

高等院校『十一五』安全工程专业规划教材



风险工程学

FENGXIAN GONGCHENGXUE

陈国华 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

高等院校“十一五”安全工程专业规划教材

风险工程学

陈国华 编著

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要包括: 风险辨识, 风险分析, 风险评价, 风险控制与管理, 事故预测预防与风险预警理论, 风险分析与管理的不确定性理论。并采用读者容易理解的体系和叙述方法, 深入浅出, 循序渐进地帮助读者把握风险工程学的主要内容, 具有系统性、实用性的特点。本书既可作为安全工程、消防工程、防灾与减灾等相关专业的大学高年级本科生和研究生的教材, 也可作为从事安全生产管理、安全规划、事故调查与应急救援的企业安全生产技术人员、安全管理人员和咨询人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

风险工程学 / 陈国华编著. —北京: 国防工业出版社,
2007. 6

高等院校“十一五”安全工程专业规划教材
ISBN 978 - 7 - 118 - 05141 - 4

I. 风… II. 陈… III. 安全工程 - 高等学校 - 教材
IV. X93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 056961 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经营

•

开本 787 × 1092 1/16 印张 18 1/4 字数 415 千字

2007 年 6 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 32.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

国防书店: (010) 68428422

发行邮购: (010) 68414474

发行传真: (010) 68411535

发行业务: (010) 68472764

《高等院校“十一五”安全工程专业规划教材》 编委会

主 编 陈国华

副主编 马小明

编 委 陈国华 马小明 田 震 丁 峰

狄建华 甄 亮 刘定福 姜立春

陈小董 方观贤 黄石茂

总 序

安全生产作为保护和发展社会生产力、促进社会和经济全面协调可持续发展的基本保障,是社会、政治文明与进步的重要标志和全面建设社会主义和谐社会、小康社会的本质内涵。胡锦涛总书记在党的十六届五中全会上指出:“把安全发展作为一个重要理念纳入社会主义现代化建设的总体战略,是我们党对科学发展观认识的深化。”为贯彻“安全发展”的理念和指导原则,就要融入国家、地方、部门和行业、企业的发展战略和中长期规划;要坚持标本兼治,重在治本。因此,在科技发展和工业化时期,为遏制重特大安全事故,探寻和采取治本之策成为关键。一方面,要综合运用经济手段、法律手段和必要的行政手段,建立安全生产长效机制;另一方面,要从发展规划、行业管理、安全投入、科技进步、教育培训、安全立法、激励约束、企业管理、监管体制、社会监督以及追究事故责任、查处违法违纪等方面着手,解决影响制约安全生产的历史性、深层次问题,筑牢保护人民群众生命财产安全的保障工程。

唱响安全发展,以安全生产基础理论研究为突破口,加强安全生产理论创新,对加强安全生产尤为重要。安全专业的高等教育是培养安全类人才的主要途径,是安全发展的基础,也是搞好安全工作的重要保证。安全类专业的学生在现在以及将来相当一段时间内,必将成为搞好企事业单位安全生产和安全管理不可或缺的重要力量。我国安全工程专业本科教育从20世纪50年代开始,至今已经具有相当规模,目前全国设置“安全工程”专业教育的院校有近100所。1999年华南理工大学在华南地区率先成立了安全科学与工程研究所,2000年招生培养首届安全工程专业本科生,2003年招生培养首届安全工程硕士研究生,已成为广东省安全工程专业学历教育的重要基地。安全科学与工程研究所组织骨干教师,根据安全工程专业人才的培养目标及对其知识体系的要求,并结合他们多年的科研实践和教学经验,编写“高等院校‘十一五’安全工程专业规划教材”。通过学习本套教材,反映本教材以安全科学的哲学思想、系统科学的方法论为基础,以安全工程技术基础及体系为主线,以启发学生的科学思维和创新思维为原则,从工程系统安全的角度确定安全工程专业教材所涵盖的主要内容,从不同的研究领域和角度反映安全科技最

新成果及其发展趋势,形成安全工程科学的总体思维,为从事安全工程技术及管理工作奠定坚实的基础。

“高等院校‘十一五’安全工程专业规划教材”全套教材包括《风险工程学》、《危险化学品安全管理与定量风险评价》、《安全管理信息系统》、《企业安全管理》、《化工过程安全》、《安全控制原理与测试技术》、《事故调查分析与应急救援》、《火灾爆炸预防》、《机械及电气安全》、《职业病预防》等,涵盖了安全工程技术的多个领域,并结合大量的工程应用案例进行讲解,突出了教材的实用性,尤其在石油化工、机械电气、安全管理等方面具有鲜明的特色。本套系列规划教材可供高等院校安全工程专业不同层次的学生使用,亦可供涉足安全领域的监管人员和教研人员参考。

他山之石,可以攻玉。安全是21世纪的主题,作为培养安全类专门人才的高等院校任重而道远。本套系列规划教材的出版发行,必将为我国安全工程专业的教学发展起到良好的推动作用,对安全生产工作切实转到坚持原则、突出重点、狠抓教育、完善制度、强化监督、深入整治、落实责任的安全发展轨道也有裨益,为提高我国安全生产管理水平和推动国民经济持续安全稳定发展做出新的探索。

广东省安全生产监督管理局局长



2007年3月于广州

前 言

随着社会的进步和生活水平的提高,人们对于安全的需求日益增大,安全意识逐步提高。把安全生产、职业安全健康的管理、教育、科研和技术提高到更科学、理性、高效和精确的层次及水平,已成为时代的呼唤和要求。为此,我国越来越多的高校增设了安全工程专业,培养安全工程专业高素质人才,以便更好地为安全生产工作服务。

风险工程学作为一门新兴学科,近年来迅猛发展,受到国际学术界、工程界和经济界的高度重视。其内容主要是针对生产中的风险,研究如何通过安全生产计划、组织、指挥、协调和控制等,减少事故发生及其损失,将危险带来的挑战转化为安全性机遇,其最终目标是力争化险为夷,达到保障企业员工尽可能安全和健康的目的。从技术路线上,风险工程学的研究领域大致可分为风险辨识、风险分析、风险评价、风险控制和风险管理等5个部分。

风险工程学是安全工程专业学生的核心课程。为适应安全工程人才培养的需要,我们编写这本《风险工程学》。其主要目的是使读者理解风险工程学的基本概念和原理,初步掌握风险辨识、风险分析与风险评价的方法和流程,懂得在实际安全生产工作中运用风险控制与管理技术,充分整合和利用所具有的资源,减少和控制生产中的危害,达到最低的事故率、最少的损失和最优的安全投资效益。

本书是在编者多年来从事安全工程本科生、研究生相关课程教学经验以及相关领域长期研究成果的基础上编写而成。全书共分为8章。其中第1、2章主要介绍了风险工程学常用的基本概念和理论,以及风险辨识的原理和方法,并给出了进行风险辨识工作可以参照的方法步骤。第3章~第5章重点介绍了常用的定性、定量风险评价方法,并在此基础上详细讲述了重大工业事故后果模拟评价的基本方法和基本模型。第6章主要介绍了风险管理的发展、原理、方法和控制技术以及风险文化等内容。第7章、第8章主要介绍了事故预测预防、风险预警理论和技术方法以及工程系统风险分析与管理不确定性的基本概念等内容。

全书力求特色鲜明,突出整体性和系统性。不仅强调了风险辨识、风险分析、风险评价、风险管理与控制等基本内容,对风险评价范式、肯特管道风险评价方法、DNV 定量风险评价方法和模糊综合评价法等新理论和新技术也进行了较深入的讲解。此外,书中还详细介绍了风险预警与工程系统不确定性等知识和理论,为深入探索事故风险深层原因、制定风险预防和预警措施以及研究工程系统不确定性提供了行动指南。全书思路清晰,语言深入浅出,对复杂问题、抽象理论、复杂方法和技术大多辅以实例阐述,有助于读者理解、吸收和应用。

在本书的编写过程中,我的研究生张瑞华、成松柏、韩光胜、樊茂飞和郑绵彬等在资料收集和整理过程中付出了辛勤劳动。本书参考了国内外安全工程领域的研究成果,列于参考文献,谨向原作者和出版社致以崇高的敬意和诚挚的感谢。

由于风险工程学涉及领域非常广泛,风险工程学理论和方法体系还在不断研究和探索,虽然编者在教材的系统性、整体性、前瞻性和实用性等方面付出了极大的努力,也做了一些有益的尝试,但是由于编者学术水平有限,加之时间仓促,书中难免存在疏漏和错误,恳请专家学者和广大读者批评指正。

编 者

2007 年 3 月于广州

目 录

第1章 风险工程学基础	1
1.1 风险及相关术语	1
1.1.1 风险的定义	1
1.1.2 风险的构成要素	1
1.1.3 相关术语	2
1.2 风险辨识(系统分析)	3
1.3 风险评价	4
1.4 风险控制与管理	5
1.4.1 风险控制	5
1.4.2 风险管理	5
1.5 风险可接受准则	5
1.5.1 制定风险接受准则的基本原则	5
1.5.2 风险评价标准	6
1.6 风险评价范式	8
1.6.1 法律准则	9
1.6.2 基于保险的范式	9
1.6.3 基于资产的范式	10
1.6.4 基于威胁的范式	10
1.6.5 基于市场的范式	11
1.6.6 基于最佳实践方案的范式	11
1.6.7 基于模拟的范式	11
1.6.8 基于风险文化的范式	12
1.6.9 各种范式的综合运用	13
第2章 风险辨识	15
2.1 概述	15
2.2 风险的分类	15
2.3 风险的状态	17
2.4 风险的层次	18
2.4.1 危险源	19

2.4.2	可接受风险水平	19
2.4.3	安全管理因素	20
2.4.4	安全技术	21
2.4.5	法律法规的约束	21
2.5	风险辨识的原理	21
2.5.1	风险辨识的基础	21
2.5.2	危险源辨识	26
2.6	风险辨识的方法	32
2.6.1	风险辨识的程序	32
2.6.2	风险辨识的范围	33
2.6.3	风险辨识的方法	33
第3章	定性风险分析方法	37
3.1	安全检查表法	37
3.1.1	概述	37
3.1.2	安全检查和安全检查表	37
3.1.3	分析步骤	39
3.1.4	方法特点	39
3.1.5	方法示例	40
3.2	预先危险性分析法	45
3.2.1	方法介绍	45
3.2.2	分析步骤	46
3.2.3	特点和适用范围	46
3.2.4	方法示例	47
3.3	故障假设/检查表法	48
3.3.1	故障假设	48
3.3.2	方法介绍	49
3.3.3	分析步骤	49
3.3.4	特点和适用范围	50
3.3.5	方法示例	50
3.4	危险性和可操作性研究	54
3.4.1	概述	54
3.4.2	引导词	55
3.4.3	分析步骤	56
3.4.4	特点和适用范围	56
3.4.5	方法示例	57
3.5	半定量风险评价方法	59

3.5.1	人因失误及可靠性分析	59
3.5.2	作业条件危险性评价法	61
3.5.3	故障类型、影响及致命度分析	64
第4章	定量风险评价方法	74
4.1	典型危险指数评价法	74
4.1.1	概述	74
4.1.2	危险度评价法	74
4.1.3	道化学火灾、爆炸指数评价法	76
4.1.4	ICI 蒙德法	86
4.1.5	肯特长输管道风险评价法	100
4.2	逻辑分析法	115
4.2.1	事故树分析	115
4.2.2	事件树分析	124
4.3	DNV 定量风险评价软件	127
4.3.1	概述	127
4.3.2	评价方法与步骤	127
4.3.3	评价方法特点	128
4.3.4	应用实例	129
4.4	其他风险定量评价方法	137
4.4.1	风险矩阵法	137
4.4.2	概率危险评价法	140
4.4.3	模糊综合评价法	144
第5章	事故后果模拟方法	150
5.1	概述	150
5.2	泄漏模拟	154
5.2.1	液体泄漏	154
5.2.2	气体泄漏	155
5.2.3	两相流泄漏	156
5.3	扩散模拟	156
5.3.1	扩散判断准则	157
5.3.2	液体的扩散	159
5.3.3	重气云扩散模型	161
5.3.4	非重气云扩散模型	164
5.4	火灾事故模拟	166
5.4.1	喷射火	166
5.4.2	池火	168

5.4.3	闪火	170
5.4.4	固体火灾	172
5.5	爆炸事故模拟	172
5.5.1	物理爆炸	172
5.5.2	凝聚相爆炸	174
5.5.3	蒸气云爆炸	178
5.5.4	沸腾液体扩展蒸气爆炸	185
5.6	中毒模拟	187
5.7	伤害准则	189
5.8	事故后果模拟应用实例	192
5.8.1	后果模拟对象选取	193
5.8.2	丙烷球罐事故后果模拟	193
第6章	风险管理	201
6.1	概述	201
6.1.1	风险管理的定义	201
6.1.2	风险管理的目标和任务	202
6.2	风险管理原理	204
6.2.1	风险管理的程序	204
6.2.2	风险管理组织	207
6.3	风险管理方法和控制技术	212
6.3.1	风险管理方法	212
6.3.2	风险控制技术	213
6.4	工程系统的风险管理	216
6.4.1	影响工程系统质量的因素分析	216
6.4.2	工程系统质量责任风险管理	217
6.4.3	安全责任风险管理	218
6.5	风险管理文化	219
6.5.1	风险文化的起源与发展	220
6.5.2	风险文化的定义和特征	221
6.5.3	风险文化的学科组成框架	223
6.5.4	风险文化的功能和作用	224
6.5.5	风险文化的建设	226
6.6	工程风险管理实例	229
6.6.1	工程应用概况	229
6.6.2	柴油加氢项目建设施工阶段风险识别	231
6.6.3	柴油加氢项目建设施工阶段风险分析及评价	233

6.6.4 柴油加氢项目建设施工阶段风险控制	236
第7章 事故预测预防与预警	239
7.1 概述	239
7.1.1 事故特征	239
7.1.2 生产事故原因分析	240
7.2 事故预测预防	243
7.2.1 事故预测	243
7.2.2 事故预防原理	245
7.2.3 事故预防措施	248
7.2.4 重大事故应急救援	253
7.3 风险预警原理	259
7.3.1 风险预警基础	259
7.3.2 风险预警作用	262
7.3.3 风险预警系统	264
第8章 风险分析与管理不确定性	269
8.1 不确定性与风险	269
8.2 风险分析的不确定性因素	270
8.3 风险分析不确定性分类	270
8.4 影响风险管理的不确定性因素	272
8.5 风险分析管理的不确定性处理方法	272
8.5.1 掌握不确定性因素与风险的规律	272
8.5.2 减小不确定性因素的影响程度	273
8.5.3 人为失误控制、减小系统误差等控制措施	274
8.5.4 不确定性风险量化	276
参考文献	277

第 1 章 风险工程学基础

1.1 风险及相关术语

1.1.1 风险的定义

“风险”一词早在 17 世纪就已经出现,它来自于西班牙的航海术语,意思是指航海时遇上危机或触礁,反映了资本主义早期商贸航行活动中的不确定性因素。随着社会的发展,“风险”这一概念的含义不断得以丰富。当前,对于风险的概念可以从经济学、管理学、保险学等不同的角度去认识。风险常被用于描述人们的财产受损和人员伤亡的危险情景;说明人们从事某项事业面临损失的情景;是人们为获得某种利益和某种成功而甘愿付出的代价等。曾流行的风险定义有:风险是损失的可能性;风险是损失的机会或概率;风险是潜在损失;风险是潜在损失的变化范围与幅度等。虽然风险的说法不统一,但其具有两个基本特征,即不确定性和损失性。

在工业生产系统中,风险可以理解为在特定条件下,某一危害事件发生的概率与危害后果的组合。风险具有概率和后果的双重性,风险 R 可用发生概率 P 和损失程度 C 的函数来表示,即

$$R = f(P, L)$$

这一定义不仅确认风险是客观存在的,而且说明其大小也是可以科学度量的。根据定义可知,风险的存在与客观环境有关,与一定的时空条件有关,与人们对某一事件所抱的期望值有关。当这些情况发生变化时,风险也可能发生变化。通常,风险是伴随着人类的生存与活动而存在的,若没有人类的生存需要和活动,也就不存在风险。

1.1.2 风险的构成要素

为了进一步理解风险的含义,还必须弄清风险的构成要素:风险因素、风险事件、风险损失,以及它们之间的关系。

1. 风险因素

风险因素是指能够增加或引起风险事故发生频率和大小的因素,它是风险事故发生的潜在原因,是造成损失的间接的和内在的原因。根据其性质,通常把风险因素分为实质性风险因素、道德风险因素和心理风险因素三类:

实质性风险因素,属于有形因素,指能引起或增加损失机会与损失程度的物质条件。如失灵的刹车系统、恶劣的气候、易爆物品等。

道德风险因素,属于无形因素,与人的不正当社会行为和个人的品德修养有关。常常表现为不良企图或恶意行为、故意促使风险事故发生或损失扩大,如不诚实、纵火、勒索、

扣押人质谋钱财等。

心理风险因素,也属于无形因素,是指可能引起或增加风险事故发生和发展的人的心理状态方面的原因,如违章作业、一时疏忽造成合同上的漏洞等。心理风险因素偏向于人的无意或疏忽,而道德风险因素强调的是人的故意或恶行。

2. 风险事件

风险事件是直接造成损失或损害的风险条件,它是酿成事故和损失的直接原因和条件。风险事件的发生引起损失的可能性转化为现实的损失,它的可能发生或可能不发生是不确定性的外在表现形式。例如因水灾中断交通而引起的巨大经济损失,水灾就成为风险事件。因此,风险事件是损失的媒介,它的偶然性是由客观存在的不确定性所决定的。

3. 风险损失

风险控制与管理中的损失不同于一般损失,它是风险的结果,是风险承担者不愿看到的后果,是指非故意的、非计划的和非预期的经济价值的减少。这种损失分为直接损失和间接损失两种:直接损失是指实质性的经济价值的减少,是可以观察、计量和测定的;间接损失是由直接损失引起的破坏事实。一般是指额外的费用损失、收入的减少和责任的追究。例如,由于机器损失导致生产线的中断所引起的直接损失是机器的价值和产出的减少;而因未能按期交货而引起客户索赔及造成订单减少,就是间接损失。

风险因素、风险事件和风险损失三者之间是紧密相关的。风险因素引发风险事件,风险事件导致损失,产生实际结果与预期结果的差异,这就是风险。

图 1-1 为用“多米诺骨牌理论”表述各风险因素间的关系。由图可以看出,一旦风险因素这张“骨牌”倾倒,其他“骨牌”都将相继倾倒。因此,为了预防风险、降低风险损失,就需要从源头上抓起,力求使风险因素这张“骨牌”不倾倒。同时尽可能提高其他“骨牌”的稳定性,即在一张“骨牌”倾倒的情况下,其后的“骨牌”仅仅是倾斜而不是倾倒,或即使是倾倒,也表现为缓慢倾倒而不是迅速倾倒。

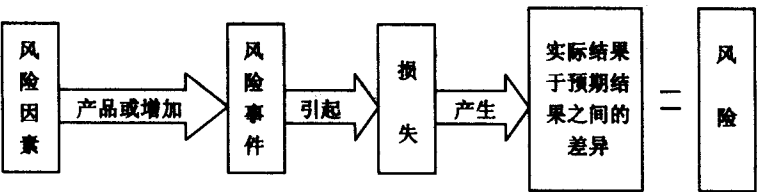


图 1-1 风险因素、风险事件、风险损失与风险之间的关系

1.1.3 相关术语

1. 危险

天有不测风云,人有旦夕祸福。在社会经济生活中,无论何时、无论何地人们都可能面临各种各样的危险,如自然灾害、交通事故、疾病、偷盗、战乱、人身意外伤亡等。

危险的定义是可能产生潜在损失的征兆。危险是风险的前提,没有危险,也就无所谓风险。严格的讲,风险与危险是两个不同的概念。危险只是意味着一种现在的或潜在的不希望事件状态,危险出现时会引起不幸事故。而风险用于描述未来的随机事件,它不仅

意味着不希望事件状态的存在,更意味着不希望事件转化为事故的渠道和可能性。

2. 隐患

(1) 隐患的概念。隐患是指任何能直接或间接导致伤害或疾病、财产损失、工作场所环境破坏或其组合对工作标准、实务、程序、管理体系绩效等的偏离。当隐患暴露在人类的生产活动中时就成为危险。

(2) 隐患的特征。

① 隐蔽性。某一生产环节或设施演化为薄弱环节时,暂不会构成危害,亦不易觉察,一旦构成危害则转化为事故。

② 潜伏性。隐患从时间段上讲具有一定的潜伏期,在一定的时间、范围及条件下,显现出静止、不变的状态,一时感觉不出它的存在。

③ 普遍性。生产过程中,无论是高价值的主体设备或构筑物还是附属设备,均可能存在隐患。

④ 危害性。隐患一旦触发成事故,就可能造成重大危害。

(3) 隐患与风险的关系。隐患与风险是一对既有区别又有联系的概念。隐患、风险、事故的关系如图 1-2 所示。

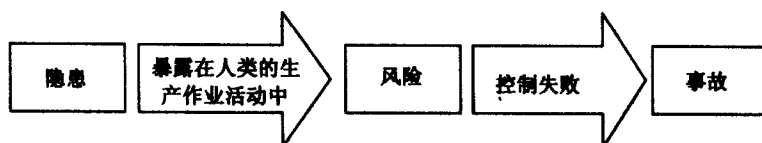


图 1-2 隐患、风险、事故的关系

1.2 风险辨识(系统分析)

所谓风险辨识,就是认识损失发生的可能性。认识损失发生的可能性就是确认损失根源之所在、性质及范围,同时也包括确认导致损失的有效、积极及直接因素。前者称为危险因素的辨识,后者则称为危险事故的分析。风险辨识技术实际上就是收集有关损失原因、危险因素及其损失暴露等方面的信息技术。风险辨识主要包括如下两方面的内容。

1. 感知风险

即通过调查和了解,辨识风险的存在。例如,调查风险主体是否存在财产损失、责任负担和人身伤害等方面的风险。再如,通过调查了解到一家公司面临财产风险、人身风险和责任风险,而财产风险又包括各类财产损失、存货仓库及库存物损失和其他设备损失等。而在存货仓库损失风险中,可能的原因有火灾或爆炸、洪水、飓风等多种形式的损失原因。

2. 分析风险

即通过归类分析,掌握风险产生的原因和条件,以及风险所具有的性质。例如,造成某一运输公司财产损失、责任负担和人身伤害等风险的原因和条件是什么,这些风险具有什么样的性质和特点。再如,引起存货仓库火灾的风险因素很多,如电、化学反应、自燃、邻近建筑物的火灾蔓延等,而引起存货仓库水灾损失的风险因素有洪水、暴雨、水管或其