



中南大学  
CENTRAL SOUTH UNIVERSITY



# 矿业系统工程

中南大学

资源与安全工程学院

采矿工程系 杨珊 副教授/博导

# 矿业系统工程

## ■ 课程简介

- **系统工程**是20世纪中期开始兴起的一门**交叉学科**，系统工程是从总体出发，合理开发、运行和革新一个大规模复杂系统所需的思想、理论、方法的总称，是一门**综合性的工程技术**。
- 本课程主要讲授系统工程的基本思想、理论和方法，培养学生从全局的角度分析问题，**用系统的观念考虑问题，用工程的方法来研究解决矿业工程问题的能力**。学生能将运筹学、计算机与信息科学等前沿技术应用于矿业工程中，对矿山的规划、设计、建设、生产和管理等进行总体优化。

# 矿业系统工程

## ■ 课程学习目的和要求

通过本门课程的学习，同学们要具备以下能力：

- 了解和掌握系统工程的产生、发展和在矿山中的应用；
- 掌握系统及系统工程的基本概念、基本原理方法；
- 掌握系统工程方法论，能用系统观去分析问题；
- 能有运用系统建模、系统分析、系统评价、系统预测、系统决策等系统工程方法去**分析解决矿山实际问题**的能力。

# 矿业系统工程

## ■ 课程内容

| 授课内容        | 学时数 |
|-------------|-----|
| 第一章 系统工程概述  | 2   |
| 第二章 系统工程方法论 | 4   |
| 第三章 数学规划法   | 6   |
| 第四章 网络系统    | 6   |
| 第五章 系统评价方法  | 4   |
| 第六章 系统预测方法  | 4   |
| 第七章 人工智能算法  | 2   |
| 第八章 智能矿山    | 4   |
|             |     |
| 合计          | 32  |

# 第一章 系统工程概述



# 第一章 系统工程概述

---

## 本章学习的重难点

- 系统工程的产生与发展
- 系统、系统的概念与特点
- 系统工程的应用领域
- 矿业系统的概念及研究内容

# 第一章 系统工程概述

---

## **第一节 系统工程的产生、发展及应用**

## **第二节 系统工程的研究对象**

## **第三节 系统的概念与特点**

## **第四节 系统工程的应用领域**

## **第五节 矿业系统工程**

# 1. 系统工程的产生、发展及应用

---

## 1.1 系统思想的产生与发展

### (1) 朴素的系统思想

- ✓ 社会实践的需要是系统工程产生和发展的动因。
- ✓ 系统工程作为一门学科，形成于20世纪50年代，但系统思想及其初步实践可以追溯到古代。虽然古代还没有提出一个明确的系统概念，没有也不可能建立一套专门的、科学的系统方法论体系，但对客观世界的系统性及整体性认识却已有了一定程度的认识。
- ✓ 把这种认识运用到改造客观世界的实践中去，中国在这方面尤为突出。

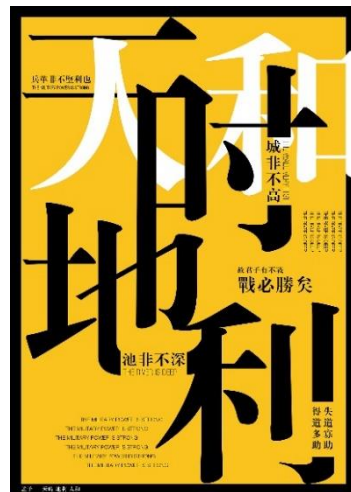


# 1. 系统工程的生产、发展及应用

## 1.1 系统思想的产生与发展

### (1) 朴素的系统思想

- 中国人做事善于从**天时、地利、人和**三个方面进行整体分析，主张“大一统”、“和为贵”；
- 中医诊病讲究形、气、色以及望、闻、问、切综合辨证；
- 中国人吃饭讲究集色、香、味、形、意、养于一体。



# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.1 系统思想的产生与发展

### (1) 朴素的系统思想

- 春秋战国时期，中国古代著名的军事家孙武著《孙子兵法》中，阐明了不少朴素的系统思想和运筹方法。兵书共十三篇，讲究打仗要把道(义)、天(时)、地(利)、将(才)、法(治)五个要素结合起来考虑。
- 军事家孙臆继承和发展了孙武的学说，著有“孙臆兵法”。著名的田忌赛马，孙臆提出对策帮助处于劣势的田忌战胜齐王，这是总体出发制定策略的一个著名事例。



# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.1 系统思想的产生与发展

### (1) 朴素的系统思想

- 秦汉之际成书的中国古代最著名的医学典籍《黄帝内经》，包含着丰富的系统思想。它根据阴阳五行的朴素辩证法，把自然界和人体看成由金、木、水、火、土五种要素相生相克、相互制约而形成的有秩序、有组织整体。
- 人与天地自然又是相应、相生而形成的更大系统。《易经》也被认为是朴素系统思想的结晶。是阐述天地世间万象变化的古老经典。有连山、归藏、周易三部易书，其中连山、归藏已经失传，现存于世的只有周易。





# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.1 系统思想的产生与发展

### (1) 朴素的系统思想

- 在古代的工程建设上，**都江堰**最具代表性和系统性。都江堰于公元前256年由蜀郡太守李冰及其儿子组织建造，至今仍发挥着重要作用。该工程由**鱼嘴(岷江分流)**、**飞沙堰(分洪排沙)**和**宝瓶口(引水)**三大设施组成，整个工程具有总体目标最优化、选址最优、自动分级排沙、利用地形并自动调节水量、就地取材及经济方便等特点。
- 另外，**宋真宗年间的皇宫修复工程**、**中国古代铜的冶炼方法**、**万里长城的修建**、**良渚古城**等，也都应用了系统的方法。



# 1. 系统工程的生产、发展及应用

## 良渚古城

**良渚古城遗址**位于浙江省杭州市余杭区瓶窑镇内，是新石器晚期文化遗址群，距今5300-4300年，持续发展约1000年，比三星堆文化早些，它是一个拥有宫城、内城、外城和外围水利系统四重结构的庞大都邑，外围水利系统是我国至今发现最早的大型水利工程遗址，该水利系统具有防洪、运输、灌溉等功能，距今已有四千七百多年历史。



外围水利系统分布图

Distribution Map of Peripheral Water Conservancy System

# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.1 系统思想的产生与发展

### (2) 科学系统思想的形成

系统思想的发展经历了三个阶段：“只见森林”（朴素的系统思想、抽象化）阶段→15世纪下半叶以来“只见树木”阶段（形而上学、具体）→19世纪以来“先见森林，后见树木”（科学的系统思想）阶段。古代中国和古希腊在系统思想的产生与早期发展中具有突出地位和贡献。

辩证唯物主义认为，世界是由无数相互关联、相互依赖、相互制约和相互作用的过程所形成的统一整体。这种普遍联系和整体性的思想，就是科学系统思想的实质。

系统思想的发展：经验——哲学——科学。

一般系统论、控制论、信息论、耗散结构理论、协同学、自组织理论、运筹学等是系统理论的重要内容和系统工程的理论基础。



# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.2 系统工程的发展概况

| 阶段 | 年代（份）     | 重大工程实践或事件                  | 重要理论与方法贡献                                      |
|----|-----------|----------------------------|------------------------------------------------|
| I  | 1921      | 美国人泰勒（F.W.Talor）发表《科学管理原理》 | 正式提出现代系统的概念                                    |
|    | 1930      | 美国发展与研究广播电视                | 正式提出系统方法（Systems approach）的概念                  |
|    | 1940      | 美国Bell电话公司开发微波通讯系统         | 正式使用系统工程（Systems Engineering）一词                |
| II | 第二次世界大战期间 | 英、美等国的反空袭等军事行动             | 产生军事运筹学（Military Operations Research），也即军事系统工程 |
|    | 本世纪40年代   | 美国研制原子弹的“曼哈顿计划”            | 运用SE，并推动了其发展                                   |
|    | 1945      | 美国空军建立兰德（RAND）公司           | 曾经提出系统分析（Systems analysis）概念，强调了其重要性           |

# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.2 系统工程的发展概况

|     |               |                                              |                               |
|-----|---------------|----------------------------------------------|-------------------------------|
| III | 40年代后期到50年代初期 | 运筹学的广泛运用与发展、控制论的创立与应用、电子计算机的出现，为SE奠定了重要的学科基础 |                               |
| IV  | 1957          | H.Good和 R.E.Machol发表第一部名为《系统工程》的著作           | 系统工程学科形成的标志                   |
|     | 1958          | 美国研制北极星导弹潜艇                                  | 提出PERT（网络优化技术），这是最早的系统工程技术之一。 |
|     | 1965          | R.E.Machol编著《系统工程手册》                         | 表明系统工程的实用化和规范化                |
|     |               | 美国自动控制学家L.A.Zedeh提出“模糊集合”概念                  | 为现代SE奠定了重要的数学基础               |
|     | 1961-1972     | 美国实施“阿波罗”登月计划                                | 使用了多种SE方法，其成功极大地提高了SE的地位      |



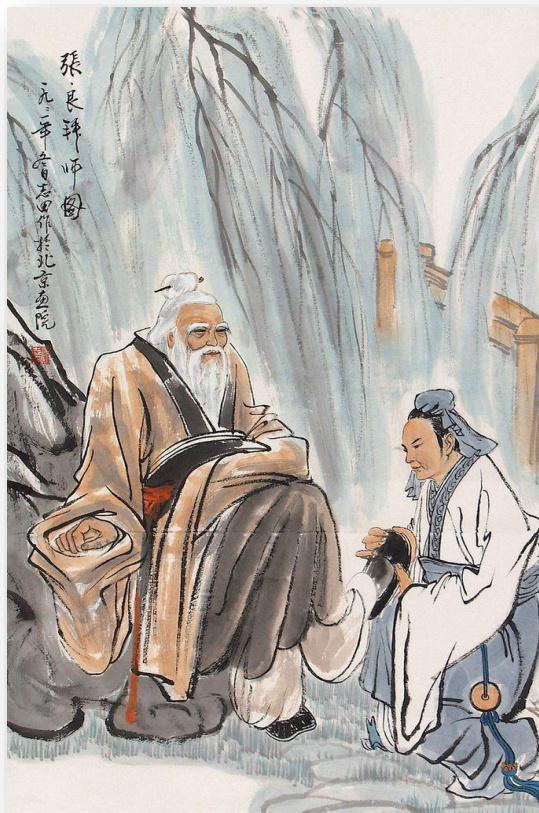
# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.2 系统工程的发展概况

|     |      |                                       |                                      |
|-----|------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| V   | 1972 | 国际应用系统分析研究所（IIASA）在维也纳成立              | SE的应用开始从工程领域进入到社会经济领域，并发展到了一个新的重要阶段。 |
|     | 70年代 | SE的广泛应用在国际上达到高潮                       |                                      |
| VI  | 80年代 | SE在国际上稳定发展、在中国的研究与应用达到高潮              |                                      |
| VII | 90年代 | 系统工程在国内外呈现出社会化、特色化、专业化、集成化、精细化、实用化等特点 |                                      |

# 1. 系统工程的产生、发展及应用

- “运筹”一词，早在《史记》中就已出现，刘邦曾赞张良“运筹于帷幄之中，决胜于千里之外”。
- 在《三国演义》中更有“运筹如虎踞，决策如鹰扬”的诗句。
- “运筹学”作为一个学科，则是第二次世界大战期间出现的。



# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.3 系统工程在中国的发展及应用

### ■ 20世纪50至60年代

我国的一些研究机构和著名学者为系统工程（SE）的研究与应用做了理论上的探讨、应用上的尝试和技术方法上的准备。主要标志和集中代表就是钱学森的《工程控制论》、华罗庚的《统筹法》和许国志的《运筹学》。

### ■ 20世纪70年代末以来

我国大规模地应用SE理论和方法来研究与解决我国的重大现实问题，在许多领域和方面取得了较好的效果。

### ■ 90年代以来

系统工程在与企业发展结合、与现代信息技术结合、与实施可持续发展战略结合、与思维科学结合等方面已初具发展势头。

# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.3 系统工程在中国的发展及应用

20世纪90年代以来，系统工程在国内外的的发展及应用的特点：

- 研究与应用的范围或对象的规模越来越大，并继续朝着“巨系统”发展。
- 各类专门系统工程日益形成自己的特色，如特有的方法论、模型体系及专用计算机软件等。
- 系统工程在企业改革与发展中得到了有效运用。
- 系统工程与计算机系统的结合将变得异常紧密，如常用系统工程软件包、决策支持系统等。
- 系统工程方法论有新的发展，通过集成化、专业化等途径，不断形成新的技术应用综合体。

# 1. 系统工程的产生、发展及应用

## 1.3 系统工程在中国的发展及应用

- 进入新的世纪特别是近年以来，系统工程在与经济转型升级、国际化及应对经济与金融危机结合，与新一代信息技术及大数据结合，与落实科学发展观、实施可持续发展战略结合，与“四个全面”战略布局和中国特色社会主义国家治理体系建设结合，与思维科学、复杂性科学结合等方面，将会有新的发展和较好的前景。
- “四个全面”即全面建成小康社会、全面深化改革、全面依法治国、全面从严治党，是中国共产党中央委员会总书记习近平于2014年提出治党治国理论。

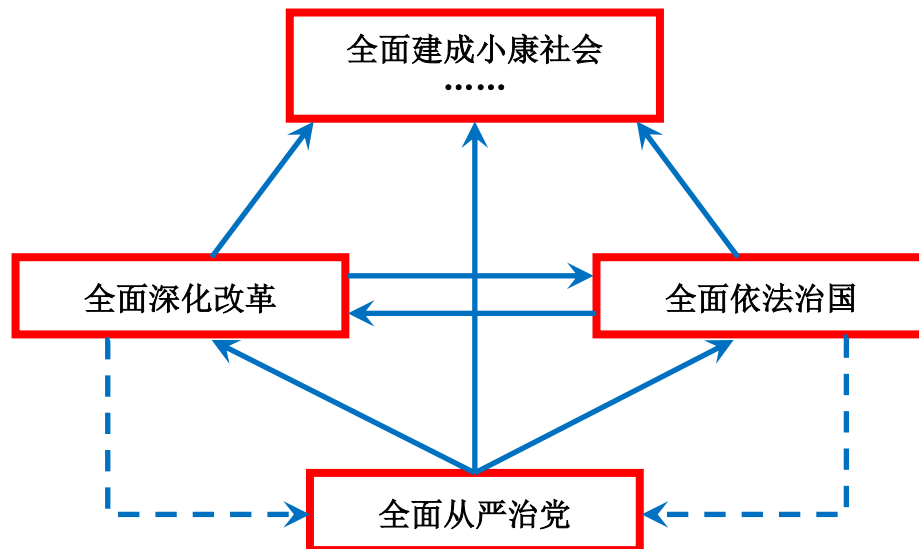
# 系统工程的应用领域

## “四个全面”战略是中国特色治国理政的重大系统问题。

党的十八大以来，以习近平同志为核心的党中央提出了“四个全面”（全面建成小康社会、全面深化改革、全面依法治国、全面从严治党）的战略思想和战略布局。“四个全面”战略是科学的系统思想和系统方法的集中体现。从“四个全面”各自内涵来看，共同的关键词是“全面”，充分体现了系统思想。

从“四个全面”相互关系来看，它们不是简单的并列、平行关系，而是一个有机联系、环环相扣的整体，形成了一个科学体系，相辅相成，相互促进，相得益彰。

讨论：如何理解四个全面之间的联系？





# 系统工程的应用领域

- **全面建成小康社会**是当时阶段的奋斗目标，全面深化改革、全面依法治国、全面从严治党是三大战略举措，为全面建成小康社会提供动力源泉、法制保障和政治保证。全面深化改革、全面依法治国如鸟之两翼、车之两轮，是重要的动力系统和稳定系统。**2020年，中国已经实现了全面小康，建成了全面小康社会。**
- **全面从严治党**，是推进“四个全面”战略布局的基础和关键，全面建成小康社会、全面深化改革、全面依法治国，都必须坚持党的领导，加强党的建设。
- **全面深化改革**，既为全面建成小康社会提供强大动力，也是全面依法治国、全面从严治党的需要；
- **全面依法治国**，本身就是全面建成小康社会的重要内容，同时又为全面建成小康社会提供法治保障，全面深化改革需要在法制的轨道上、框架下来进行，全面从严治党也需要强调依法依规。

# 第一章 系统工程概述

---

## 第一节 系统工程的产生、发展及应用

## 第二节 系统工程的研究对象

## 第三节 系统的概念与特点

## 第四节 系统工程的应用领域

## 第五节 矿业系统工程

## 2. 系统工程的研究对象

### 2.1 系统的定义

系统工程的研究对象是组织化的大规模复杂系统。“系统”作为系统理论、系统工程和整个系统科学的基本研究对象。

系统的定义：系统是由两个及以上有机联系、相互作用的要素所组成，具有特定功能、结构和环境的整体。A system is a group of interacting or interrelated entities that form a unified whole.

该定义有以下四个要点：

- (1)系统的要素--系统是两个及以上要素组成的整体
- (2)系统和环境--系统连同其环境系统一起形成系统总体
- (3)系统的结构--系统的内部形成一定的结构和秩序
- (4)系统的功能--任何系统都应有其存在的作用与价值

## 2. 系统工程的研究对象

### 2.1 系统的定义

系统的一般属性：

- (1) **整体性**——系统最基本、最核心的特性，是系统性最集中的体现。
- (2) **关联性**--构成系统的要素是相互联系、相互作用的。
- (3) **环境适应性**--系统的开放性及环境影响的重要性是当今系统问题的新特征。
- (4) 除三个基本属性外，很多系统还有**目的性**、**层次性**、**动态性**等特征。



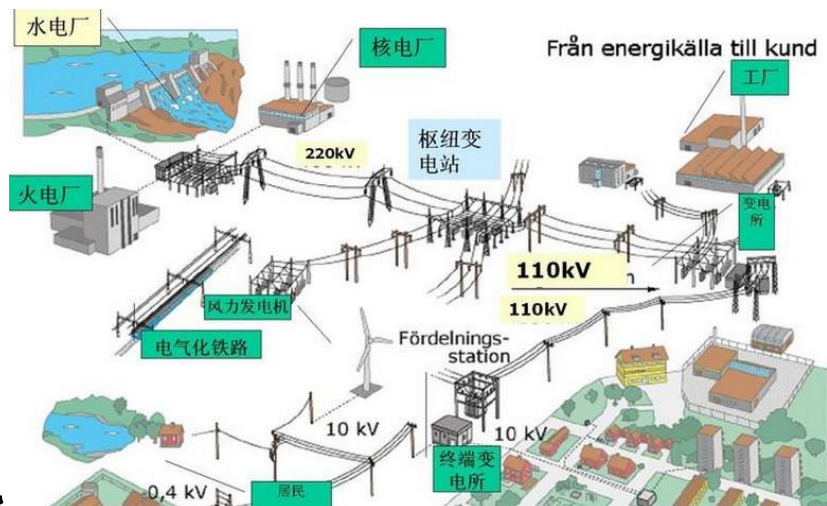
交通系统

## 2. 系统工程的研究对象

## 2.2 系统的类型



## 供电系统



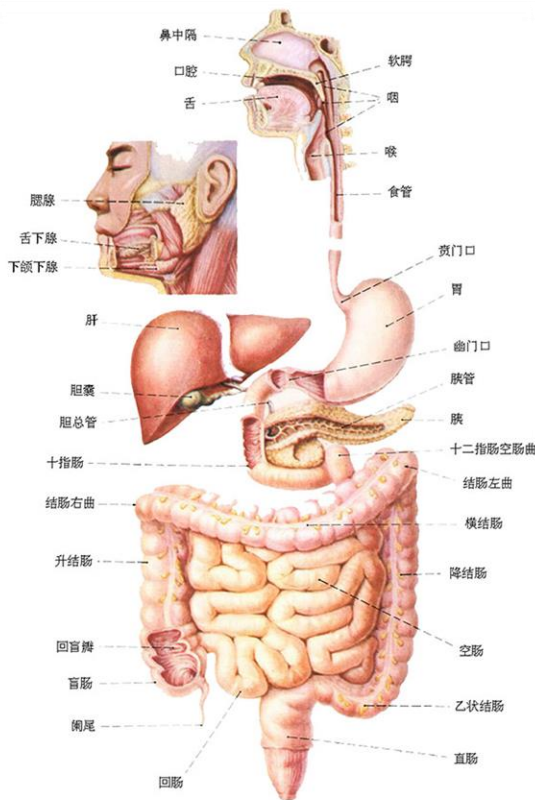
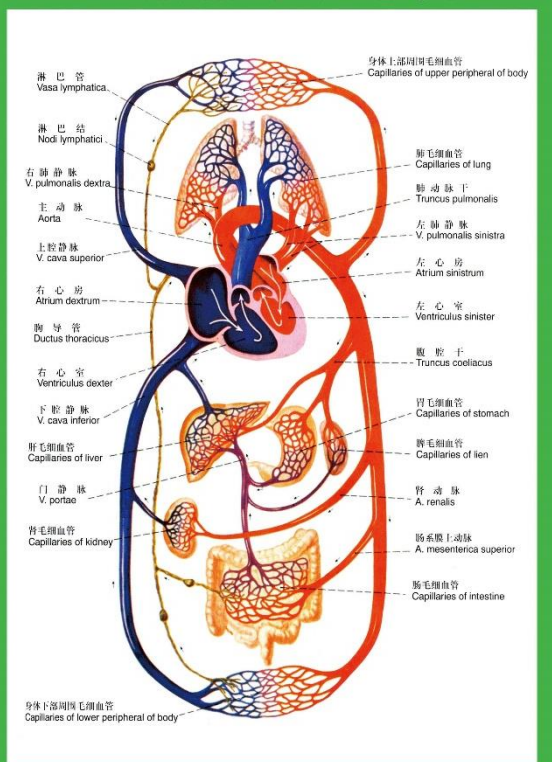
# 电脑手机操作系统



# 2. 系统工程的研究对象

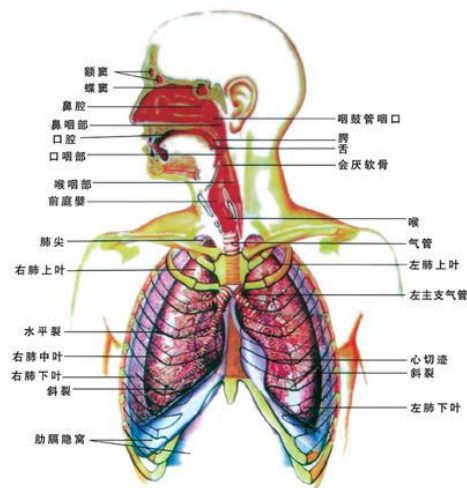
## 2.2 系统的类型

血液循环示意图



消化系统概观

呼吸系统解剖图





## 2. 系统工程的研究对象

### 2.2 系统的类型

认识系统的类型，有助于人们在实际工作中对系统工程对象的性质有进一步的了解并进行分析，可以从不同角度对系统进行分类：

- 按系统的自然发展层次分类：无机系统、生物系统、社会系统。
- 按构成要素的性质分类：自然系统、人造系统。
- 按物质要素分类：实体系统、概念系统。
- 按系统的状态与时间的关系分类：静态系统、动态系统。
- 按系统与环境联系的方法及密切程度分类：封闭系统和开放系统。

其他还有线性/非线性系统、黑/白/灰系统等。

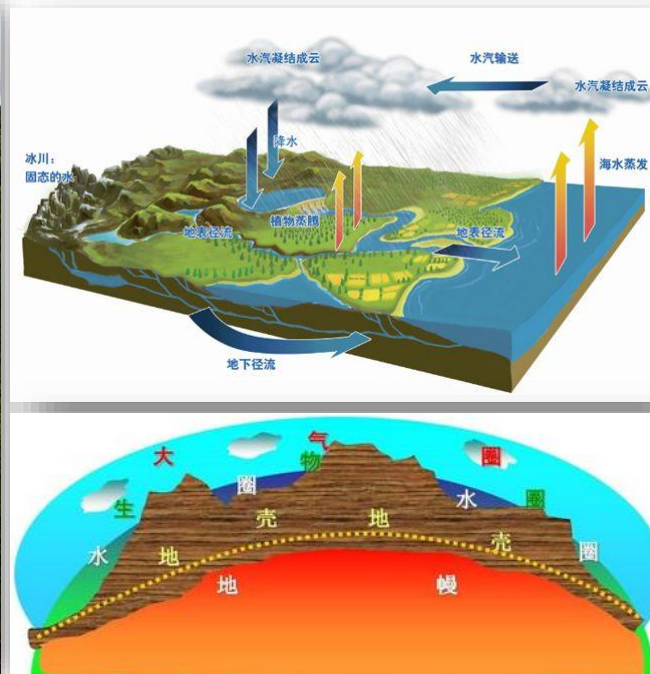
## 2. 系统工程的研究对象

### 2.2 系统的类型

按构成要素的性质分类：自然系统、人造系统。



自然系统



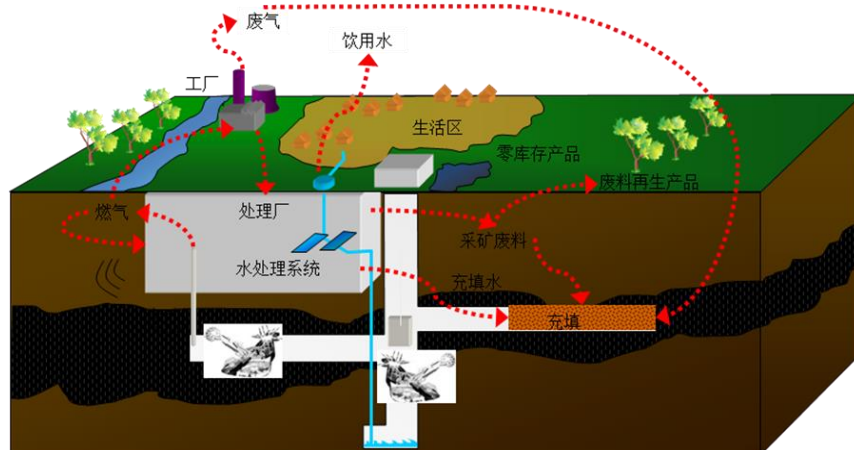
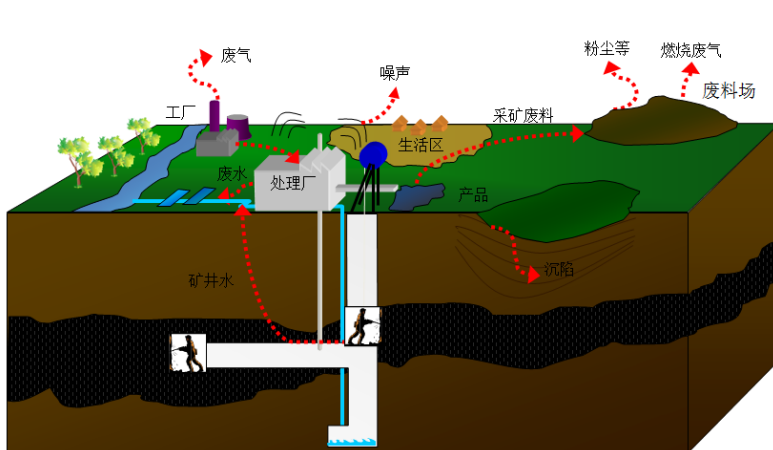
## 2. 系统工程的研究对象

### 2.2 系统的类型

按构成要素的性质分类：自然系统、人造系统。



人造系统





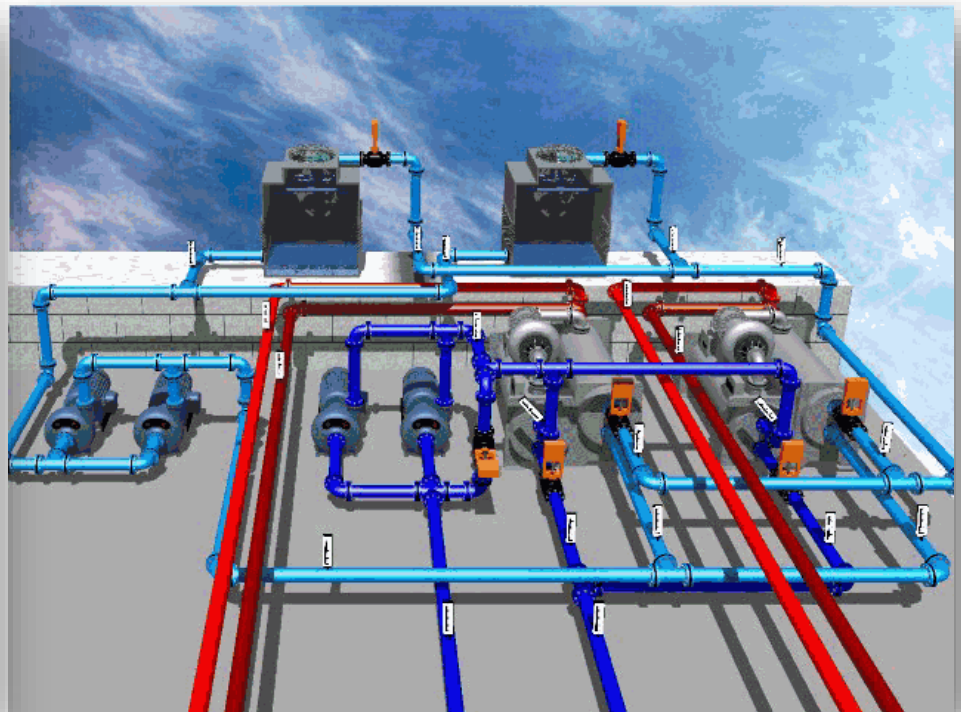
## 2. 系统工程的研究对象

### 2.2 系统的类型

按系统的状态与时间的关系分类：静态系统、动态系统。



静态系统—房屋系统



动态系统—空调系统

# 第一章 系统工程概述

---

## 第一节 系统工程的产生、发展及应用

## 第二节 系统工程的研究对象

## 第三节 系统的概念与特点

## 第四节 系统工程的应用领域

## 第五节 矿业系统工程

## 3. 系统工程的概念与特点

### 3.1 系统工程的概念

(1) 《大英百科全书》(1974年版)认为：“系统工程是一门把已有学科分支中的知识有效地组织起来用以解决综合性工程问题的技术。”

(2)1975年美国科学技术辞典对系统工程解释为：“系统工程是研究复杂系统设计的科学。该系统由许多密切联系的元素所组成。设计该复杂系统时，应有明确的预定功能及目标，并协调各元素之间及元素和总体之间的有机联系，以使系统能从总体上达到最优目标。在设计系统时，要同时考虑到参与系统活动的人的因素及其作用”。

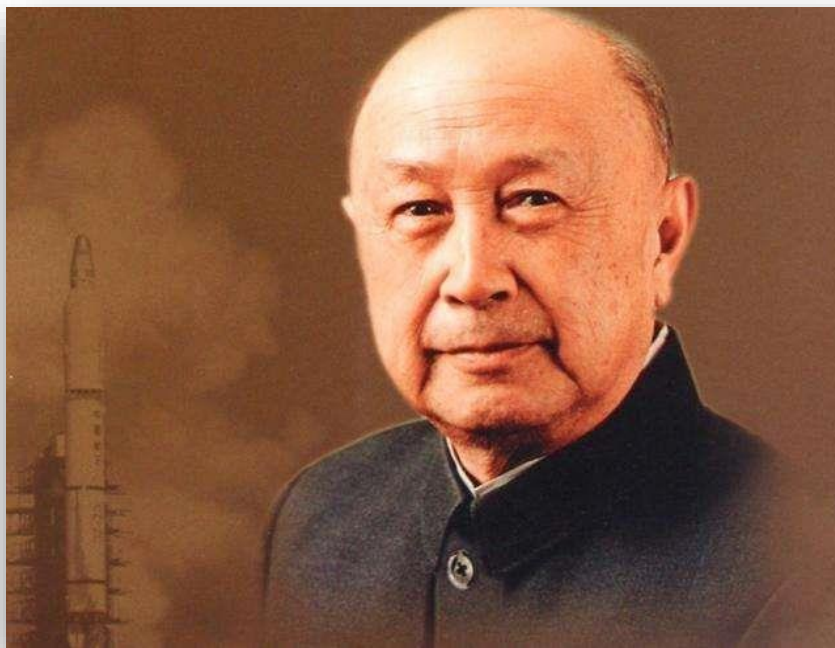


## 3. 系统工程的概念与特点

### 3.1 系统工程的概念

(3)1978年我国著名科学家**钱学森**对系统工程的定义：**系统工程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。**

简而言之，“**系统工程是一门组织管理的技术。**”



## 3. 系统工程的概念与特点

### 3.1 系统工程的概念

(4) 《中国大百科全书》(1991年版)指出, **系统工程是从整体出发合理开发、设计、实施和运用系统的工程技术**。它根据总体协调的需要, 综合应用自然科学和社会科学中有关的思想、理论和方法, 利用电子计算机作为工具, 对系统的结构、要素、信息和反馈进行分析, 以达到最优规划、最优设计、最优管理和最优控制的目的。”

#### (5) 维基百科

**Systems engineering is an interdisciplinary field of engineering and engineering management that focuses on how to design and manage complex systems over their life cycles.**

### 3. 系统工程的概念与特点

#### 钱学森先生介绍

**钱学森先生**在20世纪40年代就已经成为航空航天领域内最为杰出的代表人物之一，成为二十世纪众多学科领域的科学群星中极少数的巨星之一。钱学森也是为新中国的成长做出无可估量贡献的老一辈科学家团体之中，影响最大、功勋最为卓著的杰出代表人物。钱学森先生回国效力，献身国防，志在强国，成就了“两弹一星”伟大事业，是**中国载人航天奠基人**，是**新中国历史上伟大的人民科学家**。

钱学森先生的选择，既是一个科学家的最高职责，也是一个炎黄子孙的最高使命。他一生的经历和成就，在国家史、民族史和世界史上，同时留下了耀眼的光芒，照亮了来路。正是因为有了钱学森，中国才在1970年成功地发射第一颗人造卫星。由他负责研究的火箭，正使中国成为同苏联、美国一样能把核弹头发射到世界上任何一个地方的国家。

### 3. 系统工程的概念与特点

#### 钱学森先生介绍

(1) **毛主席**评价：美国人把钱学森当成5个师，在我看来，对我们说来，钱学森比5个师的力量大多啦。

(2) 美国海军次长丹尼·金布尔评价：无论在哪里，钱学森都值五个师。

(3) 导师冯·卡门评价：我们的朋友钱学森，是1945年我向美国空军科学顾问组推荐的专家之一。他是当时美国处于领导地位的第一流火箭专家，后来成了世界闻名的新闻人物。钱学森作为加州理工学院火箭小组的元老，曾在二次大战期间对美国火箭研究作出重大贡献。他是一个无可置疑的天才，他的工作大大促进了高速空气动力学和喷气推进科学的发展。他的这种天资是我不常遇到的。我发现他非常富有想象力，他具有天赋的数学才智。人们都这样说，似乎是我发现了钱学森，其实，是钱学森发现了我。

### 3. 系统工程的概念与特点

#### 钱学森先生介绍

(4) 感动中国组委会授予钱学森的颁奖词：

在他心里，国为重，家为轻，科学最重，名利最轻。五年归国路，十年两弹成。开创祖国航天，他是先行人，劈荆斩棘，把智慧锻造成阶梯，留给后来的攀登者。他是知识的宝藏，是科学的旗帜，是中华民族知识分子的典范。

感动中国推选委员阎肃对钱学森先生的评价：

大千宇宙，浩瀚长空，全纳入赤子心胸。惊世两弹，冲霄一星，尽凝铸中华豪情，霜鬓不坠青云志。寿至期颐，回首望去，只付默默一笑中。



# 3. 系统工程的概念与特点

## 3.2 系统工程是一门交叉学科

- 系统工程是一门工程技术，但它与机械工程、电子工程、水利工程等其他工程学的某些性质不尽相同。各门工程学都有其特定的工程特质对象，而系統工程的对象，则不限定于某种特定的工程物质，任何一个物质系统都能成为它的研究对象。而且还不只限于物质系统，它可以包括自然系统、社会经济系统、经营管理系统、军事指挥系统等。
- 系统工程在自然科学与社会科学之间架设了一座沟通的桥梁。现代数学方法和计算机技术等，通过系统工程为社会科学研究增加了极为有用的量化方法、模型方法、模拟方法和优化方法。
- 系统工程学是以大规模复杂系统问题为研究对象，在运筹学、系统理论、管理科学等学科的基础上逐渐发展和成熟起来的一门交叉学科。系统工程的理论基础是由一般系统论及其发展、大系统理论、经济控制理论、运筹学、管理科学等学科相互渗透、交叉发展而形成的。

## 3. 系统工程的概念与特点

### 3.3 系统工程的理论基础

20世纪40年代到70年代出现的很多学科分支，如**运筹学**、**控制论**、**信息论**等，为系统工程的发展奠定了理论基础，**电子计算机**的出现和发展则为系统工程提供了强大的信息处理手段和方法。近几十年来，现代科学技术尤其是**信息科学技术**的迅猛发展，为系统工程提供了更为宽广的理论基础。

(1) **系统分析理论**。主要包括：一般系统论、大系统理论等。

(2) **运筹学诸学科分支**。运筹学是一门应用科学，是为决策者在解决实际问题选择最优决策时提供的以数量化为基础的科学方法。运筹学在解决实际问题时，通常首先需要确定研究问题的目标和约束条件，然后根据实际问题中的主要因素及各种约束条件之间的关系建立数学模型，通过模型求解来寻求最优方案。

运筹学的主要分支包括：**线性规划**、**整数规划**、**非线性规划**、**目标规划**、**动态规划**、图论及网络分析、排队论、存贮论、决策论、对策论等。

## 3. 系统工程的概念与特点

### 3.3 系统工程的理论基础

(3) 现代应用数学若干学科分支。主要包括：概率论与数理统计、随机过程、模糊数学、灰色系统理论、可靠性理论、控制论、遗传算法、地质统计学等。

(4) 经营管理学理论。主要包括：管理学、可持续发展理论、工业工程、宏观微观经济学、技术经济学、计量经济学、产业经济学、投资经济学、经济控制论、区域经济学、经济地理学、资源经济学等。

(5) 与计算机技术密切结合的交叉学科分支。主要包括：系统仿真、系统动力学、人工智能、决策支持系统、管理信息系统、计算机辅助设计、地理信息系统等。

# 第一章 系统工程概述

---

## 第一节 系统工程的产生、发展及应用

## 第二节 系统工程的研究对象

## 第三节 系统的概念与特点

## 第四节 系统工程的应用领域

## 第五节 矿业系统工程

## 4. 系统工程的应用领域

目前，系统工程的应用领域已十分广阔。主要有：

(1) **社会系统工程**。始于钱学森社会主义建设总体设计思想，其研究对象是整个社会，是一个开放的复杂巨系统。它具有多层次、多方面、多阶段、开放式、高度综合等特点，如研究全面建成小康社会、全面深化改革、全面依法治国、全面从严治党战略思想与战略布局，中国特色社会主义国家治理体系与治理能力现代化，以及从新公共管理到整体性治理等。包括中国特色社会主义“五位一体”（经济建设、政治建设、文化建设、社会建设、生态文明建设）建设系统工程、国家及社会治理系统工程、改革系统工程、危机管理系统工程、法治系统工程、党的建设系统工程等。

(2) **宏观经济系统工程**。运用系统工程思想和方法研究宏观经济系统的问题，如国家的经济发展战略、综合发展规划、综合经济指标体系、投入产出分析、积累与消费分析、产业结构分析、消费结构分析、价格系统分析、投资决策分析、资源合理配置、经济政策分析、综合国力分析、世界经济模型等。



## 4. 系统工程的应用领域

(3) **区域发展系统工程**。运用系统工程原理和方法研究区域可持续发展战略、区域综合发展及开放开发规划、区域投入产出分析、区域城镇布局、区域资源合理配置、区域人流—物流—信息流资金流一体化等，如我国主体(经济)功能区建设、“一带一路”战略相关区域发展规划等。

(4) **农业系统工程**。研究中国特色现代农业发展战略规划、农业投资规划、农业综合规划、农业区域规划、农业及“三农”问题政策分析、连片开发与精准扶贫行动计划、农产品生产系统分析(需求、结构、生产及加工、价格、安全等)、农业投入产出分析、农作物合理布局、农业科技发展规划、农业系统多层次开发模型等。

(5) **交通运输系统工程**。研究包括铁路、公路、水路、航空和管道等各种运输方式的综合运输发展战略及规划，铁路运输、公路运输、航运、空运等调度系统，综合运输优化模型，综合运输效益分析等。

## 4. 系统工程的应用领域

(6)能源系统工程。研究能源合理结构、能源需求预测、能源开发规模预测、能源生产优化模型、能源合理利用模型、电力系统规划、节能规划、能源数据库、油藏管理系统工程等问题。

(7)矿业系统工程。研究矿产资源经济与管理、资源开采规划、投资、评价、设计、生产和优化管理等问题。

(8)水资源系统工程。研究河流综合利用规划、流域发展战略规划、农田灌溉系统规划与设计、城市供水系统优化模型、水能利用规划、水污染控制等问题。

(9)生态环境系统工程。研究大气生态系统、大地生态系统、流域生态系统、森林与生物生态系统、城市生态系统等系统分析、规划、建设、防治等方面的问题，以及环境检测系统、环境计量预测模型、环境在线监控(领域)物联网等的开发建设。

## 4. 系统工程的应用领域

(10) **工程项目管理系统工程**。研究工程项目的总体设计、可行性、国民经济评价、环境与社会效益评价、工程进度管理、工程质量管理、风险投资分析、可靠性分析、工程成本效益分析等。

(11) **生产系统工程**。基于产业及行业创新发展，研究生产战略与决策、生产系统环境分析与规划设计、生产系统全生命周期及其整体优化管理，生产系统信息化、生产系统综合评价、创造服务业发展等，可包括或涉及人-机-环境系统工程、过程系统工程、质量系统工程等。

(12) **企业系统工程**。研究企业环境及市场、新产品开发、国际化战略、信息化设计与制造、生产管理系统、计划管理系统、供应链管理及库存控制、全面质量管理、成本核算系统、成本效益、财务系统、组织系统、人力资源开发与管理等。

(13) **物流系统工程**。以供应链和社会经济系统结构优化及高效运营为基础，研究自业物流系统、社会物流系统及其集成系统的战略、规划、优化、控制、管理等，强调物流为基础，实现物流、商流、信息流、价值流的一体化。

## 4. 系统工程的应用领域

(14) **科学技术系统工程**。研究科学技术发展战略、科学技术预测、优先发展领域科学技术评价、科学技术政策、科学技术人才规划、科学技术管理系统等。

(15) **人才系统工程**。研究人才强国战略、人才中长期规划、专门人才工程计划、人才分类管理及整体优化、拔尖人才与创新团队、中国特色人才管理体制机制、人才政策体系等。

(16) **人口系统工程**。研究人口总目标、人口参数、人口指标体系、人口系统动态特性、人口政策、人口区域规划、人口系统均衡性与稳定性。

(17) **教育系统工程**。研究人才需求、人才与教育规划、人才结构、教育公平与均衡发展、教育资源优化、教育政策、教育投资评估与管理各类学校治理结构与系统管理等。

## 4. 系统工程的应用领域

(18) **医药卫生系统工程**。适应全面建成小康社会及全面深化改革的要求，研究医药卫生改革发展目标体系、中国特色医药卫生体制机制及其各种关系、医药卫生四大体系(公共卫生服务体系、医疗服务体系、医疗保障体系、药品供应保障体系)一体化建设、各类医疗机构布局及建设规划、医药卫生信息化建设方案、医院系统化管理等。

(19) **军事系统工程**。研究新形势下的国防战略，作战模拟、情报、通信与指挥自动化系统，先进武器装备发展规划，综合保障系统,国防力量合理规模与结构，国防经济学，军事运筹学等。军事系统工程对系统工程学科的确立和发展发挥了基础作用。

(20) **信息系统工程**。运用系统工程理论和方法研究信息化及现代信息技术发展战略、规划、政策，各级各类信息系统分析、开发、运行、更新及管理。现阶段,移动互联网、云计算、大数据、智能技术等新一代信息技术对系统工程的研究与应用产生了广泛而深刻的影响。

# 第一章 系统工程概述

---

## 第一节 系统工程的产生、发展及应用

## 第二节 系统工程的研究对象

## 第三节 系统的概念与特点

## 第四节 系统工程的应用领域

## 第五节 矿业系统工程



## 5. 矿业系统工程

---

### 5.1 矿业系统工程的定义

矿业系统工程的形成是以20世纪60年代初期运筹学和电子计算机被广泛应用于矿业领域为主要标志的。

1961年在美国亚利桑那州图森城召开了第一届“国际电子计算机和运筹学在矿业中应用大会”（简称APCOM）。迄今，**APCOM大会**已召开了41届。1978年之后，随着我国科技教育事业的蓬勃发展，系统工程和电子计算机等现代科学技术被广泛引入矿业领域，开始了我国矿业系统工程的发展时期，取得了卓有成效的成果。

# 5. 矿业系统工程

## 5.1 矿业系统工程的定义

矿业系统工程是我国矿业界从事系统工程研究与应用学者，在我国著名学者钱学森同志的系统科学思想和现代科学技术体系结构的启示下，把“矿业系统分析”、“矿业运筹学”以及“系统工程在矿业中应用”和“电子计算机和运筹学在矿业中应用”等国内外不同的称谓统一归类于系统工程的一个分支—**矿业系统工程**。

# 5. 矿业系统工程

## 5.1 矿业系统工程的定义

- 在长期的采矿实践中，人们运用各种科学知识，不断揭示出采矿活动的内在规律，发展着相应的技术手段，逐步形成了各门矿业工程技术，比如矿山地质、开采方法、矿山通风、矿山机电等。 ☞ ☞ ☞ 硬科学
- 近年来，系统科学、运筹学以及计算机技术得到了飞速发展。处理矿业各种系统的规划、设计、运行与管理的工程技术—矿业系统工程逐渐形成。矿产资源的开发包含有色金属矿、铁矿以及煤炭等非金属矿，这些矿产资源的开发从矿床赋存条件与开采技术上来说，都有自己的特点。但是从系统工程的角度来看，却又都是处理多因素、动态、复杂矿业系统的组建、运行与管理的问题，都属于矿业系统工程。  
☞ ☞ ☞ 软科学

# 5. 矿业系统工程

## 5.2 矿业系统工程的战略地位

- 矿业系统工程是矿业工程学与系统工程学相结合所形成的一个新的学科分支。它是根据矿业工程内在规律和基本原理，以系统科学和现代数学理论方法研究和解决矿业工程综合优化问题。
- 矿业系统工程已迅速得到广大矿业工作者的认可和重视。当前每当讨论矿业技术问题时，矿山领导及技术人员通常会从“**系统性**”、“**整体性**”、“**优化决策**”等角度思考问题，这说明系统工程的观点已深入人心。
- 矿业系统工程的重要战略地位，主要表现在以下两方面：
  - ✓ 在广度上，矿业系统工程已覆盖整个矿业学科。
  - ✓ 在深度上，矿业系统工程紧跟信息科学的发展，并有所创新。

# 5. 矿业系统工程

## 5.2 矿业系统工程的战略地位

矿业系统工程具有重要战略地位的原因主要有：

- **整体性。**矿业工程涉及面广、作业地点分散、影响因素众多、需要从总体上进行全面协调和规划，而这正是采矿系统工程的特长。过去的矿业工程，往往侧重于单个作业，如爆破工程、边坡工程、采矿方法、矿物加工数学模型等。借助系统观点，可以从总体上整合矿业问题，其中在矿山的规划、设计和评估中表现尤为突出。
- **边缘性。**矿业工程涉及许多学科，如地质、测量、矿山机械、矿山电气、环境安全、技术经济等。对于它们和矿业工程的结合，过去不够重视，有脱节的现象。通过系统工程，学者研究学科之间的相互渗透和交叉，出现安全系统工程、边坡治理系统工程、地质统计学等边缘学科。
- **先进性。**矿业工程是一门古老的技术，它更多地依赖于经验判断而不是精密计算。通过矿业系统工程的应用，引入各种现代数学和计算机技术，可以将许多定性分析转化为定量决策，大大提高了矿业工程的科学性。

## 5. 矿业系统工程

### 5.3 矿业系统工程的特点

- 矿业系统是一个时序变化的动态系统。

矿山开采的工作地点是不断推移变化的，即一个矿山开发的全过程是一个“时序”发展过程。矿业系统工程的对象系统是一个时序变化的系统，系统的结构、规模和状态随时间变化而变化。矿业系统工程具有更大的综合性和复杂性。

- 矿业系统是一个随机性很强且是多变的人工自然复合系统。

矿山工程的主要对象是地下矿产资源，而矿产资源在地下的赋存状况和围岩条件是变化的。对矿产资源的认识和掌握要在矿山开发各个发展阶段不断加深，这就要求进行地质勘探工程和建设工程。这个多变的自然系统既是采矿工程的对象，又是进行工程活动的环境。



## 5. 矿业系统工程

### 5.3 矿业系统工程的特点

- 矿业系统是一个庞大的由多个子系统组成的复杂人工自然系统。

矿业开发受到地理位置、交通运输条件、水源和电源、气候、环境保护等多种因素的影响，同时又涉及一系列其他辅助企业的组建问题。这个特点决定了矿业系统工程所要解决的是一些复杂的多目标、多方案的系统决策问题。

上述特点说明它处理的对象系统是复杂的多变的人工自然大系统，要综合运用多种定量和定性方法和手段进行多方案比较来解决系统分析与综合问题。

## 5. 矿业系统工程

---

### 5.4 矿业系统工程的基础理论与方法

#### ■ 运筹学方法理论

- ①线性规划（Linear Programming）；
- ②整数规划（Integer Programming）；
- ③非线性规划（Non-Linear Programming）；
- ④目标规划（Goal Programming）；
- ⑤动态规划（Dynamic Programming）；
- ⑥图论及网络分析（Graph Theory & Network Analysis）；
- ⑦排队论（Queeing Theory）；
- ⑧存贮论（Inventory Theory）；
- ⑨决策论（Decision Theory）；
- ⑩对策论（Game Theory）。

# 5. 矿业系统工程

## 5.4 矿业系统工程的基础理论与方法

### ■ 现代应用数学

- ①地质统计学（Geo-statistics）；
- ②可靠性理论（Reliability Theory）；
- ③模糊数学（Fuzzy Logic）；
- ④灰色系统理论（Grey System Theory）。

### ■ 计算机信息技术

- ①系统模拟（System Simulation）；
- ②系统动态学（System Dynamics）；
- ③人工智能（Artifitial Intelligence）；
- ④决策支持系统（Decision Support System）；
- ⑤管理信息系统（Management Information System）；
- ⑥计算机辅助设计（Computer-aided Design）。

此外，还有管理科学、统计学、系统论、控制论等科学方法理论。

## 5. 矿业系统工程

### 5.5 矿业系统工程的发展现状

- ✓ 矿业系统工程的发展，经历了运筹学和计算机技术在矿业中的应用、矿业工程建模、系统优化、软件开发、网络技术、智能开采、智慧矿山等阶段。
- ✓ 运筹学、系统动力学、人工智能、专家系统、可靠性理论、数据挖掘、资源经济学等是其主要的理论研究方法。
- ✓ 随着计算机信息技术的飞速发展，与人工智能、网络技术、数据挖掘等相结合，是矿业系统工程的主要发展方向。

# 5. 矿业系统工程

## 5.5 矿业系统工程的发展现状

### (1) 资源开发、规划与管理

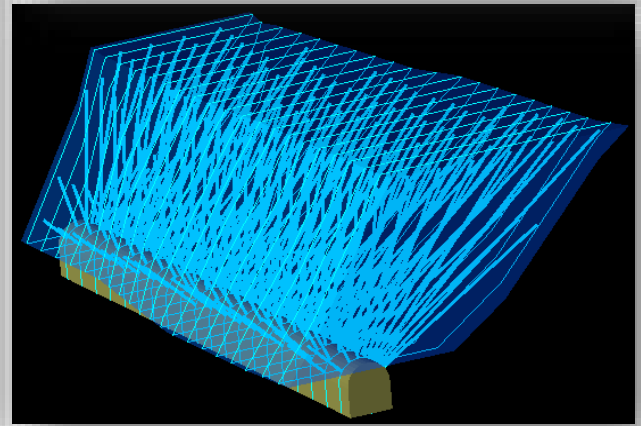
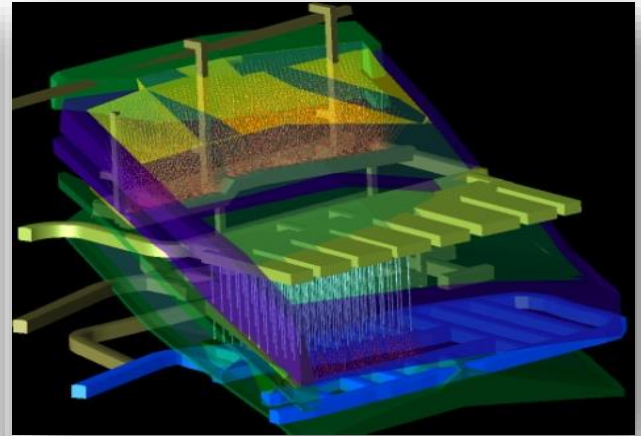
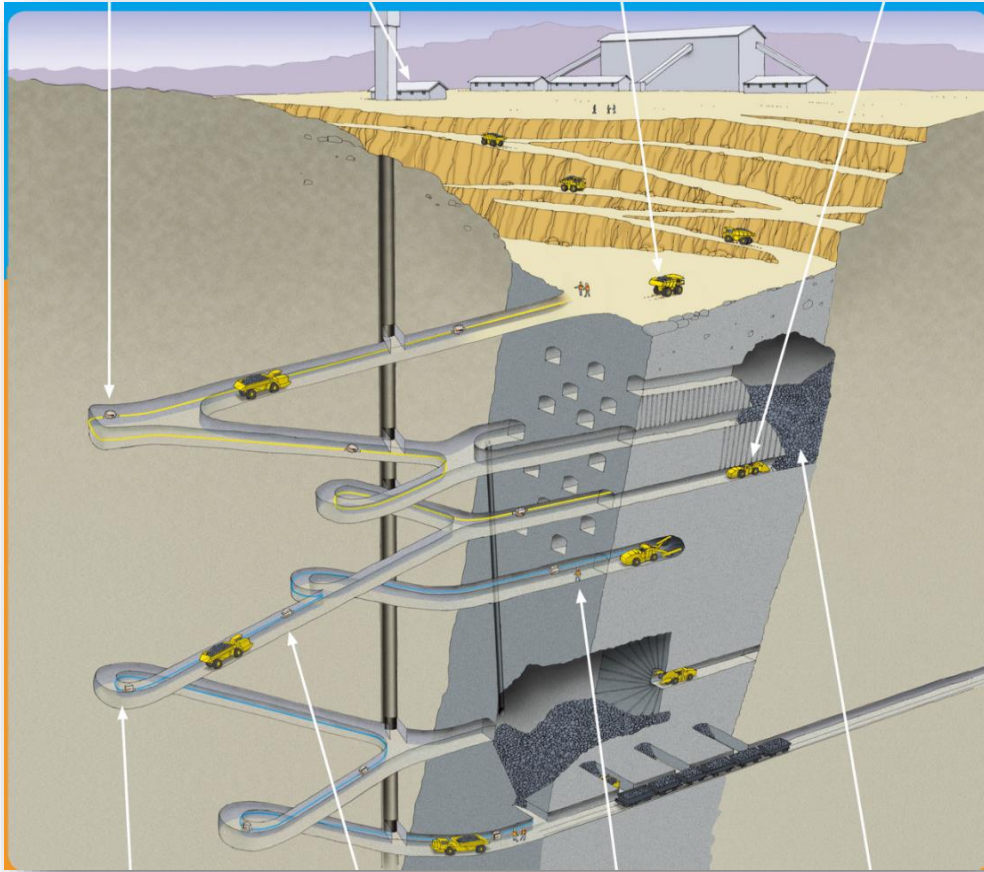
包括：资源经济与管理、资源开发与产业发展战略、资源开发与可持续发展、矿区经济评价、资源开发条件评价、资源环境保护等。

### (2) 矿山地质优化

- ① 研究最佳边界品位，考虑投资的时间价值，逐年动态地圈定矿体；
- ② 评估地质资源，采用各种估值方法推断矿体轮廓，计算矿石储量及质量指标；
- ③ 研究和应用地质统计学理论和方法，推断矿床中主要组分的分布情况；
- ④ 研究和建立矿床模型，将地质信息数据结构化、计算机模型化和可视化；
- ⑤ 研究矿石质量管理方法，研究配矿数学模型，充分利用矿山资源。

# 5. 矿业系统工程

## 5.5 矿业系统工程的发展现状





## 5. 矿业系统工程

### 5.5 矿业系统工程的发展现状

#### (3) 矿山规划及设计工作的优化

- ① 应用线性规划、混合整数规划及投入产出法，综合考虑投资及生产成本，研究矿区最佳建设顺序及生产规模，确定矿山合理的生产能力；
- ② 进行矿山投资风险分析，采用计算机仿真技术及概率统计、矿业经济等方法，预测和分析矿山投资的效果；
- ③ 应用计算机仿真技术、数学规划方法、技术经济学等，合理地确定露天矿开采境界、设备类型和数量；
- ④ 在方案优化及参数优化的基础上，确定合理的采矿方法；

## 5. 矿业系统工程

---

### 5.5 矿业系统工程的发展现状

#### (3) 矿山规划及设计工作的优化

- ⑤ 应用专家系统、遗传算法、人工神经网络等理论和方法，确定合理的矿山开拓系统；
- ⑥ 优化矿井通风系统，运用网络技术及其他优化方法，使通风系统的设计、运行和控制更加合理；
- ⑦ 应用概率统计、预测技术等理论与方法，研究矿山安全管理问题；
- ⑧ 优化矿山总图布置方案，运用数学规划理论方法，合理布置各种工业场地和设施。

## 5. 矿业系统工程

### 5.5 矿业系统工程的发展现状

#### (4) 矿山企业现代化管理

- ① 应用数据库、人工智能和专家系统等现代化信息管理技术、建立矿山管理信息系统和决策支持系统，辅助管理和决策，建立办公自动化系统，提高办公效率和质量；
- ② 应用线性规划、动态规划等方法，优化矿山生产计划；
- ③ 应用网络计划方法和项目管理方法，优化施工管理；
- ④ 利用传感技术、信息论、控制论等技术，对矿山生产过程进行优化控制，使矿山生产处于最佳状态；

# 5. 矿业系统工程

## 5.5 矿业系统工程的发展现状

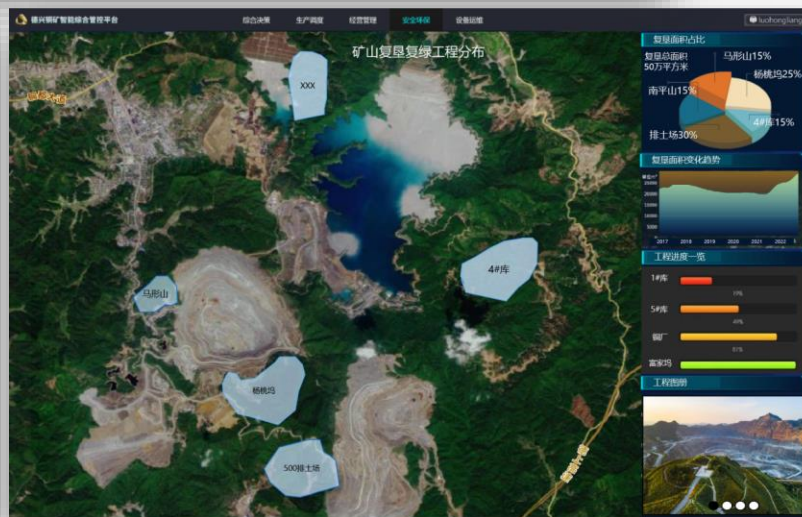
### (4) 矿山企业现代化管理

- ⑤ 运用数理统计和全面质量管理方法，严格管理和控制矿山生产各个环节的质量；
- ⑥ 运用成本管理理论和信息管理技术，研究矿山生产成本现代化管理方法和手段；
- ⑦ 采用数理统计、因果分析和时间序列分析等数学方法及各种经济理论，分析矿山企业经济活动，研究矿山的经济效果，预测矿山各种技术经济指标。



# 5. 矿业系统工程

## 5.5 矿业系统工程的发展现状





# 5. 矿业系统工程

## 5.5 矿业系统工程的发展现状

### (5) 采矿软件的发展

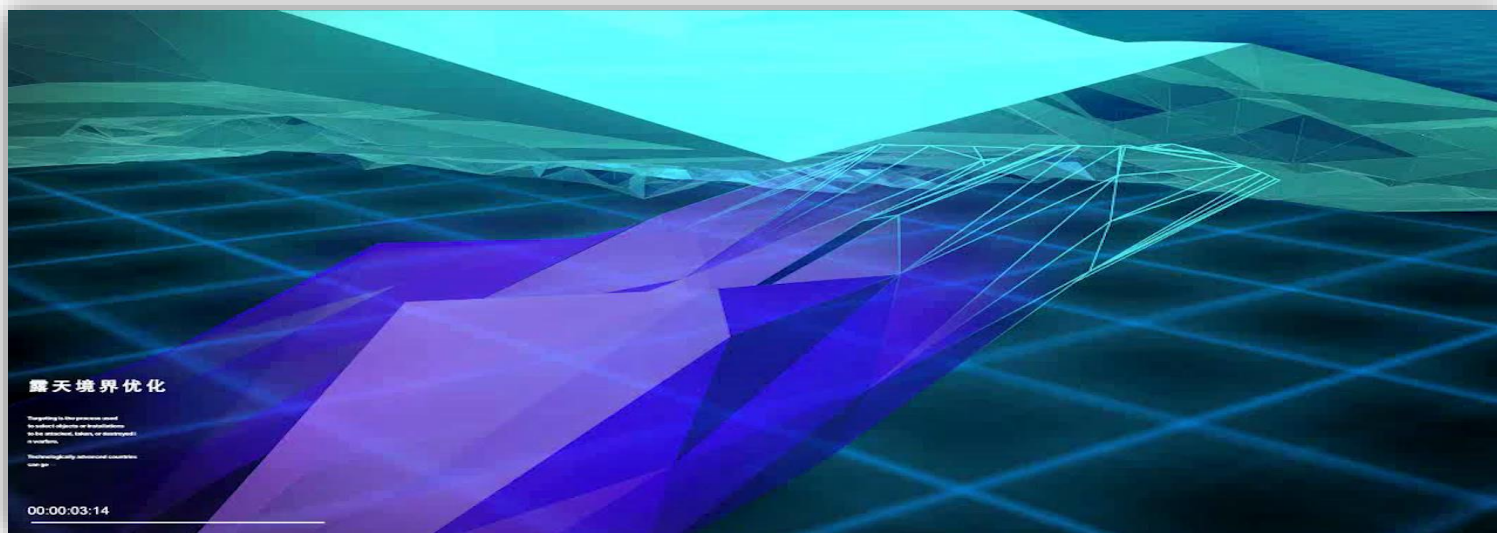
20世纪80年代中期以来，西方主要采矿国家的采矿软件公司相继推出了大量用于矿床开采评估、设计、计划和生产管理的综合性采矿软件包，如Datamine、Mincom、Medysystem、PC-Mine、Surpac、M-K Eagles等，装备了许多矿山，特别是澳大利亚和北美的一些矿山。我国现在开发的很好的数字矿山软件有DIMINE、3DMINE等。

有效地应用计算机使矿山的生产经营从方法到手段发生了根本性变化，实现矿山的科学管理和优化开采。在发达的采矿国家，几乎所有大中型企业型矿业公司都拥有这种计算机系统，用于矿床开采评估、设计、计划和生产管理等作业的计算机化，计算机在矿山开采中发挥着日益重要的作用。

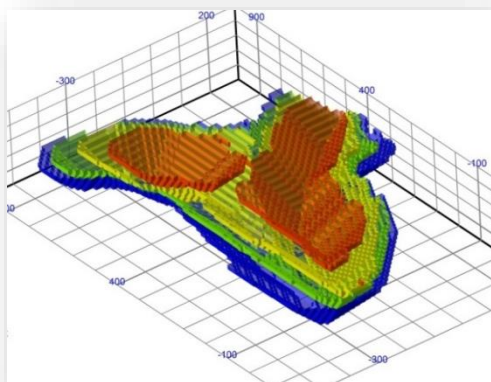


# 5. 矿业系统工程

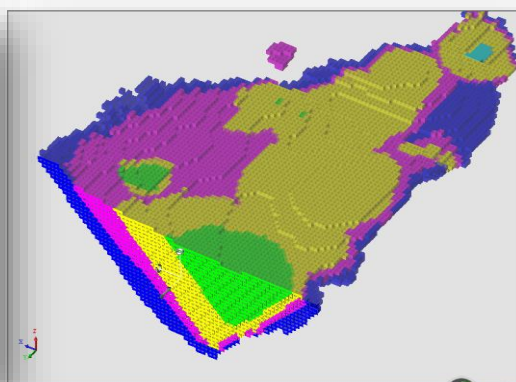
## 基于DIMINE软件的露天矿开采规划与设计



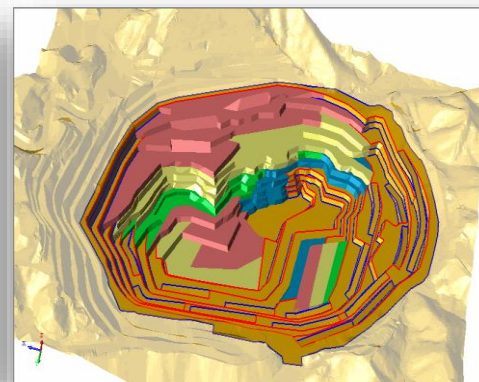
境界优化



境界壳



分期开采



计划编制



谢谢大家

