

高等学校规划教材

# 矿山安全系统工程

李新东 主编

煤炭工业出版社

下  
L-215

高等学校规划教材

# 矿山安全系统工程

李新东 主编

煤炭工业出版社

802304

(京)新登字042号

### 内 容 提 要

本书比较系统地阐述了安全系统工程的基本理论,主要的分析方法,系统安全评价和系统危险性控制的主要措施,结合我国的安全生产实际,说明安全系统工程的应用技术和方法,反映了国内安全管理中取得的最新进展,并介绍国外某些科学技术成果。

本书系煤炭系统大专院校,矿山通风安全专业和安全工程专业的教材,并可作为采矿工程专业、矿井建设专业及安全管理干部培训的参考教材,也可供劳动部门、安全管理人员、工矿安全技术人员和生产技术人员参考。

### 高等学校规划教材 矿山安全系统工程

李新东 主编

责任编辑:吴秀文

\*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

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787×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张11<sup>3</sup>/<sub>4</sub>

字数275千字 印数1—1145

1995年6月第1版 1995年6月第1次印刷

ISBN 7-5020-1126-9/ID2

书号 3894 A0298 定价6.75元

# 前 言

为适应矿山通风与安全专业和安全工程专业的教学需要，根据煤炭部教材编审委员会的规划，由西安矿业学院、山西矿业学院和湘潭矿业学院共同编写《矿山安全系统工程》教材。

安全系统工程是近年来发展起来的新兴学科，是现代安全管理的新技术。它是利用系统工程的方法、安全原理和有关工程技术，分析、评价和预测矿山生产的不安全因素，预先采取综合控制危险的措施，防止重大灾害和人身伤亡事故发生，使生产系统处于最优化的安全状态。实践证明，在矿山安全管理工作中，应用和推广安全系统工程技术，为矿山安全管理工作中开辟了一条新的途径，对提高安全管理水平，降低事故率有明显的效果。

本教材着重论述安全系统工程的基本原理和方法，并尽力突出矿山安全生产的特点，做到理论联系实际。

本书第二、七、八章由张兆瑞编写；第五、六、十章由施式亮编写；第三、四、十一章由田水承编写；第一、九、十二、十三章由李新东编写。全书由李新东主编。

在编写“大纲”过程中，曾征得部分兄弟院校同行专家的宝贵意见；在编写过程中，广泛收集和参阅了国内外有关资料与文献。在此特向文献的作者及提供过帮助的同志致以谢意。

由于编者水平所限，书中一定会有不少缺点和错误，恳请读者提出批评指正。

# 目 录

<b>第一章 概论</b> .....	1
第一节 安全系统工程的基本概念 .....	1
第二节 安全系统工程的内容 .....	5
第三节 安全系统工程的方法论与优点 .....	6
第四节 安全系统工程的发展与现状 .....	7
<b>第二章 事故的致因理论</b> .....	10
第一节 概述 .....	10
第二节 多因构成论 .....	10
第三节 能量逆流论 .....	15
第四节 系统理论的基本思想 .....	18
<b>第三章 安全检查表分析法</b> .....	20
第一节 什么是安全检查表分析法 .....	20
第二节 安全检查表分析法的内容及分类 .....	21
第三节 安全检查表的编制方法 .....	23
第四节 安全检查表分析法在煤矿的应用 .....	24
<b>第四章 危险性预先分析法</b> .....	34
第一节 概述 .....	34
第二节 识别危险性的方法及危险性等级划分 .....	34
第三节 危险性控制的准则与方法 .....	38
第四节 危险性预先分析的分析步骤和应用实例 .....	40
<b>第五章 因果分析法(鱼刺图法)</b> .....	43
第一节 因果分析法的概念及原理 .....	43
第二节 因果分析图的类型 .....	44
第三节 因果分析图模式及作图步骤 .....	44
第四节 因果分析图应用举例 .....	46
第五节 因果分析图的功用及特点 .....	50
<b>第六章 事件树分析</b> .....	51
第一节 事件树分析的概念 .....	51
第二节 事件树分析过程 .....	51
第三节 事故发生概率的确定 .....	53
第四节 事件树分析过程中应注意的问题 .....	54
第五节 事件树分析实例 .....	56
第六节 事件树分析的优点 .....	59
<b>第七章 逻辑代数与概率计算基础</b> .....	61
第一节 基本逻辑运算和逻辑函数 .....	61
第二节 公式与定理 .....	62
第三节 组合运算与逻辑图 .....	65

第四节	逻辑函数的化简	66
第五节	随机事件与概率计算	67
<b>第八章</b>	<b>事故树的定性分析</b>	<b>72</b>
第一节	概述	72
第二节	事故树的分析与编制	72
第三节	事故树的构成	74
第四节	事故树的最小割集与最小径集	77
第五节	结构重要度	81
第六节	事故树的电算定性分析	83
第七节	矿井事故的定性分析	88
<b>第九章</b>	<b>事故树定量分析</b>	<b>92</b>
第一节	基本事件的发生概率	92
第二节	顶上事件的发生概率	96
第三节	概率重要度分析	103
第四节	临界重要度分析	104
第五节	事故树的模块分割	105
<b>第十章</b>	<b>管理失效与风险树(MORT)分析</b>	<b>107</b>
第一节	MORT分析的一般概念	107
第二节	MORT的发展过程	108
第三节	MORT的分析过程	108
第四节	MORT的结构	109
第五节	MORT在煤矿安全分析中的应用	113
<b>第十一章</b>	<b>故障模式和影响分析</b>	<b>121</b>
第一节	FMEA概述	121
第二节	FMEA的分析步骤	125
第三节	FMEA的致命度分析	127
第四节	FMEA示例与注意事项	129
<b>第十二章</b>	<b>系统安全评价</b>	<b>132</b>
第一节	系统安全评价概述	132
第二节	定性安全评价	134
第三节	模糊数学综合评价法	144
第四节	定量安全评价	151
第五节	六步安全评价法	157
第六节	安全评价的几个问题	159
<b>第十三章</b>	<b>系统危险的控制技术</b>	<b>162</b>
第一节	系统危险控制的基本措施	162
第二节	人机工程学概念及其在安全上的应用	165
第三节	人为失误的控制	168
第四节	安全目标管理	175
主要参考文献		181

# 第一章 概 论

## 第一节 安全系统工程的基本概念

安全系统工程是本世纪60年代迅速发展起来的一门新学科，是系统工程的一个重要分支，是工厂和企业安全生产最有成效的、科学的分析技术和管理理论。它的目的在于研究系统的危险及其原因和过程，以及对事故如何预防等问题。学习和应用安全系统工程，必须建立系统的概念，掌握一系列安全系统工程的基本概念。

### 一、系统

#### (一) 系统的定义和组成

系统是由两个以上相互作用的相互依赖的组成部分组成的具有物定功能的有机整体。世界上一切事物都是由系统构成，同时，又是更大系统的一部分。

一般来说，一个系统的组成部分包括人（人员）、机器（工具）、物料（供应）环境以及完成任务的方法（手段）。任何一种活动或功能都能从一个系统的角度出发来进行考虑。系统可以是复杂的，也可以是简单的。一个复杂的系统可以划分为若干个子系统，例如国民经济是一个系统，它由农业、工业、服务业等系统组成，这些系统互相依赖、相互作用，共同促进国民经济的发展。煤矿生产也是一个系统，它由采煤、掘进、通风、运输、提升、排水、管理等子系统组成，而任一子系统又可分为更小的子系统，如采煤包括破煤、装煤、运煤和支护等子系统。

系统按存在形态，可分为自然系统、人造系统与复合系统。自然系统是自然形成的系统，其组成要素是自然物质，如天体运行、火山爆发、地震、生物等均属自然系统。人造系统是人类进行生产活动或为满足某种需要而人工构成的系统，如机械加工、军事训练、煤炭运销等都是人造系统。复合系统是自然系统和人造系统相结合而成的系统。如气象预报系统、海洋运输系统等人-机组合的系统。安全系统工程研究的主要对象是人造系统和复合系统。

#### (二) 系统的属性

一个系统通常具有以下四个属性：

(1) 整体性 任何系统均具有整体性。系统的各组成部分之间不是简单的组合，系统的功能也不是个别的要素功能的简单叠加，即使每个要素并不一定很完善，但它们可以综合、统一成为具有良好功能的系统。

(2) 相关性 组成系统的诸要素之间是有机联系和相互作用的要素之间具有相互依赖的特定关系。例如，煤炭生产系统的采掘、运输、提升、通风、排水等系统之间通过特定关系，有机地结合在一起，形成了具有特定功能的煤炭生产系统。

(3) 目的性 系统工程研究的系统均具有明确的目标，没有目标就不能称之为系统。系统的目标应具有先进性，并力争达到最优化。

(4) 环境适应性 任何一个系统都存在于一定的物质环境之中并受其影响，因此，

研究系统时，必须重视环境对系统的作用。系统对环境变化的应变能力即为系统的环境适应性。

### (三) 系统的生命周期 (Life Cycle)

系统生命周期是指从系统规划阶段开始，经过系统设计、系统发展、系统运行直至系统报废的整个时间周期。安全系统工程思想应贯穿于系统生命周期的全过程才能达到预期的目的。

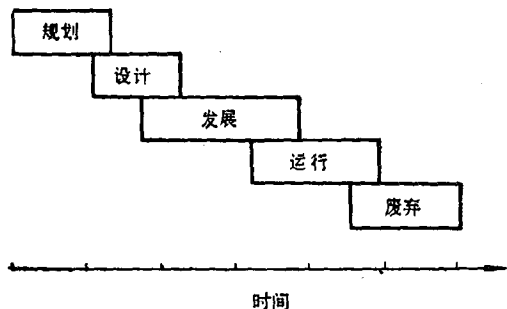


图 1-1 系统的生命周期

系统的生命周期一般包括规划、设计、发展、运行和废弃五个阶段，每个阶段的精确时间及作用取决于所设计的特定的系统。如图1-1所示。

1. 规划阶段 人们一经确认必须建立一个系统之后，规划阶段即开始了。这一阶段包括所有那些导致人们决定设计系统来满足需要的活动。例如要建一个煤矿，就要进行地质勘探及相应的可行性研究，并完成宏观的规划，还应

对费用和时间安排进行计划，以平衡系统的生命周期。

2. 设计阶段 在此阶段中，对系统规划做进一步加工。对煤矿来说，就要对采煤方法、设备进行选择，画出采矿布置图，设计各个生产系统，如运输系统、供电系统、排水系统、通风系统等，并制定出一些灾害预防措施和人员培训计划，以保证整个系统能在特定的环境条件下进行工作。

3. 发展阶段 这一阶段是根据设计方案来准备运行系统。它包括选购与制造系统所用的机械设备与安装，操作人员的分配与培训等。并对系统效能及其它系统标准进行评价。例如煤矿的生产准备和试生产。

4. 运行阶段 在此阶段，完成系统的预定任务。为使系统保持高效率，需要定期地对系统进行检查与维护。对煤矿来说，就是正常生产阶段。

5. 报废阶段 当系统全部完成其任务且再无用处时，即进入报废阶段，它包括销毁，利用、废弃、拆卸、中止、更换、破坏该系统以及其它处置该系统所需的活动，矿井报废即属此阶段。

任何一个采矿系统都经历一个生命周期，每一个阶段都不应给下一阶段留下后患，否则会给整个系统带来严重的影响。

## 二、系统工程 (SE)

所谓“工程”是指用现有的科学技术、设备去完成一项任务。由于有各种各样的系统，因此就有各种各样的系统工程。如工业系统工程、安全系统工程、管理系统工程等。

系统工程是以系统为研究对象的。1978年我国科学家钱学森指出：系统工程则是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。简单地说，系统工程学是用现代科学方法组织管理各种系统的规划、设计、生产和使用的一门科学，是指系统所有组成部分的综合，以达到全系统的最优效率。



系统工程学的主要研究内容是系统的模式化、最优化和综合评价，进而对系统进行定性和定量分析，为决策提供最优方案。

系统工程有以下三个基本特点：

(1) 研究立法整体化 它是从整体出发，不仅把研究对象作为一个整体，而且把研究过程也视为一个整体。从整体与部分相互依赖、互相制约的密切关系中考虑问题，用具体过程和步骤把设想变为现实。

(2) 应用技术的综合化 系统工程是综合使用技术。必须注意各个阶段和每个步骤以及各个流程之间的联系，使各种技术有机地结合起来，以达到系统整体效益最优化。

(3) 寻求目标的最优化 系统工程的研究立足于现有条件，力求达到最佳效果或者达到预期的目标，而消耗资源最少，使用资金最省。

### 三、安全系统工程 (SSE)

安全系统工程是系统工程在安全领域中的应用，是安全管理科学化的系统方法与工程技术。它涉及到下列几个主要概念。

1. 风险与事故 风险是危险概率及后果的综合量度期望值，它具有不合意或不希望结果的含义，用于描述未来随机事件的危险可能性或事故可能性。它直接与潜在危险变成事故的频率、强度和持续时间的概率有关。

根据系统的观点，事故是一种动态事件，开始于危险激化，并按一定逻辑顺序，流经系统而造成系统或系统某一部分的损失、操作人员或其附近人员的伤害或死亡，或者有关设备或机械的财产损失和环境危险的一个或一系列意外事件。简言之，事故是一种不希望的和意外的事件。

凡是一个系统中使人体生理机能部分或全部丧失的事件称之为伤亡事故。在生产区域中发生的或与生产有关的伤亡事故叫做工伤事故。如果人体没有受到伤害，或受伤轻微，停工短暂，或与人的生理机能障碍无关的事件称为一般事故。

2. 安全是指系统中不发生死伤、职业病、设备或财产损失的状况。生产过程中的安全是指人不受到伤害，物不受到损失。

危险与安全是两个对立的观念。危险是指某一系统、产品、设备和操纵的内部或外部的一种潜在条件，其发生可导致意外事件或事故，造成人员伤害、疾病或死亡，或者设备财产的损失或环境危害。

任何生产系统和生产过程都存在一定危险，具有多种事故发生的可能性，因此，现代生产中绝对安全是不存在的。这就是说，安全与危险是相对的，当危险的危险性低于某一安全指标时，即认为是安全的。

3. 安全系统的定义 所谓安全系统是指：在一定的机制、时间和费用约束条件下，不发生人员的伤害或设备损坏的系统。

要达到安全系统，就须要在系统生命周期各个阶段切实施行系统安全管理和安全工程。图1-2是一个能达到安全系统的示意图。从图可知，系统的安全与提供的方法和设备有关，这些方法和设备要能保护整个系统在这种环境内不受到损害。系统安全必须作到适当的控制和结构的合理。所谓适当的控制，取决于正确地识别危害和保护人员和设备的完好，从而完满地实现系统目标所进行的对各种危害的适当控制；所谓结构的合理性，主要是合理地预测事故。由于绝对安全的系统，只能作为一个期望的目标，实际上是不可能

实现的，所以就需要有一种能达到适当的控制和合理结构的措施。这样，我们得到安全系统的定义如下：

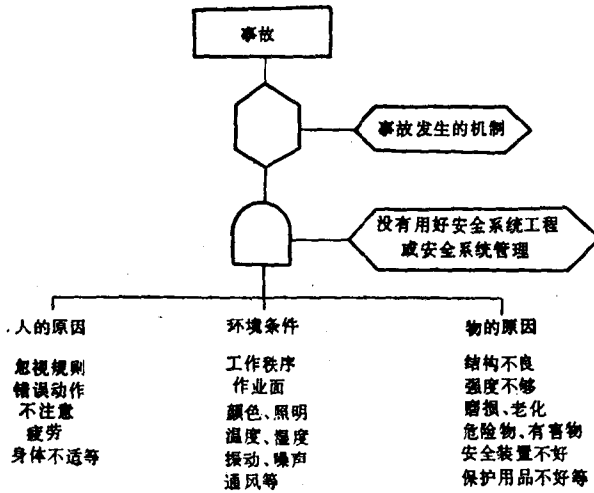


图 1-2 安全系统示意图

安全系统是一个系统的最佳安全状态，它可由操作效果、时间和费用以及与安全有关的其它所有因素确定；一个安全系统在系统运行的各个时期，都将完满的达到所预期的安全目的。

从定义看出安全系统的实质，即在一定的性能、时间、费用等约束条件下，通过系统安全综合分析，使系统在结构上设计得合理，在操作、运行、维修上控制得合适，从而得到最佳的安全指标。

#### 4. 安全系统工程 安全系统

工程是系统工程的一个重要分支，

是安全领域的科学管理技术。它是以工程设计、安全原理和系统工程的分析方法为基础，对系统的安全性进行定性和定量分析、评价及预测，并采取综合措施控制系统的危险性，使系统达到最优化安全状态。

安全系统工程的任务是在目标、时间及费用等制约条件下，对系统的整个生命周期内的各阶段实施综合分析，根据对可能产生危险的分析和判断，为系统设计提供必要的信息，以便消除潜在的危险或把危险控制在一定的限度之内，从而获得最佳的安全指标。

由此可以看出，安全系统工程的特点是：

- (1) 安全系统工程是系统工程在安全领域的应用。
- (2) 系统安全性分析是安全系统工程的核心。
- (3) 危险的预防和控制是安全系统工程的主要内容。
- (4) 达到最优化安全状态是安全工程工程的精髓，是安全工程工程的最终体现。

5. 安全系统工程模式 建立安全系统工程模式的目的，是确保安全系统的组织管理。是否能获得最优的或相对可以接受的安全水平，取决于安全系统管理和安全系统实施。安全系统管理是确保实现安全系统任务的程序管理，包括确定安全系统要求、规划、组织和控制为直接实现安全目标所进行的工作；协调与其它程序的关系；分析、审查和评价为确保及时、有效地实现安全系统目标的程序。安全系统实施则包括应用科学原理来解决需要及时判定或预防、控制系统固有危险的所有活动。

具有反馈的安全系统工程模式如图1-4所示。在模式中，输入 $E_i$ 和输出 $E_o$ 是时间的函数。 $E_i$ 由输出 $E_o$ 的反馈值 $H$ 和参照水平 $R$ 的组合确定，参照水平 $R$ 由所需要的输出 $E_o$ 值决定，包括特定的、理想的或优化的安全目标值、现有或设计的工艺水平。 $\otimes$ 表示组合或控制调节，它是由安全系统管理管理机构来完成的。

如果描述出图1-3中的安全要求、执行、检测和参照水平的具体内容，得到的安全系统工程模式展开图见图1-4。

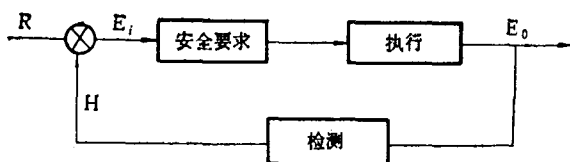


图 1-3 安全系统工程模式

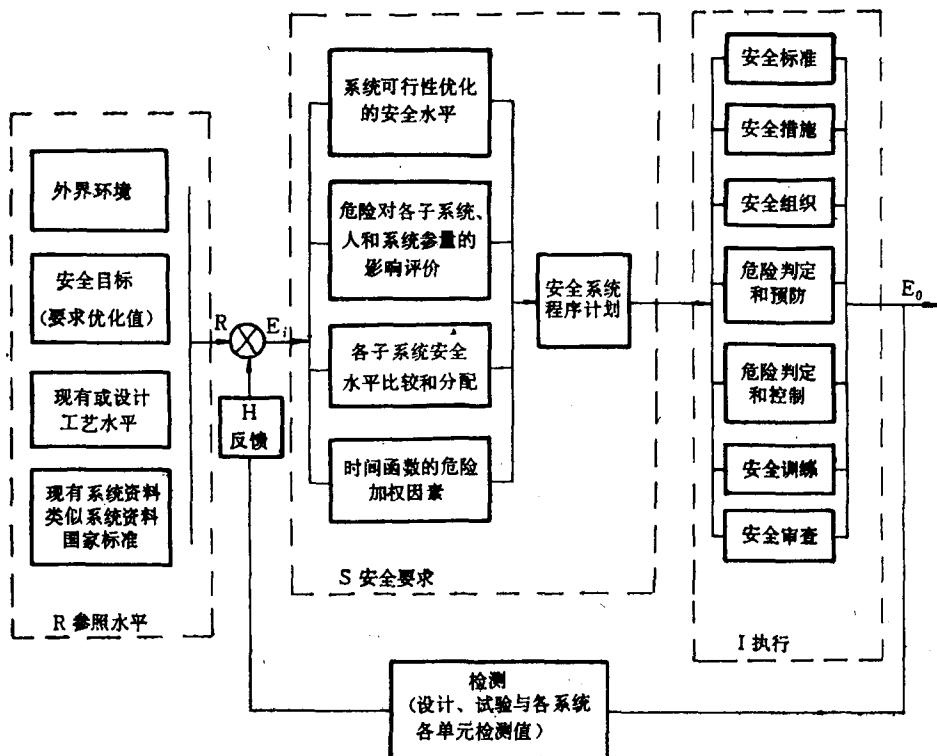


图 1-4 安全系统工程模式的展开

## 第二节 安全系统工程的内容

安全系统工程是一门综合性新学科。它的任务是凭借数学、物理及有关学科的专门知识与技巧，连同工程设计与分析的原理与方法，及时识别系统中的危险，并采取具体措施，使之排除或控制，从而使系统达到最优化的安全状态。其主要内容包括四个方面。

### 一、事故理论与事故预防原则

事故是导致人员伤亡或者财产损失的意外事故。安全系统工程的目的在于预防灾害或故障发生，避免伤亡，减少损失。在煤矿生产中就是不发生伤亡事故，不发生职业病，不造成职业病，不造成国家资源、设备和财产的损失，不发生意外停产等。因此，研究事故理论与事故预防原则是安全系统工程的重要内容之一。

事故的发生是人的不安全行为和物的不安全状态造成的。构成事故的基本要素是人、

物、环境和管理。由于人或物具有潜在的危险性，所以事故的发生具有潜在性。通过大量事故的分析，可知事故的发生虽有随机性，但事故的发生发展也必然有规律性，找到这些规律性，即可控制事故的发生。

控制事故发生必须坚持预防为主的原则，其前提是查找出系统里的危险因素并进行合理评价，使系统达到本质安全化。

## 二、系统安全分析方法

安全分析是实现系统安全的重要手段，也是安全系统工程的核心。其目的是揭示系统中存在的危险性和事故发生的可能性，发现系统中存在的隐患，预测事故发生、发展的趋势。因此，它是完成系统安全评价的基础。

系统安全分析的方法有数十种之多，我国目前较多采用的主要有安全检查表法，因果关系分析，危险性预先分析、事故树分析、事件树分析、管理失误和风险树分析等。有定性的，也有定量的，各有特点，都有自己产生的历史条件和环境因素。要完成一个准确的分析，就要综合使用各种分析方法，要取长补短，有时还要互相比较，看看哪些方法和实际情况更吻合，就应采用哪种方法。因此，要熟知多种分析方法的内容和使用范围。

## 三、系统安全评价

安全评价是以系统安全分析为前提和依据的，其目的是揭示系统中事故危险性大小和可能产生的后果，为采取安全措施来排除危险或控制危险提供决策依据。

系统安全评价方法分为两种，即定性评价和定量评价。

对定性分析的结果只能用于安全的定性评价，而定量分析的结果才能用于安全的定量评价。定性评价只知道系统中危险性的大致情况，要达到系统的最佳状态，应该进行定量评价，确立系统中事故发生概率和严重度。评价结果可帮助决策者决定最佳方案，改善系统的安全状况；帮助保险公司可规定不同的保险金额等，充分发挥安全系统工程的作用。

## 四、安全措施

系统安全分析和安全评价的目的都是为了控制事故，消除或控制危险。因此，安全措施是安全系统工程的主要内容之一。主要措施有宏观控制、微观控制和安全目标管理等。

### 第三节 安全系统工程的方法论与优点

安全系统工程研究问题的思想、观点和工作程序、步骤统称为安全系统工程的方法论，概括起来有以下几个特点。

#### 1. 整体观点

安全系统工程考虑问题是从整体概念出发，形象地说，是先见森林，后见树木，它不只限于个别元素的优良与否，而是要求巧妙地利用元素之间或子系统之间的联系来大大提高整体水平。从整体出发，全面考虑系统中的各种因素，特别是人的因素。据我国和日本有关事故统计资料表明，包含人的不安全行为所造成的灾害次数，一般在90%以上。

此外，强调整体还意味着系统安全要贯穿到系统整个生命周期的每个阶段。

系统思考的方法，是模拟、最优化和评价。

#### 2. 综合应用各门科学和技术的成就

一般来说，大型复杂系统几乎都是多门科学技术的综合体，其本身就是一门综合技术。在安全系统工程研究中，要结合应用自然科学、技术科学和社会科学的知识和技术成

就于新系统的设计中。

### 3. 重视安全管理

事实上,欲获得最佳的或相对可以接受的安全水平,在很大程度上取决于系统安全的管理与实施。管理包括系统安全工作中的规划、组织、控制和决策等,并协调与其它系统的关系以及分析、检查和评价程序,以确保及时地和有效地实现系统安全目标。为了及时判定危险和采取预防和控制系统固有危险的措施,需要运用科学原理,应用这些科学原理的过程就是实施。安全系统工程不仅适用于工程,而且适用于管理,安全管理包括以下五个方面:

- (1) 寻找发现系统的事故隐患。
- (2) 预测由故障引起的危险。
- (3) 选择、制定和调整安全措施方案。
- (4) 组织安全措施和对策的实施。
- (5) 对安全措施的效果进行全面的评价,并不断完善安全措施。

显然,人的因素是十分重要的。

综上所述,安全系统的方法是在传统安全工作的基础上发展起来的,其优点有以下几点:

(1) 它本身在保障系统安全上具有逻辑性强,能系统地全面地进行定性和定量分析的能力,克服了传统的安全方法凭经验片面性的缺点。

(2) 通过分析可以了解系统的薄弱环节所在及危险性可能导致事故的条件。从定量分析可以预测事故发生的概率,从而可以采取相应的措施,控制事故的发生。通过分析还能找到发生事故的真正原因,并查到未想到的原因。

(3) 通过评价和优化技术,可以找到使各子系统间达到最佳配合的适当方法,以期用最少的投资达到最佳的安全效果,大幅度地减少伤亡事故。

(4) 由于安全系统工程的方法,不仅适用于工程,而且适用于管理,实际上已形成安全系统工程和安全系统管理两个分支。

(5) 可以促进各项标准的制定和有关可靠性数据的收集。安全系统工程既然需要评价,就需要各种标准和数据,如允许安全设计标准,人机工程标准及故障率数据等。

(6) 可迅速提高劳动保护安全工作人员的水平。

当然,安全系统工程方法的最大优点是能够预防和减少事故发生,是落实安全第一,预防为主的高新技术,这已在许多国家的大量实践中得到证明。

应当指出,我国古代早已具有朴素的整体优化的系统工程思想,著名的春秋时代齐国的“田忌赛马”故事就是系统优化的应用典范。这种整体优化思想,在本世纪六十年代我国参加国际乒乓球比赛中,也得到过精彩的应用。

## 第四节 安全系统工程的发展与现状

### 一、系统工程的发展简况

系统工程萌芽于1930年,当时美国雷德公司在发展电视广播中,初步形成系统观点及系统化处理。在二次大战前夕,美国为拦截德国飞机轰炸,提出了后来叫雷达等武器的“系统化配合和控制要求”,并于1929年建立了第一个使用系统工程方法研究作战的小

组，后称运筹学小组。美国贝尔电话公司于40年代初期首次采用“系统工程”名称。

二次大战期间，美国动员15000人在参加研究原子弹的“曼哈顿计划”中大量使用了系统工程方法，并取得了良好效果。1945年美国空军建立了兰德公司，创立了系统分析方法；1957年美国密执安大学哥德和迈克尔合著第一本以“系统工程学”为题的书；1958年美国海军研制“北极星导弹”应用系统分析方法，并制定出控制工程的网络分析法（也叫计划评审法），使该计划提前两年完成。1965年美国学者编写《系统工程手册》，使系统工程形成一个较为完整的体系。

1961年美国宣布“阿波罗登月计划”，它耗资300多亿美元，有42万人，120所大学和研究所，2万家企业参加，采用系统分析方法，包括网络计划技术，关键路线法，历时10年，在1969年将3名宇航员送上月球。

上述“曼哈顿计划”、“北极星计划”和“阿波罗登月计划”是运用系统工程取得重大成功的范例，被誉为系统工程的杰作。

60年代末，不少国家引进系统工程，日本在企业界推行全面质量管理、价值工程等，取得显著成效。

## 二、安全系统工程的发展过程

安全系统工程创始于美国，并且首先使用于军事工业方面。

1947年9月，美国航空科学院H.E.罗兰发表了一篇题为“安全工程”的论文，其中写道：“正如飞机性能、稳定性和结构完整性一样，必须进行安全设计，并使之成为飞机不可分割的一部分。安全组也像应力组、空气动力系组和荷载组一样，必须成为制造厂重要组织机构之一”。

60年代初，这一概念开始为合同所正式采用。由合同文件正式指派安全职责取代了惯常的作法。惯常的作法是由各设计人员、管理人员和工程师大致地分工负责安全工作。规程的公布促进了防止事故的系统安全方法的产生和发展。

1957年苏联发射第一颗人造地球卫星。美国为了占据空间优势，匆忙进行导弹技术开发，采用规划、研究、计划、设计、制造和使用齐头并进方式，一年半时间内连续发生4次大事故，每次都造成数百万美元的损失。1976年阿波罗火箭因氧气密封舱的一个密封元件不合格而引起事故，烧死宇航员3人，损失数亿美元，这些惨痛教训，更加深了对安全系统重要性的认识。

1961年美国贝尔电话研究所在安全系统基础上开创了事故树分析法，促进了民兵式导弹的研制。1962年4月美国空军公布了弹道导弹部程序的BSD第62-41号文“发展空军弹道导弹的系统安全工程”。1963年9月，这一文件经修改成为空军规程MIL-S-38310《对系统和有关子系统及设备的安全工程的一般要求》，1966年8月经修改变成为美国通用标准MIL-STD-882《对系统及有关子系统及设备的安全系统程序要求》，1977年又出版了该标准的修改本MIL-STD-882A。这一安全标准最终成为美国所有产品和系统采购的系统安全程序都必须遵守的标准，并被日本和西欧各国引进，起到了安全系统工程历史性开拓发展和奠基作用。

1965年美国波音公司和华盛顿大学在西雅图召开了安全系统工程专门学术讨论会。美国航天局在1968年和1971年先后召开全国国家工业系统安全工程会议，专门介绍和讨论了安全系统工程，推广了安全系统工程的应用。

1972年美国三里岛核电站发生事故，引起公众的恐慌和指责。为此，美国总统停止休假赶回白宫，组织十几名专家，用了两年时间，耗资300万美元，于1974年由原子能委员会发表了“原子核电站风险评价”报告。该报告分析事故概率，大量采用事故树和事件树分析方法进行定量评价。报告发表后，引起世界各国的关注。

显然，美国在军事武器系统，特别在航天系统应用安全系统工程的成果，对世界影响极大。目前美国在化学工业、石油精炼、石油生产与出售、原子能、电子工业和交通运输广泛推广应用安全系统工程，并取得较好效果。在化工设备制造与设计、民用设计以及制造工业许多基础方面都已得到成熟的应用和发展。

美国以原子能公司为中心，从60年代中期开始对系统的安全生产和可靠性问题，采用了概率评价方法，后来进一步推动了定量评价的工作，并设立了系统可靠性服务所和可靠性数据库。

日本于70年代初期引进安全系统工程，发展较快。1973年建立综合安全工程研究所。1976年日本劳动省以公布的“化工装置六阶段安全评价法”作为正式指标要求执行，还将事故树定性分析方法在产业系统中推广应用，并在交通运输、电子、汽车、航空、化工和矿山领域开展应用研究，十多年来效果明显。

安全系统工程的国际学术活动也较活跃，国际安全系统工程学会每两年举办一次年会，1983年在美国休斯敦召开的第六次会议，有四十多个国家参加，可以看出这门学科已越来越引起人们的兴趣。

### 三、国内安全系统工程的发展现状

安全系统工程在我国开展研究起始于1981年。1982年劳动人事部主持召开了安全系统工程座谈会，以后在化工、机械、铁道、冶金和国防工业等行业得到迅速发展，并陆续出版发行各种版本的安全系统工程论著。目前，安全系统工程已从引进介绍时期进入到训练安全工程人才，组织试点和推广应用时期，初步使用了安全检查表和事故树分析方法，已初见成效。理论研究也在发展，如用模糊数学对安全管理进行评价，几十所高等学校相继开设了安全系统工程课程。

煤炭工业推广应用安全系统工程虽起步较晚，但在近几年有较大发展。一些局、矿，如山东肥城矿务局、兖州矿务局、陕西韩城矿务局等应用安全检查表、危险性预先分析等安全系统工程方法，收到较好效果；有的矿井还用了事故树、事件树等分析方法，实行安全目标管理，建立安全管理信息系统，成效明显。煤炭工业部门已逐步认识到安全系统工程的优越性，正积极培训人才，推广应用。但从整体来看煤炭企业尚处在安全系统工程的定性分析阶段。

### 复习思考题与习题

1. 何谓系统？系统有什么特征？
2. 系统的生命周期是怎样定义的？对于一个煤矿来说，它的生命周期包括哪几个阶段？
3. 什么是系统工程？其特征有哪些？
4. 安全系统工程的定义是什么？它与系统工程有何关系？
5. 安全系统工程的主要内容是什么？
6. 学习安全系统工程的目的是什么？

## 第二章 事故的致因理论

事故致因的系统理论，是具有普遍指导意义的客观规律，它是事故调查、分析、预防的指导思想和科学依据。

学习本章的目的，旨在掌握事故发生的普遍规律，以便采取针对性的措施防止事故的发生。在内容上，本章将在简要介绍有关知识的基础上，介绍事故致因系统理论中的多因构成论及能量逆流论。

### 第一节 概 述

事故的致因理论是研究事故发生及发展规律的，是事故起因及发展过程的总体的综合的原则的模式，是在生产系统中发现、分析、控制危险的指导思想，是调查及预防事故的指南。

近百年来，人们从大量事故中相继归纳出十多种事故形成的理论模式。但也应该说，人们认识问题总是由表及里、由片面到更多的方面。对事故致因理论的认识也一样，它经历了单因素、多因素、直到系统理论。在系统理论中可分为下述2种：从系统构成因素出发的多因构成论；从系统构成能量出发的能量逆流论。

人类的一切生产活动，都是在“变自然物为人所用”，这个变换过程是通过生产系统的运行来实现的。

事故是在生产系统中偶然发生的、与人的愿望相反的、使进程中断或受到干扰的事件，其结果往往伴随有人的伤亡及物的损失。

事故是发生在运行的生产系统中，它必然与系统的构成因素（或构成能量）密切相关。为了防止事故的发生，就必须分析生产系统中构成事故的各种因素（或能量）及其相互间的关系，揭露事故发生的最普遍的客观规律，以便采取针对性的措施防止其发生。

因此，在讨论事故致因理论前，应先了解生产系统的构成，以利正确理解事故致因理论的基本思想。

### 第二节 多因构成论

#### 一、生产系统的构成因素

生产系统是由人、机、材料组成的，并通过一定的方法（或手段），在特定的环境中完成指定的任务。

生产系统的构成如图2-1所示。

生产系统中的人主要是指操作者。通常将机械设备及原材料归入物的范畴。将完成生产任务的方法及管理手段归为管理范畴。因此，生产系统的构成可称为“人、物、管理、环境”四要素。

在生产系统中，人、物是共同存在于一个子系统，这个子系统通常被称为行为系统。管理是另一个子系统通常称为控制系统，控制的目的在于使行为系统中的人、物有机地



配合，以便保证生产系统安全地运行。

当行为系统中的人、物失配或管理失控时，就可能发生事故并中断生产任务的完成。

## 二、事故的形成

### 1. 海因里奇 (Heinrich) 模型

该模型也称多米诺 (Domino) 骨牌模型，它描述了一个结束于伤害的事故单线致因链，如图2-2所示。

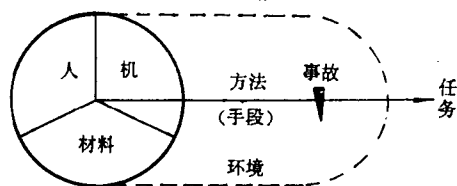


图 2-1 生产系统的构成

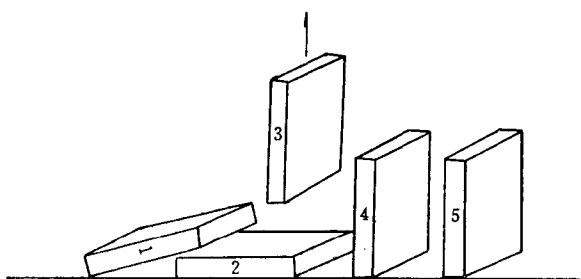


图 2-2 海因里奇模型

1—社会环境和管理缺陷，2—人为过失，3—不安全行为，4—意外事件，5—对人的伤害

这个链是由下述五种因素组成的，即：（1）社会环境和管理缺陷；（2）人为过失；（3）不安全行为（或物质机械危害）；（4）意外事件；（5）对人的伤害。

这五个因素犹如竖立的一组多米诺骨牌，若第一个骨牌倒下将导致后面的骨牌接连倒下。只要抽去意外事件（4）以前的任何一枚骨牌（即砍断链）就可避免伤亡事故的发生。在这些骨牌中去掉不安全行为（3），可能是一种较好的实际选择。

该模型的中心思想，是认为引起事故的直接因素是不安全行为和物质危险条件，而且人的不安全行为是最常见的起因。事故的间接因素是管理，它是和社会环境的影响分不开的。

该模型的缺点是将各因素的致因能力表达成相同的，这在理论上是不严谨的，但重要的是它阐明了事故致因链的概念。

### 2. 日本劳动省模型

日本劳动省调查了约50万件工伤事故，特别是1969年对制造行业的事故进行了分析。他们发现：因物的不安全状态和人的不安全行为相组合引起的事故占87%；只因前者或后者造成的事故分别占4%与9%。

因此，事故主要是由于人的不安全行为和物的不安全状态的接触所致，如图2-3所示。

人的不安全行为及物的不安全状态，是由安全管理缺陷造成的。起因物是由于存在不安全状态而导

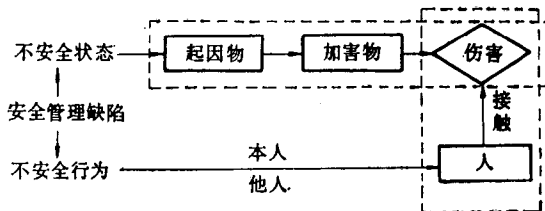


图 2-3 事故的基本模型