



普通高等教育“十三五”交通类规划教材

交通安全工程

Traffic Safety Engineering

潘福全 张丽霞 杨金顺 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



彩图 1 警告标志



彩图 2 一般禁令标志



彩图 3 特殊禁令标志



彩图 4 指示标志



彩图 5 一般道路指路标志



彩图 6 高速公路和城市快速路指路标志



彩图 7 旅游区标志



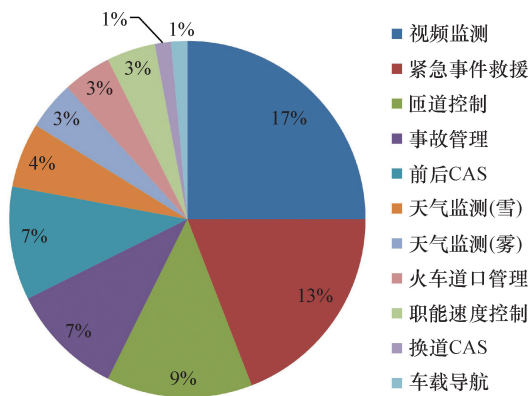
彩图 8 作业区标志



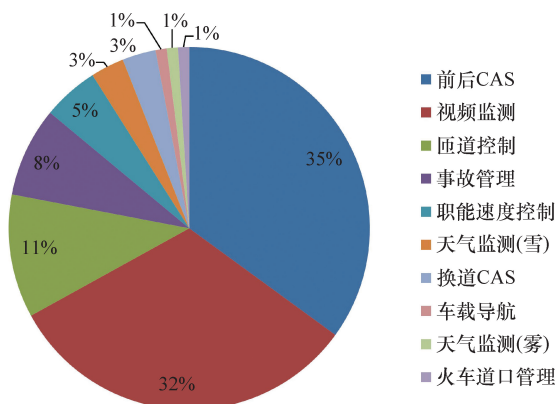
彩图 9 告示标志



彩图 10 彩色路面



彩图 11 各种 ITS 技术对减少死亡事故贡献的百分比



彩图 12 各种 ITS 技术对减少致伤事故贡献的百分比

普通高等教育“十三五”交通类规划教材

交通安全工程

潘福全 张丽霞 杨金顺 等编著



机械工业出版社

本书是普通高等学校交通工程、交通运输、土木工程（交通土建方向）、安全工程、汽车服务工程、车辆工程专业“交通安全工程”或“道路交通安全”课程的教材，是在作者多年授课经验的基础上，吸收作者团队及国内外交通安全领域最新研究成果编著而成的。本书从交通安全的基本概念与基本原理出发，以人、车、路、环境为主线，探究了各主要因素与交通安全的关系，并探讨了交通安全管理与新技术在交通安全中的运用。

本书共 10 章，包括绪论、交通安全基本原理、交通安全与交通事故、道路交通环境与交通安全、道路交通设施与交通安全、车辆因素与交通安全、人的因素与交通安全、道路交通安全管理、交通安全评价方法与技术，以及新技术在交通安全中的运用。

本书除作为上述专业本科生教材外，也可作为交通运输工程学科交通安全理论与技术研究方向的研究生教材，还可作为从事交通安全设计、安全管理等工作的相关人员的参考用书，并可供公安、交通、城建等部门的技术人员参考。

本书配有 PPT 电子课件，可免费赠送给采用本书作为教材的教师，可登录 www.cmpedu.com 免费下载，或联系编辑（tian.lee_9913@163.com）索取。

图书在版编目（CIP）数据

交通安全工程/潘福全等编著. —北京：机械工业出版社，2018.5
普通高等教育“十三五”交通类规划教材
ISBN 978-7-111-59537-3

I. ①交… II. ①潘… III. ①交通运输安全 - 安全工程 - 高等学校 - 教材 IV. ①U491

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 062159 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：宋学敏 责任编辑：宋学敏 段晓雅 商红云

责任校对：肖琳 封面设计：张静

责任印制：张博

唐山三艺印务有限公司印刷

2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·24 印张·1 插页·585 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-59537-3

定价：58.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88379833

读者购书热线：010-88379649

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

教育服务网：www.cmpedu.com

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

前 言

伴随生产而存在的安全问题对于所有系统都具有普遍意义，交通运输系统也不例外。交通安全是全世界范围内最严重的社会问题之一，全球每年因交通事故死亡的人数超过100万。尽管我国近几年交通事故死亡人数有下降的趋势，但交通安全形势仍不容乐观。

交通安全工程学科是指运用系统论、控制论、信息论等现代科学技术理论，从安全的角度对交通运输系统进行科学的研究，以查明事故发生的原因和经过，找出灾害的本质和规律，寻求消灭或减少交通事故，或减轻事故损失，保障交通安全畅通的措施和办法。研究交通安全基本原理与交通事故的发生机理，从人、车、路、环境等方面找出影响交通事故发生的因素，提出事故预防的方法并对交通安全进行评价，对于提高我国交通安全管理水平与减少道路交通事故带来的损失都具有十分重要的理论意义和现实意义。

本书共10章。第1章为绪论，介绍了安全系统工程、交通安全工程的基本概念以及交通安全工程学科的分类、研究内容等；第2章阐述了交通安全基本原理，包括可靠性理论、事故致因理论、事故预防理论，分析了交通系统安全控制的重点；第3章介绍了道路运输、铁路运输、水上运输、航空运输、管道运输五种交通运输方式中存在的交通安全问题；第4章从道路线形、道路横断面、路基路面、道路交叉口、隧道、道路景观等方面阐述了道路交通环境与交通安全的关系；第5章从交通信号灯、道路交通标志、道路交通标线、护栏与隔离栅等方面分析了道路交通设施与交通安全的关系；第6章主要介绍了车辆因素与交通安全的关系，包括车辆性能（操纵稳定性、制动安全性、动力性能等）、轮胎性能、汽车主动与被动安全技术，以及其他车辆相关因素；第7章阐述了交通参与者的心理及行为特征对交通安全的影响，分析了驾驶人、骑车人以及行人的交通特性，简要介绍了道路交通安全教育的内容和形式；第8章介绍了对车辆及驾驶人、道路旅客运输、道路货物运输等方面的交通安全管理，以及一些道路交通安全管理对策；第9章介绍了交通安全评价的指标与体系、交通安全评价类型与方法，以及事故多发地点的辨识与改造等；第10章主要介绍了新技术在交通安全中的应用，包括接入管理技术、交通静化技术、交通冲突点的计算技术等。

本书由潘福全教授、张丽霞副教授、杨金顺博士等编著。其中青岛理工大学潘福全编写第1章；青岛理工大学张丽霞、杨金顺编写第2章；潘福全、南京航空航天大学张洪海编写第3章；潘福全、东南大学马永锋编写第4章；潘福全、河海大学袁黎编写第5章；张丽霞、青岛理工大学王丰元编写第6章；潘福全、杨金顺编写第7章；兰州交通大学马昌喜、潘福全编写第8章；潘福全、上海交通大学陆林军编写第9章；潘福全、张丽霞、青岛理工大学魏金丽编写第10章。全书由潘福全、张丽霞、杨金顺统稿。在编写过程中，罗淑兰、亓荣杰、王健、林炳钦、夏永凯、王铮、邢英等研究生在资料收集、图文整理、书稿校对及PPT制作等方面给予了大力支持。

本书得到了山东省研究生教育优质课程建设项目（SDYKC17044）、青岛理工大学名校



建设工程专业建设与教学改革项目 (MX3 - 021)、教育部产学合作协同育人项目 (201702117008)、山东省精品课程“交通安全工程”、山东省重点研发计划项目 (2018GGX105009)、山东省自然科学基金 (ZR2016EEM14), 以及国家自然科学基金 (51505244、51408288) 的支持, 在此一并表示感谢。

本书编写过程中参考了大量书籍、期刊、网络平台资讯等文献资料, 限于篇幅不一列出, 在此对相关参考文献的作者表示衷心的感谢。

鉴于编者水平有限, 书中不足和疏漏之处在所难免, 恳请读者批评指正。若读者对本书有任何建议, 请直接与编者联系, 邮箱为: fuquanpan@yeah.net 或 panfuquan@gmail.com。

编者

目 录

前 言	
第 1 章 绪论	1
本章学习目标	1
1.1 安全系统工程基本概念	1
1.2 交通安全工程基本概念	5
1.3 交通安全工程学科	10
复习思考题	13
第 2 章 交通安全基本原理	14
本章学习目标	14
2.1 可靠性理论	14
2.2 事故致因理论	25
2.3 事故预防理论	38
2.4 交通系统安全控制	48
复习思考题	50
第 3 章 交通安全与交通事故	52
本章学习目标	52
3.1 道路运输交通安全与交通事故	52
3.2 铁路运输交通安全与交通事故	67
3.3 水上运输交通安全与交通事故	74
3.4 航空运输交通安全与交通事故	81
3.5 管道运输交通安全与交通事故	86
复习思考题	91
第 4 章 道路交通环境与交通安全	92
本章学习目标	92
4.1 概述	92
4.2 道路线形与交通安全	93
4.3 道路横断面与交通安全	108
4.4 路基路面与交通安全	112
4.5 道路交叉口与交通安全	116
4.6 隧道与交通安全	123
4.7 道路设计一致性与交通安全	130
4.8 交通条件与交通安全	135
4.9 道路景观、天气等与交通安全	138
复习思考题	141
第 5 章 道路交通设施与交通安全	142
本章学习目标	142
5.1 交通信号灯	142
5.2 道路交通标志	148
5.3 道路交通标线	154
5.4 护栏与隔离栅	157
5.5 防眩设施	164
5.6 视线诱导设施	166
5.7 其他安全设施	169
复习思考题	174
第 6 章 车辆因素与交通安全	175
本章学习目标	175
6.1 车辆性能与交通安全	175
6.2 汽车轮胎与交通安全	184
6.3 汽车被动安全技术	187
6.4 汽车主动安全技术	192
6.5 其他因素与交通安全	197
6.6 车辆礼让斑马线与交通安全	203
复习思考题	205
第 7 章 人的因素与交通安全	206
本章学习目标	206
7.1 生理心理学	206



7.2 驾驶人与交通安全	208	9.6 交通安全分析软件简介	314
7.3 非机动车驾驶人特征与交通安全	228	9.7 美国《道路安全手册》简介	317
7.4 行人特征与交通安全	232	复习思考题	318
7.5 交通参与者的交通安全教育	237	第10章 新技术在交通安全中的应用	320
复习思考题	240	本章学习目标	320
第8章 道路交通安全管理	241	10.1 接入管理技术在交通安全中的运用	320
本章学习目标	241	10.2 交通静化技术在交通安全中的运用	327
8.1 道路交通安全管理概述	241	10.3 交通冲突点的计算技术	336
8.2 道路交通安全立法	243	10.4 交叉口安全服务水平评价	342
8.3 对道路运输车辆及驾驶人的安全管理	248	10.5 智能交通技术在交通安全中的应用	356
8.4 道路旅客运输安全管理	258	10.6 交通大数据发展对交通安全的影响	365
8.5 道路货物运输安全管理	260	10.7 共享单车对交通安全的影响	366
8.6 道路运输事故应急与管理	268	10.8 无人驾驶汽车发展与应用对交通安全的影响	368
8.7 道路交通安全管理对策	271	复习思考题	370
复习思考题	277	参考文献	371
第9章 交通安全评价方法与技术	278		
本章学习目标	278		
9.1 概述	278		
9.2 交通安全评价指标与体系	280		
9.3 交通安全评价类型	287		
9.4 交通安全评价方法	290		
9.5 事故多发地点的辨识与改造	309		

第 1 章

绪 论

本章学习目标

1. 理解安全系统工程基本概念。
2. 掌握交通安全工程基本概念。
3. 了解交通安全工程研究内容。

安全是生命与健康的基本保障，是人类生存和发展的最基本要求。根据人类对科学的不同需要，可将科学分为两个方面：一是人类为满足物质生活和社会文化生活的需要，对物质生产和精神生产及其规律进行的认识活动和认识的结果，称为生产科学；二是人类为保全自己身心的需求，对客观事物及其规律进行的认识活动和认识的结果，称为安全科学。安全具有广义的含义，不仅包含一般意义上的社会安全、生产安全等，也包含人的健康、舒适、愉快、幸福等。由于安全现象极其普遍地存在于人类生产和生活中，人们早已司空见惯，反而忽视了对安全科学规律的认识。但是，要想更好地发展，必须对安全进行广泛而细致的研究，以认识和掌握其中的科学规律，使人们能够更安全地工作和生活。



1.1 安全系统工程基本概念

1.1.1 系统

1. 系统的概念

系统 (System) 就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。系统的概念含有五个基本要素：功能、组元或组成、结构、运行和环境。

(1) **功能** 功能 (Function) 是指系统将一定的输入 (外界对系统的作用) 转换为一定的输出 (系统对外界的作用) 的能力，且这种输入不等于输出。如交通运输系统，输入的是客流、货流，输出的则是人和物的位移 (人·公里和吨·公里)。

(2) **组元或组成** 组元 (Component) 是指组成系统的成分；组成是指组元的集合，每个系统都有两个以上的组元。通常人们将组元理解为相对独立、具有特定功能的部件或要素。组元按相对运动特性可分为三类：固定组元、运转组元和流动组元。交通运输系统中的基础设施 (线路、港、站等) 为固定组元，载运工具 (飞机、轮船、汽车、列车等) 为运转组元，运输计划、统计报表等为流动组元。

(3) **结构** 组元之间总以某种方式相互联系和作用。某些组元之间往往存在较为紧密而稳固的联系，在与其他组元相互作用时会呈现一定的整体特性——系统性，这种存在较为紧密而稳固的组元团体称为子系统 (Subsystem)。子系统具有如下性质：



1) 每个子系统的功能都影响系统的整体功能,即系统的整体功能是所有子系统共同作用的结果。

2) 每个子系统功能的发挥都依赖于其他(至少一个)子系统的功能。

系统与子系统之间、子系统与子系统之间的联系,本质上都是物质、能量、信息的流通。这种流通是有方向的,相互联系的事物之间的流通是不等价的,系统的功能就是通过外界进行(关于物质、能量和信息)不等价交换来体现的。子系统构成与子系统间流通成分的质和流动方向的规定,形成了子系统在空间上的有序性,这就是系统结构(Structure)。

(4) 运行 无生命存在的系统,包括各种机器与设备,其结构决定了子系统间的联系,从而在组成固定的情况下决定了系统的功能。但对于有人参与的系统,由于存在具有能动性的组元,结构并不能唯一确定各子系统间的联系。在系统结构的基础上,即对流动组元流通的质及其方向进行规定的情况下,系统能动部分还可以对流通的具体内容、数量及其在时间上的分布进行控制。如铁路运输系统中的调度员,结构赋予他向车站下达接发列车调度命令的职能,但是命令的具体内容及其是否符合车站的实际、何时下达并不确定;驾驶人与汽车是操纵与被操纵的关系,但驾驶人可以有不同的操纵方式,或安全行驶,或发生交通事故。这种在结构的基础上决定运转组元的实际运动,从而决定流动组元的实际变换与流通的机制称为运行(Operation)。显然,依托于一定结构上的运行最终决定了系统的实际功能。

(5) 环境 由系统功能的定义可知,必然有与系统相互作用(有输入、输出关系)的外界,这个客观存在的与系统有着较密切联系的外界就是系统的环境(Environment)。不存在没有环境的系统。

组元之间的有序联系形成事物的结构和事物变化的实际运行过程,事物与外界有序联系形成事物的环境和功能,组成、结构、运行、环境与功能的统一,就是科学的系统概念。

2. 系统的特性

系统可分为自然系统与人造系统、封闭系统与开放系统、静态系统与动态系统、实体系统与概念系统、宏观系统与微观系统、软件系统与硬件系统。不管如何划分,所有系统都具有如下特性:

(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,但它们通过综合与统一形成的整体具备新的特定功能,即系统作为一个整体才能发挥其应有功能。

(2) 相关性 构成系统的各要素之间、要素与子系统之间、系统与环境之间都存在相互联系、相互依赖、相互作用的特殊关系,通过这些关系使系统有机地联系在一起,发挥其特定功能。

(3) 目的性 任何系统都是为完成某种任务或实现某种目的而发挥其特定功能的。要达到系统的既定目的,就必须赋予系统规定的功能。

(4) 层次性 系统有序性主要表现在系统空间结构的层次性和系统发展的时间顺序性。每一个系统都是其所属系统的子系统,这种系统的分割形式表现为系统空间结构的层次性。

(5) 环境适应性 系统是由许多特定部分组成的有机集合体,该集合体以外的部分就是系统的环境。一方面,系统从环境中获取必要的物质、能量和信息,经过系统的加工、处理和转化,产生新的物质、能量和信息,然后再提供给环境;另一方面,环境也会对系统产生干扰或限制,即约束条件。环境特性的变化往往会引起系统特性的变化,系统要实现预定



的目标或功能，必须能够适应外部环境的变化，即具有环境适应性。

3. 系统方法的基本原则

系统方法是指按照事物的系统性把对象放在系统的形式中加以考察的方法。系统方法的基本原则如下：

(1) **整体性原则** 整体性原则是把对象作为由各个组成部分构成的整体，研究整体的构成及其发展规律，即把系统当作整体对待，从整体与部分相互依赖、相互结合、相互制约的关系中揭示系统的特征和运动规律。整体功能不等于部分功能的总和，整体将产生部分所没有的功能。

(2) **综合性原则** 要求对系统从时间与空间上进行综合考察，在此基础上进行分析，再回到综合。每一层次分析的结果都要反馈到上一层次的综合中去，与整体进行比较，并进行修正，使部分与整体达到统一。

(3) **联系性原则** 构成系统的元素之间以及元素与环境之间有特定的联系，物质与能量之间的相互转换及不同物质形态之间的信息交换都体现了联系性。

(4) **有序性原则** 系统都是有序的，因此系统也是有层次的，系统的发展一般是由低级的有序状态走向较高级的有序状态的定向演化。

(5) **动态性原则** 任何系统内部都存在矛盾运动，推动系统的发展，因此在研究系统时，应在动态中协调各部分的关系，才能准确地掌握系统的规律，取得综合的动态平衡，使系统不断得以优化。

(6) **结构性原则** 系统的整体性功能是由系统的结构决定的，同样的元素组成不同的结构，将会产生不同的功能。系统优化的一个重要方面就是取得最优的结构。

(7) **模型化原则** 模型化是使系统方法从定性到定量的重要途径，通过对真实模型的试验，可以具体分析系统的运行状况，也可以建立数学模型对系统进行定量描述。

1.1.2 工程

工程 (Engineering) 是将科学理论或技术应用于特定目的的各项工作的总体。这里的工程具有广泛的意义，不仅指与物质、能量等有关的工作，而且包括信息处理、人的行为、心理研究等各个方面。

从不同的角度，可以对工程进行基本的分类：

1) 从学科角度，工程是将自然科学的理论应用到某具体研究或生产部门中形成的各学科的总称。如水利工程、土木工程、建筑工程、遗传工程、系统工程、生物工程、海洋工程、交通运输工程。

2) 从实际生产角度，工程是指需较多的人力、物力来进行较大而复杂的工作，需要一个较长时间周期来完成。如京九铁路、工程城市改建工程。

3) 从难易角度，把一个全面的、大型的、复杂的包含各子项目的工程，称为“系统工程”。这里的“系统工程”的含义与从学科角度分类的“系统工程”的含义不一样。

1.1.3 系统工程

系统工程 (System Engineering) 是组织与管理系统的规划、设计、制造、试验和使用的科学方法适用于所有系统。系统工程属工程技术范畴，主要是组织与管理各类工程的方法



论，即组织管理工程，是解决系统整体及其全过程优化问题的工程技术。

系统工程是运筹学、系统论、控制论、信息论、计算机技术和现代管理科学等学科相互渗透发展起来的一门以大规模复杂系统为研究对象的应用学科。系统工程打破了各学科之间的界限，建立了自然科学和社会科学的联系，使人们能够摆脱传统方法的束缚，能够为综合运用现代科技成果提供最有效的方法和思路，为解决庞大复杂的系统性问题开辟新的途径。其特点可归纳为以下几点：

1. 研究方法的整体性

把研究对象看作一个整体，同时把研究过程也看作一个整体，按系统工程的三维结构，即时间维（工作阶段）、逻辑维（思维步骤）和知识维，整体配合研究并解决问题。

2. 应用学科的综合性

综合运用多学科理论和管理工程技术，揭示并协调系统各要素之间以及系统与外部环境之间的关系，为实现系统整体功能最优化提供决策、计划、方案和方法。

3. 组织管理的科学性

运用数学方法和计算机技术定量或定量与定性相结合地分析、评价系统构成和状态，以达到最优设计、最优控制和最优管理的目标。

1.1.4 安全系统工程

安全系统工程（Safety System Engineering）是采用系统工程的原理和方法，识别、分析和评价系统中存在的危险性，并根据其结果调整工艺、设备、操作、管理、生产周期和投资费用等因素，使系统中存在的危险因素能得到消除或控制，使得事故的发生概率减少到最低程度，从而达到最佳安全状态。简单地说，安全系统工程就是用系统工程的知识、方法和手段解决生产中的安全问题。它的最终目的是消除危险，防止灾害，避免损失，保证人身财产安全。

安全系统工程随着人类对自然的探索以及生产力的提高，逐步产生与发展。在石器时代，人们从狩猎和农业实践中认识到生产工具和自然现象对人类的危害，发明了一些简单的防护措施，如手套等，以保护身体不受伤害。从青铜器到铁器时代，防护器械和防护技术则出现了质的飞跃。我国历史上记载有防火、防中毒、防瓦斯等安全防护技术，如隋代巢元方编撰的《诸病源候论》中记述了防止中毒的措施。

随着生产的发展和技术的进步，人们对安全技术的要求也越来越高。特别是18世纪工业革命以来，由于使用了蒸汽机，生产得到了发展，但是产生蒸汽的锅炉却不断发生爆炸事故，导致人员伤亡与财产损失。为了防止锅炉爆炸，人们对锅炉的结构、所用材料、工作压力和炉内除垢问题进行研究，取得了一系列成果。

1885年1月29日，德国人卡尔·本茨成功研制世界上第一辆汽车，极大地方便了人们的生活。但是汽车又引发了接连不断的伤害事故。纽约市记录的第一起与机动车相关的伤害是1896年5月30日，伤者是一位骑自行车者；同年8月17日，伦敦记录了首例行人与机动车碰撞死亡的事件。自此之后，道路交通事故与交通安全逐渐提上了历史日程。进入20世纪后，安全系统工程得到了较快的发展。

安全系统工程主要应用于军工，航天航空，化工石油，铁路及公路交通等领域。一般包含系统安全原理、系统安全分析、系统安全评价、安全措施、安全预测和决策五个方面的



内容。



1.2 交通安全工程基本概念

1.2.1 安全的内涵与特征

安全科学仍然处于发展的中期，有些基本概念尚未完全确定，也没有获得普遍认同。以下是现阶段对安全科学的基本概念比较一致的认识。

1. 基本概念

(1) **安全** 安全可归纳为绝对安全和相对安全。

绝对安全观是人们较早时期对安全的认识，目前仅有部分生产管理人员和科技工作者坚持这一观点。绝对安全观认为，安全是指没有危险、不受威胁、不出事故，即消除能导致人员伤害，发生疾病、死亡或造成设备财产破坏、损失以及危害环境的条件。无危则安，无损则全。这种安全观认为，安全意味着发生死亡、工伤等的概率为零，这在现实生产系统中不存在，是一种非常理想的状态。由于绝对安全观过分强调安全的绝对性，其应用范围受到了很大限制。

与绝对安全观相对应的是现在被人们普遍接受的相对安全观。相对安全观认为，安全是相对的，绝对安全是不存在的。例如，美国哈佛大学的劳伦斯教授将安全定义为“被判断为不超过允许极限的危险性，即没有受到损害的危险或损害概率低的通用术语”。

因此，安全是指在生产活动过程中，能将人或物的损失控制在可接受水平的状态。该定义具有如下含义：

- 1) 这里所说的安全是指生产领域中的安全问题，不涉及军事或社会意义的安全以及与疾病有关的安全。
- 2) 安全不是瞬间的结果，而是对于某种过程状态的描述。
- 3) 安全是相对的，绝对安全是不存在的。
- 4) 构成安全问题的矛盾双方是安全与危险，而非安全与事故。
- 5) 不同的时代与生产领域，可接受的损失水平不同，衡量系统是否安全的标准也不同。

(2) **危险** 作为安全的对立面，可以将危险定义为在生产活动过程中，人或物遭受损失的可能性超出可接受范围的一种状态。危险与安全都是与生产过程共存的一种连续型过程状态。危险包含尚未为人所知以及虽为人所知但尚未为人所控制的各种隐患。

(3) **风险（危险性）** 风险在不同场合，含义有所不同。就安全而言，风险是描述系统危险程度的客观量。这里主要有两种考虑：一是把风险看成是一个系统内有害事件或非正常事件出现可能性的量度；二是把风险定义为发生一次事故的后果大小与该事故发生概率的乘积。一般意义上的风险具有概率和后果的双重性，可用损失程度 l 和发生概率 p 的函数来表示风险 R ，即

$$R = f(p, l) \quad (1-1)$$

简单起见，多数文献将风险表达为概率 p 与后果 c 的乘积，即

$$R = pc \quad (1-2)$$



上述定义中的损失或后果均是针对事故而言的，包括已发生的事故和将会发生的事故。既然风险是对系统危险性的度量，则仅以事故来衡量系统的风险是很不充分的，除非能够辨识所有可能的事故形式。从整个系统的角度出发，风险是系统危险影响因素的函数，可表达为如下形式：

$$R=f(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5) \quad (1-3)$$

式中， R_1 为人的因素； R_2 为设备因素； R_3 为环境因素； R_4 为管理因素； R_5 为其他因素。

(4) 安全性 从系统的安全性能出发，安全性是衡量系统安全程度的客观量。与安全性对立的观念是描述系统危险程度的指标风险（危险性）。

由于安全性与可靠性的联系十分密切，在实际应用中存在将安全性与可靠性混用的现象，因此有必要明确二者之间的差别。可靠性是指系统或元件在规定条件下与规定时间内完成规定功能的能力，而安全性是指系统的安全程度。安全性与可靠性有共同之处，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，就是因为其系统可靠性较低。但是，可靠性不等于安全性。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，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，并将它从系统中排除。

(5) 事故 “事故”一词极为通俗，但对于事故的确切内涵，目前尚无一致的认识。牛津词典中将事故定义为“意外的、特别有害的事件”。美国安全工程师海因里希认为，事故是“非计划的、失去控制的事件”。还有的学者从能量观点出发解释事故，认为事故是能量逸散的结果。现把事故的基本含义概括如下：

1) 事故是违背人们意愿的一种现象。

2) 事故是不确定事件，其发生形式既受必然性的支配，但也不可避免地受到偶然性的影响。

3) 事故发生的原因可归结为三类：①目前尚未认识到的原因；②已经认识，但目前尚不可控制的原因；③已经认识，目前可以控制而未能有效控制的原因。

4) 事故一旦发生，可以造成以下几种后果：①人受到伤害，物受到损失；②人受到伤害，物未受损失；③人未受伤害，物受到损失；④人、物均未受到伤害或损失。有些工业领域，如铁路运输系统，将凡是造成系统运行中断的事件均归入事故的范畴，虽然系统运行中断不一定会造成直接的财产损失或人员伤亡，但却严重干扰了系统的正常运行秩序，从而将带来严重的间接损失。

5) 事故的内涵相当复杂。从宏观的角度看，事故是安全与危险矛盾斗争过程中某些瞬间突变结果的外在表现形式，是时间轴上一系列离散的点；从微观的角度看，每一个事故均可看作是在极短时间内相继出现的事件序列。

因此，事故是指在生产活动过程中，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，或能防止而未有效控制所发生的违背人们意愿的事件序列。

事故具有以下特征：

1) 事故的因果性。因果性即事物之间，一事物是另一事物发生的根据，二者具有关联性。事故是许多因素互为因果连续发生的结果，一个因素既是前一个因素的结果，又是后一个因素的原因。因此，因果关系有继承性，是多层次的。事故因素及其因果关系的存在决定



了事故必然要发生，其随机性仅表现在何时、何地、何原因意外事件触发产生。

2) 事故的偶然性、必然性和规律性。事故是由于客观存在的不安全因素随着时间的推移出现某些意外情况而发生的，这些意外情况往往难以预知。因此，掌握事故的原因可降低事故的概率，是防止事故发生的必要条件。但即使完全掌握了事故原因，也不能保证绝对不发生事故。事故的偶然性还表现在事故是否产生后果以及后果如何都难以预测。反复发生的同类事故并不一定产生相同的后果。事故的偶然性决定了要完全杜绝事故发生是很困难的，甚至是不可能的。

事故的必然性来自因果性，同时包含着规律性，深入探查、了解事故的因果关系，就可以发现事故发生的客观规律，从而为防止事故发生提供依据。然而，由于事故具有偶然性，要完全掌握其规律非常困难。但在一定范畴内可以用相关科学仪器或手段找出其近似规律。

3) 事故的潜在性、再现性、预测性和复杂性。虽然事故往往突然发生，但导致事故发生的因素，即“隐患或潜在危险”早就存在，只是未被发现或未受到重视。随着时间的推移，一旦条件成熟，这些因素就会显现而酿成事故，这就是事故的潜在性。

事故一经发生，就成为过去，完全相同的事故不会再次出现。若没有真正了解事故发生的原因并采取有效措施去消除这些原因，就会再次出现类似事故，这就是事故的再现性。

根据人们从过去发生的事故中积累的经验 and 知识以及对事故规律的认识，使用科学的方法和手段，可以对未来可能发生的事故进行预测，这就是事故的预测性。

事故预测是在认识事故发生规律的基础上，充分了解、掌握各种可能导致事故发生的危险因素以及它们之间的因果关系，推断其发展演变的状况和可能产生的后果。事故预测的目的在于识别和控制危险，预先采取对策，最大限度地减少事故发生的可能性。事故的发生取决于人、物和环境的关系，具有极大的复杂性。

(6) 事故隐患 隐患是指隐藏的祸患，事故隐患即隐藏的、可能导致事故的祸患。从系统安全的角度来看，通常所说的事故隐患包括一切可能对人机环境系统带来损害的不安全因素，可定义为在生产活动过程中由于受到科学知识和技术力量的限制或者认识上的局限，未能有效控制有可能引起事故的一种行为（一些行为）或一种状态（一些状态）或二者的结合。隐患是事故发生的必要条件，隐患一旦被识别，就要予以消除。对于受客观条件所限不能立即消除的隐患，要采取措施降低其危险性或延缓危险性增长的速度，减少其被触发的概率。

(7) 危险源 系统安全研究认为危险源的存在是事故发生的根本原因，防止事故就是控制、消除系统中的危险源。

哈默（Willie Hammer）将危险源定义为可能导致人员伤亡或财物损失事故的潜在的不安全因素。按此定义，生产、生活中的许多不安全因素都是危险源。根据危险源在事故发生与发展中的作用，可以把危险源划分为第一类危险源和第二类危险源。

第一类危险源是指系统中存在的可能发生意外释放的能量或危险物质，实际工作中往往把产生能量的能量源或拥有能量的能量载体看作第一类危险源。第一类危险源具有的能量越多，或者包含的危险物质的量越多，其危险性越大。

第二类危险源是指导致约束与限制能量的措施失效或破坏的各种不安全因素，包括人、物、环境三个方面的问题。人失误可能会破坏对第一类危险源的控制，造成能量或危险物质的意外释放，也可能造成物的故障，进而导致事故。物的故障可能会使约束与限制能量或危



险物质的措施失效而发生事故；有时一种物的故障可能导致另一种物的故障，最终造成能量或危险物质的意外释放；此外，物的故障有时会诱发人的失误。环境因素主要是指系统运行的环境，包括温度、湿度、亮度、粉尘、通风、噪声和振动等物理环境以及企业和社会的人文环境等。不良的物理环境会引起物的故障或人的失误；企业的管理制度、人际关系和社会环境会影响人的心理，进而可能引起人的失误。

2. 相互关系

(1) **安全与危险** 安全与危险是矛盾的，具有矛盾的所有特性，两者一方面互相排斥、互相否定，另一方面互相依存，共同处于一个统一体中，存在向对方转化的趋势。描述安全与危险的指标分别是安全性与危险性，安全性越高危险性就越低，二者存在如下关系：

$$\text{安全性} = 1 - \text{危险性}$$

(2) **安全与事故** 安全与事故是对立的，但事故并不是不安全的全部内容，而只是在安全与不安全矛盾斗争过程中某些瞬间突变结果的外在表现。系统处于安全状态并不一定不发生事故，系统处于不安全状态，也未必完全由事故引起。

(3) **危险与事故** 危险不仅包含作为潜在事故条件的各种隐患，还包含安全与不安全的矛盾激化后表现出来的事故结果。发生事故时系统不一定处于危险状态，不发生事故时也不能确定系统不处于危险状态，即事故不能作为判别系统危险与安全状态的唯一标准。

(4) **事故与隐患** 事故总是发生在操作现场，通常伴随隐患的发展发生于生产过程中。事故是隐患发展的结果，隐患则是事故发生的必要条件。

(5) **危险源与事故** 事故的发生是两类危险源共同作用的结果。第一类危险源的存在是事故发生的前提，第二类危险源的出现是第一类危险源导致事故的必要条件。如果没有第一类危险源就谈不上能量或危险物质的意外释放，也就不会发生事故；如果没有第二类危险源破坏对第一类危险源的控制，也就不会发生能量或危险物质的意外释放。

在事故的发生与发展过程中，两类危险源相互依存、相辅相成。第一类危险源在事故发生时释放出的能量是导致人员伤害或财物损坏的能量主体，决定了事故后果的严重程度；第二类危险源出现的难易程度决定了事故发生可能性的大小。两类危险源共同决定事故的危险性。

1.2.2 安全问题的基本特征

伴随生产而存在的安全问题对于所有的技术系统都具有普遍意义，交通运输系统也不例外。安全问题的基本特征主要表现在以下几方面：

1. 系统性

安全涉及技术系统的各个方面，包括人员、设备、环境等因素，而这些因素又涉及政治、经济、科技、教育和管理等许多方面。因此，研究和解决安全问题应从系统观点出发，运用系统工程的方法进行综合治理。

2. 相对性

安全的相对性表现在三个方面：①绝对安全的状态是不存在的，系统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。因此，各种生产和生活活动过程中的事故或危害事件及其