

高等院校规划教材

安全科学基本理论及其应用

编 著 马尚权 王轶波



煤炭工业出版社

D00315856

高等院校规划教材

安全科学基本理论及其应用

马尚权 王轶波 编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

安全科学技术是安全生产和安全生活的基础和保障。只有对安全系统有深刻的认识,才能正确掌握安全与事故的规律,保障安全,预防事故。本书用哲学观点和统一理论对安全与事故的客观规律进行了辩证分析,综述了较成熟的安全系统理论:安全分析、安全评价和安全预测理论,介绍了非线性科学在安全领域中安全分析、安全评价和安全预测等实用技术中的研究状况及应用。

本书适用于大学本科教材,亦可为研究生提供参考。

前 言

科学技术的发展为人类带来方便的同时,也向人类提出了巨大的挑战。世界不断发生的重大的空难、海运、交通、火灾爆炸等事故,都向安全科学技术提出了严肃的研究课题。专业的安全技术向高层次发展,安全科学技术从纵向分科逐步向系统的高层次横向综合发展。

随着科学技术的发展,安全科学理论也得到了巨大的发展,并形成了相对较成熟的理论体系。对这些理论进行统编介绍的教材已出版了不少,目前还有新教材在不断涌现。为避免重复编写,让广大读者能够接触到更多、更新的安全科学理论,为对广大读者在学习、研究过程中有所启发;本教材在编写过程中力求求新、求异,编入了大量目前仍处于研究、探索阶段的理论和技术。

为使读者能够对安全与事故有更深刻的认识,在教材中用哲学观点和统一理论对安全与事故的客观规律进行了辩证分析。本教材是本着实用与研究相结合的目的编写的,因此教材中也编入了较成熟的安全科学方法论与系统安全科学理论,为广大读者介绍了较实用的安全研究方法与安全分析、安全评价与安全预测技术。本书还用了大量篇幅向读者介绍了非线性科学在安全科学研究领域中的应用。随着非线性科学理论的飞速发展及其在其他领域的广泛应用,非线性科学在安全科学的研究中虽然还未形成较成熟的理论体系,但还是代表了安全科学研究的一个方向。通过阅读本书,读者可以了解到非线性科学在安全科学领域中的研究方法和目前的研究状况。在本书编写过程中,得到华北科技学院各级领导的深切关注,杨俊平和张宇同学在查找和编排资料方面做了大量工作,在此一并表示衷心的感谢。由于所编内容较新,所查资料有限,在编写过程中难免有不妥和疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2004 年 9 月

目 录

第一章 绪 论	1
第一节 安全与社会经济发展的关系	1
第二节 安全科学发展史	2
第三节 安全科学理论综述	5
第二章 安全与事故的一般规律	8
第一节 基本概念	8
第二节 安全与事故的一般规律	11
第三节 事故致因理论	16
第三章 安全方法论	36
第一节 本质安全化方法	36
第二节 人机匹配法	38
第三节 生产安全管理一体化方法	41
第四节 系统方法	52
第五节 安全教育方法	55
第六节 安全经济方法	58
第四章 安全系统原理	60
第一节 系统安全分析方法	61
第二节 事故预测	79
第三节 安全评价	87
第五章 安全科学统一理论	112
第一节 安全统一规律	112
第二节 安全流变—突变的基本概念	120
第三节 安全系统分析	122
第四节 安全科学统一理论模型	130
第五节 模型安全意义分析	133
第六节 安全科学统一理论应用	137

第六章 非线性理论在安全科学中的应用.....	141
第一节 混沌.....	141
第二节 混沌的确定与分形及分维.....	146
第三节 安全系统的混沌、分形特征.....	152
第七章 非线性安全评价技术.....	160
第一节 灰色系统安全评价模型及其应用.....	160
第二节 神经网络的概述及动态评价模型.....	165
第三节 人工神经网络简介.....	172
第四节 基于神经网络的非线性安全评价.....	177
第八章 安全预测新技术及事故预防.....	184
第一节 非线性预测技术.....	184
第二节 灰色系统预测方法及技术.....	186
第三节 时间序列的人工神经网络安全状态预测模型.....	187
第四节 非线性安全预测模型的应用.....	191
第五节 事故预防原理.....	198
参考文献.....	209

第一章 绪 论

第一节 安全与社会经济发展的关系

安全科学技术是安全生产和安全生活的基础和保障。安全科学揭示安全的本质和规律。通过安全工程技术,保护生产力和保障生活安康,从而推动安全文明生产和人类安全生存。安全科学技术是发展生产和推动社会进步的重要保障和必要条件。

安全科学技术的发展与社会发展和国民经济是统一的。事实证明,安全科学技术已不仅影响生产力的发展,影响劳动生产率的提高,还影响国民经济的增长。据联合国统计数据,世界各国每年要花费国民经济总产值的6%来弥补由于不安全所造成的损失。一些研究也表明,事故对生产企业带来的损失可占企业生产利润的10%,而安全投入的经济贡献率可达5%。这些数据说明安全科学技术在经济和社会发展中起着重要作用。

安全科学技术不仅是国家经济建设中重要的不可缺少的生产力,而且是社会稳定和发展的重要动力和基本保障条件。安全生产是我国的一项基本国策,是保护劳动者安全与健康,发展生产力的一项重要保障,是保护经济建设持续稳定、持续发展和社会安定团结的基本条件,是社会文明和社会发展水平的重要标志。目前,全世界因工伤亡情况分为3个层次,发达国家死亡率最低;中国和印度等处于第二层,死亡率比发达国家高出1倍;少数发展中国家死亡率最高,死亡率比发达国家高出4倍以上。不管什么样的国家,“大安全”的概念已达成共识,即安全、卫生、环境应为一个整体。随着计算机的普及和信息产业的迅猛发展,不仅要强调生产过程的安全卫生问题,也应强调家庭办公、文体娱乐和运动休闲等生产、生活领域的安全,同时还要把环境保护问题也考虑进去。

生产过程中意外事故的发生和职业病的产生对职工的安全健康造成重大损害,产生不可忽视的社会影响,对社会稳定也产生了不利影响。如不迅速扭转我国重大事故不断和职业病高发的严重局面,其所产生的社会矛盾将日益突出,主要将表现在以下几个方面:

第一,由于工业生产事故和其他职业危害问题所产生的劳动争议增多,而且矛盾易于激化。尤其是21世纪中国实现了小康生活水平后,人们对生产和生活中的安全需要不断增强,因此对危及人身安全和健康的恶劣劳动条件处理不当就会影响社会安定。

第二,在我国,由于计划生育政策的实施,在未来的时代,独生子女将成为21世纪的主要劳动力,这些人一旦发生伤亡事故,就会严重影响家庭人员结构,造成不可弥补的损失,对家庭和社会都会造成极大的冲击;同时,对国家计划生育政策的进一步落实也会带来影响。

第三,人们把安全、卫生、舒适的劳动条件作为职业选择的重要标准,按目前生产模式发展,在重大事故多发行业将会由于招不到高素质的职工而使生产发展受到严重影响,进而影响产业的平衡、持续和发展。

第四,工伤事故和职业病不仅造成巨大的经济损失,破坏生态环境,形成社会不安定

因素，而且也造成人们心理上难以承受的负担。我国工伤事故和职业病状况严重的根本原因在于：安全科学技术水平低下，安全管理的不到位以及工程技术装备的落后。生产安全不仅关系着企业的兴衰，关系着人民的安危幸福，更是关系国计民生的大事。因此，必须确保安全科学技术与国家经济建设和技术改造同步规划，同步发展。

安全问题可能给我国带来的负面影响有以下4点：

(1) 安全制约着社会的可持续发展。近年来重大伤亡事故的严重局面的确是一项影响社会可持续发展的本质性问题，不仅阻碍经济建设和改革开放的持续发展，而且造成日益突出的社会矛盾，给社会安定造成不可估量的政治损失。

(2) 职业危害所产生的劳动争议迅速猛增，矛盾易激化。随着人们的安全意识的加强，职业危害严重的熟练工队伍将出现不稳定局面。随着私人、外资企业的职工的增加，劳动力的商品意识日益加强，对危及人身安全的恶劣条件和事故造成死伤众多的严重后果，职工及死难者的家属会申斥、抗议，甚至造成停工、停产，直接破坏社会安定。

(3) 随着我国加入WTO，安全直接影响企业产品的形象，在国际贸易中常常会因为安全问题处于不利的竞争地位。再有随着计划生育政策的深入实施，独生子女将成为社会主要劳动力，这些人一旦遭到意外伤害，将影响与之关系密切的社会群体，造成他们极大的悲痛和愤慨，给广大群众造成心理上难以承受的负担，即使实行高额赔偿政策，也难以弥补心灵的创伤，易形成社会不稳定因素。

(4) 现代生产科学技术的发展提出了更为重要的安全科学问题。现代化生产，一方面为安全创造了条件；另一方面由于新技术、新材料、新能源的出现，会产生更为严重的不安全因素，一旦发生意外事故，其灾难较之传统工业的事故规模更为巨大，甚至会造成不良的国际影响。

第二节 安全科学发展史

一、安全科学的由来

安全科学的发展是以安全技术为先导，而安全技术则随着产业革命的产生而产生。众所周知，以蒸汽机为标志的产业革命促使生产力飞跃发展。机器首先在纺织工厂使用，随后便迅速扩展到冶金、采矿和交通运输等领域，随着大机器生产造成的危害不断增加，安全技术便应运而生。1730年，英国设计出煤矿井下通风换气方法；1754年，亨克利出版了《矿工肺病和冶金工疾病》一书；1815年，戴维发明矿工安全灯。蒸汽动力的发展，相应引出了安全阀、压力表、水位计及高压锅炉水压检验等安全装置和措施。为了防止事故，1817年英国创建了检验公司；1833年，美国制订《蒸汽船检验规则》；1844年，英国修订《工厂法》，规定机器设备安装安全装置；1964年英国创办锅炉保险公司。电力的应用，引起安全用电的研究，于是产生了接零保护、接地保护、绝缘防护，进而产生防爆电气设备、安全仪器仪表等，防护装置得到广泛应用。

安全科学是现代化生产与现代科技发展的需要与结果。安全的实质是能量的控制问题，事故的发生多为能量的失控所致。现代化生产中高能对安全造成严重的威胁，高能能源（如核能、高能火箭燃料、高压系统等）的发展，使事故的灾害程度大为增加。为了与高能

的发展相适应，安全科学日益重要。现代化也为安全创造了条件，提供了新的保障手段和技术措施；与此同时，现代化生产具有高能量、系统化、连续作业的特点，一旦发生事故，较之传统工业，其规模、危害程度、经济损失更大，更严重。如：印度博帕尔农药厂毒气泄漏事故；美国三哩岛核电站放射性物质外泄事故；航天飞机“挑战者”号升空点火爆炸；墨西哥液化石油引起爆炸；秘鲁首都利马商业中心大厦发生的重大火灾事故；我国的淮南煤矿特大瓦斯爆炸事故；广西南丹“七·一七”特大透水事故；江西省万载县潘达烟花爆竹厂特大连锁爆炸事故，以及世界不断发生的重大的空难、海运、交通、火灾爆炸等事故，都向安全科学技术提出了严肃的研究课题。专业的安全技术向高层次发展，安全科学技术从纵向分科逐步向系统的高层次横向综合发展，系统论、信息论、控制论为现代安全科学奠定了基础。

现代生产科学技术的发展与安全科学技术的发展密不可分。自动化技术就是生产技术和安全技术发展达到统一的例证。如果说事故是由物的因素、人的因素和环境构成的，那么自动化则恰恰大量减少了人为失误因素。20世纪50年代，自动化形成热潮，自动化技术广泛用于汽车工业、飞机制造业，可以在许多方面代替体力劳动，从事危险和危害的作业，例如高速自动瞄准，高温或放射性环境下操作等，这种自动化技术的广泛应用，提高了安全生产水平。信息论的发展，使得灾害和事故的数据库产生，灾害与事故的预测与预防技术获得发展。同时，安全科学的理论研究也发展很快，1973年，美国出版了《安全科学文摘》；1979年英国哈克顿和多宾斯发表了《技术人员的安全科学》；1981年德国库尔曼发表了《安全科学导论》。

因此，从中可以看出，安全科学是从应用技术发展到理论研究，逐步形成了自己的理论体系。

二、安全科学的发展

18世纪中叶，蒸汽机的发明使劳动生产率空前提高，但劳动者在自己创造的机器面前致病、致伤、致残、致死事故与手工时期相比也显著的增加。后来由于劳动者的斗争和大生产的实际需要，迫使西方各国先后颁布劳动安全方面的法律和改善劳动条件的有关规定。这样，资本所有者不得不拿出一定资金改善工人的劳动条件；同时需要一些工程技术人员、专家和学者研究生产过程中不安全、不卫生的问题。因此，许多国家先后出现了防止生产事故和职业病的保险基金会等组织，并赞助建立了无利润的科研机构，如德国于1863年建立的威斯特伐利亚采矿联合保险基金会；1887年建立的公用工程事故共同保险基金会和事故共同保险基金会等；1871年德国建立的研究噪声与振动，防火与防爆，职业危害防护理论与组织等内容的科研机构；1890年荷兰国防部支持建立了以研究爆炸预防技术与测量仪器，以及进行爆炸性鉴定的实验室。到20世纪初，西方许多国家建立了与安全科学有关的组织和科研机构，据1977年统计，德国建立36个，英国44个，美国31个，法国46个，荷兰13个，从内容上看，有安全工程、卫生工程、人机工程、灾害预防处理、预防事故的经济、职业病理理论分析和科学防范等。美国安全教育比较发达，到20世纪70年代末，一部分大学设立了卫生工程、安全工程、安全管理、毒物学和安全教育方面的硕士和博士学位。日本在研究安全方面虽起步较晚，但发展却很快，比较注重吸收世界各国的经验和教训，较自觉地在安全工程学这一科学技术层次上研究和发展。到1970年为止，日本大学增

设了反应安全工程学、燃烧安全工程学、材料安全工程学和环 境安全工程学等 4 个讲座课程，继而又在研究生院设置了硕士课程。到 1977 年，在日本大学中开设有关安全工程学讲座课程或学科的总计为 48 个，现在日本国内与安全工程有关的大学教育系和研究机构达 76 个，杂志 36 种，学会和协会 33 个。日本由于坚持安全工程学的研究和实践，近 20 年来产业事故频度率、死亡人数逐年下降，持续居世界最低水平，安全工程学在日本日益受到人们的重视。总之，为了解决生产过程中劳动者的安全 和健康问题，国外对安全科学的研究有足够的深度和广度。这说明安全科学作为一门真正的交叉科学正日益受到重视。

在 20 世纪 80 年代初期，我国安全研究和管理 人员深感必须采用系统工程的方法，才能真正改变企业安全工作的被动局面。也就是说，必须先发现问题，采用系统工程方法找出系统中存在的所有危险性，加以辨识，分析评价，从而找出解决问题的措施，防患于未然。

安全科学的发展从时间上讲大体分为 3 个阶段：

(1) 经验型阶段(事后反馈决策型)：长期以来，人们认为安全仅仅以技术形式依附于生产，从属于生产，仅仅在事故发生后采取调查研究，统计分析，整改措施，以经验作为科学，安全处于被动局面，人们对安全的理解与追求是自发的、模糊的。

(2) 事后预测型阶段(预期控制型)：人们对安全有了新的认识，运用事件链分析、系统过程化、动态分析与控制等方法，达到防治事故的目的。总之，传统的安全技术建立在事故统计基础上，这基本属于一种纯反应式，是经验型的。安全科学缺乏理性，人们仅仅在各种产业的局部领域发展和应用不同的安全技术，以至人们对安全规律的认识停留在相互隔离的、重复的、分散的和彼此缺乏内在联系的状态。

(3) 综合系统论阶段(综合对策型)：认为事故是人、技术和环境的综合功能残缺所致，安全问题的研究应放在开放系统中，建立安全的科学性、系统性、动态性。从事故的本质中去防治事故，揭示各种安全机理并将其系统化、理论化，变成指导解决各种具体安全问题的科学依据。因此，安全科学不仅涉及人体科学和思维科学，而且涉及行为科学、自然科学、社会科学等所有大的科学部门。

安全科学的发展从内容讲大体分为 3 个部分：

(1) 类危险源理论、事故致因的突变事故发生论：事故频发论、事故因果连锁论、能量意外释放论等理论。

(2) 安全系统评价论：危险指数评价方法、人的可靠性分析方法、概率危险评价技术、目前安全评价软件的开发。

(3) 安全控制理论：安全控制的定性研究，安全控制的定量研究分析；人因素方面的协调控制，经济方面的协调控制，工程方面的协调控制。

我国的安全研究和应用也大致经历了 4 个阶段：

(1) 安全技术工作和系统安全分工合作时期。初期，安全工作者和产品系统安全工作证明分工是明确的，前者负责工人的安全，后者负责产品的安全，两者分工协作，密切配合，共同完成任务。

(2) 安全技术工作引进系统安全分析方法阶段。由于系统安全分析是针对系统各个环节本身的特点和环境条件，进行定性和定量的安全性分析，做出科学的评价，并据此采取针对性的安全措施，所以这种方法对安全工作十分有用。

(3) 安全管理引用安全系统工程分析方法阶段。由于安全系统工程分析是针对系统各

个环节的可靠性和安全性问题，而且对系统开发的各个阶段也可以进行评价，因此，企业的安全管理等阶段（检查、操作、维修培训）都可以使用这种方法提高系统性和准确性。

（4）以安全系统工程方法改革传统安全工作阶段。在安全工作中广泛使用安全系统工程方法，使传统安全工作进行改革的趋势需要不断地在实践中总结经验。目前，贯穿系统科学思想的安全管理方法不断涌现，并延伸很多新学科。

目前我国综合性的安全科学技术研究已有初步基础，一方面为劳动保护服务的职业安全卫生工程技术继续发展，另一方面开展了安全科学技术理论研究；在系统安全工程、安全人机工程、安全软科学研究方面进行了开拓性的研究工作，如事故致因理论，伤亡事故模型的研究，事件树、故障树等系统安全分析方法在厂矿企业安全生产中推广应用。在防止人为失误的同时，把安全技术的重点放在通过技术进步、技术改造、提高设备的可靠性、增设安全装置、建立防护系统上。

随着科学技术的不断发展进步，产业安全技术也得到发展。传统产业如冶金、煤炭、化工、机电等都建立了自己的安全技术研究院（所），开展产业安全技术研究；高科技产业如核能、航空航天、智能机器人等都随着产业技术的发展而发展。国家把安全科学技术发展的重点放在产业安全上。核安全、矿业安全、航空航天安全、冶金安全等产业安全的重点科技攻关项目列入了国家计划。特别是我国实行对外开放政策以来，随着成套设备和技术的引进，同时引进了国外先进的安全技术并加以消化，如冶金行业对宝钢安全技术的消化，核能产业对大亚湾核电站安全技术的引进与消化等取得显著成绩。

国家对劳动保护、安全生产的宏观管理也开始走上科学化的轨道。1988年劳动部组织全国10多个研究所和大专院校近200名专家、学者完成了《中国2000年劳动保护科技发展预测和对策》的研究。这项工作使人们对当时我国安全科技的状况有了比较清晰的认识，看到了我国安全科技水平与先进国家的差距，对进一步制定安全科学技术发展规划、计划提供了依据。

第三节 安全科学理论综述

一、安全科学理论背景

早期工业安全理论：1919年英国的格林伍德(M. Greenwood)和伍兹(H. H. Woods)对许多工厂中伤亡事故发生次数按不同分布进行了统计，结果发现，工人中的某些人与其他人相比更容易发生事故。根据这种观点，1939年，法默(Farmer)等人提出了事故频发倾向的概念，认为少数工人具有事故频发倾向，是事故的频发倾向者，他们的存在是工业事故发生的原因。1931年美国的海因里希(W. H. Heinrich)从美国工业安全实际出发，进行总结、分析和概括，提出了工业安全公理，出版了《工业安全事故预防》(Industrial Accident Prevention)一书。书中阐述了事故发生的因果连锁论、事故致因中人与物的问题、事故发生频率与伤害严重度的关系、人的不安全行为产生的原因、安全管理工作与企业管理工作之间的关系、安全管理与控制工作的基本责任及安全生产之间的关系等工业安全范畴最基本、最重要的问题。海因里希的理论得到世界上许多国家广大安全工作者的赞同。但是，海因里希理论也和事故频发倾向理论一样，把工业事故的责任归于人的不注意等，带有明显

的时代的局限性。

第二次世界大战后,科学技术有了飞跃的发展。科技给人类社会面貌带来巨大变化的同时,也给人类带来更多的危险。随着工业迅速发展而来的广泛就业和大量工业产品的出现,工业安全面临新的课题,人们安全观念发生了变化。越来越多的人认为,不能把事故的责任说成是工人不注意,应该注重机械的物质的危险性质在事故致因中的重要地位。1961年和1966年吉布森(Gibson)和哈登(Haddon)提出了一种新概念:事故是一种不正常的或不希望的能量释放,是各种形式的能量构成伤害的直接原因。于是,应该通过控制能量,或控制作为能量释放的载体来控制事故。这是人们对伤亡事故发生的物理实质方面的大飞跃。与早期的事故频发倾向理论和海因里希连锁论等强调人的性格特征等不同,认为人的不安全行为或物的不安全状态是工业事故的直接原因,必须加以追究。但是,它们只不过是背后深层原因的征兆,是管理缺陷的反映。美国矿山局的M. Zabetakis调查大量伤亡事故后发现,大多数伤亡事故发生都是由于过量的能量或干扰人体与外界能量交换的危险物质的意外释放引起的,并且毫无例外地,这种过量的能量或危险物质的释放都是由于人的不安全行为或物的不安全状态引起的。即人的不安全行为或物的不安全状态破坏对能量或危险物质的控制,是导致能量或危险物质意外释放的直接原因。

20世纪50年代后,随着战略武器研制、宇宙开发及核电站建设等大规模复杂系统的相继问世,大规模复杂系统的安全问题受到普遍的关注。于是,出现了系统安全理论和方法,按照系统安全思想,世界上不存在绝对安全的事物,任何人类活动中都潜伏着危险因素。人的失误不仅包括工人的不安全行为,而且涉及设计人员、管理人员等各种人员的失误,因而对人的因素研究比以前更深入了。根据系统安全的原则,对于已经建成并在运行的系统,管理方面的疏忽和失误是导致事故的主要原因。约翰逊(W. G. Johnson)等人创立了系统安全管理的理论和方法体系MORT (Management Oversight and Risk Tree),如事故判定假设、标准化作业、职业安全分析等,同时把能量释放论和变化的观点引入安全管理中,把变化作为事故的基本原因,人的失误(Human Error)和物的故障(Fault)都与变化有关,变化被看作是一种潜在的事故原因,应该被尽早发现并采取相应的措施。

二、安全系统的非线性特征规律

安全系统论从安全系统的静态特性考虑安全控制,研究系统中各要素对系统安全的作用,在研究安全系统工程的基础上发展了系统安全分析、系统安全评价和系统安全预测理论。这些理论的研究和实际应用对现实中预防事故、保障安全生产已经起到了相当大的作用,目前这些理论还在不断发展、变化。随着非线性理论的兴起,非线性理论在安全研究领域的应用也得到了极大的发展。

安全系统是极为复杂的非线性系统,影响元素多而且关系复杂,安全状态或敏感或迟钝于控制变量,是典型的复杂系统。它具有如下的特性:

(1) 安全系统是复杂的,指系统表现出流变、突变、混沌、自组织、自相关等非线性现象。组成系统的各个影响要素之间非线性、并行、发散的相互作用,作为整体会产生特殊的行为和现象,使安全系统整体产生复杂的行为。

(2) 安全系统具有流变—突变特性,低层次因素的相互作用,在较高层次上可以表现为流变和突变两种状态,这取决于相互作用的非线性机制。多个要素相互作用产生出整体

的新的性质，叫做突变性质；该突变性质会引起整体的层次化，这些要素构成的整体又成为一个新的要素，并使上一层产生突变的性质；特别重要的是实现了整体会再次产生规定构成要素行为的反馈。部分之和绝非等于整体，整体也绝非部分之间的简单拼凑。

(3) 安全系统具有自组织特性。在内部结构不断改变，从而改变内部环境本身时，以及外部环境改变或外部影响内部时，在系统与环境相互作用下，系统会调节内部各个元素不断发展变化，形成新的安全系统。安全系统是能改造自身以适应环境变化，具有自组织特性的复杂系统。

(4) 安全系统行为受每个因素及相互作用的影响，不能独立地描述整个系统，而且系统的行为也是不可预测的。尽管要素间发生相互作用的规则比较简单，但是通过规则的回归性重复和迭代，会使系统的整体产生非常复杂的行为。

在遇到极为复杂的安全系统行为挑战时，基于安全系统具有明显的非线性特征，人们就将突变理论、混沌理论、分形理论等非线性理论应用到安全科学的研究当中，将灰色系统理论、神经网络等非线性研究方法用于安全系统的评价与预测之中。

非线性科学远未达到完善的程度，还不能解决许多实际问题，但它所揭示的普遍性规律正预示着科学上的重大突破。非线性科学在安全领域中的应用必将带动事故的评价、预测和预防；反过来，对安全系统中非线性问题的研究也将推动非线性科学的发展。

第二章 安全与事故的一般规律

第一节 基本概念

安全和生产是人类生存和发展的两大根本性问题。实现安全是人类最大的也是永恒的哲学命题。伴随着世界安全运动的兴起,人人渴望安全,国家治理安全,人类呼唤安全,世界共需安全。安全重视程度之高、谈论之多、投入之大可能是前所未有的。但反过来思考,安全到底是什么?迄今为止恐怕人们对安全的认识和理解不是那么形象、完备和科学,以至于不管对安全作何定义,都很难包容一般意义上安全的内涵。

一、安全的概念

从词意和典故考虑的安全的原始含义,是这样描述的:

(1) 安全在希腊文之中的意思是“完整”,而在梵语中的意思是“没有受伤”或“完整”,在拉丁文中有“卫生”(Salus)之意。

(2) “安”字指不受威胁、没有危险、太平、安全、安适、稳定等,可谓无危则安;“全”字指完美、完整,或指没有伤害、无残缺等,可谓无损则全。

安全,顾名思义,“无危则安,无缺则全”,即安全意味着没有危险且尽善尽美,是与人类的传统安全认识相吻合的。随着对安全问题研究的逐步深入,人类对安全的概念有了更深的认识,并从不同的角度给它下了各种定义。

其一,安全是指客观事物的危险程度能够为人们普遍接受的状态。

可以看出,该定义明确指出了安全的相对性及安全与危险之间的辩证关系,即安全与危险不是互不相容的。当系统的危险性降低到某种程度时,该系统便是安全的,而这种程度即为人们普遍接受的状态。如骑自行车的人不戴头盔并没有头部受伤的危险,只是人们普遍接受了该危险发生的可能性;而对于自行车赛车运动员必须戴头盔的规定,也是国际自行车联合会在经历了一系列的事故及伤害之后做出的决定。同样是骑车,环境不一样,要求也不一样,体现了安全与危险的相对性。

其二,安全是指没有引起死亡、伤害、职业病,或财产、设备的损害或损失,或环境危害的条件。

此定义来自美国军用标准MIL—STD—882C《系统安全大纲要求》。该标准是美国军方与军品生产企业签订订购合同时约束企业保证产品寿命安全性的纲领性文件,也是系统安全管理基本思想的典型代表。该标准从1964年问世以来,经历882, 882A, 882B, 882C, 882D若干个版本,对安全的定义也从开始是仅仅关注人身安全伤害,进而到关注职业病、财产或设备的损坏、损失直至环境危害,体现另外人们对安全问题认识进化的全过程,也从一个角度说明了人类对安全问题研究的不断扩展。

其三,安全是指不因人、媒介的相互作用而导致系统损失、人员伤亡,影响或造成时

间的损失。

安全是广义的，对于安全的概念还有很多的理解，真所谓百家争鸣。目前，一般认为，安全通常是指各种事物对人不产生危害、不导致危险、不造成损失、不发生事故、运行正常、进展顺利的状态，即，安全是指使人的身心不受到危害、感到有保障、太平、圆满等的事物存在与变化状态。

在一般的词典中，安全就是指没有危险。但是由于人们主观上对安全的认识不同，判别安全或不安全有很多概念。

霍巴特大学的罗林教授提出，“所谓安全系指判明的危险性不超过允许的限度；所谓危险系指判明的危险发生概率以及有害性超过了允许限度”。那不勒斯大学的史密斯教授在日本机械学会建立80周年纪念国际会议上引用了罗林教授的关于安全的定义，并发表了“安全是人们的心理状态”的论文。一般学者较同意这种说法。

尽管有各种各样关于安全的定义和理解，从系统的观点，应给安全作如下定义：安全是指任何一个工作中的系统在规定的条件下，使事故的风险控制在可接受的水平的一种状态。

二、系统安全概念

安全是指整个系统的安全，不是单指系统中某台机器、某个操作者或某种环境的安全。传统安全概念往往把事故原因主要归结为操作人员疏忽大意、操作失误，认为只要提高操作人员的警惕性和技术水平，就可以避免或大大减少事故。这确实抓住了事情的关键。在科学技术不发达的个体手工劳动中尤其如此。但在工业生产日趋复杂化、技术化的今天，情况就不完全如此了。现代生产系统中导致事故发生的原因不但与系统中人、机、环境本身的特性密切相关，更与人、机、环境之间的匹配情况有关，有时后者甚至起更为重要的作用。如果人机界面不符合人机工程学原则，例如机器运转对操作人员的要求超出了人们的生理、心理限制，那么，即使机器本身是可靠的，操作人员素质也是好的，系统运行时仍然可能发生事故。

三、安全的对立面是风险，不是事故

把不出事故与安全等同起来是不严格的。安全和风险是系统状态的相互对立的两个方面。安全应该用风险来度量，风险越小越安全；反之，越不安全。风险是一个概率，最简单的表示式是：

$$R = F \times S$$

其中， R 是风险， F 是事故发生的频率， S 是该事故后果的严重程度。

可见，风险大小取决于事故发生频率和事故后果严重程度两个因素。不能只把事故的多少作为衡量安全的标准。不能因为某段时间内（即使是较长一段时间内）没有发生事故，就认为是安全的。事故发生频率很小但一旦发生后果很严重的情况，与后果不很严重但发生频率很高的情况，两者的风险是相当的，都应当引起重视。人们往往关注频率很小而后果严重的事故，而忽视频率高而后果不严重或不显见的异常事件。这是一种概念上的误区，它常常给工业生产带来很大损失。例如，习惯性违章，往往屡纠不止，就是因为这些违章行为在大多数情况下没有严重后果或其后果不易被认识所致。

四、安全是可以量化的

风险是概率，有具体数值。因此，安全水平也可以量化，可用风险值来度量。这样，系统内各种不安全因素之间就有了可比性。例如，设备故障的风险，操作人员失误的风险，都可以计算出来，那么，它们之间就可以相互比较。这是安全决策的需要，也是人们对安全认识的深化。当风险值可以被人们接受时，就认为是安全的。那种认为安全无法量化的观点是错误的。

五、可接受的风险值

系统中操作人员能接受、公共也认可的风险值是可接受的风险值，它不是个人主观臆断而是受当时的客观条件限制的。这些条件包括：时间、成本、当时的科技水平、人们对安全的需要程度等。不同时代、不同系统、不同作业、不同人员可接受的风险值是不同的。在特殊情况下（如战争、天灾、特殊需要）可以提高可接受的风险值，但不能影响系统的功能。一般情况下，应尽量设法降低可接受的风险值，但也不可脱离现实的可能性。

六、系统的风险是动态的

系统中的机（设备、工具等）的性能由于老化、磨损、更新等因素而变化，有时可因设备老化而增加事故的风险，也可因更新设备和添置防误装置而降低事故的风险。环境在系统运行过程中也可能有变化。操作者生理、心理等变化对系统的影响更大，有时可因人失误而导致事故发生或扩大，有时也可因人及时控制而使事故不发生或不发展。因此，始终把风险值控制在可接受的水平是安全工作者的任务。

七、事故的基本概念

事故是系统运行过程中发生的意外的、突发的事件的统称，通常会使系统的正常运行中断，造成人员伤亡或财产损失等不良后果。

所谓系统，是指由相互间具有有机联系的组成部分结合而成的一个能完成特定功能的整体。其组成部分是各个子系统。系统，大到整个宇宙，或一个城市，或一座工厂（如发电厂），或一个车间乃至某个生产线，小到如工人用钉锤钉钉子。

1. 事故是在系统运行过程中发生的

每个系统都有它一定的功能。当系统发生事故时，通常会使系统的运行中断或其功能受到影响。例如，钉钉子的工人不小心把钉锤打在自己的手上，会暂停钉钉子，甚至手部受伤。又如，1998年海南三亚某220 kV变电站，因人员违章作业造成主变跳闸，事发后未向中调如实汇报；随后雷击线路发生接地故障，因主变的退出，三亚地区电网的零序阻抗和零序电流的分布和大小发生了极大的变化，继电保护设置不能正常动作，导致7个110kV变电站停电，海南南部电网瓦解，三亚市全市停电48分钟，波及通什市、保亭县停电，南山电厂甩负荷解列。再如，2002年我国国际航空公司“4·15空难”和北方航空公司“5·7空难”，机毁人亡，造成飞行系统中断。

2. 事故是意外的突发事件，属于随机事件

随机事件很难预测，但它也有规律可循，通常遵循“大数定律”。由大量事件统计分析，

可以得出很多有参考价值的规律性结论，如三角形规律、设备故障的浴盆曲线、事故的多发时间、事故的多发作业等。

3. 事故是一个动态过程，有萌发、发展、突发3个阶段

萌发阶段最重要。在萌发阶段，往往会出现许多征兆，如果此时能被仪表显示并为人所感知，就有可能控制其发展而把事故扼杀在萌芽状态。所以，萌发阶段是消除事故的最关键时期。然而约有30%~40%的事故是由于在萌发阶段没有被发现（没有显示或没有被感知）而导致的。当然，事故发展阶段也不失为发掘事故隐患的重要时机，如能及时采取措施，也能阻止事故的发生。

4. 事故的发生有它的必然性

任何系统只要存在不安全因素，且未予消除或控制，迟早会发生事故。事故发生的根本原因是系统内潜在的各种不安全因素（事故隐患）。

不安全因素包括：硬件的缺陷（如没有发现的设计缺陷、材质缺陷、老化、磨损等），操作规程缺陷，以及常常被忽视而又十分重要的操作人员知识、技能、安全素养方面的缺陷。随着计算机技术迅猛发展，许多人的操作由计算机替代或参与，又带来了计算机软件的安全性问题。上述种种不安全因素在特定条件下就会导致事故。如果及时发现并设法消除了不安全因素，就会避免事故的发生。

第二节 安全与事故的一般规律

在人类社会活动中，交通事故、火灾事故为什么接连不断发生呢？在企业生产实践中，煤矿生产中的瓦斯、煤尘爆炸事故，冒顶、片帮事故；建筑施工中的高空坠落事故，坍塌事故；石油化工企业的火灾、爆炸事故；以及所有行业共性的起重伤害、机械伤害、触电、物体打击、中毒和窒息等事故，为什么长期以来重复发生呢？这难道是不可避免的、不可改变的吗？不是！经过长期的探索发现：在人类社会除在特殊情况下，新发生的、不可预见的意外事故是不可避免的之外，而社会中绝大多数事故，即社会中重复发生的同类事故，均是可以避免的。这是因为世界是物质的，物质是运动的，运动是有规律的。同样，人类社会中的安全与事故，以及怎样预防、控制事故也是有规律的。只要人们能认识掌握安全与事故的运动规律和预防、控制事故的规律，把传统的事后管理转到事故发生之前，从本质上对事故进行超前有效预防和控制，社会中绝大多数事故是可以避免的。所谓规律，通常上指客观事物的内在本质联系，或客观事物之间的内在本质联系。世界上任何规律都属于一定的物质运动和客观事物自身所固有的，不能有人来制造、消灭或改变的。所谓安全与事故的运动规律，是指安全与事故的自然生存规律和各自内涵本质与外延现象的普遍性联系，以及两者相互联系所具有的发展变化规律。下面仅就安全与事故的自然生存规律和发展变化规律加以概述。

一、安全与事故的自然生存规律

安全与事故的自然生存规律，是指安全与事故普遍存在于自然界和人类社会活动之中，具有与客观事物规律相依而生的自然属性。但是，两者又有本质上的区别：安全是客观事物规律运动的产物，事故是客观事物异常运动的产物。在日常生产实践和社会活动中，人