



高等学校土建类专业“十二五”规划教材

建筑施工安全管理与技术

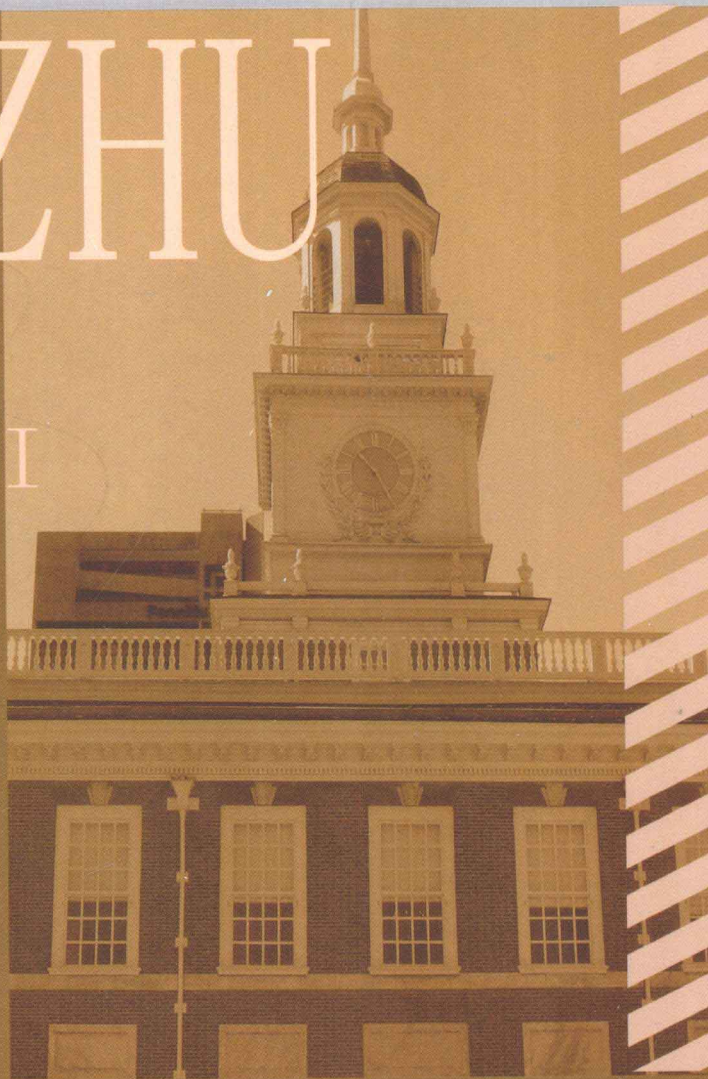
高向阳 编著

JIANZHU

SHIGONG

ANQUAN GUANLI

YU JISHU



化学工业出版社

高等学校土建类专业“十二五”规划教材

建筑施工安全管理与技术

高向阳 编著



化学工业出版社

·北京·

本书就安全系统工程、安全人机环境,建设工程安全生产管理、建筑机械使用安全技术与管理,建筑施工现场用电用火、高处作业、开挖作业,文明施工与建筑职业病防治、安全生产保证、安全检查与安全评价、安全事故分析与处理等十一章内容,介绍了有关安全科学的基本知识,安全生产的方针政策、管理制度、安全生产管理原理方法和安全事故的调查处理方法,详细阐述了土方工程、模板工程、脚手架工程、焊接工程、结构吊装工程、拆除工程、电气工程、高处作业、施工现场防火、事故应急预案、文明施工的安全技术与管理,以及职业卫生、职业病防治等方面的内容。

本书提供了丰富的插图和工程实例图片,配合简洁明了的表格和框图;每章最后提供了丰富的习题和思考题,并给出部分参考答案,以便读者自学自修时使用。

本书可作为安全工程专业、土木工程专业(建筑工程、岩土工程、水利工程、道路桥梁工程等各个专业方向)的本科教材,也可供相关专业师生学习和工程技术人员培训参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑施工安全管理与技术/高向阳编著. —北京:化学工业出版社, 2012. 1

高等学校土建类专业“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-12813-3

I. 建… II. 高… III. ①建筑工程-工程施工-安全管理
②建筑工程-工程施工-安全技术 IV. TU714

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第237281号

责任编辑:陶艳玲

责任校对:边涛

装帧设计:杨北

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张19½ 字数509千字 2012年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

前 言

2002年《安全生产法》实施以来，工程界已经广泛关注安全生产问题并开展研究，逐年都有一定数量相关专业在各大学设立，急需有关适用教材面世。这也是本教材能有所作为的基础。本教材是根据教育部颁布的专业目录和面向21世纪土木工程专业培养方案，并考虑培养创新型应用本科人才的特点和需要编写的。

全书内容基本涵盖安全科学与工程学科所涉及的“建筑工程安全”各主要方面的基本知识。教材在简要介绍讲述安全科学基本知识的基础上，围绕《建设工程安全生产管理条例》，以工程建设参与各方主体的安全生产责任为主线，以施工安全技术与安全生产管理为全书阐述的重点，使“技术”与“管理”有机结合，从理论上做广泛论述；并充分考虑到安全工程专业人员对土木工程专业知识准备不足的情况，对有关问题进行了细致的表述和展示。

本书特别注意到：普遍的土木工程专业课程设置中较少甚至没有开设有关安全工程方面的课程（如安全系统工程学、安全管理学、安全人机工程学）。因此在安排章节时注意适当体现上述课程的必要内容，使得土木工程专业学生更好地理解本书有关知识和理论，并对安全生产管理应具备的基础知识和理论有一个基本掌握，为提高学生对安全管理的认识、加强管理的科学性和有效性，更好地做好施工现场安全生产工作打好基础。

建筑施工现场安全生产管理的学习，要求掌握基本概念和主要原理、提供基本的分析方法和计算手段。因此本书结合专业培养目标和编者多年从事教学的经验，竭力做到理论部分够用为度的同时保持知识体系的连续性，以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点，在适度的基础知识与理论体系覆盖下，着重讲解应用型人才培养所需的内容和关键点，突出实用性和可操作性；将理论讲解简单化，注重讲解理论和规定的来源、出处以及用处。

建筑施工现场安全生产管理的学习，是一门管理能力和技术能力要求都很强的课程，编者在编写时注意了两者的结合，通过对工程问题的分析，将有助于提高学生分析解决实际问题的能力。

在本书的编写过程中参考了大量的资料，作者尽力将有关情况在书后参考文献中有说明，在此表示深深的敬意和感谢！

由于编者的学识有限，能否达到预期的目标尚无把握，恳切希望广大读者和安全工程及土木工程专家、教育界同仁、广大的读者朋友，对书中谬误之处予以指正。

编者
2011年10月

目 录

第一章 安全系统工程概述	1	一、建设工程安全生产管理的原则、 目标	70
第一节 安全系统的概念	1	二、管理体制与管理制度	73
一、系统工程	1	三、职业健康安全管理体系	76
二、安全系统工程	3	第三节 建筑安全管理原理和方法	80
第二节 危险因素、故障、危险性分析	9	一、建设工程施工安全生产管理的 原理	80
一、危险	9	二、安全管理的方法	86
二、危险因素与故障	10	三、安全措施	94
三、危险性分析与评价	14	第四节 施工企业安全管理	96
第三节 事故树分析法的定性与定量 分析	18	一、施工单位接受安全生产监督管理	96
一、事故树分析法的概念	18	二、施工企业安全管理	97
二、事故树的编制	19	第四章 建筑施工现场机械使用安全技术 与管理	105
第四节 建设工程施工危险源辨识	24	第一节 起重及垂直运输机械	105
一、危险源	24	一、吊装机具	105
二、安全生产危险源的辨识依据和 方法	26	二、垂直运输机械	111
三、施工生产危险源	31	第二节 水平运输机械	117
第二章 安全人机环境概述	34	一、土石方机械	117
第一节 人机系统基本概念	34	二、输送机械	119
一、安全人机工程学	34	第三节 中小型机械、施工机具安全 防护	120
二、人机系统	35	一、混凝土搅拌机和砂浆搅拌机	120
第二节 人机系统中人的特性	37	二、混凝土振捣器	121
一、人的生理特征	37	三、卷扬机	122
二、人的心理特征	45	四、手持电动工具	123
第三节 人机系统中的作业特性	49	第四节 吊装工程	124
一、作业特性	49	一、起重机安全责任	124
二、作业强度及其分级	53	二、安全技术	124
三、作业疲劳与失误	54	第五章 建筑施工现场用电、用火安全 技术与 管理	129
第四节 人机系统中的作业环境	56	第一节 电气安全基础知识	129
一、光环境	56	一、线路敷设	129
二、温度环境	57	二、一般安全设施	130
三、色彩环境	60	第二节 施工现场临时用电及安全防护	135
四、振动与噪声	63	一、安全管理	135
第三章 建设工程安全生产管理	66	二、供配电系统的安全要求	137
第一节 建设工程安全生产法律体系	66	三、电气设备的安全运行	140
一、安全生产法律法规及标准基础	66	四、触电及救助	144
二、建设工程安全生产相关法律	67	第三节 现场用火及消防	146
三、建设工程安全生产行政法规	68		
四、建设工程安全生产行政规章	68		
五、建设工程安全生产标准的体系	69		
第二节 建设工程安全生产管理体系	70		

一、燃烧与火灾常识	146	一、职业危害防治	225
二、现场用火与防火检查	148	二、建筑行业职业病预防控制	227
三、施工现场消防	149	三、应急救援及自救技术	232
第六章 建筑施工现场高处作业安全技术与管理	155	第九章 建筑施工安全生产保证	239
第一节 高处作业防护措施	155	第一节 安全生产保证体系	239
一、防护用具	155	一、要求(要素)	240
二、临边作业	158	二、基本结构	242
三、洞口作业	161	三、体系建立的程序	245
四、攀登作业	163	第二节 安全保证文件	248
五、悬空作业的安全防护	166	一、安全生产保证计划	248
六、操作平台的安全防护	167	二、安全施工组织设计	248
七、交叉作业的安全防护	169	三、专项安全施工方案	253
第二节 施工脚手架工程	170	第三节 安全保证措施	255
一、脚手架概述	170	一、安全标志	255
二、扣件式钢管脚手架设计	179	二、安全技术交底	258
三、悬挑式外脚手架	185	三、安全记录	259
四、附着升降脚手架	186	四、安全检查验收	263
第三节 模板工程	190	五、安全宣传教育培训	264
一、模板	190	第十章 建筑施工安全检查与安全	
二、设计	192	评价	270
第七章 建筑施工现场开挖作业安全技术与管理	194	第一节 建筑施工安全检查	270
第一节 土石方与降水施工	194	一、安全检查的形式	270
一、挖填方的一般规定及安全措施	194	二、安全检查的内容	271
二、基坑排降水	195	三、安全检查的结果	271
第二节 基坑开挖与支护	199	四、建筑施工安全检查表	272
一、基坑开挖	199	第二节 施工现场安全资料管理	274
二、基坑支护	200	一、安全管理的基础资料	274
第三节 桩基础施工	203	二、施工现场安全资料的管理	277
一、人工挖孔桩	203	第三节 建筑施工安全生产评价	281
二、机械入土桩	206	一、评价依据	281
第八章 建筑施工现场文明施工与建筑		二、评价内容	281
职业卫生	209	三、评价等级	283
第一节 文明施工现场	209	第十一章 建筑施工安全事故报告与应	
一、施工现场布置	209	急救援	285
二、围挡封闭	213	第一节 安全事故报告	285
三、现场管理	215	一、安全事故的定义与分类	285
第二节 施工环境保护与防治	218	二、安全事故报告	288
一、环境因素	218	第二节 安全事故应急预案	290
二、环境影响的控制	222	一、应急救援	290
第三节 职业卫生与急救	225	二、建筑施工安全事故应急救援预案	291
		参考文献	300

第一章 安全系统工程概述

传统安全工作方法虽然为防止事故做出了并正在做出重要的贡献，具有纵向分科、单项业务保安、事后处理等特点，它是一种凭经验、孤立、被动的工作方法，使得我们对事故难以做到防患于未然，事故的预防跟不上技术的进步，已经不能满足生产的迅速发展的需要。

安全工作者需要一个能够事先预测事故发生的可能性、掌握事故发生的规律、做出定性和定量评价的方法，以便能在设计、施工和管理中向有关人员预先警告事故的危险性，并根据对危险性的评价结果采取相应的预防措施，以达到控制事故的目的。安全系统工程因此而产生和发展起来了。

第一节 安全系统的概念

一、系统工程

1. 系统

(1) 系统 是在一定环境和条件下，由具有特定功能的、相互间具有有机联系的许多要素，为完成一个共同目的而构成的一个有机整体。

要素是系统内部相互作用的基本组成部分，是完成某种功能无须再细分的最小单元。它可以是物理的（具体的）对象，如人员、工具、设备、装置和技术软件等；也可以是抽象的对象，如概念、原理、过程、思想体系等。

系统无处不在，一只手表、一台机器、一座城市、一个国家等，大到浩瀚无垠的银河系，小到分子、原子核，都可以看作是一个系统。

(2) 形成系统的前提条件

- ① 必须由两个及以上的要素组成（一个元素构不成系统）；
- ② 要素间互相联系和作用；
- ③ 要素有着共同的目的和特定的功能；
- ④ 要素受外界环境和条件的影响。

输入、处理、输出是组成系统的三个基本要素，加上反馈就构成一个完备的系统。其框图如图 1-1 所示。系统的目的和功能是系统要接受和产生讯息、能量或物质。

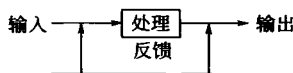


图 1-1 系统的基本构成

(3) 系统的特征

① 整体性 一个系统的完善与否，主要取决于系统中各要素能否良好的组合，构成一个良好的实现某种功能的整体。

系统整体功能不是个别元素功能的简单叠加，而是通过不同功能不同性能元素的有机联系、互相制约，即使在某些元素功能并不完善的情况下，经过组合也能统一成为具有良好功能的系统。反之，即使每个元素都是良好的，但如果只是简单叠加，而未经过良好组合，则

构成整体后并不一定具备某种良好的功能。

② 相关性 系统内各要素之间、要素与子系统之间、系统与环境之间是有机联系和相互作用的，具有相互依赖的特定关系，是互相关联的。通过这些关系，使系统有机地联系在一起，发挥其特定功能。系统的各元素不仅都为完成某种任务而存在，而且任一元素变化也都会影响其他元素完成任务。

系统由要素组成，又具有可分解性。可以认为系统是由较小的分系统有机组合而成，而分系统又由更小的子系统组成，以此类推，直到组成系统的最小单元为止。

③ 目的性 所有系统都为了实现某一特定的目标（某种功能、作用），没有目标就不能称之为系统。设计、制造和使用系统，最后总是希望完成特定的功能，而且要效果最好。

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。环境也会对系统产生干扰或限制，即约束条件。系统必须适应外部环境条件的变化，而且在研究和使用时，必须重视环境对系统的作用。

⑤ 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。可分解表现为系统空间结内的层次性。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。

2. 系统工程

系统工程，是以系统为研究对象，对系统的研究、规划、设计、制造、试验和使用等各个阶段进行有效的组织管理，以求达到所希望得到的效果的科学技术方法。系统工程包括系统和工程两个方面，是系统思想在工程上的实践。1969年美国的霍尔（A. D. Hall）提出了具体形象的系统工程三维结构，见图 1-2。

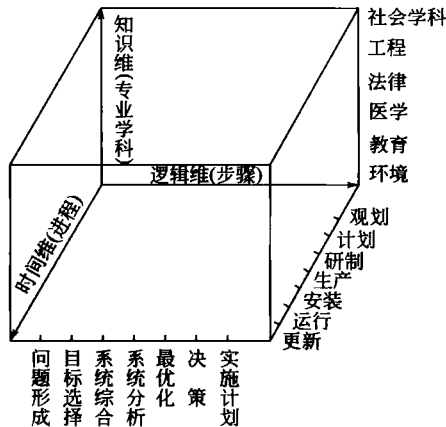


图 1-2 系统工程三维结构

(1) 系统工程的任务、目的和作用 系统工程的任务，就是从横向方面把纵向科学组织起来的一种科学技术，是用技术方法搞组织管理。其目的，是应用系统的理论和方法去分析、规划、设计新的系统或改造已有的系统，使之达到最优化的目标，并按此目标进行控制和运行。其作用，就是把要组织和管理的的事物，应用数学和电子计算机等工具进行分析处理，通过最佳方案的选择，使系统在各种约束条件下，协调系统中各要素或系统间的关系，

使系统在技术上最先进、经济上最合算、运行中最可靠、时间上最节省，达到最佳的配合，求得系统最佳化的结果。

(2) 系统工程的组成

① 基本思想 即系统分析或系统方法，是将对象作为系统来考虑，从而进行分析、设计、制作及其运用的方法。

② 程序体系 是从实际经验中总结出来的。在解决一个具体项目时，它要求把项目或过程分成几大步骤，而每个步骤又按一定的程序展开。这就保证了系统思想在每个部分、每个环节上体现出来。

③ 最优化方法 当一个问题按照程序展开、明确具体环节、建立数学模型后，就可以用数学方法进行优化。

系统工程属于工程技术，主要是组织管理的技术；它是解决工程活动全过程的技术，具有普遍的适用性。它的出现，为解决系统中的安全问题提供了先进的思想和方法，并在实践中产生了保证系统安全的一门新的科学技术——安全系统工程。

二、安全系统工程

安全系统工程就是运用系统工程的原理和方法，对系统或生产过程中的危险性进行识别、分析、评价及预测，并根据其结果，采取综合安全措施予以控制或消除系统中存在的危险因素，使事故发生的可能性减少到最低限度，从而达到最佳安全状态的一门科学技术。它对工艺过程、设备、生产周期和资金等因素进行分析和综合处理，研究如何控制和消除导致人员死伤、职业病、设备或财产损失，最终以实现在功能、时间、成本等规定的条件下，使系统中人员和设备所受的伤害和损失为最小。

1. 安全系统工程的内容

在安全系统使用过程中，不仅要用到系统工程的原理和方法，还要熟悉所要研究的系统或生产过程，以及所应采取的安全技术等。安全系统工程主要技术手段有系统安全分析、系统安全评价和安全决策与事故控制；主要任务是发现事故隐患、预测由于事故隐患和认为失误引起的危险、设计和选用安全措施方案、安全决策、组织安全措施和对策的实施、对措施效果做出评价、不断改进以求得最佳效果。安全系统的要素包括：

- ① 人 人的安全素质（心理与生理素质、安全能力素质、文化素质）；
- ② 物 设备与环境的安全可靠性（设计安全性、制造安全性、使用安全性）；
- ③ 能量 生产过程能的安全作用（能的有效控制）；
- ④ 信息 充分可靠的安全信息流（管理效能的充分发挥）是安全的基础保障。

(1) 事故至因理论 就是从事故的角度研究事故的定义、性质、分类和事故的构成要素与原因体系，分析事故成因模型及其静态过程和动态发展规律，阐明事故的预防原则及其措施。它是事故预防工作的基本指导理论。

事故致因理论主要包括以下几种理论。

① 人为失误论 认为事故的发生是来自人的行为与机械特性失配和不协调，是多种因素互相作用的结果。如工人操作失误、管理监督失误、计划设计失误、领导决策失误等。

事故模式是人们对事故处理所作的逻辑抽象或数学抽象，用于描述事故成因、经过和后果，是研究人、物、环境和管理及事故处理这些因素如何作用而形成事故和造成损失的。基于人体信息处理的人失误事故模型有瑟利（J·Surry）模型（图 1-3）、劳伦斯（Lawrence）模型（图 1-4）。

② 多米诺骨牌论 海因里希（W. H. Heinrich）认为事故是由物体、动作、危险、事

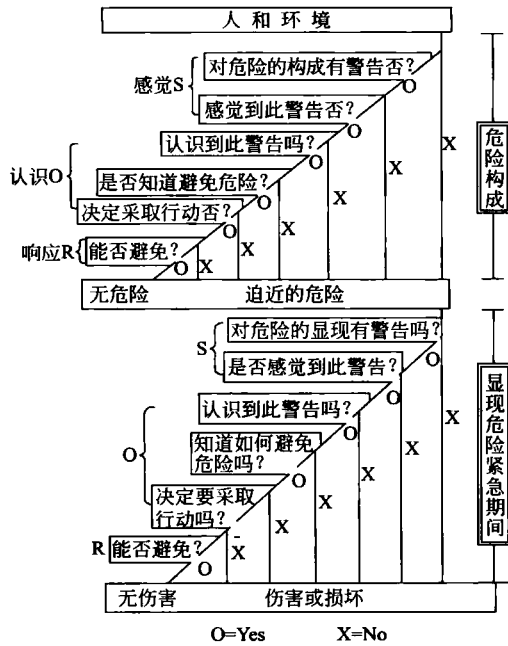


图 1-3 人的失误的瑟利事故模型

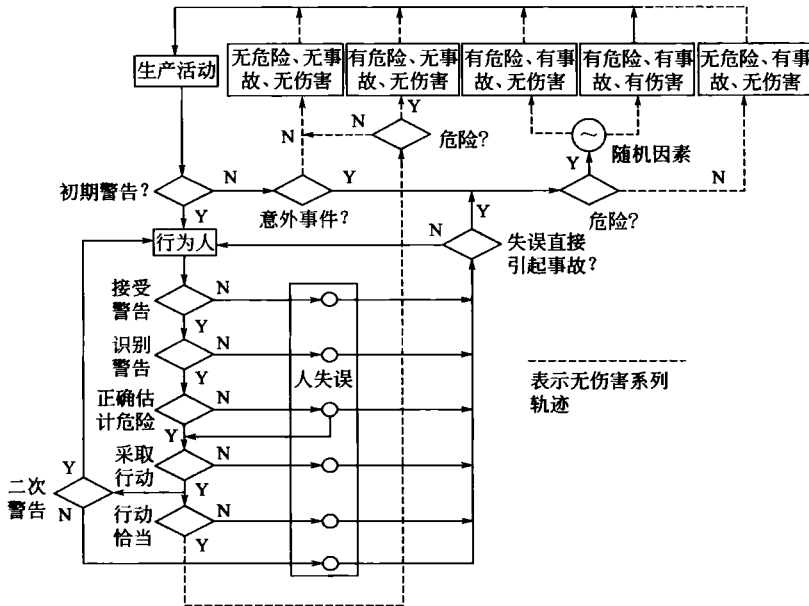


图 1-4 人的失误的劳伦斯事故模型

故、伤害 5 张骨牌构成的，若一张骨牌倒下，则依次影响下一张骨牌。只要打破骨牌论的反应链，移去中间的一枚骨牌，则连锁被破坏，事故过程被中止，就不致发生事故，见图1-5。该模型是阐明伤害五因素的事件链的，主要用于事故调查过程中查明因果关系，也可用于加强安全管理。

细化事故原因，多米诺骨牌事故模型可以表述为表 1-1。

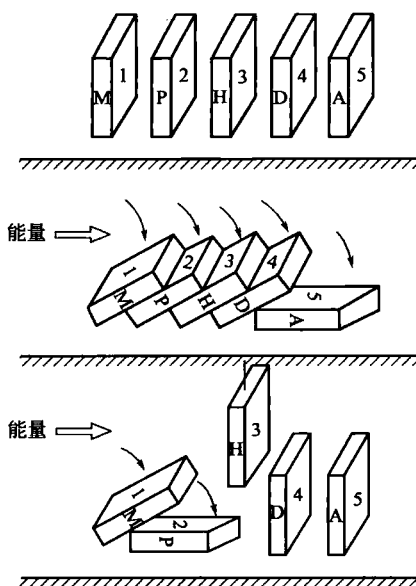


图 1-5 多米诺骨牌论的事故模式

1—M (物体); 2—P (动作); 3—H (危险); 4—D (事故); 5—A (伤害)

表 1-1 多米诺骨牌事故模型

骨牌顺序五因素		人的系列链	物的系列链
M	背景原因	遗传素质、惰性、社会环境及管理上的欠缺	设计错误,制造不合格标准,维护不良等制成的设施、设备因有缺陷
P	固有的不安全条件	人的失误:无安全知识,缺乏注意力,精神不好,工作掉以轻心,抑郁消沉	系统或机械设备运行的能量状态和具有的危险源特性等
H	不安全行为	不安全动作如三违现象	不安全状态如使用中形成的故障、破坏、泄漏、磨损、失效等不安全状态
D	事故	坠落、打击、触电事故等	火灾、爆炸、倒塌、燃烧、污染等事故
A	伤害	轻伤、重伤、死亡	设备损坏、财产损失、环境污染等

该理论把事故致因的事件链过于绝对化,解释事故致因过于简单化。事实上各块骨牌之间的连锁不是绝对的,而是随机的。前面的牌倒下,后面的牌可能倒下,也可能不倒下。

③ 能量转移论 吉布森(Gibson)指出事故是一种不正常的或不希望的能量释放,各种形式的能量是构成伤害的直接原因。应该通过控制能量或控制作为能量达及人体媒介的能量载体来预防伤害事故。

在吉布森的研究基础上,哈登(Haddon)完善了能量意外释放理论,提出“人受伤害的原因只能是某种能量的转移”,并提出了能量逆流于人体造成伤害的分类方法。他将伤害分为两类,第一类伤害是由于施加了超过局部或全身性伤阈值的能量引起的,如表 1-2;第二类伤害是由于影响了局部或全身性能量交换引起的,主要指中毒、窒息和冻伤,如表 1-3。

该理论认为在一定条件下某种形式的能量能否产生伤害造成人员伤亡事件,取决于能量大小、接触时间和频率,以及力的集中程度。根据能量意外释放论,找出事故因果连锁[札别塔基斯(Michael Zabetakis)],见图 1-6,就可以利用各种屏蔽来防止意外的能量转移,从而防止事故的发生。

表 1-2 第一类伤害的实例






施加的能量类型	机械能	热能	电能	电离辐射	化学能
产生的原发性损伤	移位、撕裂、破裂和压挤,主要伤及组织	炎症、凝固、烧焦和炭化,伤及身体任何层次	干扰神经、肌肉功能以及凝固、烧焦和炭化,伤及身体任何层次	细胞核亚细胞成分与功能的破坏	伤害一般要根据每一种或每一组织的具体物质而定
举例					

表 1-3 第二类伤害的实例

影响能量交换的类型	氧的利用	热能
产生的损伤或障碍的种类	生理损害,组织或全身死亡	生理损害,组织或全身死亡
举例		

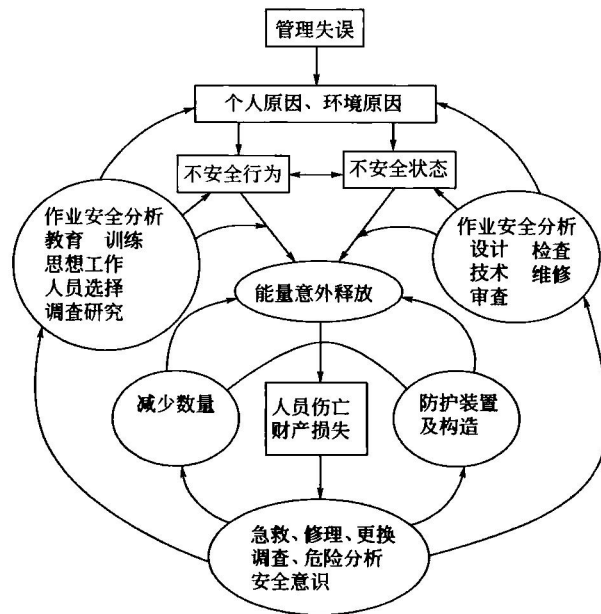


图 1-6 能量观点的事故因果连锁

④ 轨迹交叉论 伤害事故是许多相互关联的事件顺序发展的结果。这些事件可分为人和物（包括环境）两个发展系列。当人的不安全行为和物的不安全状态在各自发展过程中，在一定时间、空间发生了接触，使能量逆流于人体时，伤害事故就会发生。而人的不安全行为和物的不安全状态之所以产生和发展，又是受多种因素作用的结果。

人的事件链。人的不安全行为基于几个方面而产生：A. 生理、先天身心缺陷→B. 社会环境、企业管理上的缺陷→C. 后天的心理缺陷→D. 视、听、嗅、味、触五感能量分配上的

差异→E. 行为失误。

物的事件链。物质系列中，从设计开始，经过种种的程序，在生产过程中各个阶段都有可能产生不安全状态。a. 设计上的缺陷→b. 制造工艺上的缺陷→c. 维修保养上的缺陷→d. 使用上的缺陷→e. 作业场所环境上的缺陷。

人的事件链时间进程的运动轨迹按 A—B—C—D—E 的方向顺序进行；物质或机械的事件链随事件进程的运动轨迹按 a—b—c—d—e 的方向线进行。人、物两事件链相交的时间与地点（时空），就是发生伤亡事故的“时空”，见图 1-7。若设法排除机械设备或处理危险物质过程中的隐患，或者消除人为失误、不安全行为，使两事件链连锁中断，则两系列运动轨迹不能相交，危险就不会出现，可达到安全生产。

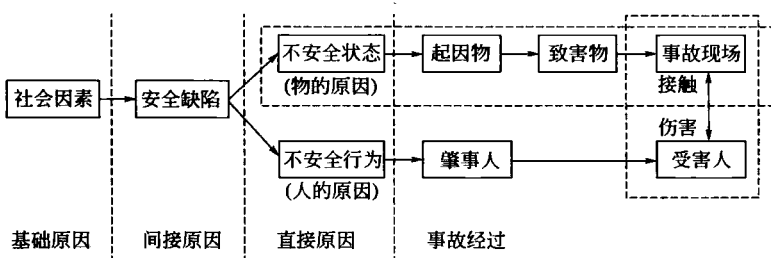


图 1-7 人与物两系列形成事故的系统

⑤ 综合论 认为事故是由人的不安全行为和物的不安全状态造成的。是社会因素、管理因素和生产中危险因素被偶然事件触发所造成的结果，见图 1-8。包括直接原因（不安全状态和不安全行为）、间接原因（管理缺陷、管理因素和管理责任）和基础原因（经济、文化、学校教育、民族习惯、社会历史、法律等）。

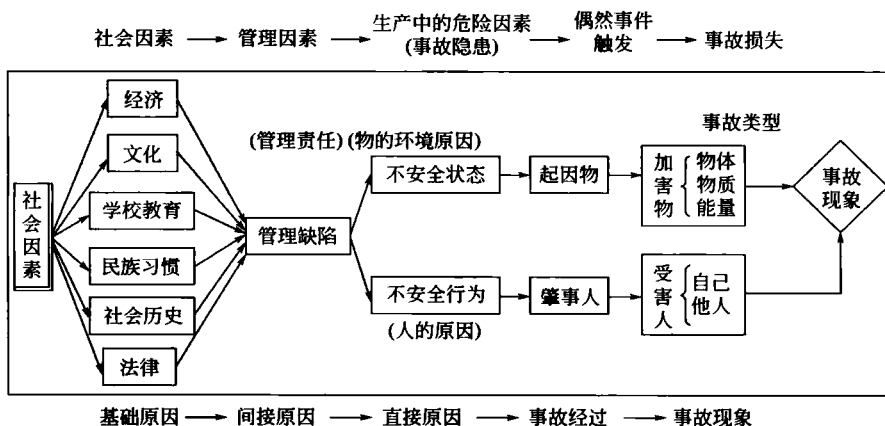


图 1-8 综合论的事故模式

⑥ 管理失误论 提出以管理失误为主因的事故模型。侧重研究管理上的责任，强调管理失误是构成事故的主要原因；事故的直接原因是人的不安全行为和物的不安全状态。但造成“人失误”和“物故障”的这一直接原因的原因却常常是管理上的缺陷。后者虽是间接原因，但它却是背景因素，而又常是发生事故的本质原因。

⑦ 扰动起源论 该理论认为“事件”是构成事故的因素。任何事故当它处于萌芽状态时就有某种非正常的扰动，此扰动为起源事件。它把事故看成从相继事件过程中的扰动开始，最后以伤害或损坏而告终。这可称之为“p 理论”。

⑧ 系统安全理论 包括很多区别于传统安全理论的创新概念。

1) 改变了人们只注重操作人员的不安全行为,而忽略硬件故障在事故致因中的作用的传统观念,开始考虑如何通过改善物的系统可靠性来提高复杂系统的安全性,从而避免事故。

2) 没有任何一种事物是绝对安全的,任何事物中都潜伏着危险因素。通常所说的安全或危险只不过是一种主观的判断。

3) 不可能根除一切危险源,可以减少来自现有危险源的危险性,宁可减少总的危险性而不是只彻底去消除几种选定的风险。

4) 由于人的认识能力有限,有时不能完全认识危险源及其风险,即使认识了现有的危险源,随着生产技术的发展,新技术、新工艺、新材料和新能源的出现,又会产生新的危险源。

因此,安全工作的目标就是控制危险源,努力把事故发生概率减到最低。

(2) 系统安全分析 就是对系统进行深入细致的分析,充分了解和查明系统存在的危险性,预先估计事故发生的概率和可能产生伤害及损失的严重程度,为确定出哪种危险能够通过修改系统设计或改变控制系统运行程序来进行预防提供依据。它是安全评价的基础。这里的“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。

目前常用的方法有事件树、事故树、故障类型影响分析法、安全检查法、因果分析图法、事故比重图、事故趋势图、事故控制图等。每一种方法都有自己产生的历史和条件,所以并不能处处通用,不少方法是雷同或重复的。这就提醒我们要进行一个准确的分析,需要综合使用多种分析方法,取长补短,相互比较以使和实际情况更吻合;另一方面说明安全系统工程是一门新兴学科,尚处于发展阶段。

(3) 安全评价 是对系统存在的危险性进行定性或定量的分析,得出系统存在的危险点、有害因素与发生危险的可能性及程度,以预测出被评价系统的安全状况,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,以达到最低事故率、最少损失和最优的安全投资效益。通过系统安全分析,了解系统中潜在危险和薄弱环节所在,发生事故的概率和可能的严重程度等,这些都是进行评价的依据,见图 1-9。

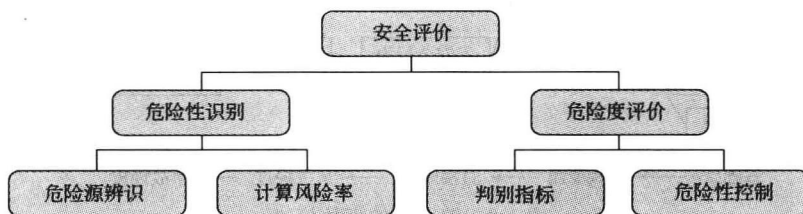


图 1-9 安全评价的内容

评价方法等具体问题,参见第十一章相关内容。

(4) 安全措施 安全措施是根据评价的结果,针对系统中的薄弱环节或潜在危险,提出调整、修正的合理可行措施,以消除事故的发生或使发生的事故得到最大限度的控制,提高系统的安全性。

主要包括:宏观控制措施(法制、经济和教育手段)、微观控制措施(物的状态、人的行为)、安全目标管理(目标分解、采取措施、控制)。例如增设安全防护装置、改进工艺过

程或修改设计、改善作业环境、加强安全教育和管理等。

(5) 安全价值分析 当系统中的危险性已被认识,为了控制和消除这些危险因素,以提高系统的安全性时,需要采取各种安全措施,这就需要给予一定的资金投入。为了评价投入资金的合理性,必须进行安全价值分析。

安全投资不同于一般投资。一般而言它不直接产生投资效益,而主要是能减少未来的损失。为了判断安全投资的合理性,需要知道投资前后损失期望值的变化,并考虑时间的价值因素,只有将减少的损失期望值按时间价值进行折算,才能判断出投入的安全资金是否有收益。

2. 安全系统工程的安全活动和作用

为了达到系统安全的目标,贯穿在系统形成和投入使用的各个阶段的,是一系列安全活动。各项活动安排在相应阶段,见表 1-4。安全系统工程的作用如下。

表 1-4 主要的系统安全活动

安全活动 \ 系统阶段	制订方案	设计	研制	生产	使用维修
制定安全方案	▲				
提出安全设计标准要求	▲	▲	▲		
进行危险性分析	▲	▲	▲	▲	
设计方案安全审查	▲	▲	▲	▲	
参与故障和风险分析		▲	▲		
鉴定安全设备	▲	▲	▲		
拟定安全试验方案和试验	▲	▲	▲	▲	▲
安全培训			▲	▲	▲
事故调查			▲	▲	▲

① 利用系统的可分割性,可充分地、不遗漏地揭示存在于系统各要素中的危险性,采取措施消除危险性,调整不协调的部分,就可能消除事故的根源并使安全状态达到优化。

② 可以了解各要素间的相互关系,消除各要素由于互相依存、互相接合而产生的危险性。要素本身可能不具有危险性,但它们有机结合构成系统时,便产生了危险性,并往往发生在子系统的交接面或相互作用时。如工人和搅拌机的交接面。

③ 系统工程使用的各种学科知识,几乎都适用安全问题的解决。决策论可以预测发生事故的可能性的的大小;排队论可以减少能量的贮积危险;线性规划和动态规划可以选择合理的防止事故的手段;数理统计、概率论、可靠性和模糊数学可应用于预测和评价等。

第二节 危险因素、故障、危险性分析

要提高系统的安全性,前提条件就是辨别和分析系统存在的危险性,明确其对系统安全性影响量,及其发展成事故的可能性。

一、危险

1. 危险的定义

危险,指造成事故的一种现实的或潜在的条件。系统危险程度的客观量用危险概率和危险严重度来描述,称危险性。危险概率是指发生危险的可能性,一般用时间、事件、人员、项目或活动的危险可能出现概率表示。危险严重程度是指由危害造成的最坏结果的定性评

价，它可以用工伤、职业病、财产损失或设备损坏的最终可能出现的程度来度量。

2. 危险性等级

在分析系统危险性时，为了衡量危险性的大小及其对系统破坏的影响程度，按照轻重缓急采取安全防护措施，对预计到的危险因素加以控制，就要按其形成事故的可能性和损失严重程度确定危险等级。一般等级划分见表 1-5。

表 1-5 危险性等级划分

等级	状态	可能导致的后果	处理
1 级	安全的	不会造成人员伤亡及系统损坏,尚不能造成事故	
2 级	临界的	处于事故的边缘状态,暂时还不会造成人员伤亡、系统损坏或降低系统性能和财产损失	应排除或采取控制措施
3 级	危险的	必然会造成人员伤亡、系统损坏和财产损失	要立即采取防范对策措施
4 级	破坏性的	会造成灾难性事故(多人伤亡、系统损毁)	必须立即排除并进行重点防范

二、危险因素与故障

1. 危险因素辨识

(1) 危险因素 就是在一定条件下能够导致事故发生的潜在因素。指能造成人的伤亡、物的突发性损坏或影响人的身体健康导致疾病、对物造成慢性损坏的因素。由于其潜在性，辨识它就需要有丰富的知识和实践经验。

生产中不安全、不卫生诸因素，是在生产过程中的单元作业出现的，安全危险五因素同心圆（图 1-10）圆心处的单元作业是发生工伤事故和职业病的危害源。

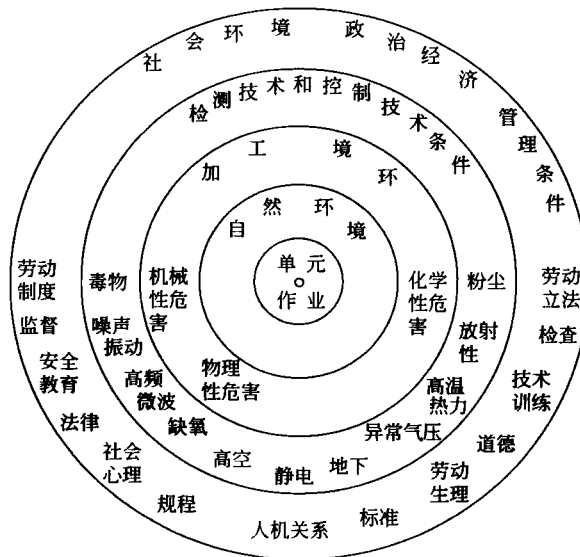


图 1-10 危险因素层次示意

查出危险因素可用以下几方面理论作为指导。

① 能量转移论 人类的生产活动和生活实践都离不开能源，能量在受控情况下可以做有用功，制造产品或提供服务；一旦失控，能量就会做破坏功，转移到人就造成伤亡，转移到物就造成财产损失或环境破坏。事故来自于能量的非正常转移。

预防能量转移的安全措施可用屏障树（防护系统）的理论加以阐明，屏障设置得越早效

果越好，见图 1-11。

从系统安全观点研究能量转移的另一概念是，一定量的能量集中于一点要比它大而铺开所造成的伤害程度更大。因此，可以通过延长能量释放时间或使能量在大面积内消散的方法来降低其危害的程度。对于需要保护的人和物应远离释放能量的地点，以此来控制由于能量转移而造成事故。

② 人的操作失误 由于受科技水平和经济状况的限制，多数机械设备达不到本质安全的地步，在系统运行过程中必然存在程度不同的危险性，人的操作行为可靠度因而对系统安全性有着更加重要的影响。人作为系统的一个组成部分，其失误概率要比机械、电气、电子元件高几个数量级，这就需要从操作标准查找可能偏离正常的损失危险。

对此，系统安全分析方法中有人工的差错分析、可操作性研究等方法，人机工程、行为科学也有成熟的经验。

③ 外界危险影响 系统安全不仅取决于系统内部人、机、环境因素及其配合状况，外界发生事故对系统也会造成影响，如火灾、爆炸等，还有自然灾害对系统的影响，如地震、洪水、雷击、飓风等。它们发生的可能性很小但危害很大，因此在辨识系统危险性时应考虑这些因素。

(2) 危险因素辨识方法 安全系统工程为辨识事故危险提供了许多科学的方法，既有定性的又有定量的方法。据不完全统计，现有的各类预测方法达 300 种之多，而且现代预测方法的发展，往往是各种预测方法的交叉运用和相互渗透，因此难以进行绝对化的划分。当前常见的事故预测方法概括为表 1-6。

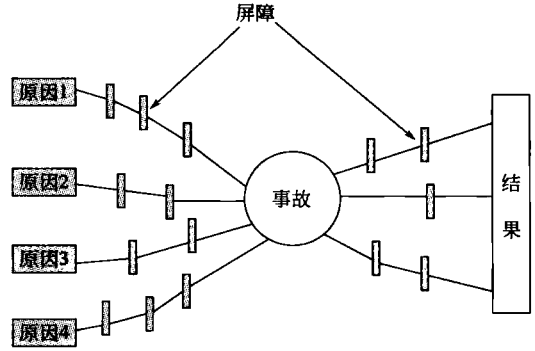


图 1-11 危险控制和补救措施

表 1-6 各种预测方法的对比

预测方法	预测范围	适用情况	特 点
情景分析法	短中长期	缺少历史统计资料或趋势面临转折的事件	1)适用范围很广,不受任何假设条件的限制,只要是对未来的分析,均可使用。2)考虑问题周全,具有灵活性。在一定程度上受到人的知识、经验和能力大小的限制。3)定性分析与定量分析相结合。但缺乏对数量的精确描述。4)能及时发现未来可能出现的难题,便于采取行动消除或减轻它们的影响
回归预测法	短中期	样本量大且分布规律、随机不确定性小	1)技术比较成熟,预测过程简单,但条件假定严格。2)将预测对象的影响因素分解,考察各因素的变化情况,从而估计预测对象未来的数量状态。具有一定的局限性。3)回归模型误差较大,外推特性差
时间序列法	短期	因变量随时间而变化	不同于回归模型,是根据预测对象过去的变化规律来预测其未来的变化,即认为时间序列中每一时刻的数值都是事物内部状态的过去变化与外部所有因子共同作用的结果,至于影响因素的具体种类和数量以及如何产生作用并不重要。对时间序列的4种变动因素有侧重地进行预处理,从而派生出具体预测方法。每一种模型往往只强调了系统的一个侧面,缺乏对系统演化较全面的描述,在中长期预测实践中会产生较大偏差
马尔可夫链状预测法	短中长期	数据在时间轴上离散状态,随机波动性较大	需满足马尔可夫特性,即系统将来所处的状态只与现在系统状态有关,而与系统过去的状态无关,这种特性称为无后效性。因此应用范围有一定的局限,容易忽略其他概率的影响