

第 1 章 信息系统概述

现代科学技术的迅速发展，使人类认识和理解客观世界的能力、手段发生了质的变化。信息技术的出现大大改变了人类生活和工作的方式。这一切都得益于 20 世纪人们对信息、信息系统的认识和研究。信息系统是关于信息的系统，它是在客观世界的真实系统中的“神经”系统，同时也是信息系统工程研究的对象。本章着重介绍系统、信息和信息系统的基本概念及基本原理。

1.1 系统

系统的概念来源于人类长期社会实践，由于受到科学技术发展初始阶段局限性的影响，这个概念一直没有受到重视。直到 20 世纪 40 年代，人们才开始逐渐地认识和应用它。当时，人们在一些科学学科的研究中，尤其是在生物学、心理学和社会科学中，发现系统的一些固有性质与个别系统的特殊性无关，也就是说，若以传统的科学分类为基础研究，则无法发现和搞清系统的主要性质。奥地利生物学家路德维希·冯·贝塔朗菲（L.V.Bertalanffy）在 20 世纪 30~40 年代的一系列研究中提出了一般系统概念和一般系统理论，系统才逐渐被人们认为是一种综合性的学科。

一般系统论研究系统与系统、系统与环境之间的普遍联系，研究各类系统运动带有规律性的思想、理论、方法和工具。它的任务是确立适用于各种系统的一般原则，不能把它局限在“技术”范围内，也不能把它作为一种数学理论来看待，因为有许多系统问题不能用现代数学概念求出解答，而要从系统观点来认识和分析客观事物。一般系统论的研究领域十分广阔，几乎包括一切与系统有关的学科和理论，如管理科学、运筹学、信息论、控制论、科学学、行为科学、经济学等。它给各门学科带来新的动力和新的研究方法，同时，也吸收其他学科的研究成果。它沟通了自然科学和社会科学、技术科学和人文科学之间的联系，促进了现代科学技术发展的整体化趋势。一般系统论在发展过程中与系统工程有密切关系，它们相互促进、相互渗透，为人类走向系统时代奠定了理论基础。在逻辑上，系统工程是一般系统论的实际应用，但在历史上系统工程又是一般系统论的科学基础之一。

随着科学技术的发展，现代数学技术和计算机技术为系统理论提供了定量方法和强有力的计算工具，这就使一般系统论与其他各种理论和系统分析方法紧密结合而逐渐发展成为系统科学。

目前，对于系统科学的一致认识是：系统科学是从系统的角度去考察和研究整个客观世界，为人类大规模改造世界提供科学理论和方法的一门科学。系统科学可分为三个层次。第一层是基础科学，即系统学。它主要研究系统的普遍属性、运动规律，系统间复杂关系的形成法则，系统结构和功能的关系，系统有序结构的形成规律以及仿真的基本原理等。第二层是技术科学。主要研究系统共性问题的技术理论，如最优化理论。目前，系统的技术科学主要是运筹学。第三层是工程技术。系统的工程技术称为系统工程。它是直接改造客观世界的技术，是大系统的组织管理技术。由于系统的性质不同，相应的系统工程的内容也不完全相同，如信息系统工程、军事系统工程、教育系统工程、经济系统工程等。

1.1.1 系统的概念

1. 系统

系统 (System) 的概念是信息系统基础概念之一,也是我们常用的词。一般来说,系统由一些元素组成,这些元素之间存在着密切的联系,通过这些联系达到某种目的。因而系统也可以说是为了达到某种目的相互联系元素的集合。

通常,系统被认为是一个整体,它由若干个具有独立功能的元素 (Element) 组成,这些元素之间互相联系、互相制约,共同完成系统的总目标。

美国国家标准协会 (ANSI) 对系统的定义是:各种方法、过程或技术结合到一块,按一定的规律相互作用,以构成一个有机的整体。

国际标准化组织技术委员会 (ISO/TC) 对系统的定义是:能完成一组特定功能的,由人、机器以及各种方法构成的有机集合体。

美国《韦氏 (Webster) 大辞典》中,系统被解释为:有组织的或被组织化的整体;结合着的整体所形成的各种概念和原理的结合;由有规则的相互作用、相互依存的形式组成的诸要素集合。

我国著名科学家钱学森认为:我们把极其复杂的研制对象称为“系统”,即由相互作用和相互依赖的若干组成结合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更大系统的组成部分。

根据上述定义可以认为客观世界都是系统。例如,一个细胞是一个系统,一个生物个体是一个系统,一个生物群体也是一个系统。一个气体分子是一个系统,大气层也是一个系统。一个班级是一个系统,一个企业是一个系统,一个社会组织也是一个系统。系统分层分类,有小有大,小到基本粒子,大到地球世界、太阳系、银河系乃至整个宇宙。

2. 系统结构

任何一个系统都具有一定结构,否则不成为系统。所谓系统结构 (Architecture) 是指系统内各元素之间物理上或逻辑上的关系。如各元素在数量上的比例关系,时间上的先后关系,空间上的连接关系,人与人之间的隶属关系、血缘关系、同志关系等。系统内各元素间的关系有些是静态稳定的,有些是动态变化的。

通常,称系统中有意义的元素为实体 (Entity),描述实体特征的变量称为属性 (Attribute),实体运动的规定时间称为活动 (Activity),描述在任何时间的形态的变量称为状态 (State) 变量。

3. 系统功能

系统的功能 (Function) 即系统要达到的目标或要发挥的作用,是系统的基本属性。不同的系统一般具有不同的系统功能,但从本质上讲,系统的功能就是接受物质、能量与信息,并进行变换,产生并输出另一种形式的物质、能量与信息。

由此又可以说,系统就是按照某种结构、把其元素组织起来的、具有某种整体功能的一个统一体。

一个大的系统往往比较复杂,常常可按其复杂程度分解成一系列小的系统,这些小系统称为包含它的大系统的子(分)系统。也就是这些子(分)系统有机地组成了大的系统。

图 1.1 显示了一个典型的系统组成图。这个系统的目的是将蛋糕的原料烘制成蛋糕。系

统边界定义了系统与其他系统的区别（环境）。框内的数字显示了系统元素。这些元素包括原料（元素 1、2、3、4），搅拌（元素 5），用于加热烤箱的能量（元素 6），烤箱（元素 7）。元素 1 到 4、6 作为输入，元素 5 和 7 是处理，最后的蛋糕是输出。

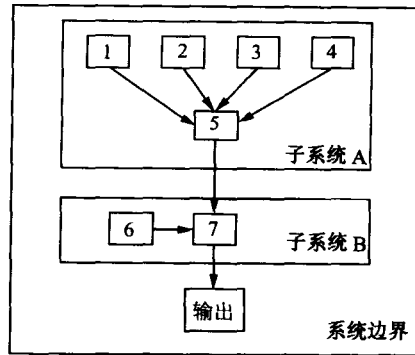


图 1.1 系统组成示例

上图有两个子系统，标记为子系统 A 和 B。例如，子系统 A 是搅拌原料的物理处理，B 是烘制。通常，我们关心系统内的特殊元素，许多时候，这些特殊元素可以表示为更小的元素或子系统，例如，上图中的元素 7（烘箱）是一个用于加热的机械系统。

1.1.2 系统的特性

1. 目的性

任何系统都有目的和目标。我们建立一个系统，就是为某一目标服务的，每个系统都有其要达到的目的和应完成的任务或功能。例如，教育系统的目的是为了_{提高教学水平、提高人才的素质}；又如，企业经营管理系统的目的可能是：_{在市场需求的基础上，根据生产的特点，在限定的资源和组织结构的相互协调下，完成生产任务，达到规定的质量、成本和利润等各项指标}；再如，一个武器系统的目的可能是：_{满足各种战术要求，实现各种技术指标，达到给定的性能、经济与生产指标}。

系统的目的决定着系统的基本作用和功能，并通过系统的功能达到和实现，而系统的功能通过一系列子系统的功能来体现，这些子系统的目标之间往往互有矛盾，其解决的办法是在矛盾的子目标之间寻求平衡和折衷，以求达到总目标的最优。

开发一个新系统的第一步是确定系统的目标，这个目标必须是明确的、切合实际的，切忌提出含糊、空洞、脱离实际可能的目标。

2. 系统要素

每个系统都由各种可以互相区别的具有不同属性的元素组成。在考虑一个系统时，必须联系到组成集合的各要素的状况。例如：一个财务系统就是由资金、材料、人员、信息以及各种管理制度等组成。

3. 相关性

系统的组成要素相互依存又相互制约，子系统之间也是如此。例如，在国民经济系统中，工业系统为农业系统提供机械设备、化肥等，而农业系统为工业系统提供原料、粮食和市场等。

组织系统要素之间的相互作用和约束一定要合理、协调和容易控制。因此，在划分子系统时，既要有适当的相对独立性、降低相关性，又不要分得过细。

4. 结构的层次性

系统的层次性是指系统的每个元素本身又可看成一个系统，即系统可分为一系列的子系统，这种分解实质上是系统目标的分解和系统功能、任务的分解，而各子系统又可分解为更低一层的子系统。例如，某信息系统组织的结构可以表示为图 1.2 所示的形式。

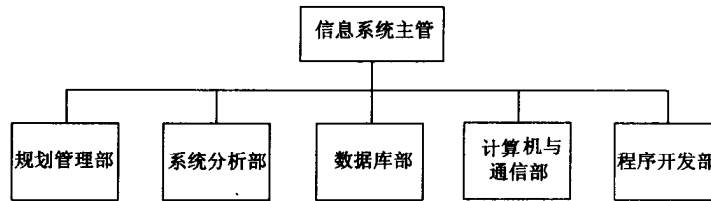


图 1.2 信息系统组织层次结构图

5. 整体性

组成系统的各个要素不是简单地结合在一起，而是有机地组成一个整体，每个要素都要服从整体，追求整体最优，而不是每个要素最优。评价一个系统时不要只从系统的单独部分，即系统的要素或子系统来评价，而要从整个系统出发，从总目标、总要求出发。只有当系统的各个组成部分和它们之间的联系服从系统的整体目标和要求、服从系统的整体功能并协调地活动时，这些活动的总和才能形成系统的有机活动。这样，系统的功能可望发挥各子系统功能之和的几倍、甚至几十倍。换句话说，系统概念就是“全局”观点。

6. 环境适应性

一个系统本身总是从属于更大的系统，它是这个大系统的一个子系统。任何系统都存在一定的环境中，环境可以理解为一个系统的补集。系统总要受到环境的影响和制约，系统也要对环境的变化做出某种反应。我们把环境对系统的影响称为刺激或冲击，而系统对环境的反应称为响应。系统要发挥它应有的作用，达到应有的目标，系统自身一定要适应环境的要求。

1.1.3 系统的一般模型

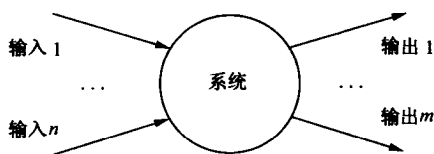


图 1.3 系统的一般模型

系统可以是物理的，也可以是抽象的。抽象系统一般是概念、思想或观念的有序集合。物理系统不仅局限在概念范畴，还表现为活动或行为。一个实际的物理系统的模型从宏观上来看有输入、处理和输出三部分，如图 1.3 所示。

1. 系统输入

系统接受的物质、能量和信息称为系统的输入 (Input)。

2. 系统输出

系统经变换后产生的另一种形态的物质、能量和信息称为系统的输出 (Output)。

3. 系统的环境

系统的环境 (Environment) 是为系统提供输入或接受它的输出的场所，即与系统发生作用而又不包括在系统内的其他事物的总和，简称外环境或环境。

4. 系统的边界

系统的边界 (Boundary) 是指一个系统区别于环境或另一系统的界限。有了系统的边界，

就可以把系统从所处的环境中分离出来。可以说，系统的边界由定义和描述一个系统的一些特征来形成。边界之内是系统，边界之外是环境。

有系统就必有其边界。一般说来，系统边界的划分一方面既要使边界包含系统的元素、结构及目标所共同涉及的范围，另一方面又要在满足系统目标的前提下，使边界包含的内容尽可能少，直至仅包含那些保证完成系统目标的最少必要部分。

作为一个系统，一般应具备三个独立的特征：

- (1) 有元素及其结构。
- (2) 有一定的目标。
- (3) 有确定的边界。

系统可能是简单的，也可能是复杂的。工厂、医院、商店和银行等都可被看成是系统。这些系统的目标是获取最大利益或顾客满意度。这些系统的元素包括机器、工人、管理人员等。输入是劳动、资本、土地、设备等，输出是产品和服务。表 1.1 显示了一些系统的目标、输入和输出。

表 1.1 系统和它们的目标及元素示例

系 统	目 标	元 素		
		输 入	处 理	输 出
学 校	获得知识	学生、教师、管理者、书本、设备等	讲授、研究、服务等	接受教育的学生、方法研究、社会服务等
医 院	健康	医生、病人、护士、设备等	诊断、吃药、检查等	健康……

按照系统的一般模型来认识、理解、处理系统，可先将系统视为一个黑盒子 (Black Box)，由此来研究其外部特性，即按输入（亦称外部激励）和输出（亦即对每个激励做出的响应），然后，随着人们认识程度的深入，不断地展开黑盒子的内容，使其逐渐由“黑”变“灰”、变“透明”、直至“完全透明”。

系统的一般模型还可以扩展为若干系统（或子系统）相连接的情况，图 1.4 所示的是两个系统串联的情况，图 1.5 是子系统层次展开的情况，图 1.6 是子系统一般连接的情况。



图 1.4 系统连接模型

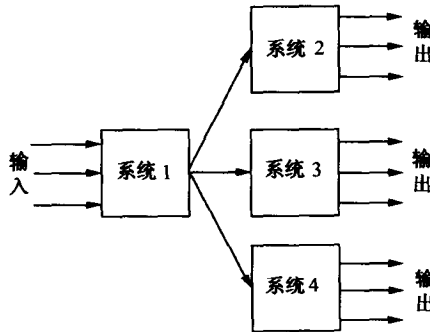


图 1.5 系统连接模型 2

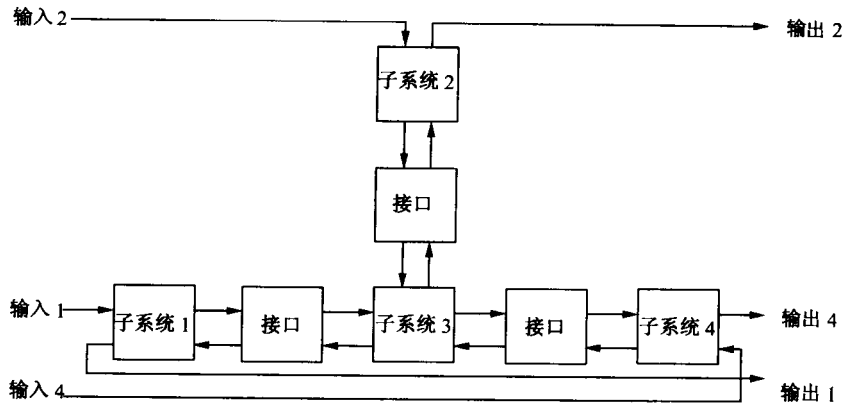


图 1.6 系统连接模型 3

1.1.4 系统层次与系统分类

1.1.4.1 系统层次

E.E.Boulding 提出了一般系统理论的系统层次概念。他以客观世界为出发点，把物理界、生物界及社会界的所有系统分成三类九个层次，并以此作为系统的基本运行单元，如图 1.7 所示。

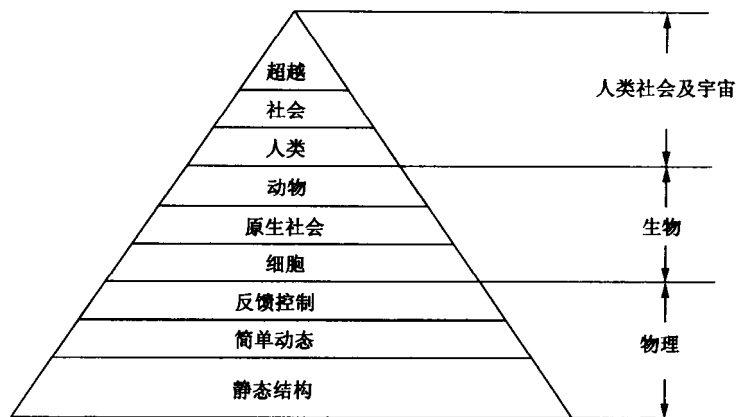


图 1.7 系统层次

第一层是静态结构系统，如宇宙、地球等系统。物理上讨论的简单力学系统以及数学上讨论的代数等所描述的系统，大致都属于这一层次的系统，只有准确地描述了系统的静态结构，才有可能进一步做出动态的分析与研究。

第二层是简单动态系统。这些系统的基本行为具有预先决定的、必然的运动方式，如太阳系中各行星的活动规律、钟摆的摆动规律等。微分方程是描述这类系统的常用工具与方法。

第三层是反馈控制系统。它同上述的第一层、第二层次简单稳定均衡系统的主要区别是，它的系统内还具有传递及处理信息的能力，并有反馈的功能。自动控制系统是这一层次中的标准系统。控制理论是描述这类系统的一个方法。没有人参加的信息系统也属于这个层次。

第四层次是细胞系统。它具有自我维持能力的功能，与环境具有明显的物质、能量与信息的交流，是开放系统中最基础的结构形式或单元。与前三层比较，增加了一个需要适应环境的功能。

第五层是原生社会系统。这类系统的结构具有将类似的部件加以组织，并使之具有承担不同功能分工的能力。典型的例子是植物，如植物的根、茎、叶的细胞，在分裂的初期，它们作为系统元素其结构在本质上并无区别，但因其位置及执行功能的差异，这些元素的功能也逐渐分工或特定化。

第六层是动物系统。该系统比植物系统增加了移动性的目的行为以及自我觉察的能力。动物系统具有更强的凭借眼、耳等器官吸收信息的能力，而且，同时具有以大脑为中心的神经系统。由它将吸收的信息转化为意识的组织者的作用，从而具有对接受的刺激做出反应的能力，越是高等的动物，其行为越不是对某一特定刺激的反应，而是对意识结构或对整体系统环境的反应。因此，这类系统的行为比较难以预测。这主要是由于意识参与了刺激与反应的过程所造成的。

第七层是人类系统。把个人作为一个系统，除了具备动物系统所具有的全部特征外，人还具有自我意识。这与动物的自我觉察有本质不同，它已跃进到具有语言和记忆的境地，从而能对外界的信息具有接受、解释、创造记号及变换等能力。而动物系统的符号仅是作为警告性的反应。

第八层是人类社会系统。该系统由其他的系统层次加以组合而构成，它关心信息的内涵和意义、系统的价值程度、人类情绪的表现等。大多数有人参加的信息系统都属于这一层。

第九层是超越系统。这是当前尚不可知的系统。在宇宙是否还可能发展出比地球人类社会系统更高一层的超越系统，还有待探讨。

1.1.4.2 系统分类

从不同的角度出发，系统可以有各种各样的分类，一般对系统的分类如下所述。

1. 自然系统与人工系统

自然系统的组成部分是自然物质，它的特点是自然形成的。例如，生物系统、植物系统、原子核结构系统、气象系统等。

人工系统是为了达到人类需求的目的，由人所建立起来的系统。例如，生产、交通、经营管理、经济、运输等系统，种类繁多，一般可归纳为三种类型：一是由人将零、部件装配成工具、仪器、设备以及由它们所组成的工程系统；二是由一定的制度、组织、程序、手续等所组成的管理系统和社会系统；三是根据人对自然现象和社会现象的科学认识而建立起来的科学体系和技术体系。

实际上，大多数系统是自然系统与人工系统相结合的复合系统。在人工系统中，许多是人们运用科学力量，认识、改造了的自然系统。随着科学技术的发展会出现越来越多的人工系统。了解自然系统的形成及其规律是发展和创造更多的人工系统的基础。以后所讨论的系统一般都是指人工系统。

2. 实体系统与概念系统

实体系统的组成要素是具有实体的物质。例如，由机械、矿物、生物等所组成的系统。概念系统是由概念、原理、方法、制度、程序、步骤等非物质实体所组成的系统，如科学技术系统、管理系统、教育系统等。

在实际生活中，实体系统和概念系统在多数情况下是结合的，概念系统为实体系统提供指导和服务，而实体系统是概念系统的服务对象。例如，计算机管理信息系统中的计算机是实体系统，管理的程序、方法等组成概念系统。

3. 开放系统与封闭系统

开放系统的特点是系统与外界环境之间有物质、能量和信息的交换。封闭系统则与此相反，它与外界环境之间不存在物质、能量和信息的交换。但是，从系统思想观点来看，几乎一切系统都是开放系统，就是过去物理学、机械学、热力学系统中占主导地位的所谓孤立系统（即封闭系统），也可视为开放系统的一种极端的特例（与外界的物质、能量和信息的交换都等于零）。为了明确一个系统的性质（开放系统或封闭系统），必须知道它与环境之间有无物质、能量和信息的交换。因此，必须首先确定系统边界，研究边界上物质、能量和信息的交流情况。一般来说，封闭系统具有刚性的、不可贯穿的边界，而开放系统的边界则具有可渗透性。对于生物、物理系统（都属于实体系统）的边界比较容易确定，对社会、经济和概念系统的边界则往往较难确定。

开放系统的运动规律性的趋势是走向稳定和有序，表现为系统内部可用能的不断增加，可用能指标熵（Entropy）值的减少。这是由于系统与环境相互作用的结果。系统内部产生的熵可以向外转移，系统也可以从环境吸取能量和组织性，使系统内部的组织化程度提高，有序化趋向增强。封闭系统则因与外界环境完全没有物质、能量和信息交换，系统内部的摩擦损耗使可用能不断减少，熵值不断增加，系统内部组织化程度越来越低，最后达到熵极大值时，系统运动和发展停滞，相当于死亡状态。因此，任何系统必须是开放型的，才能使系统走向组织化、有序化。

4. 静态系统与动态系统

动态系统中，系统的状态变量是时间的函数，即描述其特征的状态变量是随时间而变化的。静态系统则是表征系统运动规律的数学模型中不含有时间因素的系统，即模型中的变量不随时间而变化。静态系统只是动态系统的一种极限状态，即处于稳态的系统。在实际工作中，以分析和研究动态系统为主要目的。

此外，系统还可以分为线性系统与非线性系统、确定系统与随机系统、适应系统与非适应系统等，不一一赘述。具体系统可能千变万化，但基本上可以看成是由上述各种系统的交叉组合形成的。图 1.8 系统分类图已经勾画出一个完整清晰的轮廓。

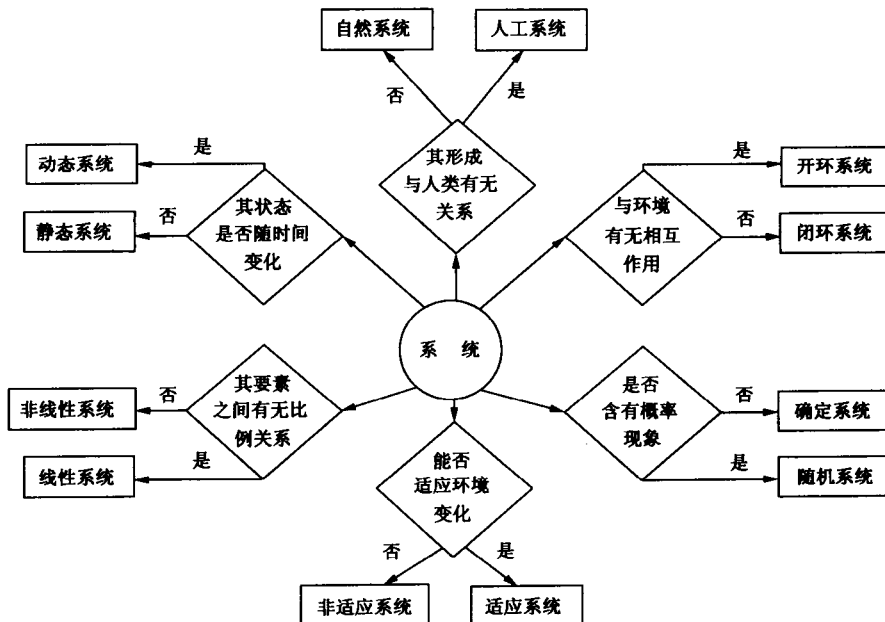


图 1.8 系统分类

1.1.5 系统学基本原理

1. 整体性原理

元素或子系统按一定的结构组成系统后，便产生了它们在分别独立作用时所没有的新属性。所以，系统的属性个数总是多于各个元素在分别独立作用时的分属性个数的和。系统目标函数的值与这些分属性对目标函数的贡献效应之和之间，存在大于、相等及小于三种关系。具体是何种关系取决于系统结构及元素属性的本质。这就是系统的整体性原理。

设系统由 n 个元素构成，用 A_i 表示第 i 个元素独立作用时具有的所有分属性的集合 ($i=1,2,\dots,n$)，用 A 表示系统的全部属性的集合，则任何系统下式成立，即

$$A \supset \bigcup_{i=1}^n A_i$$

上式 A 中多于各元素分属性和的那些系统属性是各个元素按系统结构连在一起后共同作用的结果。例如，人是由细胞组成的系统，会制造和使用工具，尽管细胞本身也很复杂，但任何一个单独的细胞都没有也不可能有这样的属性。又如，阿波罗载人宇宙飞船及其运载火箭和地面测控设施是一个复杂的大系统，成功地把人送上月球并安全返回，这样的属性是任何一个单独的部件或任何一个单独的人都根本不具备的。

属性是一个较为庞杂的定性的概念，不便于做定量的描述。由于希望达到系统的目标是系统存在的全部意义，故可考虑把系统的所有属性向系统的目标函数方向量化或投影，即把每个属性对系统目标函数（或功能）的作用和影响量化成某种可以度量和累加的代数量，称为投影量，换句话说，就是用目标函数值的单位去度量每个属性在这个量上的作用大小。若某属性对系统目标函数起负面作用或影响，则该属性在目标上的投影量为负；若对系统目标函数起正面作用或影响，则投影量为正；若对系统的目标函数值无任何作用或影响，则投影量为零。这样，就可以评价每个属性对系统目标函数的贡献大小。

假定系统的目标函数值大小为 f_A ，系统中第 i 个元素独立作用时的所有属性关于 f_A 的全部投影量的代数和为 a_i 。客观事实表明：系统目标函数值 f_A 与该系统所有 m 个元素分别独立作用时的投影量之和有如下三种可能的关系：

$$f_A > \sum_{i=1}^m a_i$$

$$f_A = \sum_{i=1}^m a_i$$

$$f_A < \sum_{i=1}^m a_i$$

第一个式子表明“整体大于部分之和”。整体大于部分之和的基本力量来自系统内各子系统（元素）的分工与协同效应。有人用“ $1+1>2$ ”来形象地表达协同效应。协同（Synergy）现象是随处可见的。例如，一个经营有方的企业的经济效益显然会超过其中的生产销售和财务等部门单干的经济效益的总和。

第二个式子表明“整体等于部分之和”。这种关系人们最熟悉，也认识得最早。例如，一个国家的人口总和等于各地方人口之和，整体的质量等于各部分质量之和等。

第三个式子表明“整体小于部分之和”。这种关系往往容易被人忽视，但实际上却客观存在。例如，中国俗话说：“一个和尚挑水吃，两个和尚抬水吃，三个和尚没水吃。”和尚运水的效果是可以累加的，而“没水吃”的结果说明三个人的整体功能不仅低于三个人独立挑水之和的功能，而且，低于单独每个个人的独立功能。

系统整体与其部分和之间之所以存在上述三种关系，主要原因是系统结构带来了组合效应。这是各元素单独作用时所没有的。这些组合效应对系统目标函数来说可能是正面的协同效应，也可能是负面的消耗效应，也可能无任何效应。

系统的整体性原理揭示了系统作为一个客观实体存在的重要意义，对人类能动地改造世界有着极大的指导作用。

2. 最优化原理

系统结构的演进受系统目标的控制和系统环境的影响，服从一个统一的自然规律，即在保证实现环境允许系统达到的目标（功能）的前提下，使整个系统对时间、空间、物质、能量及信息的利用率最高。这就是系统的最优化原理。最优化原理指明了系统结构演进的方向。

系统的结构是完成系统目标（功能）的基础。例如，只有把计算机的各个芯片及零件设备按设计的结构装配起来，才能组成一个计算机系统，并具备计算的功能。如果只是把这些芯片和零件设备混乱地放在一起或胡乱地装配在一起，则显然达不到计算的功能，因而也不是一个计算机系统。

不同的结构产生不同的功能和性能。一个有相同元素的系统，如果其结构不同，达到的功能一般也不同。例如，计算机网络是一个信息系统。在单个计算机系统功能与台数都相同的条件下，对于可靠度目标函数来说，全互联分布式网络的可靠性一般都高于星型网、环型网等网络的可靠性。如果一个信息系统的单个模块数及其独立功能都不变，仅改变部分或全部模块之间的调用关系，即改变系统结构，则常常会产生不同的系统功能。一个企业或一个公司中如果人员、设备都不改变，仅改变其管理及动作体制，如采用优化劳动组合，引入竞争、监督及保障机制，即改变系统结构，则往往会大大提高企业或公司的效益。

既然系统结构对系统目标功能有如此大的影响，那么，对于既定的系统来说，系统内各元素到底按照什么样的原则进行分工、协作，才能使系统的功能与性能最好呢？系统最优化原理正是回答这一问题的。只要在许可的条件下，系统的时间、空间、物质、能量及信息 5 个利用率尚未达到最高，那么，该系统内分工和协作的方式（即结构）就不会稳定，就一定要从落后的结构向先进的结构发展，直到许可的条件下 5 个利用率达到最高为止。这就是最优化原理阐明的自然界发展从无序走向有序的一条必然规律。

3. 木桶原理

系统技术水平的高低不仅仅取决于构成系统的各个部分的技术水平的高低，而且，还取决于系统整体技术水平的高低。这就是我们常说的“木桶”原理。

木桶的装水量，不取决于桶壁的长板，而是取决于桶壁中的短板。这一点非常重要，对工程技术和系统技术改造等工作都具有重要的指导意义。我们是增强系统中的强项来提高整个系统的性能，还是增强弱项，特别是迅速添补“缺项”能够提高和改善系统的整体性能呢？答案毋庸置疑。

需要补充的是，系统中各个要素的地位和作用并不相同。在一个系统中，各个要素不

是平等关系，而是各自占有不同的地位和起到不同的作用。例如，木桶的“底板”和木桶的“提把”，是组成木桶的两个元素，虽然看起来有把没底的桶，比有底没把的桶，在外形上更像桶，但是，有底没把的桶具备装水的功能，是真正的桶，只是不太好用，而有把没底的桶则不成为桶。

4. 模型与模拟化原理

由于系统之间的相似性，从某个系统上总结出的规律，可以推广和还原到与它相似的系统上去，这一原则称为模型与模拟化原理。这是具体研究系统的一个方法性原则。

模型是对相应的真实对象和真实关系中那些有用的和令人感兴趣的特性的抽象化。因此，模型描述可视为是对与真实世界中的物体或过程相关的信息进行形式化的结果。模拟就是在模型上做实验。

模型可以用一个 6 元组表示。

$M = \{ O, G, T, V, R, S \}$ ，其中：

O 表示模型的对象集；

G 表示模型的目标集；

T 表示模型系统所处的环境及约束条件集；

V 表示模型的变量集，包括内部变量、外部变量及状态变量；

R 表示模型变量之间的关系集；

S 表示模型的状态集，从初态到终态。

真实世界是复杂和动态的。基于这个事实，研究客观世界的方法是：针对人与外部世界的相互作用，在科学的基础上建立问题空间的“形式”模型，用这一形式模型来反映和描述所要解决的真实问题。科学研究的绝大部分工作就是实现对问题的形式化描述和建立模型。例如，自然科学是通过对大自然的观察和试验，总结、提炼出对客观事物的抽象表示方法和定律。这些方法和定律是已被证实的对事物表述的“形式化”模型。

人类认识世界和改造世界的过程首先是建立模型和分析模型，然后，根据分析的结论去指导人类的行动。

(1) 建立模型：通过对客观事物建立一种抽象的表示方法，用来表征事物并获得对事物本身的理解，从而建立现实世界的模型。

(2) 分析模型：依据模型进行计算，求解验证，通过模型的考察建立对客观事物的分析结论。

模型与模拟化方法的基本步骤是：

(1) 为系统建立模型。

(2) 对模型进行实验与研究。

(3) 将对模型研究的结果推广到与该模型相似的原型系统上。

系统模型是指能将面向系统目标的系统的信息集合起来，并与系统有相似的物理属性、逻辑属性或数学描述的实体。原来的系统则称为模型的原型。为原型系统建立模型的过程常常简称为建模。

建模必须遵守如下 6 个基本原则：

(1) 相似性。模型与所研究系统在属性上应具有相似的特性和变化规律，这就是说，“原型”与“替身”之间具有相似的物理属性或数学描述。

(2) 切题性。模型只应该针对与研究目的有关的方面，而不是一切方面。这是因为对

于同一个系统，其模型不是惟一的，模型的选择应针对研究目的。

(3) 吻合性。模型结构的选择，应尽可能对可利用的数据作合理的描述。通常，其实验数据应尽可能由模型来解释。

(4) 可辨识性。模型结构必须选择可辨识的形式。若一个结构具有无法估计的参数，则此结构就无实用价值。

(5) 简单性。从实用的观点来看，由于在模型的建立过程中，忽略了一些次要因素和某些非可测变量的影响，因此，实际上的模型已是一个被简化了的近似模型。一般而言，在实用的前提下，模型越简单越好。

(6) 综合精度。它是模型框架、结构和参数集合等项精度的一种综合指标。若有限的信息限制了模型的精度，最有效的模型就应是各方面精度的平衡和折中。

若上述原则间出现冲突，则要寻找合理的折中，但特定的折中方案却依赖于模型的对象，因而没有固定的程式。

建模的基本步骤如下：

(1) 明确目标。即明确以下问题：为什么样的系统建立模型；该系统需要建立怎样的模型；又怎样和原型系统比较。

(2) 明确系统边界和约束条件。

(3) 确定构成系统的最小功能单位或元素。

(4) 确定主要因素和主要变量，即面向系统目标，抓主要矛盾。

(5) 明确输入与输出及其他各种关系。

(6) 规定符号和代号。

(7) 建立逻辑关系图或数学模型等。

模拟的方法也就是实验的方法。由于它把实验观察法与逻辑抽象法的特点结合在一起，因此，能有效地突破时间、空间限制。

系统的存在离不开环境，所以，任何模拟都应考虑与环境的关系。通常有下列 3 种方法：

(1) 用系统模型结合真实环境进行模拟。如宇宙航行中用动物作为生理模型代替人去探险。

(2) 用真实系统结合环境模型进行模拟。如军事演习，参战部队是真实系统，而演习的环境则是战争环境的模型。

(3) 用系统模型结合环境模型进行模拟。如飞机模型在风洞中“飞行”。

1.1.6 系统性能和标准

1. 效率和有效性

效率(**Efficiency**) 和有效性(**Effectiveness**) 是评价系统性能的两个方法。

效率是关于产生与消耗之比的度量，它的范围是 0~100%。例如，马达的效率是能量产生与能量消耗之比，一些马达的效率低于 50%，因为摩擦和产生热造成能量消耗。

效率是用于比较系统的相对的标准。例如，公司财务部门引入财务自动化系统后比原先手工劳动更有效率，这是因为财务自动化系统更节省人力、计算更加迅速准确，工作强度也大大降低。

有效性用于衡量系统完成目标的程度。可以这样计算它：实际完成的目标与预计总目

标之比。例如，一个公司的目标是降低成本 10 万元，为此引入了一个新的控制系统并安装使用，希望帮助完成这个目标。然而，使用后发现最终仅降低成本 8.5 万元。这个控制系统的有效性就是 85%。

与效率相似，有效性也是用于比较系统的相对的标准。

2. 系统性能的评价

对于一个信息系统来说，有时很难确定系统的效率和有效性。通常，判断系统的好坏可以由以下 4 点做定性观察。

(1) 目标明确：每一个系统都有一个目标。这个目标选择是否合适、明确，是评价系统好坏的主要方面。

(2) 结构清晰：一个系统可以由若干子系统组成，子系统还可以划分为更小的子系统。结构清晰是指这种层次关系及其内部联系便于实现系统的目标，且条理清楚，信息流畅。

(3) 联系清楚：指上述联系通过定义清楚的接口进行。

(4) 能观能控：系统与外界有清楚的界面，外界可以通过输入控制系统的行为，又可以通过输出观察系统的行为。

评价系统性能也称为系统性能标准的使用。系统性能标准有一个明确的目标或目的。例如，举办一个特殊的市场活动，希望通过这次活动销售一定类型的产品，销售金额达到 10 万元；一个机器制造厂的某控制系统的性能指标可能是少于 3% 的次品。

系统性能指标一旦确定，就将作为评价和确定系统全部性能的标准。

1.1.7 系统变量和参数

系统的一部分实体是在管理决策人员直接管理控制下运行，另一些则不是。系统变量是能在决策者控制下的一定数量的参量。系统参数是不能被控制的值和量，例如原材料的价格。另一个例子是，生产一定类型的塑胶必须附加一定数量的化学品，但这不由管理控制，而是由该产品的设计决定。

1.2 信息

信息是当今社会的标志。随着社会的进步，人们越来越认识到知识就是力量，信息就是财富。信息在社会生产和人类生活中起到越来越大的作用，并以其不断扩展的内涵和外延，渗透到人类社会、经济和科学技术的众多领域，使人类继工业社会之后，正式迈入信息社会。信息的增长速度和利用程度，已成为现代社会文明和科技进步的重要标志。

1.2.1 信息的概念

在 19 世纪以前，人们对信息的认识一直处在原始和经验阶段。虽然理论上没有深刻认识，但是，人类对信息的利用却从来没有停止过，尽管这种利用是低水平的，常常是不自觉的，而且，基本上通过人类的信息器官的天赋功能来进行。即便如此，人类还是创造了不少方法利用信息。例如，创造文字来记录信息；发明纸张、印刷术储存信息；发明算盘进行信息处理等。人类真正自觉认识信息问题并触及信息本质是在 20 世纪 40 年代以后。理论上的

主要标志是香农（C.E.Shannon）1948年发表的论文《通信的数学理论》和维纳（N.Wiener）的专著《控制论-动物和机器中的通信和控制问题》，并由此奠定了信息科学的基础。此后，信息科学蓬勃发展，极大地推动了社会的进步。

什么是信息？有人认为，信息就是消息，是具有新内容、新知识的消息。有人认为，信息就是情报，是对我们有价值的情报。历史上，关于信息的定义有几十种之多，我们无需去研究哪种定义更加确切，但是，关于信息可以明确以下两点：

（1）信息的存在不以主体（如人、生物或机器系统）存在为转移，即使主体根本不存在，信息也可以存在，它在客观上反映某一客观事物的现实情况。

例如，人们使用照相机、摄像机可以记录一些正在发生的事件，尽管当时的真实场景现在已经不存在，但是，这些设备记录下来的信息却可以再现当时的情景。再比如，考古学就是从古代遗留的信息中了解曾经发生的历史事件，这些事件在人类历史中或人类出现以前就已经存在，只不过没有为现在的人感知和利用而已。目前，信息已经被公认为物质世界的基本属性之一，它与物质和能量构成物质世界的三大支柱。从这种意义上讲，信息就是信息，它不是物质也不是能量，它是关于物质运动千差万别状态的知识，是事物内部结构和外部联系的运动状态和方式。

（2）信息在主观上可以接受和利用，并指导人们的行动。

人类在改造客观世界的过程中，需要从客观世界中获取信息，通过感觉器官感知信息，通过大脑分析、处理信息。这时，信息就具有了比原来意义上更为丰富的内涵。作为主体的人，能够理解信息的状态和方式，能够判断信息的效用价值，能够利用信息来创造价值。从这种意义上讲，信息是主体（人）所感知或该主体所表述的相应事物的运动状态及其变化方式，包括状态及其变化方式的形式、含义及效用。

信息（Information）与数据（Data）是信息系统中最基本的术语，两者的含义并不相同。

信息系统工程中对数据的理解是：数据是指记载下来的事实，是客观实体属性的值。或者说，数据是可以记录、通信和识别的符号，它通过有意义的组合来表达现实世界中实体（具体对象、事件、状态或活动）的特征。数据的记载方式多种多样，在逻辑上数据主要包括数值型、文字型、语音型、图形图像型、视频型等多种类型。数据用什么形式表达，取决于不同的媒体。以多种媒体形式表示的数据称为多媒体数据。

信息系统工程中对信息的理解是：

- （1）信息是表现事物特征的一种普遍形式。
- （2）信息是数据加工的结果。
- （3）信息是数据的含义，数据是信息的载体。
- （4）信息是帮助人们做出决策的知识。
- （5）信息是实体、属性、值所构成的三元组。

我们可以这样来理解信息：信息是构成一定含义的一组数据。这个提法把信息理解为一组有意义的数据，从而对信息处理的理解就更清楚一些。信息并非等同于数据，信息是一种已经被加工为特定形式的数据。这种数据形式对接收者来说是确定意义的，对人们当前和未来的活动产生影响并具有实际价值。

由上可知，数据与信息有着不可分割的联系。信息是由处理系统加工过的数据，是一种原料与成品的关系（如图 1.9 所示）

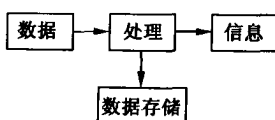


图 1.9 数据与信息的关系

1.2.2 信息的性质

1. 事实性

信息最早是“关于客观事物的可通信的知识，通信是把信息用于事实”。所以，事实是信息的中心价值，不符合事实的信息不仅没有价值，而且，可能价值为负。例如，战场上，获取敌方的情报越准确，则战胜对方的把握越大，己方的损失越小，否则，损失越大。

信息反映了客观事物的运动状态和方式，但是，信息不是客观事物本身。信息可以脱离其源物质而相对独立存在。例如，用文字可以记录一个时期政治、经济、科技、文化等的发展状况，随着时间流逝它们已经成为历史，但是文字中记录的信息却是真实历史的反映。

事实性是信息的第一和基本的性质。信息系统中，我们应当充分重视信息的事实性，破坏信息的事实性必将会给管理、决策带来错误。事实性是信息收集时最应当注意的性质。

2. 等级性

信息系统是分等级的，对于同一问题，处于不同管理层次，所要求的信息不同。同样，信息具有等级性，它和管理层一样，分为战略级、管理级和操作级。不同等级的信息性质也不同。

例如，从来源上说，战略计划信息，即关于企业的方向、目标等，关于企业之间的联合，关于世界市场的开拓等，多来自外部，并且，其寿命最长，保密程度最高，处理方法最不固定，信息精度要求最低；管理信息（如企业资源配置、新产品品种、生产效益等）在来源上有内有关，保存寿命、保密要求等较战略计划信息低；操作信息（如生产各项指标完成情况、考勤信息等）大多来自企业内部，保存寿命、保密要求最低，信息的处理方法往往是固定的。

3. 可压缩性

对信息可以压缩，进行集中、综合和概括，而不会丢失信息的本质。例如，关于牛顿第二定理的论述可以用一个简单的公式表示，实验时可以把实验得到的大量数据组成一个经验公式等。信息压缩过程中要丢掉一些信息，但丢失的应当是无用的或不重要的信息。

无用的信息主要有两种，即干扰信息和冗余信息。干扰信息（如杂波信号）本来就应当被滤掉，冗余信息则要视情况而定，如检、纠错码在通信中是必要的，但存入到信息系统中时通常不需保留。

由于受计算机处理速度、通信容量、存储容量等的限制，有时，我们没有能力收集、处理和存储一个事物的全部信息，有时，也没有必要收集、处理和存储一个事物的全部信息，这时，就要对信息作一定的分析，根据管理的目标提取和目标相关的信息，舍弃其他信息。这就是信息的不完全性。例如，在视频信息传输时，通常要对信息作压缩，但必须保证图像的可识别性和真实性。只有正确地舍弃信息，才能正确地使用信息。

4. 扩散性

信息的扩散是其本性，它总是力图冲破保密的非自然约束，通过各种渠道和手段向四

面八方传播。信息的密度越大，信息源和接收者间的梯度越大，信息的扩散性越强。

信息的扩散存在两面性，一方面它有利于知识的传播，另一方面可能造成信息的贬值。信息系统中，要特别注意信息的保密问题，如果没有很好的安全、保密手段，就不能保证用户正确地使用信息系统，从而导致信息系统的失效。

5. 可传递性

信息可以通过多种传输渠道、采用多种传输方式进行传递。信息传递需要借助于物质载体。传输渠道可以是报纸、书籍、无线电广播、电话，也可以通过计算机网络和卫星等进行传输。实现信息传递功能的物质载体形式多种多样，称为信息媒介。信息传递的过程中同时伴随着物质、能量的传递，但它较物质、能量的传递更加优越。正是由于信息的可传递性和易于传递性，加快了信息资源的传输，加快了社会的发展。

6. 共享性

信息的共享性是其重要性质。它可以被共同接收，共同占有，共同享用。物质交换原则是一方得到一物，另一方必然失去一物。信息交换双方不仅不会因信息交换使其中一方失去信息，而且，会增加新的信息。这种非零和的特性，造成信息共享的复杂性。

信息的共享性有利于信息成为组织的一种资源。严格地说，只有达到信息共享，信息才真正成为资源。

7. 价值性

信息是经过加工的、有意义的数据，是一种资源，因而是有价值的。索取一份情报，或者利用大型数据库查阅文献所付费用，是信息价值的体现。信息的使用价值必须经过转换才能得到，况且，如果信息寿命衰老很快，转换必须及时，否则，信息就没有什么价值了。

信息又是可以增殖的，在积累的基础上，信息的增殖可能从量变到质变。例如，每天天气预报的信息，预报期一过就不再有用，但多年天气预报信息的积累，可能会使我们发现气候变化的规律，从而指导我们的生产、生活。

另外，信息的增殖性、再生性使我们能在大量信息中提炼有用的信息，在司空见惯的信息中分析出重要的趋势。

1.2.3 信息运动模型

信息的运动与物质和能量的运动不同，有自己的特点。由于信息既具有客观性，又有主观性，信息成为客观物质世界和主观精神世界的桥梁，显然，信息的运动比物质和能量的运动要复杂得多。在人类认识和改造客观世界过程中，形成了众多的学科门类，尽管当时人们没有认识到是信息在起作用，但是，这种不自觉的行为已经为人类带来了巨大的进步。

认识信息的运动，不能只考虑信息运动的客观方面，脱离了主观性，缺乏对信息的再升华，从而导致对客观世界认识的僵化，失去创造性，毕竟信息只有为人类主观认识才能更好地改造世界。同时，也不能孤立地只考虑主观方面，脱离了客观性，信息缺乏存在的物质基础，容易蜕变为形而上学的唯心主义。因此，应当从信息的客观性出发将二者有机结合起来，才能更好地认识和利用信息，为人类服务。

信息运动大致可分为两个方面，即本体意义上的信息运动，它反映对象（事物）运动的状态和方式，是客观方面。另一方面是认识论意义上的信息运动，它反映由主体所发出（表述）的主体思维运动的状态和方式（代表主体意志），是主观方面。

图 1.10 是信息运动的一种模型，它反映了信息从客体进入主体，经过在主体中的运动再作用于客体的运动过程。

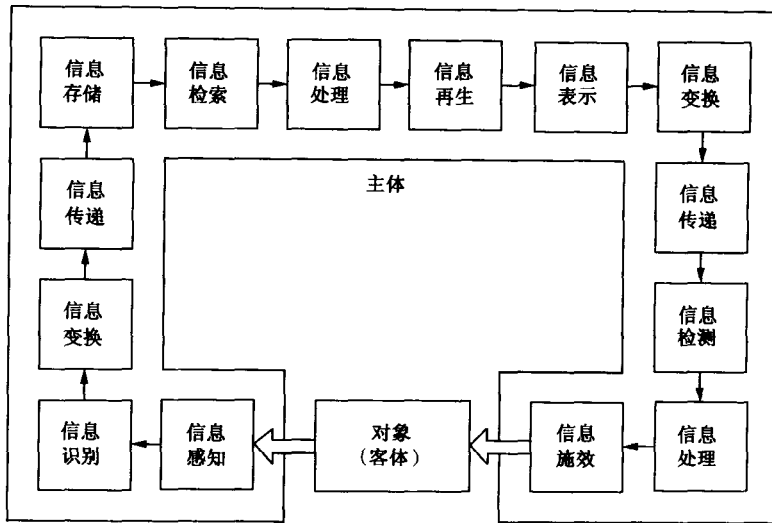


图 1.10 信息运动模型

这个模型概括了以下重要过程单元：

(1) 信息感知：通过感知器官获取外部世界事物信息。完成本体论意义的信息向认识论意义的信息的转变。

(2) 信息识别：对感知的信息加以辨识和分类。

(3) 信息变换：将识别出的信息进行适当形式的转换（一般是变换它的载体）。

(4) 信息传递：将信息由空间的某一点转移到另一点。

(5) 信息存储：收到信息后以适当的形式进行存储。

(6) 信息检索：当需要信息时，把存储者的信息迅速准确地提取出来。

(7) 信息处理：为便于使用，需要对信息进行适当的加工处理，包括分析、比较和运算等。

(8) 信息再生：在信息处理的基础上就可能获得关于对象运动的规律性认识（即再生出更为本质的信息），并形成针对客体对象的策略。

(9) 信息表示：主体再生的信息用适当的方式表示出来。

(10) 信息变换：对再生信息进行适当变换并以一定的方式表现出来。

(11) 信息传递：把加工变换的再生信息从空间的某一位置（主体所在处）转移到另一位置（客体所在处）。

(12) 信息检测：信息在传递过程中可能受到噪声等因素的影响，需要把再生信息从干扰的背景中分离出来。

(13) 信息处理：为便于再生信息发挥作用，还需要对其进行适当的加工。

(14) 信息施效：运用再生信息对客体对象的运动状态和方式进行调整。

从上图可以看出，信息的运动过程就是不断地了解、控制对象，使它逐渐地由初始运动状态和方式转移到最终的运动状态和方式。只有当上述所有过程都发挥正常作用，主体才