

# 第 1 章

## 系统理论概述



本章框架结构

### 学习要点

- 系统的基本概念及其对提高管理科学水平的指导作用
- 管理系统工程的基本概念及其在管理现代化中的作用
- 推动系统工程发展的方法论演变
- 系统工程的发展历程
- 系统理论及对企业管理的启示

党的二十大报告把习近平新时代中国特色社会主义思想的世界观和方法论系统概括为“六个必须坚持”，即必须坚持人民至上、必须坚持自信自立、必须坚持守正创新、必须坚持问题导向、必须坚持系统观念、必须坚持胸怀天下。党的二十届三中全会《决定》提出进一步全面深化改革必须贯彻的“六个坚持”重大原则，其中之一是“坚持系统观念，处理好经济和社会、政府和市场、效率和公平、活力和秩序、发展和安全等重大关系，增强改革系统性、整体性、协同性”。基于此，学习与掌握系统工程的理论与方法，对于管理人员提高基本素质、增强系统观念具有战略性的指导意义。本章的思政内容主要体现在系统的基本概念及其对提高管理科学水平的指导作用、推动系统工程发展的方法论演变与系统理论的简介等方面。

本章介绍系统概念、系统思想的产生与发展、经典的系统理论。系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的、具有特定功能的有机整体，而且这个有机整体往往又是所从属的更大系统的组成部分。系统一般具有集合性、相关性、目的性、层次性、动态性、环境适应性等特性。作为一门以系统科学、运筹学、计算机应用技术为主体的综合交叉性学科，管理系统工程是以系统为研究对象的组织管理技术。系统观念的出现彻底改变了人们的思维方式，随着时代的发展，系统理论体系逐步形成并得到完善，其中具有代表性的理论包括：一般系统论、控制论、信息论、耗散结构理论、协同学理论、突变理论等。

## 1.1 系统的概念

系统是具有某种功能、存在于自然界的事物。也就是说，一个事物，当它具有某种特定功能时，它就是一个系统。人们在认识客观事物或改造客观事物的过程中，用综合分析的思维方式看待事物，根据事物中内在的、本质的、必然的联系，从整体的角度进行分析和研究，这类事物就被看作系统。

### 1.1.1 系统概念

系统一词来源于英文 system 的音译，其原意是指事物中共性部分和每一事物应占据的位置，也就是部分组成的整体。从中文字面看，“系”指关系、联系；“统”指有机统一；“系统”则是指事物的有机联系和统一。可是将系统作为一个重要的科学概念予以研究，则是由贝塔朗菲于 1937 年第一次提出，他认为系统是“相互联系相互作用的诸要素的综合体”。

系统依照学科的不同、使用方法的不同和解决问题的不同而有不同的定义，国外关于系统的定义已不下 40 多个，例如：

(1) “系统是互相作用的诸元素的整体化总和，其使命在于以协作方式来完成预定的功能” (R. 吉布松)；

(2) “互相联系着并形成某种整体性统一体的诸元素按一定方式有秩序地排列在一起的集合” (B. H. 萨多夫斯基)；

(3) “有组织的或被组织化的整体，结合构成整体所形成的各种概念和原理的综合，有规则的相互作用和相互依存的形式结合起来的诸要素的集合等” (Webster 大辞典)；

(4) “许多组成要素保持有机的秩序，向同一目标行动的事物” (日本 JIS 工业标准)；等等。

综上所述，系统的概念同任何其他认识范畴一样，描述的是一种理想的客体，而这一客体在形式上表现为诸要素的集合。我国系统科学界对系统通用的定义是由钱学森提出的：系统是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合而成的、具有特定功能的有机整体，而且这个有机整体又是它从属的更大系统的组成部分。

从上述系统的定义可以看出，系统具有以下几个共性：

一是集合性，系统是由两个以上可以相互区别的要素（或子系统）所组成的，单个要素不能构成系统，完全相同的要素，数量虽多亦不能构成系统；

二是相关性，要素与要素之间存在一定的有机联系，从而在系统的内部和外部形成一定的结构或秩序，每一个系统又是它所从属的一个更大系统的组成部分（要素），这样，系统整体与要素、要素与要素、整体与环境之间，存在相互作用和相互联系的机制；

三是目的性，任何系统都具有明确的目的，即系统表现出特定的功能，这是整体具有不同于各个组成要素的新功能，这种新功能是由系统内部的有机联系和结构所决定的。

任何事物都是系统与要素的对立统一体，系统与要素的对立统一是客观事物的本质属性和存在方式，它们相互依存、互为条件，在事物的运动和变化中，系统和要素总是相互伴随而产生，相互作用而变化。系统与要素相互关系如下所述。

(1) 系统通过整体作用支配和控制要素。

当系统处于平衡稳定状态时，系统通过其整体作用来控制 and 决定各个要素在系统中的地位、排列顺序、作用的性质和范围的大小，统率着各个要素的特性和功能，协调着各个要素之间的数量比例关系等。并且，在系统整体中，每个要素和要素之间的相互关系都由系统所决定。系统整体稳定，要素也稳定，当系统整体的特性和功能发生变化，要素和要素之间的关系也随之产生变化，如一个企业管理组织系统的整体功能，决定和支配着作为要素的生产、运营、营销、财务、人事等各子系统的地位、作用及其之间的关系，为达到组织管理的最佳决策，使管理组织的整体效益最佳，而指挥着子系统发挥各自的功能和作用，并且对各子系统之间的关系进行控制与协调。

(2) 要素通过相互作用决定系统的特性和功能。

一般地说，要素对系统整体的作用有两种可能趋势：一种是如果要素在系统中的构成比例、数量协调、和谐，就能够维持系统整体的平衡和稳定，并促使系统向组织化、有序化的方向发展；另一种是如果系统内部要素间的数量、比例、协调性及和谐性差，就会破坏系统的平衡和稳定，甚至使系统衰退、崩溃、衰亡。

(3) 系统和要素的概念是相对的。

由于事物生成和发展的无限性，系统和要素的区别是相对的，由要素 a 和 b 组成的系统 A，又是较高一级系统 B 的组成部分，则系统 A 在系统 B 中的地位是一个要素，而同时它本身又是由要素 a 和 b 组成的系统。例如，某企业（总公司）是由几个分公司的要素组成的系统，而此总公司又是更大系统企业集团的一个组成要素。系统和要素的地位与性质关系相互转化，构成了物质世界一级套一级的等级性。

## 案例 1-1

### 多角度分析顺丰上市事件

顺丰于 1993 年在广东顺德诞生。经过多年发展，已成为国内领先的快递物流综合服务商、全球第四大快递公司，其董事长王卫曾表示，“上市的好处无非是圈钱，获得发展企业所需的资金。顺丰也缺钱，但是顺丰不能为了钱而上市”。但一向骄傲的王卫“食言”了，2017 年 2 月 23 日，成立 24 年的顺丰借壳鼎泰新材正式在深交所挂牌上市。对此，各大网站报社纷纷发声，各抒己见，正可谓“一千个读者眼里有一千个哈姆雷特”。

#### 1. 理想与现实之争

有分析者认为顺丰上市映射的是理想与现实之争，谈起顺丰王卫，外界对他的标签一直是低调、江湖气。在互联网圈子里，王卫一直是特立独行的存在。

1993 年，当时只有 23 岁的王卫成立顺丰。在此后的 20 年间，顺丰一直是一家 100% 的家族企业，王卫从来没有接受过投资人的钱，极少和资本市场接触。哪怕在扩张市场时需要大量资金，王卫也只选择将商铺或者物业抵押给银行获得贷款。2004 年起，王卫先后 9 次将物业或商铺抵押给银行。2005 年，王卫更是将顺丰公司抵押给中国银行，贷款金额也只有 420 万元。低调的王卫很少接受媒体采访，对投资人避而不见，甚至有传闻称：“有 VC 想给王卫融资，但王卫始终不肯出来见面。这个 VC 对外开出 50 万中介费价码，只为和王卫吃个饭。”但在 2013 年，顺丰进行了唯一一次融资，由元禾控股、招商局集团、中信资本共同

投资顺丰约 25% 股份，金额为 80 亿元人民币。王卫说之所以选择这三大投资商，“是因为他们不逼着顺丰上市”。

早在 2011 年，王卫就曾公开表示：“上市后，企业就变成一个赚钱的机器，每天股价的变动都牵动着企业的神经，对企业管理层的管理是不利的。我做企业，是想让企业长期地发展，让一批人得到有尊严的生活。上市的话，环境将不一样了，你要为股民负责，你要保证股票不断上涨，利润将成为企业存在的唯一目的。这样，企业将变得很浮躁，和当今社会一样的浮躁。”

2015 年 12 月 1 日，中通快递 100% 股权拟作价 169 亿元借壳艾迪西上市，成为国内民营快递第一股；2016 年 1 月，圆通速递借壳大杨创世登录 A 股；同年，中通快递成功登录纽交所。快递公司间的竞争，从价格手段蔓延到资本市场。王卫的顺丰想要继续在这场竞争中活下来，必须学会拥抱资本。王卫感慨道：“一个人，一个企业，怎么可能和资本、行业对抗？”

2017 年 2 月 23 日，顺丰借壳鼎泰新材正式在深交所挂牌上市。顺丰上市后，王卫两个月内身价飙升 5 倍，排名全球第 25 位，比上一年上升 305 位，可谓是当年最大的黑马。但上市后的王卫依然会怀疑上市的决定是否正确，2021 年 4 月，在股东大会上，王卫感慨道：“我经常在问，我是不是应该不上市呢？因为好像跟我的理想越来越远一样……”

然而第二个月，顺丰房托正式在港交所挂牌交易，成为国内首个赴港上市并以物流为主的房地产投资信托基金。这也被一些人认为“理想终究败给了现实”。

## 2. 常见的融资手段

有分析者则认为顺丰上市只是常见的融资手段，在这类分析者看来，顺丰在 2013 年，进行的第一笔融资表示“当时顺丰就应该有未来上市的计划了”。

并且，顺丰速运在近些年来一直试图改变曾经的单一模式，比如增加了即日达，还有空运与陆运，还有更加优惠的平邮与同城配等更多多元化模式，顺丰正处于转型的尴尬期，急需大量的资金，而上市无疑是融资的最好选择，龚福照也说：“为了能够完成在海外业务的布局和发展，顺丰则需要通过上市融资来完成资金缺口。”因此，许多人认为顺丰的上市行为并没有特别之处，只是企业“圈钱”的常见手段，至于王卫此前的“拒绝顺丰上市”，也只是他的骄傲自大之词。

## 3. 迫不得已之举

还有分析者认为顺丰上市是迫不得已之举，快递市场分国内和国际两个市场，目前快递市场属于内热外冷情况。在国内市场可分为商务件（含散件）和电商件。顺丰凭借其高效稳定的时效和优质的服务，在商务件市场有着绝对的话语权，但商务件市场本身容量有限，近年来受经济形势的影响，商务件的增长面临比较大的挑战。同时以电商件为主的“通达系”（中通、圆通、中通、韵达和百世汇通）依靠价格优势，在商务件市场的份额逐渐加大，蚕食着顺丰的优势业务。快递行业现在面临微利化、无利化、竞争化的市场现状，同质化竞争带来了恶性的价格战，未来快递行业的兼并重组不可避免。鉴于上市身份的稀缺性以及上市带来的资本支持，成功上市的快递企业将会在未来行业的兼并重组中占据很大的优势。面对“三通一达”的相继上市，快递公司间的竞争，已经从价格手段蔓延到资本市场，顺丰也不得不向资本市场妥协。

纵观整个事件，它既包含当事人认知的局限，也有实操中的现实困境。正因如此，不同

人对顺丰上市有着不同的解读和结论，也令舆论呈现出多元乃至对立的局面。换言之，每一种解读正如盲人摸象一般，只能从一个角度看到顺丰上市的一个方面，无法整体把握事件发生的脉络与全貌。因此，我们需要把系统的思想引入对事件的分析判断中去，不仅要多角度，而且要系统地、全面地看待问题，才能形成独立的思维方式，对事件有更深入的理解和掌握。

### 1.1.2 系统的形态

宇宙间的一切事物，都是以各种各样的系统形态存在的。根据其生成原因和反映属性的不同，系统可以进行各种各样的分类。系统的形态与其所要解决的问题密切相关。按照一般分类方法，系统有如下形态。

#### 1. 按照系统的形成方式，可分为自然系统、人工系统和复合系统

(1) 自然系统。指由自然物（如矿物、植物、动物、海洋等）自发形成的系统，其组成要素是自然界固有的事物，其形成往往与人的意志无关，如海洋系统、矿藏系统、植物系统、生态系统、分子系统、大气系统等。了解自然系统的形成及其规律是人造系统的基础。

(2) 人工系统。指人类为了达到某种目的的设计和建造的系统。工程技术系统、经营管理系统和科学技术系统就是三种典型的人造系统。其中，工程技术系统是用人工方法建造出来的工具和机械装置等所构成的工程技术集合体；经营管理系统是人们通过规定的组织、制度、程序、手段等建立起来的经营与管理的统一体；科学技术系统是人们对自然和社会现象的科学认识，所建立的综合的科学技术体系。

(3) 复合系统。指由自然系统和人工系统结合而成的系统。如农业系统、工业系统、生产系统以及各种工程系统等。实际上，由于人类文明的发展，目前所接触的大多数系统都是复合系统，如社会系统，看起来是一个人造系统，但是它的发展不以人们的意志为转移，而是有其内在规律。

从人类发展的需要看，其趋势是越来越多地发展和创造更新的人造系统。事实也确实如此，随着科学技术的发展，已出现了越来越多的人造系统。大量人造系统的产生与发展，也打破了自然系统的平衡，使自然环境（大气、生态、海洋等）系统受到极大破坏，造成各种可知和不可知的污染，甚至给人类的生活乃至生存带来威胁。因此，近年来系统工程已越来越注重从与自然系统的关系中来研究、开发、建造人造系统。

#### 2. 按照系统组成要素，可分为实体系统和概念系统

(1) 实体系统。是以矿物、生物、能源、机械等实体组成的系统。它的组成要素是具有实体的物质。这种系统是以硬件为主体，以静态系统的形式来表现的，如人-机系统、机械系统、电力系统等。

(2) 概念系统。是由概念、原理、原则、方法、制度、程序等观念性的非物质所组成的系统。它是以软件为主体，以动态系统的形式来表现的，如科技体制、教育体系、法律系统、程序系统等。

在实际生活中，实体系统和概念系统通常是结合在一起的。如计算机的硬件部分是实体系统，使其发挥特定功能的软件则是概念系统。实体系统是概念系统的基础和服务对象，而概念系统则为实体系统提供指导和服务，两者紧密相连。

### 3. 按照系统与环境的联系，可分为封闭系统和开放系统

(1) 封闭系统。指系统与环境的联系不密切，很少与环境发生物质、能量和信息交换的系统。如自给自足的小农经济或闭关自守的封建国家，它们很少和外界发生联系，并且不依赖外界影响而具有生存能力，因而可以看作封闭系统。如果与外界环境完全没有联系，则称为孤立系统。如专门为研究系统目的而设定的封存的设备、仪器及其他尚未使用的技术系统等。

(2) 开放系统。是指系统内部与外部环境有相互联系，能进行能量、物质和信息交换的系统。它从环境得到输入，并向环境进行输出，系统状态直接受环境变化的影响。大部分人造系统都属于这一类，如社会系统、经营管理系统等。围绕系统在外部环境影响下进行的活动来认识系统，是识别和研究系统特性的主要途径。

### 4. 按照系统状态和时间的关系，可分为静态系统和动态系统

(1) 静态系统。指系统的状态参数不随时间改变的系統。它没有既定的相对输入和输出，其在系统运动规律的表征模型中不含时间因素，即模型中的变量不随时间的变化而变化，如车间平面布置系统、工程建筑系统等。一般来说，静态系统属于实体系统。

(2) 动态系统。指系统状态参数随时间改变的系統，也就是把系统的状态变量作为时间的函数而表现出来的系统。它有输入和输出及转换过程，一般都受到人的行为因素的影响，如生产系统、服务系统、开发系统、社会系统等。并且，动态系统需要有静态系统作为基础、概念系统进行配合。由于系统的特性是由其状态变量随时间变化的信息来描述的，所以在实际工作中，要以分析和研究动态系统为重点。

### 5. 按照系统的规模，可分为小系统、大系统和巨系统

(1) 小系统。指系统的组成要素数量少、结构简单、功能单一的系统，如简单机械、家庭、班组等系统。这类系统不仅包含不需要分割要素较少，而且要素之间相互作用的关系简单，因而又是简单系统。

(2) 大系统。指系统的组成要素数量众多、规模庞大、结构复杂、功能综合的系统，如天体系统、生态系统、国家系统、社会系统等。这类系统不仅要素等级多，而且要素之间相互作用的关系错综复杂，因而又是复杂系统。

(3) 巨系统。是指构成系统的子系统或称之为元素的数量极大，成万上亿、上百亿、万亿。1979年，钱学森和乌家培同志在论述社会系统工程时指出这不只是大系统，而是巨系统，这也是学术界第一次提出巨系统概念。此后又根据系统的复杂程度分为“简单巨系统”和“复杂巨系统”。

### 6. 按照系统的相关特性，可分为对象系统、行为系统、控制系统和因果系统

(1) 对象系统。是按照具体研究对象进行区分而产生的系统，如企业的经营计划系统、生产系统、库存系统等。

(2) 行为系统。是以完成目的所产生的行为作为组成要素的系统。行为是指为达到某一确定的目的而执行某种特定功能的作用，这种作用对外部环境能产生一定的效用。行为系统的区别并不以系统的组成部分及其结构特征作为标准，而是根据行为特征的内容加以区别的。也就是说，尽管有些系统组成部分及其结构特征是相同的，但如果其执行特定功能的作用不同，那它们就不是同类的系统。行为系统一般需要通过组织体系来体现，如社会系统、经济系统、管理系统等。

(3) 控制系统。是具有控制功能和手段的系统。控制是为了达到某个目的给对象系统所施加的必要动作。控制对象要由控制装置操纵,使其达到规定。当控制系统由控制装置自动进行时,称之为自动控制系统。

(4) 因果系统。是输出完全决定于输入的系统,因果系统必须是开放系统。因果系统的内容是由单一因素决定的,其状态与结果具有一致性。这类系统一般为测试系统,如信号系统、记录系统、测量系统等。

总之,系统的分类方法是多样的,分类标准是相对的,系统的形态是无限的,但基本可以看作是由上述各种系统形态相互组合而形成的,它们之间往往是相互交叉和相互渗透的。

### 1.1.3 系统工程与管理系统工程

系统工程(systems engineering, SE)是在20世纪中期兴起的一门实用学科,是软科学的重要组成部分。它不仅是一门综合性很强的实用技术科学,也是一种现代化的组织管理技术。到目前为止,由于它与其他学科的相互渗透、相互影响,不同专业领域的人对其理解不尽相同,要给出一个统一的定义比较困难。下面引述一些国内外具有代表性的定义,为我们认识系统工程学科的性质提供参考。

“系统工程认为虽然每个系统都是由许多不同的特殊功能部分所组成的,而这些功能部分之间又存在相互关系,但是每一个系统都是完整的整体,每一个系统都有一定数量的目标。系统工程则是按照各个目标进行权衡。全面求得最优解(或满意解)的方法,并使各组成部分能够最大限度地相互适应。”(1967年美国切斯纳)

“系统工程是为了更好地达到系统目的,对系统的构成要素、组织结构、信息流动和控制机构等进行分析与设计的技术。”(1967年日本工业标准 JIS 8121)

“系统工程是用来研究具有自动调整能力的生产机械,以及像通信机械那样的信息传输装置、服务性机械和计算机等的方法,是研究、设计、制造和运用这些机械的基础工程学。”(1967年美国莫顿)

“系统工程是应用科学知识设计和制造系统的一门特殊工程学。”(1969年美国质量管理学会系统委员会)

“系统工程是为了合理进行开发、设计和运用系统而采用的思想、步骤、组织和方法等的总称。”(1971年日本寺野寿郎)

“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以解决综合化的工程技术。”(1974年大英百科全书)

“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。”(1976年苏联大百科全书)

“系统工程与其他工程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一种边缘科学。因为系统工程的目的是研制系统,而系统不仅涉及工程学的领域,还涉及社会、经济和政治等领域。为了适当解决这些问题,除需要某些纵向技术以外,还要有一种技术从横的方向把它们组织起来,这种横向技术就是系统工程。亦即,研究系统所需的思想、技术、手法和理论等体系化的总称。”(1977年日本三浦武雄)

“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部分结合成具有

特定功能的有机整体，而且这个系统本身又是它从属的一个更大系统的组成部分。……系统工程则是组织管理这种系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的科学方法。”（1978年我国著名科学家钱学森等）

“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。它是系统科学中直接改造世界的工程技术。”（1993年《中国大百科全书·自动控制与系统工程卷》）

综上所述，系统工程的研究对象是大型的、复杂的人工系统和复合系统；系统工程的研究内容是组织协调系统内部各要素的活动，使各要素为实现整体目标发挥适当作用；系统工程的研究目的是实现系统整体目标最优化。目前，系统工程已被广泛应用于社会、经济、能源、农业等国民经济的各个领域，成为制定最优规划、实现最优管理的重要方法和工具，在社会主义现代化建设中，发挥着十分重要的作用，并取得了显著的成果。

（1）社会系统工程。组织管理社会主义建设的工程技术，称为社会系统工程。它的研究对象是整个社会，这是一个复杂巨系统。它具有多层次、多区域、多阶段的特点。在研究方法上一般采用多级递阶结构来处理。近年来，在推进社会事业改革创新、激发社会组织活力等方面，都取得了出色的成绩。

（2）经济系统工程。运用系统工程的方法研究宏观的社会经济系统问题。如经济发展战略、经济战略目标体系、经济指标体系、计划综合平衡、投入产出分析、消费结构分析、投资决策分析、经济政策分析、资源最优利用等。

（3）区域规划系统工程。从系统工程的角度来考察区域经济及其今后的发展，亦即将一定地域空间的社会再生产总过程——生产、分配、交换、消费作为考察的对象系统。着重揭示对象系统与自然—经济—社会环境系统的相互影响或作用，在一定时期内将会发生怎样的变化，提出实现发展目标的各种对策方案等。

（4）生态系统工程。研究大气生态系统、大地生态系统、森林与生物生态系统、城市生态系统等的系统分析、规划、建设、防治等方面的问题。

（5）能源系统工程。研究能源合理结构、能源需求预测、能源供应预测、能源生产优化模型、能源合理利用模型、节能规划、能源互联网等。

（6）农业系统工程。研究农业发展战略、农业综合规划、农业区域规划、农业政策分析、农业结构分析、农业投资规划、农产品需求预测、农作物合理布局等问题。

（7）信息系统工程。研究“信息网络+用户”的人—网结合的复杂巨系统，不仅对信息进行采集、加工、储存、分析、综合等，还实现了信息的传输与共享，特别是对开源信息的预判和舆情传播的分析，都具有重要的理论与实际意义。

从以上简述中，可以看出一个重要的区别在于系统工程应用的范围、领域不同。以此观点，将系统工程应用于（企业）管理领域，称之为管理系统工程。即运用系统工程的科学方法，通过最优途径的选择，使管理工作在一定期限内收到最合理、最经济、最有效的效果。所谓科学的方法就是从整体观念出发，通盘筹划，合理安排整体中的每一个局部，以求得整体的最优规划、最优管理和最优控制，使每个局部都服从一个整体目标，做到人尽其才、物尽其用，以便最大限度地发挥整体优势，力求避免资源的损失和浪费。

## 1.2 系统工程的形成与发展

### 1.2.1 古代朴素系统思想

系统的概念来源于人类的长期社会实践，而人类也很早就有了系统思想的萌芽，这主要表现在整体、组织、结构、等级等概念的产生。我国是一个具有数千年文明史的古国，在丰富的历史宝库中，可以找到很多有关系统的朴素思想，比如古代天文、医药、军事、工程等方面的知识和成就，都不同程度地反映出了朴素的系统思想。

(1) 天文领域。我国古代天文学家为发展原始农牧业，很早就关心天象的变化，把宇宙看作一个超体系统，探讨了其结构、变化和发展，揭示了天体运行与季节变化的联系，编制出历法和指导农事活动的二十四节气。

(2) 医学领域。中国的《黄帝内经》中，通过对经络、脉象、穴位等的研究，深化了对人体“系统”的认识。中药的“辨证处方”，就是系统思想的一种体现。一服中药一般由“君、臣、佐、使”4个部分组成，“君药”对主病起主要治疗作用，用量较大；“臣药”辅助“君药”加强治疗作用；“佐药”用来抑制“君药”可能产生的副作用；“使药”对各种药物起调和作用。“君、臣、佐、使”合理配置，一服中药就是一个具有“健身除病”功效的药物“系统”。

(3) 军事领域。春秋末期，我国著名军事家孙武，在他的《孙子兵法》中就阐述了不少朴素的系统思想和谋略。如《孙子兵法》中“经五事”从道、天、地、将、法五个方面来分析战争的全局，并依据“五事”推论出“七计”指出“经之以五事，校之以计，而索其情”。《孙子兵法》是一部揭示战争规律的杰作，对战争系统的各个层次、各个方面及其内在联系都进行了全面分析和论述，从而在整体上构成了对于战争的规律性的认识。

(4) 水利工程领域。我国古代劳动人民已经懂得把系统思想运用于改造自然的社会实践中去。如战国时期秦国李冰任蜀郡太守后，主持修建了驰名中外的四川都江堰水利工程，该项工程包括三个主要部分：“鱼嘴”是岷江分洪工程；“飞沙堰”是分洪排沙工程；“宝瓶口”是引水工程。三个部分巧妙地结合成一个整体工程，根据今天的试验，工程的排沙、引水、防洪等方面都做了精确的数量分析，使工程兼有防洪、灌溉、漂木、行舟等多种功能。由于在渠道上设置了水尺测量水位，合理控制分水流量，工程不仅分导了汹涌流急的岷江而化害为利，还利用分洪工程有节制地灌溉了14个县的田地；工程不仅在施工时期有一套管理办法，还建立了维修保养制度，每年按规定淘沙修堤，工程经久不衰，至今仍充分发挥其效益。其中，三大主体工程 and 120个附属渠堰工程，形成一个协调运转的工程总体，体现了非常完善的整体观念、优化方法和发展的系统思路，即使从现代观点看，仍不愧为世界上一项宏伟的水利工程建设。所有这些都说明人类在知道系统工程之前，在社会实践中就已经产生辩证的系统思维，并开始应用朴素的系统思想改造自然与社会了。

(5) 哲学思想领域。朴素的系统思想，不仅表现在古代人类的实践中，而且在哲学思想中得到了反映，当时的一些朴素唯物主义思想家都从承认统一的物质本源出发，把自然界当作一个统一体。中国古代的系统思想在老子的《道德经》中得到高度概括和提炼，《道德经》

中的“道”或“一”超越了时空界限，“独立而不改，周行而不殆，可以为天地母”，老子认为，只有按照“道”的原则，才能实现既定的目标，“天得一以清；地得一以宁；神得一以灵；谷得一以盈；万物得一以生；侯王得一以为天下正”。这里的“道”或“一”在某种意义上可以和“系统”画等号。

古希腊卓越的唯物主义哲学家德谟克利特（前 460—前 370）也从唯物主义立场出发阐述了系统的思想。他在物质构造的原子论基础上，认为世界是由原子和虚空组成的，原子组成万物，形成不同系统层次的世界，人也是一个小世界，宇宙中有无数世界，这些世界不断产生、发展和消灭。亚里士多德（前 384—前 322）“四因”（目的因、动力因、形式因、质料因）的思想和关于事物的种属关系以及关于范畴分类的思想等，都可以说是古代朴素系统观念最有价值的遗产。他曾经说过：一般说来，所有的方式显示全体并不是部分的总和。他以房屋作例子，说明一所房屋并不等于砖瓦、木料等建筑材料的总和，并指出：由此看来，你可以有房屋的各个部分，但它还没有形成整体，所以各个部分堆积在一起和整体并不是一回事。后来人们把亚里士多德的这个思想概括成“整体大于部分的总和”。类似这种系统观在几何学的奠基人欧几里得和天文学家托勒密的著作中也有具体表述。

所有这些天文、医学、军事、水利工程、哲学思想等领域的知识和成就，都在不同程度上反映了朴素的系统思想，但由于时代的局限性，它虽然强调对自然界整体性、统一性的认识，但缺乏对整体各个细节的认知能力，也就是说，古代朴素的系统思想虽然是从“宽”处着眼，但容易导致“只见森林，不见树木”。

### 1.2.2 近现代的系统思想

为了增强对整体各个细节的认识能力，我们需要把它们从自然或历史的联系中抽取出来，从其特性、原因和结果等各个方面逐个加以研究。这最早是自然科学和历史研究的任务。真正的自然科学则是从 15 世纪下半叶开始，在还原论的支持下迅速发展起来的。

还原论是主张把高级运动形式还原为低级运动形式的一种哲学观点，它认为现实生活中的每一种现象都可看成是更低级、更基本的现象的集合体或组成物，因而可以用低级运动形式的规律代替高级运动形式的规律。还原论的特点是：① 对整体进行分解，把整体分解为部分，再把部分分解为更小的部分，直到分解为认为适宜的程度；② 对层次进行还原，把高层次还原到低层次，把高级内容还原为低级内容，一层层地降解，直到最低的层次或最终的物质要素；③ 从微观揭示本质，坚信事物的本质不在宏观而在微观，在于构成宏观的微观物质单元，只有把整体分解为部分，把部分还原到“原子”（或其化身），才能找到终极根源，作出终极说明。

著名的科学管理之父泰勒的“施密特实验”就是一个体现还原论很好的例子。在实验中，泰勒将铲装工施密特的操作流程分解到最小的单位，测量它们所需的时间和空间，通过剔除其工作的无效部分，最终确定了施密特装卸效率最高时的每一个操作细节，包括铲的大小、铲斗重量、铲装重量、堆码过程、走动距离、手臂摆弧及其他具体的操作内容，使施密特的劳动生产率由每天 12.5 吨增至 48 吨。

就这样，还原论的科学不但成功地建立起庞大而完整的科学体系，在认识自然界的进程中卓有成效；同时也孕育出高度发达的工程技术、行之有效的管理制度和空前昌盛的人类文明。

然而,这种思维方式虽然把事物分割(还原)之后获得了认识,但是当把这些碎片化的认识进行“组合”之后,这些“组合”后的认识有时候却无法准确地反映事物的整体性质。特别是面对复杂性程度较高的事物时,还原论方法表现出明显的狭隘性。生物学家贝塔朗菲说:“当我对生命中的各个分子都了解清楚时,我对生物的整体图像反而模糊了。”可以说,还原论方法从“窄”处着眼,容易导致“只见树木,不见森林”。

事实也的确如此,20世纪基础科学的三大成就——相对论、量子论和复杂科学的核心思想结论都证实了还原论的局限性。首先,爱因斯坦的相对论提出时间、空间、物质和能量乃至整个宇宙必须作为一个整体来研究,“物质告诉时空怎样弯曲,时空告诉物质怎样运动”。一旦割裂它们就会产生严重失真。其次,量子论认为,我们的世界是一个非机械的、相互联系的、不可分割(还原)的世界。从根本上动摇了还原论的基础。随后的混沌学研究则告诉人们,我们以为是世界全部的牛顿世界,不过是个特例,更为广大的世界是牛顿力学无法解释的。至此,还原论被彻底动摇——能用还原论近似描述的仅仅是世界很小的一部分。

与还原论相反的是1926年由英国的J.C.斯穆茨在其《整体论与进化》一书中提出的整体论,它认为高级层次不可还原为低级层次,把宇宙世界看作一个统一的整体,各种事物之间相互联系,不可被机械地分割。

20世纪70年代末,钱学森明确提出把还原论方法和整体论方法结合起来,形成系统论方法,到80年代末,他提出“从定性到定量综合集成方法”(以下简称综合集成方法),其实质是把专家体系、信息与知识体系以及计算机系统有机结合起来,构成一个高度智能化的人-机、人-网结合的系统,运用这个方法也需要系统分解,即在总体设计基础上的系统分解,在系统分解研究后,再综合集中到整体,实现“1+1>2”的飞跃,达到从整体上研究和解决问题的目的,既吸收了还原论与整体论的长处,又弥补了各自的局限性,将事物的整体和局部联结起来,实现“宽”和“窄”的统一,做到“既见森林,又见树木”。

把综合集成方法应用到技术层次上,就是综合集成技术,用于系统管理的综合集成技术就是系统工程。系统工程是一门跨越各个学科领域的横断性学科,一方面因为这套思想和方法适用于许多领域,而每个领域都有一些带有整体性、全局性的问题需要综合处理;另一方面则是因为,系统工程所使用的多数方法与工具来自各门学科,需要将其综合起来加以应用。

### 1.2.3 系统工程发展史

从世界范围内来看,系统工程经历了三个阶段。

#### 1. 基础系统理论与系统工程理论各自独立发展的阶段

1925年,美籍奥地利生物学家贝塔朗菲(Ludwing von Bertalanffy)提出了系统论的思想,他的视野很快超出了生物学,于1937年提出一般系统论原理,为系统论奠定了理论基础。1954年,贝塔朗菲与持有相同观点的另外3位著名学者:经济学家鲍尔丁(Kenneth Boulding)、生物学家杰拉德(Ralph Gerard)和生物数学家拉波波特(Anatol Rapoport)共同成立了“一般系统研究会”,此4人也被认为是系统运动之父。他们在加利福尼亚帕罗奥托行为科学高等研究中心合作共事,提出了系统科学研究的4个主要目标:①研究不同科学领域中概念、规律、模型的相似性,并致力于从一个领域向另一个领域移植;②鼓励理论探索;③尽可能减少不同领域中的重复研究;④促进科学家之间的交流,强化科学研究的协调性。研究会每

组织召开一次年会、出版一期年刊，都会吸引大批科学家，在西方学术界产生了很大影响，随之而来的便是轰轰烈烈的系统运动。

20 世纪 40 年代，美国贝尔电话公司在发展通信网络中，为缩短科学技术从发明到投入使用的时间，认识到不能只注意电话机和交换台站等设备，更需要研究整个系统，于是采用了一套新方法，首次提出“系统工程”一词。1957 年，美国密歇根大学的 H. H. 古德和 R. E. 麦克霍尔合著了第一本完整的系统工程教科书——《系统工程学》，综合论述了运筹学方法及一些具体分支。1962 年，A. D. 霍尔写了《系统工程方法论》，把系统工程看作一个过程、一种解决问题的程序，并提出了工程学的三维结构模型，即由“时间维”“逻辑维”和“知识维”所组成的三维空间结构。美国兰德公司倡导了“系统分析方法”，运筹学逐渐形成了许多理论分支，如规划论、博弈论、排队论、决策论等，使得运筹学逐渐发展成为一种独立的系统体系。

### 2. 基础理论进一步深化，并融入系统工程实践中

学者们从动态的角度更深入研究一般系统概念和原理，自组织理论发展起来。20 世纪 60 年代，贝塔朗菲曾提出由系统的科学与数学系统论、系统技术、系统哲学构成广义系统论的设想。1976 年，萨缪尔森提出将系统论、控制论、信息论综合成一门新学科的建议。而现代科学技术的发展对系统思想的方法和实践也产生了重大影响，具体表现在：① 现代科学技术的成就使得系统思想方法定量化，成为一套具有数学理论、能够定量处理系统各组成部分关系的科学方法；② 电子计算机的使用为系统思想方法的实际运用提供了强有力的支持。

同时，这个时期自然科学的发展也为马克思主义哲学提供了丰富的资料，为唯物主义自然观建立了更加巩固的基础。马克思、恩格斯的辩证唯物主义认为，物质世界是由无数相互联系、相互依赖、相互制约、相互作用的事物和过程形成的统一整体。辩证唯物主义体现的物质世界普遍联系及其整体性的思想，就是系统思想。

系统思想在辩证唯物主义那里取得了哲学的表达形式，在运筹学和其他学科中取得定量的表达方式，并在系统工程应用中不断充实自己的实践内容，系统思想方法从一种哲学思维逐步成为一门专门的学科——系统科学。从 20 世纪 60 年代起，西方国家先后建立了一大批专门的系统科学研究机构，许多高等学校也竞相开办系统科学专业。各个出版机构积极支持系统科学的发展，出版了一批系统科学的相关著作，创办了一批系统科学的相关刊物。据统计，系统科学论著作每 4 年就会翻一番。随着系统科学的逐步发展和其在工程领域的广泛应用，1990 年，各国学者联合成立了系统工程国际委员会（INCOSE），使得越来越多的企业代表和学校研究者加入系统工程的研究中来。

### 3. 复杂系统理论的发展

当前，系统理论的发展正处于一个新的转折点，那就是复杂系统论的兴起。复杂系统论虽还处于萌芽状态，但已被有些科学家誉为“21 世纪的科学”“科学方法论的又一场革命”，是跨学科的新兴领域。研究的前沿阵地是美国的圣菲研究所（SFI），SFI 热衷于不同学科之间的深入探讨与相互影响，试图在各种不同的系统之间找出一些共性。组织管理是 SFI 开展复杂性研究的重要方向之一。另外一个对复杂性进行过长期研究，而且与现代组织管理紧密相连的研究机构是美国乔治·梅森大学的集成科学现代研究所，以沃菲尔德教授为代表的学者们围绕组织管理工作开展复杂性研究，是“复杂性是在人的脑中”一派的代表人物。

20 世纪 50 年代中期，钱学森和许国志把运筹学从西方带到中国，他们在中国科学院力学研究所组建了中国最早的运筹学教研组。此后，钱学森又开创并领导了中国的国防系统分

析研究。20世纪50年代末期,中国科学家开始将运筹学与中国实际相结合,并应用于国民经济发展。例如,华罗庚从运筹学方法中提炼出可直接用来解决系统管理、优化问题的“优选法”和“统筹法”,他带领一批青年科学家在全国范围内推广“双法”,指导工农业生产实践,最终取得了巨大的社会效益和经济效益,同时还总结出“图上作业法”等中国特有的系统科学方法。20世纪70年代,在钱学森、宋健等人的大力倡导下,中国出现了新的系统科学研究热潮。一批在数学、工程、经济等领域有影响的专家相继转入系统科学研究。1979年,钱学森提出要建立系统科学学科体系的思想。他认为系统科学应当是与自然科学、社会科学具有同等地位的科学体系,因此应具有工程技术、技术科学、基础理论和哲学4个层次。顾基发则认为,系统科学应当包括5方面的内容,即系统概念、一般系统理论、系统理论分论、系统方法论和系统方法应用。对于系统科学究竟应包括哪些内容,如何建立一个统一的系统科学学科,还存在多种不同的意见和看法,但系统科学家们致力于建立统一的系统科学理论的目标是一致的。到20世纪80年代,中国科学院及有关部委相继组建了系统科学和系统工程研究所,许多高等院校也建立了研究机构,开始招收和培养系统工程、管理工程专业的本科生、硕士生和博士生。同时,国内也组建了中国系统工程学会(SESC)、中国优选法统筹法与经济数学研究会(CSOPEM)等学术组织。

现代科学技术在高度分化的基础上表现出高度综合的大趋势,加速了系统科学学科群的产生和发展。系统科学改变了人们的思维方式,为人们研究现代社会、经济和其他各个领域中的复杂问题提供了新思路、新途径。系统科学的发展代表了当代科学技术发展的新潮流。

系统科学的思想方法应用于中国各级管理决策、发展战略研究、区域规划制定及重大建设工程项目建设,并取得了一批重要成果。如“国家12个重要领域政策”的制定,参加单位有670个,动员了3500多位各个领域中的专家,历时6年完成;“2000年的中国”“世界新技术革命及对策”“国家经济发展战略”等许多系统科学应用成果,都对中国的发 展产生了积极的影响。除此之外,系统科学在中国导弹和航天等复杂系统的规划、研究、设计、制造、试验、运行过程中得到了广泛的应用。

## 案例 1-2

### “中国式”航天系统工程管理

中国航天事业起步于1956年,初创时薄弱的经济、技术和人才条件,决定了我国的航天事业不能照搬国外已成熟的管理体系,“中国式”航天系统工程管理应运而生。

通过几十年的努力,中国航天目前已拥有以运载火箭、人造卫星、载人航天和导弹武器系统为主的航天系列产品,配套的研制、设计、生产、实验体系和航天工业体系等逐步完善。这一切辉煌成绩的取得,离不开系统工程管理的理论和方法。

#### 1. “1+1>2”

“中国式”系统工程管理的核心在于其总体设计:即把需求渗透到工程系统的设计中去。中国航天从用户需求和上层系统要求出发,在预算、时间和其他限制条件下,设计一个整体性能优化的系统,然后将其分解成各个分系统,再从整体优化的角度协调分系统和总体的关系,既重视对系统内部各组分特性的认识,更强调对系统层次之间的结构关系的分析和验证。最终产生的系统整体性能优异,实现了整体功能优于各分系统功能之和,即“1+1>2”。

## 2. 全寿命周期统筹规划

系统科学理论认为新建系统有一个从发生、发展、相变到衰落的动态演化过程，即系统的生命周期。将系统工程的整体观念应用于系统的演化过程，就是要做到对系统的全寿命周期进行统筹规划，子过程有序展开。这一点在工程的研制程序中体现得尤为明显。在中国航天工程中，对研制程序的全寿命周期进行统筹规划，几乎是自中国航天创建之始就遵循的金科玉律，既要保证本阶段任务目标的实现，又充分考虑本阶段工作对系统全寿命周期所有活动，包括研发、试验、制造、部署、培训、使用、维护和弃置等活动的影响。时至今日，严格按照研制程序循序渐进地开展研制工作，对于技术以及管理人员来说，都已经成为一种自觉的行动。

## 3. 定性与定量相结合

在对系统定性认识的基础上进行科学的定量描述，是系统工程在航天工程领域所使用的基本方法。譬如“计算机建模与仿真”，即是在利用已知的基本科学定律，结合以往设计工作的经验，经过分析和演绎建立系统的数学模型，然后把系统的数学模型使用计算机转化为仿真模型，使得设计人员可以在计算机上对虚拟的或者真实的系统进行数学仿真、半实物仿真或实物仿真实验，从而预测系统可能产生的行为，以便对选定的方案给出总体评价，进而优化和确定参数，最大程度地避免设计失误。

## 4. “两条指挥线”

中国航天的型号研制组织管理体系的特点之一就是“两条指挥线”，即以行政总指挥为首的行政指挥线和以总设计师为首的设计师指挥线。其中，总设计师是设计技术方面的指挥者、重大技术问题的决策者；而行政总指挥是计划进度和预算控制的指挥者、资源保障方面的组织者。既保证了技术决策的科学性与民主，又保证了决策计划的有效执行与实施，设计师指挥系统并行于院行政管理体系，在行政指挥调度系统的积极配合下，采用先进的计划、调度、配置、评价和评审等技术和手段，实施动态管理，以保证全系统协调、高效地运行以及管理系统的优化。

## 5. “以人为本”的质量管理

中国航天的载人航天工程要求必须把航天员的安全放在首位，提高工程的安全性和可靠性是工程质量管理核心。因此，采取了系统整体研制质量和协作配套产品质量并重的方法，即全面、全员、全过程地抓质量：一抓“头头”（领导和管理机关）；二抓“源头”（元器件、原材料、设计和工艺），将质量控制点落实到每一个系统、每一个单位、每一个工作岗位上，明确责任，规范制度，层层把关。由此建立了以“载人意识”和“以人为本”为主的质量管理文化，形成了全面覆盖、预防为主、事前控制、常抓不懈的质量管理体制。

---

## 1.3 系统理论简介

系统思想的出现彻底地改变了人们的思维方式，使人们在向宏观世界和微观世界的进军中，逐步揭示出客观事物的本质联系和内在规律。20世纪中期产生的系统论、控制论、信息论，冲破了线性思维定式的影响，提出了“不同因素相互作用的影响绝不是简单相加”的观

点, 20 世纪 70 年代, 产生的耗散结构论、协同学、突变论则对复杂性产生的环境条件、动力、途径和耦合等方面进行了探索, 提出: ① 在一定条件下通过系统内各个要素相互竞争以及相互合作, 能够从无序和混乱中自发、自主地产生秩序; ② 秩序一旦形成, 不同层次的演化便超循环地相互缠绕起来, 又加强了秩序本身; ③ 通过渐进与突跃, 通过不同层次的相互嵌套, 从简单中产生复杂性, 从混乱中诞生秩序。

### 1.3.1 一般系统论

一般系统论的创始人是奥地利生物学家贝塔朗菲。他在 1937 年提出了一般系统论原理, 奠定了这门科学的理论基础。但他的论文《关于一般系统论》, 到 1945 年才公开发表, 他的理论到 1948 年在美国再次讲授“一般系统论”时, 才得到学术界的重视。直到 1968 年他发表了专著《一般系统理论——基础、发展和应用》(*General System Theory; Foundations, Development, Applications*), 才确立了这门科学的学术地位, 而这本专著也被公认为是这门学科的代表作。

贝塔朗菲在论述一般系统论的原理时指出, 把孤立的各组成部分的活动性质和活动方式进行简单的相加, 不能得出高一级水平的活动性质和活动方式。不过, 如果我们了解各组成部分之间存在的全部关系后, 则高一级水平的活动就能从各组成部分中推导出来。因此, 为了认识事物的整体性, 既要了解其组成部分, 更要了解各组成成分之间的关系。

一般系统论来源于机体论, 这是一种与机械论相对立的生物学理论, 贝塔朗菲认为机械论有三个错误观点: 其一是相加的观点, 就是把有机体分解为各要素, 并以各要素简单相加的结果来描述完整有机体的功能; 其二是“机械”观点, 即把生命现象简单地比作机器, 认为“人即机器”; 其三是被动反应的观点, 认为有机体只有受到外界刺激时才能作出反应, 否则便静止不动。贝塔朗菲指出, 这种机械论的观点完全不能正确地解释生命现象, 他总结了机体论发展的成果, 把协调、秩序、目的性等概念用于研究有机体, 提出了下列 3 个基本观点。

#### 1. 系统观点

一切有机体都是一个整体(系统), 整体是由部分结合而成的, 但其特性和功能不只是各部分特性和功能简单相加的总和。他认为系统就是“相互作用的诸要素的复合体”, 系统的性质取决于复合体内部的特定关系, 想要确定系统的性质, 不仅要知道它的组成要素, 而且还必须知道它们之间的相互关系。

#### 2. 动态观点

一切有机体本身都处于积极的运动状态, 生物的基本特征是组织, 有机体之所以能有组织地处于活动状态并保持活跃的生命运动, 是由于系统与环境不断地进行物质与能量的交换。他把这种能与环境进行物质和能量交换的系统称为开放系统, 生命系统本质上都是开放系统。任何一个开放系统, 都能在一定条件下保持其自身的动态稳定。

#### 3. 等级观点

系统中的各个要素都按严格的等级组织起来。贝塔朗菲认为生物系统层次分明、等级森严, 通过各层次逐级的组合, 形成越来越高级、越来越庞大的系统。处于不同层次上的要素都具有不同功能, 而处于同一层次的要素, 尽管形态各异, 但都具有类似的结构和功能。系统就是结构和功能的统一体, 同一等级的结构具有同一等级的功能, 而不同等级的结构则表现出不同等级的功能, 系统的等级观点正是系统结构等级与功能等级的统一反映。