

## 第三章 系统工程方法论

### 3.1 系统工程方法与方法论

随着社会、经济、技术的快速发展，外部环境的多变，使得很多问题变得越来越复杂，尤其是社会经济系统。人们要解决社会经济系统存在的复杂问题，提出对策和解决方案，就要对复杂系统问题展开研究，要使研究取得满意的结果，研究者首先要有正确的指导思想，有辩证唯物主义的思想、对立统一的一分为二的思想。其次，人们要掌握研究、分析和处理该问题的基本原则和工作程序，只有这样人们才可能有效地应对各种陌生的系统或事件，取得所希望的效率和效果。

人们将研究、分析和处理问题的思想、程序和基本原则叫做方法论，它告诉人们如何去组织、计划、设计和实施问题的研究，但不能详细说明如何进行一项具体的、个别的研究，因为每一项研究都具有特殊性。而本书将系统工程方法定义为方法论层次上的方法和技术层次上的方法。方法论层次上的方法指的是人们研究、分析、处理某类系统工程问题运用的程序和基本原则。如针对“硬系统”，霍尔提出了三维结构模型，对于“软系统”，切克兰德提出了“调查学习”模式，而对于与人密切关联的社会经济系统的研究，顾基发教授提出了“物理－事理－人理”方法等。而在技术层面上，系统工程方法指的是处理复杂系统问题常用的一些具体方法，如系统分析方法、系统评价方法、系统仿真方法、系统预测方法和系统决策方法等。而系统工程方法论指的是处理复杂系统问题的基本思想和方法论层次上各种方法的总和。

### 3.2 处理复杂系统问题的基本观点

人们在处理复杂系统问题时，要有辩证唯物主义的思想、对立统一的一分为二的思想，《矛盾论》、《实践论》是处理复杂系统问题的典范著作，而抓主要矛盾是其最主要的手段之一。系统工程工作者要认真领会上述指导思想，还必须掌握以下基本观点：整体观点、综合观点、层次观点、价值观点和发展观点。

### 3.2.1 整体观点

整体观点是把系统内部所有要素看成一个整体,在策划最优时,如果子系统最优与整体系统最优发生矛盾,子系统要服从整体系统,这就是人们常说的“局部服从整体,地方服从中央,个人服从集体”。另一方面,整个系统要对所有的子系统之间的关系进行协调,充分发挥各子系统的能动作用,使整个系统和各子系统都取得满意的效果。其次,整体观点要把系统与环境看成一个整体,从更高的角度来分析系统与环境的关系,在策划系统最优时,必须考虑环境的制约作用,必须使环境受益,在万不得已的情况下,力图使环境所受损失最小,决不允许环境受到不能接受的损失。

整体观点倡导人们在思考问题时要从系统的整体去思考、判断和解决,而不是站在狭隘的个人立场,站在小团体立场去观察、思考和解决问题,整体观点强调关系的协调,强调发挥子系统的能动作用,发挥两个积极性。整体观念要求站在更高的层次看待系统与环境,强调环境的制约作用,决不允许破坏环境。在提倡和谐社会、可持续发展的大背景下,人们更应强调整体观点,要站在全社会的角度思考、分析、处理某些问题。

### 3.2.2 综合观点

综合观点是指人们在思考、研究和解决问题时,要综合考虑系统的方方面面,协调系统内各要素之间的关系。因为系统内部要素之间存在相互依存、相互制约的关系,当人们对系统某些问题进行决策时,尤其是遇到多目标、多因素、关系纵横交错、环境千变万化的系统时,应对目标、因素等进行综合分析或评价,分清主次,对目标、因素进行综合。切忌只凭一时、一事、一地、一人进行决策。做好系统内各要素之间的协调工作,实现全系统的综合平衡,健康发展。

综合观点强调人们在判断和解决问题时要全面,要综合平衡系统的方方面面,要协调好系统内外各要素之间的关系,同时要分清主次。如在社会经济发展规划研究中,要综合考虑国民经济内部各产业平衡发展问题,各产业内部发展要素的平衡问题,国民经济发展与社会发展之间的平衡问题等,如在考评体系中,要综合考虑目前状态和对未来的作用(影响),实现的数量与质量的平衡。

### 3.2.3 层次观点

层次观点是指处理复杂问题时要抓住问题的主要矛盾,抓住主要矛盾的主要方面。因为任何一个系统,尤其是大系统,具有很明显的层次性,一般存在树状结构(鱼刺图形状)。因此,人们在分析、处理、解决这些问题时,在明确要解决问题的前提下,熟悉系统中诸要素在各种空间内的层次与分布,特别

要分清系统诸要素在时间过程中的缓急，地域空间中的分布，权重空间中的轻重，目标空间中的主次，且将主要精力放在最主要的问题上，避免平均主义。

层次观点强调人们在思考、研究和解决问题时，不要混淆父辈、子辈问题，即使在同一辈分中也存在主次之分，不要搞平均主义，要根据系统层次和要素的重要性确定时间的前后、空间位置和资源的投入强度。要从系统目标、系统结构分析中找出系统的层次性。

### 3.2.4 价值观点

价值观点是指人们在设计、改造、管理和控制系统时，应考虑系统的投入与产出，具体地说就是用最少的投入价值创造出最多的使用价值，如用最短的时间、最少的人力、物力去改造一个现成的系统；或者说用同样的人、财、物和时间去开发一个性能最好的系统，这些都是价值观点的具体体现。人们对系统价值(效用)的判断往往要从系统的社会、经济、技术和政治等方面去衡量，或者从直接、间接角度，有形、无形角度去考虑。对于政策设计者来说，某项政策的价值计算既要考虑政策的正作用(收益)，也要考虑政策的负作用(成本)。

价值观点提醒人们必须从价值角度去思考、研究、解决问题，必须从系统的投入产出，从对系统产生的正作用和负作用角度去思考、研究和解决问题；其次，在设计、改造、管理和控制一个系统时，研究人员能够把“希望马儿跑得快，希望马儿少吃草”变成具体的方案、政策、策略和手段。

### 3.2.5 发展观点

发展观点是指人们在思考、研究、解决和处理问题时，不能用静止的眼光看事物，而应该用动态的观点、用发展的观点去思考、研究、解决系统问题。因为系统永远处于运动之中，随着时间的推移，系统也在发展，所以一个最优的系统也不是一成不变的。其次，随着系统本身的发展、环境的变化以及人们价值观念的变化，选优的标准也在发展变化。第三，系统发展是有阶段性的，一般情况下是渐变的，对于社会经济这种大惯性系统，在某些场合虽然可以用静态方法近似地处理某些问题，但必须用发展的观点去思考、去分析。

发展观点倡导人们应从系统演化角度去看待事物，从环境变化、价值观念变化角度去看待事物；其次，系统发展的阶段性、渐变性为研究系统方法提供了方便，即可以用静态方法处理某些动态问题。

## 3.3 霍尔系统工程方法

在系统工程方法论中，出现最早、影响最大的是霍尔(A. D. Hall)提出的

系统工程三维结构模型, 见图 3.3.1, 简称霍尔系统工程方法。他从时间(阶段)、逻辑(步骤)、专业(知识)角度论述如何解决系统工程问题。

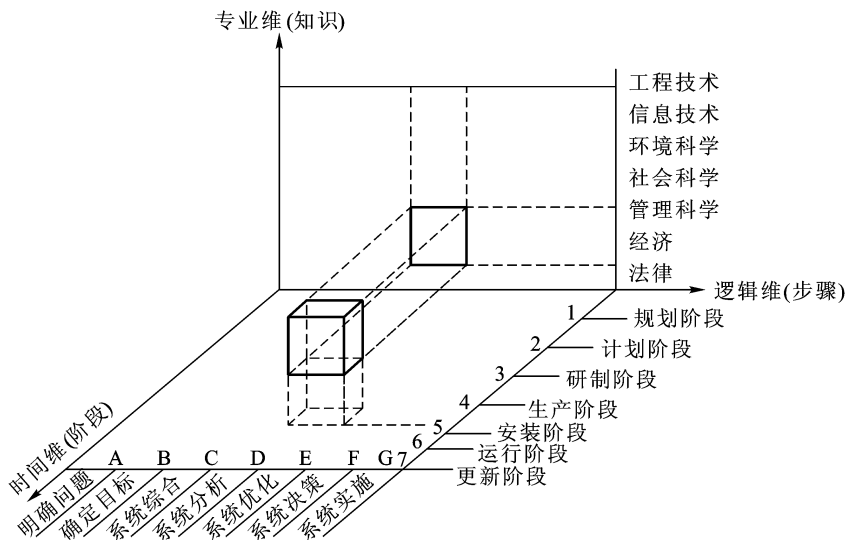


图 3.3.1 霍尔系统工程三维结构

从霍尔三维结构模型来看, 它主要针对的是硬系统, 如工程系统、人造系统和人为系统, 这类系统结构清楚, 概念明确, 易量化、模型化, 但逻辑维的内容很丰富, 对处理任何系统都具有指导意义。下面分别叙述时间维、逻辑维和专业维。

### 3.3.1 霍尔系统工程方法的时间维

霍尔系统工程方法的时间维表示任何系统工程活动最先从规划开始, 从系统规划开始到系统更新共分为七个阶段, 任何研究工作都在其中的某一阶段, 且每一阶段有对应的研究任务。

(1) 规划阶段——调查研究、明确研究目标, 提出自己的设想和初步方案, 制定系统工程活动的方针、政策或规划。

(2) 计划阶段——根据规划阶段所提出的设计思想和初步方案, 从社会、经济、技术、可行性方面进行综合分析, 提出具体的计划方案和选择一个最优方案。

(3) 研制阶段——以计划为指南, 组织人、财、物及各个环节、各个部门, 实现系统的试制方案, 并制定生产计划。

(4) 生产阶段——生产系统的构件及整个系统, 并提出安装计划。

(5) 安装阶段——对系统进行安装和调试, 提出系统的运行计划。

(6) 运行阶段——系统按预定的目标运行。

(7) 更新阶段——完成系统的评价、改进或以新系统代替老系统, 使系统更有效地工作, 为系统进入下一个研制周期准备条件。

上述七个阶段是按系统工程活动时间的先后顺序排列的, 它要求人们在开展系统工程活动时必须遵照先规划、后计划、再研制、生产、运营、更新的顺序, 才能收到理想效果。但是在实际工作中并不是所有的活动都从规划开始, 系统工程活动很可能从事某一个阶段的工作、或某几个阶段的工作, 也就是说并不要求所有的研究都要从规划开始, 一步一步往下进行, 而是根据研究工作的需要, 从解决问题必需的最早阶段开始。

### 3.3.2 霍尔系统工程方法的逻辑维

霍尔系统工程方法的逻辑维提出了如何研究某个阶段某个问题的步骤, 共由七个步骤组成。最主要的是第一步, 明确问题。明确问题是研究工作的基础、出发点。明确了研究的问题, 就把握住了研究的方向, 为系统工程研究取得成功奠定了基础。逻辑维具体内容如下:

(1) 明确问题——首先要明确要解决的问题, 即明确要解决什么问题。为了了解研究的问题, 研究者要尽量全面地收集和提供解决问题的历史、现状以及发展方面的资料和数据, 对每一阶段研究的问题要与决策者沟通, 明确决策者的意图, 或通过某种手段、方法, 明确所研究的问题。在明确问题的过程中, 研究人员要注重环境方面的调查, 因为新系统与所在的环境密切相关, 这里的环境包括物理环境、技术环境、社会环境、经济环境等。

(2) 确定目标(系统指标设计)——系统目标是系统工程活动关注的重点, 确定系统目标是系统工程活动的关键环节。系统问题往往具有多目标(指标), 在明确研究问题的基础上, 应提出系统目标或目标体系, 确定达到目标的程度标准, 以此衡量方案的优劣。在确定目标和指标时要有系统的观点, 如整体观点、发展观点, 还要考虑操作的可行性; 其次, 目标一般应包含经济、社会、环境、技术等方面的内容。当目标体系中各指标发生矛盾时, 可采用折衷兼顾的方法或剔除次要目标。

(3) 系统综合(形成系统方案)——系统综合是一个创造性过程, 需要决策者、分析者共同努力。可根据问题的性质、目标、环境、条件等, 运用各种创造性方法, 引导系统相关人员提出若干可能的方案, 且对每一方案进行必要的说明。

(4) 系统分析——系统分析是应用系统工程技术, 对于每一个系统方案进行比较、分析、计算, 为了能更好地分析各因素对目标的影响, 需要建立相

应的系统模型。建模之前，必须了解、掌握系统内部要素之间、内外要素之间的相互联系和系统的性能与特点，根据系统优化和系统决策的需要，所建立的模型应考虑到所需信息资料的采集。在系统分析中，可能形成新的方案。

(5) 系统优化——在一定的约束条件下，人们总是希望选择最优的方案。系统优化就是寻找满足约束条件的最优方案，或者说挑选出最好的满足系统目标的方案。通常应根据系统方案对于系统目标满足的程度，对每一个备选方案进行综合评价，从中选出最优方案、次优方案、满意方案，分析者应递交多方案给决策者，以便决策者做出正确的决策。

(6) 系统决策——由决策者从多个优选方案中选择一个方案进行实施。出于各方面的考虑，决策者选择的方案不一定是最优方案。

(7) 系统实施——对已选方案进行实施、修改，完善以上 6 个步骤，转入下一阶段。

在实践工作中，系统综合、系统分析和系统优化存在循环、不断递进的过程，见图 3.3.2，即在系统分析和系统优化的过程中可能产生系统方案，或者对模型进行修正。



图 3.3.2 逻辑维的循环、递进图

### 3.3.3 霍尔系统工程方法的专业维

霍尔系统工程方法专业维说的是解决一个系统工程问题，需要有相应专业知识。如进行社会经济系统的规划研究，研究者需要有宏观经济学、微观经济学、社会学、心理学、环境科学、管理科学、法律、工程技术等学科的知识。所以系统工程工作者除了掌握系统工程理论、方法，还需要对研究对象所涉及的专业知识具有一定的基础，才能有效地分析、处理该问题，尤其是需要研究对象本身的专业知识，如研究某项技术的发展与技术的评估问题，系统工程工作者需要具备所研究的某项技术的专业知识，了解它的特性、发展规律等。因此，开展系统工程的研究，系统工程工作者要与其他领域的工作者保持良好的沟通，友好协作，取长补短，发挥各自的优势。一般来讲，进行某项系统工程研究，研究工作者应具备法律、经济、管理科学、社会科学、环境科学、信息技术和相应的工程技术，才可能有效地进行系统工程的研究，解决相应的问题。案例 3-1 两点之间的交通运输方式的选择问题，采用的就是霍尔系统工程方法。

## 案例 3-1

## 两点之间的交通运输方式的选择

上海交通大学系统工程研究所承接了交通部门关于“两点之间的交通运输方式的选择”的研究课题。研究人员按照霍尔系统工程方法,从霍尔三维结构角度去思考如何开展研究工作。在时间维上,道路建设问题首要是道路建设规划研究,而后是道路计划、道路建设、道路维护和更新,而确定两点之间采用什么运输方式是规划研究的重要课题,也就是说两点之间交通运输方式选择是道路建设工程的首要问题,它将影响以后所有的环节。在专业维上,参加“两点之间运输方式的选择”问题研究的人员,首先应具有方案比较、评价、选择等方面的技术能力,同时需要了解不同运输方式的特性、技术参数,不同地形地貌对不同运输方式造价的影响,了解不同运输方式对生态环境的影响,了解国外运输方式的发展趋势,了解两点之间货物的类型,了解地区交通网络规划以及国家的法律、宏观经济形势、地区发展状况等。因此研究人员需要有经济学、社会学、工程学、心理学、法学、环境科学等方面的知识,有了这些专业知识,研究人员才可能较好地对“两点之间运输方式选择”问题进行研究,为了快速具有上述专业知识,课题组邀请了相关专家给研究人员讲课、座谈,实地调查和查阅相关的研究成果,访问道路规划、设计部门的相关人员。并遵照逻辑维要求开展研究工作,具体过程如下:

(1) 明确问题。研究人员先首要明确的是两点之间随着社会经济的发展,其交通运输在近期、中期、远期的需求量,以及需求量的变化趋势;其次要了解国内外交通运输方式的发展趋势以及不同运输方式的优缺点;了解广大人民喜欢的运输方式和决策者的偏好,了解他们对两点之间运输方式选择的看法。明确适度超前、安全、经济是不同运输方式选择的前提条件。

(2) 系统指标设计。研究人员要从人们对交通运输的期望入手,构造一套衡量标准,如希望所提出的交通运输方式有较好的安全性、经济性、准时性、舒适性,同时与地区交通运输网络有较好的接口,所提出的指标对于所有的运输方式具有可比性,且各指标可以测量以便与指标标准进行比较。

(3) 形成系统方案(系统综合)。根据两点之间的近期、中期和远期运输需求量,以及不同运输方式(如高速公路、一级公路、二级公路、单轨铁路、双轨铁路、高速铁路等)所能提供的运输量和网络的接口,利用枚举方法,可构造出满足不同时期运输需求量的组合运输方式,即系统方案。剔除一些有明显缺陷的组合运输方式,并对每一个方案进行必要的说明。

(4) 系统分析。根据系统指标设计所提出的指标和衡量标准,调查每种

单一运输方式的数据资料，对每一个方案的各个属性进行测度，比较、分析方案每一条指标的优劣。为了比较不同方案差异，建立组合运输方式的评价模型，所建立的模型应较好地反映组合方案的综合价值或效用，并计算、比较不同运输方式的综合价值。

(5) 系统优化。根据系统方案对于系统目标满足的程度和不同运输方式的综合效用，同时考虑不同运输方案实施的难易程度，以及地区经济发展状况、决策者偏好、所需投资满足程度等，对每一个备选方案进行综合排序，从中选出最优方案、次优方案、满意方案。

研究人员根据上述研究内容，撰写研究报告，为交通部门提出可供选择的一组方案和相应的资料。下面的步骤由交通部门自行完成。

(6) 系统决策。决策者可根据自身的实际情况和对地区经济短期与长期发展等的看法，运用系统决策方法，确定某一运输方式作为两点之间的满意方案，将满意方案作为道路规划研究的成果。

(7) 系统实施。将道路规划提交有关部门审查、备案，为道路计划工作提供指导，并完善上述步骤。

对于那些研究问题的目标、边界比较清楚，变量可以度量，可以用模型进行计算的问题，运用霍尔系统工程方法去研究会收到很好的效果。

3.3.4 霍尔管理矩阵(活动矩阵)

把霍尔三维结构的时间维和逻辑维结合起来，形成一个二维矩阵  $A = \{a_{ij}\}_{7 \times 7}$ ，这个矩阵叫做霍尔管理矩阵或者活动矩阵，见表 3.3.1，矩阵元素  $a_{ij}$  代表时间维和逻辑维对应的某个具体活动，如  $a_{24}$  代表计划阶段中的系统分析工作。霍尔管理矩阵可以提醒人们在哪一个阶段该做哪一步工作，不走回头路，同时使人们明确各项具体工作在全局中的地位 and 作用，从而使资源得到合理安排，使工作井井有条、效率大大提高。

表 3.3.1 霍尔管理矩阵

| 逻辑(步骤)<br>时间<br>(阶段) | 1. 明确<br>问题 | 2. 确定<br>目标 | 3. 系统<br>综合 | 4. 系统<br>分析 | 5. 系统<br>优化 | 6. 系统<br>决策 | 7. 系统<br>实施 |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1. 规划阶段              | $a_{11}$    | $a_{12}$    | $a_{33}$    |             |             |             | $a_{17}$    |
| 2. 计划阶段              | $a_{21}$    |             |             |             |             |             |             |
| 3. 研制阶段              | $a_{31}$    |             |             |             |             |             |             |
| 4. 生产阶段              | $a_{41}$    |             |             |             | $a_{45}$    |             |             |
| 5. 安装阶段              |             |             |             |             |             |             |             |
| 6. 运行阶段              | $a_{71}$    |             |             |             |             |             | $a_{77}$    |



### 3.4 切克兰德的系统工程方法

因为系统可分为良结构系统(硬系统)与不良结构系统(软系统),良结构系统偏重工程系统、机理明显的物理系统,良结构系统一般便于观察,便于用数学模型描述,边界清晰,目标明确,有较现成的定量方法可以计算出系统的行为和最佳结果。处理这类系统采用霍尔的系统工程方法(硬系统方法)非常有效。而不良结构系统是指偏重社会、机理,尚不清楚的生物型的软系统,它较难用数学模型描述,往往只能用半定量、半定性或者只能用定性的方法来处理系统,这类系统难以观测,边界模糊,目标不定。

如果用霍尔系统工程方法处理软系统问题,主要存在如下局限性:首先,硬系统方法认为要解决问题的目标是清楚的、很容易定义的,但大多数系统管理问题,目标本身是需要研究、解决的问题;其次,硬系统方法论没有考虑人在系统中的作用,忽视人对现实的主观认识,而在很多场合,系统问题的处理方法与系统决策者和使用者密切相关;再次,硬系统方法论认为只有建立模型才能科学地解决问题,而实际中有很多系统问题是无法建立模型的,即使建立了模型也会因为建模者对问题的认识不能很好地反映系统的特性,导致通过模型求解得到的方案往往偏离实际。

不良结构系统(软系统)的主要原因是它加入了人的判断和直觉,因此,解决问题时不像硬系统方法可以求出最佳的定量结果,而是所求出的结果一般是可行的满意解,并且有些结果随人而异,因人而异。到目前为止,对于这类不良结构系统已提出一些解决方法,如专家调查法(德尔菲法)、情景分析法(scenario analysis)、冲突分析法(conflict analysis)等。但从系统工程方法论角度看,英国学者切克兰德(P. B. Checkland)的“调查学习”方法具有更高的概括性,他把霍尔系统工程方法称为硬系统方法,把自己提出的系统工程方法称为软系统方法。切克兰德的“调查学习”软系统方法的核心不是寻求系统的“最优化”,而是“调查、比较”或者说是“学习”,从现状调查和模型比较中,学习改善现存系统的途径。所以,切克兰德创造的软系统方法是系统工程方法论中的重要方法之一。

切克兰德的软系统方法论的思路和步骤如图 3.4.1 所示。

#### 1. 系统现状说明

通过调查分析,对现存的不良结构系统的现状进行说明。

#### 2. 弄清关联因素

初步弄清与现状有关的各种因素及其相互关系。

#### 3. 建立概念模型

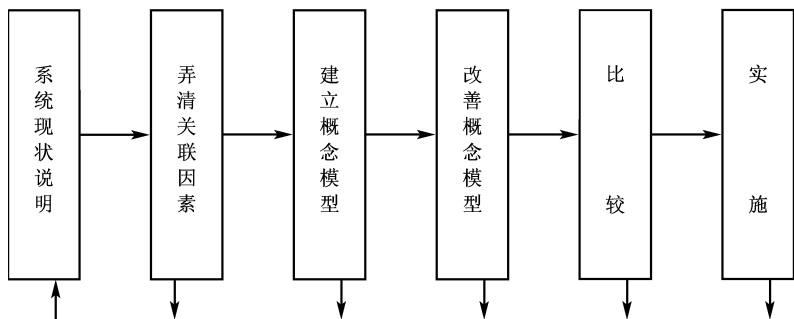


图 3.4.1 切克兰德软系统方法论的思路和步骤

在不能建立数学模型的情况下，用结构模型或语言模型来描述系统的现状。

#### 4. 改善概念模型

随着分析的不断深入和“学习”的加深，进一步用更合适的模型或方法改进上述概念模型。

#### 5. 比较

将概念模型与现状进行比较，找出符合决策者意图而且可行的改革途径或方案。

#### 6. 实施

实施所提出的改革方案。

例如，某大学开展创办世界一流大学的研究，这是一个典型的软系统问题研究，如果采用霍尔系统工程方法进行研究就会碰到很多无法跨越的困难。如果采用切克兰德系统工程方法进行研究，其研究技术路线和方法如下：

学校现状说明。研究人员要深入学校，对学校办学宗旨、学科建设、制度建设、组织建设、资源获取与分配制度、考核制度、所在地环境等进行充分的调查研究，了解该校目前在上述方面的情况，着重说明学校在教学和科研方面存在的优势、劣势、机会和威胁。

弄清关联因素。对上述因素进行关联分析，初步弄清目前各种要素在学校中的地位和作用以及它们之间的内在联系，明确改善哪些因素对解决存在的问题作用最大，是创建世界一流大学的重要因素。

建立概念模型。在弄清学校各要素作用以及相互关系的基础上，可用一些历史数据，也可用结构模型、语言模型等对学校的现状进行描述，总之力图使所建立的概念模型便于比较与分析。

改善概念模型。调查、了解、学习目前世界上公认的一流大学，了解它们的办学宗旨、学科建设、制度建设、资源获取途径与方法、资源分配、激励制

度等，通过这样的“学习”，修改、改善学校的概念模型。

比较。将学校现状与提出的概念模型进行比较，找出存在的问题，提出学校创世界一流大学的方案和途径。这些方案和途径必须与决策者意图相一致，且提出的方案和途径是可行的。

实施。学校根据研究所提出的方案、途径，制定详细的实施计划，实施创世界一流大学的方案。

从上述举例可知，切克兰德“调查学习”方法很适合一些分析目标不太清晰，边界比较模糊，因素之间关系较难确定的状况，通过切克兰德的“调查学习”方法可以找到一种解决问题的途径。

### 3.5 物理 - 事理 - 人理系统方法

物理 - 事理 - 人理系统方法(简称 WSR)是中国系统工程学会前理事长、中国科学院系统科学研究所研究员顾基发和华裔学者朱志昌博士在 1995 年提出的。他们总结了国内很多系统工程的研究与实践，分析它们成功与失败的原因，从众多的案例分析中悟出了“关系协调”的重要性，从方法论角度提出了物理 - 事理 - 人理系统方法。他们认为系统工程研究者在处理复杂系统问题时，不仅要明物理，懂自然科学，明白世界到底是什么样的，还应通事理，通晓各种科学的方法，各种可硬可软的解决问题的方法，选择科学合理的方法处理事务，更应晓人理，掌握人际交往的艺术，充分认识系统内部各部门的价值取向，协调考虑系统各方利益。只有把这三方面结合起来，利用人的理性思维的逻辑性和形象思维的综合性 and 创造性，去组织实践活动，才可能产生最大的效益与效率。

物理是象征本体论的客观存在，包括物质及其组织结构；物理是阐述自然客观现象和客观存在的定律、规则；物理是指物质运动和技术作用的一般规律，是一种客观存在，不以人的意志为转移；物理是指管理过程和管理对象中可以并应该由自然科学、工程技术描述和处理的层面。系统工程研究者和实践者需要具备自然科学知识，如果不明物理，不懂得客观物质世界，不了解系统的功能、结构，就难以对研究对象进行科学的分析，所提出的建议可能会违背客观实际，违背自然规律，其实施后果不堪设想。所以系统工程工作者要熟悉研究对象，了解系统的自然属性，向自然科学工作者学习，了解研究对象所涉及的专业知识。

事理是人们办成办好事情应遵循的道理、规律；事理是指方法，帮助人们基于客观存在有效处理事务的方法；事理是指管理者介入和执行管理事务的方式和规律，包括如何感知、看待、认识、思考、描述和组织管理对象和管理过程。系统工程研究者和实践者要掌握管理科学和系统科学的知识，研究如何开

展工作，把握各种处理研究对象的方法，选择最适合的方法去处理研究对象。要提升系统工程工作者有关事理方面的能力，要领会不同系统工程方法的精华，尤其是掌握自然辩证法和处理复杂系统的基本观点。

人理是关注、协调系统中所有团体相互之间的主观关系，包括顾客、权力当局、组织者、专家、潜在业主、使用者、操作者、受益和受损者；人理是基于心理学、社会学、组织行为学，结合文化、传统、价值、观念等，把人组织在一起有效地开展工作的方法；人理主要研究管理过程中管理主体之间如何相互沟通、学习、调整、谈判等技巧。所以系统工程工作者要掌握人文知识、行为科学方面的知识，要通晓问题处理过程中人们之间的相互关系及其变化过程，理顺、协调这种关系，按照人们可接受的事理去实现项目的预定目标。

WSR 系统方法有一套工作步骤，用以指导人们开展系统工程的实践。其步骤如图 3.5.1 所示。“协调关系”处于核心地位，在进行其他 6 个步骤的工作时都面临关系协调问题，尤其是对所提出的建议应进行充分的协调，否则所提建议难以实施或实施效果不佳。

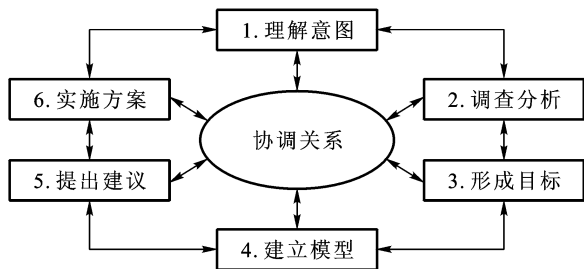


图 3.5.1 WSR 的工作程序

### 3.5.1 理解意图

这与霍尔系统工程方法论中逻辑维中的明确问题含义相近。在进行任何工作之前，都需要明确要解决的问题、理解决策者的意图。明确问题、理解意图至关重要，它是解决问题的起点和基础。在多数情况下，决策者们对要解决的问题或系统的愿望可能是清晰的，也可能是相当模糊的，这就需要沟通，需要协调，因为决策者们各自站在不同的角度，对问题、愿望等有不同的理解，需要分析者理解他们的意图，同时也需理解相关人员的意图。只有理解了决策者的意图，才能有效地开展系统工程活动。

### 3.5.2 调查分析

调查是系统工程活动的重要组成部分，调查分析深入程度直接影响到后续

过程的开展。调查分析是一个物理分析过程，任何结论只有在深入、仔细地调查分析之后才可能得出。开展调查分析，要协调好与被调查者关系，争取被调查者(专家、广大群众)的积极配合，且对调查得到的资料、信息要进行必要的处理。

### 3.5.3 形成目标

作为一个复杂的问题，一开始时对于问题能解决到什么程度，决策者和系统工程工作者往往都不是很清楚。在领会和理解决策者的意图以及进行深入的调查分析、取得相关信息后，进行系统目标的确定，形成目标。这些目标可能与当初决策者的意图不完全一致，同时在以后进行大量分析和进一步考虑后，可能还会有所改变。所以需要协调，使形成的目标得到共识。

### 3.5.4 建立模型

这里的模型是比较广义的，除数学模型外，还可以是物理模型、概念模型、运作程序、运行规则等。建立的模型应与相关领域的人员讨论、协商，在协商的基础上形成。在这一阶段，可能开展的工作是设计、选择相应的方法、模型、步骤和规则来对目标进行分析处理，这个过程主要是运用物理和事理。

### 3.5.5 提出建议

运用模型，分析、比较、计算各种条件、环境、方案之后，可以得到解决问题的初步建议。要使所提出的建议可行，使相关主体尽可能满意，协调工作相对其他阶段来说更加重要，所以系统工程工作者在模型分析的基础上，要协调、综合决策者和相关利益者对所提建议的看法，最后还要让决策者从更高层次去综合和权衡，以决定是否采用。这里建议一词是模糊的，有时还包含实施的内容，这主要看项目的性质和目标设定的程度。

### 3.5.6 实施方案

将上述建议付诸实施，在实施过程中也需要与相关主体进行沟通，以取得满意的效果。

### 3.5.7 协调关系

协调关系是整个系统工程活动的核心，在整个活动中发挥作用。在处理问题时，由于不同的人拥有的知识不同、立场不同、利益不同、价值观不同、认知不同，对同一个问题、同一个目标、同一个方案往往会有不同的看法和感受，因此往往需要协调。当然协调相关主体的关系在整个项目过程中都是十分

重要的,但在提出建议阶段,显得更重要。相关主体在协调关系层面都应有平等的权利,在表达各自的意见方面也有平等的发言权,包括做什么、怎么做、谁去做、什么标准、什么程序、为何目的等议题。从理解意图到提出建议,每一个阶段,一般会出现一些新的关注点和议题,可能开展的工作就是相关主体的认知、利益协调。协调关系体现了东方方法论的特色,属于人理的范围。

### 3.6

## 综合集成系统方法

钱学森教授在研究、解决开放的复杂巨系统问题时,提出了从定性到定量的综合集成法,简称综合集成。综合集成的实质是专家经验、统计数据和信息资料、计算机技术三者的有机结合,构成一个以人为主的高度智能化的人-机结合系统,发挥这个系统的整体优势,去解决复杂的决策问题。它有方法论层次上和工程技术层次上两种综合集成方法<sup>①</sup>。

对开放复杂巨系统的综合集成要以人类积累的全部知识为基础,要在整个现代科学知识体系中作大跨度的跳跃,集大成,得智慧,产生新思想、新知识、新方法,钱学森称其为大成智慧。在哲学上,就是要把经验与理论、定性 with 定量、人与机、微观与宏观、还原论与整体论辩证地统一起来,这就是方法论层次上的综合集成,其要点如下:

(1) 直接诉诸实践经验,特别是专家的经验、感受和判断力,把这些经验,知识和现代科学提供的理论知识结合起来。

(2) 专家的经验是局部的,多半是定性的,要通过建模、计算把这些定性知识和各种观测数据、统计资料结合起来,使局部定性的知识达到整体定量的认识。

(3) 把人与计算机结合起来,充分利用知识工程、专家系统和计算机的优点,同时发挥人脑的洞察力和形象思维能力,取长补短,产生出更高的智慧。

如何进行综合集成,除按照方法论层次上集成要点,还应掌握工程技术层次的综合集成方法,其基本步骤和要点如下:

(1) 一个实际问题提出出来后,研究者(或研究小组)首先要充分收集有关的信息资料,调用有关方面的统计数据,作为开展研究工作的基础性准备。这些数据资料中包含系统定性、定量特性的信息,没有它们就不可能使关于系统的局部定性认识经过综合集成形成关于系统的整体定量认识。

<sup>①</sup> 谭跃进,陈英武,易先进. 系统工程原理. 长沙:国防科技大学出版社,1999

(2) 研究者约请各方面有关专家对系统的状态、特性、运行机制等进行分析研究,明确问题的症结所在,对系统的可能行为走向及解决问题的途径做出定性判断,形成经验性假设,明确系统的状态变量、环境变量、控制变量和输出变量,确定系统建模思想。

(3) 以经验性假设为前提,充分运用现有的理论知识,把系统的结构、功能、行为、特性、输入输出关系定量地表示出来,作为系统的数学模型,以使用模型研究部分地代替对实际系统的研究。

(4) 依据数学模型把有关的数据、信息输入计算机,对系统行为做仿真模拟试验,通过试验,获得关于系统特性和行为走向的定量数据资料。

(5) 组织专家群体对计算机仿真试验的结果进行分析评价,对系统模型的有效性进行检验,以便进一步挖掘和收集专家的经验、直觉、判断,甚至“即景生情”式的见解。所谓“即景生情”式的见解,常常是专家面对仿真试验结果时被诱导出来和明确起来的。如果再应用虚拟现实技术,可能会有意想不到的效果。

(6) 依据专家们的新见解、新判断,对系统模型做出修改,调整有关参数,然后再上机做仿真模拟试验,再将新的试验结果交给专家群体分析评价,根据新一轮的专家意见和判断再次修改模型,再做仿真试验,再请专家群体分析评价,如此反复循环,直到计算机仿真试验结果与专家意见基本吻合为止。最后得到的数学模型就是符合实际系统的理论描述,从这种模型中得出的结论将是可信的。

案例3-2是采用综合集成方法对宏观经济发展问题展开讨论的一个简单例子,这个例子可说明综合集成法是如何将专家意见综合起来的。

### 案例3-2

## 宏观经济发展总任务结构的综合集成

有一研究小组要采用综合集成的方法对我国2006年宏观经济发展目标进行决策研讨,这是一个较大的决策问题,其中包括总任务结构、目标、准则、约束条件、问题描述、方案设计、方案选择等多个方面。这里以总任务结构确定这个问题来说明综合集成方法实施的过程步骤。

首先,研究小组充分收集有关信息和资料,为开展研究工作打好基础。一般说来,宏观经济目标可能包括财政、外贸、货币、投资、就业、需求、通货膨胀、价格等方面。

然后,研究小组邀请有关专家对该宏观经济发展总任务结构目标进行分析研究后,提出经验性假设目标体系,如表3.6.1所示。

接下来，以经验性假设目标体系为前提，组织专家对该目标体系进行研讨。在具体研讨过程中，可能采用多种方法相结合的手段，如网下研讨与网上研讨相结合，同步研讨与异步研讨相结合，德尔菲专家咨询与头脑风暴法相结合等，挖掘和收集专家的经验、直觉、判断，甚至“即景生情”式的见解和灵感等。

例如对于本案例中的宏观经济发展总任务指标，就收集到如下一些信息：专家赵××发言说：消费需求应该详细一些。应该细分为：4.1 日常消费和4.2 耐用品消费；专家钱××留言说：“就业保障”是目标或约束，不是任务，建议删除；专家孙××认为：消费需求还应该增加4.3 娱乐消费；专家李××建议：“通货膨胀”是约束条件，不是任务，建议删除；专家周××发言：就业保障是一项非常重要的任务，不能删除……

然后研究小组及时对专家意见进行收集整理，依据专家们的新见解、新判断，对任务模型做出修改，同时将新的任务模型交给专家群体进行分析评价，根据新一轮的专家意见和判断再次修改模型，直到专家意见基本上趋向一致为止。

最后研究小组将专家群体的最终意见整理成任务结构的收敛模型，如表3.6.2所示。

| 表 3.6.1 总任务结构经验模型 |              | 表 3.6.2 总任务结构收敛模型 |              |
|-------------------|--------------|-------------------|--------------|
| 1. 财政政策           | 1.1 税收       | 1. 财政政策           | 1.1 税收       |
|                   | 1.2 支出(政府投资) |                   | 1.2 支出(政府投资) |
|                   | 1.3 转移支付     |                   | 1.3 转移支付     |
| 2. 货币政策           | 2.1 利率政策     | 2. 货币政策           | 2.1 利率政策     |
|                   | 2.2 银行改革     |                   | 2.2 银行改革     |
| 3. 外贸             | 3.1 进口       | 3. 外贸             | 3.1 进口       |
|                   | 3.2 出口       |                   | 3.2 出口       |
| 4. 消费需求           |              | 4. 消费需求           | 4.1 日常消费     |
| 5. 投资             | 5.1 社会投资     |                   | 4.2 耐用品消费    |
|                   | 5.2 民间投资     |                   | 4.3 娱乐消费     |
| 6. 就业保障           |              | 5. 投资             | 5.1 社会投资     |
| 7. 通货膨胀           |              |                   | 5.2 民间投资     |



至此,总任务结构这个问题已经成功地运用综合集成方法得到了解决。对于接下来的子任务结构、目标、准则、约束条件等,均可以继续采用此方法进行确定。

### 3.7 螺旋式推进系统方法

螺旋式推进系统方法(或称螺旋式系统方法)是上海交通大学王浣尘教授提出的。螺旋式系统方法是一种系统科学方法论,从哲学角度讲,它综合了还原论、混沌理论、构成论和生成论,认为事物是由本原在构成的约束下经螺旋式推进生成的,事物的发展、对事物的认识、对事物的分析、解决问题……都是遵循螺旋式推进这一规律的,属于一种螺旋式推进过程。

螺旋式系统方法认为:复杂性寓于简单性之中。如果事物 A 按旋进方向向事物 B 发展,当发展至 A' 时完成了一个旋进环,这时的 A' 是进化后的 A。同理 A'' 是进化后的 A'……见图 3.7.1。

螺旋式系统方法的自然观和方法论还包括了以下几个方面的内容:

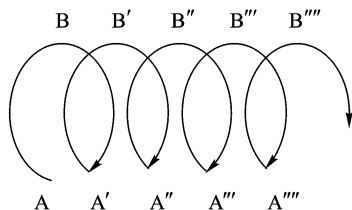


图 3.7.1 螺旋式推进的循环与进化

(1) 对复杂系统的分析和问题的求解,既不是简单、直接的“直线论”,又不是毫无头绪、原地踏步的“循环论”,而是螺旋式推进,即理论—技术—应用,然后是更高层次的理论—技术—应用……

(2) 螺旋式系统方法是一种迭代理论:原因—结果—原因……

(3) 螺旋式系统方法是一种演化理论,以短期的初始条件演化出系统的长期行为:短期—长期—短期……

(4) 螺旋式系统方法的对立统一:复杂—简单—复杂……

(5) 螺旋式系统方法的必然性和偶然性:确定—随机—确定……

(6) 螺旋式系统方法具有局部和整体相似的分形特征:局部—整体—局部……

螺旋式系统方法论具有迭代和演化的特征,其主要内涵之一是简单与复杂的对立统一:简单与复杂是对立的,然而简单与复杂又是统一的,它们密切相关,复杂性寓于简单性之中,复杂可以由简单通过循环迭代而生成。进一步说,确定性可能产生非确定性,简单生成元经过反复迭代可以生成复杂的结果。

螺旋式系统方法表示的旋进既有宏观上的旋进、又有微观上的旋进,局部的旋进与整体的旋进具有自相似性。

这种螺旋式的前进是一种循环过程、迭代过程、进化过程。随着对问题了解的深入,逐步搞清问题的实质,通过宏观上的循环,代替微观上的复杂性。旋进过程像迭代函数系统一样,通过循环迭代趋向不动点,这个不动点就是问题的解。以对复杂系统建模为例,不仅能够简化建模方法和过程,而且不必陷入不必要和难以搞清的细节,集中精力研究系统的整体结构和宏观演化行为。

螺旋式系统方法的这种螺旋式推进及其固有的迭代特征、演化特征和分形特征,与非线性演化方程、混沌和分形从形式到本质上有着必然的联系。这些联系表现在:局部的旋进与整体旋进的自相似性;由确定性产生非确定性;简单生成元经反复迭代可以生成复杂的结果。

螺旋式系统方法首先把复杂问题进行分离处理,这是定性分析,这里还有还原论的思想,但与还原论方法中的部分与整体的关系理论不一样;其次通过确定子系统内部和子系统之间的动力学关系来确定系统的构成成分和方式,这是构成论的思想;然后通过构造生成元把系统的各个成分分别用迭代方程表示,由这些生成元(方程)反复迭代来描述复杂系统长时期的、复杂的演化行为,这体现了生成论的自然观。综上所述,螺旋式推进系统方法论综合了还原论、混沌理论、构成论和生成论,能够实现从定性到定量的综合集成,也是一种综合集成方法。具体的从定性到定量的综合集成程序为:

### 3.7.1 宏观旋进的第一环——建立系统的逻辑模型

定性研究是研究事物的性质,定性研究可以影响人们对事物的认识和观点,定性研究是定量研究的基础。通过定性的判断,才能了解事物、认识事物、才能揭示出事物的本质特征。这种本质特征主要是通过事物之间的逻辑关系反映出来的。在这里,定性研究就是建立系统的逻辑模型,它反映了系统逻辑上的相互关联、相互制约及其因果关系。这一环的一个重要目标是定义和描述复杂系统中子系统及其之间的关系。这一环的结果是建立一个用于描述系统内容、功能以及子系统之间的相互作用的逻辑模型。其基本组成元素是代表事件的圆圈和代表相互作用关系的箭头。

我们定义的基本单元包括事物、逻辑关联和外部环境,即把复杂系统中的各种量及其功能都抽象为事物、逻辑关联和外部环境。事物之间存在密切的逻辑关联关系,在外部环境的约束下,事物不断地螺旋式前进,简称为旋进。建立逻辑模型的过程就是对系统的了解过程,是系统分析的过程,是从抽象到具体的迭代和分层过程,是从抽象到具体的螺旋式推进的演化过程。

逻辑模型作为物理模型的先导,尽量把事物抽象为变量。逻辑关联的具体形式,则由物理模型和数学模型去进一步深化,由下一级宏观旋进环去完成。

### 3.7.2 宏观旋进的第二环——建立系统的物理模型

这一环是建立起逻辑模型与数学模型之间的中间环节——物理模型，尽管定性研究可以揭示事物的属性及其之间的联系，但是，缺乏定量分析，没有数据支持的定性研究是不科学的、不可靠的。研究事物数量关系的属于定量研究，定量是定性的精确化。定性研究只有建立在定量研究的基础上，才能揭示出事物的本质特征；对实践起具体指导作用的仍然是定量研究。作为从定性的逻辑模型到定量的数学模型的过渡，提出、建立系统的物理模型。

物理模型反映了动力学系统具体的相互关联、相互制约及其因果关系。它是建立数学模型的基础。我们以自动控制理论中的传递函数作为构建这个物理模型的基本元素——“生成元”的反馈环节。它描述了系统中各个子系统的输入、处理、输出、反馈、控制、调节以及子系统之间的相互协同。根据逻辑模型指示的因果关系进行联结。

一般系统的物理模型是根据逻辑模型确定的关联关系，由物理模型的基本单元组合而成，基本单元和一般系统之间也呈现出相似性，复杂系统又是由一般系统集成而成的。这一环也是一种从个别到一般的螺旋式推进的演化过程。

### 3.7.3 宏观旋进的第三环——建立系统的数学模型

建立复杂系统的数学模型是宏观旋进的第三环，前面两个旋进环就是为建立系统的数学模型作准备的，物理模型是从逻辑模型到数学模型的过渡，数学模型真正反映系统中各子系统之间本质的联系。数学模型主要是用迭代方程来构建的，这些迭代方程既有线性方程，又有非线性方程。

### 3.7.4 宏观旋进的第四环——求解模型和系统仿真

这一环是求解上一环复杂系统的数学模型、仿真复杂系统的演化行为。所用的基本工具是 Runge-Kutta 数值算法和迭代法。经过这一环，我们可以得到描述复杂系统的一些数据和图表。这一环的基本运算方法是迭代法，因此也是一种螺旋式推进的演化过程。

### 3.7.5 宏观旋进的第五环——决策分析

这一环是对复杂系统进行决策分析。复杂系统中有许多不确定性因素，这些因素或是未知的，或是不可知的，所以我们所建立的初始模型中包含了许多有关社会、政治、经济以及其他方面的假设。决策者根据自己的经验和知识调整模型中的假设或提出新的假设以用于分析系统中的演化行为，通过这些分析，决策者不仅可以观察系统的行为和状态，而且可以进行模型评估，从而发

现原先模型中不合理或不正确的地方。另外,决策者也可以通过演化结果来评估模型的合理性,也就是说,如果演化结果从逻辑上讲是明显不合理的或者明显不正确的,那么这个模型就是不正确的,必须旋进到下一轮:逻辑—物理—数学—仿真……的循环迭代,这就是螺旋式推进的建模方法论。所以,这种基于旋进式系统方法的建模方法论是一个迭代过程,也是一个反馈控制系统。经过反复的循环迭代,决策者就很容易知道什么是下一步要做的,什么是不能做的。

宏观经济系统是一个有众多人参与、涉及许多人为因素和个人偏好的开放性复杂巨系统,具备复杂巨系统的许多基本特性。案例3-3是运用螺旋式推进系统方法解决宏观经济决策问题的典型案例。这个案例从一个侧面说明解决一个问题的程序往往是建立逻辑模型—建立物理模型—建立数学模型—仿真试验—决策分析,然后在更高层次进行新一轮的推进。

### 案例 3-3

## 宏观经济发展的探索

一个国家或地区宏观经济发展是经济研究的重要工作,它要求充分发挥研究人员、决策人员和各方面专家的作用,吸收他们的智慧,综合集成有益的经验教训,不断推进研究的进程,提高研究的质量,本案例以螺旋式推进系统方法,探索地区宏观经济发展演化问题。

### 一、建立宏观经济系统逻辑模型

首先是定义和描述宏观经济系统中各子系统及其相互之间的关系,建立一个用于描述系统内容、功能以及子系统之间的相互作用的逻辑模型。这是一种从抽象到具体的螺旋式推进的演化过程。采用上述方法论,我们进行螺旋式推进中的第一环,建立宏观经济逻辑模型。

设国内生产总值分为三部分,即:  $Y = C + I + G$

其中,  $C$  为消费,  $I$  为投资,  $G$  为政府支出。根据《中国统计年鉴》,  $GDP$  由三个部分组成,即第一产业、第二产业和第三产业生产值的总和。第一产业生产值  $Y_1$  是农业总产值,包括种植业、林业、畜牧业和渔业。第二产业生产值  $Y_2$  是工业总产值,包括采掘业、制造业、自来水、电力、蒸气、热水、煤气和建筑业等。第三产业生产值  $Y_3$  是第三产业总值,包括交通运输业、邮电通信业、商业、教育、卫生、保险、福利、服务等。

依此可以建立宏观经济系统的逻辑模型,如图3.7.2所示。该模型省略了与国外的经济交流,只考虑国内经济自身的演化,所以是一个闭环系统。产出  $Y_1, Y_2, Y_3$  是由固定资本  $x_1, x_2, x_3$  和劳动力投入  $la_1, la_2, la_3$  通过生产变换

得到的。设各项固定资本  $x_i$  都是  $GDP$  的一部分，通过比例因子  $\sigma_i$  确定。

## 二、建立中国宏观经济系统物理模型

其次是建立起逻辑模型与数学模型之间的中间环节——物理模型，我们以控制理论中的传递函数作为构建这个物理模型的基本元素。物理模型用于描述系统中各个子系统的输入、处理、输出、反馈、控制、调节以及子系统之间的相互协同。这也是一种从个别到一般的螺旋式推进的演化过程。

在这个模型中，假设进出口产值仅仅占了  $GDP$  的很小一部分，可以忽略不计。

系统的输出是  $GDP$ ，同时  $GDP$  的投资部分作为宏观经济系统的输入，这样我们就可以将整个系统看作一个带有正反馈的闭环系统。另外，由于每一项投资都存在资本折旧，所以系统也包含了一个个负反馈环，系统的自组织特征就体现在正负反馈这两种闭环循环上。

模型中的  $Y_1, Y_2, Y_3$ ，每一个用一个柯布 - 道格拉斯生产函数表示，代表  $GDP$  的变量  $Y$  则是  $Y_1, Y_2, Y_3$  之和，而各项投资都是  $GDP$  的一部分，这是通过比例因子  $\sigma_i$  来确定的。因此，可以建立宏观经济系统的物理模型，如图 3.7.3 所示。

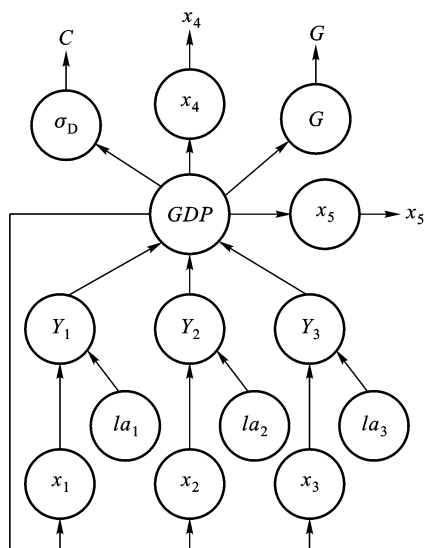


图 3.7.2 宏观经济系统的逻辑模型

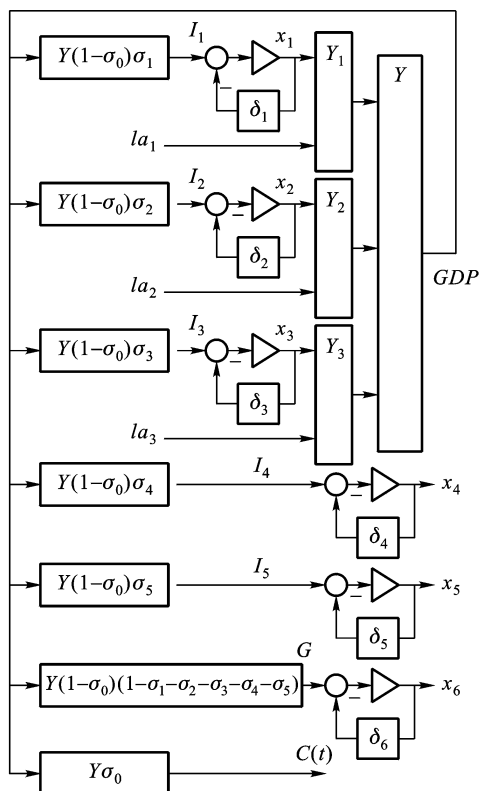


图 3.7.3 宏观经济系统的物理模型

### 三、建立中国宏观经济系统数学模型

建立宏观经济系统的数学模型是第三步，有了上一步的物理模型和转换规则做基础，这一步就变得相对容易了。数学模型主要是用迭代方程来构建的。同样，这也体现了从简单到复杂的螺旋式推进的演化过程。我们进一步分析其物理模型，根据物理模型结合宏观经济理论并将它转换成数学形式，建立的中国宏观经济系统的数学模型如下：

$$0 \leq \sigma_0 \leq 1, 0 \leq \sigma_1 \leq 1, 0 \leq \sigma_2 \leq 1, 0 \leq \sigma_3 \leq 1, 0 \leq \sigma_4 \leq 1, 0 \leq \sigma_5 \leq 1, \frac{dx_1}{dt} = I_1 - \delta_1 x_1, \frac{dx_2}{dt} = I_2 - \delta_2 x_2, \frac{dx_3}{dt} = I_3 - \delta_3 x_3, \frac{dx_4}{dt} = I_4 - \delta_4 x_4, \frac{dx_5}{dt} = I_5 - \delta_5 x_5, \frac{dx_6}{dt} = G - \delta_6 x_6,$$

$$Y = Y_1 + Y_2 + Y_3, Y_1 = A_1 \cdot x_1^\alpha \cdot la_1^\beta, Y_2 = A_2 \cdot x_2^\alpha \cdot la_2^\beta, Y_3 = A_3 \cdot x_3^\alpha \cdot la_3^\beta,$$

$$C = Y\sigma_0, I_1 = Y(1 - \sigma_0)\sigma_1, I_2 = Y(1 - \sigma_0)\sigma_2, I_3 = Y(1 - \sigma_0)\sigma_3, I_4 = Y(1 - \sigma_0)\sigma_4, I_5 = Y(1 - \sigma_0)\sigma_5, G = Y(1 - \sigma_0)(1 - \sigma_1 - \sigma_2 - \sigma_3 - \sigma_4 - \sigma_5)$$

其中， $I_1$  为第一产业投资， $I_2$  为第二产业投资， $I_3$  为第三产业投资， $I_4$  为环保(污染治理)投资， $I_5$  为其他投资， $G$  为政府支出， $x_1$  为第一产业固定资本， $x_2$  为第二产业固定资本， $x_3$  为第三产业固定资本， $x_4$  为环保(污染治理)固定资本， $x_5$  为其他固定资本， $x_6$  为政府固定资本， $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, \delta_6$  分别为各项固定资本的折旧率，比例因子  $\sigma_0, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4, \sigma_5$  确定各项投资占 GDP 的部分， $Y_1$  为第一产业生产函数， $Y_2$  为第二产业生产函数， $Y_3$  为第三产业生产函数， $la_1, la_2, la_3$ ，为投入的劳动力， $A_1, A_2, A_3$  是三个产业的技术水平。

### 四、系统仿真

上述模型通过迭代算法描述系统的演化行为。迭代分成两部分，一是体现动力学行为的微分方程迭代，二是体现随时间演化的代数方程迭代。可以根据《中国统计年鉴》选用适当的统计和回归算法求出上述模型的各项参数，通过数值计算研究系统演化方程的动力学特性、通过修改初始条件、关联关系和干扰得到系统的多种演化结果，最后，通过对各种演化结果的评价选择对策和制定措施。

通过系统仿真求解上述宏观经济系统数学模型，得到宏观经济系统的演化行为，如图 3.7.4 所示，初始 GDP 增长为 7.88%，增长率下降速度相对变低。进一步把  $\alpha_3$  和  $\beta_3$  分别由原来的 0.25 和 0.75 调整为  $\alpha_3 = 0.4$  和  $\beta_3 = 0.6$ ，得到宏观经济系统的演化行为如图 3.7.5 所示，初始 GDP 增长为 9.47%，增长率下降速度进一步变低。

前述技术水平  $A_i(t)$  是选取变化比较平缓的样本空间构造出来的，如选取

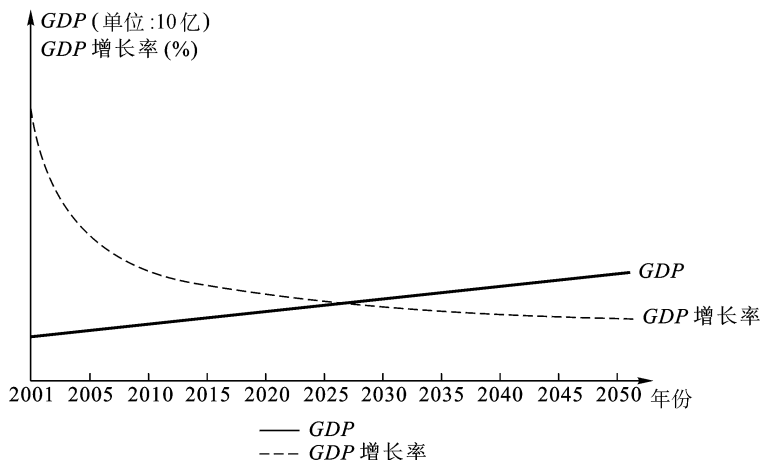
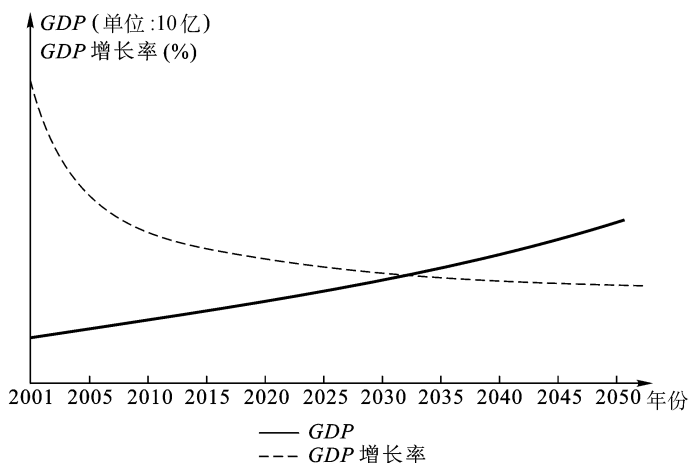


图 3.7.4 代入基本参数后系统的演化结果

图 3.7.5 修改  $\alpha_3$  和  $\beta_3$  后系统的演化结果

全部样本空间和均方值近点法构造出的时间序列方程如下：

$$A_1(t) = e_1 + f_1 t = 0.443 + 0.013\,349t$$

$$A_2(t) = e_2 + f_2 t = 1.793\,393 + 0.121\,26t$$

$$A_3(t) = e_3 + f_3 t = 1.169\,706 + 0.037\,913t$$

用这组  $A_i(t)$  得到宏观经济系统的演化行为如图 3.7.6 所示，初始 GDP 增长为 16.97，增长率下降速度进一步变低。这说明技术水平对初始经济增长和持续增长都具有较大影响。

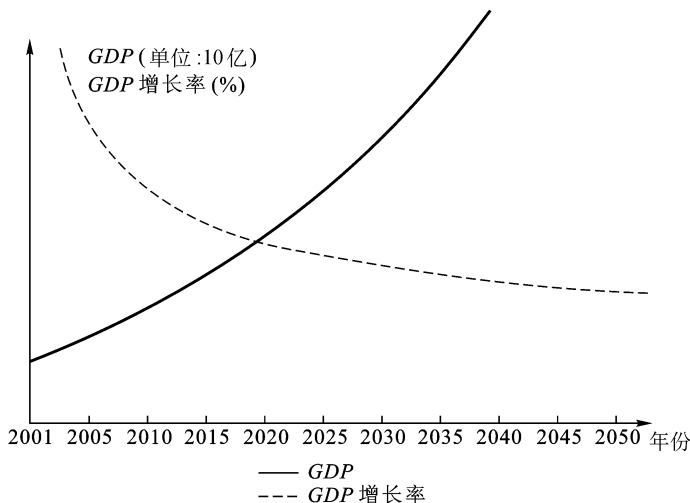


图 3.7.6 修改  $A_i(t)$  后系统的演化结果

### 五、决策分析

首先，邀请有关人员对宏观经济发展问题进行研讨，对模型和仿真结果进行评估或提出修改建议，如有哪些问题模型中没有考虑，有哪些不确定因素考虑不周，还有哪些因素可能是未知的或不可能知道的，等等；其次，请决策人员提出他们自己的假设或新的假设，以便在更高的层次上推进研究。

## 3.8

## 系统方法

人们往往会碰到很多陌生的系统或事件，如何研究、分析、处理所遇到的系统或事件，取得所希望的效率和效果，这在很大程度上取决于人们研究、分析和处理该系统的基本原则和工作程序。系统方法依据的是系统的基本性质和一般系统理论，遵循唯物辩证法。引用许国志等编的《系统科学》一文的论述，系统方法主要强调还原论方法和整体论方法的结合、分析方法与综合方法的结合、定性描述与定量描述的结合、确定性描述与不确定性描述的结合，这些结合是系统方法的精髓所在。

### 3.8.1 还原论与整体论相结合

整体论强调在研究系统时要从整体上把握对象，还原论主张把整体分解为部分去研究。还原论相信客观世界是既定的，存在一个由所谓“宇宙之砖”构成的基本层次，只要把研究对象还原到那个层次，搞清楚最小组分即“宇



宙之砖”的性质，一切高层次的问题就迎刃而解了。还原论强调为了认识整体必须认识部分，只有把部分弄清楚才可能真正地把握整体；还原论首先把系统从环境中分离出来，孤立起来进行研究，然后把系统分解为部分，把高层次还原到低层次，用部分说明整体，用低层次说明高层次。对于比较简单的系统，这样的处理方法是有效的；但对于较复杂的系统，把对部分的认识累加起来的方法，本质上难以描述整体涌现性。愈是复杂的系统，这种方法对于把握整体涌现性愈加无效。

理论研究表明，随着科学越来越深入到更小尺度的微观层次，对物质系统的认识越来越精细，但对整体的认识反而越来越模糊。现代科学表明，许多宇宙奥秘来源于整体的涌现性。还原论无法揭示这类宇宙奥秘，因为真正的整体涌现性在整体被分解为部分时已不复存在。而社会实践越来越大型化、复杂化，特别是一系列全球问题的形成，也突出强调要从整体上认识和处理问题。

不还原到元素层次，不了解局部的精细结构，对系统整体的认识只能是直观的、猜测性的、笼统的、缺乏科学性的。没有整体观点，对事物的认识只能是零碎的，只见树木，不见森林，不能从整体上把握事物、解决问题。科学的态度是把还原论和整体论结合起来。钱学森认为“系统论是还原论和整体论的辩证统一”。

### 3.8.2 定性描述与定量描述相结合

任何系统都有定性特性和定量特性两方面，定性特性决定定量特性，定量特性表现定性特性。只有定性描述，对系统行为特性的把握难以深入准确。但定性描述是定量描述的基础，定性认识不正确，不论定量描述多么精确漂亮，都没有用，甚至会把认识引向歧途。定量描述是为定性描述服务的，借助定量描述能使定性描述深刻化、精确化，在研究复杂问题时要将定性描述和定量描述有机地结合起来。

### 3.8.3 确定性描述与不确定性描述相结合

系统的不确定性有很多种类，如随机性、模糊性、信息不完全性、歧义性等。牛顿力学代表确定论描述，统计力学和量子力学是概率论描述。采取确定论描述的有一般系统论、突变论和非线性动力学、微分动力体系等。香农信息论是完全建立在概率论描述框架上的典范。在控制理论、运筹学等学科中，两种描述都使用，但通过划分不同分支来分别使用它们，仍然没有实现沟通。自组织理论试图沟通两种描述体系，目前已取得一定进展。现代科学的总体发展越来越要求把两种描述框架沟通起来，形成统一的新框架。系统科学的发展尤其需要把确定论框架同概率论框架沟通起来。混沌学等新学科的发展使人们初

步看到希望。

### 3.8.4 系统分析与系统综合相结合

要了解一个系统，首先要进行系统分析。一要弄清系统由哪些组分构成；二要确定系统中的元素或组分是按照什么样的方式相互关联起来形成一个统一整体的；三要进行环境分析，明确系统所处的环境和功能对象、系统和环境如何互相影响、环境的特点和变化趋势。

如何由局部认识获得整体认识，可采用分析－重构方法。重构就是综合，首先是信息(认识)的综合，即如何综合对部分的认识以求得对整体的认识，或综合低层次的认识以求得对高层次的认识。综合的任务是把握系统的整体涌现性。从整体出发进行分析，根据对部分的数学描述直接建立关于整体的数学描述，是直接综合。简单系统就是可以进行直接综合的系统。对简单巨系统而言直接综合方法无效，可行的办法是统计综合。复杂巨系统连统计综合也无能为力，需要更复杂的综合方法。



### 习题与思考题

1. 处理复杂系统问题，研究人员应具备哪些基本观点？并叙述这些观点的主要内容。
2. 当一个企业遇到困难时，某些企业领导人往往会产生甩包袱的想法，即辞退职工以减轻企业负担，你能否用系统的基本观点来分析这种做法？
3. 当你碰到一大堆问题时，你将如何应对？并举例说明。
4. 为什么要研究方法论？它对人们研究、思考、处理问题有什么作用？
5. 霍尔系统工程方法的三维结构是什么？逻辑维包括哪些步骤？
6. 霍尔系统工程方法与切克兰德的系统工程方法有什么不同？请举例说明它们之间的差别。
7. 什么是结构性问题？什么是非结构性问题？请举例说明？
8. 什么是物理？什么是事理？什么是人理？为什么要把“协调关系”作为“物理－事理－人理系统工程方法”解决问题的核心？
9. 什么是综合集成方法？请举例说明如何应用工程技术层次的综合集成方法去解决实际问题。
10. 螺旋式推进的系统方法是一种综合集成方法，它有什么特点？