

*Hazard Identification and Early Warning
with Operating Process in the Petrochemical Port*

石油化工码头 危险源辨识与预警

彭士涛 王晓丽 关文玲 洪宁宁 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

石油化工码头 危险源辨识与预警

彭士涛 王晓丽 关文玲 洪宁宁 著



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书共分六章,主要内容为:石油化工码头可接受风险水平的确定、石油化工码头危险源动态分级研究、石油化工码头安全预警系统、预警系统在 LabVIEW 中的实现。

本书可供从事石油化工码头安全研究的高校、科研院所,以及石油化工码头的管理企业、一线生产部门相关人员提供参考。

图书在版编目(CIP)数据

石油化工码头危险源辨识与预警 / 彭士涛等著. —
北京:人民交通出版社股份有限公司,2015.12
ISBN 978-7-114-12687-1

I. ①石… II. ①彭… III. ①石油化工-码头-危险
源-辨识 IV. ①X928

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 311387 号

书 名:石油化工码头危险源辨识与预警

著 作 者:彭士涛 王晓丽 关文玲 洪宁宁

责任编辑:赵瑞琴

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京鑫正大印刷有限公司

开 本:720×960 1/16

印 张:13.25

字 数:210千

版 次:2016年1月 第1版

印 次:2016年1月 第1次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12687-1

定 价:35.00元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

前 言

近年来,全球石油化工产业结构不断调整、规模不断扩大,与之相关的生产设施也日趋集中。随着石油化工产业的发展,越来越多的石化码头相继出现,成为化工产品集散的主要场所。然而,在石油化工码头的生产储运过程中,无论是工艺流程,还是化工原材料及化工成品,都存在大量的危险源。而石油化工码头所涉及的危化品的危险源,往往蕴含大量的化学能,发生事故后极容易扩大化,并且绝大多数化学品可燃且具有不同程度的毒性,造成的事故后果也往往是灾难性的。根据 CEPPO(美国化工事故防治中心)披露的数据,从 1977 年到 2000 年,在 207 个码头危险化学品重大事故中,其中 55%造成了极其重大的后果。不仅如此,进入 2000 年以后,仍然有大量的码头重特大事故发生,如 2005 年的邦斯菲尔德油库大火,烧毁了大量原油储罐,直接经济损失 2.5 亿英镑;2010 年,位于大连新港的一条中石油输油管线在拆装过程中发生泄漏起火,并在几天后发生了复燃,造成了严重的经济损失,同时还污染了附近超过 50 万平方公里的海域,对环境造成极大影响。2013 年,青岛市黄岛区一输油管线发生泄漏,处理过程中由于人员操作不当,使得泄漏的原油流入市政管道,引发爆炸,造成 55 人遇难,油花污染海面面积约有 1 万平方米。这些重大、特大事故不断发生提醒我们,当今石化工业的发展存在巨大的风险。如果不能合理地控制,极容易发生事故,不仅会造成严重的经济损失、延缓经济发展的速度,最重要的是其带来的人员伤亡使许多家庭承受巨大的痛苦。因此,为了有效地预防重大、特大事故的发生,减少人员伤亡和财产损失,需要对石油化工码头的安全生产给予更多的重视。

随着我国石油化工码头向大型化、设备现代化发展和采用新的监测、监控手段,石油化工码头安全防范的措施将主要集中在危险源的辨识与预警上,以做好安全事故的预防。为此需要解决的关键问题则是根据石油化工码头危险源的本质特征及事故发生的演变规律,揭示危险源的分级方法中分级判据、分级挡数和分级界限之间的内在规律,使其辨识和分级结果更加符合危险源的本质特征;寻找并构建

适合于我国石油化工码头的预警模型,建立可以在事故萌芽阶段发出警报、提示决策人员采取预控对策的石油化工码头安全预警系统,从而有效预防石油化工码头灾害事故的发生,确保石油化工码头安全、高效、经济地生产,实现系统本质安全。

本书主要从石油化工码头危险源辨识、石油化工码头可接受风险水平的确定、石油化工码头危险源动态分级、石油化工码头安全预警等4个方面进行了研究和探索,希望研究方法和结果可以为从事石油化工码头安全研究的高校、科研院所,以及石油化工码头的管理企业、一线生产部门提供参考。

本书得到了国家自然科学基金项目(21206064)的资助。本书由交通运输部天津水运工程科学研究院的彭士涛高级工程师、洪宁宁高级工程师、天津理工大学的王晓丽副教授、关文玲副教授共同完成,在本书的完成过程中,交通运输部天津水运工程科学研究院周然高级工程师,天津理工大学的研究生王文杰、崔益源、魏志兵、李潇潇、孙毅和王霞也做了大量的课题研究和书稿的整理编写工作,在此一并表示感谢。

由于作者的水平有限,书中不当之处,敬请读者批评指正!

作者
2015年7月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 石油化工码头危险源辨识与预警	1
1.1.1 我国港口安全生产管理现状	2
1.1.2 开展石油化工码头危险源辨识及预警研究的意义	4
1.2 国内外研究现状	5
1.2.1 危险源辨识的研究现状	5
1.2.2 可接受风险水平研究现状	7
1.2.3 风险等级划分研究现状	10
1.2.4 预警技术研究现状	11
1.3 本书的主要内容	16
本章参考文献	17
第2章 石油化工码头装卸作业危险因素分析	22
2.1 石油化工码头危险因素辨识方法	22
2.2 石油化工码头装卸作业过程危险因素辨识	25
2.2.1 石油化工码头装卸工艺流程简图	25
2.2.2 触电事故危险因素分析	25
2.2.3 车辆伤害事故危险因素分析	28
2.2.4 管道装卸作业火灾和爆炸事故危险因素分析	29
2.2.5 淹溺和高处坠落事故危险因素分析	42
2.2.6 中毒和窒息事故危险因素分析	44
2.2.7 机械伤害事故危险因素分析	46
2.2.8 起重伤害事故危险因素分析	46
2.2.9 储罐区火灾爆炸事故危险因素分析	48
2.3 石油化工码头装卸过程事故致因多因素灰色关联分析	50

2.3.1 石油化工码头装卸作业主要事故类型	51
2.3.2 灰色关联分析方法基本原理	53
2.3.3 灰色关联分析的基本步骤	55
2.3.4 装卸作业事故致因的灰色关联分析模型	55
2.4 本章小结	60
本章参考文献	61
第3章 石油化工码头可接受风险水平的确定	63
3.1 风险评估理论基础	63
3.1.1 风险评估遵循原则	64
3.1.2 风险评估的基本过程	64
3.1.3 石油化工码头装卸过程事故风险评价指标体系的建立	65
3.1.4 石油化工码头装卸过程事故设备失效概率方法的确定	67
3.2 可接受风险水平的界定	69
3.2.1 可接受风险水平的界定原则	69
3.2.2 可接受风险基准的确定	71
3.2.3 个人可接受风险水平的界定	74
3.2.4 社会可接受风险水平的界定	79
3.2.5 利用 MATLAB 确定个人风险计算程序	83
3.3 基于可接受风险准则的安全评价方法在某石油化工码头的应用	85
3.3.1 石油化工码头概况	85
3.3.2 储罐区池火灾事故后果计算	85
3.3.3 储罐区池火灾事故概率计算	89
3.3.4 储罐区个人风险计算	90
3.3.5 储罐区社会风险计算	92
3.4 本章小结	94
本章参考文献	94
第4章 石油化工码头危险源动态分级	97
4.1 动态分级理论	97
4.1.1 自组织人工神经网络危险源动态分级	98

4.1.2	集对分析法危险源动态分级	99
4.1.3	DT 法危险源分级	100
4.2	石油化工码头储罐区危险源分级指标体系的建立	103
4.2.1	泄漏源模型	105
4.2.2	液池蒸发模型	106
4.2.3	事故后果模型	108
4.2.4	石油化工码头储罐区危险源工艺危险度指标	112
4.2.5	石油化工码头储罐区危险源分级指标体系	117
4.3	石油化工码头储罐区危险源分级指标权重确定	118
4.3.1	建立储罐区危险源分级层级结构模型	118
4.3.2	构造分级判断矩阵	118
4.4	基于 DT 法的石油化工码头储罐区危险源动态分级实例应用	120
4.4.1	港区概况	120
4.4.2	化学品有害特性分析	121
4.4.3	储罐区危险源动态分级计算	122
4.4.4	变化条件下的危险源分级	126
4.5	基于 LabVIEW 的石油化工码头储罐区危险源分级系统设计	127
4.5.1	液池泄漏模型在 LabVIEW 虚拟机中的实现	127
4.5.2	池火灾伤害模型在 LabVIEW 虚拟机中的实现	129
4.5.3	液体蒸发模型在 LabVIEW 虚拟机中的实现	131
4.5.4	蒸气云爆炸模型在 LabVIEW 虚拟机中的实现	134
4.5.5	高斯烟团模型在 LabVIEW 虚拟机中的实现	134
4.5.6	DT 分级主程序在 LabVIEW 虚拟机中的实现	138
4.6	本章小结	143
	本章参考文献	144
第 5 章	石油化工码头安全预警系统	146
5.1	安全预警系统简介	146
5.1.1	安全预警内涵及特点	146
5.1.2	安全预警管理理论的方法体系	148

5.1.3 安全预警运转模式及机制	149
5.2 石油化工码头安全预警指标体系	153
5.2.1 预警指标体系构建的原则	154
5.2.2 预警指标体系构建的步骤	155
5.2.3 石油化工码头储罐区预警指标体系	155
5.2.4 石油化工码头装卸过程预警指标体系	167
5.3 预警指标权重的确定	170
5.3.1 石油化工码头储罐区预警指标权重的确定	171
5.3.2 石油化工码头装卸过程预警指标权重的确定	174
5.4 石油化工码头预警的可拓综合模型	178
5.4.1 可拓理论基本概念	178
5.4.2 可拓理论综合模型	178
5.5 实例应用	180
5.5.1 基于可拓理论的石油化工码头储罐区安全预警实例应用	180
5.5.2 基于可拓理论的石油化工码头储罐区装卸过程安全预警实例应用 ...	186
5.6 本章小结	192
本章参考文献	192
第 6 章 预警系统在 LabVIEW 中的实现	195
6.1 系统登录界面	195
6.2 系统主界面	196
6.2.1 视频监控单元	196
6.2.2 实时监测单元	197
6.2.3 非实时监测单元	201
6.3 本章小结	204

第1章 绪论

本书以我国石油化工码头为背景,在对我国港口安全生产现状分析的基础上,论述了开展石油化工码头危险源辨识、分级及预警研究的意义,并详细介绍了国内外危险源辨识、可接受风险水平、动态分级及预警技术的研究现状。

1.1 石油化工码头危险源辨识与预警

生产安全事故不仅危害人民群众的生命安全,也会带来经济损失和环境污染。这一点,已被国家、社会所认识。我国的安全生产方针在改革初期是“生产必须安全、安全为了生产”、1987年提出了“安全第一,预防为主”的方针,2014年新修订的《中华人民共和国安全生产法》所确立了“安全生产工作应当以人为本,坚持安全发展,坚持安全第一、预防为主、综合治理的方针”。这一方针的改变,以及所采取的一系列有效的安全生产措施,充分体现了我国安全生产工作不同时期的不同目标和工作原则。

随着我国国民经济的快速发展,居民生活质量的提高,石油及其他石油产品已经成为我国需求最大和增长最快的能源。为满足石油、化学品海运发展的需求,我国石油化工码头和仓储业务迅速发展起来,各地区纷纷建设了石油化工码头并投入运行,形成了一定规模的石油、化学品运输港区。其装卸储运的货种中,除原油及成品油外,常运的化学品有上百种,主要分为六大类:苯类,醇类,酮类,酯类,卤代烃,其他如丙烯腈、环氧乙烷等。液化气货种中有液化石油气、液化天然气、丙烯、丁二烯等。这些化学品普遍具有易燃性,易爆性,较大的蒸气压,易积聚静电荷性,易扩散、流淌性和毒性^[1]。一旦发生事故,会给环境、社会带来惨痛的、难以弥补的不幸。如1983年英国米尔福德港的储油罐扬沸火灾事故^[2]、2010年大连新港原油储备基地103号罐体燃烧事故和2013年中石油大连石化分公司油渣罐爆炸事故等。

1.1.1 我国港口安全生产管理现状

纵观我国改革开放以来的安全生产形势,全社会确实在安全生产观念和认识上有较大的强化和转变^[3]。十六大以来,党和政府以人为本、关注民生,把安全生产作为当前人民群众最关心、最直接、最现实的问题之一,采取一系列重大举措加强安全生产工作。胡锦涛总书记在党的十七大报告中进一步提出了要坚持走“安全发展”的道路;习近平同志在党的十八大报告中针对安全生产问题提出了强化红线意识,实施安全发展战略的重要论述。各级党委政府也对安全生产管理高度重视,加强领导,落实责任;各重点企业和广大生产经营单位依法依规、履行职责;社会各界关注支持、参与监督。在政府的领导下,港口安全生产管理法律体系得到建立和完善,安全责任不断健全,安全生产状况趋于稳定好转。

(1) 我国港口安全生产特点

港口作为水陆运输的枢纽,是货物的中转集散地,工作环节多,作业环境复杂,涉及面广,综合性强。其安全生产的特点如下^[4]:

①安全操作工艺的多样性。港口安全生产是一个人、机、货、船、环境等要素组成的相互交叉、错综复杂的母系统,各个子系统都要有一整套安全操作规程及制度,由此形成了复杂多样的操作工艺。

②安全事故的多发性。由于港口装卸生产的复杂性增加了安全管理的难度,使港口装卸生产的事故具有多发性、随机性和严重性的特点。根据对不同行业工伤事故的统计分析,港口生产作业是危险性较大、事故发生频率偏高的行业。

③安全管理方法的动态性。港口装卸生产的特点,决定了港口安全管理方法必须是同步的、动态的。港口安全管理应当是一种能够随外界环境改变、内部条件变化而不断改进和完善的动态系统。

④安全管理组织的复杂性。港口安全管理涉及多个层面,包括各个部门及其子系统的全面、系统管理。不同安全组织机构之间,各个职能部门之间存在着纵横交叉的职责权能关系。由于这种职责权能的交叉性,安全管理机构的运作不可避免地存在各种各样的矛盾、冲突与不协调。在各个组织部门之间建立一种协调机制,尽可能减少因组织、部门冲突造成的能量(人、财、物)损耗与效率降低,是港口安全组织机构优化的一项重要内容。

(2) 我国港口安全生产管理法律体系健全完善

近几年来,随着港口企业安全生产管理的不断深入和提高,各项安全生产规章制度已经基本建立和健全,为保证安全生产、预防生产安全事故起到了很重要的作用^[5]。

2014年修订的《中华人民共和国安全生产法》(以下简称《安全生产法》)是全面规范我国安全生产工作的一部综合性大法。该《安全生产法》与先前颁布的《中

华人民共和国劳动法》(1994年颁布,1995年实施)、《中华人民共和国消防法》(2008年颁布,2009年实施)、《中华人民共和国职业病防治法》(2011年)、《中华人民共和国港口法》(2003年颁布,2004年实施)等法律,国务院颁布的《国务院关于特大安全事故行政责任追究的规定》(2001年)、《安全生产许可证条例》(2004年)、《港口危险货物安全管理规定》(2012年颁布,2013年实施)、《中华人民共和国船舶载运危险货物安全监督管理规定》(2003年颁布,2004年实施)、《危险化学品安全管理条例》(2011年)等有关港口安全生产管理的行政法规,国务院有关部门颁布的规章,各省、自治区、直辖市颁布的地方性法规以及安全生产标准,构成了我国港口安全生产管理法律法规体系。目前港口安全生产管理各个方面、各个环节的工作,基本上都可以做到有法可依、有章可循。

(3) 我国港口安全生产管理制度不断健全

2001年11月,国务院办公厅转发了交通部等部门《关于深化中央直属和双重领导港口管理体制改革的意见》(以下简称《意见》)(2001年)。该《意见》要求,通过这次体制改革,形成较为合理的港口管理体系,总体框架是:政府部门对港口实行分级管理;在统一的行政管理下,形成多元化的投资主体,按照港口规划建设港口;港口企业作为独立的市场主体,依法从事经营。经过多年的改革和发展,港口企业和政府有关部门对港口生产安全的责任更加明确。

①港口企业的安全生产管理责任。港口企业作为具体从事港口生产的单位,负有确保生产安全的义务和责任。《中华人民共和国港口法》(2003年颁布,2004年实施)主要针对港口作业的特点和港口安全生产管理的现状,让港口企业必须依照《安全生产法》(2014年)等有关法律、法规和国务院交通主管部门有关港口安全作业规则的规定,加强安全生产管理,建立健全安全生产责任制等规章制度,制定相关的应急救援预案,完善安全生产条件,采取保障安全生产的有效措施,确保生产安全^[6]。新《安全生产法》(2014年)修改后,把明确安全责任、发挥生产经营单位安全生产管理机构和安全生产管理人员作用作为一项重要内容,做出三个方面的重要规定:一是明确委托规定的机构提供安全生产技术、管理服务的,保证安全生产的责任仍然由本单位负责;二是明确生产经营单位的安全生产责任制的内容,规定生产经营单位应当建立相应的机制,加强对安全生产责任制落实情况的监督考核;三是明确生产经营单位的安全生产管理机构以及安全生产管理人员履行的七项职责。此外,《危险化学品安全管理条例》(2011年)、《港口危险货物安全管理规定》(2012年颁布,2013年实施)等有关法律法规都就企业安全生产管理责任问题做出了明确的规定,港口企业进行生产作业必须遵守上述法律、法规和规章的规定。

②政府部门对港口安全生产的责任。《中华人民共和国港口法》(2003年颁布,2004年实施)规定,港口行政管理部门应当依据《中华人民共和国港口法》

(2003 年颁布,2004 年实施)、《安全生产法》(2014 年)、《危险化学品安全管理条例》(2011 年)和交通部有关港口安全生产管理的规章,做好港口安全生产的监督管理^[6]。港口行政管理部门做好安全生产工作不仅要严格按照有关法律、法规规定把好审批、审核关,还要针对港口的实际,主动对旅客上下集中、货物装卸量较大或者有特殊用途的码头进行重点巡查,并依法制定港口危险货物事故应急预案、重大生产安全事故的旅客紧急疏散和救援预案以及预防自然灾害预案,建立健全港口重大生产安全事故的应急救援体系。港口行政管理部门在监督检查中发现安全隐患的,应当根据隐患的危害程度和排除的难度责令有关被检查的单位和人员立即排除或限期排除。除港口行政管理部门要依据港口法和有关法律、法规的规定对港口安全生产实施监督检查外,《安全生产法》(2014 年)还规定县级以上政府安全监督管理部门对本行政区内的安全生产工作实施综合管理,包括对港口安全生产的综合管理。此外,港口消防工作还要接受港口公安或地方公安消防部门的监督检查,进出港口的船舶、货物还要接受海事、检验检疫等有关部门监督检查^[7]。

安全发展战略已经成为党和国家践行科学发展观和构建社会主义和谐社会的重要内容。在党中央、国务院的正确领导下,通过全社会各方面的共同努力,近年来,我国港口企业的安全生产能力和安全生产管理水平都有了较大的提高,港口生产安全重特重大事故及主要港口的年千人死亡率和每百万吨货物吞吐量生产安全事故死亡率也都在逐年下降^[5],港口安全生产形势平稳。

1.1.2 开展石油化工码头危险源辨识及预警研究的意义

石油化工码头运输、装卸、储存等作业环节是人、机、环境交互作用的一个复杂动态系统,系统中各种要素不断变化和发展,具有作业点多、线长、分散、受人为、环境因素影响大的特点,加之生产的高度连续性、复杂性,以及石油化工产品种类繁多和自有的化学特性,使其动态模式下的危险源不易辨识,容易疏于防范,是造成石油化工码头重特重大事故发生的主要因素。因此,对石油化工码头的危险源进行辨识和定量分析评价,并及时采取相应的防范措施,才能从源头上规避和防止重特重大事故的发生,保障石油化工码头安全、高效运行,促进石油化工运输行业的健康发展。如果不重视石油化工码头危险源的辨识与防范工作,一旦发生安全事故,就会给社会在人员、经济、环境等多个方面造成不可估量的损失。如 1989 年 8 月 12 日山东省青岛市黄岛油库发生特大火灾事故,烧掉原油 3.6 万吨,烧毁油罐 5 座,19 人死亡、78 人受伤,造成直接经济损失 3550 万元,间接损失 8500 万元;1997 年 6 月 3 日,南京港大庆 243 号油船发生原油爆炸起火事故,导致约 1000t 燃油泄漏,造成重大经济损失^[8]。2010 年 7 月 16 日,大连新港附近的大连中石油国际储运有限

公司原油罐区输油管道发生爆炸,造成原油大量泄漏并引起火灾,事故造成 50 km² 海面污染,溢油量超万吨,创下中国海上溢油事故之最,给邻近海域的生态环境造成毁灭性的影响^[9]。这些重特大事故表明,石油化工码头一旦发生事故,将对人员、环境和区域社会经济造成巨大的威胁和破坏作用。

通过对石油化工码头事故资料收集和现场调研发现,石油化工码头大部分的重特大事故都是发生在运输、装卸、储存等动态作业过程中,不同的作业状态下危险源表现出来的风险水平不同,即危险源处于实时动态变化的过程中。传统的危险源辨识的对象是静态的,如仓库,其存储物品具有一定数量恒定的特点,管理人员也是固定的。相反,石油化工码头具有动态特点,不仅表现为石油化工产品的类型和数量是动态的,而且人员也是流动的,具有动态特征。此外,各种装卸、储存设施也存在老化的现象,也是一种动态变化特征。上述特点使得石油化工码头的危险源具有实时变化的动态特征。我们先前的研究表明,对码头储运安全危险性的评价仅在建成码头之初进行,随着码头的使用,装卸储运设施磨损老化,当初做的危险性评价已经无法客观的反映现实情况,致使对码头生产系统存在的实际潜在隐患难以准确识别。此外,石油化工码头装卸的石油化工产品种类繁多,一旦发生泄漏后其混合化学品的性质复杂多变,且其潜在危害较大^[9]。

本书在收集相关资料和分析历年石油化工码头重特大事故原因的基础上,对石油化工码头危险源辨识方法进行系统研究,提出一套适用于我国石油化工码头危险源的辨识方法和动态分级方法,并构建了石油化工码头重大危险源动态安全预警模型,为石油化工码头安全防范与保障提供有力的技术支撑^[10-15]。其主要的研究意义在于:开展危险源辨识方法的研究有助于掌握石油化工码头各种危险源,揭示其内在的本质特征及事故发生演变规律,正确分析评估石油化工码头危险源的危险特性;开展石油化工码头动态分级方法的研究,揭示危险源的分级判据、分级挡数和分级界限之间的内在规律,有助于实施石油化工码头危险源的动态分级和安全防范;开展石油化工码头安全预警系统研究,构建石油化工码头安全预警模型,根据石油化工码头现场实际,解决动态预警模型中参数修正的关键问题,对有效防范石油化工码头重特大事故的发生,提升我国石油化工码头现代化管理水平,实现从源头上规避石油化工码头重大事故发生具有重要现实意义。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 危险源辨识的研究现状

危险源的定义最早由 W.Hammer 提出,他定义为“可能导致人员伤害或财产损

失事故的、潜在的不安全因素”；我国研究安全科学的学者定义危险源为“具有潜在危险性的物质与能量，并可能对人身、财产、环境造成危害的设备、设施或场所”。可以看出，尽管对于危险源的定义有所不同，但是其核心是“造成事故的潜在危险”。在危险化学品危险源辨识方面，国外采用的是1982年由欧共体颁布的《赛维索法令》(ECC Directive 82/501)^[16]。该法令为日常生产过程、常用运输和存储中最常涉及的危险物质(共180种)设定了临界量，规定超出的单元即为危险源，并对其设定了三个危险等级，并针对不通级别提出了相应的控制措施^[17]。

为了执行《赛维索法令》，欧共体成员国针对该法令颁布了危险源的控制措施，要求辨识和评价生产加工过程中涉及到的危险源，并在此基础上提出相应的事故预防措施和紧急救援计划。国际劳工组织(ILO)于1988年出版了《危险源控制手册》，1991年颁布了《预防重大工业事故细则》，并于次年召开了国际劳工组织大会，会议重点探讨了工业生产过程中重大事故的成因和预防办法，最终签订了预防工业重大事故公约，该公约的形成成为危险源的控制奠定了基础；为了更好地辨识危险源，美国于1992年颁布了《高度危险化学品处理过程的安全管理标准》(PSM)，并由美国环保署发布了《预防化学泄漏事故的风险管理程序》(RMP)标准；印尼、马来西亚、澳大利亚等国也先后制定了适合于本国具体情况的工业危险源国家控制标准。

2000年，根据现有的安全生产的发展情况，我国制定了适合本国国情的危险源辨识标准(GB 18218—2000)^[18]，并于2009年对其进行了修改(GB 18218—2009)^[19]。从新标准名称的修改可以看出，我国已对辨识对象进行了重新定位。同时，标准对其适用范围也做出了新的界定：加入了矿业工程中危化品及其加工工艺的辨识标准；将海洋油气开采工业划入了不适用的范围。新标准不再将生产场所和储存场所的危险单元分开进行辨识，二者的临界量也改为统一划定，并借鉴了国外提供的参考标准。经修订过的新标准改进了以往标准中的一些不足之处，更利于标准的实施和操作。

危险源辨识的方法^[20]主要有：

- (1)安全检查表法(SCL法)；
- (2)工作危害分析法(JHA法)；
- (3)失效模式与影响分析法(FMEA法)；
- (4)危险与可操作性分析法(HAZOP)；
- (5)预先危险分析法(PHA法)；
- (6)故障假设分析法(WI法)。

这些方法适用于不同系统、不同阶段和不同场合的危险辨识。

1.2.2 可接受风险水平研究现状

英国、荷兰、美国、澳大利亚等国均已制定了适用于水库、大坝、油气管道、工厂以及核设施等方面的可接受风险标准。我国在这方面起步较晚,有学者对大坝、地震以及安全生产等方面的可接受风险标准进行了探讨^[21-29],有些学者还提出了部分标准的建议值^[24-26,30-32],但总体而言,我国除香港等少数地区外,还没有建立起完整的可接受风险标准体系。通过对国内外现行的可接受风险标准的研究方法分析、归纳,可将各种方法归纳为如下几类:基于风险承受者的方法,基于风险现实状况的方法,基于可接受风险的标准等某一方面或者某几方面结合起来制定可接受风险标准。

(1) 基于风险承受者主观愿望的制定方法

这类方法考虑的是风险承受者的意愿和态度,以其意愿和态度确定可接受风险标准。可分为主观意愿法和客观影响法。

①主观意愿法。主观意愿法主要考虑风险承受者愿意接受多大的风险,当然,接受某种风险应有相应的直接或间接收益。这种方法主要采用问卷调查的形式。香港土力工程处(GEO)曾就滑坡灾害以问卷的形式,向公众了解可以接受的滑坡灾害风险水平。由于滑坡灾害是公众非自主性的灾害(即被动性的,不像交通事故等死亡事件是由当事人造成的),所以公众可以接受的滑坡灾害伤亡年概率很低,为 $10^{-5} \sim 10^{-6}$ ^[33];文献[34]也采用了问卷调查的方法,根据公众对环境风险的认知得出公众对风险是否可接受。

②客观影响法。客观影响法指主要考虑某一事件的社会影响,即社会的态度。从事这方面研究的代表人物有加拿大的Lind等人。Lind从社会影响的角度,选择一个合适的社会指数,以便能比较准确地反映社会或一部分人生活质量的某些方面。他推荐了生命质量指数LQI(Life Quality Index)。这种方法本质上是认为一项活动对社会的有利影响应当尽可能大,但计算比较复杂。

(2) 基于风险现实状况的制定方法

①统计法。根据历史统计数据,通过数据的纵向比较,最终确定可接受风险标准。这种方法较为简单,而且与客观风险值相一致,故我国学者很多倾向于采用这种方法。文献[30]认为可以通过统计得出个人风险的上限(可接受风险限)和下限(可忽略风险限)。通过研究英国和美国的个人风险统计表,将可接受风险标准设为 10^{-3} ,可忽略风险标准设为 10^{-6} 。文献[31]认为可接受风险标准的确定主要是在历史数据统计中得到,而我国目前在这方面的资料比较匮乏,所以应借鉴国外的个人可接受风险标准和社会可接受风险标准,并采用这种方法得到我国城镇公共安全规划最大可接受风险标准值。文献[32]采用失效概率作为社会可接受风

险标准的指标,根据化工行业风险水平统计值 $8.33 \times 10^{-5}/a$ 提出我国化工行业最大可接受风险值为 $10^{-4}/a$ 。文献[35]指出,在管道行业中,搜集已评估过的状况相似的管线或区段的评估结果,计算出其平均值,将均值上下浮动 $x\%$,即可分别获得标准的上下限。在资料匮乏情况下,通过对现状进行打分,将平均分值作为风险均值,进而计算出风险上下限。

②对比法。根据不同类型风险之间的对比,即横向对比,确定标准的方法称为对比法。对比法是一种最直接的方法,也应用得最广。它通过比较各种危害的年度死亡概率,得到各种危害的死亡风险。The Royal Commission Environmental Pollution(1987年)通过对一定年份致死率的比较得出了可接受风险水平与不可接受水平的列表。致死率小于 10^{-6} 的被认为是可以忽略的,大于 10^{-3} 的被认为是不可接受的,介于二者之间的风险需要发出警告或采取相应措施^[36]。对比法的一种特例是在评价新设施的破坏风险是否可以接受时,将其与可看作是不可抗拒的风险和其他一些原因所造成的不可避免的风险进行比较。例如,澳大利亚1994年颁布的风险评价指南中提出的个人生命风险值:人的生命存在着不可抗拒的死亡风险,随着年龄的增长(大于10岁)风险率增加,10岁的风险约为 8×10^{-4} ,60岁为 2×10^{-2} 。

③分析法。分析法指分析产生风险的系统,在此基础上制定可接受风险标准的方法。文献[35]从ALARP原则的经济本质出发,认为应该建立一个工业安全工作中投入(安全措施投资)和产出(工业系统的风险水平)之间数量关系的风险函数,根据规模收益规律确定可接受风险标准的上限和下限。但由于安全经济学发展情况的制约,目前还没有建立起安全投入与安全产出的关系函数,所以这种方法还只是理论上的,在实际中不可操作。另外,这种方法不考虑人的承受情况,单纯考虑系统本身,以经济最优为目标,所以在制定标准时有一定的缺陷。

(3)协调平衡法

对于人为风险,风险标准实际上是风险提供者和风险承受者之间博弈的结果。协调平衡法是指协调这两方面而形成标准的方法。

①相关方协商法。这种方法指协调风险提供方和风险承受方立场的方法。可接受风险标准建立的目的是为了调和这两方面的矛盾,所以这种方法应是最为合理的一种。英国健康和安委会(HSE)根据其丰富的经验,在各利益相关者赞同的情况下,制定了可接受风险标准:可忽略风险水平与人们日常生活中所面对的微不足道的风险水平大致一样,相对于每年 10^{-2} 的生命风险, 10^{-6} 是一个很低的水平,故可以将其作为公众和员工的可忽略风险标准;可接受风险水平的划分重点考虑了各方面利益, 10^{-3} (员工)和 10^{-4} (公众)为各利益相关方所接受,将其