

# 第二讲 系统、系统科学与系统工程

## 一、什么是系统

### 1、“系统”定义

**系统 (System)** 一词最早见于古希腊德谟克利特 (B.C.460~370, 原子论创始人) 的《宇宙大系统》一书。书中关于系统的含义: “任何事物都是在联系中显现出来的, 都是在系统中存在的, 系统联系规定每一事物, 而每一联系又能反映系统的联系的总貌。”

#### 《中国大百科全书》(钱学森)

由相互关联、相互制约、相互作用的一些部分组成的、具有某种功能的有机整体。

#### 《韦伯斯特 (Webster) 大词典》

- 由许多通常是不同种类的部分, 按照一个共同的计划或用于一个共同的目的而形成的复杂的统一体.
- 在有规律的相互作用、相互依赖中联系在一起的要素所构成的聚集体或集合体.
- 由自然或人工组合成为一个完整的、有机的、或者有组织的整体的单元的集合.

-----

- 一个收集信息和分配信息的机械或网络.

## 《日本的工业标准》

许多组成要素保持有机的秩序面向同一目的的行动的集合体。

## 《一般系统论》的创始者 L. Von Bertalanfy

### 处于特定相互关系中的诸要素的集合

## 2、系统的基本特点

- 多元性：系统是由若干元素组成的。
- 相关性：这些元素相互作用、相互依赖。
- 整体性：由于元素间的相互作用，使系统作为一个整体，具有特定功能。

### 其他特点

- 集合性：具有某种属性的对象的集合

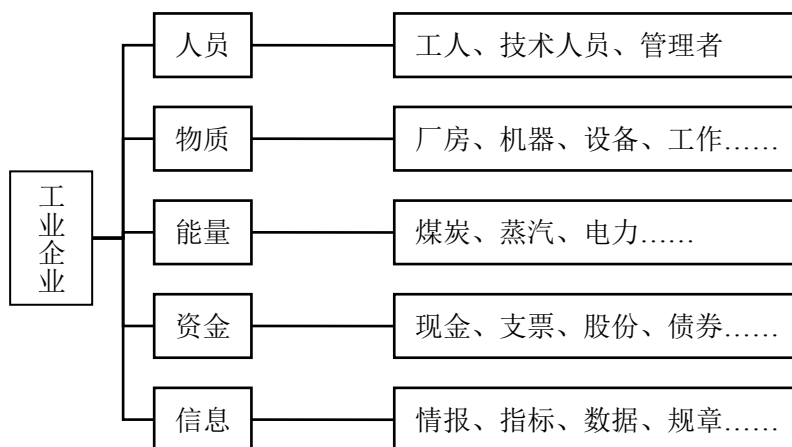


图 工业企业的组成要素

- 层次性：系统一般可分解为一系列的子系统，并存在一定的层次结构

例如，在组织管理工作中系统的层次与管理的跨度是一对矛盾。从个人的管理能力而言，管理跨度的平均值是一个常数，被称之为“奇妙的 7”，即一个管理者，他能够直接有效管理的下属是 7 人左右，不会太多。如果要管理一个 10 万人的企业，设管理跨度为 7，则  $10^5 = 7^n$ ，求得  $n=5.916 \approx 6$ ，就是说，需要 6 个管理层次，理论上的管理人员总数为

$$1 + 7 + 7^2 + 7^3 + 7^4 + 7^5 = 19601(\text{人})$$

如果利用计算机技术，建立性能卓越的管理信息系统（MIS），提高管理的跨度，就可以减少管理的层次。假设管理的跨度提高到 18，通过简单计算可知：管理层次可以降低至 3，管理人员总数只需 6000 人左右，可以减少 2/3 以上。当然，管理岗位的设置要考虑多种因素，并非如此单一。但是可以确信，在当代的计算机和信息技术条件下，管理组织的结构可以由金字塔趋向扁平化。

- 目的性：系统都是具有目的的。
- 适应性：任何一个系统都要与外界产生物质、能量和信息的交换，外界环境的变化必然会引起系统内部各要素的变化。
- 涌现性：系统的组成部分没有而整体具有某些性质、功能和要素等。

### 3. 系统分类

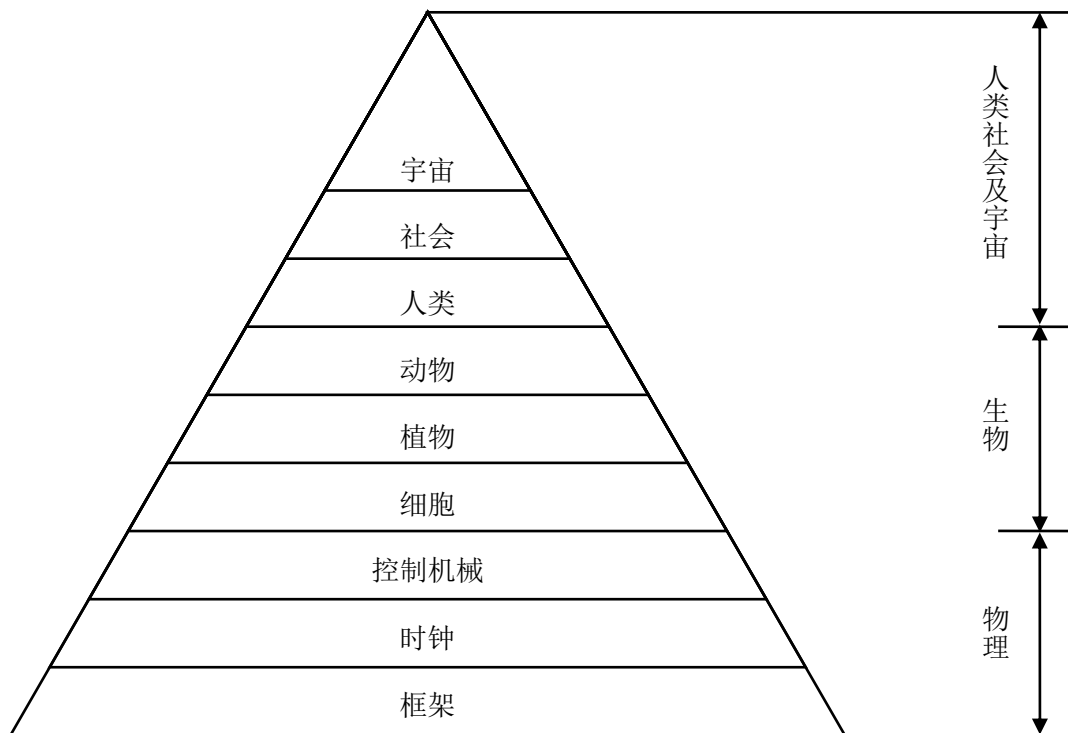
#### 1) 按自然属性分：

- ◆ 自然系统：宇宙、星系、太阳系、气象系统
  - 生物系统：生物个体、呼吸、循环、消化、生殖、神经
- ◆ 人造（社会）系统：电力系统、自动化生产线、炼油厂、机器人
  - 社会经济系统：国家、工业、农业、商业、教育

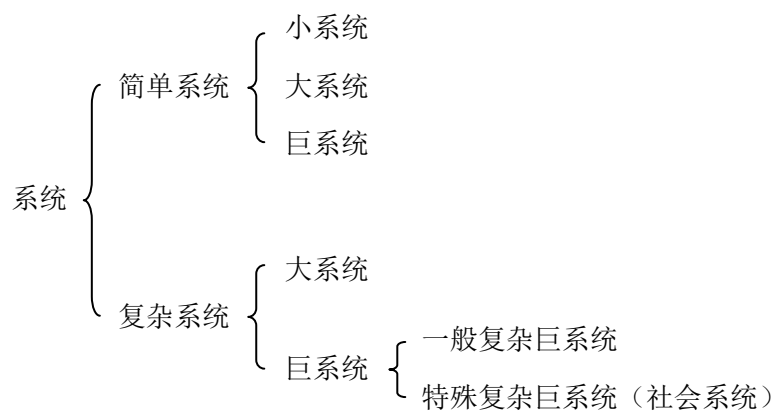
## 2) 按物质属性分:

- ◆ 实体系统: 由矿物、生物、机械等实体物资组成。
- ◆ 概念系统: 由概念、原理、法则、制度等非物质实体组成。

## 3) 按照系统的综合复杂程度分:



## 4) 钱学森的分类:

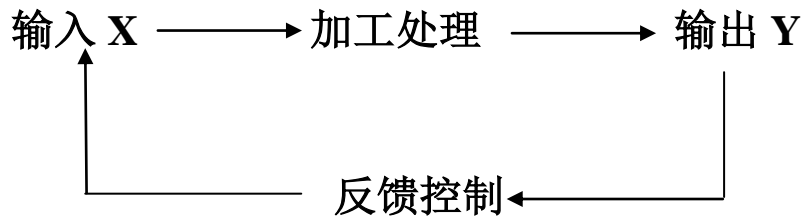


## 4. 系统的结构

$$S = \{E, R\}$$

S---系统； E---元素； R---关系

## 5. 系统的功能



输入(出)的可以是材料、能量、信息：

$$1) Y = F(X)$$

$$2) F > \sum_i f_i$$

## 二、什么是系统科学

### 1) 科学

《辞海》

关于自然、社会和思维的知识体系。它适应人们改造自然和社会的需要而产生和发展，是实践经验的结晶。科学可分为自然科学和社会科学两大类，哲学是二者的概括和总结。科学用逻辑和概念等抽象形式反映世界。科学的任务是揭示事物发展的客观规律，探求客观真理，作为人们改造世界的指南。

《大不列颠百科全书》

涉及对物质世界及其各种现象、并需要无偏见的观察和系统实验的所有各种智力活动。一般来说，科学涉及一种对知识的追求，包括

追求各种真理或各种基本规律的作用。

## 2) 系统科学

《辞海》:

以系统及其机理为对象,研究系统的类型、性质和运动规律的科学。

20 世纪 40 年代末产生,包括五个方面内容: **系统概念**,即关于系统的一般思想与理论; **一般系统理论**,即用数学的形式描述和确定系统的结构与行为的纯数学理论; **系统理论分论**,指为了解决各种特点的系统结构与行为的一些专门学科,如图论、博弈论、排队论、运筹学、控制论、信息论等; **系统方法**,即为了对系统对象进行分析、计划、设计和运用时所采用的具体应用理论及技术的方法步骤,主要指系统分析和系统工程; **系统方法的应用**,即将系统科学思想和方法用到各个具体领域中去。

## 三、什么是系统工程

### 1、工程

泛指**需要投入大量人力物力的工作**,尤其是指土木建筑或其它生产制造部门的用大而复杂设备来进行的工作。

**工程(学)**:把自然科学的原理应用到工农业生产中去而形成的各种学科的总称,目的在于利用和改造自然来为人类服务,主要包括工程的勘测、设计、施工原材料选择研究及置备、产品设计制造、工艺和

施工方法研究。

## 2、系统工程的定义

《中国大百科全书》自动控制与系统工程卷：

从整体出发合理开发、设计、实施和运行系统的工程技术。它根据总体协调的需要，综合应用自然科学和社会科学中的有关思想、理论和方法，利用电子计算机对系统的结构、要素、信息和反馈等进行分析，以达到最优规划、最优管理和最优控制。

《美国大百科全书》

系统工程研究怎样选择人员和设备的最适当组合方式以完成特定的目标。

《苏联大百科全书》

系统工程是一门研究复杂系统的设计、建立、试验和运行的科学技术。

《大英百科全书》

系统工程是一门把已有学科分支中的知识有效地组合起来用于解决综合性问题的技术。

钱学森、许国志：

- 系统工程是组织、管理系统的工程技术
- 系统工程是系统科学中直接改造客观世界的工程技术

- 是规划、研究、设计、制造、测试和使用系统的科学方法

## 《日本工业标准》

系统工程是为了更好地达到系统目标而对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制机理等进行分析与设计的技术。

## 寺野寿郎(日本) 《系统工程学》

系统工程是为了合理地开发、设计和运用系统而采用的思想、程序、组织和方法的总称。

## 三浦武雄 《现代系统工程学概论》

系统工程与其它学科不同之处在于它是跨越许多学科的科学，而且是填补这些学科边界空白的边缘学科。系统工程的目的是研究系统，而系统不仅涉及工程学领域，还涉及社会经济和政治领域。为了解决这些领域的问题，除了需要某些纵向技术，还需要一种技术从横向把它们组织起来，这种横向技术就是系统工程，也就是研制系统的思想、技术和理论体系的总称。

## 3、系统工程的产生与发展

### 1) 系统工程的产生是科学技术进步的必然结果

#### (1) 物质文明三要素与社会发展

物质文明三要素：材料 Material、能量 Energy、信息 Information

- 冶炼技术的发展  $\longrightarrow$  材料的进步  
由石(木、骨)等天然材料 到 使用青铜、铁等冶炼材料



====> 农业社会的发展

- 第一次科学革命(1670-1740)建立了以经典物理学为基础的自然科学 ==> 能源的变革

生产动力 由人、畜力为主发展成机械能为主

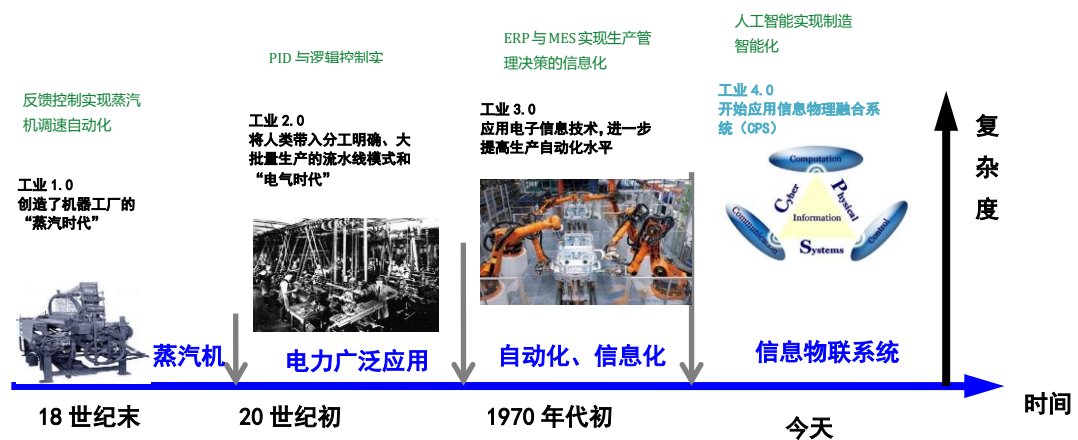
====> 工业社会的形成和发展

1900 年开始电力的广泛应用导致二次工业革命.

- 第二次科学革命(30 年代开始) ==> 信息科学形成  
信息处理 由人的脑力为主发展到计算机及其网络为主

====> 信息时代(知识经济、后工业社会)的形成

1980 年开始, 知识经济的发展导致全新的经济发展模式.



## (2) 系统工程形成和发展的直接动因

- 二次世界大战以来科学技术进步迅猛, 社会经济发展加速。同时, 资源短缺、环境恶化, 人们面临越来越复杂的大系统的组织、管理(规划、计划、研究、设计、制造和控制)问题。越来越复杂的大系统 指

系统的活动空间越来越广

系统的活动时间上的变化越来越快

系统的层次结构越来越复杂

系统的活动产生的后果影响越来越深远

人们原有的知识和经验已无法应付

- 科学、技术、生产相互渗透形成统一整体
- 现代科学、技术、理论发展的整体化趋势
- 科学管理的作用日益重要

⇒ 运筹学、控制论、信息论的形成和发展

⇒ 系统工程的形成、发展

1940 年 Bell 公司首次使用系统工程(Systems Engineering)

1969 年阿波罗计划成功后系统工程作为学科得以确立

## 2) 系统工程在中国的发展

1956 年由于有计划、按比例的经济建设的需要，“运筹学”开始在中国发展。许国志、华罗庚等。

1978 年《组织管理的技术—系统工程》在文汇报上发表，钱学森、许国志、王寿云。标志着系统工程在中国开始起步。

同年，清华大学、天津大学、西安交大、上海交大、大连理工和华中工学院 6 校成立系统工程专业。

1980.11，中国系统工程学会在北京成立，钱学森、薛幕桥为名誉理事长，关肇直为理事长。其后的理事长有许国志、顾基发、陈光亚、汪寿阳等，每 2 年举行一次全国性学术年会。

系统工程学会专业委员会：教育、军事、环境、信息、农业等。

系统工程地区学会：

## 4、系统工程在现代科学技术中的地位

### 1) 系统工程与其他工程技术间的关系

在系统工程的规划下，各种具体的工程技术作为实现总体目标的手段，可以发挥出最好的作用。脱离了其他工程技术，系统工程也就成了“无本之水，无源之水”。

系统工程在自然科学、工程技术与社会科学之间构筑了一座桥梁。

### 2) 现代科学技术体系

自然科学的 3 个层次：

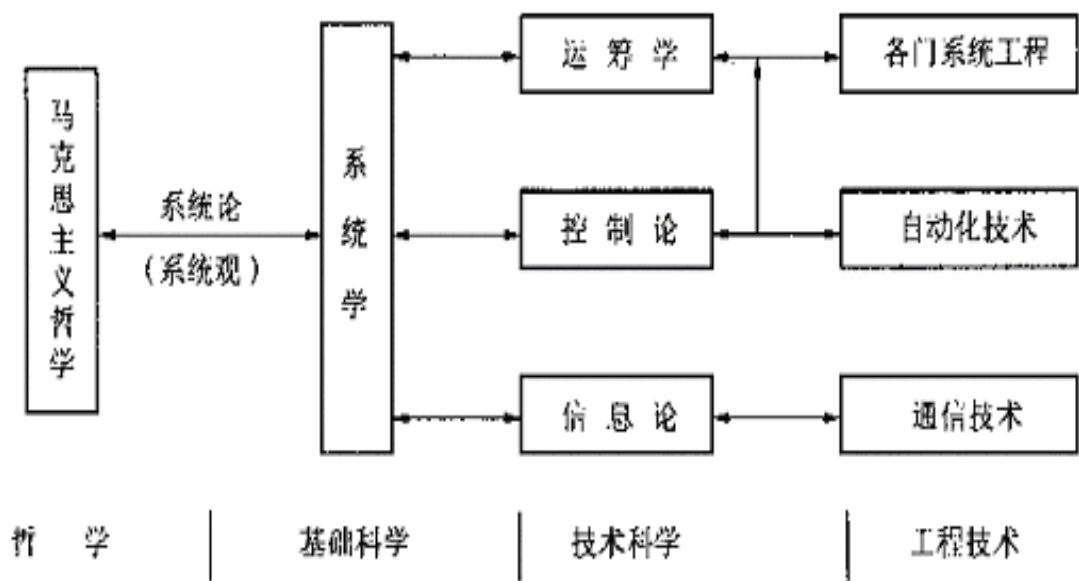
第一层，直接用来改造客观世界的工程技术。

第二层，为工程技术直接提供理论基础的技术科学。

第三层，揭示客观世界规律的基本理论，即基础科学。

系统科学体系：

系统科学体系结构



人类知识体系:

马克思主义哲学——人类认识客观和主观世界的科学															哲 学	
性 智			量 智												桥 梁	
文艺活动	美 学	建筑哲学	人 学	军事哲学	地理哲学	人天观	认识论	系统论	数学哲学	唯物史观	自然辩证法			基础科学		
	文艺理论	建	行	军	地	人	思	系	数	社	自					技术科学
		筑	为	事	理	体	维	统	学	会	然					
	文艺创作	科	科	科	科	科	科	科	科	科	科					
实践经验知识库和哲学思维												前科学				
不成文的实践感受																

## 5、系统工程的特点

### 1) 一般特点

- 一个系统，二个最优
- 以软为主，软硬结合
- 跨学科多，综合性强
- 从定性到定量的综合集成
- 以宏观研究为主，兼顾微观研究
- 实践性与咨询性

### 2) 第一讲中那些案例的系统特点

- 人造的
- 有整体性的（狄斯塔尔现象）
- 庞大而复杂的
- 半自动的
- 输入不确定的
- 许多系统具有竞争性

以上各条没有哪一条是必要的，任一子集均不充分。

## 四、系统工程的应用领域

作为系统科学体系中的工程技术，系统工程是一个总类名称，可以分为下表中所示的一些专业：

系统工程的专业	对应的专业学科	系统工程的专业	对应的专业学科
---------	---------	---------	---------

	基础		基础
工程系统工程	工程设计	教育系统工程	教育学
科研系统工程	科学学	社会系统工程	社会学、未来学
企业系统工程	生产力经济学	计量系统工程	计量学
信息系统工程	信息学、情报学	标准系统工程	标准学
军事系统工程	军事科学	农业系统工程	农事学
经济系统工程	政治经济学	行政系统工程	行政学
环境系统工程	环境科学	法制系统工程	法学
安全系统工程	安全科学	交通系统工程	运输学
.....	.....	.....	.....

## 1、工程系统工程

古代的能工巧匠：设计师、劳动者、管理者。

现代工程体系：技术分工→组织协调→总体设计部→系统工程。

### 1) 北极星计划

1957 年开始，8 家总承包公司，250 家分包公司，300 家三包公司

CPM (critical path method), PERT (program evaluation and review technique)

华罗庚：双法→优选法和统筹法

### 2) 阿波罗计划

1961-1972, 300 多亿美圆，2 万多家企业，120 所大学与研究机构，400 多万人员（其中高级技术人员 42 万）。

## PERT→GERT (graphical evaluation and review technique)

\*阿波罗 11 号宇宙飞船登月的主要环节上计划时间与实际时间的比较

项 目	计 划			实 际			相 差	
	日	时	分	日	时	分	小时	分
飞船发射	16	20	32	16	20	32		0
进入飞向月球轨道		23	16		23	16		0
进入绕月球的椭圆轨道	20	0	26	20	0	22		4
登月舱进入接近月面轨道	21	2	10	21	2	8		2
登月舱在月面登陆		3	19		3	17		2
宇航员走出登月舱踏上月面		13	19		9	56	3	23
宇航员回到登月舱		15	42		12	11	3	31
登月舱离开月面开始上升	22	0	55	22	0	55		0
宇航员进入返回地球的轨道		11	56		11	55		1
在太平洋中部着落	24	23	51	24	23	50		1

**总指挥韦伯总结语：**“阿波罗计划中没有一项新发明的自然科学理论和技术，而是现成技术的应用，关键在于综合”

## 2、军事系统工程

军事系统工程：运用系统工程的理论和方法以及现代信息技术来研究和执行现代战争中的参谋活动。它在武器使用、后勤业务、组织建立指挥体系、战略研究等方面都能发挥重要作用。

古代战争，军事是作为一门“艺术”看待的：1）依靠统帅与将领个人的聪明才智，2）这种聪明才智并不依靠科学技术。

现代战争，需要一套完整的科学技术保障体系，如侦察、后勤、救助、进攻与防守等。形成于第二次世界大战。

例如，二战中英国抵御德国飞机问题：雷达探测→信息传递与显示→拦截方案分析、设计与优化计算→拦截，这直接导致了“运筹学”的产生。

再如，米格 25 战斗机。

还有，海湾战争，战争模拟→军事集结→空中打击→陆地进攻，这也导致所谓“C<sup>3</sup>I”、“C<sup>4</sup>I”、“空海一体战”等高级军事技术的产生。

### 3、社会系统工程

社会系统是一个复杂巨系统，是目前我们所能认识的最高境界的系统。准确地经济、社会和科技发展的统计数据，大容量高速运算的电子计算机，是社会系统工程的物质基础；运筹学、控制论、社会学、政治经济学、部门经济学、技术经济学、科学学、未来学等是社会系统工程的理论基础。

调研和资料收集→因素分析→建立宏观经济的数学模型→设置政策变量→仿真试验→方案设计与评价→决策→根据执行情况，反馈调整。

#### 社会系统结构：

- 经济的社会形态：经济制度、社会生产方式→物质文明；
- 政治的社会形态：社会政治制度（国家政权性质、管理体制、法律制度）→政治文明；
- 意识的社会形态：思想文化体系（哲学、宗教、伦理道德，以及教育、科技、文学艺术）→精神文明。

以下战略正好体现了系统工程的思想和方法：

- ◆ 环境保护与可持续发展
- ◆ 物质文明、精神文明和政治文明的协调发展
- ◆ 和平崛起与和谐社会



## 4、信息系统工程与管理信息系统

**信息系统工程：**信息科学、系统科学、计算机科学与通信技术相结合的综合性、交叉性学科，核心是运用系统工程的原理和方法来开展信息系统建设与管理，包括技术领域和管理领域。主要研究方法包括：

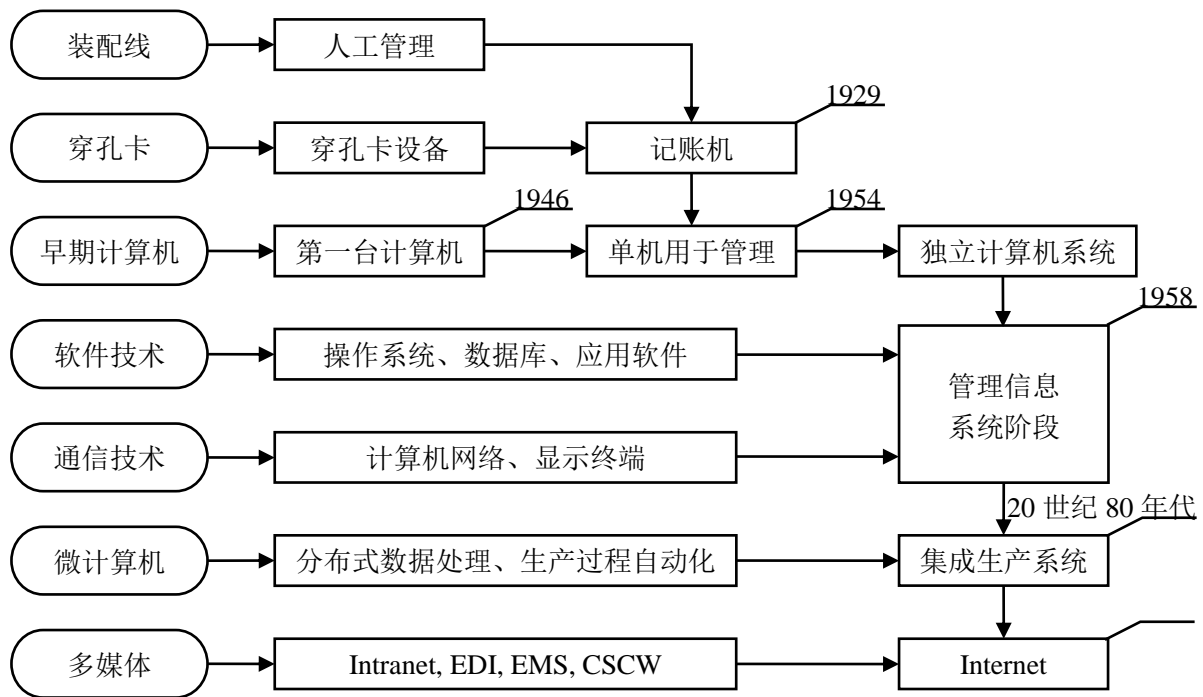
- 技术方法
- 行为方法
- 社会技术系统方法

### 1) 信息系统工程、计算机技术及信息网络

- 信息网络：舞台
- 计算机技术：演员
- 信息系统工程：剧本

几个重要发展阶段：

- 1929，机械记账机
- 1946，电子计算机
- 1958，用于管理
- 20 世纪 70 年代末，CAD、CAM→CIMS→CIMMS
- 20 世纪 90 年代，信息高速公路→敏捷制造→Internet 和 Intranet
- 目前，物流管理→虚拟制造→虚拟采办→……



## 2) 管理信息系统

传统的管理信息系统：管理+信息+系统

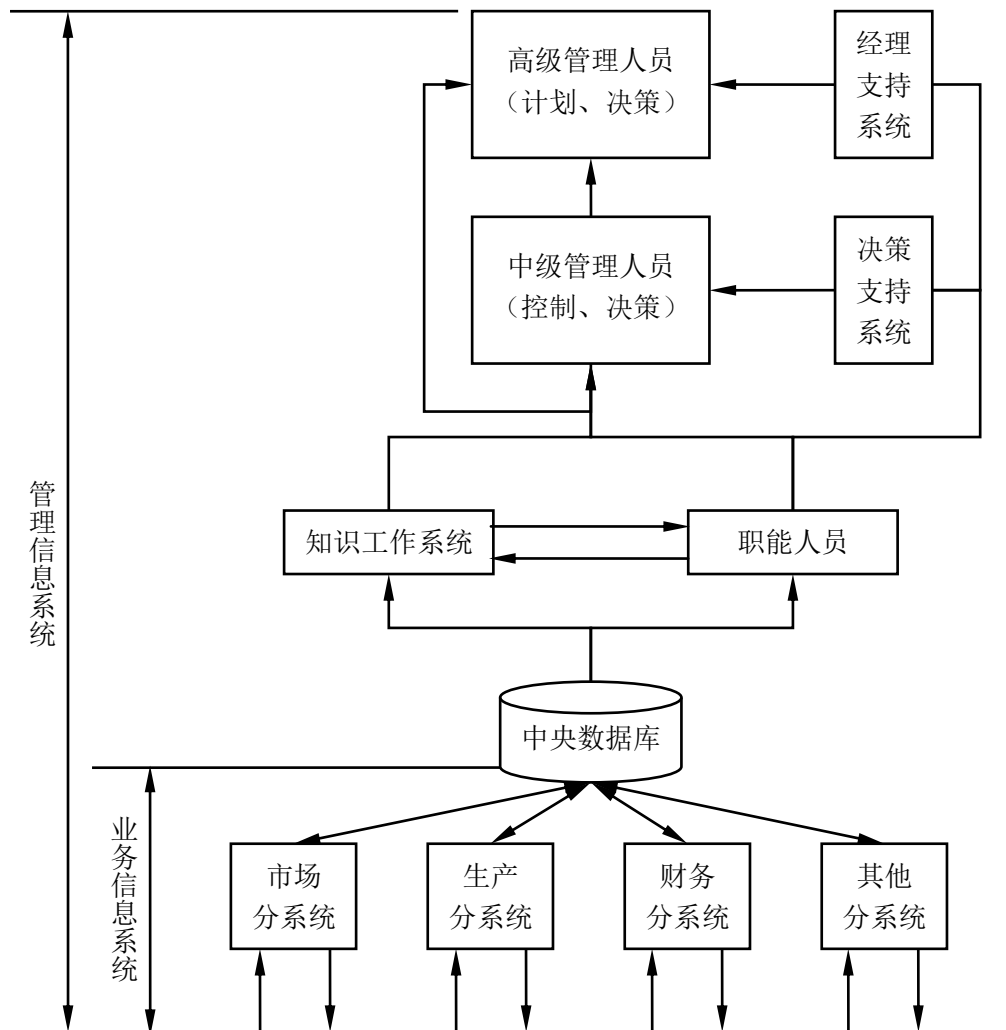
现代的管理信息系统：管理+信息+系统+计算机技术

**“管理信息系统”**的概念：是一个以人为主导，利用计算机硬件、软件、网络通信设备以及其他办公设备，进行信息的收集、传输、加工、储存、更新和维护，以企业战略竞优、提高效率为目的、支持企业高层决策、中层控制、基层运作的集成化的人机系统，简记为 MIS。是一个管理系统、也是一个社会系统，属于系统性、交叉性、边缘性学科。

**注意：**国外文献，信息系统=管理信息系统

国内文献，信息系统 $\subset$ 管理信息系统

下图表示管理信息系统的总体概念：



### 3) 管理信息系统特点

- 是一个人机系统
- 是一个一体化的集成系统，统一规划的数据库是其基础
- 用数据或信息辅助决策
- 是一个尚在发展的概念

### 4) 典型子系统或分系统

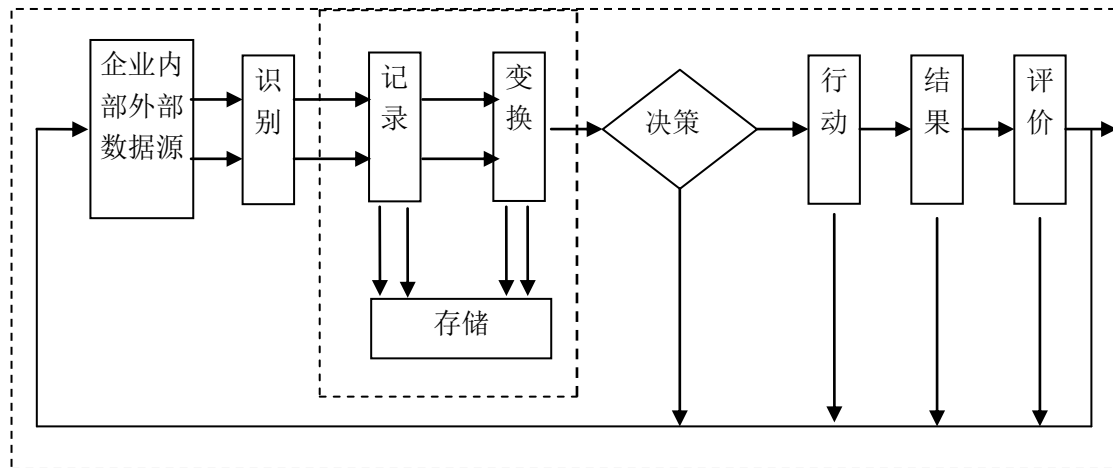
- 统计系统
- 数据更新系统
- 状态报告系统
- 数据处理系统
- 知识工作或办公自动化系统

- 决策支持系统

## 5) 管理信息系统的结构

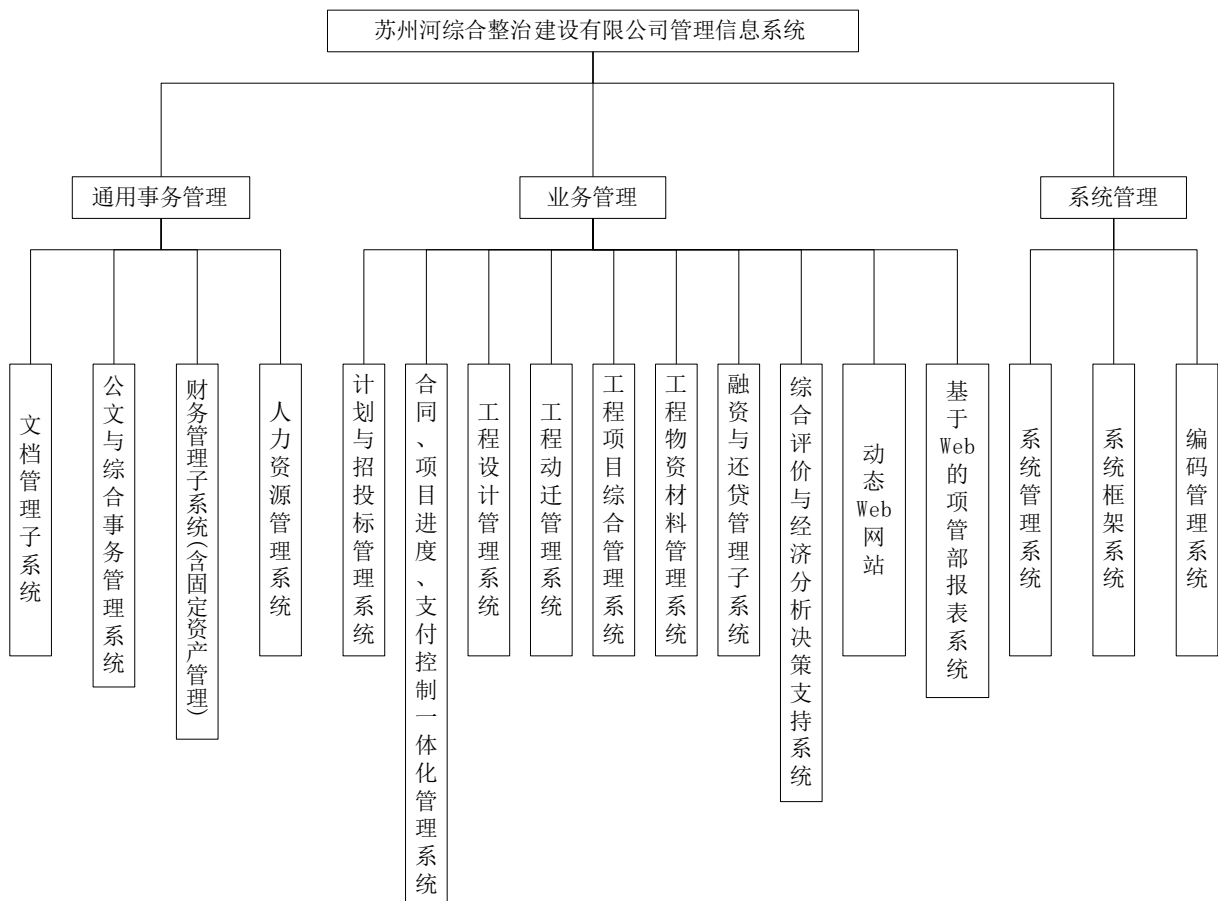
### A. 概念结构

信息源、信息处理器、信息用户和信息管理者构成一开环或闭环系统。



### B. 功能结构

由功能子系统组成整个系统的功能结构。



### C. 软件结构

	销售 市场	生产	后勤	人事	财务 会计	信息 处理	高层 管理
战略计划							
管理控制							
运行控制							
业务处理							

### D. 硬件结构

- 硬件设备
- 安置位置
- 硬件功能（实时、分时或批处理等）

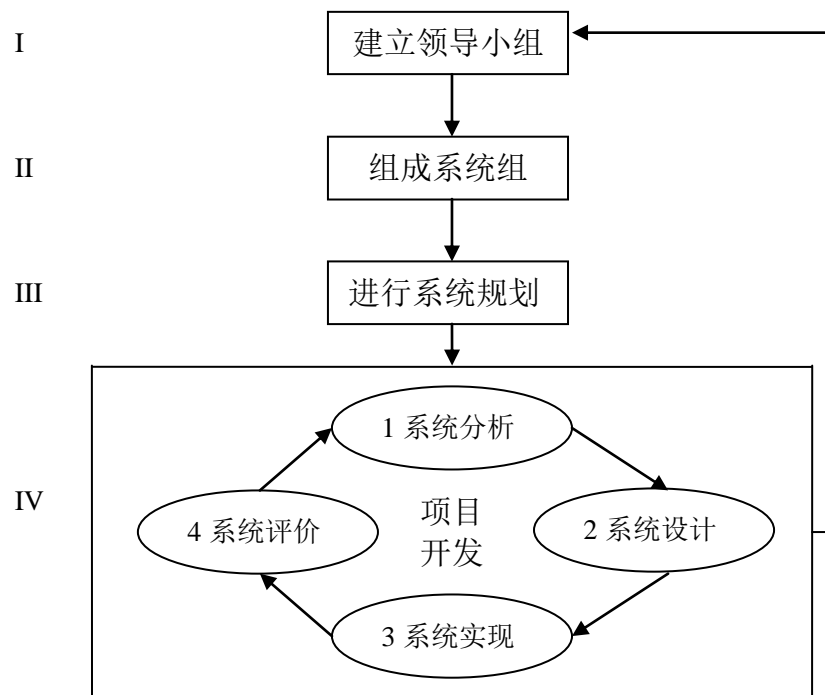
## 6) 管理信息系统的开发

关键因素：

- 合理确定系统目标
- 组织系统性队伍
- 遵循系统工程的开发步骤

关键问题：领导问题

开发步骤：



## 本讲小结：

德国著名物理学家普郎克：“科学是内在的整体，它被分解为单独的部分不是取决于事物本身，而是取决于人类认识能力的局限性。实际上存在着从物理学到化学，通过生物和人类学到社会学的连续的链条，这是任何一处都不能被打断的链条。”系统思想、系统科学和系统工程就是研究这根链条的。