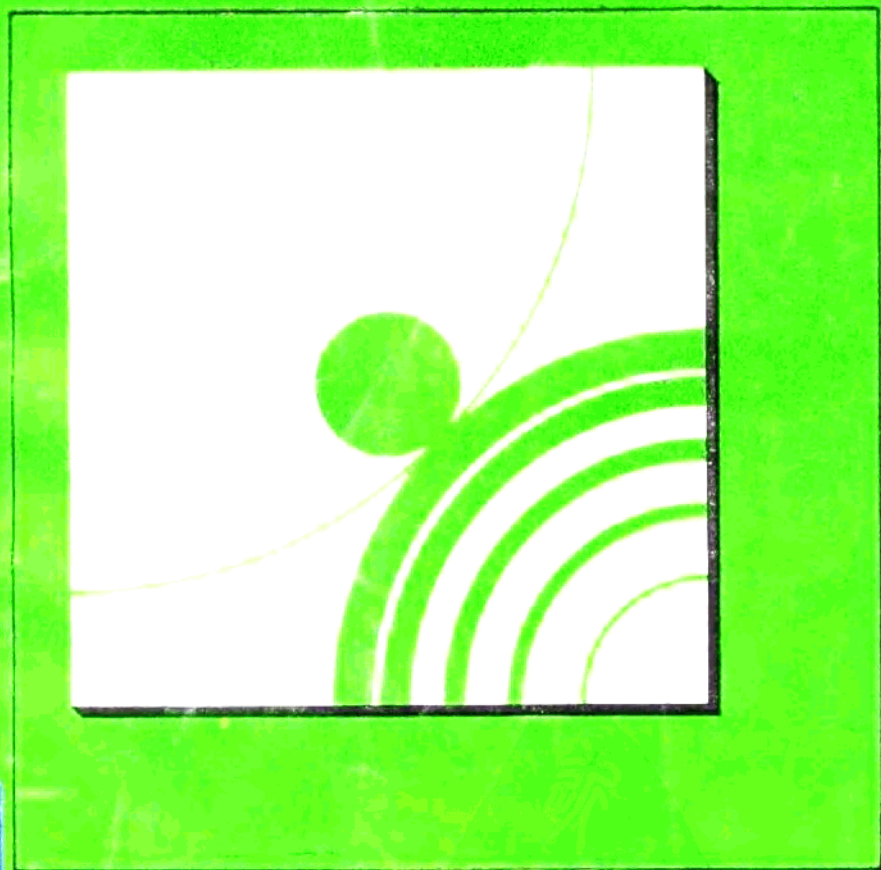


工程项目系统工程

周星璞 编著



机械工业出版社

前 言

工程项目建设对社会经济的发展至关重要。已有的企业、公共工程和基础设施等是已完成的工程项目，当前的发展计划又包含着将来的工程项目建设。可以说所有的社会经济建设活动都是从项目开始的。在任何工程项目的成长发展过程中，都有一系列复杂问题需要解决。当代科学技术的迅猛发展，推动社会生产力急剧提高，同时也急剧扩大了对自然资源的使用，并增加了对自然环境的影响，从而使对工程项目性能的要求越来越高，其规模和复杂性日益增长，并与周围环境紧密相联。人们对任何一个工程项目问题的处理都可能产生举足轻重的影响，因而不可掉以轻心。在当代的社会经济环境中，人们必须不断提高工程项目活动的效益，才能在发展中处于主动地位。

长久以来，已经发展了许多解决工程项目问题的方法与技术，并且使项目建设的组织管理水平不断提高。然而与工程项目问题的复杂性、重要性相比，已有的方法和技术在许多方面的进展依然有限和不完善。这一切促使人们应用现代科学思想和各种技术手段于解决工程项目建设的组织管理问题。60年代以来，系统工程已进入解决大型复杂系统的研究开发领域，并取得了显著成效，成为人们上述努力的一个重要方面。

系统工程是运用系统的概念观察各种复杂对象，以及对象与环境的联系，在系统思想的指导下，运用一切有效的方法和技术，规划、设计和建立整体上得到优化的系统，并且使规划和建立系统的过程也得到优化。系统工程所使用的许多方法是吸收已有的科学技术成果而形成的，一般情况下与其他科学方法并无严格的界限。系统工程的特色在于，它能按照对象整体优化的需要，吸收和恰当地运用一切有效的方法与技术。应用系统思想解决工程项目问题，已经形成了一些比较稳定的方法，总称为工程项目系统工程。本书概括了这些方法的基本方面，并结合作者的工作体验加以系统化。

本书在内容安排上采用层次结构。第1章着重论述工程项目的主要特征，为解决工程项目问题而形成的工程项目系统工程的构成以及各组成部分的地位和相互关系，为工程项目系统工程描绘出一个基本轮廓。第2章介绍工程项目系统工程的方法论，它包括了系统思想和系统方法的行动步骤两个部分。这是用系统概念和方法理解和处理复杂工程项目问题的思想基础和行动指导原则，也是全面理解和恰当运用以后各章内容的指南。第3章简要讨论了工程项目可行性研究的基本概念，指出它在项目投资决策中的重要作用，给出了可行性研究的基本框架。对于可行性研究这种高度综合性的研究中所使用的具体方法和技术，放在后面各章中论述。第4章及以后各章分别论述预测、评价、组织、计划等项目工作中使用较多的一些方法。工程项目系统工程的方法与技术内容极其广泛，本书有选择地介绍了常用的部分，主要目的在于使读者对工程项目系统工程的构成有一个基本地了解，以便于在实际运用中选择和创造有效的方法。

本书初稿已经过3年的教学实践，并作了一些修改、补充。由于水平有限，缺点错误在所难免，欢迎读者批评指正。

编 著 者
1992年春

目 录

前言

第1章 概论	1
1.1 工程项目的基本概念	1
1.2 工程项目系统工程的基本概念	3
复习思考题	8
第2章 工程系统工程方法论	9
2.1 系统方法的基本概念	9
2.2 系统方法的行动步骤	15
复习思考题	29
第3章 工程项目可行性研究	30
3.1 工程项目可行性研究的基本概念	30
3.2 工程项目可行性研究的内容与类型	31
3.3 工程项目可行性研究的依据、作用与特点	37
复习思考题	39
第4章 预测技术	40
4.1 工程项目预测概述	40
4.2 直观型预测	44
4.3 时间序列分析预测	50
4.4 因果分析预测	82
复习思考题	103
第5章 工程项目经济评价	109
5.1 项目经济评价的基本概念	109
5.2 项目生命周期及费用、效益折现	113
5.3 费用与效益对比的指标	119
5.4 不确定性分析	130
5.5 财务评价	144
5.6 国民经济评价	146

复习思考题	153
第6章 工程项目综合评价	157
6.1 项目综合评价的基本概念	157
6.2 多维效用并合方法	161
6.3 优劣系数法	167
6.4 优先图表法	168
6.5 层次分析法	175
复习思考题	148
第7章 工程项目组织	188
7.1 组织的概念	188
7.2 组织设计	190
复习思考题	195
第8章 工程项目的计划、进度与控制	196
8.1 工程项目计划	196
8.2 工程项目进度安排	205
8.3 工程项目进度控制	218
8.4 资源限制下的进度安排	223
8.5 项目费用计划与控制	237
8.6 随机网络概述	246
复习思考题	251
附录	255
附录A F分布表	255
附录B t分布表	256
附录C DW检验表	257
附录D 复利系数表	260
附录E 标准正态分布表	265
参考文献	266

第1章 概 论

1.1 工程项目的基本概念

1.1.1 工程项目的特征

工程是一种特殊的活动，是指人们为了解决问题和改善生活，运用广泛的科学知识，在可能获得的资源和技术的范围内，有效地实现预期目的的活动。凡是按照一个总体设计实施的，需要列为专门的项目加以处理的各个单项工程的总体，称其为工程项目。作为工程项目的例子到处可见，例如，建设一个汽车厂，建造一座大桥，建设一条过江隧道，建立一个污水处理系统，增建一条生产线，建造一艘大型船舶，发射一颗通讯卫星以及开发一套软件或制订一项政策等等，都可作为工程项目问题加以处理。概括起来，工程项目有如下的一些主要特征：

(1) 目的性 科学研究项目是对知识的探索，工程项目是把科学知识运用于解决实际问题。所谓问题是人们所期望的状态与现实状态之间的差距，它可以表现为存在着某种机会，亦可能表现为存在着某种危险，要求运用工程手段加以处理。工程项目正是针对现实存在的或预计出现的问题，通过调查研究，区别轻重缓急，考虑到需要与可能之后，进行规划、建立的项目。因此，工程项目都各有其明确的或含蓄的任务和目标。工程项目实现其任务目标的程度，表明了此工程项目质量的高低。可见，目的性是工程项目的主要特征之一。

(2) 复杂性 工程项目活动是要改造客观世界并取得实际成果，这就离不开具体的环境与条件。必须有什么问题就解决什么问题，必须面对客观事物的复杂性，同时运用多项专业知识与技术解决问题。一个大型的工程项目，通常包含多个单项工程，每一个单项工程往往也需要细分为许多不同类型、相互关联、相互依赖的局部任务。这些任务不仅在一个部门，而且往往需要不同地区，不同部门参与协作才能完成。因此，工程项目一般都具有高度的综合性与复杂性。

(3) 一次性 每一个工程项目都有它指定的专门用途，各个项目在目标、所处的环境条件、所使用的技术、项目的方案、结构、规模等方面，存在着不同程度的差别。这些差别决定了各工程项目的问题必须分别地加以处理。对于承担工程项目任务的组织来说，它不是一件可以完全重复进行的日常性工作，即还没有以完全相同的或直接可比的形式实施过，因此，对该组织来说，此项工作往往具有某种程度的一次性。

(4) 对资源的竞争性 工程项目建设需要投入大量的资源。由于可利用的资源紧缺，在各个工程项目之间以及同一项目中需要实施的各个局部任务之间，存在着对资源分配的竞争。因此，决定实施的项目都有一个预算，项目必须在规定预算和资源限制的范围内完成。

(5) 紧迫性 工程项目都是为了解决问题和满足某些需要而决定实施的，项目必须适时地完成。工程项目效能的发挥往往与时间因素密切相关，错过了时机，项目就不能有效地发挥作用。工程项目的高额投资也要求它能够尽快的投入运行，以发挥投资的效益。因此，工

工程项目都有一个规定的完成期限，项目应当在规定的期限内完成。

工程项目的规模有大有小，在一些大型工程项目中，上述各项特征表现得尤为突出。为了合理地解决工程项目建设的问题，必须针对以上特征，应用现代的科学思想和技术手段，形成一套有效的工程项目组织与管理方法。

1.1.2 工程项目的成长过程

工程项目的建立是为实现项目的特定目标，从工程项目的构思开始到建成为止，由一系列工作任务构成的一个发展过程。这个过程按照时间的先后可以划分为：构思、规划、实现和使用四个阶段。每个阶段都有其特殊的工作内容和需要着重研究解决的专门问题。只有切实做好了项目成长过程中各个阶段的工作，才能达到工程项目的预期目的。以下就工程项目在成长过程中，各阶段的工作内容简要加以说明：

(1) 构思阶段 构思阶段的任务是为工程项目建设 的投资方向提出建议。为此，主要应当进行以下几个方面的工作：其一是观察、研究社会对各种项目建设现实的或潜在的需求以及这种需求的迫切程度。其二，不断地了解和认识科技发展的新成果用于项目建设以满足社会需求的可能。其三，了解可以用于项目建设的资源状况。综合各方面信息以构思工程项目的投资建议。

构思阶段所进行的是比较粗略的研究。主要通过概略的估计为后阶段的详细研究提出任务。

(2) 规划阶段 规划阶段开始：要求首先认识和了解问题所处的环境，并对工程项目所要解决的问题的实质进行严格的考查和探讨。在明确了对项目的要求并识别了所存在的约束条件后，制订工程项目所要达到的目标，依此为寻求解决问题的方案指示方向，并作为制订方案评价标准的依据。因为方案具体化过程中出现的困难或基本条件发生了变化，必要时也可以对已确定的目标作适当的调整。尽管开始对约束条件的识别不可能做到详尽无遗，但是主要的约束条件不可遗漏。

完成以上步骤后，依据工程项目的目标和约束条件，提出解决问题的原则、总的设想方案及其与环境的关系。在这个基础上，进一步细化总体方案，达到能对方案的可行性作出评价的程度。必要时可把总体方案细分为各个组成部分，澄清局部设想，并反过来对总体设想作必要调整，使总体方案建立在切实可行的基础上。通过可行方案的比较，指明对实现目标要求来说最为满意的方案，为工程项目的投资决策提供有用信息。

(3) 实现阶段 如果规划阶段中对项目设想的结论是肯定的，即可转入项目的实现阶段。在这个阶段里，依据规划阶段所确定的工程项目轮廓进行详细设计、施工准备和项目实施。工程项目的实现阶段，是集中和大量投入资源以实现工程项目目标的重要阶段。在这个阶段中特别需要进行周密的计划、组织、协调和控制工作，是工程项目管理工作的重要阶段。但是，工程项目是否能够达到预期的目标，并不仅仅取决于本阶段工作的有效管理，而首先决定于构思和规划阶段工作的质量。因此，不能把工程项目管理工作狭义地理解为仅仅是工程项目实现阶段所需要的工作。工程项目管理工作是贯穿于工程项目成长的全过程。为了高质量地建设工程项目，有效地实现项目目的，必须对工程项目成长的全过程实施系统化的管理。

(4) 使用阶段 在这个阶段里，项目已建成并投入实际运行。项目是否达到了预期的效果，在这个阶段中将得到实际检验。由此可得到项目调整和改进的必要信息。

工程项目的特征决定了在工程项目工作中出现了错误之后再予纠正,往往是相当困难的事,为此要付出高昂的代价。这与生产管理大不相同,生产管理在随后的工作中,可以有許多机会来纠正前面所犯错误而不必付出过于重大代价。因此,在工程项目建设中,特别需要采取有效的措施正确地完成工程项目成长过程中各阶段的工作任务。研究适合于工程项目管理的系统化方法,以实现对工程项目建设的有效管理,是现代化建设中提出的迫切任务。

1.2 工程项目系统工程的基本概念

1.2.1 工程项目的系统性质

由以上的论述可以看到,工程项目的建设是一个解决问题的过程,是在一定的环境中有效地运用可获得的资源和技术实现预期功能,以达到工程项目目的的一次性活动。为了有效地解决工程项目问题,需要充分地理解问题的性质,问题所处的环境及其局限性,解决问题途径的内在因素和各因素之间的相互关系,并综合地加以处理。

随着科学技术、社会经济的发展,现代的工程项目趋向于具有高度的综合性、复杂性,并与周围环境紧密地联系着,呈现出明显的系统性质。迫切需要应用现代系统科学思想和技术手段来处理工程项目建设构思规划、设计和实施中的组织管理问题。由下面的几个例子可以看到,现代工程项目的系统性质。

例如,建设一个汽车生产厂。其内部通常包括冲压、车身的装焊、油漆及总装等主要生产单元,以及相应的其他各个辅助单元,构成一个复杂的生产系统。这个系统内各单元的生产特点差异很大。冲压设备的生产率很高,平均每加工一次仅需要6s左右的时间,为了与总产量相适应,只能采用批量生产方式,通过更换模具使一台设备能够分批进行多道工序和不同零件的加工,同时也就需要解决大批半成品的贮存和配套问题。而轿车总装需要的是大量手工操作,通常采用流水线连续生产方式,每个节拍需时约50s左右,需要有效地保证零部件的连续供应而又避免形成积压。焊接和油漆加工也各有其特点。各生产单元必须合理地配置和衔接,构成一个完整的系统,才能协调一致地进行生产。汽车生产的经济性与生产规模密切相关,在经济规模下组织生产可以显著地降低产品成本使其具有更强的竞争力。轿车生产中这个经济规模大约在年产10万辆以上。然而是否可以达到这个生产规模又要受到一系列约束条件的限制。例如,是否具有足够大的市场和畅通的销售渠道,是否有稳定的能源和原材料供应,是否有数量足够和质量得到保证的配套件供应(通常汽车厂的外购配套件约占整车价值的60%~70%),是否有足够的资金保证,以及工人、工程技术人员和管理人员的素质是否相适应等等。

又如,穿过大城市市区的江河,给城市带来许多有利方面。然而随着城市的发展,过江难的问题也日益突出。解决办法可以有,增加渡船、建设大桥、建设过江隧道等多种方案。就建桥这一总方案来说,又有桥址选择、桥宽、净高、跨度、结构、引桥配置以及与两岸道路衔接等多方面的不同方案。在对众多的方案进行评价选择时应当考虑可通过的人员车辆流量、运输效率、适用性、安全性、可靠性、投资额大小、经济效益、对水上航运的影响,抗恶劣天气的能力以及与环境的协调等等。

再如,修筑拦河水坝可以发挥防洪、发电、引水灌溉、改善上游航道等多方面效益。但是建坝也会带来库区移民、土地淹没、泥沙淤积、河口碱化、船只过坝、生态环境变化以及

蓄水与地震的关系等一系列问题。如何权衡项目的利弊，作出恰当的决策，是需要专门研究的课题。整个工程可能包括大坝、水闸、船闸、引水、发电、输配电、水库等一系列工程，如何恰当地配备各个子工程及它们之间的相互关系，最有效地发挥工程项目的整体效能，减少不利影响，是工程项目规划、设计的主要任务，而工程的实施中又需要解决勘察、设计、征地、搬迁、供水、供电、道路、通讯、订购和生产设备、材料供应、组织施工队伍、工程施工以及资金保证等一系列问题。这样众多的工作环节必须相互衔接，协调一致，才能保证工程的顺利完成。

上面三个例子，尽管是经过高度简化了的描述，但亦可看到工程项目问题所具有的高度综合性与复杂性。概括起来，工程项目都有一些必须满足和实现的特定目的与功能，有一定数目（不少于两个）必不可少的组成单元，这些单元之间以某种规定的方式相互联系和作用构成一个总体，存在着一些约束条件限制着单元的特性和总体的功能。从本质上说，工程项目所处理的是一个复杂的系统问题。

过去用于处理工程项目问题的方法，面对着功能要求越来越高、与环境因素紧密联系、结构复杂的工程系统，常常显露出它的不足。例如，有的项目由于对问题的考察范围过于狭窄和考察深度不够，在对工程的一些重要影响因素情况不明之下即仓促上马，此后才发现所需资源储量不足，只好中途下马，然而已投入的某些资源则很难再转作他用，造成很大浪费。又如某用电量很大的项目，在电力供应不配套的情况下投入建设，建成后因电力供应不足而不能及时正常运转。某些规模巨大的工程项目，由于缺乏整体上的全面规划，导致工程的结构不合理，在造成既成事实之后再予修补，只能是亡羊补牢，使工程在整体上无优化可言。国内外的许多事例都说明，针对工程项目的系统性质研究系统化的管理方法是非常必要的。

经济学家普遍认为，一个国家的经济增长速度与它经济收入的投资率成比例。我国长期以来这个比率都在30%以上。这些投资的很大一部分是以工程项目建设的形式投入使用的。以1987年的情况为例，全国固定资产投资额为3518亿元，占当年国民总收入的38.4%。这个比例是很大的。研究工程项目的有效管理方法，提高工程项目的投资效益，以达到更有效地利用有限资源，推进社会进步和经济稳定迅速地发展，是全国上下普遍关心的重要问题。系统工程的发展为更好地解决这一问题开辟了广阔的前景。

1.2.2 工程项目问题的系统研究方法

科学技术的发展，经历了一个从综合到分析的发展，又从分析到更高级综合的发展过程。

直到不久前，人们在解决复杂的工程项目问题时，倾向于使用的主导方法是，把研究的对象不断地分解成更小的部分。用专门化的方法，使各有专长的人对各自小范围的对象有透彻的了解，并能做到适当地处理和达到局部优化。在此基础上，通过对各局部结果的拼合，以求得对整个问题的解决。也就是通过重视各单元的方法来确保系统性能。这种对问题的处理模式，依靠的是各类技术专业研究的成果。它在局部问题上可能做到精细完美，但是却不能保证在工程整体上对各个局部环节都能运用得恰当有效。因而在整体上往往表现出不够协调和效益低下。可以说，当问题表现为一定数目的不同影响（技术的、经济的、社会的和环境的等等）同时作用于一定数目的不同事物时，这些事物一起怎样行动，上述分析的方法难以作出满意的回答。这对于复杂的工程项目来说，则难以把握项目的整体效果。

当代系统科学的发展,形成了一种对事物真实状态进行简化、而又能充分把握事物复杂性的系统方法。系统方法强调以合乎逻辑的步骤解决复杂问题,运用严密的系统概念表达对象,注重通过对对象各要素之间的良好协同获得对象总体的新功能。研究对象各要素的相互关系以及各要素对总体的影响,并把这个总体作为更大系统的一部分,从技术、经济、社会和环境等角度进行考察,坚持全面地看问题,客观地考虑一切有关因素。只要有可能,系统方法就运用合适的模型预测环境的变化,预测对象系统的行为,从而可以期望得到什么,以及为此需要付出的代价。系统方法应用于解决工程项目问题,已经形成了一些比较稳定的方法,总称为工程项目系统工程,它的推广和应用使工程项目建立中的组织管理进入一个新时代。

1.2.3 工程项目系统工程的发展

(1) 我国古代水利工程中体现系统思想的一个杰出范例 在工程建设中注重系统性是中国古代系统思想的重要体现之一。秦昭襄王时代(公元前306~251年)蜀郡太守李冰父子,在前人治水的基础上主持修建驰名中外的都江堰水利工程,巧妙地利用地形、地势,在当时生产力水平还很低条件下,因地制宜、就地取材,仅用竹、木、卵石等材料作成杓槎、竹笼、石埂等,经过合理配置,解决了大河分流、护岸、溢洪、排沙、引水灌溉等一系列复杂问题,构成一个科学完整的排灌系统,变水害为水利,使受益范围达十余个县的数百万亩农田。与这些设施(硬件)相配合,还形成了一套行之有效的岁修制度(可看作软件)。例如:“深淘滩,低作堰”、“乘势利导、因地制宜”……岁岁坚持维修,保证了这项工程历时两千多年经久不废。使川西平原被誉为天府之国。正如晋常璩在《华阳国志》中所述:“水旱从人,不知饥馑,时无荒年,天下谓之天府也”。都江堰工程示意如图1-1所示。筑于岷江江心的分水堤(包括分水鱼嘴、内外金刚堤)把岷江分为内、外二江。内江之水经开凿而成的宝瓶口进入引水灌渠。飞沙堰等设施控制宝瓶口水流量,使水在离堆前形成旋流。含泥沙少的表层水流入宝瓶口,而携带大部分泥沙的水,经飞沙堰流入外江。设于外江的杓槎控制内、外江流量的比例,使枯水期约为6:4,洪水期情况则相反。近40年的水文资料表明,无论岷江之水大或小,进入宝瓶口的流量不超过 $700\text{m}^3/\text{s}$ 。

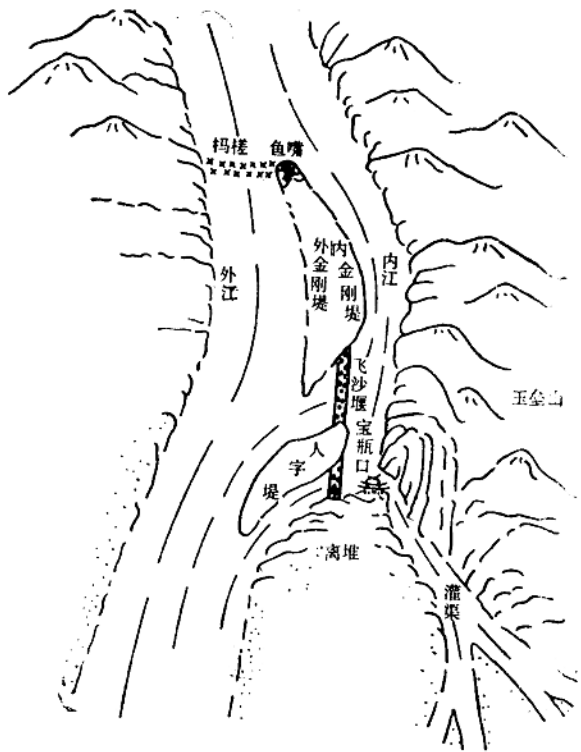


图1-1 都江堰工程示意图

从都江堰工程的例子可以看到,构成此系统的各个单元,并未使用特别复杂和高超的技

术。然而，由于在工程的总体上对各个局部环节运用得恰当有效，使各环节的作用相互配合，协调一致，体现了严谨的整体性，从而获得新的巨大的协同效果。使整个工程收效大、耗资省、维护简便、经久不衰。这是中国古代系统思想在工程实践中取得的杰出成就之一。

(2) 现代工程系统方法的产生与发展 在人类古代的工程实践中，已有了系统思想的杰出成果。然而，只是到了本世纪，系统理论才产生并得以迅速发展。人们在系统理论的指导下，开始自觉地和较为全面地运用系统思想和方法，解决复杂环境中的复杂工程问题。

当今科学技术的革命推动着生产力迅猛发展，使人们能够建造的工程系统性能越来越高，规模和复杂性日益增长。而在当代的经济社会环境中，人们必须不断地提高工程活动的效益，才能在生存与发展中处于主动地位。人们如何才能有效地从原始问题和初步设想出发，在时间和空间上逐步展开为涉及众多专业领域，需要成千上万人员协同工作的具体任务，又怎样把这些千头万绪的具体工作的成果，汇集综合成为一个符合功能要求、技术先进、经济合理、与环境协调、可以切实实现的工程系统，这是当代对工程项目系统研究所提出的基本问题。正是在这种客观需求的推动下，工程项目系统工程便应运而生。

早在第二次世界大战之前，已经出现过运用系统思想或系统处理方法解决复杂工程设计问题的事例。特别是在第二次世界大战期间，由于军事运筹的需要，推动一些有才干的科学家在运筹研究方面取得了开创性的成果。战后这些成果在广泛的领域里得到推广和应用。60年代初期，美国阿波罗登月计划，是运用系统工程取得工程项目成功的引人注目的事例之一。整个工程历时11年，耗资约300亿美元，参与协作的单位2万多个，参加这项计划的科学家和工程技术人员达42万人，飞船和运载火箭系统约有1500万个零、部件。如此高额投资、规模巨大、技术复杂、存在大量不确定因素的工程计划，正是得力于系统工程而有效地解决了所面对的主要问题。并于1969年7月21日，第一次把人送上月球再顺利返回地面。这一事实标志着人们在大型工程项目组织管理技术方面走向一个新时代。

由于50年代和60年代系统方法在大型军事和航天工程项目中的成功运用，促使人们努力把这些方法应用到更广阔的民用系统中去。我国的航天事业从一开始就注意大力推广和应用系统工程，并建立了相应的组织机构。这对我国航天技术在较短时间内取得举世瞩目的成就提供了有力的保障。与此同时，统筹法的推广在许多工程项目建设中也取得了显著效果。70年代末，我国实行改革开放的方针以来，在各项建设事业中，系统方法得到更多的重视，正发挥着越来越大的作用。其中应用于工程项目建设的工程系统方法也得到蓬勃发展。如对大型钢铁企业的规划建设、大型水利工程的可行性论证、新港址的选择等等，都广泛地应用系统方法并取得显著成效。

1.2.4 工程项目系统工程的组成

工程项目活动是一个从酝酿和提出初始设想开始，到建立一个能够满足规定要求的工程系统的过程。为了有效地利用有限资源达到工程项目的预期目的，需要在两个方面作出努力。其一，要在系统思想指导下，运用各种有效的方法和技术，规划、设计和建立起整体上得到优化的工程系统。其二，还要运用系统方法和技术，使规划、设计和建立这个工程系统的过程也得到优化。

纵观工程项目的整个成长过程可以看到，它包含着两个并行的基本过程。一个是系统开发和建立的实施过程。另一个是对系统实施过程进行系统化管理的过程。与这两个基本过程相对应，需要一个工程项目的实施系统和一个工程项目的管理系统，两者相辅相成，缺一不

可。工程项目的实施系统与管理系统的关系如图 1-2 所示。工程项目的实施过程有赖于所需要的各项专业技术，而如何恰当有效地利用这些技术则取决于工程项目管理。因此，也可以说工程系统实现的可能性在于专业技术，而成效在于管理。管理是为了有效地确立和实现系统目标而采取的一系列计划、组织、协调和控制工作。管理系统以方针、目标为行动基准，运用各有关的信息具体组织决策过程，构成计划，以此作为实施系统的管理基准，使实施系统动作。管理系统又根据计划的执行结果、系统各构成要素的状况以及环境变化的情况作出控制决策，对实施系统加以协调与控制。

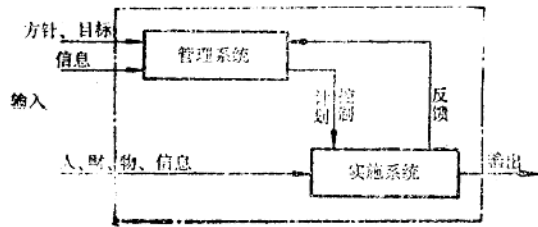


图 1-2 工程项目的实施系统与管理系统的关系

工程项目的专业性很强。大规模的工程系统需要广泛的各类专业人员参与工作。在工程系统生命周期的不同阶段上，对各类专业人员需求的情况常常会有很大差别。根据各个阶段工作的内容和情况，有些人要自始至终地工作到系统建成，而另有些人则只在某些阶段上执行一些具体的工作任务。同样，在工程系统生命周期不同阶段上，各工作任务需要使用的手段和资源也有很大差异。这些需求在内容和规模上的差别之大，决定了大量的工作任务往往要在不同单位、不同地区和不同时间里协作完成。由此导致整个工程项目的实施系统和管理系统，在空间上形成多级的层次结构，而且随着时间的延续还需要做相应的变化和调整。

针对工程项目的一系列特点，应用系统的思想和技术解决工程项目问题而逐步形成的工程项目系统工程可以定义为：在改善或者创立工程对象时，为了满意地达到工程的目的，把工程对象作为系统进行规划、设计、建立和运用所遵循的思考方法、工作步骤和各种管理技术的综合性工程体系为工程项目系统工程。

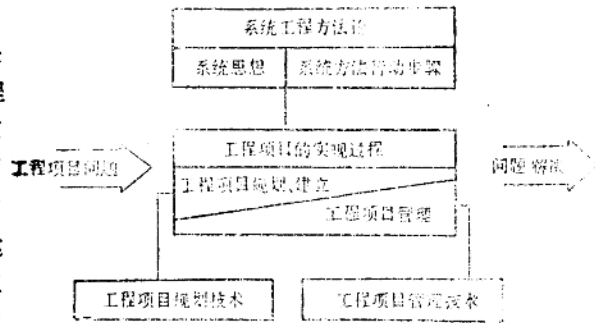


图 1-3 工程项目系统工程的组成

工程项目系统工程的组成如图 1-3 所示。系统工程方法论、工程项目规划技术和工程项目管理技术三个部分的有机结合，构成了工程项目系统工程的基本内容。

系统工程方法论由系统思想和系统方法行动步骤模型两个部分组成。它属于哲学和方法论的范畴，是理解和处理复杂的工程项目问题的思想基础和行动的指导原则，在某些文献中把这个部分称为系统工程哲学。

工程项目的系统规划技术和工程项目的系统管理技术是在工程项目的实现过程中，按照系统工程方法论的行动步骤模型展开时，在工程项目的规划和管理中使用的各种技术方法的体系。这些技术方法按照其功能划分，包括了对问题界定、预测、制订目标、构思方案、优化、经济分析、方案评价与决策、工程项目组织，以及工程质量、可靠性，进度、费用的计划与控制方法等。这些方法大多以应用数学为基础，也包括实现工程项目目的的其他各种科学方

法。其中的许多方法是吸收已有的科学理论与技术而形成的。因此，这里所说的系统工程方法，在许多情况下与其他的科学方法并无明显的界线。系统工程的特色是能够按照系统整体优化的需要，吸收和恰当地运用各种技术方法。

工程项目这个概念所包含的对象范围很广，能够用于解决工程项目组织管理问题的技术方法很多。本书从第3章开始，有选择地介绍一些工程项目系统工程中，比较经常使用的重要方法。其中的某些方法在工程项目生命周期的若干阶段上都要使用，另有些方法则是在工程项目生命周期的某个阶段上特别需要。本书对各个具体方法的介绍，着重于在工程项目建设中的应用，而不着重于方法本身的全面性。

复习思考题

1. 工程是怎样的一种活动，它与科学研究有什么区别？
2. 什么是工程项目，它有哪些主要特征？
3. 工程项目的成长过程包括几个阶段？每个阶段的工作内容是什么？
4. 为什么说工程项目所处理的是一个复杂的系统问题？试举一两个你所熟悉的工程项目予以说明。
5. 为什么说工程系统实现的可能性在于专业技术而成效在于管理？
6. 什么是工程项目系统工程，试以图形表示工程系统工程的构成。

第2章 工程系统工程方法论

2.1 系统方法的基本概念

2.1.1 系统的基本概念

系统的概念是人们在长期社会实践中早已形成的。但是作为一个科学的概念而在科学、技术研究领域里得到广泛地应用,则是本世纪20年代以后的事情。由于人们研究的学科领域不同,观察问题的出发点、目的、角度不同,以及思考方式的差别,给系统所下的定义有数十种之多。概括各种实际系统的共同性质可以看到,一般系统都具有如下的一些共同特征,

(1) 集合性 系统是由多个可以识别的要素(子系统、个体)构成的。任何事物总是可以继续分割的,然而就当前所要解决的问题来说,没有必要再予细分的对象即把它看作是要素而不是系统。

(2) 相关性 系统的各个要素之间、要素与整体之间以及整体与外部环境之间,存在着一定的作用和联系,从而在系统内部和外部形成一定的结构和秩序。集中在一起而无明确结构的一些个体不成为系统。

(3) 目的性 系统整体具有不同于和高于各个组成要素的新的功能,从而实现一个或多个目的。没有整体功能的要素集合不成为系统。

(4) 对环境的适应性 系统都是时空上的有限存在,必然还有它外界的存在即环境。环境是系统存在和演化的条件。环境的变化往往会引起系统性质和功能的变化。系统要在变化的环境中保持其应有的功能,就要具有某种适应环境及其变化的能力。这种能力就是系统对环境的适应性。系统和它的环境之间通常有物质、能量和信息的交换。这样的系统称为开放系统。与开放系统有这些交换的那部分环境称为实际环境。工程系统都是开放系统。

综合以上特征,可以把系统定义为:由两个以上要素构成的,各要素之间有着一定的联系和作用,形成特定的整体结构和适应一定环境的特定功能的有机整体称为系统。撇开具体系统的物理原型,可以由图2-1来说明系统的基本概念。系统由多个要素构成,因而要素是

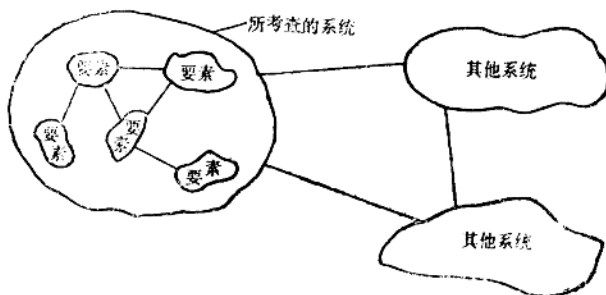


图2-1 系统的构成

系统存在的基础。然而仅仅有要素还不能构成系统，各要素必须以一定的结构组成具有某些功能的整体才成其为系统。当系统的某个部分受到刺激或改变时，可以用结构来识别系统的运行方式。实际上结构是确定系统的关键。系统的性质取决于系统的要素和系统的结构。仅有好的要素而无要素之间好的协同，不能形成好的系统。而功能一般的要素如果协同得好，却可能得到功能优良的系统。只有了解系统的要素和结构，才具备了理解系统的条件。

系统具有层次结构，一个被考察的系统都是它所属更大系统的组成部分。彼此有联系的系统，即相互构成对方的环境，一方的变化就改变了另一方的环境和输入。受环境作用系统，就在原来系统结构的基础上调节以适应这种作用。当调节已达极限而仍然无法适应时，系统就只能改变结构而产生演化。环境是系统存在和演化的条件。系统各要素之间的相互作用，表现为物质、能量和信息的流动，统称为流动量。由于要素间的作用，系统的状态发生变化，这样的系统称为动态系统。一般用对系统动态特性起主要作用的那些特征来刻画系统。

在人的参与下所形成的系统称为人造系统。工程项目系统都是人造系统。人造系统都是应某种需要而建立的，因此，它具有明确的目的性。系统的要素和系统的结构都必须满足系统总体的需要，局部的问题都应当放到系统全局中去理解和解决。系统思想强调使系统整体达到最优，而不是追求各个局部的次优化。由于现代工程问题高度复杂、涉及面广，特别需要强调整体思考和尽可能考虑到问题的各个方面。这不可能仅仅依靠直觉来把握系统的整体结构和行为，需要用一种方法论的手段着重探讨如下的一些问题：

- 1) 用怎样的一些概念才能够恰当地描述复杂的整体。
- 2) 怎样使现实的复杂现象易于理解，并使问题的界限明朗化。
- 3) 用什么样的思路易于提出解决问题的总体设想，说明复杂的解决问题方案。

系统概念为回答这类问题提供了有力手段。系统思想作为一种理解、规划、设计和建立复杂对象的思考方法日益受到人们的重视。

2.1.2 模型在系统方法中的作用

系统方法中广泛地使用模型，以有利于对复杂问题的理解和说明，以及对解决方案的综合、分析、评价。是作为交流、存贮信息的重要方法。模型是对真实事物所作的抽象与简化地表达，是帮助人们进行合理思考的工具。目的在于帮助人们理解现有的或准备设计建立的系统的规律性。模型的形式多种多样，它可以是图象、图表、符号、文字描述以及数学方程等等。重要的是模型要能够反映真实对象的那些主要的，人们所关心的方面。

在研究复杂的工程系统时，人们很难通过系统本身的试验来评价各种决策方案，常常代之而使用模型做各种试验，以达到节约费用、节省时间、便于理解对象、便于交流信息，避免对真实系统的干扰以及由此而可能带来的风险，实现有时无法在真实系统上进行的研究。模型既要能够反映实际，具有适用性；又要便于处理，具有易处理性。

使用模型的步骤是，首先根据所考察的问题对真实事物作出一连串的，相互协调的假设。把问题的主要因素及其相互关系包含在模型中，忽略次要因素，建立模型。核查模型的适用性，并进行必要地修改，使模型生效。而后使用模型进行一系列逻辑推理，得出模型结论。充分考虑模型与真实事物间存在的差别，运用直觉判断对模型结论作出解释，由此得出对真实事物的结论。模型的使用步骤如图 2-2 所示。

对于同一事物，可以建立起不同的模型。选择适当的模型可能要经过多次反复，对模型中的假设作批评性的分析并加以改善，以逐步建立正确的模型。应当注意到，建立模型时作

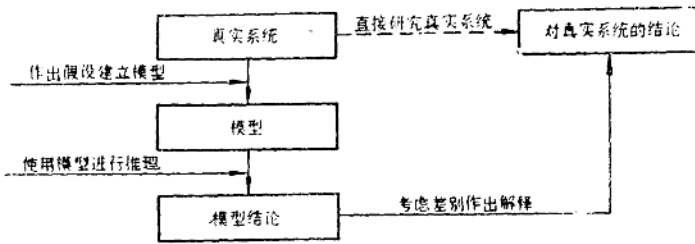


图2-2 模型的使用步骤

出的假设有一定的随意性，而对模型结论的解释也需要借助于直觉判断。因此，通过模型所得出的对真实系统的结论，比证明或证实的含义弱。选择模型时应当强调模型的适用性，在这个前提下模型越简单，其实用价值越高。

在工程项目的规划与建立过程中，综合地运用多种模型，对于有效地实现工程项目目的，提高质量、节约投资、节省时间都有重要意义。通过构造、修改模型和使模型实用化，对项目的设想进行审查，直至选择出满意的方案，并有效地加以实施。这里既不要忽视模型在工程项目优化中的作用，也不要过分夸大这种作用。切记模型只不过是观察研究问题的一种方法，而且是带有一定局限性的方法。切不可把模型就看成问题本身。

2.1.3 开放动态系统的一般考察方法

工程项目工作中所考察的复杂对象，一般都可以理解为是动态开放系统。下面介绍的7种考察方法是系统概念在开放动态系统考察中的具体应用。在工程项目工作中应用这些方法，有助于全面深刻地描述工程项目的复杂总体，使现实的复杂对象易于理解，便于寻求解决问题的合理途径。这些方法是：

(1) 面向系统功能的考察方法——黑箱考察法 系统与外部环境之间相互联系、相互作用的能力（或秩序）称为系统的功能。它体现了系统与外部环境之间物质、能量和信息输入与输出的变换关系。这个变换过程存在于系统内部结构中。然而，由于许多系统规模巨大、结构复杂，难以一次同时对它的外部联系和内部结构认识清楚。人们在系统思想指导下，有意暂不探究系统内部的结构，把它看作一个“黑箱”。首先只考虑系统与环之间的联系，即系统的输入和输出。此时所关心的是系统存在的条件，以及系统所产生的结果，暂不追究产生这些结果的原因。如果以 $x_i(t)$ 表示系统输入，以 $y_j(t)$ 表示系统输出，黑箱考察法可如图 2-3 所示。通过这样的考察可以逐步明确系统具备的特性与功能，进而可以推测系统内部应有的结构与工作机理。它从本质上、整体上以及事物与外界联系上认识事物，这是研究复杂系统问题的基本方法之一。

在大型工程项目问题中，黑箱考察法是经常被采用的考察方法之一。例如，在规划一个工厂的活动中，当考察工厂的原料、材料、能源供应及产品市场情况时，工厂本身就作为“黑箱”看待。而当考察工厂某个车间与其他部门的关系时，这个车间又被看作“黑箱”，使问题得以简化和便于处理。当需要考察“黑箱”的内部结构时，“黑箱”又可以被“打开”。这时就转而使用下面将要介绍的方法。

(2) 面向系统结构的考察方法 当明确了系统应当具备的功能之后，从系统的功能出发，考察系统的要素之间的相互关系。把原先当作黑箱的系统打开以研究系统的结构。这时系统与环境的关系即作为已知因素处理。例如，在工厂规划中，当明确了工厂的环境以及对

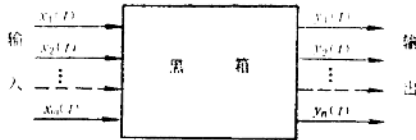


图2-3 黑箱考察法示意图

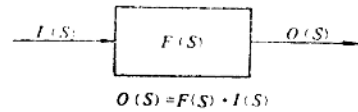


图2-4 输入、输出之间的关系
 $I(S)$ —输入 $O(S)$ —输出 $F(S)$ 传递函数

工厂的要求之后，就要集中考察工厂应设置哪些车间、科室，各车间、科室之间应当有什么样的关系等等。

在工程项目的规划过程中，黑箱考察法和系统结构考察法应根据解决问题的实际需要交替使用。

(3) 输入、输出考察法 这种方法是把一个真实系统抽象为一个具有某种特性的环节，着重考察这个环节对流动量的变换过程。即考察环节的输出对输入的种种关系。如果输出与输入之间的关系能够用如图 2-4 所示的数学关系式定量表出，就可以用传递函数的概念描述这种关系。明确了这种关系后，有了某种输入就必然导致某种输出。反过来，要得到某种输出就必须有某种输入。一个复杂的系统可以看作是由许多不同的环节构成的整体。应用输入、输出考察法可以通过系统中各个环节的传递函数及系统结构，预测复杂系统的特性。著名的投入产出分析方法就是这种方法的具体应用。

(4) 系统层次结构考察法 系统中的要素在合理和必要时，又可划分为更小的单元。这个被划分了的要素又可以被理解为一个系统，称为它所属系统的子系统。同理原来的系统和它周围与之有关的其他系统，亦可合成为更大的系统，称为超系统。超系统—系统—子系统—要素，构成一种层次结构。原则上说，系统可划分成为任意多个层次，见图2-5a。系统

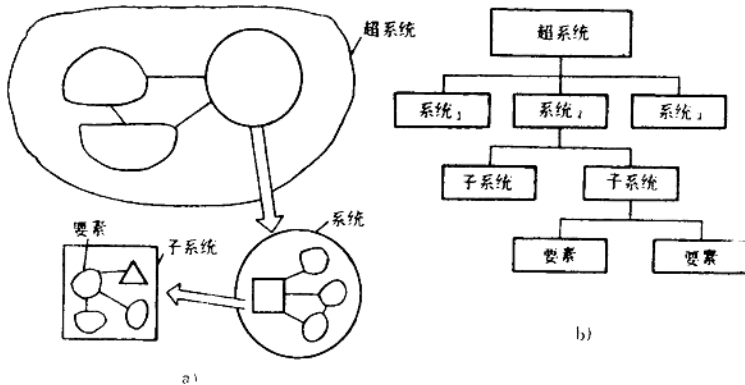


图2-5 系统的层次结构

的层次结构可以用图 2-5b 所示的树形图表示，确定了系统的层次结构之后，就为问题的全面综合分析提供了一个轮廓和框架。便于在统观问题全局的前提下，明确各个局部问题所处的地位及其相互关系，既可以对所考虑的系统进行考察，又可以对系统的更高层次或更低层次进行考察。

作为一种实践的规则，系统规划者在考察某个层次的系统时，至少还应当考虑更上一个

层次的问题,即要适当扩大考察范围。这是因为一个复杂的问题,在它未完全解决之前,实际上不可能对它作出完整的表达,就是说当初对任务的定义可能是不完全的。为了做到整体地、全面地思考问题,有意识地适当扩大考察范围是运用系统方法的重要原则。例如,一个临江建设的大型钢铁生产企业,设计方案采用大型矿船通过海运供应矿石,建造的主原料码头前沿水深达12m以上,可停靠 10×10^4 t级矿船。但以后发现出海航道的某段水深只有7m,大型矿船满载时不能通过。只好采取部分矿石转驳运输,大型矿船减载后通过的措施。如果在项目规划阶段适当扩大考察范围,有可能找到更好的方案。

(5) 分系统考察法 对于所考察系统的某个确定的、合理的层次结构,可以从不同的角度按照层次结构来描述这个系统,由此可以建立分系统的概念。系统的各个组成部分(子系统或要素)以它们在某个侧面具有重要意义的某些特性和关系所组成的结构,称为分系统。例如,一个生产企业是由各车间和职能科室等子系统所构成的。对于这个企业,如果从产品质量保证、劳动管理、材料供应等不同侧面考察,就可以得到相应的不同的分系统。

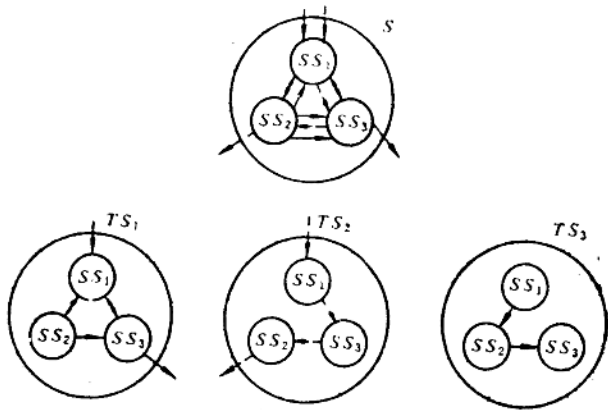


图2-6 系统、子系统与分系统
S—系统 SS—子系统 TS—分系统

分系统和子系统的概念不同,它们之间的关系可以由图2-6说明。

在复杂系统的规划过程中,系统层次结构考察法和分系统考察法常常结合运用,互相补充。系统层次结构考察法为人们描绘出了系统的全貌和整体框架。分系统考察法则突出了系统、子系统和要素的某些性质以及它们之间的特定关系,而又暂时忽略其他的性质和关系。这有利于对问题的简化,并可以对系统的某个重要方面作更深入的考察。实际运用中,可以先粗略地划分系统的层次结构,而后再从不同的侧面对系统作深入考察,也可反过来,先由既定的角度出发从某个方面考察系统,依照由此确定的分系统划分整个系统的层次结构。不论先从何处入手,两种方法的结合运用都是为了达到对问题既全面而又深入的研究。

(6) 系统边界考察法 把一个复杂的对象作为系统来考察,首先需要明确系统边界。这有一个寻找的过程。对于系统边界的不同划分,需要权衡其优缺点而加以选择。系统边界所包含的范围过大,增加了考察对象的复杂性和考察的工作量与难度。系统边界的范围过小会出现漏掉关键要素的危险,从而导致决策的失误。系统边界的划分不是一成不变的。对于复杂的考察对象,着眼于不同方面的考察时,系统边界可以有不同的划分。例如,对一个核能发电站,当考察技术的先进性时,把技术设备和构筑物组成的整体作为系统。而当考察在运行中的可靠性时,必须把操作人员作为重要组成部分而包括在系统中。

在问题的构成有多个层次的情况下,决定在哪个层次上解决问题,取决于所要达到的目的和需要实现的功能。在这个前提指导下,从与整体关系的重要性、相互联系的频繁程度等方面,运用“内在联系优势原理”划分出一个工作对象范围,这就是要考察的系统。在这个

范围内应当而且能够作出种种变化和调整以满足解决问题的需要。同时还要查明那些影响系统或为系统所影响，本身不应或不能变更的范围作为系统的环境。

如何恰当地划分系统边界，在一定程度上依靠已有的经验，如系统存在的自然边界，由工程技术特性所决定的，能形成独立功能的整体；由管理方便性所决定的，便于分割和可见度最佳的分界面等等，都可作为划分系统边界的基础。

系统的边界是系统与其环境的交界处。明确了系统的边界，使得系统的规划者能够集中注意，把影响系统和受系统影响的因素，以及系统内部各要素和它们之间的关系分别地加以处理。

(7) 动态系统考察法 任何物质系统都存在着产生、发展、衰亡的演化，这是一个动态过程。产生与发展是有序度增长的过程，衰亡则是无序度增长的过程。同一时间里生长发展和衰亡的因素并存。系统是通过与周围环境进行的物质、能量交换以维持自身的稳定和有序。

工程系统的建立与运行是一个动态过程，可以用一系列与时间有关的系统状态描述这个过程。系统状态的变化，可以表现为系统与环境间的作用形式或关系密切程度的变化，系统内各要素之间的作用形式或关系密切程度的变化，要素性质的变化以及这些变化的组合。这些变化及其发展趋向，对于工程项目系统的规划有重要意义。因此，在工程项目系统工程中，系统动态考察法受到高度重视，发展了一系列动态考察模型。例如，工程项目的动态经济分析模型、工程项目的网络计划模型等等。

(8) 系统考察方法小结

1) 在解决实际问题时，重要的是能够随时按照系统的观点认识所面临的问题，不要局限在深究真实系统在某一个具体层次上的存在状况。

2) 从要求和制约两个方面考虑，以确定在什么范围内着手解决问题比较合适。需要特别注意应当有意识地在不太窄的范围内考察所面临的问题。通过总体思考，全面的考虑到解决问题过程中可能出现的各个重要影响因素以及解决问题方案所造成的各种影响和后果，以减少错误规划的风险。为此，需要适当的划分系统边界，全面描述系统与环境之间的关系和相互作用。

3) 系统思想所提供的一些考察方法的综合运用，可以避免在处理复杂事物时遗漏重要因素和重要关系的危险。运用黑箱考察法和层次结构考察法可以建立系统的粗结构，了解系统的概貌，确定系统各层次间的关系。在这个前提下考察系统结构的细节就不必担心失去它们之间总的联系。把系统适当的划分成各个子系统，使其变成可以用现有的知识进行处理的大小和复杂程度，把一个复杂的判断变成大量简单的判断，使同时处理的信息不多而又不失掉整体的全面性，从中选出被分界的部分，在有限的时间内进行适当的处理。这是在复杂系统规划中进行量化处理的基础。这种划分不仅限于系统的结构方面，而且可以是系统开发的顺序、系统的目标体系等等。分割所遵守的原则是为合成奠定基础。

4) 根据一些对系统的个别描述不能确切地把握复杂系统的全貌，应当从不同的角度采用分系统概念考察系统，从而在横的方面也能对系统作全面地考察。

5) 预测及分析系统随时间变化的技术是重要的系统技术，应用动态系统考察法可以发现系统功能和作用方式的变化。