

ANQUAN FENGXIAN FENXI YU
MONI FANGZHEN JISHU

安全风险分析与 模拟仿真技术

邵辉 毕海普 邵小晗 编著



科学出版社

安全风险分析与模拟仿真技术

邵 辉 毕海普 邵小晗 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

安全是人类生存的基本保障,生活、生产中安全和风险无处不在。如何预知风险、把控风险、保障安全,本书将从安全与风险的概念讲述出发,引导学生学习风险评价的基本理论与方法、计算机辅助风险分析与模拟仿真技术,应用现代计算机模拟仿真工具,基于工程应用实例,对复杂的安全工程问题进行风险预测与分析。

全书共 8 章,分别为概述、计算机辅助事故树分析、计算机辅助 HAZOP 分析、计算机辅助事故概率评估、计算机辅助泄漏事故后果评估、计算机辅助火灾事故后果评估、计算机辅助事故疏散评估、计算机辅助风险分析工程应用。

本书可以作为高等院校安全工程、消防工程、安全管理工程等专业的教学用书,也可供企业的安全和技术管理人员参考,也可作为企业安全管理培训用书,还可作为安全科学与工程专业研究生的辅助教材。

图书在版编目(CIP)数据

安全风险分析与模拟仿真技术/邵辉,毕海普,邵小晗编著. —北京:科学出版社,2018.1

ISBN 978-7-03-056076-6

I. ①安… II. ①邵… ②毕… ③邵… III. ①风险分析-计算机仿真 IV. ①C934-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 315930 号

责任编辑:张帆/责任校对:郭瑞芝
责任印制:吴兆东/封面设计:迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京中石油彩色印刷有限责任公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张:13 3/4

字数:355 200

定价:59.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

安全风险分析与模拟仿真技术是在安全风险分析理论与方法的基础上，将计算机模拟仿真技术融入安全风险分析、预测与管理而形成的一门独立学科。它通过对事故树、HAZOP 等风险分析方法的计算机模拟仿真软件化，对事故蒙特卡罗模拟计算和连续系统事故后果计算法等的应用，提高安全风险分析方法的效率与可靠性，为人们在活动过程中预知风险、把控风险、保障安全提供应用的一门学科。

本书基于对安全与风险相互关系的分析，结合模拟仿真技术在安全风险分析中的应用，从计算机辅助安全分析与评价、事故概率和后果计算及计算机辅助事故疏散模拟三个方面呈现计算机辅助安全风险分析技术与方法。

计算机辅助安全分析与评价：借助计算机具有速度快、精度高、容量大等特点，克服传统安全分析与评价方法在安全分析与评价过程中处理样本少、方法简单、规范性差、效率低、过于依赖专家经验等方面存在的不足，通过将计算机技术与传统安全分析与评价方法的结合，形成了计算机辅助安全分析与评价方法。

事故概率和后果计算：安全事故的破坏性使得对于事故的试验非常困难。但是借助计算机模拟仿真技术能够建立模拟仿真事故发生、发展过程的动态模型，对事故发生机理、预防和控制技术进行研究。

计算机辅助事故疏散模拟：事故后应急疏散技术是事故发生后保证人员生命安全的重要技术。应用计算机模拟仿真技术可以建立智能人员紧急疏散逃生评估与推演系统，借助计算机图形仿真和游戏角色领域的技术，对多个群体中的每个个体运动都进行图形化的虚拟演练，从而可以准确确定每个个体在灾难发生时最佳逃生路径和逃生时间，以及不同区域的人员的疏散时间等。

本书是作者在多年教学和科研的基础上，考虑到近年来安全工程技术迅速发展的状况，以及广大技术人员和管理人员进行知识更新的需要而编写的。

在编写过程中，作者力求将基本理论、分析方法与具体的安全工程问题相结合，既注意提高安全管理理论水平，又注重解决实际问题。在对理论和分析方法的阐述中强调了实用性和可操作性。在风格上力求简明性和趣味性。在表述上力求深入浅出，语言简单明了，案例生动有趣。

本书由常州大学邵辉(第 1 章)、毕海普(第 3、5、6、7 章)、邵小晗(第 2、4、8 章)编著，邵辉教授承担全书的统稿和统审工作。另外，葛秀坤、王新颖、雷伟刚、高崇阳对本书的编写也做了大量的工作。

在本书编写过程中，作者参阅和利用了大量文献资料，在此对原著作者表示感谢。由于作者水平有限，书中存在一些不当之处，敬请专家、读者批评指正！



本书的编写得到科学出版社的大力支持和帮助，得到江苏省高校品牌专业建设工程一期项目(苏教高【2015】11号，PPZY2015B154)、江苏省高等教育教改研究重点项目(2017 JSJG26)的资助，在此一并表示感谢!

编著者

2017年12月

目 录

前言

第 1 章 概述	1
1.1 安全与风险	1
1.1.1 安全	1
1.1.2 风险	5
1.2 计算机辅助风险分析技术	9
1.2.1 安全生产的信息化技术	9
1.2.2 安全风险分析的信息化	11
1.3 课外作业	13
第 2 章 计算机辅助事故树分析	14
2.1 事故树分析基础	14
2.1.1 事故树分析概述	14
2.1.2 事故树的结构函数	18
2.2 事故树分析方法	21
2.2.1 事故树分析的流程	21
2.2.2 事故树分析的注意事项	23
2.2.3 事故树的结果分析	24
2.3 计算机辅助事故树分析及应用	45
2.3.1 计算机辅助事故树分析方法简介	45
2.3.2 计算机辅助建树	46
2.3.3 求解和分析	48
2.4 上机实验练习	51
第 3 章 计算机辅助 HAZOP 分析	52
3.1 HAZOP 分析基础	52
3.1.1 HAZOP 基本概念	52
3.1.2 HAZOP 特点	53
3.1.3 HAZOP 引导词和分析术语	54
3.2 HAZOP 分析方法简介	55
3.2.1 HAZOP 分析流程	55
3.2.2 常用 HAZOP 分析的工艺参数	59



3.2.3	HAZOP 分析实例	62
3.3	计算机辅助 HAZOP 分析	67
3.3.1	计算机辅助 HAZOP 分析方法	67
3.3.2	计算机辅助 HAZOP 分析应用实例	70
3.4	课外作业	74
第 4 章	计算机辅助事故概率评估	75
4.1	事故概率计算模型	75
4.1.1	蒙特卡罗法的原理	75
4.1.2	取样方法	77
4.1.3	案例分析	79
4.2	计算机辅助事故概率计算基础	81
4.2.1	随机数	82
4.2.2	概率分布	85
4.3	计算机辅助事故概率评估及应用	94
4.3.1	计算机辅助事故概率评估方法	94
4.3.2	计算机辅助事故风险评估实例分析	96
4.4	课外作业	100
第 5 章	计算机辅助泄漏事故后果评估	101
5.1	泄漏事故后果计算模型	101
5.1.1	泄漏的特点	101
5.1.2	泄漏的量	104
5.2	计算机辅助泄漏事故后果计算基础	107
5.2.1	液体的扩散	107
5.2.2	气团在大气中的扩散	111
5.3	计算机辅助事故泄漏后果评估	133
5.3.1	计算机辅助事故泄漏评估方法	133
5.3.2	计算机辅助事故泄漏后果实例分析	134
5.4	课外作业	136
第 6 章	计算机辅助火灾事故后果评估	137
6.1	火灾事故后果计算模型	137
6.2	计算机辅助火灾事故后果计算基础	139
6.2.1	池火的计算	139
6.2.2	BLEVE 火球的计算	143
6.2.3	闪火的计算	150
6.2.4	喷射火的计算	155



6.3	计算机辅助火灾事故后果分析	158
6.3.1	计算机辅助火灾事故后果分析方法	158
6.3.2	计算机辅助火灾事故实例分析	160
6.4	课外作业	161
第 7 章	计算机辅助事故疏散评估	162
7.1	事故疏散计算模型	162
7.1.1	人员流动的基本特点	162
7.1.2	基于流体运动学的人员疏散模型	163
7.1.3	基于人群扰动的人员疏散模型	167
7.2	计算机辅助事故疏散计算基础	170
7.2.1	疏散路线	170
7.2.2	疏散出口	173
7.2.3	疏散距离	176
7.2.4	安全疏散验证标准	177
7.3	计算机辅助事故疏散评估及应用	178
7.3.1	计算机辅助事故疏散分析方法	178
7.3.2	计算机辅助事故疏散实例分析	179
7.4	课外作业	182
第 8 章	计算机辅助风险分析工程应用	183
8.1	基于蒙特卡罗模拟的分布式光伏电站运行风险评估	183
8.1.1	背景介绍	183
8.1.2	动态风险评估指标体系建立	184
8.1.3	监测大数据预处理和分析模拟计算	189
8.1.4	模拟结果与风险分析	191
8.2	基于 ALOHA 模拟的罐区安全监测布点分析	195
8.2.1	背景介绍	195
8.2.2	氯乙烯储罐泄漏事故模拟与分析	196
8.2.3	基于模拟结果的储罐区安全监测布点分析	199
8.3	基于 FDS 的火灾烟气危害评价 HTV 模型	201
8.3.1	背景介绍	201
8.3.2	事故场景火灾数值模拟	202
8.3.3	模拟结果与分析	205
	参考文献	211

第 1 章 概 述

安全是人类生存的基本保障条件，在生产和生活中风险无处不在。安全是系统的一种客观状态，风险是人们在活动中可能出现的情景。本章将对安全、风险的概念进行讨论、分析，正确理解安全、风险的意义，掌握它们之间的关系，为预知风险、把控风险、保障安全提供理论指导。

1.1 安全与风险

1.1.1 安全

1. 安全的定义

美国安全工程师学会(ASSE)编写的《安全专业术语辞典》及《英汉安全专业术语辞典》中，将安全定义为“可以容忍的风险程度”。也就是说世界上没有绝对安全的事物，任何事物中都包含有不安全的因素，具有一定的危险性；安全是通过对系统的危险性和允许接受的限度相比较而确定，安全是主观认识对客观存在的反应。

1) 安全是相对的思想

长期以来，人们一直把安全和危险看作截然不同的、相对对立的。系统安全的思想认为，世界上没有绝对安全的事物，任何事物中都包含有不安全的因素，具有一定的危险性。

安全是通过对系统的危险性和允许接受的限度相比较而确定，对系统安全的判断，是主观认识对客观存在的反应，这一过程可用图 1-1 加以说明。

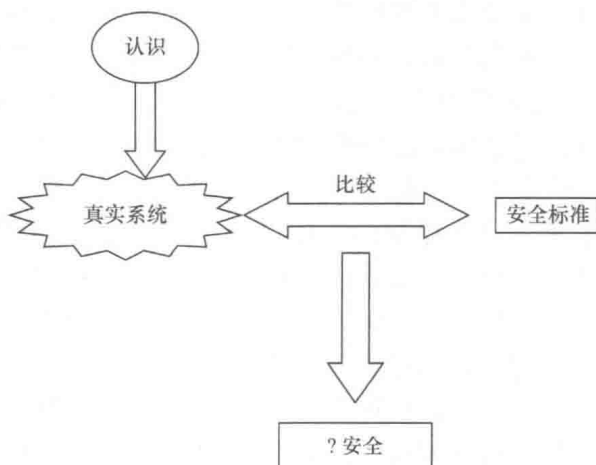


图 1-1 对系统安全的认识判断过程

因此，安全工作的首要任务就是在主观认识能够真实地反映客观存在的前提下，在允许的安全限度内，判断系统危险性的程度。在这一认识判断过程中要注意：

- (1) 认识的客观、真实性；
- (2) 安全标准的科学、合理性；
- (3) 安全伴随着人们的活动过程，它是一种状态，与时、空相联系。

2) 安全伴随着系统生命周期的思想

系统的生命周期从系统的构思开始，经过可行性论证、设计、建造、试运转、运转、维修直至系统报废(完成一个生命周期)，其各个环节都存在不同的安全问题。系统生命周期中的安全问题可用图 1-2 表示。

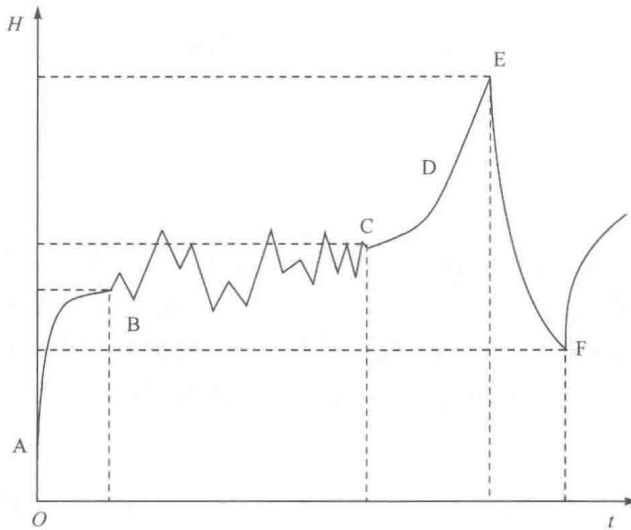


图 1-2 系统生命周期中的 R-M 曲线

图中纵坐标 H 为系统的风险，横坐标 t 为时间，R-M 为 Rheology-Mutation 的简称

以化工企业为例对图 1-2 加以说明。AB 阶段表示某工艺单元刚刚建立运行时，设备刚刚投入使用，处于浴盆曲线中的早期失效期，可靠性较低，极易发生故障；人员由于刚刚开始生产，对工艺流程和设备的操作较为生疏，极易操作失误，且对设备故障的处理不够熟练；安全措施和管理不够完善，对于设备的维护和人员操作培训的管理不够。此时，系统风险呈现减速增长的趋势。由于系统的风险一直存在，因此在初始点，即 $t \rightarrow 0+$ 时，系统风险的值并不为零。

BC 阶段表示工程单元进入稳定的运行阶段。设备渡过早期失效期，运行较为稳定，故障的发生率降低；人员对于设备的操作开始熟练，出错较少，即使设备有意外情况发生，操作人员也可以根据经验采取及时有效的处理；安全措施逐渐到位，管理条款也愈加严密，防范措施成熟，此时系统风险以极低的速度增长。BC 阶段中的波动，描述的是危险的发生与抑制的过程，该阶段会出现一些故障或误操作，可以通过正确的方法加以消除。虽然灾场风险存在波动，但是灾害没有发生，从本质上来讲，还是比较安全的。当然，如果 BC 阶段中任意一次波动处理不当，都会导致 BC 阶段结束，提前进

入 CD 阶段。因此，加强设备维护，提高员工安全操作水平，建立危机防范制度，有助于 BC 阶段的延长。

随着工作时间的推移，工艺单元中的设备出现磨损，发生事故的概率增加；人员由于长期从事相同的工作，由于对工艺过于熟悉，容易产生麻痹大意的心理，导致操作失误增加，危机处理也不能完全按照规定达到准确有效地控制灾害的发生。此时，系统风险进入 CD 阶段，呈现加速增长的趋势。

当系统在这样危险状态下维持一段时间，潜在的能量不断集聚，最终突破系统的约束向外释放引发事故，人员和财产就会有伤亡和损失，即 DE 阶段。

此后，工艺瘫痪，设备无法运行，需经过 EF 阶段对整体的工艺加以恢复和调整。在 F 点时，新的工艺单元建立，新的系统形成新的风险，即存在新的初始风险值，成为另一次风险“流变——突变”过程的起点。

要充分认识系统生命周期中安全的两个方面：

(1) 本质化安全。本质化安全是系统安全的根本保证，从系统的构思、设计开始就融入系统，对系统有两个基本的要求。一是系统正常运行条件下本身是安全的，也就是系统在其生命周期中不依赖保护与修正安全设备也能安全运行。二是系统的故障安全，也就是系统在停电或失去公用工程时，系统能保持稳定状态。本质化安全是系统的理想状态，是安全工作追求的目标。

(2) 工程化安全。工程化安全思想是对本质安全的补充，其主导思想就是应用工程安全保护设备进一步加强系统在其生命周期中的安全性，但是必须确保工程安全设备在系统出现问题时不产生故障。

本质化安全和工程化安全构成了系统生命周期安全的思想。

3) 系统中的危险源是事故根源的思想

危险源是可能导致事故的潜在的不安全因素。任何系统都不可避免地存在某些危险源，而这些危险源只有在触发事件的触发下才会产生事故。

有关危险源的分类方法很多，这里介绍一种比较主流的分类：

第一类危险源。根据能量意外释放理论，能量或危险物质的意外释放是伤亡事故发生的本质。于是，把生产过程中存在的，可能发生意外释放的能量(能源或能量载体)或危险物质称为第一类危险源。

第二类危险源。导致能量或危险物质约束或限制措施破坏或失效、故障的各种因素，称为第二类危险源。它主要包括物的故障、人的失误和环境因素等。

一起伤亡事故的发生往往是两类危险源共同作用的结果。第一类危险源是伤亡事故发生的能量主体，决定事故后果的严重程度；第二类危险源是第一类危险源造成事故的必要条件，决定事故发生的可能性。

综上所述，安全工作的一个重要指导思想就是辨识系统中的危险源和消除触发事件的思想。

如何解决危险源问题？应从三个方面思考：

(1) 识别危险源。就是具有专门安全知识与技术的人员，利用现代安全检测技术及



设备，应用危险源识别方法与技术进行系统的危险辨识。

(2) 危险源的评价分析。目的是得到各种危险源引发事故的可能性和后果严重程度，对危险源进行排序。

(3) 危险源的控制。就是应用由工程技术(Engineering)对策、教育(Education)对策和法制(Enforcement)对策组成的“3E”对策进行危险源的综合控制。

2. 安全与危险的关系

1) 系统安全与系统危险

系统安全是指在系统生命周期内应用系统安全工程和系统安全管理方法，辨识系统中的危险源，并采取有效的控制措施使其危险性最小，从而使系统在规定的性能、时间和成本范围内达到最佳的安全程度。系统安全是人们为解决复杂系统的安全性问题而开发、研究出来的安全理论、方法体系。

系统安全与系统危险的关系见图 1-3。

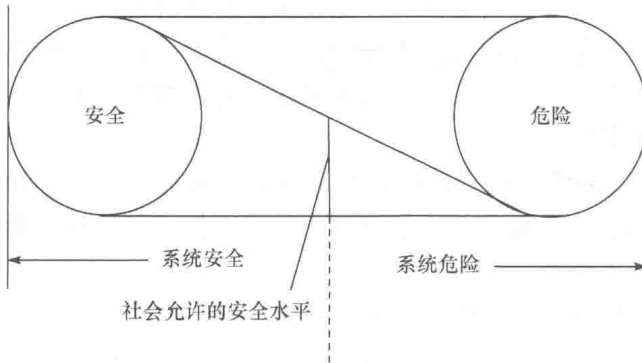


图 1-3 系统安全与系统危险的关系

系统安全的基本原则就是在一个新系统的构思阶段就必须考虑其安全性的问题，制定并执行安全工作规划(系统安全活动)。并且把系统安全活动贯穿于整个系统生命周期，直到系统报废为止。

系统安全泛指系统中的安全性，它与系统中的可靠性等同为系统的特定性能指标，注意它和“安全系统”一词的不同。

20 世纪 50 年代以来，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。战略武器的研制、宇宙开发及核电站建设等使得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，在被研究制造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人们的广泛关注。

1947 年 9 月，美国航空科学院报道了一篇题为《安全工程》的论文，文中写道：“正如飞机性能、稳定性和结构完整性一样，必须进行安全设计，并使之成为飞机不可分割的一部分。安全组也要像应力组、空气动力系组和荷载组一样，必须成为制造厂的重要组织机构之一。”这是最早提出系统安全概念的一篇论文。

系统安全的基本思想是人们在研制、开发、使用、维护这些大规模复杂系统的过程中，逐渐萌发的。在 20 世纪五六十年代美国研制洲际导弹的过程中，系统安全的理论逐渐形成。

导弹的推进剂是一种气体加压到 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ 、温度低至 -196°C 的低温液体，这种推进剂的化学性质非常活泼且有剧毒。其毒性远远超过第一次世界大战中使用的毒气的毒性，其爆炸性比烈性炸药更强烈，并且比工业中使用的腐蚀性化学物质更具有腐蚀性。当时负责该项目的美国空军的官员们并没有认识到他们着手建造的导弹系统潜伏着巨大的危险性。在洲际导弹试验开始的头一年半里就发生了四次爆炸，损失惨重。事故调查结果表明，主要原因是产品安全性存在重大问题。于是，这个产品被报废，重新进行设计。美国空军于 1962 年明确提出了以系统工程的方法研究导弹系统安全性的文件。1963 年美国空军制定了“系统和有关子系统及设备的安全工程通用要求”，作为系统和设备的设计指导。1966 年美国国防部对空军的标准作了修改，发布了自己的标准。1969 年再次修订了这个标准，发布了“系统、有关子系统与设备的系统安全大纲”，在这个标准中首先建立了较为完善的系统安全的概念，以及安全分析、设计和评价等的基本原则。

2) 系统安全理论的主要创新观点

系统安全理论包括很多区别于传统安全理论的创新概念，主要表现在：

(1) 在事故致因理论方面，改变了人们只注重操作人员的不安全行为而忽略硬件的故障在事故致因中作用的传统观念，开始考虑如何通过改善事物的系统的可靠性来提高复杂系统的安全性，从而避免事故。

(2) 没有任何一种事物是绝对安全的，任何事物中都潜伏着危险因素，通常所说的安全或危险只不过是一种主观的判断。能够造成事故的潜在危险因素称为危险源，来自某种危险源的造成人员伤害或物质损失的可能性称为危险。危险源是一些可能出问题的事物或环境因素等，而危险表征潜在的危险源造成伤害或损失的机会，可以用概率来衡量。

(3) 不可能根除一切危险源和危险，可以减少来自现有危险源的危险性。在生产过程中要注意减少系统总的危险性，而不是只去消除几种特定的危险。

(4) 由于人的认识能力有限和事物不断发展的客观性，有时不能完全认识系统中的危险源和危险。即使认识了现有的危险源，随着生产技术的发展，新技术、新工艺、新材料和新能源的出现，又会产生新的危险源。由于受技术、资金、环境、劳动力等因素的限制，对于认识了的危险源也不可能完全根除。由于不能全部根除危险源，只能通过相关的方法、措施把危险降低到可接受的程度，即可接受的危险。安全工作的目标就是控制危险源，努力把事故发生概率降到最低，即使发生事故时，也可把伤害和损失控制在较轻的程度上。

1.1.2 风险

1. 风险的定义

什么是风险，目前尚无统一的定义，有关风险的学说很多，如风险是损失发生的可



能性、风险是一种不确定性、风险是结果对期望的偏离、风险是一种利益等。

风险由风险因素、风险事故与风险损失三因素构成，而风险因素、风险事故与风险损失三者之间又存在着因果关系，即风险因素引发风险事故，而风险事故导致损失。如果将这种关系连接起来，便得到对风险的直观图解，如图 1-4 所示。

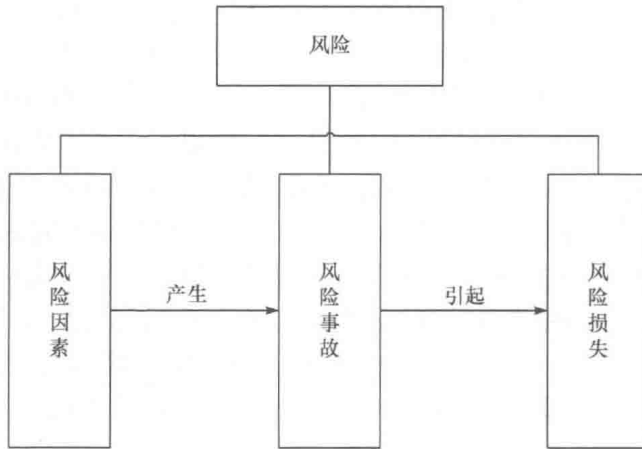


图 1-4 风险及其构成要素

(1) 风险因素。风险因素是指引起或增加风险事故发生的机会或扩大损失程度的条件，是风险事故发生和造成风险损失直接的或间接的原因。通常，风险因素是客观存在难以避免的，是不以人们的意志为转移的。对于建筑物来说，风险因素是指其建材与建筑结构等；对于人体，风险因素是指其健康状况和年龄等。风险因素通常可分为物理风险因素、道德风险因素和心理风险因素三类。

(2) 风险事故。风险事故又称风险事件，是指可能造成生命财产损失的偶发意外事件，是造成损失的直接原因。风险事故也是风险因素的外在表现，风险事故验证了风险因素的存在，使风险成为现实，并引起损失的结果。火灾、爆炸、地震、车祸、疾病等，就是风险事故常见的表现形式。

风险事故和风险因素的区别有时并不是绝对的。例如，如果暴风雨毁坏房屋、庄稼等，暴风雨就是风险事故；如果暴风雨造成路面积水、能见度差、道路泥泞，引起连环车祸，暴风雨就是风险因素，车祸才是风险事故。在这里，判定的标准是看是否直接引起损失。

风险只有通过风险事故的发生，才能导致损失。例如，汽车刹车失灵酿成车祸而导致车毁人亡，其中刹车失灵是风险因素，车祸是风险事故。如果只有刹车失灵而无车祸，就不会造成人员伤亡。风险事故意味着风险的可能性转化为现实性，因此，控制风险事故是防止风险管理的关键环节。

(3) 风险损失。风险损失作为风险管理的一个重要概念，是指非故意的、非计划的和非预期的经济价值的减少。这一定义包含两个重要的因素，一是非故意的、非计划的、非预期的，二是经济价值减少。两者缺一不可，否则就不构成损失。

2. 风险的特征

(1) 客观性。风险是一种不以人们主观意志为转移的客观存在，是不可避免的。但从整体来说，风险又具有规律性，是可以利用数学或统计学的方法预测的。随着科学技术的进步和社会经济的发展，人们认识、管理、控制风险的能力会逐步增强，从而可能将风险减少到一定程度，但无论如何不可能根除风险。

(2) 损害性。损害是风险事故发生的后果，凡是风险都会给人们的利益造成损害，风险必然与一定的损失和伤害相联系。经济上的损失可以用货币进行衡量。人身伤害虽然不能以货币衡量，却都表现为所得的减少或支出的增加或两者兼而有之，终究还是经济上的损失。

(3) 不确定性。对于某个具体的企业、团体或个人，风险事故的发生具有偶然性，风险损失具有不确定性，是一种随机现象。人们事先无法知道风险事故是否发生，以及造成何种程度的损失。

(4) 可测定性。个体风险事故的偶然性与不确定性和总体风险事故的必然性和确定性是对立统一的。就风险总体而言，从一个较大的范围观察，风险是一种随机现象。根据数理统计原理，随机现象一定要服从于某种概率分布。也就是说，对一定时期内特定风险发生的频率和损失率，是可以依据概率论加以正确测定的。尽管死亡对于个体来说是偶然事件，但是通过对某一地区人的各年龄死亡率的长期观察统计，却可以准确地得出该地区各年龄段稳定的死亡率。

(5) 传递性。风险的传递性是指风险可通过信息、社会、组织及个人扩散和传播，形成社会经验，引起各方关注，以致影响人们的风险决策。风险的传递具有社会扩大效应，就如同一块石子投入水中，会在水中泛起涟漪并向外传播，先包围直接影响的受害者，然后向社会扩散，这就是所谓的涟漪效应。

(6) 变化性。风险的变化性是指在一定条件下风险可转化的特性。世界上任何事物之间都存在互相联系、互相依存、互相制约的关系。而任何事物都处于运动和变化之中，这些变化必然会引起风险的变化。

风险的变化性包含风险性质的变化、风险程度的变化及风险生灭的变化。

3. 风险的度量

风险评价是指在风险识别和风险检测的基础上，把风险发生的概率、损失严重程度，结合其他因素综合起来考虑，得出系统发生风险的可能性及其危害程度，确定系统的危险等级，并与社会公认的可接受安全水平相比较，决定是否采取控制措施，以及采取何种程度的控制措施。风险评价通过定性、定量分析风险的性质以及比较处理风险所支出的费用，来确定风险是否需要处理和处理的程度。

风险的可测定性说明风险是可以度量的。系统客观上的危险程度可以用损失概率和损失程度表示，而是损失的不确定性则可以用风险事件实际结果与预期结果的差异程度



来表示。具体地，风险的大小主要取决于损失频率、损失程度、损失期望值、方差或标准差以及变异系数这些指标的情况。

(1) 损失频率。损失频率是指在一定统计时期内一定数量风险单位可能发生损失的次数，而损失概率是统计时期趋于无限大时的损失频率。由于在实践中无法获得趋于无限的时间间隔内风险单位发生损失的次数，因此人们常用损失频率来取代损失概率。损失频率通常以分数或百分率来表示。

(2) 损失程度。损失程度是指在一定时期内一定数量风险单位每次遭受损失金额的多少和规模的大小。这里用“损失规模的大小”来衡量风险损失，是因为有些风险事故可能造成难以弥补的后果，不能用一定的货币相等价。例如，文物损毁、生物灭绝、环境破坏等不可修复的物资损失。另外，损失幅度还指风险损失发生的不确定性有多大，即实际损失结果与预期损失结果之间的差异程度有多大。差异程度越大，风险越大；差异程度越小，风险越小。

(3) 损失期望值。损失期望值是根据一定时期内一定条件下大量同质风险单位损失的经验数据计算所得的平均损失，它反映了在一定情况下所评价的风险单位总体损失的一般情况。

(4) 方差或标准差。方差或标准差所反映的是损失的绝对变动程度，说明实际损失与损失平均值或损失期望值的偏离程度。在损失平均值或损失期望值一定的情况下，方差或标准差大说明偏离程度大，风险较大，反之风险较小。

(5) 变异系数。变异系数所反映的是损失的相对变动程度。变异系数是实际损失的变动范围与损失平均值或损失期望值之比。显然，该指标较单纯用平均值及标准差来评价风险要全面。一般来说，期望值大的风险未必就大，而标准差大小也应相对平均值来说，否则难以衡量风险的大小。

例如，同样的标准差，若损失平均值小，则损失波动范围较大，风险较大；若平均损失很大，则表明波动范围基本上可以忽略，而认为风险较小。

将风险进行量化分析是十分重要的。在国外对一般的活动已积累了大量的基础数据，并且这些基础数据已经整理成比较实用的数据表，这些数据表对于安全分析具有重要的意义。我国在这方面的的工作刚刚起步，但发展很快。

在讨论什么样的风险是可以接受时，必须做出愿意承受的风险和不愿意承受的风险之间的区别。危险工业(如采矿业、化学工业等)的工人知道其工作所涉及的风险，并接受针对这些风险进行安全操作的专门培训，并经常接受健康检查。危险工业的工人接受工作中的风险，通常是为了获得较高的报酬(但在国内还并非如此)。参加危险体育活动的运动员接受包括部分刺激的风险和从运动中获得高报酬的风险，与危险工业中操作人员接受风险是类似的。在上述两类活动中，参加人员准备接受比一般公众更高风险。

1.2 计算机辅助风险分析技术

1.2.1 安全生产的信息化技术

1. 计算机信息化技术

近几十年来,信息化技术得到了快速的发展和广泛的应用。计算机软硬件技术的不断更新、自动化技术的发展、网络技术的普及等都是信息化技术领域的重要研究成果。信息化技术的不断发展为将其应用于解决安全问题提供了越来越大的便利性和可行性,信息化技术的研究成果为安全工程信息化建设提供了必要的技术支持。

信息化技术是在计算机和通信技术的支持下,用以获取、加工、储存、变换、显示和传输文字、数值、图像、音频和视频等信息,包括提供设备系统和信息服务两大方面技术的总称。20世纪80年代以来,信息化技术革命对全球产生了重大影响,推动了世界科技和经济的快速发展,同样也给工业发展带来了机遇。

飞速发展的信息技术以其强大的渗透力和便捷性迅速与传统产业结合,提高了工业生产过程的自动化、数字化、通用化以及智能化水平,充分保障了信息畅通及数据传输的准确性和及时性,提高了工业生产过程的管理质量和生产效率。

2. 安全生产的信息化技术

安全生产是人类社会发展和工业化进程中必然会遇到的问题。人类在获取生产资料和生活资料的生产过程中,难免会受到来自自然界、作业场所以及劳动工具等方面的伤害。做好安全工作,对提高工业生产经济效益和降低生产成本有着重要的现实意义。采用信息化技术最大限度地保障工业生产和技术人员的安全,避免生产过程中伤害事故的发生,是解决工业安全问题的一个重要途径。

信息化技术在安全工程领域的良好适用性是由信息技术与安全工程各自的特点所决定的。

(1) 信息技术满足工业安全对于海量数据处理的要求。安全工程涉及的领域非常多。以一个工业生产系统为例,系统的运行安全通常受到物料、工艺、设备、作业程序、环境、法规等多方面因素的综合影响,数量庞大的安全信息的采集、分析和处理是保障系统安全运行的基础工作。显而易见,传统人工方法无法适应海量安全信息的采集、分析与处理,从而影响安全问题的发现、分析和处理等各个环节的有效进行。计算机技术具有高速、大容量特点,这一点恰恰是解决上述问题的有效途径。因此,只有借助计算机技术才能使快速处理大量安全信息成为现实。

(2) 信息技术满足工业安全对于时效性的要求。由于受到生产规模、复杂程度、物料危险性等因素的影响,工业生产系统一般具有较高的风险。降低工业生产的风险水平可以从两个方面采取措施:一是预防事故的发生,二是事故一旦发生后尽可能降低事故后果的严重程度。无论是事故预防还是事故控制,都具有明显的时效性特征。一方面,