



高等教育“十三五”规划教材  
国家级特色专业建设资助教材 (TS11624)

# 安全工程学

第二版

主 编 伍爱友 李润求  
主 审 施式亮

Anquan Gongchengxue

Anquan Gongchengxue

中国矿业大学出版社

China University of Mining and Technology Press

高等教育“十三五”规划教材

国家级特色专业建设资助教材(TS11624)

# 安全工程学

(第二版)

主编 伍爱友 李润求

主审 施式亮

中国矿业大学出版社

## 内 容 提 要

本书根据作者多年的教学体会和经验精心编写,严格遵循《学科分类与代码》(GB/T 13745—2009)的学科体系,将体系中的技术科学层次——安全技术工程学、安全社会工程学、安全系统工程学和安全人体工程学四类技术科学分支学科知识要点以“编”的形式归纳总结到《安全工程学》中。编写过程中强调基础性、全面性、系统性、前沿性,注重基本理论与实例分析相结合。

本书可作为高等院校安全工程专业本科生、研究生的必修教材及高校相关专业的选修教材,也可供各级政府、企事业单位的领导干部、安全管理人员、安全工程技术人员及相关专业人员阅读,亦可作为安全研究的参考书及培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

安全工程学/伍爱友,李润求主编.—2版.—徐州:中国矿业大学出版社,2016.7

ISBN 978-7-5646-3189-5

I. ①安… II. ①伍… ②李… III. ①安全工程—高等学校—教材 IV. ①X93

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 173780 号

- 书 名 安全工程学  
主 编 伍爱友 李润求  
责任编辑 王美柱  
出版发行 中国矿业大学出版社有限责任公司  
(江苏省徐州市解放南路 邮编 221008)  
营销热线 (0516)83885307 83884995  
出版服务 (0516)83885767 83884920  
网 址 <http://www.cumtp.com> E-mail: cumtpvip@cumtp.com  
印 刷 江苏淮阴新华印刷厂  
开 本 787×1092 1/16 印张 32 字数 840 千字  
版次印次 2016年7月第2版 2016年7月第1次印刷  
定 价 39.80 元

(图书出现印装质量问题,本社负责调换)

## 《安全工程学》编写人员名单

主 编	伍爱友	李润求	
副主编	周德红	何利文	田冬梅
	陈先锋	王 飞	刘 新
参 编	姚 建	任高峰	王鹏飞
	王 燕	宋 译	郝晓华
	罗文柯	崔 艳	牛会永
	田兆君	柴红宝	李石林
主 审	施式亮		

## 第二版前言

安全工程专业的高等教育是培养安全类人才的主要途径,是安全科学发展的基础,也是搞好安全工作的重要保证,它对于提高安全管理水平、保证公众的安全与健康、防止重特大事故的发生和保证人员财产免受损失都有十分重要的意义。近些年来,我国的安全高等教育有了很大的发展,安全工程专业建设个数逐年递增,从2001年的45个享有学士学位授予权的单位到2015年7月所统计出来的设置安全工程学科的150多所本科与研究生高校,学校性质逐渐由工科类院校拓宽到文科类型高校。借助设计消除和控制不安全因素是安全工程的重要原则和组成部分,也是广大工程技术人员的重要使命。《中华人民共和国安全生产法》(2014年12月1日起修订施行)规定,新建、改建、扩建的基本建设项目(工程)、技术改造项目(工程)和引进的建设项目(工程)的安全设施必须符合国家规定的标准,必须与主体工程同时设计、同时施工、同时投产使用。这就要求高等学校安全工程专业的学生不仅要掌握本技术领域内的理论和技能,而且要具备能综合运用所学自然科学、技术科学和管理科学等方面的有关知识,识别与预测生产、生活中存在的不安全因素,采取有效的控制措施防止事故发生的工程技术实践能力。

正因为生产建设和各种体力、脑力劳动是人类社会赖以生存和发展的基础,而保护人类自身在生产劳动中的安全健康则是人们最基本的需要之一。因此,作为具有普遍合理性知识体系的新学科——安全工程学,已经蓬勃发展成一门综合性工程学。其研究对象是人为灾害和设备自身带来的不安全因素,研究分析不安全因素的内在联系和规律,从而找出预防和防止事故的有效措施;它追求的主要目标是保障工作人员安全、健康地长期进行工作,使身体各部位都不遭受任何伤害;关乎其社会效益,不仅能拯救成千上万人的生命和健康,而且能减少巨大的经济损失,至少包括:保障人身的安全、健康、舒适,促进经济发展,保证社会安定等三个方面。

目前,全国大多数具有安全工程专业的高校都开设了“安全工程学”或与该课程相似的课程,众多专家学者在教材建设上也做了大量工作与贡献。然而,就目前各高校使用教材的情况来看,依旧存在如下弊端:①教材较为陈旧,知识更新较慢;②部分教材行业特征过于明显,理论性太强,很难满足各个高校安全工程专业教材的通用性;③教材知识体系与知识结构并不完整,安全技术理论与应用范畴并未涉及,部分章节较为冗长且与其他教材的重复率高。基于此,在高等教育(矿业)“十三五”规划教材建设委员会的支持下,由湖南科技大学、武汉理工大学、武汉工程大学、辽宁工程技术大学、河南理工大学、华北科技学院、天津城市建设学院、太原理工大学、湘潭大学等九所兄弟院校共同完成了《安全工程学》的编写工作。

本教材在编写过程中,不仅对国内外本门学科的科学成果和资料进行收集、整理、调整和加以系统化,而且在教材中也充分体现了经认真总结和按照教学规律提炼的作者近年来所取得的研究成果和工程实际体会。教材力求简明精炼、重点突出、主次分明。一方面,突出矿山、建筑、交通等特色方向;另一方面,立足于夯实基础,具有较宽厚的安全科学知识面。以阐述安全科学的基本原理和各类安全工程现象的普遍规律为核心,侧重于基本概念、基本原理、基本

方法及其应用、典型安全问题的科学分析;强调教材的科学性、系统性,并且注重难易结合、基本理论与典型实例分析的结合,以达到学科拓宽的目的。

本教材共分四编十六章。其中:第一章为总论;第一编为安全社会工程学,包括事故与事故调查、安全管理原理和方法、安全教育与安全文化、安全经济与事故损失(第二章~第五章);第二编为安全系统工程学,包括危险源辨识理论、危险性分析方法、系统安全评价、系统安全预测与决策(第六章~第九章);第三编为安全技术工程学,包括机械电气安全工程、防火防爆安全工程、特种设备安全工程、部门安全工程、职业危害控制技术(第十章~第十四章);第四编为安全人体工程学,包括安全生理和心理、安全人机工程(第十五章、第十六章)。具体编写分工如下:湖南科技大学伍爱友、李润求编写第一章、第四章;武汉工程大学周德红编写第二章、第六章;辽宁工程技术大学刘新编写第三章、第十二章;华北科技学院田冬梅编写第五章;天津城市建设学院王鹏飞编写第七章;太原理工大学王飞编写第八章;湘潭大学何利文编写第九章;辽宁工程技术大学郝晓华编写第十章;武汉理工大学陈先锋编写第十一章;武汉理工大学任高峰编写第十三章;华北科技学院姚建编写第十四章;河南理工大学王燕编写第十五章;湖南科技大学宋译编写第十六章。全书由伍爱友总体策划,提出总体编写思路,制定总体框架,确定编写原则和各章内容;由李润求统稿和总体修改;施式亮教授对全部书稿进行了全面、认真、细致的审稿。

本教材的出版经历了一个漫长的过程,凝结了许多编写人员和幕后人员的心血。教材引用了许多已有的相关资料和接受了数十位专家学者的审查与建议。在此,向本教材所引用资料的作者和评审专家以及所有关心支持本教材编写的领导和专家学者表示最真诚的敬意。对参加本书组稿、编辑、校对等工作的罗文柯、崔艳、牛会永、田兆君、柴红宝、李石林等同仁以及潘杰、程嘉华、陈敏友、张杰、易文清等学生表示衷心感谢。本教材得到了国家级特色专业建设项目(TS11624)资助。

本版教材是在第一版原有的章节结构与知识体系的基础之上,经修改、调整与完善而编成的。教材中涉及的标准规范,已引用最新版本(截至2016年6月底)。由于本教材涉及面非常宽广,内容十分丰富,而且限于人力和编写时间以及编写人员学识的限制,教材难免有许多不足之处,特恳请有关专家学者提出宝贵意见,以便在以后修订和补充。

编者

2016年7月

# 目 录

第一章 总论	1
第一节 安全的基本概念及特征	1
第二节 安全技术与安全科学的发展	5
第三节 安全科学的核心理论与学科分类	10
第四节 安全工程和安全工程学	16
复习思考题	21

## 第一编 安全社会工程学

第二章 事故与事故调查	25
第一节 事故的概念、分类和统计	25
第二节 事故的基本特征和影响因素	33
第三节 事故致因理论和事故预防	36
第四节 事故调查组织	42
第五节 事故责任和整改措施	46
复习思考题	48
第三章 安全管理原理和方法	49
第一节 安全管理概述	49
第二节 安全管理的基本原理	53
第三节 安全法规管理	57
第四节 安全信息管理	61
第五节 职业安全健康管理体系简述	67
复习思考题	73
第四章 安全教育与安全文化	74
第一节 安全教育与安全文化的辩证关系	74
第二节 安全教育的基本机理	76
第三节 安全教育原则与组织实施保障	78
第四节 安全文化的科学属性	81
第五节 安全文化建设	85
第六节 建设安全文化的教育实践	88
复习思考题	93

<b>第五章 安全经济与事故损失</b> .....	94
第一节 概述 .....	94
第二节 安全投资与安全效益 .....	98
第三节 伤亡事故经济损失 .....	105
第四节 安全经济效益评价 .....	110
复习思考题 .....	113

## 第二编 安全系统工程学

<b>第六章 危险源辨识理论</b> .....	117
第一节 危险源与危险源辨识 .....	117
第二节 危险源辨识的内容和程序 .....	119
第三节 危险源辨识的基本途径 .....	120
第四节 工业中常见的危险源辨识 .....	126
第五节 重大危险源辨识 .....	130
复习思考题 .....	138
<b>第七章 危险性分析方法</b> .....	139
第一节 安全检查与安全检查表 .....	139
第二节 预先危险性分析 .....	142
第三节 故障类型、影响和致命度分析 .....	145
第四节 危险与可操作性研究 .....	149
第五节 事故树分析 .....	154
第六节 事件树分析 .....	170
第七节 作业条件危险性评价法 .....	176
复习思考题 .....	179
<b>第八章 系统安全评价</b> .....	180
第一节 安全评价概述 .....	180
第二节 定性安全评价方法 .....	187
第三节 模糊安全评价法 .....	201
第四节 定量安全评价方法 .....	209
第五节 安全评价验收报告 .....	220
第六节 安全评价实例分析 .....	227
复习思考题 .....	244
<b>第九章 系统安全预测与决策</b> .....	245
第一节 预测的种类和基本原理 .....	245
第二节 预测方法 .....	248
第三节 安全决策过程和决策要素 .....	259



第四节 定性属性的量化·····	263
第五节 安全决策方法·····	266
复习思考题·····	274

### 第三编 安全技术工程学

第十章 机械电气安全工程·····	279
第一节 机械安全基础知识·····	279
第二节 机械设备安全操作技术·····	282
第三节 电气安全技术·····	288
第四节 机械电气防火与防爆·····	305
复习思考题·····	311
第十一章 防火防爆安全工程·····	312
第一节 概述·····	312
第二节 火灾与爆炸及其危害·····	315
第三节 火灾消防工程·····	328
第四节 危险物品燃烧爆炸特性·····	340
第五节 防火防爆技术措施·····	351
复习思考题·····	359
第十二章 特种设备安全工程·····	360
第一节 特种设备基础知识·····	360
第二节 锅炉、压力容器和压力管道·····	364
第三节 起重和运输安全·····	382
第四节 大型游乐设施·····	397
复习思考题·····	400
第十三章 部门安全工程·····	401
第一节 矿山安全技术·····	401
第二节 建筑施工安全技术·····	415
第三节 化工安全技术·····	421
第四节 交通安全技术·····	425
复习思考题·····	433
第十四章 职业危害控制技术·····	434
第一节 工业有害物质的产生及危害·····	434
第二节 有害环境的检测与控制·····	441
第三节 职业危害因素控制·····	445
复习思考题·····	451

## 第四编 安全人体工程学

第十五章 安全生理和心理	455
第一节 安全生理	455
第二节 安全心理	460
第三节 不安全行为的生理和心理分析	466
第四节 安全行为的激励	469
复习思考题	472
第十六章 安全人机工程	473
第一节 安全人机工程基础	473
第二节 安全人机关系	476
第三节 安全人机系统	478
第四节 人机系统设计与检查	489
复习思考题	498
参考文献	499

# 第一章 总 论

安全科学在中国的建立和发展有其产生的必然条件,回顾其形成的历史和原因,应从灾害、事故、安全说起。在中国,从新中国成立初期的劳动保护工作、职业安全与卫生方面的防护和防治技术,到安全工程技术、卫生工程技术和安全科学管理,逐渐形成当今的安全科学,经历了60多年的时间。而20世纪80年代可以说是安全科学在中国建立和发展的黄金时期,其主要表现为:对安全及安全科学的概念、安全科学研究的基本要素和范畴、安全科学的学科体系结构等有了较为新颖的理论。科学哲学、系统科学成为创建中国安全科学的科学基础。科学的方法对加速确立和完善中国安全科学学科起了催化和十分关键的作用。

## 第一节 安全的基本概念及特征

人类生存、繁衍和发展离不开生产与安全。生产劳动是人类改造自然、征服自然、创造财富的社会活动,它既有给人类提供物质财富、促进社会发展的一面,也有给人类带来灾难的一面。这是因为在生产劳动过程中,可能发生机械伤害、锅炉和受压容器的爆炸、电击电伤、起重运输设备和机动车辆的伤害等事故,铸造、砂轮、电瓷、采矿生产中的粉尘可使工人患硅肺病,蓄电池生产过程中的铅尘、铅烟会导致铅中毒,生产设备的噪声、振动等也会危害人体健康,汽车运输导致交通事故的出现等。人类为了避免随着生产工具和生产技术的不断发展所带来的危害,也在不断探索和积累保护自己的经验,从而逐步产生了劳动保护科学,并发展形成了现在的安全科学。

### 一、安全问题概述

#### (一) 安全问题的含义

“安全”是人们频繁使用的词汇。“安”字是指不受威胁、没有危险,即所谓无危则安;“全”字是指完满、完整、齐备或指没有伤害、无残缺、无损坏、无损失等,可谓无损则全。显然,“安全”是指免受人员伤害、疾病或死亡,或避免引起设备、财产破坏或损失的状态。一旦这种状态受到威胁或遭到损害,就产生了安全问题。安全问题既涉及人又涉及物。由于公众观念总是把“安全”看成是对人而言的,因此安全又指人的身心免受外界(不利)因素影响的存在状态(包括健康状况)及其保障条件。安全问题就是影响人的身心的外界不利因素和破坏其安全存在状况的破坏条件。

安全问题的大小和繁简不仅取决于人们对“安全”的渴望程度,而且也取决于在劳动生产过程中实际造成的灾害和损失。因此安全问题既是隐性的,又是显性的,既涵盖引发灾害的安全隐患,又包含破坏安全状态的灾害。在当前条件下,对安全问题内涵的理解可以分为两大类,即绝对的安全观和相对的安全观。绝对安全观认为:安全就是无事故、无危险,指客观存在的系统无导致人员伤亡、疾病,无造成人类财产、生命及环境损失的条件。这一观点在相当长的历史时期内很盛行,目前仍在相当一部分生产管理人员、科研人员和工程技术人员的思想中有着深深的烙印。在早期出版的一些典籍和教科书中,也同样表明安全就是“无危险、无风险”

的观点。相对安全观则认为:安全是指客体或系统对人类造成的可能的危害低于人类所能允许的承受限度的存在状态。美国哈佛大学的劳伦斯教授认为,安全就是被判断为不超过允许限度的危险性,也就是指没有受到伤害或危险,或损害概率低的通常术语。也有人认为,安全是相对于危险而言的,世界上没有绝对的安全。还有学者认为,安全是指在生产、生活过程中能将人员和财产损失(害)控制在可以接受的水平状态。也就是说,安全即意味着人员和财产遭受损失(害)的可能性是可以接受的,如果这种可能性超过可以接受的水平,即被认为是不安全的。目前,这些观点在学术界具有代表性。

## (二) 安全问题的产生和发展

在人类的一切活动中,与安全问题直接或间接关联的不外乎是人、物以及人与物的关系。人是安全的主体和核心,也是研究一切安全问题的着眼点。人既是保护对象,又可能是保障条件,或者是危害因素。总之,没有人的存在也就根本不存在安全问题。物是指物质,它可能是安全的保障条件,也可能是危害的根源。能够保障或危害人的物质存在的领域极其广泛,形成也极复杂,甚至可以说它散布在人类身心之外的所有客观事物之中。

灾害是人类安全的大敌,灾害可分为自然灾害和人为灾害两大类。人为灾害也称人为事故。人为事故或人为灾害有多种分类,但基本上涉及的范围包括:火灾与爆炸、交通(水、陆、空)事故、公共场所事故、建筑物事故、企业事故、医疗事故、中毒事件及流行病、职业安全与卫生、城市灾害、高新技术事故(航天、核、计算机、化学品等)等。现代灾害致灾规律表明,在所有灾害中,人为因素占全部灾害因素的80%以上,且有从自然态向人为态、混合态转化的趋势,这是必须承认的全球性问题。技术与人类的命运休戚相关,人类每逢生存困境时,就会经过艰苦的探索发明出某种技术,使人类渡过难关;然而,随着一种新的技术的出现,新的安全问题也伴随而生,而且随着技术的发展,其危害程度和损失等级也不断提升。

远古时代,安全问题主要是自然灾害。随着手工业生产的出现和发展,生产技术提高和生产规模逐步扩大,生产过程中的安全问题随之突出。开采煤矿,遇到了处理矿井内瓦斯和顶板安全的问题;建造高塔,遇到了高空坠落的问题;镀金工艺中,会出现水银中毒的问题。到了18世纪中叶,蒸汽机的发明给人类发展提供了新的动力,使人类从繁重的手工劳动中解脱出来,劳动生产率空前提高。但是,劳动者在自己创造的机器面前致死、致伤、致病、致残的事故与手工业时期相比也显著增多。到了20世纪初,随着工业的不断发展,工业卫生问题和职业病开始侵害劳动者的生理、心理健康。石油化工、冶金、交通、航空、核电站等,一旦发生事故,将会造成巨大的灾难,不仅使企业本身损失严重,还会殃及周围居民,有的后遗症还会延续几十年、上百年。到了21世纪,随着信息时代的到来和飞速发展,人一机—环境联系越发紧密,一个环节中的一个小问题就会造成巨大灾害。2003年初,在全球蔓延的SARS病毒传播之快、危害之深,又向人类提出一个新的安全问题——变异基因的破坏问题。

## 二、安全科学的本质

### (一) 安全科学的含义

德国学者库赫曼指出:“安全科学的主要目的是保持所使用的技术危害作用绝对地最小化,或至少使这种危害作用限制在允许的范围内。为实现这一目的,安全科学的特定功能是获取和总结有关知识,同时探索防止这些技术系统的固有危险的可能性,并将发现和获得的知识应用于安全工程之中。”库赫曼认为,由于不希望的技术副作用会危及生命、健康、财产或精神价值(如大自然的美),因此,无论从道义上还是从经济上考虑,都应尽可能避免这类损害。这就明确指出安全科学的目标是保障人的安全,避免财产损失,并保护环境。以系统为对象,进

行预测研究,这是库赫曼教授倡导的安全科学的最重要的特色。长期以来,发展安全技术的驱动力,是在应用有关技术时从损害中获得经验,然而,这种经验只在有限的认识能力范围内取得,它所感知的只是损害与原因之间简单的因果关系,而不是洞察许多不同现象之间普遍的因果关系。总之,传统的安全技术是建立在事故统计的基础上,是经验型的,其主要特征是事后整改。这种状况,已不能适应现代高风险的技术环境,必须进行各种预测研究,以一种全新的方法来取代或至少补充传统的被动式反应方法。尤为关键的是,在技术系统设计时,一开始就应采取正确的针对性措施。为了从简单的因果分析或仅以单一组元为对象的感知模式中解脱出来,安全科学要处理系统中包含的各种组元,即要处理那些由人、机器、环境及其相互作用构成的安全技术、产业安全和污染控制的许多问题。

比利时学者J. 格森(J. Geysen)教授认为:“安全科学研究人、技术和环境之间的关系,以建立这三者的平衡共生生态(equilibrated symbiosis)为目的。”

我国学者刘潜(1985)认为:“安全科学是一门专门研究人们在生产及其活动过程中的身心安全(含健康、舒适、愉快乃至享受)与否的矛盾,以达到保护劳动者及其活动能力,保护其活动效率的跨门类、综合性的横断科学。”“安全科学是一门专门研究安全的本质及其运动、转化规律与保障条件的科学。”“安全”是指免受人员伤亡、疾病或死亡,或避免引起设备、财产破坏或损失的状态,即指人的身心免受外界因素影响的存在状态(包括健康状态)及其保障条件。“科学”是人类认识和揭示客观事物的本质及其运动变化规律的活动过程并形成自己的系统知识和理论,是解释事物是什么和为什么的道理。

从以上的几种论述中,我们对安全科学的概念可有以下几点认识:

(1) 安全科学的研究领域:包括人类的生产、生活和生存活动。

(2) 安全科学的研究对象:主要是人类技术系统领域的灾害或事故(技术灾害与人、机和环境因素有着直接的关系)。

(3) 安全科学的目的:保护人的安全与健康;避免物质财产的损失;保障技术功能和环境的安全。这就使安全科学的目的从单纯着眼于人而扩展到人一机一环境的安全性。

(4) 安全科学的任务:不仅要研究实现安全目标的技术方法和手段,还要研究安全的理论和策略。

(5) 安全科学的特点:综合性与交叉性。人一机一环境中,人是主体,他们始终有意识地操纵机器和控制环境,这方面的因素主要由安全心理学、安全生理学、生物力学、社会学等学科解决;机器始终是人类的劳动手段和工具,执行人的意识,服从人的意志,这方面的因素主要由工程技术来研究;人一机接口是中心环节,主要由安全系统工程、安全人机工程、安全教育和安全管理等来研究;人一机关系中,对影响系统中人的生活、健康,特别是影响人的工作能力以及影响机器设备正常运行的所有天然的、人为的或其他各种组合因素应予以消除,这方面需要工程技术和卫生工程等来研究解决。总之,安全问题是一种物质—社会现象。因此,其知识体系涉及数、理、化、天文、地理、生物,以及经济、法学、管理、教育等。安全科学不仅包括自然科学的知识,而且也包括社会科学的知识,所以,它是一门综合性跨学科交叉科学。

## (二) 安全科学的性质

安全具有相对性、局部稳定性、复杂性和社会性,安全的这些特性内在地决定了安全科学的综合性与交叉性、自然性与社会性、横断性与独立性。

### 1. 综合性与交叉性

自从有了人类,便出现了安全问题及其研究,可以说安全与人类生产与发展的各个环节和

阶段都有着密切的关系。安全问题关系到各个方面,涉及诸多领域,安全问题的防范与解决必然要依靠一些综合知识与综合方法来解决。安全理论问题和安全科学技术,并非某一个单一学科的理论与技术能奏效,必须依靠多门类、跨学科的各种科学技术的协同与综合才能有效地解决。因而,以研究和解决安全问题为主要研究对象的安全学科必然是综合性的。安全科学具有特定目的性、功能系统性、复杂非线性和形成整体的综合性等综合科学的基本特征,具有跨门类、多学科、综合性和交叉性的特点,与管理科学和环境科学同属综合科学。

## 2. 独立性

安全科学具有综合性与交叉性,并不是说安全科学是一个大杂烩,安全科学具有自己独特的研究内容与方法,有着自己的研究刊物与研究共同体,其研究领域已经基本形成。再者,安全科学有着自己的逻辑体系与演绎公理,并客观上存在着一个框架完整的体系结构,具有一定的独立性。

## 三、安全的基本特征

安全科学是研究安全的本质和运动规律的科学。安全的本质是反映人、物以及人与物的关系,并使其实现协调运转。要认识安全的本质就要深刻地探讨其基本特征。

### (一) 安全的必要性和普遍性

安全是人类生存的必要前提。安全作为人的身心状态及其保障条件,是绝对必要的。而人和物遭遇到人为的或天然的危害或损坏又是常见的,因此不安全因素是客观存在的。人类生存的必要条件首先是安全,如果生命安全都不能保障,生存就不能维持,繁衍也无法进行。实现人的安全又是普遍需要的。在人类活动的一切领域,人们必须尽力减少失误,降低风险,尽量使物趋向本质安全化,使人能控制和减少灾害,维护人与物、人与人、物与物相互间的协调运转,为生产活动提供必要的基础条件,发挥人和物的生产力作用。

### (二) 安全的随机性

安全取决于人、物和人与物的关系协调,如果失调就会出现危害或损坏。安全状态的存在和维持时间、地点及其动态平衡的方式等都带有随机性。因而,保障安全的条件是相对地限定在某个时空,条件变了,安全状态也将发生变化。因此,实现安全有其局限性和风险性,当然要尽量做到不安全的概率极小(即安全性极高),保证安全时空条件稳定。但是,就当代人的素质和科技水平而言,只能在有限的时空内尽力做到控制事故。如果安全条件变化,人与物间关系失调,事故会随时发生。

### (三) 安全的相对性

安全的标准是相对的。因为人们总是逐步揭示安全的运动规律,提高对安全本质的认识,向安全本质化逐渐逼近。影响安全的因素很多,以显性或隐性表征客观(宏观)安全。安全的内涵引申程度及标准严格程度取决于人们的生理和心理承受的程度、科技发展的水平、政治经济状况、社会的伦理道德、安全法学观念、人民的物质和精神文明程度等现实条件。公众接受的相对安全与本质安全之间是有差距的,现实安全是有条件的,安全标准是随着社会的物质文明和精神文明程度提高而提高的。

### (四) 安全的局部稳定性

无条件地追求绝对安全,特别是巨大系统的安全是不可能的。但有条件地实现人的局部安全或追求物的本质安全化,则是可能的、必需的。只要利用系统工程原理调节、控制安全的三个要素,就能实现局部稳定的安全。安全协调运转正如可靠性及工作寿命一样,有一个可度量的范围,其范围由安全的局部稳定性而决定。

### （五）安全的经济性

安全与否,直接与经济效益的增长或损失相关。保障安全的必要经济投入是维护劳动者的生产流动能力的基本条件,包括安全装置、安全技能培训、防护设施、改善安全与卫生条件、防护用品等方面的投入,这些都是保障和再生生产力的投入。安全科学技术作为第一生产力,它不仅通过维护和保障生产安全的运转来提高生产效率,而且作为生产力投入也有其馈赠性的经济价值,如创造的产品本身的安全性能及其可靠性就含有安全的潜在经济价值。另外,安全保障所不出现的危险伤害和损坏的本身就是减少了经济负效益,这就等于创造了经济效益。

### （六）安全的复杂性

安全与否,取决于人、物(机)和人与物(机)的关系,实际形成了人(主体)—机(对象)—环境(条件)运转系统。这是一个自然与社会结合的开放性系统。在安全活动中,由于人的主导作用和本质属性,包括人的思维、心理、生理等因素以及人与社会的关系,即人的生物性和社会性,使安全问题具有极大的复杂性。安全科学的着眼点是从维护人的安全的角度去研究某系统的状态,最终使该系统成为安全系统。

### （七）安全的社会性

安全与社会的稳定直接相关。无论是人为灾害还是自然灾害,如生产(人工)中出现的伤亡事故,交通运输中的车祸、空难,家庭中的伤害及火灾,产品对消费者的危害,药物与化学产品对人健康的影响,甚至旅行、娱乐中的意外伤害等,都将给个人、家庭、企事业单位或社会团体带来心灵和物质上的危害,成为影响社会安定的重要因素。安全的社会性的一个重要方面还体现在对各级行政部门以及对国家领导人或政府高层次决策者的影响。“安全第一,预防为主,综合治理”为基本国策,反映在国家的法令、各部门的法规及职业安全与卫生的规范标准中,从而使社会和公众在安全方面受益。

### （八）安全的潜隐性

对各类事物的安全本质和运动变化规律的把握程度,总是受人的认识能力和科技水平限制的。广义安全的含义,不仅考虑不死、不伤、不危及人的生命和躯体,还必须考虑不对人的行为、心理造成精神伤害。如何掌握伤害程度的界限及确定公众能接受的安全标准有待研究,各种产品(特别是化工产品)、医药、人工合成材料、生物工程产品、遗传工程产品等均有许多潜在危害,需要人去专门探讨。客观安全由明显的和潜隐的两种安全因素组成,它包括能识别、感知和控制的安全和无把握控制的模糊性安全。所谓安全的潜隐性,是指控制多因素、多媒介、多时空、交混综合效应而产生的潜隐性安全程度。人们总是努力使安全的潜隐性转变为明显性。因此,安全的潜隐性问题亟待人们研究,只有通过实践探索,才能找到实现安全的方法。

## 第二节 安全技术与安全科学的发展

### 一、安全技术的产生与发展

追溯到远古时代,原始人为了提高劳动效率和抵御猛兽的袭击,利用石器和木器制造了作为狩猎(即生产)和自卫(即安全)的工具,可以说这是最原始的“安全技术”措施。随着手工业生产的出现和发展,生产技术提高和生产规模逐步扩大,生产过程中的安全问题随之突出。因此,安全防护器械也随着工具的进步而发生了质的飞跃。例如,我国古代的青铜冶铸及其安全防护技术都已达到相当高的水平。从湖北铜绿山出土的古矿冶遗址来看,当时在开采铜矿的作业中就采用了自然通风、排水、提升、照明以及框架式支护等一系列安全技术措施。1637



年,宋应星编著的《天工开物》一书中,详尽地记载了处理矿井内瓦斯和顶板的安全技术:“初见煤端时,毒气灼人,有将巨竹凿去中节,尖锐其末,插入炭中,其毒烟从竹中透上”;采煤时,“其上支板,以防压崩耳。凡煤炭取空而后,以土填实其井”。从某种意义上说,这就是现在的“矿业安全工程”的雏形。公元989年,北宋建筑学家喻皓主持建造了汴京开宝寺灵威木塔,木塔高11层,每层在塔体周围置一周帐幕加以遮挡,起到了安全网的作用,保证安全施工。北宋孔平仲在《谈苑》一书中记载了镀金人水银中毒,头手俱颤的现象。明代李时珍在《本草纲目》一书中记载有采铅人中毒现象:“钻空山穴石间,其气毒人,若连日不出,则皮肤萎黄,腹胀不能依,多致疾而死”。这些都说明在当时对工业生产中的职业中毒等危害因素已有一定认识。

到了20世纪初,随着工业的不断发展,人们除了注意对工业卫生和职业病的防治外,还开始从设备和劳动者的生理、心理因素两方面来考虑组织生产的安全工作,并出现了研究人和机器、环境的关系的人机工程学。近60年来,随着工业技术的高速发展,工业生产过程日益连续化,工业生产规模日益大型化,安全问题也越来越引起社会的重视和关注。这是因为许多大型企业,特别是像石油化工、冶金、交通、航空、核电站等,一旦发生事故,将会造成巨大的灾难,不仅会使企业本身损失严重,而且还会殃及周围居民,造成公害。因此,各国对安全技术的研究与应用都给予了极大的重视。例如,为了核电厂的安全,各国从核电厂的设计、管理以及国家对其领导和保障上,从一旦发生事故的应急措施上,均有一整套科学、可行的安全方案,成了核电厂的核安全的根本保障。1988年由国际原子能机构出版的《核电厂基本安全原则》一书,使全世界的核电厂安全管理及安全运行提高到新的水平,树立了核电厂安全高于一切意识和观念,没有安全,核电厂就不可能正常运转。与此同时,各国还通过加强立法手段来防止事故的发生。世界各国都普遍建立了安全研究组织与机构,同时,各国也相继在高校中开办了安全工程、工业卫生、系统安全、防火技术等安全类专业,并设立了所属的研究机构。如英国伯明翰大学设立了工程制品系工业人机工程组,从事有关人在劳动中的良好状态和行为因素的教学与研究;伯明翰阿斯顿大学设立了安全与卫生系,其研究规划已涉及危害的概念、控制方法及其效果、确定与测定危险与安全程度、特殊的危害测定、各种事故营救与急救方法、职业危险防护的理论组织、职业事故的理论分析、预防事故的经济观点和职业病理学等。

综观人类历史的发展过程,安全技术的发展大致可分为四个发展阶段:第一阶段是工业革命前,生产力和仅有的自然科学都处于自然和分散发展的状态,人类对自身的安全问题还未能自觉地认识和主动采取专门的安全技术措施,从科学的高度来看,这尚处于“无知”(不自觉)的安全认识阶段;第二阶段是工业革命后,由于生产中使用了大型动力机械和能源,伴随而生的危害因素也同步增多,这就迫使人们对这些局部人为危害问题不得不进行深入认识并采取专门的安全技术措施,于是发展到局部安全认识阶段;第三阶段是由于形成了军事工业、航空工业,特别是原子能和航天技术等复杂的大生产系统和机器系统,局部的安全认识和单一的安全技术措施已无法解决这类生产制造和设备运行系统中的安全问题,从而发展了与生产力相适应的系统安全技术措施,进入系统安全认识阶段;第四阶段是当今的生产和科学技术发展,特别是高科技的发展,静态的系统安全技术措施和系统安全认识,即系统安全工程理论已无法很好地解决动态过程中随机发生的安全问题,人们必须更深入地采取动态的安全系统工程技术措施和进行安全系统认识,这就是当前正在进入的安全系统认识阶段,这个阶段不仅要创立安全科学,还要使安全科学与技术人类的大科学技术整体中确立自己独立的科学技术体系,使之在人类整个生产、生活以及生存过程中发挥出更大作用。

总之,安全及安全技术随着人类社会的不断进步和发展而日益受到人们的关注。



## 二、安全科学的产生与发展

从 20 世纪 60 年代至今,人们已意识到安全科学研究的重要性。作为一门新兴科学,目前,其研究已涉及航空航天、核反应堆、冶金、煤炭、建筑、化工、石油、压力容器等工作领域。安全科学的发展经历了经验的事故分析、系统的危险分析与隐患控制、现代的安全科学研究三个阶段。

### (一) 经验的事故分析阶段

经验的事故分析阶段的基本出发点是事故,以事故为研究对象和认识的目标。在认识论上主要是经验论与事后型的安全观,是建立在事故与灾难的经历上来认识安全,是一种逆思路(从事后后果到原因事件),因而这种解决安全问题的模式亦称为事故型。其根本特征在于被动与滞后,是“亡羊补牢”的模式,突出表现为一种“头痛医头、脚痛医脚、就事论事”的对策方式。

#### 1. 事故型解决程序

事故型解决程序如图 1-1 所示。

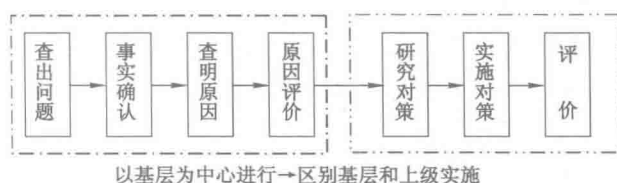


图 1-1 事故型解决程序

(1) 查出问题。是指对事故及事故隐患等问题的探查,并用事故模型,如因果连锁模型(多米诺骨牌模型)、综合模型、轨迹交叉模型、人为失误模型、生物节律模型等来分析事故发生的过程。

(2) 事实确认。判定发生事故当时和出现隐患时的工作场所和设备状况。

(3) 查明原因。找出直接原因和造成直接原因的背景原因,从管理上找出发生事故的本质原因。常用事故频发倾向论、能量意外释放论、能量转移理论、两类危险源理论等事故致因理论来分析事故的原因。

(4) 原因评价。对发生事故的各种原因进行评价,找出构成原因的各种可能性,并判断采取某种措施的紧急性。

(5) 研究对策。从软件(系统分析、人机工程、管理、规章制度等)、硬件(设备、工具、操作方法等)两方面研究排除事故和隐患的措施与方法。必要时,应根据历史上的经验教训等情况进行再评价。

(6) 实施对策。将制定的措施计划和方案付诸实施。

(7) 评价。检查各项措施实施的情况,必要的措施有无欠妥之处,在实施过程中有无不合理之处。

(8) 事故分类。按管理要求进行分类,分为加害物分类法、事故程度分类法、损失工日分类法、伤害程度与部位分类法等;按预防的需要进行分类,分为致因物分类法、原因体系分类法、时间规律分类法、空间特征分类法等。

#### 2. 事故型解决模式的研究内容

从事故型解决程序可看出,事故型解决模式主要研究内容为:事故分析(调查、处理、报告等)、事故的发生规律、事后型管理模式、四不放过原则(即事故原因未查清不放过、事故责任人未受到处理不放过、事故责任人和周围群众没有受到教育不放过、事故制定切实可行的整改