连锁装置0.98	D 喷淋系统 0.74-0.97
E 计算机控制0.93-0.99		E 水幕 0.97-0.98
F 操作指南和规程0.91-0.98		F 泡沫装置 0.92-0.97
G 反应性物质检查 0.91-0.98		G 手提式灭火器/水枪.95-0.98
H 进行过程危险性分析0.91-0.98		H 电缆保护0.94-0.98
1 过程控制系数C1 A-H 系数之积	2 隔离系数 C2 A-D系数之积	3 防火设施系数C3 A-H系数之积

镇海港化工码头丙烯腈储罐安全补偿措施相对应的系数如下：

过程控制系数C1：

- A 应急电源 化工区有应急电源 取0.98。
- B 冷却 有喷淋冷却 取0.97。
- C 抑爆装置 整个丙烯腈卸船和储存以及装车装置均为防爆，取0.84。
- D 紧急停车装置 卸船和装车作业均有紧急停车装置，取0.96。
- E 计算机控制 设置了计算机控制，但没有控制控制关键设备，取0.99。
- F 操作指南和规程 丙烯腈卸船、仓储、装车作业均有操作指南和规程，取0.91。
- G 反应性物质检查 丙烯腈储罐有定期的反应性物质检查，取0.91。
- H 过程危险性分析 丙烯腈过程危险性分析不是很完备，取系数0.94

隔离系数C2：

- A 远距离紧急切断阀 卸船以及装车作业时有紧急切断阀，取系数0.96。
- B 备用泄放装置 紧急时可以将物料泄到评价单元外，取系数0.96。

- C 液体排放系统 码头前沿单元：少量泄漏有集液池 取0.91。
 储罐区：储罐区周围有堤坝和集液池，但集液池容量不够大，取系数0.95。
 汽车装车区：周围没有堤坝，且没有集液池取系数，取系数0.98。
- D 连锁装置 丙烯腈储罐和管线均为专用，不会出现物料错误流向，所以取系数0.98。

防火设施系数C3：

- A 泄漏检测装置 丙烯腈码头前沿、储罐区、汽车装车区都安装有可燃气体检测报警装置取0.98。
- B 钢制结构 丙烯腈储罐、管线等装置都有防火涂层 取系数0.96。
- C 消防用水供应 镇海港化工区有多个消防泵房，并且区外500m有宁波港消防大队的消防力量，消防用水供应非常充足。压力也能达到要求超过690KPa，取系数0.94。
- D 喷淋系统 丙烯腈码头前沿、储罐、以及装车区均有洒水系统覆盖，取0.9。
- E 水幕 丙烯腈储罐没有自动水幕 取系数 0.9。
- F 泡沫装置 丙烯腈储罐区、码头前沿区、装车区均有泡沫灭火装置（手动控制）取0.94。
- G 手提式灭火器：在装车区、码头前沿区均有移动式灭火器、并且带有泡沫喷射能力 取系数0.93。
- H 电缆保护：丙烯腈储罐电缆均有耐火涂料保护，被埋在地缆沟内。取系数0.94。

4.2.10 计算实际最大可能财产损失(实际MPPD)

基本最大可能财产损失(基本MPPD)与补偿系数(C)的乘积，既为实际最大可能财产损失(实际MPPD)。用公式表示为：实际MPPD=基本MPPD*C，实际最大可能财产损失表示在采取适当的安全措施后事故可能造成的最大损失。各单元的实际MPPD计算值为各单元的基本MPPD（表4-4中的值）乘以各单元的补偿系数。列于表4-7中。

4.2.11 确定最大可能工作日损失(MPDO)

确定最大可能工作日损失(MPDO)是评价停产损失(BI)必须经过的一个步骤,由于事故或灾害而造成停产,其停产天数由系统破坏程度及恢复时间决定。正常值的斜线为:

$$\lg Y = 1.325132 + 0.592471 \lg X$$

Y—实际最大可能财产损失(MPPD) X—最大可能工作日损失。

4.2.12 估算停产损失(BI)

事故的发生势必造成停产,并带来经济损失,某些情况下停产经济损失可能超过事故造成的直接财产损失,因此停产损失(BI)是火灾爆炸后果计算的重要内容。

停产损失(BI)按下式计算:

$$MPDO/30 * \$VPM * 0.70 = BI$$

式中:BI为停产损失以元表示;MPDO为最大可能工作损失;\$VPM代表月产值,0.70代表成本和利润系数。

表4-7 镇海化工码头单元危险性分析评价汇总表

项目	码头前沿装卸区	储罐区	汽车装车区
选取物质	丙烯腈	丙烯腈	丙烯腈
物质系数MF	24	24	24
火灾爆炸指数(F&E1)	140.88	119.28	182.88
单元破坏系数(DF)	0.78	0.72	0.83
影响半径M(F&E1×0.84×0.3048)	36.07	30.54	46.82
区域内财产价值(百万美元)	6.40	7.50	0.16
基本MPPD(百万美元)	4.99	5.40	0.13
安全补偿系数	0.29	0.30	0.31
实际MPPD(百万美元)	1.45	1.62	0.04
可能损失工作日	24	30	5

4.3 火灾爆炸危险性评价结果

综上所述,火灾爆炸事故造成的后果主要通过经济损失来描述,道化评价法是通过衡量经济损失大小来判断各单元火灾爆炸危险程度的。

道化法认为,通过采取各种安全措施,可使最大可能财产损失降为最低,但是降

低后的实际财产损失是否被接受，要根据两条标准来衡量：

标准一、单元的实际最大财产损失（实际MPPD）低于2百万美元时被认为是可以接受的；

标准二、单元的实际最大可能财产损失是影响区域财产价值的10%左右时，是可以接受的。

为使道氏火灾爆炸指数法更使用于国内实际情况，笔者对其分类和取值方法进行如下探讨：

单元危险性分级应以单元固有危险性大小作为分级的依据，分级目的主要是便于政府对危险源进行分级控制，决定固有危险性大小的因素基本上是由单元的生产属性决定，从而是不易改变的^[21]。因此用固有危险性作为分级依据使受控目标保持稳定，分级标准的划定将直接影响政府部门直接控制危险源的数量配比，可考虑用 $A=\text{Log}(B)$ 作为危险源分级标准，式中B是以10万元为缩尺单位的固有危险性的评分值。定义：

一级重大危险源： $A > 3.5$

二级重大危险源： $2.5 \leq A < 3.5$

三级重大危险源： $1.5 \leq A < 2.5$

四级重大危险源： $A < 1.5$

另外由上文所述，安全补偿系数C值越小，说明降低火灾爆炸事故危险的作用越明显，也表明单元现实危险性与固有危险性比值越小，即单元内危险性的受控程度越高，因此用单元综合安全补偿系数的大小说明该单元安全管理与控制的绩效，一般来说，单元的危险级别越高，要求的受控级别也应越高。

根据以上划分标准，镇海港区液体化工码头丙烯腈储罐三个评价单元的分析，最大可能财产损失在储罐区，损失额为1.62百万美元合人民币约13百万人民币。

$$A = \text{Log}(B) = \text{Log}(130) = 2.1$$

$1.5 \leq A < 2.5$ 属于三级固有危险源。

第五章 镇海港液体化工码头泄漏扩散危害性分析

5.1 储运货种毒性分析

除了火灾爆炸特性外,化学品的另一个重要特性是有毒。化工码头区大部分货种具有毒性,而且一些货种的毒物危害级别较高,表5-1列出了各货种的危害分级结果。轻度、中度、高度和极度危害的划分依据是《职业性接触毒物危害程度分级(GB5044-85)》。这些有毒物质(包括液体及其蒸气)接触或侵入人体后,会发生生物化学变化,破坏生理机能,引起功能障碍和疾病,甚至导致死亡。

部分货种的毒性还表现为能发生光化学反应,如丙烯腈、苯乙烯、氯仿等,在光的作用下能产生臭氧、光气等大气污染物质或毒物。

在对镇海港液体化工码头储运货种毒性分析时主要选取在港区作业量大,又有一定危害性的货种,而对部分虽然作业量比较大,但是危害性很小的货种不作分析。

(1) 苯乙烯

苯乙烯毒性中等,在400-500ppm(体积时)可觉察其气味,并对眼睛和呼吸系统有刺激作用,对中枢神经系统有抑制作用。在10000ppm(体积)下停留30-60分钟,人可致命。

(2) 丙烯腈

健康危害:抑制呼吸酶,有头痛、乏力、恶心、呕吐、呼吸困难。在严重及死亡病例中表现为极度呼吸困难,意识丧失。

(3) 甲醇

健康危害:碰到身上会引起皮肤疼痛、变红,在高浓度下引起眼睛或呼吸道短时间疼痛,有麻醉作用,严重时导致失明。

(4) 对二甲苯

二甲苯对眼及上呼吸道粘膜有刺激作用,高浓度时对中枢神经系统有麻醉作用。短时间吸入较高浓度二甲苯可对眼及上呼吸道有明显的刺激作用、头晕、头痛、恶心、四肢无力、意识模糊,重症可有躁动、抽搐或昏迷。

5.2 储运毒物泄漏扩散事故起因分析

化工码头区的储运的货种很多属于易挥发物质,所形成的蒸气多具有易燃、易爆

性,并在不同程度上具有毒性危害。一旦发生有毒易挥发物质泄漏事故,伴随蒸气在空气中传输扩散及发生化学反应的过程,将会对有关区域作业人员、居民及其它人员构成威胁,会对各有关环境圈层造成污染,还有可能进一步引发火灾及爆炸事故等。就镇海港散化码头来说,作业的品种及理化性质前面已有分析,而毒性物质泄漏扩散事故并没有相应的事故案例可以分析,也没有事故频率等经验数据,而镇海散化码头的装卸工艺与储罐设备等与其他散化码头没有根本性的区别,因此通过对比较普遍性的事故原因分析,确定各种事故原因的概率,提出有针对性的安全措施,达到安全控制的目的。因此对散化码头毒物泄漏扩散事故的起因分析能达到我们的目的。根据有关事故案例分析,毒物泄漏事故的起因大致可按图5-1所示:

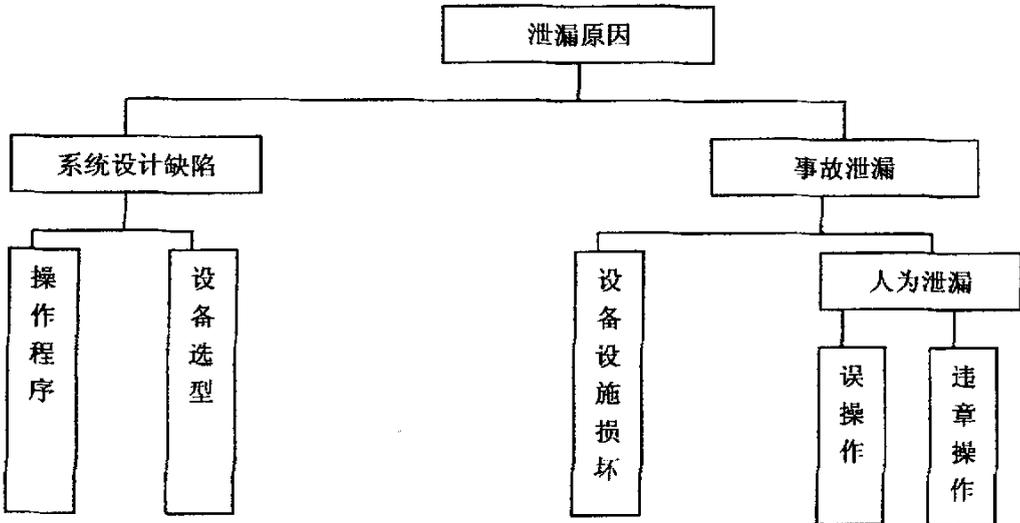


图5-1 毒物泄漏原因事故分析

火灾爆炸与毒物泄漏扩散事故是有机地联系在一起,毒物泄漏事故起因有:违章作业、工程设计缺陷或失误、施工质量差、人为破坏及自然灾害等。下面着重就其他几个方面的原因进行分析:

1、关键部件或部位缺陷

从大量的泄漏事故来看,下述部件或部位的缺陷易造成泄漏事故:

(1) 衬垫

在衬垫处产生泄漏的原因主要有:材质不良(耐腐蚀性、耐热或耐压不够)、表面压力不够、破裂变形或形式不好,紧固力不够等。

(2) 法兰盘

法兰盘面平行度不良、变形或出现破裂是导致法兰盘泄漏的原因。

(3) 密封部位

密封部位破损、材料被腐蚀或自然老化，轴偏摆、松弛，密封面不垂直，内压力不当等是密封部位发生泄漏的原因。

(4) 焊缝

焊缝中存在气泡，或被腐烂，或出现裂纹，容易从焊缝中泄漏。

(5) 螺钉拧入处

螺钉松弛，配合精度不良，紧固力不够等易造成泄漏。

(6) 阀片

阀片因混入异物、热变形、紧固力过大或遭腐蚀而腐蚀破裂，表面压力不够，以及松弛等原因，易造成泄漏。

上述部件、部位发生的泄漏以跑冒滴漏为主，事故规模通常较小，但发生频率较高，且分布范围较广，其危害性不容忽视。

2、安全监测、控制系统故障

储罐、高位槽、火车槽车、管道及油船等储运设施的各种工艺参数，如液位、温度、压力、流量等，都是通过现场的一次仪表或控制室的二次仪表读出的，部分工艺环节的操作通过控制室完成。这一套安全监测、控制系统若出现故障，如出现测量、计量仪表错误指示或失效、失灵等现象，则容易造成毒物跑、冒、串及泄漏事故，且往往事故规模较大。

3、储罐的安全操作和管理工作失误

储罐是化工码头区的核心。根据国内外同类工程的生产实践经验和事故教训来看^[25]，在储罐的检尺、巡回检查、货物的收付、管线切换、现场交接及检验等工作环节上，若操作失误或管理不严，经常造成严重的跑料及泄漏事故，处理不慎，甚至会导致恶性火灾、爆炸。

4、火灾、爆炸

化工码头区一旦发生火灾、爆炸事故，有可能对周围的储罐、管线及其它设备设施造成破坏，引起更大规模的毒物泄漏事故。

5、交通事故

火车、汽车槽车、船舶及装载油桶的汽车，在行驶、航行的过程中，若发生交通

事故，有可能造成毒物泄漏事故，使周围地区受灾。

掌握了毒物泄漏扩散事故的起因，即发生规律，有利于采取相应的防范措施，降低危险性。

5.3 毒物泄漏扩散模拟计算

5.3.1 情景设计

典型事故的情景设计工作被分解为泄漏情景设计和扩散情景设计两部分^[26]。泄漏情景主要决定着有毒蒸气排放源的情况，将泄漏情景与对扩散有明显影响的情景组构因子进一步叠加组合，就形成了主要决定扩散危险的扩散事故情景。为便于对众多储运货种进行泄漏扩散模拟计算，根据各货种的有关特性，主要是液体易挥发性、蒸气毒性及化学反应性、液体是否有可能分解释放有毒气体等，为此将镇海化工码头主要储运货种分为几类进行分析评价。

1. 泄漏扩散危险很大的货种：

- (1) 挥发性较强且蒸气毒性高的货种，如：丙烯腈；
- (2) 挥发性强但蒸气毒性较低货种，如：丁二烯、丙酮

2. 具有中等扩散危险的货种：

- (1) 挥发性较强蒸气毒性中等的货种，如：甲醇、PX
- (2) 挥发性及蒸气毒性中等的货种，如：甲苯、氯仿

3. 扩散危险较低的货种：

- (1) 低蒸气毒性易挥发货种，如：乙醇；
- (2) 不易挥发并且不易分解释放有毒气体货种，如：液碱；

本文选取挥发性较强且蒸气毒性高的丙烯腈作为重点评价货种。典型泄漏事故情景组构因子包括：泄漏事故规模、泄漏地点、泄漏货种和气象条件。其中对泄漏源强起影响作用的气象条件主要包括：气温和风速。对扩散危险起决定作用的气象条件主要包括：风速、风向、大气稳定度、混合层厚度、光照和气温。

5.3.2 镇海港化工码头的气象条件

镇海港区液体化工区域属欧亚大陆东部德亚热带季风气候区，暖湿多雨，光照充足，热量丰富；四季分明，冬夏季风交替显著；气温适中，具有夏热少酷暑，东冷寡

严寒德气候特征。

- 1、风况，本地区冬季多西北风，夏季多东南风，全年主导风向为 ESE，强风向为 NW，极值风速为台风过境时出现，历年最大风速可达 38.0m/s，瞬时风速可达 42.0m/s。
- 2、气温：多年平均气温为 16.3℃，极端最高气温 38.8℃，极端最低气温 -10.0℃，多年最高月平均气温 28.1℃（7 月），多年最低月平均气温 4.3℃（1 月）。
- 3、降水：年平均降雨量 1364mm，最大年降雨量 1921mm，平均年中雨以上天数 40 天，平均年大雨（25—50mm/天）以上天数 11 天。
- 4、雾：本地区雾多见于冬、春季凌晨至上午 10 时，年平均雾日约 16 天。
- 5、雷暴，雷暴年平均出现 19.3 次，通常雷暴延时较短，一般为数十分钟。

5.3.3 泄漏源强模拟计算^[27]

挥发性化学品泄漏后在空气中的挥发量，即源强，按式 5-1 计算

$$Q = Kt \times 10^{-3} \times (1.48 + 1.14 \times U) \times P \times M^{1/2} \quad (5-1)$$

Q - 化工品的挥发量 (g/s·m²)

Kt - 事故时间校正系数

U - 风速 (m/s)

P - 化工品在空气温度下的饱和蒸气压 (mmHg)

M - 挥发组分的平均分子量

丙烯腈的空气温度下 (16℃) 饱和蒸汽压为 86.0mmHg

丙烯腈的平均分子量 M^{1/2} 为 7.28

根据上述数值和公式 (5-1) 计算的结果如表 5-1 所示，表 5-2 列出了事故时间校正系数的模拟值^[28]

表 5-1 丙烯腈泄漏事故源强

化工品品名	M ^{1/2}	P mm/Hg	Q/ Kt (g/s·m ²)		
			3.0m/s 风速	5.0m/s 风速	8.0m/s 风速
丙烯腈	7.28	86.0	3.07	4.49	6.64

表 5—2 事故时间修正系数 Kt 模拟取值表

—资料来源文献[28]

小时	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Kt	1.0	1.0	1.0	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7
小时	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Kt	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3

5.3.4 毒气扩散模拟模式

本项评价选用基于常稳态高斯扩散数学模型的面源扩散模型计算泄漏事故蒸气气场浓度^[29]，数学模型见式5—2

$$C(x, y, z) = K * Q_a * X_0 * D * V * E * (2\pi)^{-1/2} * (\mu \sigma z)^{-1} \quad (5-2)$$

式中：

$C(x, y, z)$ — 坐标 (x, y, z) 处污染物浓度 (mg/m^3)

Q_a — 面源排放速率 mg/s

$D = \exp(\psi * x/u)$

$\psi = 0.693/T^{1/2}$ ， ψ 为衰减系数， $T^{1/2}$ 为污染物半衰期

$E = \text{erf}\{(0.5 X'_0 + y) \times (2^{-1/2} \sigma y^{-1})\} + \text{erf}\{(0.5 X'_0 - y) \times (2^{-1/2} \sigma y^{-1})\}$

$X'_0 = 2 X_0 (\pi)^{-1/2} \quad (\text{m})$

X_0 — 面源宽度 (m)

K — 量纲换算因子

μ — 风速 m/s

σy — 横向扩散参数 m/s

σz — 垂直扩散参数 m/s

$$V = 0.5 \{ \exp[0.5 (H/\sigma z)^2] + \sum_{i=1}^{\infty} \{ \exp[0.5 (H_i/\sigma z)^2] + \exp[-0.5 (H_2/\sigma z)^2] + \exp[-0.5 (H_3/\sigma z)^2] + \exp[-0.5 (H_4/\sigma z)^2] \} \}$$

$H = h + \Delta h$

$$H_1=2iH_m-H-RHT$$

$$H_2=2iH_m+H-RHT$$

$$H_3=2iH_m-H+RHT$$

$$H_4=2iH_m+H+RHT$$

RHT=接收器海拔高度

H_m =混合层厚度

泄漏扩散危险分等级评价标准主要依据有关的文献资料和职业卫生标准，丙烯腈的危险等级标准见表5-3

表5-3丙烯腈危险等级标准

——资料来源《化学品安全技术说明书》

货种	危害程度	等级	浓度水平 (mg/m^3)	吸入时间 (分钟)	危害症状及后果
丙烯腈	重度危害阈值	1	1000	5-10	致死
	短期受害允许值	2	500	20-40	呼吸道黏膜灼痛、流泪
	健康危害阈值	3	220	60	黏膜刺激
	车间空气最高允许值	4	2		

对丙烯腈蒸气扩散起决定作用的气象条件主要包括：风速、大气稳定度、混合层厚度、光照和气温等。

风速取本地平均风速（一般3-4级风）6.0m/s，风向取本地区常年主导风向之一ES，进行计算，本评价着重关心一旦发生泄漏事故时，有毒蒸气对下风向区域的危害程度，气温选全年平均气温16.3℃；大气稳定度选择D类，因为D类大气稳定度占首位，具有较好的代表性；混合层厚度和光照条件等以一般条件为准。

模拟设定各规模的泄漏事故^[30]见表5-4

表5-4 事故规模表

—资料来源文献[29]

泄漏事故规模	泄漏量 (m ³)	扩散源 (m ²)	处置时间 (小时)
小型	5—100	7×7	6
中型	100—800	14×14	12
大型	800—1600	28×28	24

发生小型泄漏事故时，丙烯腈扩散引起的重度危害面积为0.65km²，危害距离为1.7km；短期受害面积为0.65 km²时，受害距离为1.7km；健康危害面积为5.86 km²，危害距离为7.5km；卫生超标面积为14.7 km²，距离超过8.5km。

发生中等泄漏事故时，丙烯腈扩散引起的重度危害面积为5.04 km²，危害距离为7.5km；短期受害面积为5.04 km²，受害距离为7.5km；健康危害面积为12.9 km²，危害距离超过8.5km；卫生超标面积为16.1 km²，距离超过8.5km。

发生大型泄漏事故时，丙烯腈扩散引起的重度危害面积为11.7km²，危害距离超过8.5km；短期受害面积为11.7 km²，危害距离超过8.5km；健康危害面积为15.0 km²，危害距离超过8.5km；卫生超标面积为17.0 km²，危害距离超过8.5km。

5.4 有毒化学品外泄危害性评价

泄漏事故扩散危险的分布形状为：自泄漏发生地点向下风向延伸的一个扇形区都会在发生泄漏扩散事故时受到一定类别危险的危害。由上述结果可分析出：泄漏货种毒性越大，泄漏事故时危害程度越重，危害面积和危害距离越大。

泄漏事故规模也是影响蒸气浓度值的最主要因素，较大规模引起浓度值成倍增长；风速是影响蒸气浓度值的次要因素，风速较低，浓度值一般较高，风速较高，浓度值较低。

在评价毒物泄漏扩散危害程度时，除着重考虑毒物浓度的影响外，还应该考虑人员在毒物浓度环境中的接触时间，接触时间越长，实际毒害越严重。

有必要指出的是，毒物泄漏扩散事故不仅仅对人体健康产生危害，当蒸气浓度很高时，若达到火灾、爆炸浓度下限，将可能引发火灾、爆炸事故。所以化学品泄漏扩散事故和火灾爆炸事故是相互关联的。

第六章 镇海港液体化工码头综合危险性评价

综合危险性评价^[31]主要处理一些不确定性、突发性问题。由于它起步较晚及其自身的复杂性，以至目前在理论和方法上尚不完善，迄今仍在探索中。对散化码头而言，在这个固定危险源中，储运货种数目繁多，进行装卸、洗舱、灌桶、储运等易于发生事故的操作频繁，鉴于散装液体化学品的特殊危险性和特殊装卸形式，散化码头安全尤为重要，属于重大危险工业区域，有必要在单因素风险评价基础上，进行理论的综合和拓展，最终达到从全局角度出发，对散化码头进行科学管理的目的。

火灾、爆炸及外泄中毒事故，可引起工人和公众的伤害和死亡，导致社区居民的撤退，并且对整个环境造成有害影响，构成散化码头主要风险评价因素。由于二者经常彼此引发，互相交叉，散化码头风险又涉及自然和社会多方面，含有政治、人文等色彩，用传统的方法很难分析这个系统各因素的重要性差异。可运用层次分析法，既考虑人们主观判断，又结合散化码头装卸、储运和管理货种的实际水平，构造递阶层次结构。通过两两比较判断的方式，确定每一层次中各因素的相对重要性，然后在递阶层次内部进行合成，得到各因素相对目标的重要性排序。这种对区域内众多风险因素进行分析、综合的思维方式是进行风险综合评估较为可行的方法。

6.1 求各风险因素的权值

散化码头综合危险性评价中有一些未有效量化的因素。为分析区域众多风险因素之间重要性差异，可采取层次分析法AHP (Analytic Hierarchy Process)。

AHP采取两两比较判断的输入方式，使得我们能够处理一些尚未有效量化的因素。AHP方法的关键是构造递阶层次。一个递阶层次就是一个特殊形式的系统，它基于如下假定：该系统中经确定的所有元素可以划分为彼此不相接的若干层。其中任何一层的元素只对另外一个特定层中的元素发生影响，同时也只受到另外一个层中的元素的影响。递阶层次结构中的每一层都是彼此独立的，构造合理的递阶层次成为解决实际问题的良好模型^[32]。

运用AHP进行评价，大体分为以下几个步骤：

1. 分析各因素之间关系建立层次结构模型。
2. 对同一层次各个指标关于上一层次中某一准则的重要性进行两两比较，构造两两比较判断矩阵。
3. 层次单排序及其一致性检验。

4. 层次总排序。

AHP的基本方法如下：

1、构造判断矩阵

任何系统分析都以一定的信息为基础，AHP的信息基础就是我们对于每一层次中各因素相对重要性给出的判断。AHP通过引入比例标度将判断定量化，统一有形与无形、定量与不可定量的众多因素，并可充分利用专家的经验判断，这种方式在处理复杂系统问题中能显示强大的生命力。比例标度就是在某一准则或属性下，一组元素两两比较的相对强度的测定。

已知元素A, B, 如果：

A和B相比，有同等的重要性，则用1标度；

A和B相比，A比B稍微重要，则用3标度；

A和B相比，A比B明显重要，则用5标度；

A和B相比，A比B强烈重要，则用7标度；

A和B相比，A比B极端重要，则用9标度。

将结果填入矩阵A所在行和B所在列的交点位置(A, B)。显然一个元素与自己比较一定具有同等的重要性，因此元素A所在行与A所在列的交点位置(A, A)上应填上1。这样矩阵主对角线上的元素均为数字1。

2、层次单排列及其一致性检验

层次单排列计算方法有求和法、特征根法、最小二乘法^[33]。

判断矩阵的特征根问题：

$$A \omega = \lambda_{\max} \omega$$

这里 λ_{\max} 是 A 的最大特征根， ω 是对应特征向量， ω 经归一化处理后即为权重向量。这种方法称为特征根法。

基本计算步骤如下：

- ① 计算判断矩阵每一行元素的乘积 m_i
- ② $m_i = \prod_{j=1}^n b_{ij}$, $i=1, 2, 3, \dots, n$
- ③ 计算 n 次方根

$$\bar{w}_i = \sqrt[n]{m_i}$$
- ④ 对向量 \bar{w}_i 进行归一化：

$$w_i = \frac{\bar{w}_i}{\sum \bar{w}_i}$$

则 $W = (w_1, w_2, \dots, w_n)$ 即为所求的特征向量，也就是权重向量。

计算判断矩阵的最大特征根 λ_{\max}

$$\lambda_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^n (Aw)_i}{n w_i}$$

其中 $(Aw)_i$ 表示向量 Aw 的第 i 个元素。

根据矩阵理论，若判断矩阵具有完全一致性时， $\lambda_{\max} = n$ ，且除此之外，其余特征根均为零。但是，由于评价指标的复杂性和人们认识上的多样性，以及可能产生的片面性，要求每个判断矩阵都有完全一致性是不可能的，特别是因素多规模大的问题更是如此。因此为保证分析结论的基本合理，需要对判断矩阵进行一致性检验，其步骤如下：

首先计算一致性指标 C. I. (Consistency index)

$$C. I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

然后查找相应的平均随机一致性指标 R. I. (Random index)，列于表6-1中

表6-1 矩阵的平均随机一致性指标 R. I

——资料来源[31]

矩阵阶数	1	2	3	4	5	6	7
R. I.	0	0	0.58	0.89	1.12	1.26	1.36
矩阵阶数	8	9	10	11	12	13	14
R. I.	1.41	1.46	1.49	1.52	1.54	1.56	1.58

一致性指标 C. I. 与同阶平均随机一致性指标 R. I. 之比称为随机一致性比率，记为 C. R.。当 C. R. ≤ 0.1 时，即认为判断矩阵具有满意的一致性。

3、层次总排序

计算各层次元素对最高层(总目标)的相对重要性的排序权值，称为层次总排序。合成排序的计算自上而下进行。设第 $k-1$ 层上 n_{k-1} 个元素相对于总目标层的排序权重向量 $W^{k-1} = (w_1^{k-1}, w_2^{k-1}, \dots)$ 第 k 层上 n_k 个元素对第 $k-1$ 层上第 j 个元素为准则的排序权重向量设为

$P_j^k = (p_{1j}^k, \dots, p_{n_k j}^k)^T$ ，那么第 k 层上元素对总目标的合成排序向量为

$$W = \sum_{j=1}^{n_{k-1}} p_{ij}^k w_j^{k-1}, \quad i=1, 2, \dots, n$$

只要层次单排序满足一致性要求，其总排序一般都能得到较符合逻辑的排序。

风险因素的风险指数 $R_i (i=1, 2, 3 \dots)$ 及其权值 $W_i (i=1, 2, 3 \dots)$ 可按下式综合，从

而得到区域风险综合指数 $R = \sum R_i W_i$

下面就以重点货种丙烯腈进行风险分析

先构建风险因素递阶层次结构，见图6-1

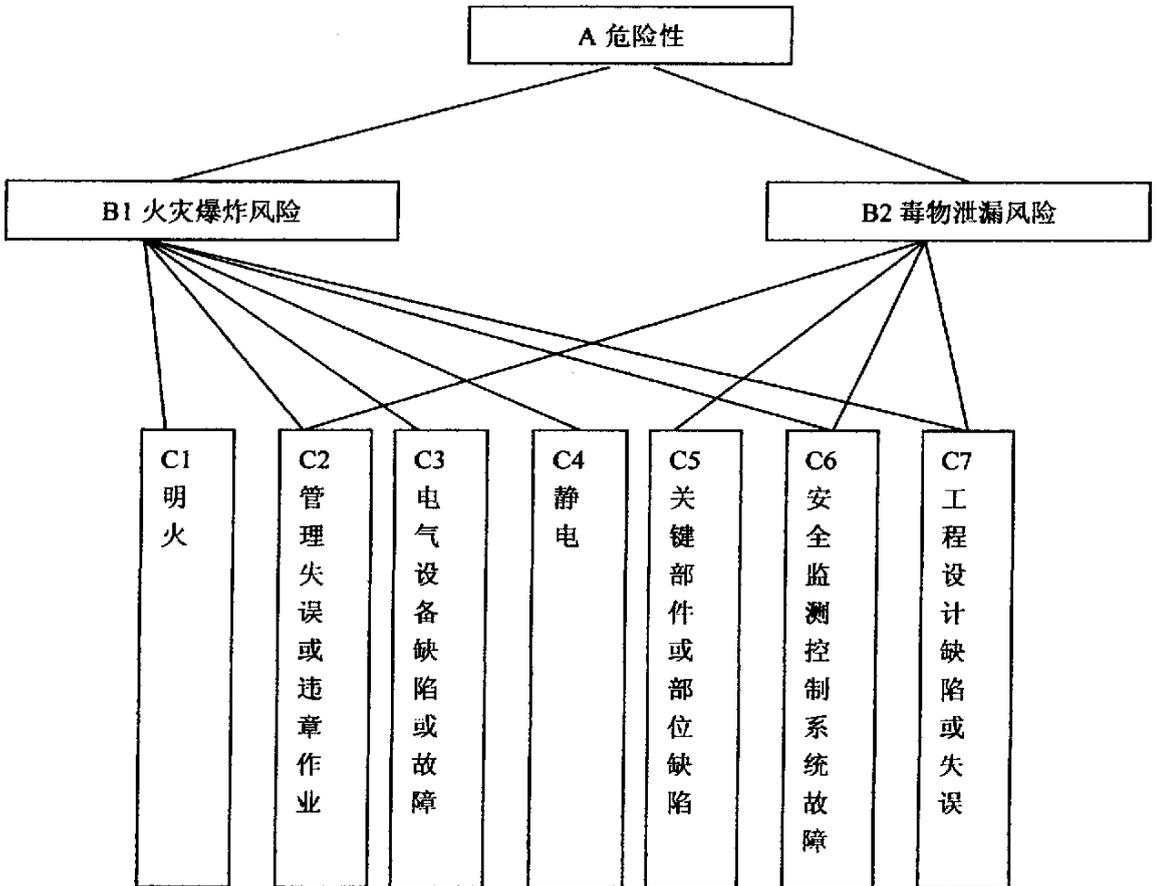


图6-1 风险因素递阶层次结构

6.2 危险性综合指数计算

首先得出对于总目标A，准则B和C构成判断矩阵：

A	B	C
B	1	4
C	1/4	1

求得排序向量为 (0.8, 0.2)

其次，构造第三层次两两比较判断矩阵，如表6-1，6-2 所示：

表6-1 相对B1的判断矩阵

B1	C1	C2	C3	C4	C6	C7
C1	1	1	4	5	7	8
C2	1	1	4	5	7	8
C3	1/4	1/4	1	4	6	7
C4	1/5	1/5	1/4	1	5	6
C6	1/7	1/7	1/6	1/5	1	3
C7	1/8	1/8	1/7	1/6	1/3	1

表6-2 相对B2的判断矩阵

B2	C2	C5	C6	C7
C2	1	1/5	1/4	3
C5	5	1	3	7
C6	4	1/3	1	5
C7	1/3	1/7	1/5	1

表6-1 矩阵的排列向量为

	C1	C2	C3	C4	C6	C7
1. 判断矩阵各列求和	(2.72	2.72	9.56	15.37	26.33	33)
2. 各分量取倒数得向量	(0.367	0.367	0.104	0.065	0.038	0.030)
3. 归一化后得	(0.378	0.378	0.107	0.067	0.039	0.031)

表6-2 矩阵的排列向量为:

	C2	C5	C6	C7
1. 判断矩阵各列求和	(10.33	1.67	4.45	16)
2. 各分量取倒数得向量	(0.09	0.6	0.22	0.06)
3. 归一化后得	(0.09	0.62	0.23	0.06)

将最后一层元素相对重要性相对与总目标进行合成如下:

$$(0.8, 0.2) \times \begin{bmatrix} 0.378 & 0.378 & 0.107 & 0.067 & 0 & 0.039 & 0.031 \\ 0 & 0.09 & 0 & 0 & 0.62 & 0.63 & 0.06 \end{bmatrix}$$

这样得到各起因因素的权重排序为

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
(0.302	0.320	0.086	0.054	0.124	0.077	0.037)

6.3 危险性综合评价结论

上述评价所得的起因因素权重排序,既综合考虑了货种可能导致的火灾爆炸风险和毒物泄漏风险,又与各风险的致因因素进行了合成,可直观看出散化码头区为降低

风险，应加强措施预防、加大力度重点控制的风险因素。将上述评价方法应用于散化码头重点储运货种，可客观确定管理工作重心，制定相应的控制方案。有利于从实际出发，优先控制有条件、易控制的风险因素，逐步走向全面控制，科学管理，从而提高散化码头安全管理水平和预控能力，防患于未然。

对丙烯腈进行的评价结果来看，C1(明火)、C2(管理失误及违章作业)和C5(关键部件缺陷)所占比重较大，为主要致因因素。为提高散化码头储运货种丙烯腈的安全性，要采取相应的防范措施。明火主要是指生产过程中的焊接、切割动火作业、现场吸烟、机动车辆排烟喷火等。明火是导致火灾、爆炸事故最常见、最直接的原因；违章作业主要指错误指挥、违章操作、误动作、违反动火作业规程、擅离工作岗位、纪律松弛以及思想麻痹等行为或表现。为使事故的发生降至最低点，要加强作业人员的专业技术培训及严格的监督管理，实行持证上岗制度。

关键部件缺陷是导致泄漏事故发生的主要因素，应作为预防的重点。重要部位的阀门，如码头前沿管道接头处阀门、储罐安全阀、储罐进出口管道上阀门等，应采用安全系数高，性能优良的阀门，并加强检查、防护。对不能满足输送要求或老化、破裂的管道，应及时更换修补，以免在高速高压输送或高温条件下管道发生胀裂，泄漏事故。

第七章 散化码头风险预防对策与措施

7.1 各区域防火、防爆、防泄漏对策

7.1.1 储罐区应采取的措施

同一储罐区内，宜布置火灾危险性类别相同或相近的储罐；沸溢性液体的储罐不应与非沸溢性液体储罐同在一罐区内布置。灌区内的储罐个数，不应多于12个。但若单罐容积均小于 1000m^3 ，个数可不受此限制，罐区应设防火堤。防火堤的有效容积，应符合下列规定^[37]：

1. 固定顶罐，不应小于灌区内1个最大储罐的容积。
2. 内浮顶罐，不应小于灌区内1个最大储罐容积的一半。
3. 当固定顶罐与浮顶罐同组布置时，应取上述(1)，(2)中规定的最大值。

根据储存货种的特殊需要，对丙酮、甲醇等易燃易爆物质储罐采用氮封保护措施；对丙烯腈、苯乙烯等自然聚物质储罐除采用氮封外，还应采取添加阻聚剂及喷淋冷却水等措施；对冰醋酸、PX等在较低温度下（如冬季）易凝固的物质储罐有必要采取保温隔离措施；对液碱等腐蚀品，应采取防腐及隔离措施。

投产后对储罐上配置的安全阀、通气阀、真空阀、液位剂、温度指示器等装置或仪表以及罐体，应定期检查或校验，保持良好的工作状态。化工码头区储罐有时需要清洗，而且主要采用人工清洗方式。人工清洗储罐时，应特别注意安全，以避免急性中毒或火灾爆炸事故的发生。进罐前应配齐配足洗罐安全用具与仪器，如采样器、危险浓度报警器等、空气呼吸器、手提灭火器等。清洗期间，要制订严格的明火和用电管理规则，消防、卫生、安技等部门要作好协调配合工作。

储罐在使用过程中，基础有可能继续下沉，其进出口管道应采用金属软管连接或其他柔性连接。这项措施也有利于防止地震的破坏性影响。

7.1.2 火车栈台

可燃液体(包括液体化工品中的大部分及成品油)火车栈台，应注意：

1. 装卸栈台两端和沿栈台每隔60米左右，应设安全梯。
2. 顶部敞口装车的甲B、乙、丙A类的液体，应采用液下装车方式。
3. 对装卸火车槽车工艺应逐步进行技术改造，尽可能采用密闭式作业方式，减少可燃、易爆气体的泄漏，提高安全性。
4. 鹤管应转动灵活、轻便、能随意平衡，采用悬挂重物平衡时，悬挂物应为碰撞时

不产生火花的物体，且不影响旋转和提升。

5. 阀门、法兰接头、旋转接头、套筒、软管接口均应严密无渗漏。
6. 对于主要货种的装卸，建议实行专管专用。
7. 装槽车时，应留有一定的膨胀余量，防止超量装载，在高温季节尤其应该注意。
8. 装卸车前，应进行车况安全检查，对于检修过期、车况较差、罐体标记文字不清晰或者其他有碍安全装卸的罐车，应拒绝装卸。
9. 在装槽车时，应检查车内残存液体，防止混装。
10. 对装卸过程中撒漏的物品应及时清除。

7.1.3 汽车装车站

1. 装卸站的进、出口，宜分开设置，当进、出口合用时，站内应设回车场。
2. 车场应采用现浇混凝土地面。
3. 鹤位之间的距离，不应小于4米；甲、乙A类液体装卸车鹤位与泵的距离，不应小于8米。
4. 部分汽车装车站没有配设高位槽，故在距装卸车鹤位10米以外的装卸管道上，应设便于操作的紧急切断阀。
5. 甲B、乙A类液体应采用液下装卸车鹤管。
6. 尽可能采取全封闭作业方式。
7. 可调节软管、阀门及压力表、温度表、用来控制液位的汽车地磅等设备，应定期检查 and 校验，确保完好。
8. 在灌装汽车槽车时，严禁超过设计所允许的最大充装值。
9. 槽车在检修后首次充装时，应预先抽真空或充氮置换处理，禁止直接充装。
10. 避免装车时发生混装事故。槽车未经清洗不宜换装液化工品。
11. 对平地、平台等处积存的残留液体应清扫干净。

7.1.4 灌桶间

1. 灌桶间内既进行装桶作业，又储存空桶和待运的满装桶。其结构应为单层建筑，面积不应大于750m²。
2. 实桶库与灌桶间若设在同一建筑物内，宜用实体墙隔开，并各设出入口。
3. 当甲类桶装油品与乙、丙类桶装油品同时储存在装桶站时，应用防火墙隔开。

4. 搬运桶时，宜采用机械搬运，不准滚运，不准拖运，更不准从汽车上往地面扔掷油桶。搬运机械可使用防爆叉车、传送车、吊运车、油桶升降机。
5. 装桶间应保证良好的通风，自然通风不够时，应考虑增加机械通风措施。

7.1.5 码头前沿装卸区

1. 泊位装卸液化品作业之前，要采取严格的安全措施，如将码头面残留液清洗干净，作充分的消防准备等。另外，装卸具有腐蚀性或强氧化性，以及能相互发生化学反应的货种时应格外注意，避免液体滴漏。
2. 在距泊位20米以外或岸边处的装卸管道上，应设便于操作的紧急切断阀。
3. 在软管架地点应设凹槽，便于收集意外喷撒的化学品。
4. 采用软管作业时，必须安装过压保护装置。
5. 液化烃的装卸管道，应采用装油臂或金属软管，并应采取安全放空措施。
6. 码头、栈桥应设有明显的红灯信号。
7. 管组、阀门、法兰过滤器等设备，应完好无渗漏，工作正常可靠。金属或橡胶软管管线及其接头应牢固、无破损、断脱、开裂和老化现象。在拆卸、搬送时，要使用专用工具或设备，禁止强行拖拉，防止因撞击和摩擦产生火花，并应防止潮水涨落，波浪摇晃而导致软管被压坏或断脱。

7.1.6 静电危害预防对策措施

储罐原则上要求在多个部位上进行接地设备外围均匀布置，其间距不应大于30米；接地点应设两处以上，接地点应沿轻质化学品(如丙酮、甲醇、丙烯腈等)的进出口必须接近储罐底部；罐内禁止存在任何未接地的浮动物。

对于火车槽车和汽车槽车而言，在装卸液化品前，首先检查槽车内部，不应有未接地的浮动物；鹤管、管道、槽车必须跨接和接地；装油完毕后，宜静置不少于2分钟后，再进行采样、测温、检尺、拆除接地线等。

当采用金属管嘴或金属漏斗向金属油桶装液化品时，必须让它们保持良好的接触或连接，并可靠接地；禁止使用绝缘性容器加注部分易静电积聚的液化品。

对液化船舶而言，作业前，应先将船体与陆地上接地端进行接地；使用软管输送液化品前，应做电气连续性检查。遵循先接静电搭接线后接软管，作业后先拆输油软管后拆静电搭接线的原则；禁止使用外部软管从舱口直接灌装轻质油品。不准使用空

气或惰性气体将管中剩余液化品驱入油舱内；装载完毕应静置10分钟后再使用导电性器具进行采样、测温、检尺等作业；当舱装有闪点小于60℃的液化品时，船舱系统宜配备惰性气体装置；装油初速度不宜大于1 m/s，当入口管进没后，可提高流速，但100mm管径不宜大于6m/s。

采用氮气进行吹扫和清洗时，受氮气喷击的管线、导电物体都必须与储罐或设备进行接地连接；严禁使用压缩空气对丙酮、丙烯腈等产品的管线进行清扫。

作业场所内工作人员应穿防静电工作服，并禁止在易燃易爆场所穿脱，禁止在防静电工作服上附加或佩带任何金属物件。穿防静电工作服时，必须与防静电鞋、袜配套穿戴，且应配置导电地面

7.2 安全管理对策^[38]

散化码头应建立仓储协会，通过有效的手段及时协调和解决好各仓储公司之间的有关问题。例如装卸作业现场附近的动火作业管理，各公司的废水、废气的排放、供水、供电、供气、消防等共用设施问题，以确保液体化学品仓储、装卸生产的安全。

各仓储公司应向港务集团公司的安全监督管理部门、地方劳动监察部门、消防及环保部门提交安全报告书，接受有关部门的安全监督与管理，紧急事件时，便于及时联合采取紧急控制措施。

安全报告内容应包括：储存危险物质的性质和数量；工艺装置或设施的布置情况；可能引发重大事故危险因素及前提条件；安全操作和预防失误的控制措施；可能发生事故的类型及后果；限制事故的措施；设备故障及维修报表等；并在下述情况下提交安全修改报告：设备及生产过程有重大变动；危险物质出现新的信息。

散化码头必须按国家有关规定比例配备专职安全人员，设置专门的安全管理机构、配备必要的安全教育设备和安全监察仪器。建立安全保证体系和信息反馈体系，设立安全生产委员会，以便于处理研究重大安全事项。加强全员安全教育与培训，不断提高安全意识和安全操作技能及应急处理能力。设置专门机构或委托专业机构，定期进行有毒有害场所的劳动卫生监测，并及时做好超标作业岗位的处理。接触有毒有害物质的作业人员必须进行就业前体检和定期的健康检查，严禁职业禁忌人员上岗。国家规定的特种作业人员，必须进行安全技术培训，经理论考试和技能考试合格后，持证上岗。制定特殊危险事件及突发事件的应急计划，并进行必要的实践训练，保证突发情况下的安全。建立健全安全检查制度，不断进行安全检查，及时整改隐患，防

止事故发生。

对现场作业人员应配备防静电工作服、防静电工作鞋、防毒面具及防酸、防碱用品等必要的个体劳保用品，并实行色彩管理。为高处作业(如高空管线检修安装作业、罐顶巡视作业、火车栈台装卸作业等)的作业人员配备安全带和安全帽等防护用品，防止伤亡事故的发生。采用先进适用的现代化安全管理方法，推行安全科学管理，不断提高安全管理水平和预控能力，防止各种事故的发生。建立严格的门卫安全管理制度。所有进港机动车辆，均应配戴阻火器，并加强安全管理。加强用电安全管理，减少或避免电气事故的发生。

第八章 结论

我国散化码头储运的安全管理主要是被动(事故处理)管理方式,侧重点多在于应急方面,从目前安全管理的发展趋势来看,提高安全管理的水平和质量的关键在于变被动(事故处理)管理方式为主动(事故预防)管理方式,危险性评价作为事前预防型安全管理的一种模式,应用于散化码头的日常监督管理探讨不多,本文以安全系统工程作为理论基础,对镇海港散化码头进行危险性危害性分析:

为解决道氏火灾爆炸指数法对人为因素和管理水平考虑不足,对系统安全保障体系重视不够的问题,本文运用事故树理论,分析火灾爆炸起因,并结合实际,改进其分类及取值方法,得到火灾爆炸风险综合指数。

对于有毒化学品外泄危险性评估,计算泄漏源强、泄漏扩散事故蒸气浓度数值,计算不同等级泄漏事故造成的影响。

在上述工作基础上,综合考虑货种可能导致的火灾爆炸和毒物泄漏等风险,运用层次分析法,对各风险致因因素进行合成,从而得出各风险因素权重排序,可直接用于风险预防措施和指导。

本评价主要选取码头区域危害性较大的货种,得出事故致因因素的定量指标。以便于加强措施预防,加大力度控制重点风险因素,并提出相应的安全管理措施,将风险降低到可接受的水平内。

由于时间与经验的限制,本文对镇海港液体化学品码头综合危险性评价没有进行计算机的实现。同时,对液化码头的火灾爆炸和毒物泄漏是彼此引发没有进行深入探讨,对毒物泄漏后的水域污染危害性没有进行分析。本文的综合危险性评价方法还有待于进一步研究,使之更具有科学性和可操作性。

致谢

本文是在指导教师宗蓓华教授的精心指导和严格要求下完成的。整个论文的研究过程中始终得到了导师的悉心启发和教导，她为此付出了大量的时间和精力。她经常在深夜忙着审阅和改正论文。导师渊博的知识、严谨的治学态度和孜孜不倦献身事业的崇高品德深深地影响着我。在本文的写作过程中，我的企业导师—镇海港埠有限公司副总经理戎伟全在繁忙的工作之余，多次就我的论文提出改正意见，以他多年的安全生产管理的经验和丰富的理论知识为我的论文提出极具有价值的意见，为此特向两位导师致以最衷心的感谢！

本文的写作过程中，特别是有关资料的收集中得到了镇海港埠有限公司资料室、工程技术部、化工油品部等同事的大力支持，在此一并表示感谢。

由于本人知识结构和水平的限制，错误和不足之处在所难免，望各位导师、专家、学者不吝赐教，使之得以完善。

九、参考文献

- [1] 赵振华,《浅谈风险评价和风险管理》,《环境科学》,1992年
- [2] 程卫民等,安全综合评价中的若干问题及其改进方法,中国安全科学学报,1999.4, 1-3
- [3] 夏绍伟,系统工程概论,第一版,清华大学出版社,1995,75-88
- [4] 冯圣洪等 安全状态评价模型构模原理及其状态程度与状态存在程度的表达方法研究,中国安全科学学报,1998.1,1-6
- [5] 陈森尧等,现代危险程度分级方法,第一版,中国劳动出版社,1993,68-75
- [6] 朱建华.道氏火灾爆炸危险指数法在化学品码头危险性评价中的应用.水运科学研究所学报.1997(1)
- [7] 汪晶,风险评价技术的原理与进展,环境科学,1998.2,95-96
- [8] David E. Burmaster, Risk Assessment for Chemicals in the Environment
- [9] 国际化学品安全卡 中国环保总局M.1994
- [10] 张维杰,常用危险品安全储运简明手册,东科技出版社,1992
- [11] 《欧共体新方法指令实施指南》 中国标准出版社 2001.8
- [12] 胡德福,化学突发事件风险评估的研究与应用,第一版,1995,科学出版社, 11-19
- [13] 《道化学火灾评价法》 中国安全第一网 2002.10
- [14] 朱建华,建立港口重大危险源控制系统的探讨,水运科学研究所学报,1996.3, 7-13
- [15] 李又明《论散装液体化学品储运业的兴起与面临的问题》,《交通环保》,1997年2期
- [16] 各类危险货物引R和明细表人民交通出版社
- [17] 郭艳丽等 化学危险品装卸码头火灾风险分析及消防对策 消防技术与产品信息 2003 11
- [18] 周浩等 《液化石油气储罐火灾爆炸事故分析》,《交通环保》2001年3期
- [19] 张栋 大型石油罐区火灾事故环境风险评价应用研究 首都经济贸易大学 硕士学位论文 2004
- [20] 陈长春 《化学品突发性爆炸事故的环境风险分析方法与计算程序》,《环境污染与防治》,1998年2期
- [21] 郭臣等 量化检查表—火灾爆炸危险指数—系统安全分析 化工劳动保护 2000 9

- [22] 邢志祥, 有毒化学品事故潜在危险区的预测, 劳动保护科学技术, 1999. 59- 61
- [23] (Guidelines for the Provisional Assessment of Liquids Transported in Bulk), IMO, 1997
- [24] 于沉鱼, 化学品蒸气扩散模式, 水运科学研究所学报, 1996. 4, 50-56
- [25] 张崢等 石油化工项目环境风险评价实例分析 环境科学研究 1999 2
- [26] 宁波港化工码头区火灾爆炸和毒物泄漏危险总体评价报告. 交通部水运科学研究所. 1996, 5
- [27] 杨光 液化石油气码头储运风险综合评价的研究 大连海事大学 2001-03
- [28] 刘振涛 秦皇岛港散装液货码头风险评价 大连海事大学 2003-02
- [29] 施红 液化气码头储罐爆炸风险评价 上海海运学院学报 2002 2
- [30] 项平 易燃易爆物品环境风险评价及危害范围的计算确定 重庆环境科学 1995 6
- [31] 杨凯等 层次分析法在石化企业安全风险评价中的应用 上海环境科学 1994 6
- [32] 谢连娟 《散装液体化学品码头风险综合评价的研究》, 大连海事大学 2000 年3月
- [33] 周浩 散装液体化学品码头区域环境风险评价研究 大连海事大学 2002 -03
- [34] World Health Organization Geneva PRINCIPLES FOR MODELLING DOSE-RESPONSE FOR THE RISK ASSESSMENT OF CHEMICALS
- [35] 胡升欣 宁波港镇海液体化工区装卸工艺布局研究 学位论文 上海海运学院 2003
- [36] 02-04年镇海港埠公司液化油品生产统计报表 镇海港埠公司化油部编
- [37] 散装液体化工产品港口装卸技术要求 GB/T15626-1995 国家质量技术监督局发布
- [38] 《国际船舶和港口设施保安规则》