

# 安全工程概论

ANQUAN  
GONGCHENG  
GAILUN

全国高校安全工程专业本科规划教材

教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写



工程类本科专业规划教材

# 安全工程概论

教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写

主 编 王凯全

主 审 吴 穹



中国劳动社会保障出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

安全工程概论/教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会组织编写. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2010

全国高校安全工程专业本科规划教材

ISBN 978-7-5045-8576-9

I. ①安… II. ①教… 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(2010)第 160392 号

## 中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

\*

北京北苑印刷有限责任公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×960 毫米 16 开本 21 印张 366 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

定价: 46.00 元

读者服务部电话: 010-64929211/64921644/84643933

发行部电话: 010-64961894

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64954652

如有印装差错,请与本社联系调换:010-80497374

# 教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会

主任委员	孙华山				
副主任委员	黄玉治	范维澄	谢和平	冯长根	张来斌
	宋守信				
委 员	张平远	何学秋	吴宗之	伊 烈	李永红
	张 麟	王继仁	钮英建	林柏泉	刘泽功
	蔡嗣经	傅 贵	吴 超	吴 穹	许开立
	程卫民	张殿业	景国勋	蒋军成	赵云胜
	姜德义	黄卫星	刘玉存	李树刚	王述洋
	陈国华	张 力	刘义伦		
秘 书 长	杨书宏				

## 内 容 提 要

本书以系统安全工程为理论基础，以各种能量意外释放的事故致因为分析主线，概括性地阐述了安全工程的基本思想、基本知识，从化工、建筑、机械、电气以及职业危害防护等方面介绍了预防事故的基本原理和基本技术。

全书共分为七章。第一章介绍了安全、安全工程、事故的基本概念，分析了能量、危险源与事故的关系；第二章介绍了系统安全工程的基本概念，简述了系统安全分析的基本方法，介绍了 HSE 管理体系；第三章简要介绍了火灾、爆炸和毒害品的基本概念，分析了火灾、爆炸和毒害品的特点及危害，阐述了火灾、爆炸和中毒事故的原因；第四章介绍了建筑事故的成因和建筑事故的类型，分析了建筑施工常见事故的预防对策以及建筑物本体事故的预防方法；第五章分析了机械能意外释放的原因及其危险性，介绍了机械类事故的预防和控制技术；第六章分析了电能释放的危险性，介绍了供电系统事故的预防和控制技术以及防止静电、雷电事故的技术措施；第七章介绍了职业危害因素的分类以及职业危害的防护措施，阐述了人机安全工程的基本概念及其研究内容。

本书强调逻辑的完整性、章节的独立性以及内容的实用性，各章均配有事故案例和复习思考题，可供从事安全工程技术及管理的人员使用，也可供非安全工程专业高校师生学习和参考。

# 序 言

党的十六届五中全会确立了“安全发展”的指导原则，极大地促进了我国安全科学事业的发展，同时为安全工程学科提供了良好的发展机遇。据初步统计，到目前为止，全国开设安全工程专业的高校已达百余所，安全工程专业已成为我国高等教育中重要的新兴专业之一。

加强教材建设，是促进我国安全工程专业健康发展的重要基础工作。教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会（2004—2008年）在充分吸收和借鉴上届教指委安全工程专业教材成功编写经验的基础上，于2006年启动了“全国高校安全工程专业本科规划教材”的组织编写和出版工作。第一批15种安全工程专业本科规划教材已基本完成。在此基础上，教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会（2008—2010年）组织开发了第二批规划教材共14种，包括《安全评价》《安全法学》《安全工程专业英语》《安全监察》《消防工程概论》《安全工程概论》《安全检测与监控》《防灾减灾工程》《矿山安全工程》《交通运输安全技术》《建筑施工安全技术》《计算机在安全领域中的应用》《安全科技概论》《安全工程专业毕业设计与伦文指南》。

本套规划教材的编写力求满足安全工程专业课程体系和课程教学的新发展，立足现实，反映前沿，力求创新，既包括已经成熟并被公认的理论与学术思想，又反映安全工程学科领域具有前瞻性与代表性的最新理论、技术和方法，并借鉴吸收世界上发达国家的先进理论、理念与方法。

在本套教材开发过程中，全国数十所高等学校、科研院所的近百名专家和学者积极参与了教材的编写和审订工作，教指委秘书处、教材开发分委会和中

国劳动社会保障出版社做了大量的组织工作，在此向他们表示衷心的感谢！

本套教材的编写和出版，是我国安全工程学科在教材建设方面又迈出的重要一步。虽然我们尽了最大努力，但仍有不足，恳请安全工程领域的专家学者和广大师生提出宝贵意见。

**教育部高等学校安全工程学科教学指导委员会**

2010年8月

# 前 言

安全是人类生存的基本条件，也是人类生产活动中必须解决的关键问题。在某种意义上说，人类生存与生产的发展史就是消灭和克服所面临的危险因素，预防和控制各类意外事件的奋斗史。

人类在认识世界和改造世界的进程中，伴随着对安全的不懈追求，积累了大量预防和控制各类意外事件的技术、方法、手段、措施等，构成了保障人类生存和生产的安全工程。

系统安全工程是指导安全工程的理论基础。系统安全工程运用系统论、风险管理理论、可靠性理论和工程技术手段辨识系统中的危险源，评价系统的危险性，并采取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，清晰地概括了任何具体的安全工程所应遵循的设计目标、逻辑程序和实施步骤。

能量意外释放理论是实施安全工程技术措施的重要依据。能量意外释放理论从事故发生的物理本质出发，深刻阐述了事故是一种不正常的或不希望的能量向人身或物体的释放和转移，明确指出了人们防止伤害事故就是防止能量意外释放，防止人体（或需要保护的财产、设备等）接触能量。

基于以上认识，本书以系统安全工程为理论基础，以各种能量意外释放的事故致因为分析主线，概括性地阐述了安全工程的基本思想、基本知识以及预防能量释放事故的基本技术，试图全面系统地、逻辑清晰地介绍安全工程与技术的核心和精髓。书中适当介绍了近年来国内外安全工程新进展、行之有效的安全工程新经验和事故案例，各章还配有复习思考题，力求具有科普性、先进性和实用性。鉴于本书以非安全工程专业学生以及非安全工程专业技术人员为基本对象，编者力求通过较少的篇幅，运用较少的授课时数，完成安全工程师基本知识的讲授，以满足概括掌握安全工程基本知识的需要。为了满足不同专业



读者的需求，本书强调逻辑的完整性和章节的独立性，使读者可以在了解了安全工程基本知识（第一章、第二章）后，单独学习相关章节的内容。

本书由常州大学王凯全（第一章、第二章）、陈海群（第三章）、袁雄军（第四章）、周宁（第五章）、邵辉（第六章）、王新颖（第七章）编写，由王凯全统稿。在教材编写过程中，参考、引用了大量国内外文献资料，在此向文献作者们表示诚挚的谢意。

由于编者水平有限，书中不当之处在所难免，敬请批评指正。

**编 者**

2010年8月

# 目 录

第一章 绪论 .....	( 1 )
第一节 安全与危险 .....	( 1 )
第二节 事故与事故后果 .....	( 6 )
第三节 能量与事故 .....	( 12 )
第四节 危险源与事故 .....	( 18 )
第五节 安全工程及其范畴 .....	( 21 )
第二章 系统安全工程基础 .....	( 38 )
第一节 系统与系统安全工程 .....	( 38 )
第二节 系统安全工程的基本内容 .....	( 45 )
第三节 系统安全分析的基本方法 .....	( 54 )
第四节 HSE 管理体系 .....	( 76 )
第三章 化工安全工程 .....	( 90 )
第一节 化学能释放机理 .....	( 90 )
第二节 化学品物质及其危险性 .....	( 103 )
第三节 化工生产过程的安全 .....	( 107 )
第四节 化工火灾爆炸事故预防 .....	( 126 )
第五节 化工事故案例分析 .....	( 150 )
第四章 建筑安全工程 .....	( 160 )
第一节 建筑中能量释放的危险性 .....	( 160 )
第二节 建筑施工事故预防 .....	( 163 )
第三节 建筑本体事故的预防 .....	( 172 )

第四节	建筑消防工程 .....	(177)
第五节	建筑事故案例分析 .....	(185)
第五章	机械安全工程 .....	(197)
第一节	机械能释放的危险性 .....	(197)
第二节	机械安全基础知识 .....	(199)
第三节	机械设备的安全设计 .....	(205)
第四节	起重机械事故及预防 .....	(214)
第五节	压力容器事故及预防 .....	(222)
第六节	机械事故案例 .....	(239)
第六章	电气安全工程 .....	(250)
第一节	电能释放的危险性 .....	(250)
第二节	电气事故的预防 .....	(252)
第三节	静电事故的预防 .....	(264)
第四节	雷电事故的预防 .....	(272)
第五节	电气事故案例分析 .....	(282)
第七章	职业危害与人机安全工程 .....	(290)
第一节	职业危害与作业环境保护 .....	(290)
第二节	工业毒物及其控制 .....	(304)
第三节	人机安全工程 .....	(313)
第四节	职业伤害事故案例分析 .....	(319)
参考文献	.....	(324)

# 第一章 绪论

## 本章学习目标

1. 掌握安全和安全工程的概念、风险和危险的概念、事故的基本概念及其特性、事故发生的概率与后果的严重度、能量与事故的关系、危险源与事故和事故隐患关系，熟悉防止能量意外释放的基本知识。
2. 了解工程及其负效应、安全性与工程负效应的关系、安全工程的范畴以及可靠性工程、系统安全工程等特有安全工程技术的基本知识。

## 第一节 安全与危险

### 一、安全

“无危则安、无损则全”。安全，一般是指不至于对人的身体造成伤害、精神构成威胁和使财物导致损失的状态。

安全是人类生存与发展活动中永恒的主题，也是当今乃至未来人类社会重点关注的重要问题之一。人类在不断地发展进化的同时，也一直与生存发展活动中所存在的安全问题进行着不懈的斗争。人类社会的发展史在某种意义上说是解决安全问题的奋斗史。

随着对安全问题研究的逐步深入，人们越来越清醒地意识到，“无危则安、无损则全”不是安全的科学定义。这是因为，绝对“无危、无损”的状态只是主观上的理想，任何生产、生活过程都存在一定的危险性。另外，所谓“无危、无损的状态”是个模糊的概念，不能用科学的定量标准来衡量。

最先赋予安全一个较为科学解释的是美国安全工程师协会（ASSE）。在其编写

的《安全专业术语辞典》中认为，安全是“导致损伤的危险度是能够容许的、较为不受损害的威胁和损害概率低的通用术语”。著名安全专家 A. 库尔曼在《安全科学导论》中进一步指出：“安全的定义包含着危险和危急所引起的可能的损害不会发生的可信程度。”日本著名安全专家井上威恭指出：“安全系指判明的危险性不超过允许的限度。”

总之，安全是指在生产、生活系统中，能将人员伤亡或财产损失的概率和严重程度控制在可接受水平之下的状态。

可见，科学的安全概念具有三层含义：

### 1. 安全是相对的

世界上任何系统都包含有不安全的因素，都具有一定的危险性，没有任何系统是绝对安全的。“安全的”系统并不意味着已经杜绝了事故和事故的损失，而是事故发生的可能性相对较低，事故损失的严重性相对较小。现实中的安全系统不可能是“事故为零”的极端状态，人们应该不断克服系统中的危险因素，追求“相对更高的安全程度”这样一种安全目标。

### 2. 安全是主观和客观的统一

安全反映了人们对系统客观危险性的主观认识和容忍程度。作为客观存在，系统危险因素引发的事故何时、何地、以何种程度发生，造成何种恶果，人们不可能完全准确地预料，但是，完全可以通过研究事故发生的条件和统计规律来认识系统的危险性；作为对客观存在的主观认识，安全表达了人们内心对危险的容忍程度。事故发生频率和损害程度提高或（和）人们内心对事故的容忍程度降低都会产生不安全的感觉。

### 3. 安全需要以定量分析为基础

安全的定量分析涉及三个重要指标，即系统事故发生的概率、事故损失的严重度、可接受的危险水平。为了确认系统安全程度，人们必须首先确定系统事故发生的概率及其损失的严重度，再与可接受危险水平相比较。为了实现系统安全，人们需要针对损失发生的概率及其严重度，有重点地采取控制、降低事故概率和损失严重度的措施。

## 二、安全与危险

### 1. 危险

危险是安全的对立状态。危险是指在生产、生活系统中一种潜在的，致使人员伤亡或财产损失的不幸事件（即事故）发生的概率及其严重度超出可接受水平的状

态。危险的概率是指危险发生（转变）事故的可能性，即频度或单位时间危险发生的次数。危险的严重度或伤害、损失或危害的程度则是指每次危险发生导致的伤害程度或损失大小。

## 2. 安全与危险的关系

危险性是衡量系统危险程度的客观量。相应地，安全性反映了系统的安全程度，是衡量系统安全程度的客观量。由于安全是相对的，任何系统都存在着一定危险性，那么，假定系统的安全性为  $S$ ，危险性为  $R$ ，则有：

$$S = 1 - R \quad (1-1)$$

显然， $R$  越小， $S$  越大；反之亦然。若在一定程度上消减了危险性，就等于创造了安全。当危险性小到可以被接受的水平时，就认为系统是安全的。

安全性与危险性的关系见图 1—1。其中，左右两端的圆分别表示系统处于绝对危险或绝对安全状态。任何实际系统总是处于两者之间，包含一定的危险性和一定的安全性，可以用介于左右两圆中的一条垂线表示，垂线的上半段表示其安全性，下半段表示其危险性。当实际系统处于“可接受的安全水平”线（图中虚线）的右侧时，这样的系统是安全的。

我们在安全问题上面临的矛盾是：一方面，生产活动在创造物质财富的同时带来大量不安全的危险因素，并使其向深度和广度不断拓展。技术进步带来了火灾、爆炸、毒物泄漏、空难、原子辐射、大气污染等事故可能性和严重度的增加，在图 1—1 上表现为系统的实际状态有向左移动的趋势；另一方面，人们在满足了基本生活需求之后，不断追求更安全、更健康、更舒适的生存空间和生产环境，在图 1—1 上表现为可接受的安全水平有向右移动的趋势。

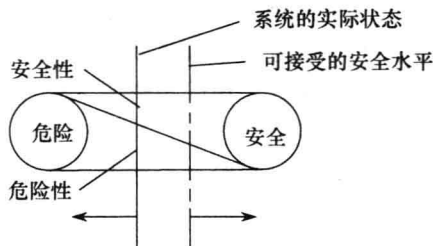


图 1—1 安全与危险

危险因素的绝对增长和人们对各类灾害在心理、身体上承受能力的绝对降低的矛盾，是人类进步的基本特征和必然趋势，使人类对安全目标的向往和努力具有永恒的生命力。在这对矛盾中，后者是人类进步的表现，无可厚非；因而前者是安全工作者要认真研究的主要矛盾方面。安全工作的艰巨性在于既要不断深入地控制已有的危险因素，又要预见并控制可能出现的各种新的危险因素，以满足人们日益增长的安全需求。安全工作者必须勇敢地承担起这个艰巨的且义不容辞的社会责任。

### 三、安全与风险

#### 1. 风险

风险也是安全的对立状态。风险强调系统的不安定性、不确定性。与危险相比，风险的内涵更加宽泛。针对系统的不同状态以及人们对系统的认识程度，风险的内涵主要有：

##### (1) 风险是描述系统危险性的客观量

当系统的可知性和可控性较强时，风险是不幸事件将要发生，且后果可以预见的状态。根据国际标准化组织的定义（ISO 13702—1999），风险是衡量危险性的指标，风险是某一有害事故发生的可能性与事故后果的组合。生产系统中的危险，是安全工程的主要研究对象，而生产系统是具有较强可知性和可控性的人为系统。因此，对于安全工程领域和工业生产系统，风险与危险性是相同的概念，风险是系统危险性的客观量。

##### (2) 风险是损失的不确定性

当系统的可知性和可控性较弱时，风险是不幸事件发生不确定，发生后出现何种损失事先难以预知的状态。美国学者威特雷认为，风险是关于不愿意发生的事件发生的不确定的客观体现。具体地说，风险是客观存在的现象，风险的本质与核心具有不确定性，风险事件是人们主观所不愿发生的。社会、经济系统是可知性和可控性较弱的自在系统，其风险更多地被理解为损失的不确定性。

以上两种风险概念的共同点在于：都将风险看成是可能发生，且可能造成损失后果的状态。这时的风险造成的结果只有损失机会，而无获利可能，称为纯粹风险。

##### (3) 风险是危险和机遇伴生的状态

与纯粹风险相对应的是投机风险。投机风险是指既可能产生收益也可能造成损失的不确定性。经济系统的某些风险，其结果的不确定性可能波及的范围大到损失和获利之间，以致危险和机遇并存，如投资、炒股、购买期货等。

安全工程所涉及的风险，理论上只能是纯粹风险，因为系统的危险性只存在造成事故损失结果的可能性，但是，在实践中却可能存在投机风险性质。比如，为预防和控制事故所付出的安全投入，是用实在的资金支出换取事故发生概率的降低，具有节省支出也可能不出事故的性质；违章操作具有发生事故的危險和作业便捷的诱惑。为了防止生产过程中的事故，必须努力防止和杜绝风险的投机性质。例如，落实安全投入相关法律法规，开展企业安全设施审查，设计本质安全条件，提高违

章成本等。

## 2. 风险的定量描述

根据对风险的第一种理解, 风险数量  $R$  的大小可以用不幸事件发生的概率  $P$  和事件后果的严重程度  $C$  两个客观量的逻辑乘积来评价, 即:

$$R = P \times C \quad (1-2)$$

在安全工程领域, 人们认识风险和管理风险的目的是限制系统中客观存在的各种潜在的危险因素, 使之趋于极小化, 以提高系统的安全性。具体措施, 就是要降低不幸事件发生的概率, 控制其可能造成的恶果。

## 3. 风险矩阵和风险矩阵图

由于不幸事件发生的概率  $P$  和事件后果的严重程度  $C$  通常量纲不同, 因此, 不能以两者乘积的直接结果来评估系统的风险。人们通常采用风险矩阵和风险矩阵图来表达风险的大小。

### (1) 风险矩阵

风险矩阵通常以严重度  $C$  为列, 以概率  $P$  为行构成。兼顾两者的大小确定风险的等级。典型的风险矩阵见表 1—1。

表 1—1 风险矩阵

危险概率等级		风险分类			
定量	定性				
$y \times 10^{-2}$ /年	频繁				
$y \times 10^{-3}$ /年	很可能				
$y \times 10^{-4}$ /年	偶然				
$y \times 10^{-5}$ /年	远期				
$y \times 10^{-6}$ /年	不太可能				
$y \times 10^{-7}$ /年	难以置信				
$x, y$ 系数可根据应用需要调整		灾难	紧急	边缘	无关紧要
		$x \times 10^{-1}$	$x \times 10^{-2}$	$x \times 10^{-3}$	$x \times 10^{-4}$
		危险严重程度等级			

### (2) 风险矩阵图

风险矩阵图是一种有效的风险管理工具, 可用于分析系统风险的大小和分布。通常以严重度  $C$  为横轴, 概率  $P$  为纵轴, 建立直角坐标系来表达风险的大小。由于风险严重度  $C$  和概率  $P$  都具有不确定性, 因此, 在风险矩阵图上, 通



常以区块表示风险的具体位置，并由大到小分别涂以红色、橘红色、黄色、绿色。

显然，距离原点较远的区块风险值较大。根据风险是安全的对立状态的定义，在风险矩阵图上可按照距原点的距离划分出风险可接受区、ALARP（as low as reasonably practical，安全风险处在最低合理可行状态）区以及风险不可容忍区，并以此确定风险的对策措施。

典型的风险矩阵如图 1—2 所示。

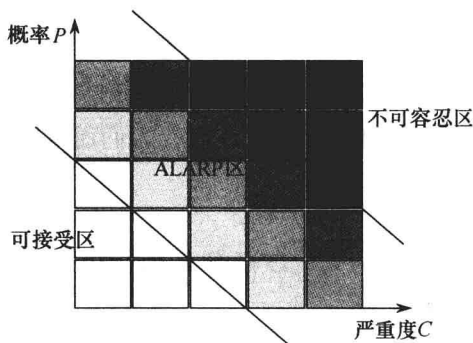


图 1—2 风险矩阵图

## 第二节 事故与事故后果

### 一、事故

事故是指在生产活动中，由于人们受到科学知识和技术力量的限制，或者由于认识上的局限，当前还不能防止，或能防止但未有效控制而发生的违背人们意愿的事件序列。事故的发生，可能迫使系统暂时或较长期地中断运行，也可能造成人员伤亡和财产损失（又称为损伤），或者二者同时出现。

事故的含义包括：

(1) 事故是一种发生在人类生产、生活活动中的特殊事件，由于任何系统都存在一定的危险性，因此，人类的任何生产、生活活动过程中都可能发生事故。

(2) 事故是一种迫使进行着的生产、生活活动暂时或永久停止的事件。事故中断、终止人们正常活动的进行，必然给人们的生产、生活带来某种形式的影响，甚