

矿山系统工程的基本方法与 与信息论的应用

陈鸿章 编著

煤炭工业出版社



2000115

75

矿山系统工程的基本方法 与信息论的应用

陈 鸿 章 编著

煤炭工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山系统工程的基本方法与信息论的应用/陈鸿章编著.
-北京:煤炭工业出版社, 2000
ISBN 7-5020-1914-6

I. 矿… II. 陈… III. ①矿山工程:系统工程-基础理论 ②信息论-应用-矿山工程:系统工程 IV. TD

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 26606 号

**矿山系统工程的基本方法
与信息论的应用**

陈 鸿 章 编著

责任编辑:王 铁 根

*

煤炭工业出版社 出版发行

(北京朝阳区霞光里 8 号 100016)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

*

开本 $850 \times 1168 \text{mm}^1 /_{32}$ 印张 $12\frac{7}{8}$

字数 335 千字 印数 1 - 1,000

2000 年 8 月第 1 版 2000 年 8 月第 1 次印刷

社内编号 4685 定价 30.00 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

前 言

矿山系统工程是采矿工程与系统工程学科之间的交叉或边缘学科，对矿山事业的发展具有巨大的推动作用，这是它在我国兴起和发展的根本原因。同其他学科一样，它的成长和波浪式前进，离不开一定的客观环境和我们的主观努力。不断地总结成功的经验、探讨产生波折的原因，将有助于使我们的主观努力与客观环境达到更完美的结合，获得事半功倍的效果。说到底，学科发展的本身，也是一项系统工程。

在我国，矿山系统工程兴起于 20 世纪 70 年代末、80 年代初。在引进国外丰富成果的基础上，我国的矿山系统工程研究工作，在 80 年代中期，达到鼎盛时期。在当时，发表论文之多，学术会议之频繁，如雨后春笋，生机勃勃。

到了 90 年代，学术界普遍认为矿山系统工程工作步入低谷。这当中，固然有许多客观因素的影响，如：计划经济向市场经济转轨的复杂环境、经济方面所遇到的困难、行业不景气等等。但是，在主观方面是否存在某些与客观实际脱节的情况，这是需要我们认真思考和回答的问题。

与全国的情况相近，太原理工大学矿业工程学院（原山西矿业学院）的矿山系统工程研究工作，大体上起步于 70 年代末、80 年代初，并且一直保持着良好的发展势头。从总体上看，主要围绕着两大研究方向，一个是李学忠教授为首的课题组，侧重于采矿 CAD 的研究方向。一个是陈鸿章教授为首的课题组，侧重于采矿智能决策的研究方向。两个研究方向有一个共同的特点，这就是始终坚持着为教学和生产服务。

采矿 CAD 课题组在 90 年代中期，着手将采矿工程专业学生的毕业设计进行根本性的改革，使用 CAD 技术，实现了甩图板。

13045 10-1

该内容纳入了国家教委的教学改革项目。由于成效显著，山西矿院采矿系成为首批受美国 Autodesk 公司捐赠的 25 个单位之一。这项改革已经连续进行了五届，极大地推动了采煤专业课程体系、教学环节、教学方法等方面的改革，提高了该专业学生的学习自觉性和主动性，增强了学生毕业后择业的竞争力。

采矿智能决策课题组以《煤矿处理采掘关系的专家系统》为突破口，进行了多项受现场欢迎的纵、横向课题。课题组每年都有课题和进帐经费，“以横养纵”，使课题逐步在转化为生产力的过程中，筹集了自身发展所需要的资金，走上了良性循环的轨道。

走上这条道路，经历了一个由不自觉到自觉的过程。在课题起步阶段，我们面临着一个死循环：课题发展需要资金；现场的经费只能提供给他们需要的课题；现场需要的课题不是书本上简单的应用示例所能解决的，又反过来需要我们将课题进一步发展。后来经过不懈的努力，逐步找到了运用基本理论解决现场问题的结合点，为现场圆满完成了任务，逐步打开了局面。是市场经济的大潮把我们推上了为现场服务的轨道，这条道路使我们了解了现场的需求，也找到了课题自身发展的出路。

紧紧围绕矿山系统，开展信息论的应用工作的探讨，适合了我国矿山的实际，也是我们工作的显著特点。

信息技术的落后，是目前我国矿山系统工程工作的“瓶颈”。信息既是系统工程的出发点，也是它的落脚点。从信息论的角度拓宽矿山系统工程的研究内容，满足了我国矿山的实际需要，也符合该学科的理论体系。

系统工程是以运筹学为基础，但是它不能归结为运筹学及其应用。只有将运筹学、信息论等基础理论与我国矿山系统的实际情况紧密结合，才是矿山系统工程走出低谷的最有效的途经。

编 者 的 话

本书由矿山系统工程的基本方法和信息论的应用两大部分组成。

在介绍了系统工程和矿山系统工程概况的基础上,提出了系统工程方法论的六个基本方面,即理论基础、手段、抓主要矛盾和重视模型等问题,强调了通过信息反馈,处理好人们认识的局限性与系统工程所要求的整体优化之间的关系问题。

在信息论的应用部分,介绍了信息的概念和信息传输的数学基础后,叙述了矿山信息的采集和传输的现状和发展,重点是从矿山系统工程的角度,讨论了矿山信息的媒体表达方式及其相互转化、信息内涵(即知识)的表达方式等问题。

由于所讨论的问题,离不开实践和认识的关系,必然涉及到一定的哲学观点。在本书编写中,我们努力做到辩证唯物主义贯穿始终。

书中涉及的许多基本概念,目前正处于探讨和发展之中,一家之言难成定论,我们以某一观点为主叙述,适当罗列了其他观点,供读者参考。

矿山系统包括了许多行业,尽管它们有各自的特点,但是在本书讨论的内容方面基本是相通的。在实例中,我们较多地使用煤矿的情况,请读者予以谅解。

限于篇幅和对相关内容繁简程度的全面考虑,书中对于优化设计的具体数学模型、Auto CAD 和 Auto Lisp 语言等内容,仅作了概括性和提纲式的叙述,需要读者对运筹学、采矿系统优化与模拟和 Auto CAD 技术等具有一定基础或使用经验。

全书由陈鸿章主编,参加编写的人员有:陈鸿章、陶晋宜、康立勋、张东峰、邢文华、霍宗信、陈旭、史怀栋、张莉。

作者分工情况如下：陈鸿章编写前言、第二章、第三章、第五章（第一、三节）、第七章、第八章（第二节）、第九章（第三、四、五节）、第十章、第十一章（第一、二、三节）；陶晋宜编写第四章、第五章（第二节）、第六章（第一、二节）；康立勋编写第一章；张东峰编写第十一章（第四节）；邢文华编写第九章（第一、二节）；霍宗信编写第八章（第三节）；陈旭编写第八章（第一节）、史怀栋编写第六章（第三节）；张莉编写第五章（第四节）。

本书可作为高等院校采矿工程专业的本科生和研究生的教学用书，也可作为矿山企业、矿山设计单位、从事采矿系统工程工作的工程技术人员的参考书。

由于我们水平有限，时间仓促，错误和不足之处在所难免，恳请批评指正。

作 者
2000年4月

目 录

前言

编者的话

第一篇 矿山系统工程的概念与方法

第一章 矿山系统工程简介	1
第一节 系统的概念	1
第二节 系统工程	7
第三节 矿业系统工程与矿山系统工程	12
第二章 系统工程的基本方法	19
第一节 以系统整体优化为目标、计算机为手段	20
第二节 以运筹学、信息论、控制论、系统论为理论 基础	25
第三节 系统工程的阶段与步骤	35
第四节 着重解决“瓶颈”环节，兼顾其他环节	36
第五节 模型在研究系统中的重要作用	42
第六节 处理好系统整体优化与认识局限性之间的矛盾	53

第二篇 信息论简介

第三章 信息的基本概念	55
第一节 信息的定义	56
第二节 信息的分类	65
第三节 信息的主要指标	70
第四章 信息传输的数学基础	83
第一节 傅立叶变换	83
第二节 拉普拉斯变换	87
第三节 Z 变换	91

第三篇 矿井信息的采集与传输

第五章 矿井信息的采集	95
第一节 矿井地质信息的采集	95
第二节 矿井环境信息的采集	104
第三节 综采工作面监测系统	108
第四节 矿山企业管理信息系统	113
第六章 矿山信息的传输	120
第一节 矿山信息的处理	120
第二节 矿山信息的传输	129
第三节 计算机网络	160

第四篇 矿井信息的媒体表达形式

第七章 计算机辅助绘图基础	171
第一节 Auto CAD 系统简介	173
第二节 Auto CAD 的基本命令	177
第三节 Auto Lisp 语言的基本指令	207
第八章 矿山系统的图形信息	216
第一节 二维矿山工程图软件	216
第二节 矿图的矢量化	226
第三节 三维矿山工程图	244
第九章 多媒体技术的应用	256
第一节 多媒体技术与 CAI 软件	256
第二节 煤矿安全教育软件系统	267
第三节 文字信息转化为文本文件	279
第四节 声音信息转化为文本文件	284
第五节 录像信息转化为影像文件	287

第五篇 矿山系统状态信息与推理信息的 知识表示

第十章 人工智能、专家系统与矿山信息的知识 表示概述	291
-------------------------------------	-----

第一节	人工智能	292
第二节	专家系统概述	301
第三节	知识库与知识的表示是专家系统的核心	306
第四节	推理机构、推理方法与控制策略	316
第五节	专家系统的开发	323
第六节	矿山信息的知识表示概述	330
第十一章	矿山系统推理信息的表示	336
第一节	经济数学规划法	336
第二节	计算机模拟表示方法	347
第三节	语义网络表示方法	372
第四节	神经网络方法	377
参考文献		398

第一篇 矿山系统工程的概念与方法

本篇介绍系统及系统工程的概念，讨论矿业工程与矿业系统工程、矿业系统工程与矿山系统工程的关系。在介绍矿业系统工程与矿山工程系的形成、发展情况基础上，提出目前矿山系统工程的工作重点，讨论了矿山系统工程的基本观点和基本方法。

第一章 矿山系统工程简介

第一节 系统的概念

自然界和人类社会的事物，都是多个相互关联、互相制约的元素共处的统一体，或者说，都是由相互关联着的元素组成的元素集，它们是以集体行为完成特定功能的有机集合体。我们把自然界和人类社会的这样一些由相互关联、相互制约、相互作用的一些部分组成的、具有某些功能的有机整体，叫做“系统”。生物、城市、汽车、电子计算机、家庭、采煤机、输送机可以是一个系统。一个工作面，一个现代化矿井也可以是一个系统，工业、农业甚至一个国家、整个世界、银河系都可以认为是一个个系统。

构成系统的元素（亦称要素、因素）本身也可能是系统，其相对于原来的系统来说是子系统，子系统本身又可以由更基本的元素组成，形成一种多级层次结构。例如，城市系统就包含了城市交通、城市经济、公用事业（煤气、水、电、通讯、供暖）、土地使用（住宅、商业、文化、教育、交通、绿化等）和能源等子系统。这些子系统各有不同的体系结构，都有其基本元素。

一、系统的物质流、能量流与信息流

任何一个企业，包括煤矿，全部活动可以概括为物质、能量与信息的流动过程。以煤矿为例，输入的物质和能量为材料、设备、电能、新鲜风流等，输出的物质和能量为煤、矸石、排出的水、排出的风流等。资金是物化劳动，它的周转也属于物质的流动过程。

在生产活动中，还有一项极为重要的、研究工作中容易忽视的内容，这就是信息的生产和运动过程。通过人工或设备采集到信息，传递给决策者，再通过人脑或计算机对信息进行处理后，发出控制信息来控制生产，这就是信息流的运动过程。矿山企业的活动不仅使用着物质产品，而且也使用着信息这一特殊的产品。这个过程如图 1-1 所示。

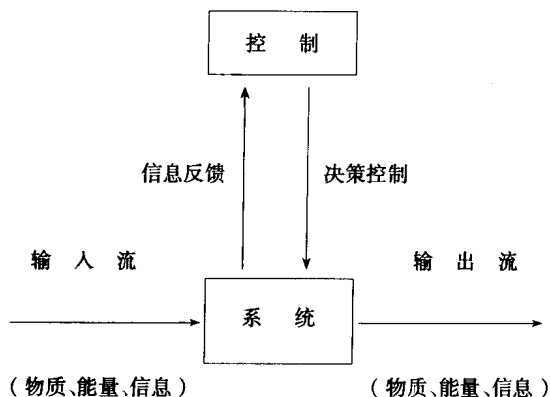


图 1-1 系统中物质流、能量流与信息流之间的关系

在这一过程中，企业为国民经济不仅生产了物质产品（矿山企业主要生产矿物和矿物加工产品），而且生产了大量的信息产品。一个企业能否以最少的物质流输入来换取最大的有效物质流的输出，关键在于能否有一个准确反映实际情况并能作出最优控制的信息流。国内外越来越认识到，在信息流上采用新技术、新

设备，其重要性不亚于在物质流上采用新技术、新设备。

矿山系统工程是以矿山系统作为研究对象的一门边缘学科。因此，它不仅要研究该系统的物质流与能量流的运动和控制过程，而且更要研究信息流的运动过程和特点。

二、自然系统与人造系统

按照系统组成要素的性质的区别，可以把系统分为自然系统与人造系统两大类。自然系统就是自然界本来存在的系统，它的特点是自然形成的，比如生态系统、星空系统等等；人造系统是人工创造出来的系统，如现代化的矿井、工厂企业、生产管理系统等。

一般人造系统包括三种类型：

(1) 人们从加工自然物中获得的零部件组合成的工程技术系统；

(2) 一定的制度、组织、程序、计划等组成的管理系统；

(3) 根据人们对自然现象与社会现象的科学认识，创立的科学体系与技术体系。

实际上，系统工程中处理的系统，大多数是自然与人造相结合的复合系统。比如，现代化的矿井实际上是一个复合系统。

三、系统的特征

一个人造系统或复合系统，应当具有以下几个特征：

(1) 目的性。人造系统均具有确定的目标，而且往往不止一个目标，因此是多目标的系统。

系统的目标决定着系统的基本作用和功能。系统目标是依据系统存在的问题和解决问题的需要来确定的，因此，搞清系统存在的问题，对其有深刻的分析和清晰的理解是至关重要的。系统目标可以定性地表述，也可以定量地表述，但应当尽量数量化。系统目标通常由一系列反映系统本质特征和整体特性的指标体系来体现。

系统的目标有着层次的结构。在系统的总目标之下一般都有数个层次的分目标。各个层次的指标相互联系、相互制约，共同

反映系统的整体特征。系统的分目标应当在总目标指导下确定，就是说系统的分目标集必须保证总目标的实现。在一般情况下，系统的相互独立的分目标之间可能存在着矛盾。

(2) 集合性。系统的集合性说明系统至少由两个或两个以上的相互区别的要素所组成，一个要素构不成系统。

(3) 相关性。系统的组成要素是相互作用、相互依存又相互制约的，相关性则说明这些要素之间的关系。系统的相关性可能表现在系统要素的空间结构、排列顺序、时间序列、数量比例、相互作用、信息传递以及操作程序、管理方式等方面，这些关系构成了系统的相关关系集。

(4) 层次性（或递阶性）。系统做为一个相互作用要素的总体，有着一定的层次结构。系统结构的层次性包括等级性和多侧面性两重含义。等级性是指任何一个复杂系统都可以从纵向上把它分解为若干等级，即存在着不同等级的系统层次关系。这种分解的基本标志是目标，不同的功能目标要求产生不同的等级子系统。低一级的子系统是高级系统的有机组成部分。系统结构的多侧面性则是指任何同一级的复杂系统，又可以从横向上分为若干相互联系和相互制约、又各自相对独立的分系统。

系统的层次性体现了系统目标逐级的具体化和系统要素及其相互关系，在系统结构中的位置和隶属关系。

(5) 整体性。整体性是从协调的侧面说明上述四个特征的，即具有独立功能的系统要素以及要素间的相互关系和在阶层上的分布，只能根据逻辑统一性的要求而协调统一于系统的整体之中。这说明，系统作为由若干相互作用、相互联系的要素以一定方式有机地结合而形成具有一定结构和功能的统一整体。因此，它的本质特征就是有机的整体性。作为整体性主要表现为整体联系的统一性，即整体与要素之间、要素与要素之间、系统与环境之间联系的统一性。例如，人体系统包括有许多组织和器官，它们的形态各异，功能也不相同，但它们彼此并不是孤立地存在着，而是按照一定的关系有机地结合在一起，适应整体活动的需

要，相互协调一致地活动着。

系统整体性表明，任何一个要素不能脱离整体去研究，离开了整体就失去了作为该整体的要素的品格，要素间的联系和作用以及层次分布也失去了意义。系统整体性还表明系统的整体功能不等于各要素功能的简单相加，即“整体不等于它的部分之总和”。对于要素内在联系紧密、组织化程度高的系统来说，一般是“整体大于它的部分之总和”，这就是著名的亚里士多德的哲学命题，也有人称之为系统整体性原理。这一原理成为人类在改造自然、改造社会的实践中应遵循的行动准则，从而也成为现代系统工程中系统设计与实施的整体化原则。

(6) 环境适应性。任何一个系统都存在于一定的物质环境之中（即更大的系统），因此，它必然要与外部环境发生物质、能量和信息的交换，必须适应外部环境的变化。能够经常与外部环境保持最佳适应状态的系统是理想的系统，不能适应环境变化的系统是没有生命力的。

(7) 动态性。系统的整体联系是在运动中进行的，随着时间的推移而发展变化。

矿山系统是一个复合系统，因此它也具有系统所具有的一般特征，如目的性、层次性、整体性、环境适应性等等，当然在其具体内容方面需要赋予具体的内涵，这里不再赘述。

矿山系统与国民经济其它部门，又有许多鲜明特点，这里以煤矿为例加以说明：

(1) 各异性。各煤田、矿区、矿井、采区、甚至工作面不同部位的地质条件不尽相同，相应地所采用的开采技术、工艺与可能获得的效果及显现的规律也有不同程度的差异，这样就增加了寻求普遍统一规律和理论解答的难度。依据实践，具体条件下总结的规律、经验公式、显现特征、优劣评价等，只能在相似的矿山地质和开采技术条件下、特定的时限内有限的类比和应用，不可无限制地推广。

对采矿对象和环境的认识，受地质勘探手段和勘探工作量的

限制，地质报告关于煤层赋存情况和地质特征的描述都带有一定的推断性质。实践表明，经井巷揭露的煤层，实际情况与地质报告的描述多少有些出入，大相径庭的事例也屡见不鲜，尤其是煤田地质构造复杂、煤层赋存不稳定的矿井，报告对实际偏离的频次更多、偏离程度更大。事先对这种偏离不能确知，再加上其他随机因素的影响，采矿工作常常要应付意外的情况。采矿工作者预先要有足够的估计与应变对策。

(2) 生灭性。煤矿开采的采掘地点不断移动，要不断地掘进新的巷道，准备并开采新的采煤工作面、新采区、新矿井以至新矿区，这就是生；不断地采完原有的生产工作面、采区、矿井以至矿区，报废旧有的井巷及工程设施，这就是灭。新老巷道、采煤工作面、采区、矿井、矿区生生灭灭滚动发展的过程，形成了采矿系统的动态变化，由此又派生出三个特点：为了维持煤矿的持续生产，要自始至终做好新老工作面、采区、矿井的接替，处理好采掘关系成为矿井持续发展的重要工作；许多工程为一次性使用，为维持煤矿生产要不断地投入建设资金，耗用资金多，采矿成为资金密集的行业；矿井建设带有一定的替补性质。生产矿井、矿区的衰减和报废，减少了煤炭生产能力总量，为了维持全国、省区、矿区的煤产量，就要进行矿井建设，因而在一定意义上，建设新矿区、新矿井不完全是为了扩大再生产。为使煤炭工业满足日益增长的国民经济发展需要，既要有与用煤量增加相适应的超前建设与投资，又要有维持简单再生产的替补性煤矿建设投资，才能保证煤炭生产建设与国民经济建设协调发展。

(3) 流逝性。煤矿开采的是不可再生的天然资源。进行开采总是伴随着有限资源储量的注销、剩余服务年限的缩短、直至生产能力的衰减。

(4) 贫瘠化特性。无论是部署新矿区，还是矿区的矿井布局、矿井的开采水平和采区布置，各采煤国都是执行先近后远、先浅后深、先易后难和先优后劣的顺序。因而总的趋势是煤矿开采的资源日益贫瘠，开采条件日益困难，新矿区开发环境趋于恶

化，导致采矿业成为规模效益递减的行业。这既要求增加科技投入，依靠科技进步，提高煤炭开采的技术水平和经济效益，又要在保证供需平衡的基础上控制开发规模，不使其过大。

(5) 风险性。矿井开采是地下作业，要与顶板、水、火、瓦斯、粉尘等灾害作斗争。尽管已经发展了各种安全开采技术，但在复杂的条件和随机因素作用下，仍有一定风险。煤矿开采还会导致土地塌陷，对生态环境造成一定的损害。这既要求完善煤矿开采的安全技术和设备，又要求多投入防治矿井灾害的费用。

其他矿山也有类似情况。这些特点是系统工程工作者在工作中必须充分认识和加以注意的。

第二节 系统工程

系统工程，就是把所研究的对象看作一个系统，从系统的认识出发，设计规划、实施和管理这个整体，以求达到人们所希望得到的效果。换句话说，任何一个系统的组织建立，有效运转都是一项系统工程。

系统工程的思想并不是现在才有的，历史上就有不自觉地运用了系统工程方法的例子。

例如，宋真宗时，皇宫烧毁，丁渭主持修复工程。修复时他先将皇宫前的一条大街挖开，形成一条大沟，用挖出的土就地烧砖；然后将汴水引入大沟运进建筑材料；在皇宫竣工后再将废墟上的瓦砾填进沟内，修复原来大街。这是一举三得的最优施工方案。

但是，从系统工程的发展过程来看，总结出科学的系统概念，建立起系统工程的方法，还是近代的事情。一个大的工程系统是高度综合性的工程，其设计、组建和管理往往涉及许多专业领域，这就要求各行各业的专家间协同工作。20世纪40年代发展起来的运筹学，为系统工程的发展提供了定量处理系统内各要素间的相互关系和进行系统分析的数学工具。50年代发展起来的计算机技术，又为系统工程的发展提供了数值计算与逻辑判断