

安全系统工程

谢鸣一 孙巨块 王泽申编著

科学技术文献出版社

内 容 简 介

本书概括地介绍了系统和系统工程。从系统理论的观点出发,应用工程学原理阐述了安全系统、事故危害、系统的可靠性和达到可靠性与安全性的途径;探讨了各种生产系统产生事故的可能性、预防事故的可靠性技术、系统的安全控制和事故树的分析方法,并对人的因素与安全性的关系进行了分析论述。

本书适合劳动部门干部、管理人员、工矿安全技术人员与生产技术人员阅读,并可作为各大专院校有关专业师生的参考用书。

安全系统工程

谢鸣一 孙巨块 王泽申编著

科学技术文献出版社出版

1202工厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店经售

787×1092毫米 32开本 8.25印张 170千字

1988年9月北京第一版第一次印刷

印数: 1—5000册

科技新书目: 176—103

ISBN 7-5023-0602-1/TB·1

定价: 1.90元

序 言

长期社会实践表明，生产与安全是紧密相关的。安全搞好了，就有利于提高生产效率和产品质量。反之，没有好的安全管理和劳动保护，生产效率和产品质量非但不会提高，而且还会造成生命财产的巨大损失。因此，如何保证工业安全生产，多少年来一直为从事工业生产和安全管理的人们所关注，也是世界各国迫切需要研究和解决的课题。近几十年来，由于科技进步和工业生产的迅猛发展，生产规模日趋扩大以及生产过程日益自动化，传统的安全工作方法由于不善于掌握事故发生的内在规律和对事故进行预测，已很难适应现代安全生产管理工作的要求，其结果是在世界各国的工业生产中不断发生灾难性的重大生产事故，造成严重的人身伤亡和经济损失。

这种安全管理工作与现代化工业生产不相适应的严重情况，迫使从事安全管理工作的专家、学者和管理人员，去寻求一个对系统的安全性可以进行定性与定量评价和能够对事故发生的可能性进行预测的新的安全管理方法，期望据以事先给有关人员提出警示，以便及时采取有效的预防措施，减少或防止事故的发生。安全系统工程正是在这种新形势的要求下应运而生的一门新兴学科。

安全系统工程产生于本世纪60年代，它随着科学技术和工业生产的发展自身不断完善。它的基本任务是研究安全生产、排除潜在的事故危害；主要采用系统工程的方法和有关知识来研究生产系统，从设计、制造到运行乃至处理的全部过程中防止可能发生的事故及评价事故的危险性。通过系统

分析以确定哪些环节和操作对系统的安全具有关键性作用，并指明达到系统可靠性和安全性的途径，针对现存潜在事故的危险性，调整工艺、设备、操作、管理、生产周期和资金费用等因素，采取有效的预防措施，使系统发生事故的可能性得以控制，从而达到最佳安全状态。事实表明，推行这种方法以来，生产事故率大为下降并大大提高了安全管理水平。因此，安全系统工程的出现，引起世界各国安全管理机构和工程技术界的极大兴趣和高度重视。

我国在70年代后期才开始研究和开展安全系统工程方面的工作，几年来已取得了许多可喜的成果，在不同程度上提高了安全管理的技术水平。但总的来说，我国安全系统工程还处于初期发展阶段，有关的专著和文献很少，从事这方面研究和应用的人员也不多。因此，安全系统工程作为一门学科，在我国还不够普及。为在我国普及安全系统工程学知识并在工业生产中推广应用，提高我国的安全管理工作水平，我们特编写了《安全系统工程》一书。本书所涉及的只是安全系统工程中的基本知识，但它又是解决工业生产中的安全问题所必需的。本书在叙述上，力求做到通俗易懂，避免过多的数学推导，以便于读者学习和掌握。由于安全系统工程涉及面较广，内容又十分丰富，故而在一本书中把所有问题全面包括进去是不可能的。

本书第九章孙巨块编写，第四章王译申编写，其余各章由谢鸣一编写。全书由谢鸣一审核和主编。

编 者

1987年 9 月

目 录

序言	(1)
第一章 系统工程概论	(1)
1.1 系统工程	(1)
1.2 系统工程的发展过程	(4)
1.3 系统的概念	(7)
1.4 系统分析及其原则	(10)
1.5 系统分析的要素和步骤	(12)
1.6 系统评价	(14)
第二章 安全系统工程	(18)
2.1 什么是安全系统工程	(18)
2.2 安全系统工程的内容	(21)
2.3 安全系统工程的演变和现状	(24)
2.4 安全与技术发展	(29)
2.5 安全的定义	(31)
2.6 安全系统的定义	(32)
2.7 系统安全的优化	(35)
2.8 安全系统工程的分析方法	(37)
2.9 安全系统工程和工业安全	(47)
第三章 实现安全的程序计划	(51)
3.1 系统的安全计划	(51)
3.2 系统安全程序计划	(54)

3.3	系统安全程序计划的步骤	(58)
3.4	系统安全的任务	(60)
3.5	制定安全任务的一般程序	(66)
3.6	系统安全组织	(68)
3.7	系统安全标准	(69)
3.8	系统安全文件	(70)
3.9	系统安全检查表	(73)
3.10	系统安全任务的时间性	(76)
3.11	安全训练	(78)
第四章	危险性分析	(80)
4.1	危险性及其分类	(80)
4.2	危险矢量	(82)
4.3	单一危险与组合危险	(83)
4.4	危险分析与系统寿命周期的关系	(85)
4.5	危险分析的输入和输出	(86)
第五章	系统的可靠性	(90)
5.1	可靠性的定义	(90)
5.2	可靠度、维修度和有效度	(92)
5.3	可靠度函数	(96)
5.4	故障率曲线	(99)
5.5	系统可靠度计算	(102)
5.6	可靠性设计的基本概念	(111)
5.7	可靠性设计的方法	(114)
5.8	可靠度分配	(120)
5.9	可靠性预测	(122)
5.10	串联模型预测故障率	(124)

5.11 系统的安全性分析	(126)
5.12 可靠性试验	(127)
第六章 事故树绘制	(130)
6.1 事故树分析的演变历史	(130)
6.2 事故树分析技术	(132)
6.3 事故树分析程序	(133)
6.4 图的基本概念	(136)
6.5 事故树的绘制	(140)
6.6 事故树符号和布尔技术	(141)
6.7 事故树绘制事例	(145)
第七章 事故树定性分析	(148)
7.1 集合的基本概念	(148)
7.2 概率的积与和	(151)
7.3 事故树的简化	(154)
7.4 最小割集和最小径集	(158)
7.5 最小割集的计算方法	(160)
7.6 最小径集的计算方法	(166)
7.7 最小割、径集在事故树分析中的意义	(170)
7.8 事故树结构函数	(173)
7.9 事故树结构重要度分析	(180)
第八章 事故树定量分析	(183)
8.1 基本事件的发生概率	(183)
8.2 顶上事件的发生概率	(188)
8.3 近似计算方法	(197)
8.4 模块分割法	(201)
8.5 事故树的简化	(205)

8.6 割、径集数目的求法	(209)
8.7 概率重要度分析	(212)
8.8 临界重要度分析	(214)
8.9 事故树分析应注意的问题	(216)
第九章 人的因素和安全性	(218)
9.1 人机工程学	(219)
9.2 人机系统	(222)
9.3 人体测量	(228)
9.4 人的疲劳	(235)
9.5 温度、湿度对人工作的影响	(237)
9.6 照明与作业的关系	(242)
9.7 色调调节	(245)
9.8 噪声	(246)
9.9 污染	(248)

第一章 系统工程概论

1.1 系统工程

随着科学技术和生产的不断发展，现代企业变得愈加复杂化和多元化。要改善企业的经营管理，若仍按传统方法局限于单因素调整或局部范围内的改进，已根本不能使企业在整体上达到优化。具体地说，即在着手处理当今类似涉及内容庞杂、变量众多且各种影响因素相互纠缠的一个系统问题时，采用过去那种单纯考虑简单因果关系和分别加以处理的办法，已经无法奏效或不能达到满意的结果。为此，人们设想把结构复杂、机体庞大和内部变量众多的事物看成一个系统，对其进行综合研究。于是，一门有关组织管理技术的新兴科学——系统工程就应运而生了。

系统工程是以系统整体为研究对象的一门工程学。但这里所谓的“工程”，不同于一般工程的概念，它是指为完成某项任务所提供的计划、方案、决策和工作程序等，以便保证任务完成得最好。因此，就系统工程的本质来看，可以说，它是一门“筹划”的学问，而不象一般工程，如电子工程、机械工程、土木工程和冶金工程那样，是关于“实施”的学问。

一般工程学是以物质世界运动规律的描述和应用为基

础，是一种实施性的、操作性的学科，故可统称为“物理”科学。而系统工程则更强调人类智慧的开发，人类对客观规律的结合利用方面，是一种办事谋划的学问，故可称之为“事理”科学，即“筹划”学。当然，“事理”科学和“物理”科学是相互联系的，“物理”科学也是“事理”科学必要的基础之一。

系统工程 (Systems Engineering) 一词，顾名思义，就是研究系统的工程技术。但它并非是内容单一的技术名称，而是许多门工程技术结合的一个综合名称。它跨越自然科学和社会科学。因处理对象性质不同，还可以再细分为各类系统工程，如工程体系的系统工程称为工程系统工程，经济体系的系统工程称为经济系统工程，行政体系的称为行政系统工程，教育体系的叫做教育系统工程，安全生产体系的叫做安全系统工程等。由此可见，系统工程这门技术，是依据具体的环境和条件，密切结合事物本来的性质和特征，充分考虑客观事物的复杂性和广泛性，综合地运用几个学科的成果，从整体上去着眼解决问题。也就是说，系统工程是从系统的观点出发，跨学科地考虑问题，运用工程的方法去研究和解决各种系统问题。

系统工程着眼于整体的状态和过程，而不拘泥于局部的、个别的部分。表现在系统的最佳化并不要求系统的所有单元或所有子系统都具有最佳特征。这是因为系统工程采用了新的方法论，这种方法论的基础就是系统分析的观点。它与一般工程的方法有所不同，一般工程的分析方法是“由下而上”，“由细而总”的方法，即着眼于优化各个单元的性能来确保总体性能，其结论是各个单元性能优良，整体性能才

能优良。但系统分析的观点却是一种“由上而下”，“由总而细”的方法。它不着眼于个别单元的性能是否优良，而是要求巧妙地利用单元间或子系统之间的相互配合和联系，来优化整个系统的性能，以达到预期的目的。

总的来说，系统工程是关于组织、管理、规划、设计、研制、制造、试验和使用等各种系统的一种科学理论和方法，它以系统为对象，把要研究和管理的事与物，用概率、统计、运筹、模拟等方法，经分析、判断、推理等程序，建立起某种系统模型，进而采用最佳化方法求得系统的最佳化结果，即经过系统分析和系统设计过程使系统的各个组成部分互相协调，互相配合，从整体上成为技术先进、经济合算、运行可靠，时间节省的实际可行的系统。

系统工程的一般研究步骤可分为如下几个方面：

1. 说明问题：全面地收集和提供有关的资料和数据，把问题的形成弄清楚。
2. 选择目标：确定解决问题的目标并建立一个衡量标准，以衡量是否达到了预期的目标。
3. 系统综合：把可能入选的能够达到预期目标的策略、活动进行综合，使之系统化、条理化，产生可供选择的各种实施方案。
4. 系统分析：在已确定的目标下，对设想的各种方案进行分析、比较。
5. 选定方案：选定能达到预期目标、而又实际可行的最优化方案 这是系统工程中最重要的环节。
6. 系统的发展：实施与完善的过程。
7. 系统的运行：系统的正常运行过程。

各种系统虽然目的、单元、性质、结构等会各不相同，但其处理和研究的方法，大致可分为上述 7 个步骤。

在进行系统规划、研究、设计和使用过程中，要全面筹划，反复试验，多次循环，以求得到最优化，即最后综合成一个技术先进、费用低廉、研制周期短、运行可靠的实际系统。

目前，系统工程已经广泛应用于宇航工程、军事工程、工农业生产、经济管理、交通运输、城市规划等各个方面，并已取得显著效果。

1.2 系统工程的发展过程

社会实践的需要，是一切科学技术发展的动力。20 世纪以来，由于社会生产力的高度发展，现代科学技术运用规模的迅速扩大，工程技术复杂程度的日益提高，使自然科学、技术科学以及社会科学之间相互渗透和整体性相互联系日益突出。系统工程正是适应和加强这种整体性联系而创立的一门新兴科学。

系统工程一词起源于美国。早在 40 年代，美国为完成规模巨大的复杂工程、科研及生产任务，开始运用系统观点和方法处理问题。美国贝尔电话公司在发展通讯网络中，为缩短从科学发明到投入使用的时间，经过大量的试验和研究后，认识到只改进和提高电话机设备本身的性能是不能达到目的的，而需要研究整个系统。于是按照时间顺序，把工程分为规划、研究、发展、应用等几个阶段进行，首先提出了系统工程一词。嗣后，由于军事上的需要，运筹学得到广泛

的应用和发展，并在大规模军事工程系统中获得了显著效果。运筹学的这种迅速发展，为系统工程提供了重要的理论基础。随着电子计算机的出现和应用，又为系统工程提供了强有力的运算工具和信息处理手段，并且促进了运筹学和大系统理论的广泛研究和应用，所有这些发展，都为实施系统工程奠定了重要物质基础。

50年代末期，美国海军在顾问公司协助下，完成了“计划评审技术”（“PERT”），用于北极星导弹核潜艇研制计划上，加速了整个系统工程研制的进程，结果使北极星导弹提前两年完成。这是系统工程方面具有重要意义成果之一。

60年代以后，人们设想采用多级递阶控制方法，以解决复杂的大系统问题。这种控制方式的基本思想是将整体控制问题，分解成若干子系统，然后按照整体控制目标，协调各个子系统的运行，以达到整个系统的最佳运行。这种方法曾广泛地应用于大规模生产系统的自动控制，管理信息系统，大型科研计划及组织管理的最优设计问题。

阿波罗载人登月计划的成功，是解决复杂大系统最佳控制的突出事例，也是系统工程的辉煌成就。这个计划从1961年开始，历时11年时间，到1972年完成，参加研制的有2万多家公司和工厂，120多所科研机构，42万多工程技术人员，使用了600多台计算机，耗资300多亿美元。它在整个计划的组织管理、技术实施过程中，采用了一系列系统工程的方法。

当今世界正进入一个信息化的时代，大量信息存在于系统之中，需要通过对大量信息的处理以实现最佳选择和决策。当代大型计算机的应用，给系统工程带来了飞跃发展的

可能性，使系统工程研究的范围也扩大到包括技术的、自然的以及社会的各种复杂大系统。近年来，系统工程的研究和应用已扩大到工农业生产、交通运输、环境保护、生态科学、能源利用等部门的规划、布局、制定技术政策，以及城市建设和国民经济发展规划等社会经济领域。

国际上，为解决经济发达国家所共同关心的环境、生态、城市、能源等问题，成立了国际间系统工程的研究机构；各国学者不断召开系统工程学术会议；系统工程的学术论文、专利、专著纷纷问世。这一切都大大地促进了系统工程科学的发展。

目前，在世界上享有较高声望的致力于系统工程的科学研究机构有：

国际应用系统分析研究所（IIASA）——成立于1972年，现有17个成员国，总部设在奥地利的维也纳。

美国贝尔实验室——1955年成立系统工程部。

兰德公司（Rand corporation）——1948年成立，总部设在洛杉矶，现有一千多名研究人员。

斯坦福研究所——有两千多名研究人员。

联邦德国工业设备企业公司（IABG）——成立于1961年，总部设在慕尼黑，有1400多名研究人员。

自1962年以来，在我国也开展了对尖端技术进行科学管理的系统工程的探讨和研究，取得了良好的成果。尤其近年来，在我国实现社会主义现代化的过程中，迫切需要从社会主义建设的总体出发，全面规划，统筹安排，促进社会变革。因此，系统工程这门科学已得到了国内各行各业的普遍重视，并积极开展研究和应用。实践证明，要建立一个现

代化国家，不仅要发展现代科学技术，而且要研究和发展现代组织管理方法，这两者是推动生产发展、提高社会生产率的两个车轮，缺一不可。因此，今后在我国积极开展系统工程的研究和广泛应用，具有十分重要的现实意义。

1.3 系统的概念

1. 系统的定义

系统 (System) 一词，源于古希腊语，有共同、放置的意思。韦氏大辞典 (Webster) 中，系统一词被解释为：“有组织的或被组织化的整体”，“由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素集合”。美国著名学者罗·西·阿柯夫教授 (Russell C. Ackoff) 认为：“系统是由两个或两个以上相互联系的任何种类的要素所构成的集合”。

当今我们对系统的定义是“由相互作用和相互依赖的若干组成部分按一定规律结合成的、具有特定功能的有机整体”。从这个意义上来说，系统无处不有。一块手表，一台收音机，一列火车，都是一个系统；一个车间，一个商店，一个医院，也都是一个系统；一个联合企业，一个国家的工业、农业，甚至整个国民经济，整个世界，整个宇宙也都可看作是一个系统。随着科学技术和社会的发展，系统中的单元数目愈来愈多，一部电视机有上千个元件，一架喷气式飞机约有十万个零件，宇宙飞船系统则有 10^7 个单元，而大的城市系统的单元数目就更多了。

2. 系统的特征

作为一个系统，从其定义可表现出它有如下四个特性：

(1) 整体性 系统至少由两个或两个以上的可以相互区别的单元按一定方式所组成。组成系统的各个单元虽然具有不同的性能,但它们是根据整体要求按照一定方式构成的一个具有特定功能的集合体,因而系统不是各单元性能的简单相加。

(2) 相关性 系统内各个组成部分之间是互相联系的、互相制约的,而且这种相互作用的依赖关系是有一定规律的。

(3) 目的性 要研究的任何系统总是具有特定功能,特别是为人所创造和改造的系统,总具有某一整体的目的,系统内各单元正是按照这个目的组织起来的。

(4) 环境适应性 任何一个系统都存在于一定的环境之中,因此,它必然地要与周围环境发生物质、能量和信息的交换。系统必须适应外部环境。在研究系统的时候,环境往往起着重要作用,必须予以重视。

3. 系统的分类

在自然界和人类社会中普遍存在着各式各样的系统,如生物系统、生产系统和消费系统等,概括地说,系统可分为:

(1) 自然系统

所谓自然系统,意即指它的组成部分是自然物,例如,由星体、动物、植物、矿物等组成的系统,象太阳系、银河系、海洋系统、气象系统、生物系统等。

(2) 人造系统

人造系统是人類为了达到各种目的而人为产生的系统,例如,生产系统、运输系统、交通系统、通信系统、信息处理系统、经营管理系统和社会经济系统等。

(3) 复合系统

复合系统是由人造系统与自然系统组合成的系统。如气象预报系统、交通控制系统、航空导航系统等人-机系统。

系统除按上述方式分类外，还可从别的角度进行分类。例如按构成系统单元的属性分类，可分为实体系统和概念系统；如按系统状态是否随时间变化的特征分类时，可分为动态系统和静态系统；按系统的物理结构和数学性质分类时，可分为线性系统、非线性系统、连续系统、离散系统、集总参数系统、分布参数系统、开放系统、封闭系统等。

4. 系统的功能结构

为了实现系统自身的正常运行和功能，系统需要以一定方式构成，应具有保持和传递能量、物质及信息的特征。任何一个系统都要和能量、物质和信息发生关系，这就要求合理的管理和控制能量、物质、信息的流动，才能达到系统的最佳化，其中，信息尤为重要。如一个企业要搞好生产经营，既需要有先进的设备和技术，又需要有合理的组织管理。这就要求它能随时了解同行企业的动向，产业界的动向，国家和市场对产品的需求等，而这些情况本身就是信息。信息不灵，管理不善，都会影响企业的发展与生存。随着自动化程度的日益提高，对信息处理的速度及准确性的要求也随之提高。所以信息资源的充分利用，对系统功能的实现起着十分重要的作用。信息是系统的精髓。没有信息，没有大量的准确信息，系统就不可能合理的工作，也就达不到预期的目的。

系统虽然种类繁多，但若对结构加以仔细分析，就可看出，系统基本上由三部分组成，即输入，处理和输出。