



普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

安全系统工程

主 编 曹庆贵
副主编 程卫民 辛 嵩

煤炭工业出版社

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

安全系统工程

主 编 曹庆贵

副主编 程卫民 辛 嵩

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

安全系统工程/曹庆贵主编. --北京:煤炭工业出版社, 2010. 8

普通高等教育地矿、安全类“十一五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5020 - 3522 - 8

I. ①安… II. ①曹… III. ①安全工程 - 系统工程 - 高等学校 - 教材 IV. ①X913.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 147804 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm × 960mm^{1/16} 印张 23^{1/4}

字数 465 千字 印数 1—3,000

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

社内编号 6327 定价 32.00 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

内 容 提 要

本书系统介绍了安全系统工程概论、系统安全分析方法、系统安全评价、系统安全预测、系统危险控制技术等方面的内容。同时还列举了安全系统工程典型应用实例并进行了分析。

本书可供高等学校安全工程专业学生作为教材使用，也可供从事安全工程的技术人员或管理人员阅读参考。

前 言

安全是当今世界普遍关注的重大课题,安全问题是现阶段我国面临的严重问题之一,已成为构建和谐社会进程中的一个主要障碍。安全科学是产业安全和社会安全的基础和保障,它对社会的安定和国民经济持续、健康的发展起着重要的支持和保证作用,而安全系统工程最能体现安全学科的综合属性,因此它是安全工程专业的核心课程。

本书在编写过程中,力求讲清方法思路,注重体系上的完整性和条理性,并从安全系统工程的基本理论方法和应用实践两个方面充实和完善其内容;在选材上力求新颖,尽量汲取国内外最新科研成果,书中部分内容取材于作者近年来的研究成果和现场的安全工作实践;在内容安排上,由于充分考虑教学特点和教学需要,本书在简明扼要地讲清基本理论方法的基础上,提供了详细、实用的应用案例,供学生研读、体会。另外,每章后均附有思考与练习题,供学生思考和练习。

本书由曹庆贵主编。其中,第14章由吴立荣编写;第19章由张爱兰编写;第20章由陈静编写;第21章由苗德俊编写;其他各章由曹庆贵、程卫民、辛嵩编写。研究生庞旭峰、黄毅、李凯、许振、张建绘制了部分插图。本书第2篇和第3篇的部分内容曾作为山东科技大学安全工程专业“安全评价与预测”课程的教材在多个年级应用;此次出版,又结合近年来的教学实践做了大量的补充、修订工作。

在本书编写过程中,参阅了众多专家学者的论著,借出版之际,编者一并致以衷心的感谢!

由于编者水平所限,书中疏漏和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2010年6月

目次

0 绪论	1
------------	---

第1篇 系统安全分析

1 安全系统工程的概念和内容	7
1.1 安全系统工程的基本概念	7
1.2 安全系统工程的内容和特点	13
1.3 安全系统工程的应用特点	16
2 安全检查表	19
2.1 安全检查表的定义与分类	19
2.2 安全检查表的编制与应用	21
2.3 安全检查表的特点	32
3 鱼刺图分析	34
3.1 鱼刺图的概念与作用	34
3.2 鱼刺图的形状与作法	34
3.3 鱼刺图分析应用实例	35
3.4 鱼刺图分析的注意事项	40
4 事件树分析	42
4.1 事件树分析的基本理论	42
4.2 事件树分析的作用和步骤	44
4.3 事件树分析应用实例	45

5 事故树分析	50
5.1 事故树分析的概念与步骤	50
5.2 事故树的编制	52
5.3 事故树的化简	65
5.4 最小割集与最小径集	71
5.5 结构重要度分析	82
5.6 顶上事件的发生概率	88
5.7 概率重要度分析和临界重要度分析	103
5.8 事故树的不变化和模块分割	106
5.9 事故树分析应用实例	109
6 因果分析	118
6.1 因果分析的概念与步骤	118
6.2 因果分析实例	118
7 预先危险性分析	123
7.1 预先危险性分析的概念与步骤	123
7.2 危险性的辨识与等级划分	124
7.3 预先危险性分析的应用	126
8 故障类型和影响分析	130
8.1 故障类型和影响分析的概念与思路	130
8.2 故障类型和故障等级	130
8.3 故障类型和影响分析的分析步骤与实例	133
8.4 致命度分析	139
9 危险与可操作性研究	142
9.1 危险与可操作性研究的概念及术语	142
9.2 危险与可操作性研究程序	144
9.3 危险与可操作性研究应用实例	145

10 系统安全分析的其他方法	148
10.1 事故统计图表分析法	148
10.2 危险预知活动	161
10.3 管理失误和风险树分析	164
10.4 作业危害分析	168
10.5 系统安全分析方法小结	171

第2篇 系统安全评价

11 系统安全评价概述	179
11.1 评价与系统评价	179
11.2 安全评价的概念与种类	186
12 安全评价的原理	192
12.1 安全评价的基本原理和程序	192
12.2 安全评价的指标体系	195
12.3 安全评价的参数与标准	197
13 定性与定量安全评价方法	205
13.1 定性安全评价	205
13.2 定量安全评价	215
13.3 安全评价方法的综合应用	221
14 国内外安全评价常用方法	223
14.1 火灾、爆炸指数危险评价法	223
14.2 化工企业六阶段安全评价法	235
14.3 作业条件危险性评价法	237
14.4 国内工业企业安全评价方法	244
15 安全评价的技术文件	251
15.1 安全评价结论的编制	251

15.2	安全评价资料、数据的采集和处理	253
15.3	安全评价报告	255

第3篇 安全预测、危险控制与 安全系统工程应用

16	煤矿安全评价方法	261
16.1	概述	261
16.2	煤矿安全评价方法	264
16.3	煤矿安全评价中若干难点问题的解决	276
16.4	煤矿安全评价应用软件	281
17	安全预测方法	284
17.1	安全预测方法简介	284
17.2	灰色系统预测法	286
17.3	专家咨询法	293
18	危险控制技术	301
18.1	危险控制的基本原则与安全决策	301
18.2	固有危险控制技术	305
18.3	安全措施	308
19	人为失误的分析与控制	316
19.1	人为失误及其特征	316
19.2	人失误概率预测	321
19.3	人为失误的控制	327
20	煤矿瓦斯事故分析	333
20.1	煤矿瓦斯事故统计分析	333
20.2	瓦斯爆炸事故分析	335
20.3	瓦斯中毒、窒息事故分析	342

21 道路交通系统安全分析.....	347
21.1 道路交通事故统计分析.....	347
21.2 碰撞事故系统安全分析.....	355
参考文献.....	360

0 绪 论

人类物质水平的提高、科学技术的高速发展、生产规模的日益扩大和生产过程的日益复杂化,在给人们带来便捷、舒适、富足的物质和精神生活的同时,也带来了其相反的效应。据统计,现代社会每年的生产和生活过程中,全世界约有 400 万人死于意外事故,同时有 1500 万人受到失能伤害,事故造成的经济损失高达 GDP 的 2.5%。经过多年的努力,我国的安全工作取得了长足的进步,但各类事故仍不断发生,安全形势仍然不容乐观。因此,安全已成为当今世界上普遍关注的一个重大课题。

经过几十年的发展,安全已经成为一门独立的学科,安全科学已经初步形成了自身的学科体系。安全系统工程是安全学科体系中的重要课程。安全系统工程是以系统工程理论为基础,以系统工程、可靠性工程方法、风险分析与风险控制方法为手段,安全学原理为指导,辨识系统存在的危险因素,分析和评价系统安全状况,调整系统的相关因素,降低系统风险,以预防和减少事故发生为目的的科学理论和方法。因此,它既属于安全工程学科体系中的重要一员,又可以看做是系统工程的一个重要分支。

0.1 安全系统工程的产生与发展

安全系统工程是最近几十年来发展起来的一门新的工程技术学科,是由于军事工业和尖端技术的需要而产生的。安全系统工程的产生与发展可以从以下几个方面加以概括:

1) 可靠性和系统工程技术的发展

早在第二次世界大战期间,德国在试验 V-1 型导弹时,发射 11 次就失败了 10 次,事故率高达 0.9。于是,试验人员请来数学家帮助进行可靠性研究,从对火箭装置系统的可靠性加以改进,将 V-2 型导弹的事故率减少到 0.25。这种计算和改进系统安全可靠性的做法,对于安全系统工程的发展具有重要意义。

1961 年,美国开始实施“阿波罗”登月计划,有 20 所大学和研究所、3 万多家企业的共计 42 万人参加。以系统工程方法为指导,经过不到 10 年的努力,终于在 1969 年 7 月 20 日,用阿波罗 11 号飞船把尼尔·阿姆斯特朗等 3 名宇航员送上月球。系统工程技术的成功应用,为安全系统工程的产生和发展奠定了坚实的基础。

2) 系统安全分析技术的发展

1957 年,苏联发射了第一颗人造地球卫星,在全世界引起了很大的反响。这一时期,美国为了摆脱被动局面,进行了导弹技术的开发,采取了规划、设计、研制和试验同时并进的开发方案。由于对系统的安全性缺乏严格的分析处理,以致在一年半的时间里,接连发生 4 次重大事故,使昂贵的在研系统因为安全缺陷而报废。这一惨痛教训,使他们深刻认识到系统安全的重要性,迫使美国空军不得不以系统工程的基本原理和管理方法来研究导弹系统的安全性和可靠性。

1961 年,美国贝尔电话研究所在系统安全的基础上,创造了事故树分析法(FTA),促成了美国民兵式导弹的研制。

英国在 20 世纪 60 年代中期就已建成了系统可靠性服务所和可靠性数据库,并成功开发了概率风险评价(PRA)技术,以概率来计算核电站系统风险大小以及是否可以接受。

1972 年,美国三里岛核电站发生泄漏事故,引起了公众的恐慌和指责。为此,美国组织了以麻省理工学院拉斯姆逊教授为首的 14 名专家,对核电站的危险性进行研究和评价。1974 年,美国原子能委员会发表了拉斯姆逊的“核电站风险评价报告”(被称为拉斯姆逊报告)。该报告采用事故树分析法和事件树分析法(ETA)对核电站的危险性进行了定量评价。该报告所采用的分析方法,促进了系统安全分析技术的发展,并为安全管理工作从传统的经验管理向科学管理转化奠定了重要基础。

3) 系统安全程序的发展

随着系统安全技术的全面发展,美国军方对国防装备系统和工程系统的各个阶段(如设计、研究、开发、试验、生产、维修等)提出了安全要求,以便早期查明、消除或控制危险。1962 年,美国军方首次公开发表了“空军弹道导弹安全系统工程大纲”说明书,同年 9 月制定了“武器系统安全标准”;1963 年又提出了“系统安全程序”,到 1967 年 7 月由美国国防部确认,将其升格为美军标准;之后又经两次修订,成为现在的 MIL-STD-882B“系统安全程序要求”。它以标准的形式规范了美国军事系统的工程项目在招标以及研发过程中对安全性的要求和管理程序、管理方法、管理目标,成为美国军事装备合同的必要条件,同时也是产业界安全系统工程的重要依据。

4) 安全系统工程向民用工业发展

安全系统工程在军事系统应用的同时,也在向民用工业发展。美国道化学公司于 1964 年发表了“火灾爆炸指数评价法”(俗称为道氏法)。该法以基于物质的理化特性确定的物质系数为基础,综合考虑一般工艺过程和特殊工艺过程的危险特性,计算系统火灾爆炸指数,评价系统损失大小,并据此考虑安全措施,修正系统风险指数。之后,英国帝国化学公司在此基础上开发了蒙德评价法。20 世纪 70 年代,日本劳动省发表了定性评价与定量评价相结合的“化工企业安全评价指南”,亦称“化工企业六阶段安全评价法”,规定了系统生命周期每个阶段用哪种评价方法、如何进行评价等,并作为正式标准要求化工

企业执行,对其他行业也有很大的影响。

5) 安全系统工程在我国的应用与发展

我国于 20 世纪 70 年代末、80 年代初引进了安全系统工程,其研究、开发和应用也是从这一时期开始的。天津东方化工厂应用安全系统工程成功解决了高度危险企业的安全生产问题,为我国各个领域学习、应用安全系统工程起了带头作用。其后,各类企业借鉴引用国外的系统安全分析方法,对现有系统进行分析。到 20 世纪 80 年代中后期,人们研究的注意力逐渐转移到系统安全评价的理论和方法上,并开发了多种系统安全评价方法。目前,各类企业及各级各类安全监管部门,都在事故预防工作(如安全检查、设计审查、投产验收、事故调查等)中广泛应用安全系统工程方法(如安全检查表、事故树分析、统计图表分析法等)。

0.2 安全系统工程的性质

如上所述,安全系统工程是安全学科体系中的重要组成部分,属于其技术科学层次的学科分支。安全系统工程既具有较为完善的理论体系,又为安全工程的其他分支学科提供科学方法,在安全工程体系中具有方法论的性质。

安全系统工程是安全工程专业的专业基础课,也是其他工程类专业学习、掌握安全思路和安全方法的基础课程。通过安全系统工程课程的学习,应该掌握安全系统工程的基本概念和基本方法,学会辨识系统危险因素,分析和评价系统安全性,有针对性地提出控制系统风险、消除事故隐患的技术措施和方法;掌握安全评价的原理和基本方法,能够根据被评价系统的具体情况,选用或设计合理、有效的安全评价方法体系。安全系统工程课程中,还将注重培养学生分析、解决复杂安全问题的能力,为今后的安全技术或安全管理工作打下坚实基础,也为后续课程的学习建立基础。

第 1 篇

系统安全分析

1 安全系统工程的概念和内容

安全系统工程,是以安全学和系统科学为理论基础,以安全工程、系统工程、可靠性工程等的手段,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目标的科学技术。

1.1 安全系统工程的基本概念

1.1.1 系统和系统工程

1. 系统

系统是系统工程的研究对象。贝塔朗非指出:系统是指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。其他众多科学家也对系统的定义进行了论述。目前,对于系统比较简捷、明确的定义是:系统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。换言之,系统是由两个或两个以上元素组成的集合。

为研究、分析方便,可以将系统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等。但不管系统如何划分,它都具有如下特性:

(1) 整体性。系统是由两个或两个以上相互区分的要素(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)形成整体后就具备了新的特定功能。也就是说,系统作为一个整体才能发挥其应有的功能。所以,系统的观点是一种整体的观点,是一种综合的思想方法。

(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。

(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,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) 有序性。系统的有序性主要表现为系统空间结构的层次性和系统发展的时间顺