

● [日]寺野寿郎 著

● 杨罕 沈振闻 编译

系统工程导论

电子工业出版社



系统工程学导论

〔日〕寺野寿郎 著
杨 平 沈振刚 编译

电子工业出版社

系统工程学导论

〔日〕寺野寿郎 著

杨罕 沈振闻 编译

责任编辑 王京波

电子工业出版社出版（北京市万寿路）

山东电子工业印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 印张：10.625 字数：266千字

1988年2月第1版 1988年2月第1次印刷

印数：1—7000册 定价：2.95元

统一书号：15290·534

ISBN 7-5053-0000-8/F0

GF52/01

前 言

本书系根据日本东京工业大学教授寺野寿郎于1984年春来杭州电子工业学院讲学的讲稿编译的。寺野寿郎教授是著名的系统工程学家，有不少这方面的著作，在国际上享有较高的声誉。该书是寺野寿郎教授多年来研究系统工程的最新著作，反映了他的最新研究成果，其内容比较丰富，既介绍了各种创造性的思考方法，又辅之以各种定量化计算技术。在叙述方法上也有它自己的特点，有利于学习者活跃思维。

对原著中列举的一些不适合我国国情和生活方式的例子，编译者作了删改，校订了个别技术性错误，补充了一些他在讲学中增加的新鲜内容和部分课堂讨论答案。本书仍保持了原著的系统性和完整性。它可供从事系统工程、企业管理、经济管理等各方面的工程技术人员、管理干部和大专院校师生学习与参考，既可用作教材，也可用于自学。

编译者

序

系统这个概念绝不是什麼新东西。凭以往的经验可以知道，不论是一个组织还是一台机械，如果其组成要素组合得不好，就完全不能发挥其功能。与此相反，如果使各种各样的要素秩序井然地分担各自的任务并协同动作，就能取长补短，发挥意想不到的良好作用。人类远在太古时代就建立了社会系统，发展到如今之文明社会，这便是它的一个典型例子。但是，系统作为达到目的的手段而引人注目，则是最近产生系统工程学以后的事。系统工程学所考虑的是合理地推进大规模系统的开发，其特征在于使已有的要素很好地组合以创造具有全新功能的系统。

以前，在制作优良的机械和装置时，总认为开发优良的要素是不可缺少的条件。因此，以前的工程学几乎倾注全力去研究如何才能生产出优质的材料和零件。可是，系统工程学却注重于零件的组合，如何组合才具有接近目的的功能成了它的中心。可以说，以前的工程学是以分析为中心，而系统工程学则相反，是一种创造性技术。经验常常比理论显得更为重要。

有关系统工程学的书籍很多，其内容也形形色色。有的¹⁾有条不紊地阐述近乎纯数学的理论体系，有的²⁾却一个劲地谈论体验的理性概念。介乎其中的还有许多解释技术系统的实例³⁾和各种方法论^{4)~6)}的书。这些书都很好，但其侧重点都各不相同

1) 高原康彦: システム工学の理論, 日刊工業

2) H.Chestnus: Systems Engineering—Methods, J.Wiley, '67

3) システム工学講座, 日刊工業

4) A. D. Hall: A Methodology for Systems Engineering. Von Nostrand, '62

5) R.E.Shannon: Systems Simulation, Prentice Hall, '75

6) 浅居喜代治编: 現代システム工学の基礎, オーム社, '79

三浦・浜岡: 現代システム工学概論, オーム, 1977

同。如果只读其中的一、二本，就不能全面理解，所以要多读几本。对具有一定经验的系统工程技术人員来说，这些书可能是重要的指南，但对今后将要学习系统工程学的人能起多大作用则还是个疑问。因为对于没有经验的人来说，即使了解了某种含蓄的理论概念，也往往不能理解它的真正含意。另一方面，即使是学习了一些理论性的方法，也常常不能以此来创造系统。

创造系统首先需要具有牢固的目的意识。其次应掌握鉴定问题本质的分析方法，此外，还应具有为达到目的而集结自己知识的综合能力。换句话说，要理解问题就要有充分的分析能力和知识。但这还不够，还必须培养自己运用所具有的知识去创造解答的能力。虽然从书本上也能学到一些鉴定问题本质的知识，但碰到实际问题时往往是连这点书本知识也不能很好地运用。何况向书本学习创造能力，本来就是非常困难的。这就是初学者难以掌握系统工程学的原因。

创造的过程与目的意识有着很密切的关系。若只从书本上学习系统工程学，则所形成的思考顺序是，方法论优先，然后使其结果与目的相吻合。但是，实际上系统工程学是实现目的的一种手段，亦即目的在先。因此，即使不能百分之百地满足目的，而只是某种程度地满足，也能成为系统工程学的答案。若不优先考虑目的，就不能产生这种强有力的目的意识。仅通过书本上的学习，是难以掌握创造过程的。

进行系统开发时，必须许多人共同工作。大目标对谁来说都没有什么大的差别，但一接触到具体目标或为达到目标而采用的方法等问题时，则常常会出现千差万别，意见总是不会一致。特别是最近，系统工程学的对象不仅是技术性问题，由于要处理社会、环境、城市和生物等各个领域的问题，全体人员的意见很少能够一致。不仅系统工程学所取得的结果本身应该是合理的，而且达到经同意的目的的手段也必须是合理的，这本来是工程学应具有的思想。从这个意义上来说，系统工程学可以是具有普遍意义

的工程学。

如上所述，如果系统工程学是为解决问题而有目的创造新系统的方法论，则仅仅学会理论性方法还是没有用的。在学习理论的过程中还必须进行训练，使自己能整理别人提出的问题(如果是读者自己发现的问题那就更好)，找出要点，考虑它的解决方案，并作出结论(那怕是勉强作出的结论)。为此，需要有以课堂讨论为中心的思考练习。笔者将东京工业大学试用的、以讨论为中心的讲义改编成教科书，在各章中载入了供课堂讨论的问题。问题本身是非常简单的，乍一看好象没有离开游戏的范围，但读者自己能理解问题的内容，提高解答的质量。如果读者在解答问题时能充分有效地运用以前学得的全部知识和经验，则可以肯定地说已学会了系统工程学。问题与其让一个人解答，不如几个人组成小组进行讨论更好。因为组成小组共同工作本身就是一种系统工程学方法，与此同时还能掌握集体创造性思考的方法和统一认识的方法。

在一些课堂讨论的问题中附有解答例，仅供参考。如前所述，系统工程学的解答往往有多个，与其了解解答的结果如何，不如把重点放在得到解答的过程上。希望不要受例题的束缚，读者可以提出自己的想法。

目 录

第一章 系统工程学基础	(1)
第一节 系统和系统工程学	(1)
一、系统工程学的发展及其背景.....	(1)
二、系统工程学的特征.....	(4)
三、系统思考.....	(6)
四、系统开发的程序和组织.....	(10)
五、系统工程学方法论概要.....	(14)
六、问题和解答例.....	(22)
第二节 用图解和矩阵表示系统	(28)
一、结构模型.....	(28)
二、结构模型图解理论.....	(31)
三、网络系统和最优化问题.....	(43)
四、问题和解答例.....	(48)
第二章 发现问题和确定结构	(56)
第一节 发现问题和确定结构的重要性	(56)
第二节 创造工程学的方法	(57)
一、K.J. 法.....	(59)
二、概要记述法.....	(61)
三、其它的表达法.....	(63)
四、练习.....	(66)
第三节 利用统计方法发现主要因素	(67)
一、因数分析法和系统工程学.....	(68)
二、主成因分析法.....	(70)
三、因数分析法.....	(77)
四、分组分析法.....	(80)
五、应用例.....	(81)

六、练习·····	(86)
第四节 用结构模型确定问题结构·····	(88)
一、结构模型·····	(88)
二、ISM 法·····	(91)
三、DEMATEL法·····	(104)
四、其它方法·····	(110)
五、问题和解答例·····	(119)
第五节 结构模型的分解·····	(123)
一、无向图的分解·····	(124)
二、有向图的分解·····	(132)
三、问题和解答例·····	(137)
第三章 评价与决策·····	(140)
第一节 评价的基础·····	(140)
一、价值与评价·····	(140)
二、效用理论·····	(143)
三、问题·····	(150)
第二节 用统计的方法数量化·····	(151)
一、多维尺度构成法·····	(153)
二、数量化理论·····	(159)
三、问题·····	(170)
第三节 关联树形法·····	(171)
一、PATTERN法(模式法)·····	(171)
二、例题·····	(179)
三、问题和解答例·····	(182)
第四节 决策分析·····	(188)
一、概要·····	(188)
二、不确定状态中的优选·····	(191)
三、主观概率·····	(197)
四、不确定状态的多阶层性优选·····	(205)
五、问题和解答例·····	(207)
第四章 大系统的综合方法·····	(210)
第一节 日程安排·····	(210)

一、概述	(210)
二、用计划评审法进行日程安排	(215)
三、CPM 法	(222)
四、问题和解答例	(227)
第二节 系统的可靠性	(234)
一、系统可靠性的各种问题	(234)
二、零件的可靠性和系统的可靠性	(237)
三、FMEA法(故障模式与影响分析法)与 FTA法(故障树分析法)	(248)
四、人一机系统的可靠性	(255)
五、问题和解答例	(266)
第三节 作为系统模型的模糊集合	(269)
一、概要	(269)
二、模糊集合	(273)
三、模糊模型	(290)
四、构造模糊模型方面的问题	(301)
五、问题和解答例	(307)
第五章 系统工程学的评价、现状和未来	(310)
第一节 价值观及评价的目的	(310)
第二节 评价函数及其特征	(312)
一、评价的基础	(312)
二、质的数量化	(313)
三、导入不确定因素	(314)
四、与最优化有关的评价函数	(315)
五、系统的评价方法	(316)
第三节 系统工程学的现状和未来	(318)
一、概要	(318)
二、系统的概念及其应用	(320)
三、系统开发	(321)
四、系统的模型化及其问题	(323)
五、系统的最优化及其问题	(326)
第四节 结束语	(329)

第一章 系统工程学基础

第一节 系统和系统工程学

一、系统工程学的发展及其背景

最初使用系统工程学这个词是在1957年⁷⁾。此后,这种观点得到了很多人的赞同,在所有的领域内都得到了应用并取得了迅速的发展。在此期间,受到各种各样的评价,内容也起了变化。最近,这个词渐渐地固定下来了,内容也充实了,被确认为是工程学的一个新领域。但正如后面所述,其内容与以前的工程学有着本质上的差别,有不少地方是非本专业人员难以理解的。

首先是“系统”这个用语,使用时有各种不同的含意,没有一个统一的定义。例如,在控制工程学的领域内,把以多维变量的微分方程表示的控制对象称为系统,而计算机技术人员却把包括计算机在内的信息处理系统称为系统。此外,在生物工程学、社会工程学、经营工程学等各个领域内,其含意也各有细微的差别。何况再加上具体系统的名称而称之为“××系统”的情况下,其观点就更加繁多而难以统一了。

由于用语相同、意思含糊很难办,所以本书一开始就给“系统”下个定义。幸好,称作系统工程学的专门领域的内容,如上所述已大致固定下来,这里所说的“系统”是指系统工程学作为处理对象的系统,它可表示如下:

“带着某种目的从整体来观察成为对象的东西,称它为‘系

7) H. Goode, R. E. Machol: System Engineering, McGraw 1957

(沟口訳: システム工学, 日科技连)

统’。即，带着一定的目的，把对象作为整体来看待”。

这里所说的东西不限于有具体形状的东西，而是包含社会乃至自然环境在内的广泛事物。即使是相同的对象由于观察它的人的目的和掌握问题的方法不同可以成为系统或不成为系统。如果目的变了，即使对象相同，当然也必须作为另一种系统来处理。系统工程学的定义若用上述的“系统”概念，则可表达如下：

“所谓系统工程学是合理开发、设计和运用系统的思想和方法论。”

可是，若从其应用方面区分系统工程学，则可分为以下两个方面：一种是创造以前不存在的、全新的系统，（如开发宇宙火箭、新交通系统及环境系统等），就其属性而言、则多数是技术性系统；另一种是以新系统的观点重新评价以前就有的对象，使它具有新的功能或找出改革的方向。后者常见于人类和社会系统中，称为它“系统化”。两者都以系统思考为中心，在用系统工程学的方法论来解决问题上没有什么不同。后者与前者比较因为已有既定对象，令人觉得比从无到有要来得容易，但实际上重新加入向新系统转移的过程（旧系统的破坏，修改和废弃等）倒是非常困难的工作。特别是在包含人的系统中，人的利害关系、保守性和价值观等交织在一起，修改常常需要来一场思想上的革命，这是比创造新系统还要繁重的事情。

现代技术发展非常迅速，人的进步和社会的进步相对来说比较慢。这种不平衡的情况就给社会带来了混乱。有人主张减缓技术发展的速度，这显然是不对的。不应该阻止技术的发展，而应加快人与社会的系统化，以便赶上技术发展的步伐。

在这里回顾一下系统工程学是怎样产生和发展的。在第二次世界大战期间，英国数学家、物理学家等不同领域的专家组织了一个协作小组共同工作并在一些项目中取得了成果。这就是

• 寺野寿郎编システム工学，ユロナ社，昭46

寺野、野木编：システム工学の手法，日刊工業，昭50

OR(Operations Research 运筹学)的开始。战后,美国计划进行原子能设备和宇宙等大规模的技术开发,但这些是超越过去的专门领域范围的复合技术。实行这个计划需要巨额经费、时间和劳力,而且不允许失败。因此,就召集了很多领域的专家有效地推进巨大系统的开发,其方法论就这样发展起来了。这就是系统工程学。此后,积累了很多经验,大致确立了系统开发的程序、组织和方法等的基础。这个时期,由于计算机技术得到了迅速的发展,能迅速和精确处理大量信息,所以也就能进行大规模系统的定量分析和评价,或进行细致的设计和控制,从而具备了工程学的形式。

这种复合技术的发展虽然适应了时代的需要,但同时也给社会带来了一片混乱。也就是说,人类在半自然状态中花费了很长时间才建立起来的现代社会,由于技术系统的飞速进步,其平衡在各个方面都已开始崩溃。例如,环境污染,南北差距,信息爆炸,武器发展和城市人口过密等问题表明,技术的发达未必给人类带来幸福。托夫勒的“第三次浪潮”⁸⁾指出了这一事实。但是,这种复合技术造成的混乱只有靠实现高水平的系统化才能消除。事实上,最近的系统工程学不仅仅是担任技术系统的开发,正如后面所述,也利用来解决社会系统、事务管理系统、环保系统、城市系统等,并正在取得成果。这些就称为复合问题。许多局部问题复杂地交织在一起,只用简单的方法是不能解决的。可以想象,今后信息技术越发达,这种问题就越严重。在不久的将来会出现信息社会大概已是不可避免的事实。为了给人类带来和平和幸福,系统工程学所担负的任务就显得越发重要了。

表1-1归纳了正在运用系统工程学或认为今后要运用系统工程学的各个领域。看来系统工程学的应用领域正在向各个方面扩展。大家可能已经注意到,表1-1的上部归纳的纯粹是技术性领域,顺序而下就是包含人的系统。中间部分虽不是象国家项目那

8) アルビン・トフ ラ德山監修: 第三の波, 日本放送協会(1980)

表1-1 系统工程学的应用领域

分 类	应 用 实 例
新 技 术 开 发	宇宙开发、原子能、新能源、超大规模集成电路、新材料、第五代计算机、人工智能、遗传工程、海洋开发、医疗、光纤通讯
综合技术	防止环境污染、防灾系统、农业和水产业、建筑
控制管理	程序控制、系统控制、生产管理、自动系统、预测和计划、决策支援(计算机辅助设计、诊断、多目标决策)
情报服务	银行证券、预约席位、情报检索、数据库、办公室自动化、行政服务、医院、防犯、家庭用情报服务
身体系统	人工内脏、生态学、医疗、人类行为、身体模型
社会系统	经济、流通、城市、交通、教育、决定政策、商量办事、长期计划、综合计划

样大规模的系统，但由于实际利益一眼就能看出，其效果反而容易确认。今后这种中规模的系统大概会成为应用的中心。

二、系统工程学的特征

如上所述，系统工程学与以前体系化的学科有本质上的差异。若说得过分一些，系统工程学就是使创造系统的知识组织化。不言而喻，系统工程学的理论和方法也有各种各样，而未必能明显地体系化。即使能体系化也不可能只要学习了它就能创造系统。相反认为系统工程学的本质是一种创造性的知识，这样更接近于事实。为了得到这种认识，就要明确系统工程学与以前的传统工程学的差异。

1. 系统工程学是以创造系统为目的。通常所说的工程学是分析已经实现的技术并把它归纳成一般的理论。学习这样的理论，即使是初学者也能达到较高的水平。但是，系统工程学是以合成未知系统为目的的，所以其理论尚未形成体系化。在这一点上，与其说是科学不如说更近似于艺术。

2. 对象的不明确性。一般工程学的对象，其目的、制约条件、解决方法、方针和评价的方法等都是一清二楚的。也就是说，以内容明确的问题为对象。与此相反，系统工程学的对象，其上述项目都不明确，是所谓内容不明确的问题。因此，必须首先从设定问题开始。即使在确定问题以后，满足条件的解答绝不是唯一的，可以考虑多种解，从这些解中去寻找最优解。这样，解决自由度大的问题就成了惯于分析思考的技术人员颇感棘手的事。

3. 横断性。为完成巨大而又复杂的系统，就需要有横断以前纵向区分的知识领域的思想和综合性的技术，并将各个领域综合起来解决问题。

4. 目标的分析和评价。在很多场合，给定的大目标是抽象的。为了实现系统，必须使大目标具体化。而系统是多目标的，评价函数也是多属性的，所以评价很困难。因此，首先要分析目标，明确其阶层的构造比什么都重要。明确了系统的目标构造才能进行评价，替代方案的创见才能涌现出来。

5. 经验和理论。系统工程学中包含着经验和思想部分以及理论和技术方法部分。不论缺少哪一部分，都不能很好地去创造系统。后者在许多书籍中虽有说明，但后者与前者结合的关系还不十分清楚。

6. 研究和开发。最初不一定清楚地知道大规模系统的细节，随着开发的进展，新的问题和具体的目标才明确起来。由于研究和开发是平行进行的，所以重要的是明确程序，不打乱整个进程表而一步一步地扎实前进。此外，为了防止开发不平衡，要明确辅助项目与整个项目的关系。某个辅助项目进展不顺利时，可立即选择替代方案。

7. 对象包含着人。正如定义中所述，系统具有目标指向性，目标是人类为自己建立的。因此，系统不能无视人的关系(利用者、管理者、设计者、第三者等)。如何处理这种关系是一个非常

困难的问题。

8. 协调很重要。系统是多目标的，由于它是由许多重要因素组合而成的，所以协调很重要。如果这种协调搞不好，不管局部性能如何好，都会降低整个系统的功能。

三、系 统 思 考

前面已经讲过，系统工程学有思想和技术方法两部分。但系统工程学的特征不如说是前者。那就是全面掌握问题，以适应目的为目标，合理地组合一切要素。因此，对复杂而又困难的问题要能提出稍微接近目标的解决方案。换句话说，系统工程学是一门“解决问题的学问”，是一门“怎么办的学问”。不，与其说是学问，或许应该说是“知识”。重要的是把对象作为系统来考虑，因为理论和方法是第二位的。

那么，何谓系统思考？其特征介绍如下：

1. 要经常以目标定向。系统工程学的最终目标是建立满足目的的系统，而完全不管采用什么手段和形式。如果有妨碍，就要预先作为制约条件提出。而人们往往容易把兴趣转到方法论上去，这样就会达不到目的。

2. 使达到目标的过程合理化。为创造大规模的系 统，要防止程序返工和走上岔道，以便一步一步扎实地前进，通过有效的方法去达到目的。

3. 大目标和现状之间的桥梁。系统的大目标，无论谁来考虑都大致相同。对现状的认识也没有明显的差别。但问题是，一遇到如何使其终点和起点结合起来时，则有无数的方法，形成议论分歧。指出合理地选择这种途径的方法就是系统工程学，同一目标能以不同途径去达到。

4. 总体思考。将目标按级分类为阶层，要经常从上一级目标的水平来看面临的问题。这样，既能理解全貌，又能防止陷于自以为是。也就是说，不仅要考虑面临的问题，还要一并考虑其

周围的问题(参见图1-1)。图1-1中是要解决问题的系统,该系统以外的就是外部系统。

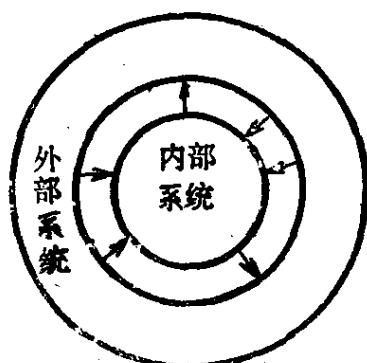


图1-1 内部系统和外部系统

5. 局部和整体的关系。处理辅助问题和辅助系统时,要经常考虑它们与整体的关系,以此来保证协调。同时也要积极地考虑局部应完成的任务(参看图1-2)。

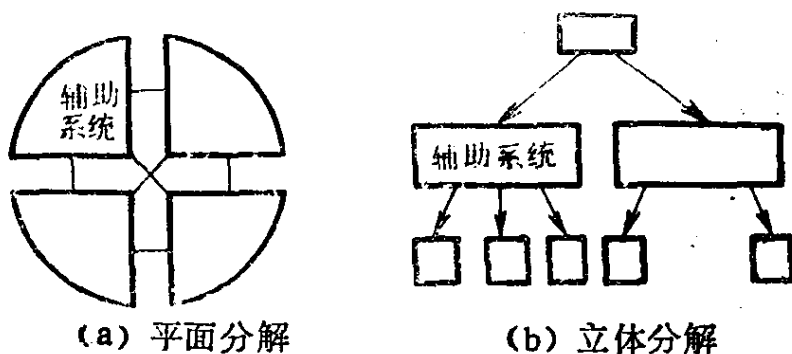


图1-2 系统和辅助系统

6. 粗分解和合成。虽然对大规模的系统进行了详细的分解并进行了周密的考察,但未必能得到正确的认识。因为系统分解得越细,辅助系统就越多,这些辅助系统间的相互关系就越难以理解。特别是在设计和合成系统时,要素众多是一个致命的弱点,不能一味指望人的独创。若采用计算机,模拟分析在某种程度上是可能的。即使那样,模型的模糊性也与要素数目成比例增加,取得的结果也难以判断。一般认为,到合成为止能考虑并同时处理的辅助系统的数目不超过10个。因此,在分解系统时最