



全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

安全

系统工程

主编 李永怀 彭奏平

煤炭工业出版社

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

安全系统工程

主 编 李永怀 彭奏平

煤炭工业出版社

·北 京·

内 容 提 要

本书是全国煤炭高职高专矿井通风与安全专业“十一五”规划教材之一,与《矿井通风》、《矿井瓦斯防治》等教材配套使用。全书共分九章,内容包括安全系统工程概论、事故致因理论、安全检查表分析法、预先危险分析法、因果分析法、事件树分析法、事故树分析法、安全评价、安全管理等。

本书可作为煤炭高等职业院校采矿专业、矿井通风与安全专业的教材,也可作为煤炭高级技师学院、中等职业学校、成人高校相关专业和各类煤矿干部培训的教材,也可供从事煤矿科研、管理及工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

安全系统工程/李永怀,彭奏平主编. —北京:煤炭工业出版社,2008.7

全国煤炭高职高专“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5020-3291-3

I. 安… II. ①李…②彭… III. 安全工程:系统工程—高等学校:技术学校—教材 IV. X913.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 049605 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
北京京科印刷有限公司 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 787mm×1092mm¹/₁₆ 印张 10

字数 243 千字 印数 1—5,000

2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

社内编号 6096 定价 19.00 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

全国煤炭高职高专矿井通风与安全类“十一五”规划教材

编审委员会

主 任: 幸大学 王永安

副 主 任: 刘殿武 李永怀

秘 书 长: 刘其志

委 员 (以姓氏笔画为序):

王永祥 王占元 王延飞 朱云辉

刘子龙 刘其志 刘学鲁 孙玉峰

孙和应 吕智海 任世英 李 洪

沈 杰 何 林 苏 寿 张长喜

张钦祥 陈 雄 陈光海 姚向荣

高 专 常海虎 郭林祥 彭奏平

前 言

本书由中国煤炭教育学会和中国矿业大学(北京)教材编审室共同组织编写,是全国煤炭高职高专矿井通风与安全专业“十一五”规划教材之一。

安全系统工程是以系统危险的形成、分布、转化以及事故的孕育、产生、发展和终点变化规律为依据,以系统科学、信息科学、控制科学、安全工程理论和安全经济学为基础理论,采用现代管理方法和电子计算机技术对系统安全进行分析,为安全预测和安全决策提供强有力的依据。安全系统工程是矿山安全工程学科中的一个较新的分支,是矿井通风与安全专业的主要专业课程。

本书是根据高等职业教育矿井通风与安全专业人才培养方案的要求编写的。在编写过程中,对安全系统工程的基本理论和基本方法的介绍以够用为度,重点放在运用其理论和方法,分析、解决工程实践中的安全技术和安全管理等问题,旨在满足矿井通风与安全专业高技能人才培养的要求。

本书由李永怀、彭奏平任主编,朱国宏、杜卫新任副主编。具体编写分工如下:陕西能源职业技术学院李永怀编写第一章、第五章、第六章及第九章第五节,平顶山职业技术学院杜卫新编写第二章、第三章,山西煤炭职业技术学院朱国宏编写第四章、第七章,重庆工程职业技术学院杜志军编写第八章,江西工程职业技术学院彭奏平编写九章第一节~第四节。全书由李永怀负责统稿。

在本书编写过程中,吸收和借鉴了同类教材和相关书籍的精华,在此谨向各位原作者表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请有关专家和读者批评指正。

编 者
2008年3月

目 录

第一章 安全系统工程概论	(1)
第一节 系统与系统工程	(1)
第二节 系统分析	(6)
第三节 安全系统工程	(10)
复习思考题	(13)
第二章 事故致因理论	(14)
第一节 概述	(14)
第二节 海因里希工业安全理论	(17)
第三节 现代因果连锁理论	(20)
第四节 能量意外释放理论	(22)
第五节 轨迹交叉理论	(24)
第六节 两类危险源理论	(26)
复习思考题	(27)
第三章 安全检查表分析法	(29)
第一节 概述	(29)
第二节 安全检查表分析法的内容和安全检查表的类型	(30)
第三节 安全检查表的编制方法	(31)
第四节 安全检查表分析法在煤矿中的应用	(33)
复习思考题	(36)
第四章 预先危险分析法	(37)
第一节 危险性的识别方法及危险性等级划分	(37)
第二节 危险性控制的准则与方法	(40)
第三节 预先危险分析法的分析步骤和应用实例	(42)
复习思考题	(44)
第五章 因果分析法(鱼刺图法)	(45)
第一节 概述	(45)
第二节 因果分析图	(46)
复习思考题	(48)
第六章 事件树分析法	(50)
第一节 概述	(50)
第二节 事件树应用与分析中注意的问题	(54)
复习思考题	(56)

第七章 事故树分析法	(58)
第一节 概述	(58)
第二节 事故树的绘制	(63)
第三节 事故树的定性分析	(65)
第四节 事故树的定量分析	(80)
复习思考题	(85)
第八章 安全评价	(87)
第一节 概述	(87)
第二节 危险因素、有害因素的辨识及评价单元的划分	(102)
第三节 安全评价方法	(110)
第四节 安全对策措施	(117)
第五节 安全评价结论	(119)
复习思考题	(121)
第九章 安全管理	(122)
第一节 概述	(122)
第二节 安全人-机工程简介	(125)
第三节 安全目标管理	(131)
第四节 事故应急救援预案	(136)
第五节 职业健康安全管理体系	(142)
复习思考题	(151)
参考文献	(152)

第一章 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着作用。近 20 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,成为安全科学中的一个重要的分支。

安全系统工程是以预测和防止事故为核心,以识别、分析、评价和控制系统风险为重点,开发、研究出来的安全理论和方法体系。它将工程、系统中的安全问题作为一个整体系统,应用科学的方法对构成系统的各个要素进行全面的分析,判明各种状况下危险因素的特点及其可能导致的灾害性事故,通过定性和定量分析对系统的安全性作出预测和评价,将系统事故降至最低的可接受限度。

第一节 系统与系统工程

“系统”(System)一词来源于古希腊语,有“共同”和“给以位置”的含义。根据《Webster 辞典》的说明,“System”是“有组织和被组织化了的全体”。系统工程主要研究的是具有特定功能的系统。

一、系统的定义、分类及特征

1. 系统的定义

简单地讲,系统是由若干要素组成的集合体,这些要素具有特定的功能,相互依存、相互影响,实现一个共同的目标,这就是系统的基本定义。

系统的含义可进一步说明:

(1) 系统应是由两个以上的要素组成的整体,组成整体的各个要素可以是单个事物,也可以是多个事物组成的子系统。

(2) 组成系统的各个要素之间存在着一定的有机联系,从而形成系统一定的结构和程序,系统本身又是它所属的一个更大系统的组成部分。

(3) 系统要实现自己整体的特定功能,而这种整体功能是由系统内部各组成部分之间的结构和有机联系所决定的。

2. 系统的分类

(1) 按照系统的起源可分为自然系统和人造系统。

自然系统是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、原子结构、山脉系统、河流系统、森林系统、矿产系统等。

人造系统是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可分为开放性系统和封闭性系统。

开放性系统是指与外界环境发生联系的系统。即指与环境进行能量、材料、物资、信息交换的系统,它具有输入和输出。如一所学校、一个工厂企业就是开放系统。

封闭性系统是指与外界环境隔绝或不受外界环境影响的系统。如一台机床或设备本身就是封闭系统。

(3) 按照组成系统的要素存在的形态可分为实体系统和概念系统。

实体系统是指组成系统的元素是由实体物质组成的系统。如机械加工、矿物资源、海洋生物系统。

概念系统是指以概念、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。

实体系统和概念系统往往是不可分割的,概念系统可为实体系统提供指导和服务,实体系统作为概念系统的服务对象又可以反映概念系统的优劣。例如,煤矿生产系统是实体系统,而建造煤矿生产系统的设计方案、施工计划与其发展演化设计就是概念系统。

(4) 按照系统与时间的依赖关系可分为动态系统和静态系统。

动态系统是指决定系统特性的因素是随时间的变化而变化的系统。

静态系统是指决定系统特性的因素不会随时间的变化而变化的系统。

(5) 按照系统的构成可分为简单系统和复杂系统。

简单系统是指由性质相近的若干要素组成的系统,如物资系统等。

复杂系统是指由人造系统和自然系统相结合的系统,如农业系统、企业系统以及社会经济大系统等。

自然界和人类社会所构成的系统可以很多,但基本上是上述各类系统的交叉和组合。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。

3. 系统的特征

1) 整体性

系统应由两个以上相互区别的要素组成。其整体性主要表现在系统具有整体功能,这种整体功能是组成要素所没有的新功能。整体功能不是组成要素的堆积,也不是组成要素功能的简单叠加。例如,一台由各种机械零件、部件所组成的机床可以实现机械加工功能,这种整体功能是组成机床的各零部件所不具备的。

2) 集合性

集合的概念就是把具有某种属性的一些对象看成一个完整的整体,从而形成一个集合,集合里的各个对象称为集合的要素(子集)。系统的集合性表明,系统是由两个或两个以上的可以互相区别的要素组成的。这些要素可以是具体的物质,也可以是抽象的或非物质的软件、组织等。如一个计算机系统,一般都是由计算器、存储器、输入与输出设备等硬件组成的,同时,还包含操作系统、程序设计、数据库等软件,从而形成一个完整的集合。

3) 相关性

组成系统的各要素之间是相互作用、相互依存、相互关联、相互制约的关系,某一要素的变化会引起其他要素的变化,并且会影响系统功能的效果。相关性说明这些要素之间相互

联系的特定关系,以及这些关系之间的演变规律。

4) 目的性

系统本身就具有一定的目的(或目标)性。系统具有以特定功能为目的的特征是系统的目的性特征。

5) 结构性

系统的各要素有机的组合形成系统一定的结构和程序,系统的结构及其组成要素之间的有机联系决定着系统的功能。优化系统结构可以使系统的整体功能达到最佳效果,使总体功能超出各单元要素功能的和。系统具有结构的特性即是结构性特征。

6) 层次性

系统由隶属于它的、低层次的要素组成。要素也可是一个系统,亦称子系统。系统由若干子系统组成,同时又可是组成一个更大系统的子系统。系统的这种相互依存的层次结构特征即为系统的层次性特征。

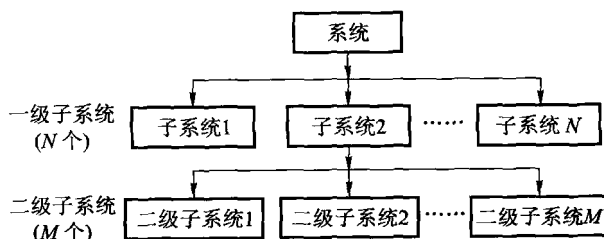


图 1-1 系统的层次结构

7) 动态性

系统不仅以状态而客观存在,而且随时间、组成要素、内部结构、环境条件的变化而变化。系统的存在是动态的,即系统的动态性特征。

8) 环境适应性

系统总是处于某种环境之中,环境是更高级的系统,环境是指一个独立系统的外部联系。系统所处的环境可能制约系统功能的发挥,形成系统的限制条件或称为约束条件。系统作为客观世界的一部分有经过量变到质变的过程,当系统处于量变阶段,系统与环境之间的关系是相对稳定的,这就是系统表现出的对于环境的适应性。系统的这种环境适应性特征,可以说成是系统稳定性在系统外部关系上的表现。

二、系统工程

1. 系统工程的定义

有关系统工程的定义目前还没有一个统一的说法,不同的学者有不同的定义。仅从字面上来看,系统工程就是研究系统的工程技术。系统工程在研究系统的过程中,要运用自然科学、社会科学以及工程与设计的理论和方法,其研究系统的目的是使系统的运行达到最优化。因此,可给系统工程下这样一个简单的定义:系统工程就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,以实现系统目标的综合最优化。

系统工程是以系统为研究对象的一门边缘学科。它是根据总体协调的需要,把自然科

学和社会科学中的某些思想、理论、方法、策略和手段等有效地结合起来,应用于人类实践。运用系统理论、控制论、信息论和电子计算机等工具,对系统的构成要素、组织机构、信息交换和自动控制等功能进行分析研究,从而达到最优设计、最优控制和最佳管理的目的,是为更加合理地研制和运用系统而采取的各种组织管理技术的总称。

2. 系统工程的特征

系统工程的基本原理,就是用管理工程的办法组织管理整个系统。它以系统为对象,把要组织和管理的事物,用概率、统计、运筹、模拟等方法,经过分析、推理、判断、综合,建成某种系统模型,以最优化的方法,求得最佳化的结果。亦即使系统达到技术上先进、经济上合理、时间上最省、能协调运转的最优效果。因此,它具有以下特征:

- (1) 优化的方法使系统达到最佳。
- (2) 与具体的环境和条件、事物本来的性质和特征有密切的相关性。
- (3) 它着眼于整个系统的状态和过程,而不拘泥于局部的、个别的部分,它表现出系统最佳途径并不需要所有子系统都具有最佳的特征。
- (4) 它包含着深刻的社会性,涉及组织、政策、管理、教育等上层建筑因素。
- (5) 它的精华在于它是软技术,即在科学技术领域,由重视有形产品转向更加重视无形产品带来的效益。

3. 系统工程的产生及其发展

19 世纪后半叶及 20 世纪初先后出现了电子系统工程学、控制系统工程学、人机系统工程学等学科,大大促进了 20 世纪科学技术和航天技术以及计算机技术的发展。同时,也促使军事技术迅速发展,在第一次和第二次世界大战中得到广泛的应用。

20 世纪 30 年代末,英国面临德国的侵略,一批科学家研究雷达系统的运用问题,创造了“运筹学”一词来命名这个应用科学的新分支。在第二次世界大战期间,运筹学逐步推广到军事决策和战争指挥,著名的大西洋潜艇战役和北非登陆战役,都借助于运筹学取得了胜利。这是系统工程的萌芽。

20 世纪 40 年代初,美国贝尔电话公司首先创造了“系统工程”这一学科名称,在发展微波通信网络时,初步运用了系统工程的方法。以后,贝尔公司和丹麦哥本哈根电话公司在电话自动交换机的工程设计中运用了系统工程方法。美国研制原子弹的曼哈顿计划,采用系统工程方法获得成功成为典型事例。1940 年,爱因斯坦等科学家提出研制原子弹的建议,美国总统罗斯福采纳后,理论物理学家奥本海默组织领导这项军事科研生产计划。他动员了 15 000 名科学家和工程师,组织各种专业科技人员进行全面合作。在执行计划的过程中,奥本海默从整体出发,把研究课题逐级分解为许多小课题,组织相应的小组分别从事各个相同或不同课题的研究工作。他非常重视各项课题之间的联系,注意它们的等级和层次,随时进行协调,使所有课题结合起来达到整个计划的最优结构;在生产原子弹材料的中心研究项目方面,他组织大家仔细研究,提出六七千个方案同时试用,在实践中比较优劣。1944 年 5 月,第一颗原子弹爆炸成功,这是大规模地组织起来顺利地地完成一项军事科研生产任务的著名实例,是系统工程方法的成功应用。

1967 年,举世瞩目的美国航天局阿波罗登月计划的实现,是正式运用系统工程的巨大成功。规模巨大的载人登月计划,参加的科学家和工程师等达 42 万人,投资 300 亿美元,参加单位 2 万多个,历时 11 年完成全部任务。这是科技史上的伟大壮举,它标志着人类

在组织管理的技术方面正在走向一个新的时代。由此引起的美国和前苏联在航天技术上的相互竞争,促进了各个学科之间的相互渗透,使得系统的原理和方法在实用科学领域的应用和发展出现了前所未有的高潮。同时,世界范围内重大事故频频发生,引起了人们对系统可靠性和安全性的研究和开发的高度重视,出现了运用系统的原理和方法以及系统工程对系统安全进行研究的科学方法。为其他科学领域的飞跃,提供了可靠的理论基础和实践基础。

钱学森教授对系统工程的建立和发展作出了重大的贡献。早在1954年的英文版《工程控制论》中,钱学森教授就提出用重复不那么可靠的元件组成高度可靠的系统问题。1955年钱学森教授就表示了把运筹学和社会主义计划经济结合起来的想法。钱学森教授比较深刻地理解系统工程、运筹学、控制论的关系,理解系统工程始终涉及人的因素,他在吸取国外现代科学技术知识之后,对系统科学首先提出了一个清晰的现代科学技术的体系结构,认为从应用实践到基础理论,现代科学技术可以分为四个层次:第一个层次是工程技术;第二个层次是直接为工程技术作理论基础的技术科学;第三个层次是基础科学;第四个层次是通过进一步综合、提炼达到最高概括的马克思主义哲学。整个科学技术包括自然科学、社会科学、系统科学、思维科学和人体科学五大部分。其次,他提出了一个清晰的系统科学结构。作为现代科学技术的系统科学,是由系统工程的工程技术、系统工程的理论方法(运筹学、控制论和信息论这类技术科学)以及系统的基础理论等组成的一门新兴科学技术。这就给系统工程一个确切的描绘,进而论述了系统工程在整个系统科学体系中所处的地位。

三、系统工程的基本观点

1. 全局观点(系统性、整体性)

全局观点就是强调把要研究和处理的对象看成一个系统,从整个系统(全局)出发,而不是从某一个分系统(局部)出发。

全局性的观点承认并坚持:凡是系统都要遵守系统学第一定律,即系统的属性总是多于组成它的元素在孤立状态时的属性;在复杂系统内部或这个复杂系统和环境中其他系统之间,存在着复杂的互依、竞争、吞噬或破坏关系;一个系统可以在一定的条件下由无序走向有序,也可以在一定的条件下由有序走向无序;对于非工程系统的研究,必须保证模型和原系统之间的相似性等基本观点。

2. 总体最优化(满意性)的观点

人们设计、制造和使用系统最终是希望完成特定的功能,而且总是希望完成的功能效果最好。这就是所谓最优计划、最优实际、最优控制和最优管理和使用等。这里需要使用运筹学中的优化方法、最优控制理论、决策论等。值得注意的是近年来关于多目标最优性的讨论。由于考虑的功能很多,有的系统方案在这方面功能较好,而另一方面较差,很难找到一个十全十美的系统。在一些互相矛盾的功能要求中,必须有一个合理的妥协和折中,再加上定性目标的研究有时很难做到定量的最优化。因此,近年来有人开始提出“满意性”的观点,也就是总体最优性的观点。

系统总体最优性包含三层意思:一是空间上要求整体最优;二是从时间上要求全过程最优;三是从综合效应反映出来的总体最优性,它并不等于构成系统的各个要素(或子系统)都是最优。

3. 实践性的观点

系统工程和某些学科的区别之一,是它非常注重实用,如果离开具体的项目和工程也就谈不上系统工程。正如钱学森教授指出的:“系统工程是改造客观世界的,是要实践的”。当然,实践性并不排斥对系统工程理论的探讨和对其他项目系统工程经验的借鉴。

4. 综合性的观点

由于复杂的大系统涉及面广,不但有技术因素,还有经济因素、社会因素等,仅靠一两门学科的知识是不够的,需要综合应用诸如数学、经济学、运筹学、控制论、心理学、社会学和法学等各方面的学科知识;由于一个人所掌握的学科知识有局限性,所以系统工程的研究需要吸收各方面的专家、领导、工程技术人员乃至有经验的工人参加,组成一个联合攻关和研究小组开展工作。

5. 定性和定量分析相结合的观点

运用系统工程来研究并解决问题,强调把定性分析与定量分析结合起来。这是因为在处理一些庞大而复杂的系统时,经典数学的精确性与这些大系统的某些不确定性因素存在着不少矛盾。因此,在对整个系统进行定性分析和定量分析时,必须合理地将定性分析与定量分析有机地结合起来。脱离定性研究来进行定量分析,就只能是数学游戏,不能说明系统的本质问题;相反,只注意对系统进行定性分析而不进行定量研究,就不可能得到最优化的结果。

第二节 系统分析

整体的效果和功能,不仅与其组成部分的效果和功能有关,还取决于它们的相互联系和相互作用,还受到环境条件的限制。不论是组建新系统或是改进现有系统,都必须对系统的目标和功能、环境以及系统内部关系进行认真分析,作出正确的判断和决策,使系统和环境相适应,系统内部相互协调,以保证系统整体功能和目标的实现。系统分析就是完成此项任务的中心环节,在系统工程中起着最重要的作用。

一、系统分析的概念与特点

1. 系统分析的概念

关于系统分析的概念有许多说法。一般来说,系统分析就是从系统总体出发,对需要改进的已有系统或准备创建的新系统,使用科学的方法和工具,对系统目标、功能、环境、费用效益等进行调查研究,并收集、分析和处理有关资料和数据,据此建立若干备用方案和必要的模型,进行模拟、仿真试验,把试验、分析、计算的各种结果进行比较和评价,并对系统的环境和发展作出预测,在若干选定的目标和准则下,为选择对系统整体效益最佳的决策提供理论和试验。

系统分析的目的在于分析系统内部与系统环境之间、系统内部各要素之间的相互依赖、相互制约、相互促进的复杂关系,分析系统要素的层次结构关系及其对系统功能和目标的影响,通过建立系统的分析模型使系统各要素及其与环境之间的协调达到最佳状态,最终为系统决策提供依据。

系统分析是一种辅助决策工具。借助系统分析,决策者可以获得对问题的综合和整体的认识,既不忽略内部各因素的相互关系,又能顾及外部环境变化带来的影响。特别是借助

各种模型、模拟试验和定量计算,可为决策者提供可靠数据依据。显然,科学的系统分析会使决策建立在科学的基础上,以最有效的策略解决复杂的问题,以期顺利地达到系统的各项目标。系统分析的目的和作用如图 1-2 所示。

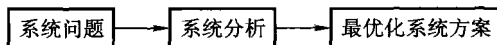


图 1-2 系统分析的目的和作用

2. 系统分析的特点

(1) 系统分析应以整体为目标,以发挥系统整体效益最大化为准则,而不是局限于个别子系统,以防顾此失彼;以特定问题为对象,针对性地寻求解决特定问题的最优方案。

(2) 系统分析应注意运用定量方法,避免主观臆断、经验和直觉对系统分析产生偏差。在许多复杂情况下,必须以相对可靠的数学资料为分析依据,保证结果真实客观。

(3) 系统分析不但使用定量方法找出系统中各要素的定量关系,还要依靠直观判断和经验的定性分析,凭借价值判断,综合权衡,以判别由系统分析提供的各种不同策略可能产生的效益优劣,从中选择最优方案。

二、系统分析的原则与方法

1. 系统分析的原则

系统的性质取决于系统的要素以及要素之间的相互关系,又受到环境的影响,关系错综复杂,存在着许多矛盾的因素。因此,在系统分析时,必须认真协调和处理好各种因素的利害关系,特别是对复杂系统进行分析时,应遵循下列原则:

(1) 外部条件和内部条件相结合。系统的性能不仅取决于系统的内部结构,还受环境条件的制约。在分析一个系统时,应将系统内部、外部各种有关因素结合起来考虑。

(2) 当前利益和长远利益相结合。选择一个比较好的方案,不仅要当前利益出发,而且还要考虑到长远利益。只顾当前利益不考虑长远利益的方案是不可取的;对当前不利而对长远有利也是不理想的;对当前和长远都有利,才是最理想的方案。

(3) 局部效益和整体效益相结合。局部效益好并不意味着整体效益也很好,总体效益好往往要求某些局部效益作出一定的牺牲。系统要求的是整体效益最优化。局部效益好但整体效益不好甚至有损失的方案是不可取的;局部效益低而全局效益好的方案才是可取的。

(4) 定量分析与定性分析相结合。定量分析是指数量指标的分析,可用现实模型表示,这是评价方案优劣的依据。但绝不能忽视定性因素,如某些政治、政策、心理因素、社会效果等。这些因素无法用数学模型表示,只能进行定性分析,即根据经验主观判断和统计分析来解决。此外,定量分析必须以定性分析为指导,不对系统作深入了解,就不能正确建立探讨定量分析的数学模型。定性和定量两者应结合起来综合分析,或者互相交错进行,才能达到优化的目的。

2. 系统分析的方法

系统分析没有一套特定的普遍适用的技术方法,根据分析对象和分析的问题不同,所使用的具体方法也不同。一般来说,系统分析的各种方法可分为定量方法和定性方法两大类。

定量方法主要是运用统计学和运筹学中各种模型化和最优化的方法,如线性规划、动态

规划、网络技术、排队论、决策分析等。定量方法适用于系统机理清楚、收集到的信息准确、可建立数学模型等情况。如果要解决的问题涉及的机理不清,收集到的信息不准确、模糊不清,或是有信息,但由于评价者的偏好不一,对于所提方案评价不一等,难以形成常规的数学模型,即可采用定性的方法。定性的方法有专家调查法、头脑风暴法、冲突分析法、层次分析法、可满意度法等。

计算机是系统分析的主要工具。系统工程的主要研究对象是复杂系统,涉及大量信息的收集、处理、存储、汇总、分析。另外,系统中往往存在着许多不确定的或互相矛盾的因素,为弄清这些因素和系统功能之间的关系,需要建立相应的模型,进行复杂的科学计算、仿真试验。这些都只有借助计算机才能完成。

三、系统分析的要素与步骤

1. 系统分析的要素

系统分析的要素有:目标、替代方案、费用效果、模型和评价基准。

(1) 目标 是为达到一定的目的,期望系统对象所达到的目的和方向,是目的的具体化,是系统分析的出发点。经过分析确定的目标应是具体的、有根据的、可行的。

(2) 替代方案 达到一定的目的和期望目标,可采用多种手段,这些手段称为可行方案或替代方案。系统分析要求尽量列举各种替代方案,并且估计它们可能产生的结果,以便分析研究和选择。替代方案是选优的前提,没有足够数量的替代方案就没有优化。在列举各种方案时要考虑两点:一是所运用的方法是否可行;二是所采用的方案是否可靠。

(3) 费用和效果 为实现系统目标就必须投入,其实际支出就是费用。费用有可用货币表示的费用和非货币支出的费用两种,如失去的机会、所做的牺牲等。为了实现某种目的而选择的特定手段,会使一些资源或时间不能用于其他目标,所以会产生牺牲。

效果就是达到目的所取得的成果。它有“效益”和“有效性”两种指标。效益可以用货币表示,而有效性是通过货币以外的指标来衡量的。效益又有直接效益和间接效益之分。

为实现一定的目标,不同的替代方案消耗的资源不同,产生的效果也不同。费用与效果的分析与比较是决定方案取舍的重要标志。在分析和对比时,除考虑货币支出费用和效益外,还必须注意非货币支出的费用和有效性。

(4) 模型 是对研究对象的某一方面本质属性的简化、模拟和抽象,是分析研究对象的有关因素之间关系和规律的有力工具。由于人和现实系统本身总是十分复杂,特别是在各种替代方案实施之前,总不能对系统本身进行比较,分析各种方案的优劣。借助模型可进行这种分析比较。通过模型可以预测出各种替代方案的目标、性能、费用与效益、时间等指标情况,便于方案的分析和比较,模型的优化和评价是方案论证的判断依据。

(5) 评价标准 是衡量替代方案优劣的指标。由于系统往往是多目标,用单个指标来评价是不充分的,必须用一组互相联系的可以比较的指标来衡量,这就是系统的指标体系。不同的系统可有不同的指标体系,可根据有关要求具体地去确定。有了指标体系,就可以分析各种替代方案对各项指标的实现程度,并进行综合评价,权衡利弊,确定出各种方案的优劣顺序。

2. 系统分析的步骤

系统分析应遵循一定的步骤,如图 1-3 所示。其逻辑推理程序是:由系统概念形成问题,由问题产生目标,再依据目标去寻找最佳方案。

(1) 限定问题 问题就是显示的情况与理想的状态之间的差距。实际情况与人们原来的要求、设想不符,使人们感到不能满意、不能容忍时,就可说是出了问题。系统分析的主要目的是寻求解决特定问题的最优方案。显然,进行系统分析,首先要明确所要解决的问题,弄清问题的实质。问题常常不是一目了然的,往往为一些表面现象甚至假象所掩盖而不易察觉。为了准确地发现问题,需要收集有关资料和数据,掌握对象的历史和现状,预测未来发展趋势,进行纵横比较,甚至组织专家进行诊断。问题发现后,进一步的工作就是限定问题。通常,问题是在一定的外部环境条件下和系统内部发展的需要中产生的,有其本质属性和存在的范围,只有明确了问题的性质和存在的范围,在系统分析中才能有可靠的起点。限定问题就是明确问题的实质和存在的范围,也就是弄清要解决的到底是什么问题,性质如何,严重程度怎么样,涉及哪些因素,应把哪些因素作为系统来研究,环境因素是什么。显然,界限与被研究的问题有很大的关系,问题不同,界限也不同。不能正确地构成问题,或者问题的范围过窄、过宽,或问题的重点和关键不明、不对,就不可能搞好系统分析。

(2) 确定目标 弄清并提出为解决问题需要达到的目标。有了明确的目标,系统分析才能有的放矢,才能判断问题是否解决。系统可能只有单一目标,也可能有多个目标,复杂系统都是多目标系统。所确定的目标应明确、具体,尽可能定量表示(也称指标),以便于定量分析;对那些不能进行定量描述的目标也应用文字说明清楚,对这些目标只能进行定性分析。

(3) 收集资料提出方案 系统分析需要有可靠的数据和资料。资料来源包括统计调查资料和预测资料。收集资料可借助于调查、实验、观察、记录以及引用国外资料等方式。对资料收集的要求是:第一,具有完整性,切记盲目性,往往资料很多,但并不是都有用,应对照目标尽可能地收集和整理有关的直接和间接资料;第二,具有可靠性,对说明重要目标的资料必须经过反复核对和推敲。

方案是指达到目标的各种策略,达到同一特定目标可能有多种不同的方案。紧紧围绕所确定的目标,根据收集的资料找出影响目标的诸因素,集思广益,提出能达到目标的各种替代方案。

(4) 建立模型 通过构造模型简化系统,确认影响功能和目标的因素及其影响程度、因素之间相互关系及其与环境因素之间的关系,以定量形式表示。

(5) 分析效果 通过模型对各种替代方案可能产生的结果和目标能够达到的程度进行分析。比如费用指标,则应考虑投入的人力、设备、资金等,不同方案的输入、输出不同,其结果也不同。当模型复杂、计算工作量大时,应使用计算机进行计算或者模拟。

(6) 综合评价 在上述定量分析的基础上,进一步考虑定性因素,以评价基准为尺度,对各种替代方案进行比较,排出优先顺序,最后选出一个或几个可供决策者选择的方案,以供参考。如对选择的方案不满意,可返回到开始步骤,重新分析。

以上只是一般步骤,对实际问题应根据具体情况,采取不同的具体方法和步骤。

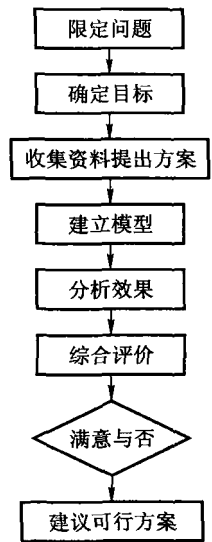


图 1-3 系统分析步骤

第三节 安全系统工程

一、安全系统工程的基本概念

安全系统工程(Safety System Engineering)是以系统危险的形成、分布、转化以及事故的孕育、产生、发展和终点变化规律为依据,以系统科学、信息科学、控制科学、安全工程理论和安全经济学为基础理论,采用现代管理的数学方法和电子计算机技术对系统安全或安全系统进行分析,为安全预测和安全决策提供强有力的依据,谋求整体的安全化过程。它是研究系统安全和系统的设计、工程技术手段以及管理方法的技术科学;是使人类社会经济活动、生产科研活动,达到最佳安全状态的一种技术科学的研究方法。

二、安全系统工程的内容

安全系统工程主要包括系统安全分析、安全评价和采取措施三个方面的内容。

1. 系统安全分析

为了充分认识系统的危险性,必须对系统进行细致正确的分析,才能作出正确的评价,采取正确的措施。根据不同的需要,进行详细、定性、定量的分析,满足不同项目的需要,采取不同的措施。

1) 安全系统分析的五个基本要素

安全系统分析有安全目标、可选用方案、系统模式、评价标准、方案选优五个基本要素。

(1) 把所研究的生产过程或作业形态作为一个整体,确定安全目标,系统地提出问题,确定明确的分析范围。

(2) 将工艺过程或作业形态分成几个单元和环节,绘制流程图,选择评价系统功能的指标或顶上事件。

(3) 确定终端事件,应用数学模式或图表形式及有关符号,以使系统数量化或定型化;将系统的结构和功能加以抽象化,将其因果关系、层次及逻辑结构变换为图像模型。

(4) 分析系统的现状及其组成部分,测定与诊断可能发生的事故的危险性、灾害后果,分析并确定导致危险的各个事件的发生条件及其相互关系,建立数学模型或进行数学模拟。

(5) 对已建立的系统,综合采用概率论、数理统计、网络技术、模糊技术、最优化技术等数学方法,对各种因素进行数量描述,分析它们之间的数量关系,观察各种因素的数量变化及规律。根据数学模型的分析结论及因果关系,确定可行的措施方案,建立消除危险、防止危险转化或条件偶合的控制系统。

2) 系统安全分析一般步骤

(1) 系统地提出问题,明确目标和范围。

(2) 选择评价系统功能的指标或顶上事件。

(3) 明确系统的组成要素以及相互间的因果关系、逻辑关系。

(4) 建立数学模式或数学模型。

(5) 分析数学模型特点,使系统数量化和定量化。

(6) 提出各种可选用的方案,根据模型结论及因果、逻辑关系,确定可行的措施方案。

(7) 建立满足目标要求的控制系统。

系统安全分析的最优化是利用因果关系、逻辑推理、数学模型进行安全分析和决策判