

第五讲 系统工程学科基础

一、系统工程方法论

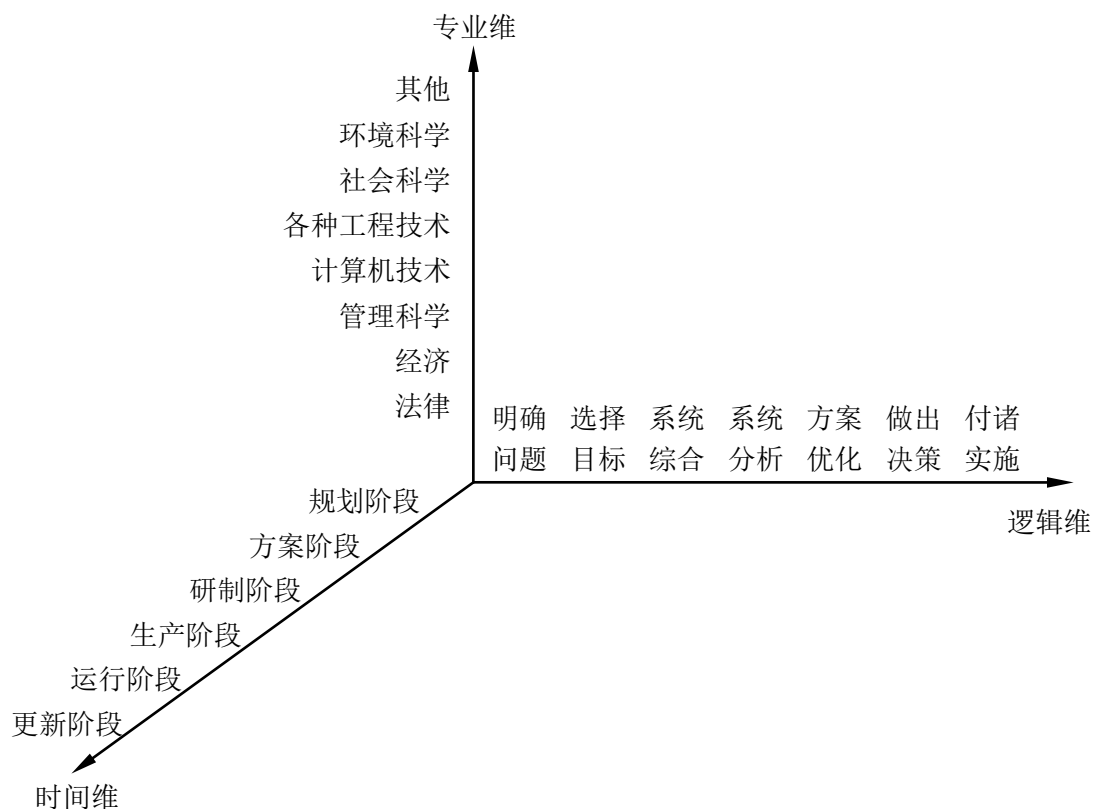
方法(method): 用于完成一个既定目标的具体技术与工具。

方法论(methodology): 是对方法使用的指导，高于方法，属哲学层次概念。

系统工程方法论: 系统工程研究和解决问题的一般规律或模式。

1、霍尔的三维模型

1968 年美国贝尔电话公司工程师霍尔（Hall）提出的系统工程三维结构模型。（**时间维、逻辑维和专业维**）



2、软系统方法论

1) 硬系统方法论（霍尔方法论）的局限性

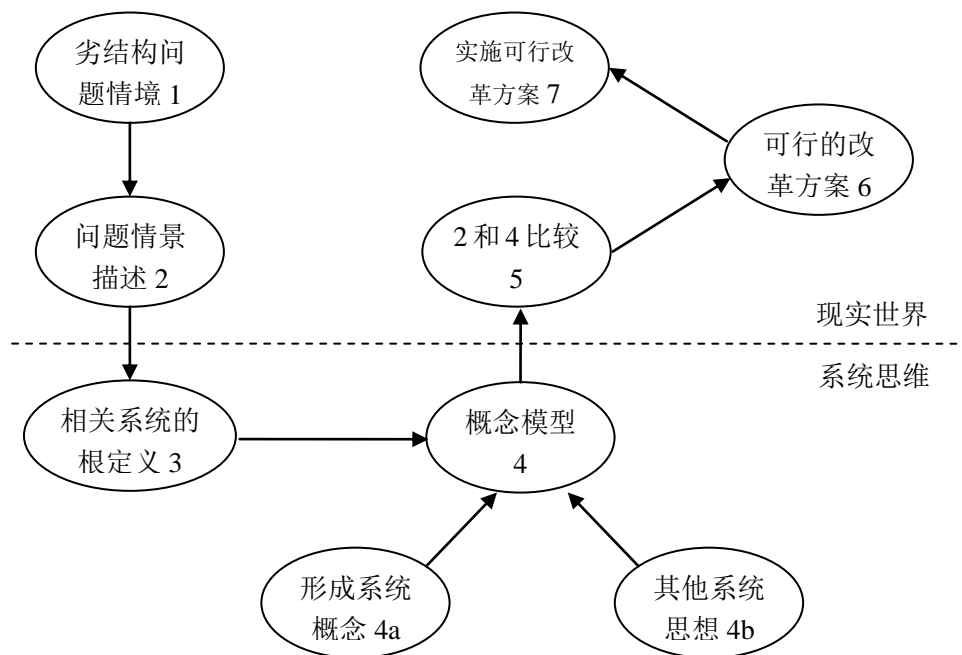
例如：美国加州应用硬系统方法论解决公共政策方面的问题。

- 没有为目标定义提供有效方法
- 没有考虑系统中人的主观因素
- 对于复杂的社会系统来说，建立精确的数学模型是不现实的

2) 软系统方法论（切克兰德方法论）的问题特点

- **硬问题**：便于观察、便于建模、边界清晰、目标明确、好定义 (well-defined) 的问题。例如，工程系统问题 (**Problem**)。
- **软问题**：难以观察、不便建模、边界模糊、目标不定、不良定义 (ill-defined) 的问题。例如，社会系统问题 (**Issue**)。

3) 软系统方法论解决问题的步骤



相关系统的根定义在于确定（CATWOE）：系统所有者（O）在价值观（W）的规范下，使系统的环境约束条件（E）下，由系统执行者（A）通过变换（T）将其输入变换为输出，系统的受益或受害者（C）就是受变换影响的人。

4) 软系统方法论的应用情况及评价

- （1）有助于系统理论方面的研究与应用
- （2）有助于决策理论的研究与应用
- （3）有助于推动其他软系统问题的研究工作

特点包括：

- 与目标不明、非结构化的“麻烦”有关
- 强调过程，即与学习和决策有关
- 与感性认识、世界观及将组织现实的内涵与环境相联系的方式有关
- 非数量型
- 依靠加深对问题情境的理解来改进它
- 依赖于解释社会理论
- 与统治人类社会的社会规则有关

不足在于：

- ◆ 不大适合处理突发事件，不能寄希望它立竿见影
- ◆ 在解释问题情境中的权利与冲突时缺乏可信度
- ◆ 缺乏明确的组织变革理论
- ◆ 没有提及行为措施的合理性与合法性的关系

3、综合集成法

由钱学森院士提出：

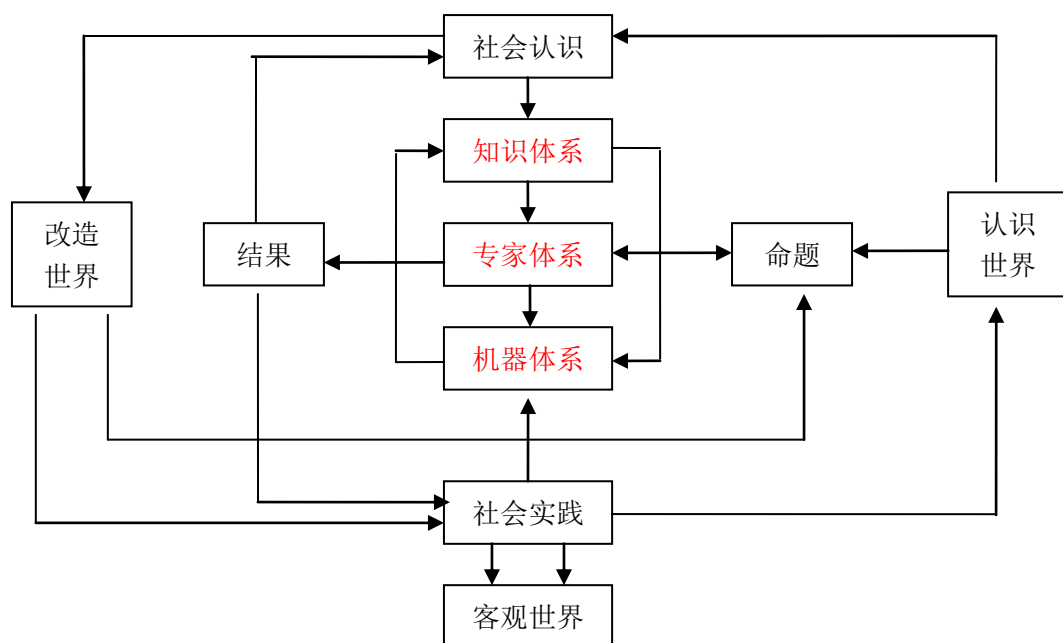
- **集成** (Integration)：反映量变，注重物理意义上的集中和小型化、微型化。
- **综合** (Synthesis)：反映质变，如复合、覆盖、组合、联合、合成、合并、兼并、包容、结合、融合等。
- **综合集成** (Meta-Synthesis)：在各种集成之上的综合，或在各种综合之上的集成。高于西方学者提出的 Meta-Analysis, 意为“**大成智慧工程**”的方法论。

1) 综合集成法的特点

对象：开放的复杂巨系统。

(1) 定性→定量

(2) 还原论和整体论的结合



研讨厅体系框图

2) 总体设计部

总体设计部就是应用综合集成法的集体，或者说是实现综合集成法所必需的体制或机制。它由熟悉所研究系统的各个方面的专家组成，并由知识面比较宽广的专家进行领导，应用综合集成法进行总体研究。

它设计的是系统的总体方案和实现途径，方法是协调。

4、物理-事理-人理方法论

1995 年顾基发提出的，简称为 WSR 系统方法论。

- **物理** (regularities in objective phenomena): 物质运动的规律。
- **事理** (ways of seeing and doing): 做事的道理。
- **人理** (principles underlying human inter relations): 做人的道理。

WSR 系统方法论的内容			
要素	物理	事理	人理

道理	物质世界、法则、规则的理论	管理和做事的理论	人、纪律、规范的理论
对象	客观物质世界	组织、系统	人、群体、人间关系、智慧
着重点	是什么？功能分析	怎样做？逻辑分析	应当怎么做？人文分析
原则	诚实，真理，尽可能正确	协调、有效率，尽可能平滑	人性、有效果，尽可能灵活
需要的知识	自然科学	管理科学，系统科学	人文知识，行为科学

5、系统论方法若干要点

- 1) 系统论方法的哲学基础
- 2) 还原论与整体论相结合
- 3) 定性描述与定量描述相结合
- 4) 局部描述与整体描述相结合
- 5) 确定性描述与不确定性描述相结合
- 6) 系统分析与系统综合相结合

二、系统工程的理论基础

运筹学、控制论和信息论是系统工程的技术科学，而数学和计算机技术是系统工程的方法和工具。

1、运筹学(Operations Research(美) or Operational Research (英))

运筹学的朴素思想很早，例如田忌赛马。

作为一门学科，起始于第二次世界大战英国对德国的反空袭和反潜艇作战的需要（军事运筹学）。

《 The Methods of Operations Research 》，P.M.Morse 和

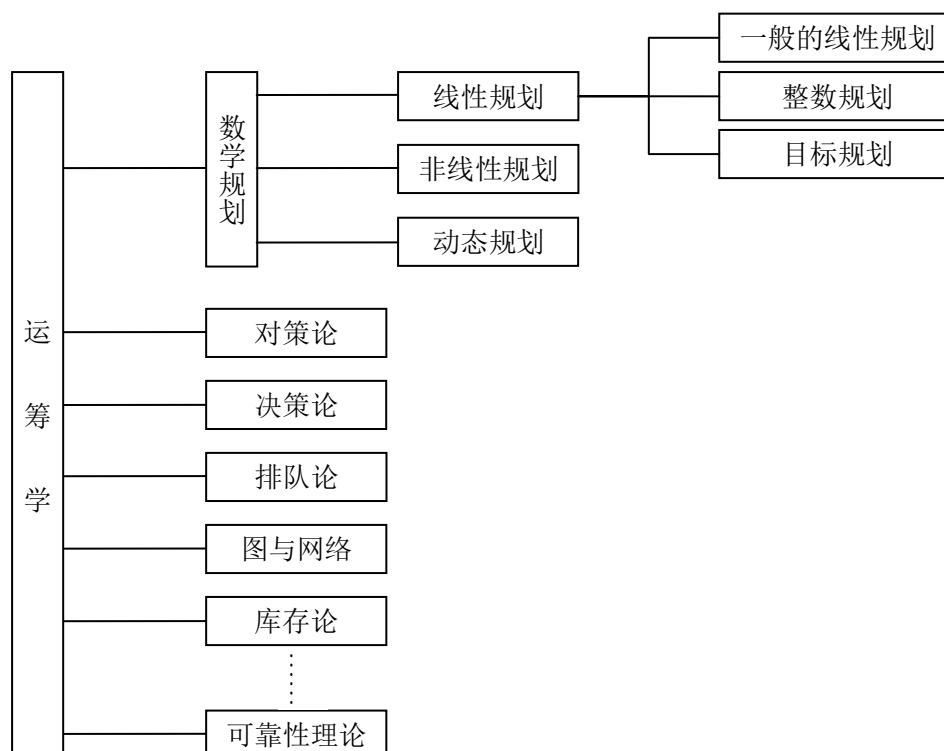
G.E.Kimball, 1946: “运筹学是为领导机关对其控制下的事务、活动采取策略而提供定量依据的科学方法，它是在实行管理的领域，运用数学的方法，对需要进行管理的问题进行统筹规划、做出决策的一门应用学科”。

“运筹于帷幄之中，决胜于千里之外”。在中国称为“**运筹学**”，在香港和台湾翻译为“**作业研究**”。

进一步地，用数学方法研究经济、民政和国防等部门在内外的约束条件下合理调配人力、财力、物力等资源，使实际系统有效运行的技术科学。它可以用来预测发展趋势、制订行动规划或优选可行方案，或者说资源的合理配置和有效的经营运作问题。

运筹学模型的一般形式: $P = \Phi(X; C)$ 。

学科内容: 线性规划、非线性规划、整数规划、动态规划、决策论、对策论、图论、排队论、存储论、网络理论、搜索论等。



运筹学应用的领域很广：

- 国际范围问题
- 国家社会问题
- 企业管理问题
- 系统问题
- 行业问题

运筹学的问题特点：事理

管理与管理科学：

管理是为了充分利用各种资源以达到一定目标而对社会或其组成部分施加的控制。

管理科学则是应用数学、统计学和运筹学中的原理和方法，建立数学模型、进行计算机仿真，为管理决策提供科学依据的学科。

常用方法：运筹学（线性规划、非线性规划、动态规划、排队论、库存论、图论、网络分析等），生产计划和管理，质量管理，决策分析，经济控制论，行为科学，计算机仿真，管理信息系统等。

运筹学的软化：概念模型+数学模型→满意解

贝塔朗菲，《一般系统论—基础、发展和应用》，1968 年

2、控制论(Cybernetics)

控制是系统建立、维持、提高自身有效性的手段。对控制问题进行理论研究，始于 1868 年英国物理学家麦克斯韦以微分方程为工具分析蒸汽机调速器稳定性的工作。

《Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine》, Norbert Wiener, 1948

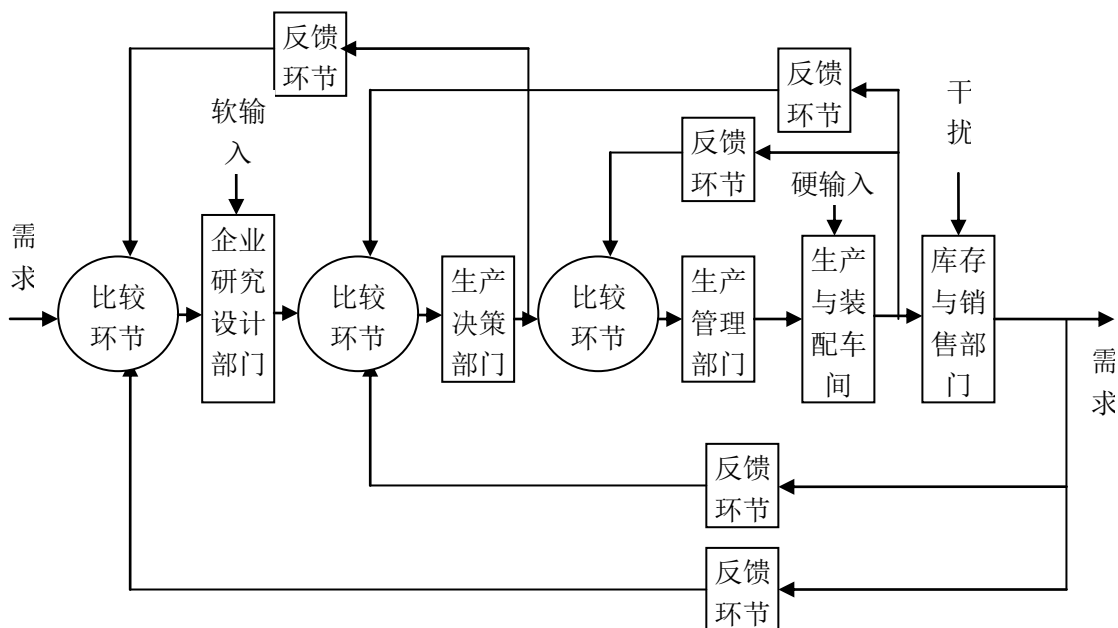
研究生命体、机器和组织内部或彼此之间的控制和通信的科学。

控制论的核心问题是信息的提取、处理、传播、存储和利用等一般问题。

控制论与控制理论的区别在于：前者侧重于哲理和理论，后者偏重于这些理论的应用。

控制理论包括经典控制理论、现代控制理论和大系统理论。其核心概念和内容有：

1) 反馈



2) 控制任务

- ◆ 定值控制
- ◆ 程序控制

◆ 随动控制

◆ 最优控制

3) 控制方式

● 简单控制

● 补偿控制

● 反馈控制

● 递阶控制

4) 基本控制规律

● 位式控制规律

● 比例控制规律

● 比例积分控制规律

● 比例微分控制规律

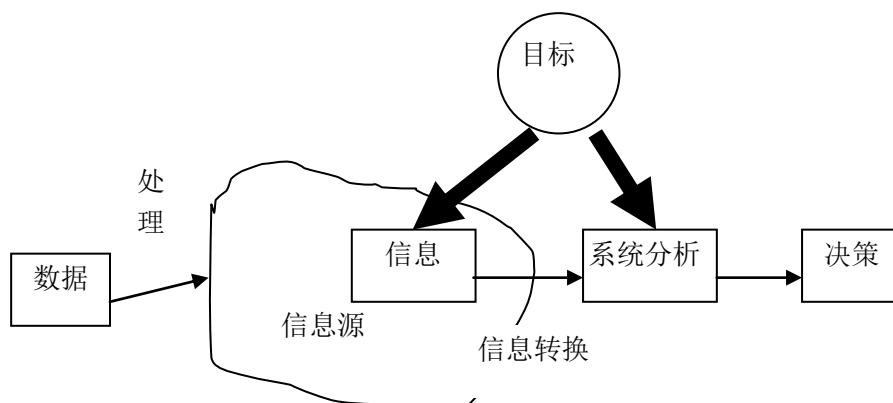
3、信息论(Information Theory)

客观世界由物质、能量和信息三大要素构成。这里，三大要素都是客观存在的，且控制系统的反馈主要是信息的反馈。要素与要素、局部与局部、系统与环境等之间的相互联系和作用，都要通过交换、加工、利用信息来实现；同时，系统自身的演化、涌现的产生等都需要从信息的观点来理解。因此，信息也是系统科学和工程的基本概念。

数据是指记载下来的事实，是客观实体的属性值。

信息是具有一定含义的经过加工的数据。

信息源由目标限定：



信息论研究信息传输和信息处理系统中一般规律的学科，其核心是信息传输的有效性和可靠性以及两者之间的关系。

《**通信**的数学理论》(A Mathematical Theory of Communication),
香农(Shannon), 1948

《噪声中的**通信**》，香农，1949

狭义信息论：关于通信技术的理论，以数学方法研究通信技术中关于信息的传输和变换规律的一门学科。

广义信息论：以各种系统、各门学科中的信息为对象，广泛地研究信息的本质和特点，以及信息的获取、计量、传输、储存、处理、控制和利用的一般规律。它是狭义信息论在各领域的应用和推广，又称信息科学。

主要内容：平均信息量(熵)、信源编码、信道编码、信道容量、信息失真率理论、信号检测和估计等。

1) 信息的基本特征

- ★ 维纳：信息就是信息，不是物质，也不是能量
- ★ 信息是符号、信号或消息所包含的内容，用来消除对客观事

物认识的不确定性。

- ★ 信息在客观上反映某一客观事物的现实情况
- ★ 信息在主观上可接受、利用、并指导我们的行为

信息（Information）、消息、信号之间的区别。

2) 信息的度量：熵

香农的“信息（狭义）”定义：信息是人们对事物了解的不确定性的消除或减少。

信息（量）=通信前的不确定性-通信后尚存的不确定性

设从某个消息 X 中得知的可能结果是 $x_i, i=1,2,\dots,n$ ，记为 $X=\{x_1,x_2,\dots,x_n\}$ ，各种结果 x_i 出现的概率分别是 $P_i, i=1,2,\dots,n$ ，则消息 X 中含有的信息量为

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n P_i \cdot \log_2 P_i$$

式中 $H(X)$ 称为 X 的熵，其度量单位为比特（bit）。1bit 的信息量是指含有两个独立均等概率状态的事件所具有的不确定性能够全部被消除所需要的信息。

例如，抛硬币的结果是正反两种状态，其概率 $P_1=P_2=1/2$ ，则由上式有 $H(X)=1\text{bit}$ 。

进一步地，如果 $X=\{x_1,x_2,\dots,x_n\}$ ， $P=1/n$ ，那么 $H(X)=\log_2 n$ ；如果对于某种结果 x_k 有 $P_k=1$ ，那么对其他结果 x_i 有 $P_i=0$ ，此时 $H(X)=0$ 。

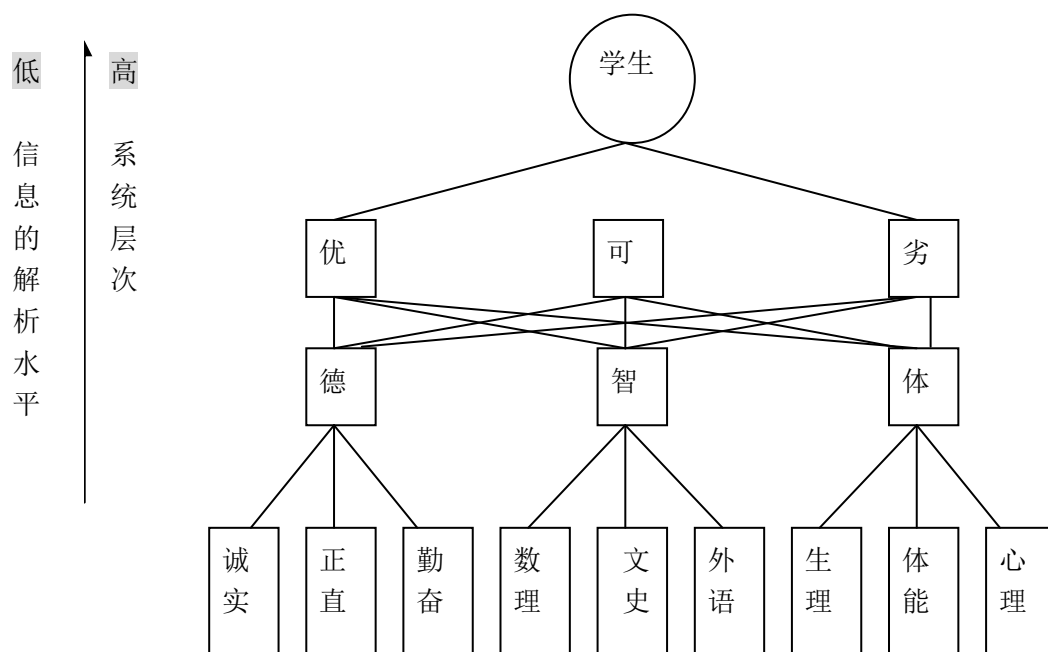
一般地， $0 \leq H(X) \leq \log_2 n$

3) 信息与管理

管理的全过程就是信息处理与流动的过程。

管理信息就是经过处理的数据诸如生产图纸、工艺文件、生产计划、各种定额标准等的总称。

管理对信息的要求可以归纳为“准确、及时、适用与经济”。



管理需要信息，信息也需要管理，两者的结合就产生了管理信息系统。

4) 控制论与信息论的主要区别

控制论是在理论上用较抽象的方法来研究一般控制系统（包括生命系统、工程系统、经济系统和社会系统）的信息传输和信息处理的特点和规律，研究用不同的控制方法达到不同的控制目的，不考虑具体信号的传输和处理问题；

信息论研究信息的测度，并在此基础上研究实际系统中信息的有效传输和有效处理方面的问题，如编码、译码、滤波、信道容量和传

输速率等。

值得注意的是，控制论的创始人维纳建立了滤波理论和信号预测理论，也提出了信息量的统计数学公式，也被认为是信息论的创始人之一。