

高等教育“十三五”规划教材

# 安全科学基础

ANQUAN KEXUE JICHU

● 主 编 程 磊 何 俊  
副主编 李 辉 李祥春  
高军伟 高保彬



煤炭工业出版社

程国家级实验教学示范中心（河南理工大学）资助

高等教育“十三五”规划教材

# 安全科学基础

|     |     |     |
|-----|-----|-----|
| 主 编 | 程 磊 | 何 俊 |
| 副主编 | 李 辉 | 李祥春 |
|     | 高军伟 | 高保彬 |

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

安全科学基础/程磊, 何俊主编. --北京: 煤炭工业出版社, 2018

高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5020-5821-0

I. ①安… II. ①程… ②何… III. ①安全科学—高等学校—教材 IV. ①X9

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 105228 号

安全科学基础 (高等教育“十三五”规划教材)

---

主 编 程 磊 何 俊  
责任编辑 徐 武 尹燕华 杨晓艳  
编 辑 杜 秋  
责任校对 邢蕾严  
封面设计 于春颖

出版发行 煤炭工业出版社 (北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)  
电 话 010-84657898 (总编室)  
010-64018321 (发行部) 010-84657880 (读者服务部)  
电子信箱 cciph612@126.com  
网 址 www.cciph.com.cn  
印 刷 北京建宏印刷有限公司  
经 销 全国新华书店

开 本 787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 19<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 字数 478 千字  
版 次 2018 年 3 月第 1 版 2018 年 3 月第 1 次印刷  
社内编号 8701 定价 45.00 元

---

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换,电话:010-84657880

## 内 容 提 要

本书是安全科学的基础性理论图书，内容涵盖安全学原理、安全系统工程、安全人机工程、安全管理学等方面的知识，具体包括：事故致因理论、系统安全定量分析、系统安全定性分析、系统安全评价、人体的人机学参数、人的生理特性、人机系统的安全设计、安全经济管理、安全管理制度、应急管理、事故调查等。

本书可作为高等学校安全科学与工程专业的教学用书，也可供从事安全科学与工程的技术人员参考使用。

# 前 言

安全是人类生存发展过程中永恒的主题。安全科学以安全系统工程、安全人机工程和安全工程等为手段,对系统风险进行分析、评价、控制,以期实现系统及其全过程安全。安全科学的基础性理论,内容涵盖了安全学原理、安全系统工程、安全人机工程、安全管理学等方面。关于以上几方面内容独立出版的书籍很多,而综合涵盖以上几方面内容出版的书籍较少。

为了适应各类高等学校开设安全工程专业教学的需要,我们编写了这本《安全科学基础》。其主要目的是较为全面地阐述安全科学的基本概念、原则和手段,为安全工程及相关专业学生的培养和企业安全人才的培训发挥应有的作用。

本书是在借鉴国内外部分同类专著、教材的基础上编著而成。它在吸收其精华的同时,也体现了自身的一些特色。全书的整体性和系统性较强,使得读者对安全科学的基本轮廓更为清晰。

本书由河南理工大学安全科学与工程学院的程磊、何俊、李辉、高保彬和中国矿业大学(北京)资源与安全工程学院的李祥春以及中国平煤神马集团能源化工研究院的高军伟合编完成。第一、第二、第三章由何俊编写,第四章由高军伟、何俊编写,第五章由高军伟、程磊编写,第六、第七章由李辉编写,第八章由高保彬编写,第九章由李祥春编写,第十、第十一章由程磊编写。全书内容体系与结构安排由程磊和何俊共同商定,由何俊负责统稿和审校。

研究生闫欢欢、樊东方、陈岩、谢新鹏和宋敏敏做了大量的资料收集、文字校对和图表绘制工作,在此表示谢意。

本书引用了国内外许多专家著作、教材中的有关内容,特致谢意。

安全科学是一门发展中的科学,其理论性和实践性都有着较高的要求。虽然笔者在教材的系统性、完整性和实用性等方面做了一些有益的尝试和探索,但由于学术水平及经验等方面的限制,书中的不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

2018年1月

# 目 次

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一章 绪论                 | 1  |
| 第一节 我国安全生产发展历程及安全科学的发展 | 1  |
| 第二节 安全科学的基本概念          | 4  |
| 第三节 安全科学的研究对象、内容及方法    | 6  |
| 第四节 安全科学的哲学基础          | 9  |
| 习题                     | 12 |
| 第二章 事故致因理论             | 13 |
| 第一节 事故                 | 13 |
| 第二节 事故致因理论             | 16 |
| 第三节 事故的预防原则            | 34 |
| 习题                     | 36 |
| 第三章 系统安全定量分析           | 38 |
| 第一节 事故树分析概述            | 38 |
| 第二节 事故树的化简             | 42 |
| 第三节 事故树的定性分析           | 47 |
| 第四节 事故树的定量分析           | 52 |
| 第五节 基本事件的重要度分析         | 64 |
| 第六节 事故树分析的应用           | 66 |
| 习题                     | 70 |
| 第四章 系统安全定性分析           | 71 |
| 第一节 安全检查表              | 71 |
| 第二节 鱼刺图分析法             | 74 |
| 第三节 作业条件危险性分析法         | 77 |
| 第四节 事件树分析              | 80 |
| 第五节 预先危险性分析            | 82 |
| 第六节 故障类型和影响分析          | 84 |
| 第七节 危险性和可操作性研究         | 89 |
| 第八节 作业危害分析             | 92 |
| 第九节 因果分析               | 95 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第十节 管理失误和风险树分析 .....     | 98  |
| 第十一节 系统安全分析方法小结 .....    | 101 |
| 习题 .....                 | 105 |
| 第五章 系统安全评价 .....         | 106 |
| 第一节 系统安全评价概述 .....       | 106 |
| 第二节 道化学火灾、爆炸指数评价法 .....  | 108 |
| 第三节 系统安全综合评价 .....       | 113 |
| 第四节 安全评价的技术文件 .....      | 119 |
| 习题 .....                 | 124 |
| 第六章 人体的人机学参数 .....       | 125 |
| 第一节 人体尺寸的测量 .....        | 125 |
| 第二节 常用的人体测量数据 .....      | 131 |
| 第三节 人机学参数计算 .....        | 142 |
| 第四节 人体测量数据的应用 .....      | 153 |
| 习题 .....                 | 159 |
| 第七章 人的生理特性 .....         | 161 |
| 第一节 人的感知特性 .....         | 161 |
| 第二节 人的视觉及其特性 .....       | 163 |
| 第三节 听觉、触觉和嗅觉 .....       | 168 |
| 第四节 人的反应时间 .....         | 173 |
| 第五节 人体活动过程的生理变化与适应 ..... | 175 |
| 习题 .....                 | 180 |
| 第八章 人机系统的安全设计 .....      | 181 |
| 第一节 工作设计 .....           | 181 |
| 第二节 作业空间设计 .....         | 183 |
| 第三节 工作台及座椅设计 .....       | 190 |
| 第四节 显示器设计 .....          | 196 |
| 第五节 控制器设计 .....          | 208 |
| 第六节 安全防护装置设计 .....       | 222 |
| 习题 .....                 | 228 |
| 第九章 安全经济管理 .....         | 229 |
| 第一节 安全经济基础理论 .....       | 229 |
| 第二节 事故经济损失计算方法 .....     | 235 |
| 习题 .....                 | 244 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第十章 安全管理制度.....          | 245 |
| 第一节 我国安全管理体制.....        | 245 |
| 第二节 安全管理法规与制度.....       | 248 |
| 第三节 安全生产责任制度.....        | 261 |
| 第四节 安全技术措施计划.....        | 266 |
| 第五节 职业安全卫生管理体系.....      | 268 |
| 第六节 重大危险源辨识与管理.....      | 275 |
| 习题.....                  | 284 |
| 第十一章 应急管理 with 事故调查..... | 285 |
| 第一节 应急计划的编制.....         | 285 |
| 第二节 事故调查与处理.....         | 293 |
| 习题.....                  | 305 |
| 参考文献.....                | 306 |



# 第一章 绪 论

## 第一节 我国安全生产发展历程及安全科学的发展

### 一、安全生产发展历程

#### (一) 国外安全生产发展历程

工业革命前,生产力和自然科学都处于自然和发散发展的状态,人类对自身的安全问题还未能自觉认识和主动采取安全技术措施。

在生产活动的初期,生产主要是以个体或作坊式的手工业劳动,劳动人民在实践中逐步总结出一些安全防护的方法和技术。由于生产规模不大,安全问题不很突出,防止事故的技术和方法当然也比较简单。

工业革命后,生产中使用大型动力机械和能源,导致安全事故突发,如汽车导致交通事故、采矿业发展导致矿业灾害事故等,迫使人们对这些局部人为危害问题深入认识并采取专门的安全技术措施。

18世纪中叶,英国人瓦特改良蒸汽机之后传统的手工业劳动逐渐被大规模的动力机器生产所代替,机器使生产率空前提高,但同时也大大增加了人身伤害的可能,加之资本家为了榨取最大利润,采用提高劳动强度,延长工作时间,滥用女工、童工等手段残酷剥削工人,致使工人的劳动条件十分恶劣,伤亡事故频繁发生。工人们为维护自身的安全和健康,纷纷组织起来进行抗争,用种种办法和资本家进行斗争,如罢工,甚至破坏机器等。由于工人的斗争,资本家不得不做出起码的让步,适当改善劳动条件,甚至制定颁布了一些安全法规。另一方面,由于事故所造成的巨大经济损失以及在事故诉讼中所支付的巨额费用,超过了资本家所能允许的利益损失,资本家出于自身的利益,被迫地也要考虑安全问题,如在机器上安装防护装置,要求研究防止事故和职业危害的方法等。所有这些都促使了安全科学和技术的发展,出现了一些论著和成果,如19世纪英国化学家戴维发明了著名的矿坑安全灯等。

由于军事工业、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的出现,局部的安全认识和单一的安全技术措施已无法解决其安全问题,因此需要系统地认识安全。在社会化大生产的发展过程中,产品种类和生产规模不断扩大,技术不断更新,新设备、新工艺、新材料不断被采用,一方面提高了生产效率,但另一方面也不断地增加了新的危害和危险。众所周知,1984年12月3日,在印度发生了一起震惊世界的大惨案,这就是美国联合碳化物公司在印度博帕尔市的农药厂发生的毒气泄漏事件,造成了难以估量的损失。

在社会化大生产的情况下,如果劳动者仅凭着个人经验和直觉就能保证生产安全是不

可能的。安全科学及技术必须发展到相应的程度才有可能不断提高安全生产水平,从而减少事故伤害和职业危害。

## (二) 我国安全生产发展历程

### 1. 安全生产方针和管理体制初创时期(1949—1965年)

1949年11月召开的新中国第一次全国煤矿工作会议提出:“煤矿生产,安全第一”。

1952年第二次全国劳动保护工作会议明确提出要坚持“安全第一”方针和“管生产必须管安全”的原则。

1958年到1960年的“大跃进”时期片面追求高经济指标,导致事故发生率上升。

1960年5月8日山西大同老白洞煤矿瓦斯爆炸事故,死亡684人,为新中国成立以来最严重的矿难。1963年国务院颁布了《关于加强企业生产中安全工作的几项规定》,恢复重建安全生产秩序,事故发生率明显下降。

### 2. 受“文化大革命”冲击时期(1966—1977年)

“文化大革命”期间,安全生产和劳动保护被抨击为“资产阶级活命哲学”,企业安全管理受到严重冲击,导致事故频发。这个时期,国民经济遭受到新中国成立以来最严重的挫折,安全工作也受到了最严重的破坏,一切行之有效的规章制度都被推翻,被斥之为“管、卡、压”,安全专业队伍被解散,安技干部被下放车间劳动,伤亡事故和职业病再次大幅度上升。

1975年9月成立国家劳动总局,下设劳动保护局、锅炉压力容器安全监察局等安全工作机构。1976年10月,结束了十年动乱,国家经济开始恢复,生产得到了较快的发展。但是“左”的思想并没有得到纠正,反而提出了严重脱离实际、急躁冒进的口号,一些部门与企业的领导人只抓生产,不顾安全,官僚主义盛行,以致在1976年到1978年这两年间安全工作的局面继续恶化,职业危害严重,伤亡事故频发,甚至发生了一些十分严重的恶性事故。

### 3. 恢复和创新发展阶段(1978—至今)

随着思想上政治上的拨乱反正,安全工作进入了全面整顿恢复和发展提高的崭新阶段,安全生产开始向好的方向发展。

(1) 恢复和整顿提高阶段(1978—1991年)。出台实施了《矿山安全监察条例》和《职工伤亡事故报告和处理规定》等法规。成立了全国安全生产委员会。

(2) 适应建立社会主义市场经济体制阶段(1992—2002年)。1993年国务院决定实行“企业负责、行业管理、国家监察、群众监督”的安全生产管理体制。国家相继颁布了《中华人民共和国矿山安全法》《中华人民共和国劳动法》等多项法规。2000年以来,由于改革开放的步子加大,经济建设发展的速度加快,经济体制改革又带来一系列新的问题,事故率有所上升,职业病有所发展,安全工作依然面临着相当严峻的形势。党和国家对这种情况高度重视,为保证安全工作的形势继续向好的方向发展,于2002年11月出台了《中华人民共和国安全生产法》。

(3) 创新发展阶段(2003年以来)。2003年,国家安全生产监督管理局(国家煤矿安全监察局)成为国务院直属机构;2004年,国务院做出《关于进一步加强安全生产工作的决定》;2005年初,国家安全生产监督管理局升格为总局;2006年初,成立了国家安全生产应急救援指挥中心。

## 二、国内外安全科学的发展历程

### (一) 国外安全科学的发展历程

19 世纪末到 20 世纪初, 由于工人阶级的斗争和社会公众的关切支持, 迫使资本家不得不做出某些努力来改善安全卫生的状况, 安全立法、组织建设以及科学研究等逐渐得到了发展。

20 世纪初, 许多西方国家建立了与安全科学(实际应为技术)有关的组织和科研机构。据 1977 年统计, 德国有 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、预防事故的经济学、职业病理论分析和科学防范等。

1867 年美国马萨诸塞州建立了国内第一个工厂检查部门; 1880 年开始陆续出现了有关职业病的刊物 200 多种; 1908 年建立了匹茨堡采矿与安全研究所; 1910 年为减少煤矿事故, 成立了煤矿管理局; 1911 年, 威斯康星州通过了第一个对工人进行赔偿的法案; 1913 年, 成立了劳工部和全国工业安全委员会(不久改为全国安全委员会); 1915 年成立了美国安全工程师协会; 等等。1969 年, 美国颁布了《联邦煤矿安全与卫生法》, 这是美国第一个有关职业安全卫生的具体立法。1970 年 12 月 29 日, 美国国会通过并由总统尼克松签署颁布了《职业安全与卫生法》, 于 1974 年 4 月 28 日生效。这是美国第一个全国性的安全卫生基本法, 它的颁布和实施大大地推动和加速了职业安全卫生工作的进展。

美国的安全教育发展较快, 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点。

日本在研究安全方面虽起步较晚, 但发展却较快。日本在第二次世界大战后, 在经济恢复和开始高速发展时期, 工伤事故状况十分严重, 每年工伤死亡人数在 6000 人以上, 1961 年达历史最高纪录, 死亡 6712 人。此后该国采取了一系列安全卫生工作对策, 安全工作成效逐步赶上而且超过了美国, 居于世界领先地位。至 1977 年, 日本大学中开设有关安全工程学课程或学科的总计为 48 个; 20 世纪 90 年代末, 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。由于坚持安全工程学的研究和实践, 日本近 20 年来产业事故发生率、死亡率逐年下降, 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。由此可见, 为了解决生产过程中劳动者的安全与健康, 国外对安全科学的研究已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各国家和人们的重视。

### (二) 我国安全科学的发展历程

从中华人民共和国成立初期到 20 世纪 70 年代末, 劳动保护的行政管理和业务监督、监察均得到了较好的发展。安全科学研究和专业人才的培养教育工作处于起步阶段。

20 世纪 70 年代末至今, 劳动保护的行政管理和宣传教育工作得到加强。普遍建立了劳动保护宣传教育中心, 高等安全专业教育发展速度已明显加快。1984 年, 全国已有 6 所大学设立了安全工程本科专业, 开设的矿山通风与安全和航空的环境控制与安全救生两个本科专业在部分院校也开始招生。

到目前为止, 全国各行业设置安全工程本科专业的学校近 150 余所, 其分布遍及煤炭、地质、石油、机械、化工、兵器等行业。

安全工程专业在国内已形成一定规模, 包括学历教育(本科、硕士、博士、博士

后)、继续工程教育(安全专业人员的短期培训)、职工安全教育和官员安全教育(任职资格安全教育和安全意识教育)等。

综上所述,安全科学的发展从理论上讲大体分为以下3个阶段。

#### 1. 经验型阶段

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,仅仅在事故发生后进行调查研究、统计分析和整改措施,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

人们对安全有了新的认识,运用事件链、系统过程化、动态分析与控制等方法,达到预防事故的目的。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的。人们对安全科学缺乏理性认识,仅仅在各种产业的局部领域发展和应用不同的安全技术,以至对安全规律的认识停留在相互隔离、重复、分散和彼此缺乏内在联系的状态。

#### 3. 综合系统论

综合系统论认为事故是人、技术与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。从事故的本质中去预防事故,揭示各种安全事故致因机理并将其系统化、理论化,使之成为指导解决各种具体安全问题的科学依据。在这一阶段中,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门类。

## 第二节 安全科学的基本概念

安全科学以安全系统工程、安全人机工程 and 安全管理工程等的手段,对系统风险进行分析、评价、控制,以期实现系统及其全过程安全。

### 一、安全

安全(Safety)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,这是与人的传统的安全观念相吻合的。随着对安全问题研究的逐步深入,人类对安全概念有了更深的认识,并从不同的角度给它下了各种定义。

#### 1. 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

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。当将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非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;而对于骑摩托车,交通法规明确规定骑乘者必须戴头盔,是因为发生事故的严重性和可能性都难以接受;自行车赛车运动员必须戴头盔,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所做出的决策。同样是骑车,要求却不一样,体现了安全与危险的相对性。

#### 2. 安全是指没有引起死亡、伤害、职业病或财产、设备的损坏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全寿命周期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, 历经 882、882A、882B、882C、882D 若干个版本。对安全的定义也从开始时仅仅关注人身伤害, 进而到关注职业病、财产或设备的损坏、损失直至环境危害, 体现了人们对安全问题认识进化的全过程, 也从另一个角度说明了人类对安全问题研究的不断扩展。

3. 安全是指不因人、机、媒介的相互作用而导致系统损失、人员伤害、任务受影响或造成时间的损失

可以看出, 第三种说法又进一步把安全的概念扩展到了任务受影响或时间损失, 这意味着系统即使没有遭受直接的损失, 也可能是安全科学关注的范畴。

综上所述, 随着人们认识的不断深入, 安全的概念已不是传统的职业伤害或疾病, 也并非仅仅存在于企业生产过程之中, 安全科学关注的领域应涉及人类生产、生活、生存活动中的各个领域。职业安全问题是安全科学研究关注的最主要的领域之一, 如果仅仅局限于企业生产安全之中, 会在某种程度上影响我们对安全问题的理解与认识。

## 二、安全性

从人、机、环境三者构造的生产系统出发, 安全是指在人类生产过程中, 将系统的运行状态对人类的生命、财产、环境可能产生的损害控制在人类能接受水平以下的状态。安全性指确保安全的程度, 是衡量系统安全程度的客观量。

与安全性对立的概念是描述系统危险程度的指标——危险性。假定系统的安全性为  $S$ , 危险性为  $H$ , 则有:

$$S = 1 - H$$

显然,  $H$  越小,  $S$  越大, 反之亦然。因此, 若在一定程度上消除了危险因素, 就等于创造了安全条件。安全与危险的关系如图 1-1 所示。

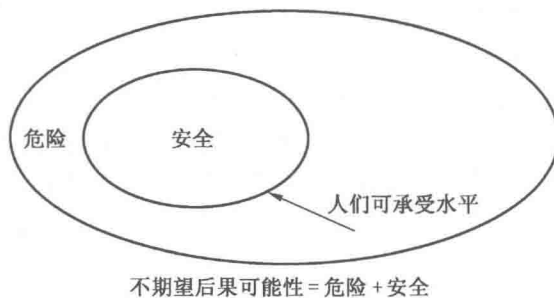


图 1-1 安全与危险的关系图

安全性不同于可靠性, 但它们之间有密切的联系。可靠性是指系统、设备或元件等在规定的条件下、规定的时间内完成指定的功能的能力。从某种程度上讲, 可靠性高的系统, 其安全性通常也较高, 许多事故之所以发生, 就是由于系统可靠性较低所致。但可靠性又不同于安全性, 可靠性要求的是系统完成规定的功能, 只要系统能够完成规定功能, 它就是可靠的, 而不管是否会带来安全问题; 安全性则要求识别系统的危险所在, 并把它从系统中排除。此外, 故障的发生不一定导致损失, 而且也存在如下情形, 即当系统所有元件均正常工作时, 也可能伴有事故发生。例如, 在安全防护不严的情况下, 即使系统所

有元件均处于正常工作状态，也有可能发生意外事故。

### 三、系统

系统工程的研究对象是系统，它是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的、具有特定功能的有机整体。系统具有以下 4 个特性。

#### 1. 整体性

系统是由两个或两个以上相互区别的要素（元件或子系统）组成的整体。构成系统的各要素虽然具有不同的性能，但它们通过综合、统一（而不是简单拼凑）而形成一个整体，具备了新的特定功能。系统作为一个整体才能发挥其应有功能。

#### 2. 相关性

系统内各要素之间是相互联系、相互依赖、相互作用的特殊关系，通过这些关系把系统有机地联系在一起，发挥其特定功能。

#### 3. 目的性

任何系统都是要完成某种任务或达到某种目的。要达到系统的既定目的，就必须赋予系统规定的功能，这就需要在系统的整个生命周期，即系统的规划、设计、试验、制造和使用等阶段，对系统采取最优规划、最优设计、最优控制、最优管理等优化措施。

#### 4. 环境适应性

任何一个系统都处于一定的物质环境之中，系统必须适应外部环境条件的变化。在研究系统时，必须重视环境对系统的影响。

### 四、系统安全

在系统寿命周期的所有阶段，以使用效能、时间和成本为约束条件，应用工程和管理的原则、准则和技术，使系统获得最佳的安全性。

从以上定义我们可以看出，系统安全是指为保证系统的全寿命周期的安全性所做的工作。这里主要强调以下 3 点：

（1）系统安全强调的是系统全寿命周期的安全性，而绝非仅仅是某个阶段的安全性。所谓全寿命周期，是指系统的设计、试验、生产、使用、维护直至报废各个阶段的总称。作为系统的设计者，应当在设计阶段就对系统寿命周期各阶段的危险或风险进行全面的分析评价，并通过设计或管理手段保证系统总体风险的最小化，这也是系统安全管理的最主要目的所在。

（2）我们应当使系统在符合性能、时间及成本要求的条件下达到最佳安全水平，而非一味追求安全，忽视经济效益，使安全与效益相脱节。

（3）我们应使系统总体安全效果最佳，即使系统的总体危险或风险最小化，而非仅仅消除系统局部的危险。

## 第三节 安全科学的研究对象、内容及方法

### 一、安全科学的研究对象

安全科学作为一门科学技术，有其本身的研究对象。任何一个生产系统都包括以下 3



个部分：从事生产活动的操作人员和管理人员，生产必需的机器设备、厂房等物质条件，以及生产活动所处的环境。这3个部分构成一个人-机-环境系统（以下简称系统），每一个部分都是该系统的一个子系统，分别称为人子系统、机器子系统和环境子系统。

### 1. 人子系统

人子系统的安全与否涉及人的生理和心理因素，以及规章制度、规程标准、管理手段、管理方法等是否适合人的特性，是否易于为人们所接受。研究人子系统时，不仅把人当作“生物人”“经纪人”，更要看作“社会人”，必须从社会学、人类学、心理学、行为科学角度分析问题、解决问题；不仅把人子系统看作系统固定不变的组成部分，更要看到人是自尊自爱、有感情、有思想、有主观能动性的。

### 2. 机器子系统

机器子系统不仅要从工件的形状、大小、材料、强度、工艺、设备的可靠性等方面考虑其安全性，而且要考虑仪表、操作部件对人提出的要求，以及从人体测量学、生理学、心理与生理过程有关参数对仪表、操作部件的设计提出要求。

### 3. 环境子系统

环境子系统主要应考虑环境的理化因素和社会因素。理化因素主要有噪声、振动、粉尘、有毒气体、射线、光、温度、湿度、压力、热、化学有害物质等；社会因素有管理制度、工时定额、班组结构、人际关系等。

3个子系统相互影响、相互作用的结果就是使系统总体安全性处于某种状态。例如，理化因素影响机器的寿命、精度甚至损坏机器；机器产生的噪声、振动、温度、尘毒又影响人和环境；人的心理状态、生理状况往往是引起误操作的主观因素；环境的社会因素又会影响人的心理状态，给安全带来潜在危险。这就是说，3个相互联系、相互制约、相互影响的子系统构成了一个人-机-环境系统的有机整体。分析、评价、控制人-机-环境系统的安全性，只有从3个子系统内部及3个子系统之间的这些关系出发，才能真正解决系统的安全问题；安全科学的研究对象就是这种人-机-环境系统。

## 二、安全科学的研究内容

安全科学是专门研究如何确保实现系统安全功能的科学技术。其主要技术手段有系统安全分析、系统安全评价和系统风险控制。

### 1. 系统安全分析

要提高系统的安全性，使其不发生或少发生事故，其前提条件是预先发现系统可能存在的危险因素，全面掌握其基本特点，明确其对系统安全性影响的程度。只有这样才有可能抓住系统可能存在的主要危险，采取有效的安全防护措施，改善系统安全状况。这里所强调的“预先”，是指无论系统生命过程处于哪个阶段，都要在该阶段开始之前进行系统的安全分析，发现并掌握系统的危险因素。这就是系统安全分析要解决的问题。

### 2. 系统安全评价

系统安全评价往往要以系统安全分析为基础，通过分析来了解和掌握系统存在的危险因素，但不一定要对所有危险因素采取措施。通过评价掌握系统的事故风险大小，以此与预定的系统安全指标相比较，如果超出指标，则应对系统的主要危险因素采取控制措施，

使其降至该标准以下。

### 3. 系统风险控制

任何一项系统安全预测技术、系统安全分析技术或系统安全评价技术,如果没有一种强有力的管理手段和方法,就不能发挥其应有的作用。因此,在出现系统安全预测技术、系统安全分析技术和系统安全评价技术的同时,也出现了系统风险控制。其最大的特点是从系统的整体性、相关性和有序性出发,对系统实施全面、全过程的安全管理,实现对系统安全目标的控制。

## 三、安全科学的研究方法

安全科学的研究方法是依据安全学理论,在总结过去经验型安全方法的基础上日渐丰富和成熟的。概括起来可以归纳为以下5个方面。

### 1. 从系统整体出发的研究方法

安全科学的研究方法必须从系统的整体性观点出发,从系统的整体考虑解决安全问题的方法、过程和要达到的目标。例如,对每个子系统安全性的要求,要与实现整个系统的安全功能和其他功能的要求相符合。在系统研究过程中,子系统和系统之间的矛盾以及子系统与子系统之间的矛盾都要采用系统优化的方法寻求各方面均可接受的满意解;同时要把安全科学的优化思路贯穿到系统的规划、设计、研制和使用等各个阶段中。

### 2. 本质安全方法

本质安全方法是安全技术追求的目标,也是研究安全科学的核心。由于安全系统把安全问题中的人-机(物)-环境统一为一个系统来考虑,因此不管是从研究内容来考虑还是从系统目标来考虑,核心问题是本质安全化,是研究实现系统本质安全的方法和途径。

### 3. 人机匹配法

在影响系统安全的各种因素中,至关重要的是人-机匹配。在产业部门研究与安全有关的人机匹配称为安全人机工程,在人类生存领域研究与安全有关的人机匹配称为生态环境和人文环境问题。显然,从安全的目标出发,考虑人-机匹配以及采用人-机匹配的理论和方法是安全系统工程方法的重要支撑点。

### 4. 安全经济方法

由于安全的相对性原理,安全的投入与安全(目标)在一定经济、技术水平条件下有对应关系,即安全系统的优化同样受制于经济。但是,由于安全经济具有一定的特殊性(安全性投入与生产性投入的渗透性、安全投入的超前性与安全效益的滞后性、安全效益评价指标的多目标性、安全经济投入与效用的有效性等),这就要求安全系统工程方法在考虑系统目标时不仅要有超前的意识和方法,还要有指标(目标)的多元化的表示方法和测算方法。

### 5. 系统安全管理方法

从学科的角度讲,安全系统工程是技术与管理相交叉的横断学科;从系统科学原理的角度讲,它是解决安全问题的一种科学方法。安全系统工程是理论与实践紧密结合的专业技术体系,系统安全管理方法则贯穿到安全的规划、设计、检查与控制的全过程。所以,系统安全管理方法是安全系统工程方法的重要组成部分。



## 第四节 安全科学的哲学基础

### 一、安全与危险的矛盾和统一

安全与危险在所研究的系统中是一对矛盾，它们相伴存在。安全是相对的，危险是绝对的。安全的相对性表现在以下3个方面。

(1) 绝对安全的状态是不存在的，系统的安全是相对于危险而言的。

(2) 安全标准是相对于人的认识和社会经济的承受能力而言，抛开社会环境讨论安全是不现实的。

(3) 人的认识是无限发展的，对安全机理和运行机制的认识也在不断深化，即安全对于人的认识而言具有相对性。

危险的绝对性表现在事物自诞生时危险就存在，中间过程危险势可能变大或变小，但不会消失，危险存在于一切系统的任何时间和空间中。不论我们的认识多么深刻，技术多么先进，设施多么完善，危险始终不会消失，人、机和环境综合功能的残缺始终存在。

安全与危险是一对矛盾，它具有矛盾的所有特性。一方面双方互相对立、互相排斥、互相否定，安全度越高危险势就越小，安全度越小危险势就越大；另一方面安全与危险两者互相依存，共同处于一个统一体中，存在着向对方转化的趋势。安全与危险这对矛盾的运动、变化和发展推动着安全科学的发展和人类安全意识的提高。

### 二、安全科学的联系观和系统观

客观世界普遍联系的观点是唯物辩证法总的特征之一。在系统中对安全与危险造成影响的因素很多，因果关系错综复杂，安全科学欲揭示其内在规律，必须全面地分析各要素，利用各个学科已取得的研究成果，对开放的大系统进行分析和综合，找出安全的客观规律和实现途径。在多种原因中注意区分内因和外因、主要原因和次要原因、直接原因和间接原因、客观原因和主观原因等。在全面分析因果联系的基础上集中力量抓住事物内部的主要矛盾进行分析和研究。

根据安全科学自身的特点，必须用系统的观点进行分析。系统最大的特点是其整体性、有机性、层次性。整体的运动特征应在比其组成要素更高的层次上进行描述，整体的功能又不等于各组成要素的性质和功能的简单叠加，而是大于部分之和，它具有其要素所不具有的性质和功能。尤其对危险而言，一危害因子与另一危害因子相加不等于两个危害因子。系统的整体性是由各个要素综合作用决定的，是系统内部各要素相互作用、相互联系产生某种协同效应。系统整体性的强弱，要由要素之间协同作用的大小决定。在安全领域中，各种安全和危险要素很多，叠加在一起整体影响力会大大增加，所以为了实现系统总体功能向有利的方向发展，必须对各要素统筹兼顾，增加安全因子的整体功能，削弱危险因子的整体功能。绝不能头痛医头、彼此隔离，那样会大大降低系统的安全功能。

要素以一定的结构形成系统，各要素在系统中的地位会有一些的差异，尤其在复杂系