

ANQUAN GONGCHENG XILIE ANQUAN GONGCHENG XILIE ANQUAN GONGCHENG XILIE
高等教育安全工程系列“十一五”规划教材



安全系统工程

徐志胜 主编

吴超 主审



 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS



高等教育安全工程系列“十一五”规划教材

安全系统工程

主 编 徐志胜

副主编 姜学鹏

参 编 杨振宏 周西华 肖国清

王飞跃 白国强 陈长飞 常玉锋

主 审 吴 超



机械工业出版社

安全系统工程是安全工程专业的核心课程,它最能体现安全学科的综合属性。本书贯穿系统工程的思想,分别介绍了安全系统工程概论、系统安全定性分析、系统安全定量分析、系统安全评价、系统安全预测与决策、典型事故影响模型与计算等内容。

本书可作为安全工程、消防工程及相关工程类专业本科教材,也可供安全、消防、防灾减灾等方面研究人员学习参考,同时可作为生产经营单位安全管理及技术人员的教育培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

安全系统工程/徐志胜主编. —北京:机械工业出版社,
2007.9

高等教育安全工程系列“十一五”规划教材
ISBN 978-7-111-21858-6

I. 安… II. 徐… III. 安全工程:系统工程—高等学校—
教材 IV. X913.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第103545号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:冷彬 版式设计:冉晓华 责任校对:樊钟英

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京铭成印刷有限公司印刷

2007年9月第1版第1次印刷

169mm×239mm·8.25印张·311千字

标准书号:ISBN 978-7-111-21858-6

定价:21.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379720

封面防伪标均为盗版

安全工程专业教材编审委员会

主任委员：冯长根

副主任委员：王新泉 吴 超 蒋军成

秘 书 长：季顺利

委 员：(排名不分先后)

冯长根 王新泉 吴 超 蒋军成 季顺利 沈斐敏

钮英建 霍 然 孙 熙 金龙哲 王述洋 刘英学

王保国 张俭让 司 鹤 王凯全 董文庚 景国勋

柴建设 周长春 冷 彬

序

“安全工程”本科专业是在1958年建立的“工业安全技术”、“工业卫生技术”和1983年建立的“矿山通风与安全”本科专业基础上发展起来的。1984年，国家教委将“安全工程”专业作为试办专业列入普通高等学校本科专业目录之中。1998年7月6日，教育部发文颁布《普通高等学校本科专业目录》，“安全工程”本科专业(代号:081002)属于工学门类的“环境与安全类”(代号:0810)学科下的两个专业之一。据“安全工程专业教学指导委员会”1997年的调查结果显示，自1958~1996年底，全国各高校累计培养安全工程专业本科生8130人。近年，安全工程本科专业得到快速发展，到2005年底，在教育部备案的设有安全工程本科专业的高校已达75所，2005年全国安全工程专业本科招生人数近3900名。

按照《普通高等学校本科专业目录》(1998)的要求，原来已设有与“安全工程专业”相近但专业名称有所差异的高校，现也大都更名为“安全工程”专业。专业名称统一后的“安全工程”专业，专业覆盖面大大拓宽。同时，随着经济社会发展对安全工程专业人才要求的更新，安全工程专业的内涵也发生很大变化，相应的专业培养目标、培养要求、主干学科、主要课程、主要实践性教学环节等都有了不同程度的变化，学生毕业后的执业身份是注册安全工程师。但是，安全工程专业的教材建设与专业的发展出现尚不适应的新情况，无法满足和适应高等教育培养人才的需要。为此，组织编写、出版一套新的安全工程专业系列教材已成为众多院校的翘首之盼。

机械工业出版社是有着50多年历史的国家级优秀出版社，在高等学校安全工程学科教学指导委员会的指导和支持下，根据当前安全工程专业教育的发展现状，本着“大安全”的教育思想，进行了大量的调查研究工作，聘请了安全科学与工程领域一批学术造诣深、实践经验丰富的教授、专家，组织成立了“安全工程专业教材编审委员会”(以下简称“编审委”)，决定组织编写“高等教育安全工程系列‘十一五’规划教材”。并先后于2004.8(衡阳)、2005.8(葫芦岛)、2005.12(北京)、2006.4(福州)组织召开了一系列安全工程专业本科教材建设研讨会，就安全工程专

业本科教育的课程体系、课程教学内容、教材建设等问题反复进行了研讨,在总结以往教学改革、教材编写经验的基础上,以推动安全工程专业教学改革和教材建设为宗旨,进行顶层设计,制订总体规划、出版进度和编写原则,计划分期分批出版近30余门课程的教材,以尽快满足全国众多院校的教学需要,以后再根据专业方向的需要逐步增补。

由安全学原理、安全系统工程、安全人机工程学、安全管理学等课程构成的学科基础平台课程,已被安全科学与工程领域学者认可并达成共识。本套系列教材编写、出版的基本思路是,在学科基础平台上,构建支撑安全工程专业的工程学原理与由关键性的主体技术组成的专业技术平台课程体系,编写、出版系列教材来支撑这个体系。

本系列教材体系设计的原则是,重基本理论,重学科发展,理论联系实际,结合学生现状,体现人才培养要求。为保证教材的编写质量,本着“主编负责,主审把关”的原则,编委会组织专家分别对各门课程教材的编写大纲进行认真仔细的评审。教材初稿完成后又组织同行专家对书稿进行研讨,编者数易其稿,经反复推敲定稿后才最终进入出版流程。

作为一套全新的安全工程专业系列教材,其“新”主要体现在以下几点:

体系新。本套系列教材从“大安全”的专业要求出发,从整体上考虑各门课程的内容安排,构建支撑安全工程学科专业技术平台的课程体系,按照教学改革方向要求的学时,统一协调与整合,形成一个完整的、各门课程之间有机联系的系列教材体系。

内容新。本套系列教材的突出特点是内容体系上的创新。它既注重知识的系统性、完整性,又特别注意各门学科基础平台课之间的关联,更注意后续的各门专业技术课与先修的学科基础平台课的衔接,充分考虑了安全工程学科知识体系的连贯性和各门课程教材间知识点的衔接、交叉和融合问题,努力消除相互关联课程中内容重复的现象,突出安全工程学科的工程学原理与关键性的主体技术,有利于学生的知识和技能的发展,有利于教学改革。

知识新。本套系列教材的主编大多由长期从事安全工程专业本科教学的教授担任,他们一直处于教学和科研的第一线,学术造诣深厚,教学经验丰富。在编写教材时,他们十分重视理论联系实际,注重引入新理论、新知识、新技术、新方法、新材料、新装备、新法规等理论研究、工程技术实践成果和各校教学改革的阶段性成果,充实与更新了知识点,增加部分学科前沿方面的内容,充分体现了教材的先进性和前瞻性,以适应时代对安全工程高级专业技术

人才的培育要求。本套教材中凡涉及安全生产的法律法规、技术标准、行业规范，全部采用最新颁布的版本。

安全是人类最重要和最基本的需求，是人民生命与健康的基本保障。一切生活、生产活动都源于生命的存在。如果人们失去了生命，生存也就无从谈起，生活也就失去了意义。全世界平均每天发生约 68.5 万起事故，造成约 2200 人死亡的事实，使我们确认，安全不是别的什么，安全就是生命。安全生产是社会文明和进步的重要标志，是经济社会发展的综合反映，是落实以人为本的科学发展观的重要实践，是构建和谐社会的有力保障，是全面建设小康社会、统筹经济社会全面发展的重要内容，是实施可持续发展战略的组成部分，是各级政府履行市场监管和社会管理职能的基本任务，是企业生存、发展的基本要求。国内外实践证明，安全生产具有全局性、社会性、长期性、复杂性、科学性和规律性的特点，随着社会的不断进步，工业化进程的加快，安全生产工作的内涵发生了重大变化，它突破了时间和空间的限制，存在于人们日常生活和生产活动的全过程中，成为一个复杂多变的社会问题在安全领域的集中反映。安全问题不仅对生命个体非常重要，而且对社会稳定和经济发展产生重要影响。党的十六届五中全会首次提出“安全发展”的重要战略理念。安全发展是科学发展观理论体系的重要组成部分，安全发展与构建和谐社会有着密切的内在联系，以人为本，首先就是要以人的生命为本。“安全·生命·稳定·发展”是一个良性循环。安全科技工作者在促进、保证这一良性循环中起着重要作用。安全科技人才匮乏是我国安全生产形势严峻的重要原因之一。加快培养安全科技人才也是解开安全难题的钥匙之一。

高等院校安全工程专业是培养现代安全科学技术人才的基地。我深信，本套系列教材的出版，将对我国安全工程本科教育的发展和高级安全工程专业人才的培养起到十分积极的推进作用，同时，也为安全生产领域众多实际工作者提高专业理论水平提供了学习资料。当然，由于这是第一套基于专业技术平台课程体系的教材，尽管我们的编审者、出版者夙兴夜寐，尽心竭力，但由于安全学科具有在理论上的综合性与应用上的广泛性相交叉的特性，开办安全工程专业的高等院校所依托的行业类型又涉及军工、航空、化工、石油、矿业、土木、交通、能源、环境、经济等诸多领域，安全科学与工程的应用也涉及到人类生产、生活和生存的各个方面，因此，本套系列教材依然会存在这样和那样的缺点、不足，难免挂一漏万，诚恳地希望得到有关专家、学者的关心与支持，希望选用本套教材的广大师生在使用过程中给我们多提意见和建议。谨祝

本系列教材在编者、出版者、授课教师和学生的共同努力下，通过教学实践，获得进一步的完善和提高。

“嘤其鸣矣，求其友声”，高等院校安全工程专业正面临着前所未有的发展机遇，在此我们祝愿各个高校的安全工程专业越办越好，办出特色，为我国安全生产战线输送更多的优秀人才。让我们共同努力，为我国安全工程教育事业的发展作出贡献。

中国科学技术协会书记处书记
中国职业安全健康协会副理事长
中国灾害防御协会副会长
亚洲安全工程学会主席
高等学校安全工程学科教学指导委员会副主任
安全工程专业教材编审委员会主任
北京理工大学教授、博士生导师

冯长根

2006年5月

前 言

随着我国现代化建设的深入,生产生活各个领域的安全问题日益显现出来,安全问题已经成为我国构建和谐社会的主要障碍之一。安全科学则为生产生活的持续健康发展提供了必要的保障。安全系统工程作为安全工程专业的核心课程,最能体现安全学科的综合属性。

本书在中南大学、西安建筑科技大学、辽宁工程技术大学、湖南科技大学等高校安全工程专业授课教案基础上,结合编者的研究工作和工程实践,以基础的理论和方法为主线较系统地介绍了安全系统工程的主要内容。全书力求简洁清晰、通俗易懂,突出内容的基础性、应用性和可拓展性。

本书由中南大学徐志胜教授任主编,具体编写分工如下:第1章由中南大学徐志胜和姜学鹏编写;第2章由西安建筑科技大学杨振宏及华北水利水电学院白国强编写;第3章由辽宁工程技术大学周西华和中南大学姜学鹏编写;第4章由中南大学徐志胜和王飞跃及华北水利水电学院陈长飞编写;第5章由湖南科技大学肖国清和武汉工程大学常玉锋编写;第6章由中南大学徐志胜和姜学鹏编写。

本书由中南大学吴超教授任主审,对全部书稿进行了认真审阅,提出了不少宝贵的意见,在此深表谢意。

在本书的编写过程中,安全工程专业教材编审委员会积极组织专家对本书的编写大纲和书稿进行审纲和审稿工作,在此表示衷心的感谢。同时,还特别得到了中国科技大学霍然教授、中国地质大学(武汉)赵云胜教授、东北林业大学王述洋教授、中原工学院王新泉教授和湖南科技大学王海桥教授的指导和建议,在此向他们表示真挚的谢意。在本书成书过程中,得到了中南大学土木建筑学院的大力支持和资助;中南大学研究生刘洪亮参与了本书的图表制作和文字输入工作。

目 录

序 前言

第 1 章 安全系统工程概论	1
1.1 系统论简介	1
1.2 系统工程简介	9
1.3 系统分析的基本内涵	14
1.4 安全系统工程	22
1.5 安全系统工程发展概况	37
思考题	41
第 2 章 系统安全定性分析	42
2.1 安全检查表	42
2.2 预先危险性分析	52
2.3 故障类型及影响分析	68
2.4 危险性与可操作性研究	71
2.5 鱼刺图法	78
2.6 作业危害分析	83
思考题	87
第 3 章 系统安全定量分析	88
3.1 事件树分析	88
3.2 事故树分析	93
3.3 系统安全分析方法的选择	146
思考题	148
第 4 章 系统安全评价	149
4.1 安全评价概述	149
4.2 安全评价方法	166
思考题	181

第 5 章 系统安全预测与决策	183
5.1 系统安全预测	183
5.2 系统安全决策	196
思考题	215
第 6 章 典型事故影响模型与计算	216
6.1 泄漏模型	216
6.2 扩散模型	219
6.3 火灾模型	231
6.4 爆炸模型	235
6.5 事故伤害的计算方法	244
思考题	251
参考文献	252

安全系统工程概论

系统工程是系统科学中改造客观世界，并使改造过程合理化的一门技术。它以运筹学、控制论、信息论、系统论中一些具有普遍意义的基本理论为指导，在自然科学、社会科学以及工程建设和管理中发挥作用。近二十多年来，许多学者和科学家一直在探索将系统工程的理论和原理，运用到安全管理方面，并逐步发展为安全系统工程，成为安全科学中的主要分支。

安全系统工程是以信息论、控制论等为理论基础，以安全工程、系统工程、可靠性工程的原理和方法为手段，以安全管理、安全技术和职业健康为载体，对研究对象中的风险进行辨识、评价、控制和消除，以期实现系统及其全过程安全的新兴学科。

1.1 系统论简介

1.1.1 系统的定义

“系统”概念，来源于人类社会的实践经验，并在长期的社会实践中不断发展并逐渐形成。一般系统论的创始人奥地利的贝塔朗菲指出：“系统的定义可以确定为处于一定的相互关系中，并与环境发生关系的各组成部分的总体。”我国科学家钱学森对系统的定义为：“把极其复杂的研究对象称为系统，即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，而且这个系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。”虽然对于系统概念有多种理解，但其基本意义大致相同，即系统是由相互作用、相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体。

系统是一种由若干元素组成的集合体，用它来完成某种特殊功能。因此，每一项工作完成都是由人、机器、原材料、方法、环境等许多因素（元素）组成，及相互之间发生作用来完成工作的一个具有特殊功能的体系的总和。

每一个系统中的元素间相互联系、相互渗透、相互促进，彼此间保持着特

2 安全系统工程

定的关系，保证系统所要达到的最终目的。一旦相互间特定的关系遭到破坏，就会造成工作被动和不必要的损失。

客观世界都是由大大小小的系统组成。组成系统的要素或者子系统又由具有一定数量的元素组成，各有其特定的功能和目标，它们之间相互关联，分工合作，以达到整体的共同目标。例如科学技术系统包括七个基本要素，由机构、法、人、财、物、信息和时间等子系统构成。它们集合在一起的共同目标是多出成果，快出人才，推动国民经济向前发展。而科学技术系统又是人类社会经济大系统的一个组成部分，或者说是一个子系统。

任何一个团体、工厂、企业都可称为一个系统，在这个系统中，包含有管理机关、运行体系；继续往下分，就又出现一个系统，我们称其为子系统，它们包括班组及其成员等。

1.1.2 系统的分类

按照不同的分类标准，可把系统分成以下类型。

1. 按照系统的起源分

(1) 自然系统。由自然物组成的系统。它是由自然现象发展而来的。如太阳系、银河系、原子结构、山脉系统、河流系统、森林系统、矿产系统等。

(2) 人造系统。由人类按一定的目的设计和改造而成的，并由人的智能或机械的动力来完成特定目标的系统。如政府机构、民间团体、交通运输系统、电力传输系统、企业系统等。

2. 按照系统与环境的关系分

(1) 开放性系统。与外界环境发生联系的系统。

(2) 封闭性系统。与外界环境隔绝或不受外界环境影响的系统。

3. 按照组成系统的要素存在的形态分

(1) 实体系统。组成系统的元素是实体的、物理方面的存在物的系统。

(2) 概念系统。以概念、原理、原则、方法、制度、程序等非物理方面的存在物组成的系统。

4. 按照系统与时间的依赖关系分

(1) 静态系统。决定系统特性的一些因素不会随时间的变化而变化的系统。

(2) 动态系统。决定系统特性的因素是随时间的变化而变化的系统。

5. 按照物质运动的发展阶段分

(1) 无机系统。如力学系统、物理学系统、化学系统等。

(2) 有机系统。如生物系统等。

(3) 人类社会系统。如管理系统、经营系统、作业系统等。

6. 按照系统包含的范围分

- (1) 大型系统。如生态平衡系统。
- (2) 中型系统。如工程系统等。
- (3) 小型系统。如班组管理系统等。

7. 按照系统的构成分

- (1) 简单系统。由性质相近的若干要素组成的系统, 如物资系统等。
- (2) 复杂系统。由人造系统和自然系统相结合的系统, 如农业系统、企业系统和武器系统以及社会经济大系统等。

8. 按照系统的功能分

(1) 环境系统。自然系统和人类社会共同组成的大系统, 以及与所要研究的系统周围具有一定关系的系统。

(2) 军事系统。由军人组成的、旨在对国家和本国人民负保卫国家安全以及对世界和平作出贡献的整个系统。

(3) 安全系统。由人、机、料、法、环等组成的维持社会团体、机关、企业等安全运行的系统。某些系统的形态并不是一成不变的, 它是随着人们认识客观世界的深度, 以及改造客观世界的需要, 按照人们提出的分类标准进行划分的。在实际工作中这些系统也并非孤立存在的, 有时是相互交叉、相互依存、相互对立和相辅相成的。

1.1.3 系统的特征

从系统的定义可以看出系统具有整体性、目的性、有序性、相关性、环境适应性、动态性六个基本特征。

(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, 而且各个要素都服从实现整体最优目标的需要。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)形成的整体就具备了新的特定功能, 就是说, 系统作为一个整体才能发挥其应有功能。所以, 系统的观点是一种整体的观点, 一种综合的思想方法。

(2) 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, 这就需要在系统的整体的生命周期, 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。

(3) 有序性。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。系统可分成若干子系统和更小的子系统, 而该系统又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。另外, 系统的生命过程也是有序的, 它总是要经历孕育、诞生、发展、成熟、衰老、消

4 安全系统工程

亡的过程，这一过程表现为系统发展的有序性。系统的分析、评价、管理都应考虑系统的有序性。

(4) 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着相互联系、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。即系统的各元素不仅都为完成某种任务而起作用，而且任一元素的变化也都会影响其任务的完成。有些要素彼此关联，有些要素相互排斥，有些要素则互不相干。例如生产班组管理系统的人员增加或减少，就会影响到设备装置、工时安排的变化。

(5) 环境适应性。系统是由许多特定部分组成的有机集合体，而这个集合体以外的部分就是系统的环境。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能够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。研究系统时，必须重视环境对系统的影响。

(6) 动态性。世界上没有一成不变的系统。系统不仅作为状态而存在，而且具有时间性的程序。整个人类社会和自然环境的运行中，系统中的各个元素、子系统，都是随着时间的改变而不断改变的。

1.1.4 系统学原理

系统学是系统科学的基础理论学科，为系统工程提供理论依据。作为系统学原理，可以归纳如下八条。

1. 整体性原理

现代科学技术的飞速发展，使科学研究的对象和人们对它的认识发生了很大的变化，有机的整体取代了被分割的部分。以前认为最基本的部分，如今看来，实际上也是一个可分的由各个部分组成的有机整体。微观世界呈现出来的整体结构与客观世界出乎意外地相似。世界上一切事物、现象和过程，都是有机的整体，自成系统而又互成系统。客观世界的整体性是系统学整体性原理的来源和依据。

2. 相关性原理

系统学的相关性原理，是辩证法的普遍联系观点的具体体现和实际应用。科学技术发展的全部成就，证明了普遍联系观点的真理性，质量和能量的相互转化和守恒定律，揭示了各种物质的状态及其运动状态之间的普遍联系。细胞的发现和达尔文进化论的创立，揭示了生物界内部的普遍联系以及生物和环境之间的联系。门捷列夫的元素周期表，揭示了曾经被认为互不联系、互不依赖的各种元素之间的关系。客观世界就是一个相互联系的整体。世界上一切事

物、现象和过程之间的联系是客观存在的，一种事物离开了它和它周围条件的相互联系和相互作用，就成为不可理解和毫无意义的东西。也就是说，事物总是存在于某种系统之中，亦即处于某种联系之中。如果把某一事物从某个系统中分离出来，他们必然又落入另一个系统。因此，相关性原理要求把任何一个事物作为某个系统的一个要素来研究。传统的科学方法主要是研究系统内各子系统(或元素)或子系统与元素之间的联系。诸如系统联系、结构联系、功能联系、起源联系等。客观事物存在的联系是多种多样的，联系的多样性，决定了系统的多样性。各类联系间界线的相对性，导致未知联系向已知联系的转化，形成未知系统向已知系统过渡。科学技术发展到某一阶段人们认为互不联系的东西，可能存在新的未知的联系。某些现在看来不成系统的东西，在进一步深入研究的时候，可能发现就是一个新的系统。从联系的广泛性，可以知道系统的广泛性。从哲学的高度建立起来的相关性原理，为研究系统结构奠定了基础。

3. 有序性原理

凡是系统都是有序的。系统的有序性，是系统有机联系的反映。稳定的联系构成的结构，保障了系统的有序性；本质的联系，形成了系统发展和变化的规律。在把握事物的联系时，最重要的是把握它的规律性的联系。规律所表现的是现象间在一定条件下所具有的本质的、普遍的、必然的联系。对系统有序性的研究，开辟了发现规律的途径；对有序性原理的运用，将在一定程度上帮助人们按规律办事。

任何一个系统，都和周围环境组成一个较大的系统，因此，任何一个系统都是更高一级的系统的一个要素。同时，任何一个系统的要素本身，通常又是较低一级的系统。以科学体系为例，科学与社会组成一个较大的系统，科学是较高一级的系统——社会的一个组成部分，这就需要研究科学的社会地位和功能。科学本身的两个组成部分——自然科学和社会科学，又分别是较低一级的系统，这就必须研究各门学科的关系及发展的不平衡性。若科学作为一个相对独立的完整体系，则必须研究它的一般规律。

系统的稳定联系构成的系统结构，形成了一个纵横交错的立体网络模式，它既可按垂直方向进行描述，以区分子系统的各种层次和等级，也可按水平方向进行描述，以掌握系统的各个组成部分之间的联系。波兰学者 I·马列茨基等把现代科学整体化的过程，区分为两类：一类为“纵向整体化，即科学与实践相接近，科学的基础研究与应用研究相接近”；另一类为“横向整体化，即跨课题和跨学科的研究”。这种分类，不仅形象地设计了科学整体化过程的系统模式，而且准确地说明了系统科学和系统方法等学科科学横向整体化的产物，它几乎横贯一切学科，反映一切学科的系统属性。