

高等学校教学用书

■ 田取珍 史鹏飞 孙惠民 编著

采矿系统工程学

CAIKUANG

XITONGGONGCHENGXUE

煤炭工业出版社

高等学校教学用书

采矿系统工程学

田取珍 史鹏飞 孙惠民 编著

煤炭工业出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书共分三篇，第一篇主要讲述系统理论和系统工程的基本方法和原理；第二篇主要讲述系统工程理论和技术在采矿工程中的具体应用；第三篇主要讲述矿山系统控制的一般理论。本科生重点学习第一篇内容，第二、三篇可选修有关章节；硕士研究生可参阅学习第三篇的内容。

本书为采矿工程专业本科生、研究生的教学用书，也可作为矿山企业管理工作者的参考用书。

前 言

人类进入 21 世纪以来,随着现代科学技术的不断发展和进步,由此引发的物质、能量、信息之间的交换更加丰富,事物之间的相互联系日益加强,特别是随着全球经济一体化的形成,生产规模更加趋向于复杂化、集团化和现代化,需要人们从个体到整体相关联的角度去考虑和解决问题,这就是系统的思想——整体性观念、相互联系的观念、发展的观念的应用。在系统思想的具体应用中,不仅要求定性分析问题,而且要求定量解决问题,强调从全局出发,根据系统总体协调的需要,合理调配各方面的资源(社会的、环境的、自然的等),最终求得在全局效果最佳的目标下,达到最合理的决策效果,这就是系统工程。系统工程是一门新兴的交叉学科,系统工程的思想已广泛应用于传统科学以及人们日常生活管理的许多领域,它改变了人们观察世界的方法和角度,并丰富了人类对自然和社会的认识。

采矿系统工程学是系统工程的思想、原理和方法在采矿工程各领域的应用。随着科学技术的发展,采矿工程技术也得到了长足的进步,在采矿工程的管理和决策中,系统工程思想和方法经常得到管理人员与领导者的应用,甚至在处理复杂问题时不能不采用系统工程的方法去解决这些问题。可以预见,随着经济、技术和社会发展的日益复杂化,了解系统工程,运用系统工程思想和方法去解决较复杂的问题,对于矿山企业中的管理工作无疑具有重要意义。

本书就是基于上述观点并在十多年的教学、科研工作的基础上编写而成的。全书共分三篇,第一篇主要讲述系统理论和系统工程的基本方法和原理;第二篇主要讲述系统工程理论和技术在采矿工程中的具体应用;第三篇主要讲述矿山系统控制的一般理论。由于系统工程的方法和技术总是在不断发展的,很难把所有系统工程的方法全部包罗于本书内,但是,系统思想及系统工程的基本原理是不变的,因此,学习本书应以掌握系统思想及系统工程的原理为本,若囿于具体的方法和技术,则是舍本求末。

本书由田取珍、史鹏飞和孙惠民共同编著完成。其中前言、第一篇中第一章、第二章由田取珍编著;第一篇中第三章、第四章及第三篇中第一章、第四章、第六章由史鹏飞编著;第二篇及第三篇中第二章、第三章、第五章由孙惠民编著。

本科生重点学习第一篇内容,第二、三篇可选修有关章节;硕士研究生

可参阅学习第三篇的内容。

本书在编写过程中，力求体现系统工程发展的最新成果，并通过十几年的教学实践，努力地加以更新、充实和提高，但由于系统工程理论发展迅速，涉及的知识面广泛，加之采矿工程本身也在飞速发展，同时由于编著者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

本书可作为本科生、研究生的教学用书，也可作为矿山企业管理工作者的参考用书。

有关系统工程的文献很多，本书在编写过程中采纳、吸收了其他文献的许多优点，对参考文献的编者表示感谢。

康立勋教授对全书的形成提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢。

本书在编著过程中，李建忠、丰建荣同志给予了许多支持，在此表示感谢。

编 著 者

· 2005 年 12 月

目 录

第一篇 系统科学方法论

第一章 系统论·控制论·信息论	2
第一节 系统论简介	2
第二节 控制论简介	9
第三节 信息论简介	11
第二章 耗散结构论·协同论·突变论	14
第一节 耗散结构论简介	14
第二节 协同论简介	15
第三节 突变论简介	17
第三章 系统工程基础理论简介	19
第一节 运筹学简介	20
第二节 灰色系统理论简介	21
第三节 模糊数学简介	23
第四节 神经网络简介	23
第五节 人工智能简介	27
第四章 矿山系统工程分析方法	30
第一节 矿山系统分析方法	30
第二节 霍尔三维结构	33
第三节 矿山系统建模理论	35
第四节 矿山系统预测技术	37
第五节 矿山系统决策技术	48
第六节 矿山系统网络技术	53
第七节 矿山系统模拟技术	62
第八节 矿山系统可靠性分析技术	73
第九节 层次分析法	80
第十节 可持续发展理论	86

第二篇 矿山系统构建

第一章 矿区规划	93
第一节 矿区规划总论	93
第二节 矿区各系统分析及评价准则	94
第三节 矿区煤炭产量预测	97
第四节 矿区发展方案 0-1 规划	98
第五节 矿区改扩建和新建矿井目标规划	101
第六节 矿区可持续发展评价	108
第二章 矿井系统构建与设计	118
第一节 矿井系统设计	120
第二节 矿井合理井型的确定	124
第三节 矿井设计方案的优化	128
第四节 采区巷道布置及其参数的最优化	141
第五节 用层次分析法选择最佳回采方式	159
第六节 工作面生产系统计算机模拟	165
第七节 综采工作面技术经济指标预测	169
第三章 矿井建设系统设计与管理	174
第一节 矿井建设系统	174
第二节 矿井建设施工组织与管理	174
第三节 解决矿井建井工期的统筹法	176

第三篇 矿山系统控制

第一章 矿山系统控制概述	184
第一节 矿山系统控制的目的、基本方式、基本结构	185
第二节 矿山控制系统的基本描述	187
第三节 矿山系统控制的作用和一般方式	192
第四节 多级递阶控制	195
第二章 矿山企业管理信息系统	201
第一节 信息及矿山信息系统	201
第二节 矿山企业管理信息系统	205

第三章 经营决策与计划控制	214
第一节 煤炭品种决策	214
第二节 煤炭产量决策	217
第三节 煤炭质量决策	220
第四节 煤炭生产方式决策	223
第五节 目标利润额及目标利润率的决策	225
第六节 业务计划	228
第七节 计划控制——差异分析法	229
第四章 生产组织与生产控制	236
第一节 生产组织	236
第二节 生产控制	243
第五章 人力资源组织与控制	251
第一节 人力资源规划	252
第二节 人力资源需求预测	253
第三节 职务分析与设计	254
第四节 人力资源开发	256
第五节 人力资源控制	258
第六节 职工人数增长幅度控制	259
第七节 劳动生产率增长幅度的控制	260
第六章 会计控制	263
第一节 会计预算控制	267
第二节 收入、成本控制	269
第三节 财务风险预警	271
第四节 会计控制评价系统	275
参考文献	277

第一篇 系统科学方法论

系统思想的基本涵义包括事物的整体性观念、相互联系的观念、演化发展的观念。

系统观念，源远流长。中国古代管子的《地员篇》、《诗经》中关于农事的《七月》、西汉的《汜胜之书》等，对农作与种子、地形、土壤、水分、肥料、季节、气候诸因素的关系进行了辩证的论述。齐国名医扁鹊治病按病人气色、声音、形貌综合辩证，运用砭法、针灸、汤液、按摩、熨帖多种疗法。西汉初年的医学总集《黄帝内经》，则强调人体器官的有机联系、生理现象和心理现象的联系、身体健康和自然环境的联系。战国李冰设计的都江堰，包括“鱼嘴”岷江分水工程、“飞沙堰”分洪排沙工程、“宝瓶口”引水工程，工程之间密切联系，形成一个协调运转的工程总体。我国古代根据天体运行和季节变化的联系，编制出历法和指导农事活动的 24 节气。所有这些古代的农事、医药、工程方面的成就，在不同程度上反映了朴素的系统概念的自发应用。

我国春秋时期的思想家老子用朴素的唯物主义辩证思想论述了自然界的统一性；古希腊的辩证法奠基人之一赫拉克利特在《论自然界》一书中说：“世界是包括一切的整体”；而古希腊唯物主义者德莫克利特在《宇宙大系统》中认为原子组成万物，形成不同层次的世界。这说明朴素的系统概念，不仅表现在古人类的实践中，而且在哲学思想中也得到了反应。

古代朴素唯物主义哲学思想虽然强调对自然界整体性、统一性的认识，但缺乏对这一整体各个细节的认识能力，因而对整体性和统一性的认识是不完全、不系统、不深刻的。

15 世纪下半叶，近代科学开始兴起，力学、天文学、物理学、化学、生物学等科学逐渐从自然哲学中分离出来，获得日益迅速的发展，形成了独特的分析方法，包括实验、解剖和观测，把自然界的细节从总的自然联系中抽出来，分门别类地加以研究。300 多年来，这种研究方法——还原论，对科学、技术、文化的蓬勃发展起着不可磨灭的作用，这种自下而上的演绎法对小系统是非常成功的，但它撇开总体的联系来考察事物和过程，蕴含着极大的局限性。随着人们对客观事物认识的不断扩展和深化，还原论的局限性就日益显露出来，如：亿万个原子可以结合成固体，也可以结合成液体，如果由原子的性质来分析推断物质的性质显然不准确；同样的一群人组成的企业今天是繁荣的，明天可能衰落了，所以由个人的行为来说明企业的兴衰就有失偏颇。还原论就像一个人鼻子贴着墙看壁画，对人们从了解部分到了解整体、从分析具体细节到掌握普遍联系产生了障碍。

系统科学的早期，人们为了把握整体，在整体性观点指导下进行还原和分析，通过整合有关部分的认识以获得整体的认识，这样处理对于比较简单的系统，一般还有效，但当对复杂系统进行分析时，仅靠分析——重构的方法就显得不够用了。把对部分的认识累加起来的方法，本质上不适宜描述整体。

一直到了 20 世纪，在现代科学、技术、文化发展的基础上形成了科学的、定量的系统思想。特别是在第二次世界大战中，交战双方为了取胜都需要在全局效果最佳的目标下，对所采取的战略和战术进行精确的定量分析。为了这样一种强烈的需要，双方以极大的力量把一大批有才干的科学工作者吸引到拟定与评价战争计划、改进作战技术和军事装备

使用方法的研究中，其结果就是定量化系统方法和电子计算机的出现，并成功地应用于作战分析。战后，定量化系统分析方法开始广泛地用来分析工程、经济、社会领域的大型复杂系统问题，成为一套具有数学理论、能够定量处理系统各组成部分相互联系的科学方法。

系统论方法强调还原论方法和整体论方法相结合，分析方法与综合方法相结合，定性描述与定量描述相结合，局部描述与整体描述相结合，确定性描述与不确定性描述相结合，静力学描述与动力学描述相结合，理论方法与经验方法相结合，精确描述与近似描述相结合，科学理性与艺术直觉相结合。

当今科学技术的主流是向着宏观、交叉和复杂的整体化的趋势发展的。人类在探索各种自然现象和社会现象时，必然要面对各式各样包含大量个体的系统，这些各式各样的个体怎样组成形形色色的系统？较简单的个体运动又怎样组合为较复杂的系统群体行动？这些问题在本质上都是系统问题。至于人工宇宙探秘，经济全球一体化、可持续发展等重大问题，更需要系统科学的观念、理论、方法和技术。

系统科学发展到今天，已经由系统论、控制论、信息论（亦称老三论）发展到了耗散结构理论、协同论和突变论（亦称新三论），新、老三论在发展过程中互为基础、互相促进、不断渗透、交替前进，极大地促进了世界科学图景的改观以及人类思维方法和认识方法的变革，使人类生产技术得以更迅速地发展，人类对大自然、对生产和经营的管理、调节和控制更加自如。

第一章 系统论·控制论·信息论

第一节 系统论简介

系统指由互相依赖的若干事物结合而成的具有特定功能的有机整体。传统的观念认为，世界是由物质和能量组成的，但随着现代科学技术的发展，人们越来越确信，世界的组成成分不仅有物质和能量，也包含着信息。从系统的观点看，整个世界就是一个系统的等级序列。所以，物质、能量和信息是组成系统的三个基本元素，任何系统都是这三个基本元素相互作用的产物。

物质由联系构成系统，而万物间之所以会有联系是由于能量和信息的作用。我们知道，物质都在运动着，运动是物质的存在形式，而能量是物质运动的一般度量，因此，一切物质都具有能量。在一个守恒系统中，能量可以互换，而且服从守恒定律。这就是物质和能量的关系。

那么，信息和物质、能量又是什么关系呢？对信息的狭义理解是指消息、情报、数据和信号等有关周围环境的知识。广义的信息可理解为事物的存在方式和运动状态，以及这种方式、状态的直接和间接表述。信息的产生、表达、传递、存储等都离不开物质，要以物质作为载体；信息的获取和传递又需要能量来进行，而能量的转换和传递又离不开信

息。人类社会更是如此，一切物质和能量的生产和流动都是在人类发出的信息的控制下进行的。

矿山作为一个整体即为一个系统。矿山系统的形成一般要经过地质勘探与测量、矿区规划、矿井设计、施工等环节，矿山系统的存在包括生产子系统及管理子系统。在矿山系统的形成及存在过程中，它需要能量来维持，具体来说就是资金、劳力以及动力等，而能量的转化又需要信息的传递，如成本、利润、时间等等。矿山系统的变化、运动也是以信息为先导并受信息的控制的。

一、系统的共性及矿山系统的特性

系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的具有特定功能的有机整体，而且这个“系统”本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。因此，一般系统应具有整体性、有序性（层次性和动态性）和相关性的共同特点。

（一）系统的共性

1. 整体性

1) 系统目标、规律、功能的整体性

（1）系统的各组成要素的活动结果是为了保证系统目标的实现，并力求这些活动的配合和协调是最佳的——系统目标的整体性。

例如，在矿井生产系统中，开采、掘进、井下运输、矿井提升、矿井通风、矿井供电等各子系统的活动都是为了最有效地生产出煤炭，而且需要在上述各子系统的协调配合下完成。在生产中有这样的口号：“掘进为了回采，回采必须掘进；安全为了生产，生产必须安全”，即体现了系统目标的整体性。

（2）系统的性质和运动规律只有在整体上才能显示出来，各要素之间的联系和作用离不开整体的协调——系统规律的整体性。

例如，在矿井生产系统中，开采、掘进、井下运输、矿井提升、矿井通风、矿井供电等各子系统各有其运动规律，但矿井生产系统的规律只有在各子系统配合成一个整体时，才能显示出来，由此可见，各子系统之间的联系和作用离不开整体的协调。

（3）系统整体性还体现为系统功能的整体性。系统各要素的功能必须服从整体的功能，系统的功能不等于各要素功能的简单相加。确定系统的评价准则，也必须以系统的整体性为基础。

矿井生产子系统的功能各异，但均须服从矿井系统的整体功能，矿井系统的整体功能是在矿井开采、掘进、井下运输、矿井提升、矿井通风、矿井供电等各子系统有机配合下体现的，因此，对矿井生产子系统的评价，也需以系统的整体性为基础。

2) 系统整体联系的有机性

系统之所以能保持它的整体性，是由于各要素之间保持着有机的联系，从而形成一定的结构。

首先，存在于系统整体中的部分，不论该部分是否能作为相对独立的部分存在，都应具有作为整体的部分的内在条件，这种部分只有在整体中才能体现其所具有的意义的意义，一旦离开了整体，就失去了这种作为部分的意义。

其次，系统在运动中按一定的规律进行着整体与部分、部分与部分、整体与环境以及

不同层次之间的信息、能量、物质的交换，并且在交换中保持整体的一定的序，只有这样，系统整体才能体现为一定的系统的质和功能。如果这些交换遭到部分或全部破坏，系统也就部分或全部地失去它原来的整体性。

矿井生产系统中的开采、掘进、井下运输、矿井提升、矿井通风、矿井供电等各部分在信息、能量和物质的交换中，只有保持有机联系，才能安全有效地完成整体目标，否则轻则停产，重则出现重大安全事故。另外，一个矿井系统还必须与外部环境保持有机联系，特别是在市场经济的条件下，因为一个企业如果不能紧跟市场，适应市场，优化企业环境，将会遭到市场的无情淘汰。

2. 有序性

1) 系统结构的有序性

系统的有序性首先表现在系统的层次上。系统中一些子系统是高层次的，另一些是低层次的；一些子系统处于支配地位，另一些处于从属地位。正因为各子系统地位不同，任务不同，这样就形成了整个系统的结构层次，使得系统能够协调、控制各子系统的活动。

其次，系统结构的有序性还表现为系统中的物质、能量和信息的流通是以一定的渠道有秩序地进行的。

在矿井系统中，行政管理上划分为矿—区—队—班—组，生产管理上划分为地质、回采、掘进、通风、提升、机电、运输、财务等子系统，各子系统仍可向下划分为若干更低层次的子系统，如此，从上到下行政命令有序传达，从下到上生产情况逐级上报，矿井生产得以协调、有序地进行。

2) 系统发展的有序性

一切系统都处于不断变化、发展的过程中，但系统的变化、发展不是随意的，而是受系统内、外部各种因素的影响和限制，并依据一定的规律变化发展的。当客观世界发展到一定程度，出现了适宜于系统产生、发展的环境时，相应的系统就应运而生。最初，只是出现系统的萌芽，在它不断地改造自己、适应外界环境的过程中，逐渐成长壮大，形成一个完备的系统；当它使命完成，则趋于消亡。在这个发展过程中，系统分工日益变细，调节作用日益加强，系统日趋复杂。

如上所述，矿井系统的发展也不例外，煤矿开采由最初极其简陋的人工采掘，逐步发展为钻眼爆破开采、半机械化开采、机械化开采、高强度大功率的综合机械化开采，矿井系统功能日趋完善，也日趋复杂，逐步由劳动密集型向技术密集型转变。当一个矿井资源枯竭时，则该系统就会自行消亡。

系统发展的有序性和结构的有序性是相互呼应、密切相关的。系统内部的结构、子系统间的相互关联将随着系统的发展而改变，这些改变又和系统与环境间进行交换的物质、能量、信息的存在状态密切相关，只有当系统与其所处环境之间存在着有利于系统发展的物质流、能量流和信息流时，系统才能沿着发展壮大方向变化。

系统结构的有序性体现了系统的空间有序性，系统发展的有序性体现了系统的时间有序性，两者结合起来，组成了系统的时空有序结构，这即是保证系统整体性的基本条件。

3. 相关性

系统内各子系统间的联系表现为相互依存、相互制约。如矿井系统中，没有掘进，则不能回采；没有通风，则不能掘进和回采，矿井只能停产。在一个系统中，任何参数的变

化都是所有参数值的函数；反之，任何参数的变化都会使所有参数及整个系统发生变化。矿井系统中回采参数的变化必然要受到通风、运输、掘进等参数的约束，矿井随着回采参数的变化，其面貌必将发生变化。

另外，作为一个系统整体，还要受到自然和社会环境（大系统）的约束，这是系统与环境间的相关性。

（二）矿山系统的特性

1. 目的性

矿山系统是以人为基本单元而形成的多层次的社会系统，其最终目的是以最低的投入获得最大的产出，生产优质商品煤，满足社会需要。各矿井同时还有自身的目的，即争取获得最大利润，改善本企业经济状况，维护本单位的生存和发展。矿井系统的下一级各子系统仍有各自的目的（生产中称为生产指标或任务），因此必须处理好矿井系统的目的和各子系统的目的两者之间的关系，只有这样，矿井系统才能得以正常发展。

2. 环境适应性

与系统发生作用而又不包含在系统内的各种事物组成的整体称为系统的外部环境。环境的概念是相对的，就一个矿井系统而言，其外部社会为其环境，矿井系统内，相对于回采系统，其他子系统就是它的环境的一部分。矿井系统与外部环境之间要产生物质、能量和信息的流动，如了解市场需求，掌握国家政策等因素，采取相应措施以适应环境，来达到企业本身的目的。矿井系统内部各子系统也必须能适应其他子系统的变化，以达到矿井系统的目的和本子系统的目的。

矿井系统要具有活力，必须具有环境适应性。为此，矿井系统需具有控制、反馈、调节等能力。

3. 环境改造性

社会系统不仅具有环境适应性，还具有环境改造性。矿山系统从其产生、发展至消亡，直接在改变着外部无机系统和生物系统，同时也在改变着外部的社会系统。

4. 资源冗余性

资源冗余性指一个系统的资源（物资、能源、人力、信息）没有全部发挥功效。随着科学技术的发展和社会需要的推动，内部挖潜和优化就会逐步进行。当然，利用冗余资源往往需要配套的投资，需权衡得失，综合分析。

二、系统的存在形式及运动规律

（一）系统的部分与整体

在一个系统中，整体与要素之间有质的差别，要素组成整体后，就舍弃了要素原来的某些质，整体分解为要素后也就否定了整体的质；诸要素一旦组合成为系统，新的整体便具有诸要素前所未有的新质，这种新质就称为系统质。“整体大于部分之和”正是从系统质这一意义上说的。资金、劳力、矿山煤炭储量各有其特质，这三种要素经过组合构成矿山系统后，就具有各要素前所未有的新质。如果某一具体属性可以度量，并且可以累加，则其总量 A 和各分量之间有下列 3 种可能：

（1） $A > \sum A_i$ ：各要素有机结合，互相协作，整体大于部分之和。

（2） $A = \sum A_i$ ：各要素机械组合，如质量和，体积和等。

(3) $A < \sum A_i$: 各要素互不协作, 甚至互相制约, 结合不善。

系统学第一定律: 系统的新质总是大于组成它的各个要素在孤立状态下的质的总和。系统可累加或不可累加的某些具体属性的数量, 既可以放大, 也可缩小, 或者不变。究竟起哪种作用, 取决于这一具体属性的特征、系统的结构及系统内协同作用的强弱。

系统学第一定律揭示了客观实体存在的一个重要意义, 即系统质总是大于要素质的总和。但另一方面, 也要看到系统对某些具体属性在不合理、多内耗的情况下, 会起缩小作用。因此, 在创建和管理系统时, 一定要防止和纠正这种不利因素。在矿井系统中, 并非各种条件均具备, 就一定会有好的效果, 它与系统的结构以及系统内协调作用密切相关。这个效果实际上反映的是管理水平的高低, 如果控制不合理, 管理不善, 则会出现“总量小于各分量之和”的现象; 相反, 如果组织化、有序化程度高, 协调合理, 系统的质不仅大于各要素质的总和, 而且会趋于最大。

(二) 系统的结构和功能

系统的结构指系统内部各组成要素在空间或时间上的联系与相互作用的方式, 这种联系和作用的方式称为序。系统有序性越高, 结构也愈严密。所以, 任何系统所具有的整体性, 都是在一定结构基础上的整体性。仅有要素, 不能组成系统, 只有在要素的基础上, 以某种方式和关系相互作用, 才能形成系统结构。因此系统结构是由要素加序形成的。具体说来, 结构具有如下 5 个方面的特征:

(1) 结构具有多维性。在描述社会系统时, 描述的参数愈多, 维数也愈多, 矿井系统的结构就具有多维性。

(2) 结构具有层次性 (等级性)。层次可以按照系统中各要素联系的方式、系统运动规律的类似性、能量变化的范围和功能特点等来划分, 它是人们正确认识客观系统的手段和方法。

(3) 结构具有相对性。结构的相对性指系统与要素是相对于系统的等级和层次而言的, 系统内的要素是低一级的系统, 而系统本身, 又是高一级系统的要素。一般来说, 高一级的结构层次对低一级的结构层次有着制约性, 而低一级的结构层次又是高一级结构层次的基础, 它也反作用于高一级结构层次。在系统中, 高一级层次经过优选确定的参数, 就成为低级层次必须满足的技术要求, 而在高级层次确定参数时, 也必须考虑到这些参数对下一级层次的可能影响。

(4) 结构具有稳定性。结构的稳定性指结构总是趋向于保持某一状态, 外界干扰可能使其暂时偏离这一状态, 但干扰消除后又恢复原态。系统之所以能够保持它的有序性, 就在于其各要素之间有着稳定的联系。结构稳定是系统稳定的前提。

(5) 结构具有开放性和动态性。结构的开放性和动态性指系统要与外界进行物质、能量和信息的交换, 并在交换的过程中使自身发生变化, 由量变到达质变。结构的稳定性是相对的, 而结构的开放性和动态性是绝对的。

系统的功能指系统与外部环境相互联系和作用的秩序和能力。系统的功能体现了一个系统与外部环境之间物质、能量、信息的输入与输出的变换关系, 它反映了系统对外界作用的能力。系统的功能是由系统的结构所决定, 系统结构是完成系统功能的基础。

组成结构的要素不同, 则功能不同; 要素相同, 结构不同, 功能也不同。不同的要素和结构, 也能获得同样的功能, 但其实现的程度有优劣之分, 因此可在许多可行结构中选

择最优结构。

同一结构系统，功能会有多个，甚至是既有有益功能，也存在不利功能，故在作系统功能分析时，应综合考虑，看问题切忌片面。如前所述，非平衡结构要通过与环境交换物质、能量和信息来维持自身结构的稳定，但当外界环境发生变化时，环境对系统的输入就会发生变化，系统功能首先发生变化，从而影响系统结构的稳定性。

我国经济由计划经济转向市场经济时，矿山企业系统功能首先发生改变，这就要求矿山企业结构适应这一变化，否则会被市场淘汰。

（三）系统的序、序变、序变能力

1. 系统的序

“序”代表了系统内部的组织程度，是系统中各要素间一切相互联系的总和，每一要素在系统中的作用均是以这一联系为前提的。所以，序不仅决定了系统的整体性质，也规定了每一要素在系统中的作用。但是，系统的序又是以要素的性质作为基础的，因而要素之间构成系统的序绝不是任意的，要素之间的相互联系须以要素的固有性质为依据。如矿井的采掘比就是不能任意规定的。

2. 系统的序变

系统在演化进程中包含了一系列序变，每一次序变都是系统演化长链中的一个环节。认识系统序变是认识系统演化的基础，只有从系统发展的角度了解序变才不致孤立地、静止地看待系统序变。

系统的序决定系统的质，系统的序变必将造成系统的质变。一般情况下，序变是与要素变化相联系的。要素变化有：要素数量变化、要素自身变化和新要素分化。单纯的要素数量变化可能导致序变，也可能不发生序变；要素自身变化可能引起系统部分序变；只有要素分化，产生要素新品种，必然要建立与原来性质不同的联系，从而直接引起系统序变，演变成不同质的系统。系统的这种自分化、自组织是自发地进行的，它必然导致系统的自否定，否定旧系统，产生新系统。要素的分化是系统演化的主要推动力量。如在煤矿系统中将炮采工艺改为综采工艺，则会引起整个系统的大的变化。

系统的序变不总是连续的，系统经过一个相对稳定的变化时期而达到序变点，其后就变得很不稳定，极易由原来的旧序跳跃式地变为新序，当系统完成序变后又重新呈现出一个新的连续稳定发展的时期。系统在远离序变的地方决定论起主导作用，而在序变区内，偶然随机因素往往能起关键作用。

系统发生序变的方式很多，但系统在某一时期内只能按某一种方式发生序变，到底系统按哪一种方式发生序变则完全取决于系统当时所处的环境，环境对系统的序变方向具有支配作用。这时我们可以能动地顺应环境的变化，可以局部改变环境，创造条件使系统向着有利的方向发生序变。

3. 系统的序变能力

系统的序变能力越大，它所具有的序变方式就越多，就越能适应环境的变化，从而具有较强的应变能力和发展潜力。所以，衡量一个系统发展的快与慢，其有序程度的高低固然重要，但其序变能力的大小则更为重要，序变能力体现了一个系统的活力和发展潜力。有些系统尽管有序程度很高，组织规模很大，但序变能力低，这样的系统不会有多么大的发展前途，反之，有些系统有序程度可能不很高，但具有很强的序变能力，因此具有很强

的生命力和广阔的发展前途。如一些大型煤矿，其有序程度很高，组织结构庞大，但其管理机制僵硬，序变能力很低，在市场经济中不能灵活调整经营方针和其组织机构，以至于不能完全适应市场的变化。

4. 系统学第二定律

序变能力可看作系统从外界吸收负熵的能力和系统内部各要素之间协同作用的能力，这两种能力互相促进、协调发展，当达到一定程度时，系统的结构自然会产生一些质变，使系统内部发生分化，在原来要素的基础上形成一些相对独立的子系统，在这些子系统之间既有分工，又有合作，但这种分工和合作是在整个系统控制下，受系统的目的和外界环境的影响，服从着一个统一的自然规律的。这个自然规律即系统学第二定律：“在保证环境所允许的系统功能（目的）的前提下，使整个系统时间、空间、能量和信息的利用率达到最高。”

随着系统内部分工和协作的进一步发展，某一子系统还会发展成控制中心，其他子系统则发展为被控对象，这样系统的结构更加有序，内部分工协作的水平更高，系统和外部环境之间的关系也更加协调，此时，信息则成为重要因素，对信息的加工处理、信息的传递反馈要求畅通及时，以此增强系统的序变能力。

对复杂的人工系统进行组织分工和协作时，一定要从分工和协作两方面全面考虑系统学第二定律，片面强调某一方面或某一利用率都会降低系统的总体功能。

（四）系统之间的关系

系统之间的关系即系统与环境之间的关系，它取决于环境对系统功能的影响，亦即系统间物质、能量、信息的交换关系。当环境不能正常提供输入或正常接受输出时，系统的功能就无法实现。系统间保持良好的协调关系是系统功能充分发挥的保证，从协同学的观点看，这就是协同性在系统之间关系上的反映。

系统之间的关系是复杂多样的。因此，在对系统进行研究时，必须注意其间的复杂关系及其对系统功能的影响。系统之间的关系有以下几种类型：

（1）互依关系：甲系统的输出是乙系统的输入，则甲乙系统构成互依关系。互依关系要按时间流程进行动态协调，以防出现输出无路和输入无源的现象。

（2）竞争关系：甲乙系统所需的同一种输入都是由丙系统的输出供应，则甲乙系统之间的关系就构成竞争关系。如果供应不足，导致竞争激化，这时，一方面可以促进竞争力的提高，使系统功能不断改进，另一方面也可导致竞争力弱的系统功能下降甚至崩溃，有时还会导致更高层次的系统崩溃。

（3）吞食关系：乙系统整体并入甲系统，并经甲系统的变换而使其基本属性完全消化，则甲乙两系统间的关系属吞食关系。

（4）破坏关系：甲系统的输出传给乙系统后，或者甲系统掠夺乙系统的组成要素作为自己的输入后，削弱了乙系统的功能，或者导致了乙系统的瘫痪，则甲乙两系统的关系属破坏关系。

系统之间的关系往往不是单一的，而是同时兼有其他几个基本类型的复合关系，如既有互依关系，又有竞争关系，而且这些关系还会相互转化，在分析这些关系时，要掌握转化条件，以防止向不利关系转化。

矿井系统内各子系统的协调配合，煤矿企业与周边环境的互依互存，煤矿企业与市场的紧密结合等均是这个道理。

第二节 控制论简介

控制是存在于一切有组织系统之中的一种普遍现象。一个系统，一定有它的特定输出功能，而要具有这种输出功能，必须有相应的一套控制机制。“控制”就是为了改善某个或某些对象的功能或发展，需要获得并使用信息，以这种信息为基础而选出的、加于该对象上的作用。

控制离不开选择，选择必须有目标。有一种控制作用，相应地就会产生一种控制结果。因此，我们首先需要弄清控制目标和控制结果二者之间的因果关系，然后从多种可能的控制作用中选出某一种控制作用，实现预期的控制结果。

1. 反馈

反馈——施控装置把被控对象的输出作为本身输入的一部分，使结果影响了原因，然后又去影响结果。一个控制过程之所以能趋近其目标值，就是由于其反馈的存在。反馈有正反馈和负反馈之分。

(1) 正反馈。如果输出反馈回来更加强化了输入，从而使输出沿原来的变化趋势变得更厉害，即把输出量反馈加到输入量上，使输入量增大，从而使输出量更大的现象叫正反馈。如投资与利润的关系，将利润的一部分变为投资，进行扩大再生产，追求更大的利润即为正反馈。

(2) 负反馈。如果输出量反馈回来抵消一部分输入量，使输入量减少，从而使输出比原来的变化趋势减弱以接近目标值的现象叫负反馈。如在生产中根据生产和销售信息来修订生产计划或者改进生产技术方案，以保证生产系统稳定发展，或者使生产系统完成既定目标。反馈实质上是原因和结果这一对矛盾在一定条件下互相转化的一种特殊形式。

正反馈若运用不当，可能形成恶性循环甚至造成系统崩溃。例如，若盲目扩大再生产，而管理跟不上，或者由于市场变化等原因，很可能使利润值下降。

负反馈运用不当，会引起反馈失调，一则是反馈过度，由于调节过分，引起系统频繁变化而不稳定，称为振荡；一则是反馈不及时，或者由于信息不能及时到达施控装置，或者施控装置不能及时发出反应动作，称为僵化。

2. 控制系统

控制系统有开环控制系统和闭环控制系统两种。

没有反馈回路的控制系统叫开环控制系统，如图 1-1-1 所示。开环控制系统是根据目标值的要求，按预定的变换规则产生控制信号，输入被控制对象。至于被控对象的输出是什么，受到多大外界干扰等，施控者均不知道。这种控制系统的输出既受输入控制信号所左右，又受外界干扰和系统内部参数变化所影响，而且当这种干扰和变化过大时，其输入就不能满足对目标值所规定的容差要求，所以控制精度低，但其结构简单，成本低。



图 1-1-1 开环控制系统框图