



世界农业
丛刊

农业工程学译丛

农业系统工程学专辑

农业出版社

农 业 工 程 学 译 丛

农业系统工程学专辑

陈 立 主编

《世界农业》丛刊
农业工程学译丛
农业系统工程学专辑
陈立 主编

农业出版社出版 (北京朝内大街130号)
新华书店北京发行所发行 农业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 11印张 257千字
1981年2月第1版 1981年2月北京第1次印刷
印数 1—2,500册

统一书号 16144·2252 定价 1.20元

前言

近百年来,许多国家不断在农业生产(包括农、林、牧、渔)中采用先进的科学技术。农业科学技术在生产中的大规模应用,就引起了工程问题。为了经济合理地提高土地生产率和劳动生产率,现代化的农业已离不开工程设施和机电装备,而工程技术的发展又为在农业生产上应用更先进的生物科学技术创造了良好的条件。

随着生物科学和工程科学技术的进步,农业工程学的范围也从原来的农业机械、农业动力、农业建筑、灌溉排水和农业电气化等几个部门更向纵深发展。1978年8月,国家科委召集的农业工程学科规划会议上,议论了国内外农业工程学发展的概况,指出:

“农业工程学是一门综合现代生物学和工程学的技术科学。它是应用先进的工程技术来研究开发、利用农业资源和改善、创造农业生产全过程环境因素的工程理论,为发展农业工程和现代化农业服务。当前农业工程学的主要研究范畴有:土地开发利用工程学;农业生物环境工程学;农业能源工程学;农业工程力学;农业系统工程学;人体工程学等。随着我国科学技术及农业生产的不断发展,本学科研究范畴也将不断发展。”

新中国建立以来,我国农业生产的规模不断扩展,农业工程方面也有相当大的成就。但比起农业先进的国家来,不用讳言,还有不小的差距。本刊出版的目的是介绍国外有关农业工程方面的先进科学技术,供我国加速实现农业现代化参考。

农业工程学的范畴很广,本辑专论有关农业系统工程学问题。

农业系统工程学是农业工程学科中最新的成就之一。我国农业工程界对此还比较陌生,所以首先予以介绍。

系统工程学自第二次世界大战在英国雷达使用方面取得了辉煌的战果以来,逐步受到各方面的注意。随着各行各业的规模日益庞大,以及电子计算机的普及和运筹学的发展,系统工程学的应用开始从军事扩展到工业、商业甚至文教等各个领域。1965年底,美国推动科学进步协会专门讨论了在农业上应用系统工程学的问题。此后,欧、美、日等都陆续展开了农业系统工程学的研究,取得了丰硕的成果,有些已经推广使用,有力地推动了农业现代化的进展。

农业的根本意义是由人来改组生态系统、指挥生物的生长,以满足人类的需要。如果指挥得当,不仅能满足人们当前的需要,还能使生态系统有所发展,如土壤愈种愈肥、鱼愈养愈多等等。

农业系统工程学把农业作为整个系统来考虑。农业系统从环境接受的输入是阳光、雨水、气温、肥料、种子、农药、燃料、劳动和机电设备等,它向环境的输出是农产品。从价值角度看,向农业的输入可以分为两类。一类是无需代价的,如天然的阳光、雨水、气温以及空气和土壤中原有的肥分等。另一类是需要代价的,如劳动和物化劳动(燃料、农药、机电设备、化肥等)。农业的输出即农产品的价值也不一样,有的经济价值很高,

有的则并不值钱。

农业系统工程学的任务是通过研究农业系统和环境之间的关系，研究农业系统中各附属系统和各元件之间的关系，来合理组织安排各附属系统和各元件，求取最佳方案，以期以最小的代价，也就是以最少的劳动和物化劳动，来最大限度地利用大自然的资源，获取最高的产量，并使农民得到最多的收益。

总的说来，系统工程学有三个特点：1.新的观点——系统的观点；2.新的工具——电子计算机；3.新的运算方法——运筹学。农业系统工程学就是要用系统的观点，运筹学和电子计算技术来达到前述目的。

对农业系统工程学的研究，我国还刚起步。所以本辑着重介绍一些基本的问题。首先刊登了日本秋山穰教授等著的“系统工程学”的前三章。这三章比较详尽和全面地讨论了系统和系统工程学的概念、系统工程学的程序和系统分析问题。其次介绍了日本农业机械化研究所田中明男写的“关于农业系统和系统工程的概念”。然后分别刊登农业系统工程学在一些具体领域中应用的例证。如对自然界来说，有英国 S.T.Trudgill 著“土壤和植被系统的整个系统模型及系统的稳定性和变化模型”。对一个国家的农业系统说，有国际应用系统分析研究所所著“匈牙利粮食和农业系统的国家政策模型”。对一个地区的农业机器系统来说，有苏联海兰泡农学院 Б.И. Камныра 副博士著“区域机器系统规划的科学原理”和美国加利福尼亚大学 W.Chancellor 教授等著“北加利福尼亚水稻的机械管理”。对一个工厂的服务系统来说，有日本小松制作所的“OFR 机械编组服务系统”。从农业系统分析的数学方法来说，有美国 Dayton 大学 K.L.Chen 等著的“农业系统分析方面的资源规划和管理网络”等。

由于水平和时间等限制，在选题、译校、编辑等方面一定有不少缺点。欢迎批评指正。

编 者

目 录

系统工程学.....	秋山穰等 (1)
I. 系统与系统工程学	(2)
II. 系统工程学的程序	(18)
III. 系统分析	(25)
关于农业系统和系统工程学的概念.....	田中明男 (35)
土壤和植被系统的整个系统模型及系统的稳定性和变化模型.....	S. T. Trudgill (42)
一、整个系统的输入、输出和循环模型.....	(42)
二、整个系统的稳定和变化模型.....	(59)
国家计划的粮农系统模型的制作	
——匈牙利粮农部门的国家政策模型的结构	C. Csaki等 (78)
区域机器系统规划的科学原理	Б. И. Кашпура (123)
北加利福尼亚水稻及时播种和收获的机械管理.....	V. Cervinka 等 (130)
日本小松制作所的“OFR”机械编组服务系统	
——土方施工机械最佳编组方案的选择.....	(158)
农业系统分析方面的资源规划和管理网络.....	Kuei-Lin Chen等 (161)

系统工程学

秋山穰 西川智登

编者按：这里发表的是秋山穰等著“系统工程学”的前三章，全书共分六章，除本辑刊载的三章外，还有：第四章“系统的数理模型化方法”，第五章“系统的最优化方法”和第六章“网络系统”。前三章着重介绍系统与系统工程学的基本概念、系统工程学的程序和系统分析问题。原书全文共 278 页，前三章占 60 页。关于计算方法多在后三章。

序

近几年来，系统工程学这门新的学科，在各个领域受到了很大重视，它被广泛地用于工程和工业的各个方面，诸如解决城市问题、地区问题、环境问题和流通问题，以及地区开发、海洋开发、防灾措施和交通措施等等，直至教育、文化艺术这样一些领域。

因此，目前除了工科大学和中技校的系、专业都开设了系统工程学这门课程外，连法学、文学这样一些人文社会科学的系、专业也开设了这门课程，更不用说经济学、经营学这样一些系和专业了。在 1970 年修订的大专学校学习指导书中，也是把系统工程学作为工程系的新课程来设置的。现代技术的发展都需要系统工程学，不只是“信息技术科学”，就连机械、电气、电子、化学、建筑和土木各学科也有设置的趋势。系统工程学除了作为工业技术的研究、开发、及其解决问题的基本方法外，也是社会其它各个领域研究和解决问题的基本方法。

虽然社会对系统工程学的要求这样日益强烈，但是这门学科的技术特点、它的方法论以及学科技术体系，还有待于进一步明确。系统工程学是在六十年代才总结出来的一门新学科，它不是基础科学，而是具有以应用为目的的特点的、综合应用了其它各种科学技术而成的综合性的科学技术体系。

在日本，由欧美各国学者著述的有关系统工程学的各种学术著作和入门书籍，已有很多介绍；由日本学者所著的各种学术著作和入门书籍，公开发表的也相当多。但是，这些著作和书籍都各具自己的特点、方法、体系和内容，还没有明确地建立起成为统一标准的系统工程学体系。

然而，近几年来，有关这门学科的特点、它的方法和体系的研究，基本上是朝着一定的方向集中的。作者就是在国内外学者这方面最新研究成果的基础上，并经过自己的反复研究，试图建立起本书中所阐明的系统工程学学科的特点和方法，以及它的学科体

注：秋山穰系日本东京都立工科短期大学教授，西川智登系该大学助教。

系。但是,我们建立的体系中的一部分内容,即本书出版计划中第六章以后各章——“工艺过程系统”、“作业系统与管理系统”、“信息系统”、“社会系统”等内容,由于篇幅所限,只好全部删去。这些内容将改用其它形式发表。本书尽管对系统工程学的基本内容阐述得不够充分,但还是系统地展开了论述。(下略——编者)

秋山稜

1977年9月

I. 系统与系统工程学

一、前 言

近几年来,不仅在工程上,而且在社会的一切领域中,系统(system)或者系统工程学(system engineering)一词的使用已日益盛行。不过,系统这个词并不是最近才出现的,它是从古希腊时代开始就一直使用过的。然而,在科学技术领域中使用它时却具有过去所不能比拟的特殊意义。系统工程学则是1960年以后才建立起来的新学科。如下面所述,“系统”这个词及其思想,乃至把系统的方法最初应用到世界科学技术上而具有特殊意义的,是1911年E.W.太罗(E.W.Taylor)的“科学管理法”,后来被称为太罗系统。管理技术的科学就是以此为开端而发展起来的。1940年左右,在发展高度新技术的工程设计中,开始使用系统的思想和方法。这样,在世界工程界使用“系统”这个词及其思想,就更具有特殊意义了。

第二次世界大战后,系统的思想和方法,在工程上被广泛地应用起来。其背景,一方面是以第二次世界大战为契机,各个领域的各种学科,以及应用这些学科的各种技术,得到了很大发展。另一方面,应用发展起来的这些科学技术,去解决工程及其应用领域中的问题变得非常复杂庞大,以致解决问题的方法也变得非常困难起来。因此,研究并发展了新的方法,这就是综合的、系统的解决问题的近似方法,称为系统逼近(system approach),以及根据系统逼近的思想,综合地应用各种科学技术,科学地、系统地分析和解决问题的方法即系统分析(system analysis)。这些方法已在各个领域中进行试用。

象这样产生出来的综合、系统的思想和方法,就是系统工程学。总之,系统工程学可以说是基于系统的思想和方法,综合地、系统地运用各种科学技术,分析并解决复杂和困难问题的工程学方法。

系统工程学体系是1960年左右建立起来的,可以说是廿世纪后半世纪出现的一个新学科。1960年,美国阿波罗宇宙飞船到达月球表面成功,人们认为这是系统工程学的研究成果,因此对系统工程学更加关心起来。到了今天,系统工程学已被广泛用来作为解决复杂和困难的工程问题的一种方法,诸如解决从防公害措施、防灾措施、地区开发、交通、运输、通讯等各个领域,直至行政、经济、教育、生活消费等各方面的问题,更不用说用来发展工业和机械设各了。

本章内容是学习系统工程学的前提,应当首先基本理解系统的思想、系统的基本特点,以及它的构成和形态;然后,基本了解系统工程学的概况。

二、系统的意义

系统一词，在日文里也可以说和系、体系、层次、组织、制度、方式、手段等这些词的含义相当，但翻译时，不一定需要把这些词的意义都确切地表达出来，因此，一般都用“系统”来表达。

今天，系统这个词，按照使用者和使用的范围不同而具有各种不同的意义；不过使用者也未必要求统一，可以说宁可不要统一。

但是，在系统逼近或系统工程学中的“系统”一词，具有特定的意义和内容，一般的定义如下。

定义 所谓系统，就是“具有有机联系的、相互结合成为整体的、完成特定功能的各种要素的有机结合体”。

如果把系统的定义与它的反义词（chaos）对比理解，就会更加明确其意义。

chaos是混沌或无秩序之意，是杂乱的集合。就是说 chaos虽然也是若干要素的集合，但各要素之间没有联系，各自独立存在，而且作为集合体不具有任何作用与特性，是一个无秩序的集团。

以上只是对系统意义的基本理解，如要更明确地理解，就必须了解系统具有的特性，和它的基本构成。

三、系统的特性和基本构成

（一）要素与要素之间的有机联系

从上述系统的定义来看，系统的第一个性质就是：系统是由若干具有某种特定依存关系（relation）的“要素”（element 或 component）有机结合而成的。就是说，系统具有许多能够识别的独立的“要素”，各要素之间具有特定的“关系”。

自然界的太阳系，是以行星、卫星、彗星和流星等作为要素而构成的，这些要素之间具有相互依存的力学关系。电子计算机系统，是以输入输出设备、储存设备、控制设备和运算设备等各种硬件，以及程序等各种软件，加上操作者作为要素而构成的，这些要素之间按着某种特定关系而相互有机结合着。

如果用集合的概念来表示系统构成要素之间的相互关系，可以使系统的结构形式表达得更加明确。因此，当把系统X作为能够识别的各种独立要素的集合时，则X用下式表示：

$$X = \{x_c \in X \mid c = 1 - n\} \quad (1.1)$$

系统的构成要素一般是依系统的观察者、设计者而定的，因此，并不考虑系统构成要素本身的性质、各要素之间相互关系的形态，以及内部结构的形态。

系统的任意要素 $x_i \in X_i \subset X$ ，与任意的 $x_0 \in X_0 \subset X$ 具有因果关系和影响关系。这种关系（relation）如用R表示，则：

$$x_i R x_0 \quad x_0 R x_i \quad (1.2)$$

或者，把式（1.2）表示为：

$$x_0 = R(x_i) \quad x_i = R(x_0) \quad (1.3)$$

一般, 把这两个式中的 $x_i \in X_1$ 与 $x_0 \in X_0$ 成对对应的组合, 作为识别系统的对象。当 $x_i \in X_0$ 与 $x_0 \in X_0$ 之间成为一一对应时, 把这种关系称为映射 (mapping)。

因此, 对于系统 S 来说, 起重要作用的是 $x_i \in X_1$ 与 $x_0 \in X_0$ 之间的关系, 并以此关系为条件。这种关系 R 就是 X_1 与 X_0 成对对应^①, 即:

$$R = X_1 \times X_0 = \{(x_i, x_0) \mid x_i \in X_1, x_0 \in X_0, x_0 = R(x_i) \textcircled{1}, \\ x_i = R(x_0), i, o = 1 - n, i \neq 0\} \quad (1.4)$$

因为系统是以式 (1.4) 为条件, 故定义:

$$S = \{X \mid R\} \quad (1.5)$$

如果要素 x_i 与 x_0 对应存在的话, 则:

$$A x_i \ni x_0 \in R^*(x_0 = R(x_i)) \quad (1.6)$$

$$(x_i, x_0) \subset R^* \subset R \quad (1.7)$$

式 (1.6) 的意义在于 “对于集合 X_0 和集合 X_1 可能组合的关系 (R^*) 来说, 如果 $x_i R x_0$ 这一关系成立 (得到结果), 则 x_0 存在于 x_i 之中”。

以上是用集合的概念来表达系统结果的, 这种表达形式可以更好地理解构成系统的各种要素, 以及这些要素之间的有机联系。然而, 如果根据构成系统的各种要素识别系统的话, 那么系统既有概念的, 又有实体的; 既有自然的, 也有人工的。如下面所述, 系统构成要素的性质决定系统的性质与形态。系统工程学所研究的, 主要是实体系统和人工系统。

(二) 综合的整体性与统一性, 配合的均衡性

如上所述, 系统是由许多独立的、相互有机联系的要素构成的, 但应使这些要素综合化、统一化, 构成具有综合整体性的系统整体 (systematic whole)。系统构成要素各具独自的功能, 但应使这些要素构成具有逻辑的统一性和整体的统一性, 以及具有整体配合性和均衡性的整体。因此, 这样的整体并不是各要素的简单拼凑, 而是具有整体的特定功能和特定性质的。比如说, 即使是各个要素不具有良好的性质, 但是如果把这些要素进行统一、综合作为整体具有良好效果的话, 就是系统; 相反, 即使是各个要素的性质是好的, 但是作为整体不具有良好效果的话, 就不能说是完全的系统。

(三) 系统构成与举动, 系统的功能

从上面看到, 系统是由许多各自独立的、各具有独立的功能和相互联系的要素有机结合而成的, 它作为一个统一的整体而发挥其特定的功能, 把这样的系统的组成称为系统结构 (structure) 或构成 (composition)。基于这些要素之间的整体的、有机的相互关系, 而对各要素及其相互关系进行综合工作, 使其形成有机的、统一的系统整体活动。把这样的系统的活动称为系统的举动 (behavior) 或行动 (operation)。系统的举动是基于系统的结构而展开的, 由这两者形成系统的 “功能”。

系统是由这样的结构和基于这种结构的举动, 具有独自的 “功能” 和系统特性的。而根据这种特性, 就能够识别特定的系统。

在系统工程学中的人工处理的系统, 其功能是根据系统目的而确定的。就是说, 为

^①原文误为 $x_0 = R(x_0)$ ——译者注。

了达到既定的目的，系统应该具备必要的功能条件，而为了确定这个条件，需要对能够满足最优条件的系统结构与举动进行分析，并基于这种分析进而研究系统的构成与举动，从而人为地形成系统的功能。因此，人工系统的功能是为了达到系统的目的而存在的。

但是，自然产生的自然系统，只存在功能而不存在目的，如由一种力形成的自然系统——太阳系和宇宙系或各种生物系统，就只存在功能不存在目的。

虽有存在目的系统和不存在目的的系统，但功能都是存在的。

(四) 系统与外界条件

如上述，系统是由特定的许多要素，以及这些要素之间的有机联系结合而成的集合体。如果这个特定的集合体以外，还存在可以成为这个系统的构成要素，并且具有整体功能的话，那么在研究系统时，就不能忽略特定集合体以外存在的那些要素。而在实际中，类似这样的系统很多。所以与其说系统是特定的各种要素的有机集合，或者说是一部分要素的集合，一定限度的存在，不如说在理论上，也应包括系统周围存在的那些要素更合适。把系统周围存在的这些要素称为系统的外界条件，或者称为相对于一个系统的外部系统。

系统的外界条件对于研究系统是不能忽视的，而且往往是必须考虑到的重要因素。但是，既然系统是一种思想方法，所以有时把它和它的外界条件分开来研究也是可以的，往往是必需的。把与外界条件完全没有联系的系统称为封闭系统 (closed system)；相反，把与外界条件有相互联系的系统称为开敞系统 (open system)。由于许多系统的举动是在它周围的外界条件下进行的，所以往往被当作开敞系统来研究。

(五) 系统的层次性与量纲性

系统还有一个重要性质，就是系统的层次 (hierarchy) 或级别 (level)。系统一般是由小系统构成的，小系统是由比它更小的系统构成的，最下层的小系统，又是由作为基本单位的各种要素构成的。象这样由好几层系统构成的大系统，既有简单层次的，也有复杂层次的。系统的小系统，小系统的更小系统等等也是这样构成的。就是说，如果把系统作为 S ，把比 S 低一层的小系统作为 S_i ，则两者的关系 S_i (参考式 (1.4)) 可用下式表示：

$$S = \{S_i \subset S | R_i\} \quad (1.8)$$

$$R_i = \{(S_{i, i}, S_{0, i}) | S_{i, i} \subset S, S_{0, i} = R(S_{i, i}), S_{i, i} = R(S_{0, i})^*\}$$

$$S_{i, i} \cap S_{0, i'} \neq \phi \quad (i, o = 1-n, i, i' = 1-m, i \neq i')$$

比 S_i 低一层的小系统 S_{ij} 用下式表示：

$$S_i = \{S_{ij} \subset S_i | R_{ij}\} \quad (1.9)$$

$$R_{ij} = \{(S_{i, ij}, S_{0, ij}) | S_{i, ij} \subset S_i, S_{0, ij} = R(S_{i, ij}),$$

$$S_{i, ij} = R(S_{0, ij})\}$$

$$R_{i, ij} \cap S_{0, ij'} \neq \phi^{**} \quad (i, o = 1-n, j, j' = 1-p, j \neq j')$$

同样，比 S_{ij} 更低一层的小系统 S_{ijk} 用下式表示：

* 原文误为 $S_{0, i} = R(S_{i, i})$ ——译者注

** 原文误为 $S_{i, ij} \cap S_{0, ij} = \phi$ 。

$$S_{ij} = \{S_{ijk} \mid R_{ijk}\} \quad (1.10)$$

$$R_{ijk} = \{(S_{1,ijk}, S_{0,ijk}) \mid S_{1,ijk}, S_{0,ijk} \subset S_{ij}\}$$

$$S_{0,ijk} = R(S_{1,ijk}), S_{1,ijk} = R(S_{0,ijk})$$

$$S_{1,ijk} \cap S_{0,ijk} = \emptyset \quad (I, o = 1-n, k, k' = 1-q, k \neq k')$$

以下同样，最下层的小系统为：

$$S_{ijk\cdots\mu} = \{x_c \mid R_{ijk\cdots\mu}\}$$

$$(i = 1-m, j = 1-q, k = 1-q^{\text{①}}, \cdots, \mu = 1-\lambda, \omega = 1-\theta)$$

象这样的系统，往往以金字塔形式构成。随着这种结构的层次增多，下一层系统的功能对上一层系统来说，将变成从属性层次。

因此，研究系统，必须注意该系统的层次，上层系统 (supersystem) 和下层系统的构成，以及相互之间的联系。

和系统层次类似的思想方法，就是系统的量纲性 (dimensionality)。系统的构成要素不一定同种类，往往也有不同种类的；而由不同种类要素构成的系统更加复杂些。即使最简单的人—机械系统 (man-machine system)，人的量纲和机械的量纲就不同，而是各自包含有不同量纲的因素，这一点作为一个系统来看是不能忽略的。

根据以上考察，可以说，对于系统的一般性质和一般构成，已有了基本了解。

但是，仅仅这样了解，对于系统的认识是不十分清楚的。由于系统有种种形态，用系统工程学研究时，只根据上面所讲的一般形态是不够的。因此，需要进一步阐明系统各种形态的性质，而重点应当是用系统工程学研究系统的性质，以便加深对系统的认识。

四、系统的各种形态及其性质

(一) 自然系统与人工系统

系统首先可以分成自然产生的系统和人工系统。海、山、河流等的矿物，以及动植物的躯体是自然物的集合体。自然形成的系统称为自然系统 (natural system)。上面例举的太阳系、宇宙系都属于自然系统。人工系统 (artificial system) 是指由人工建立起来的各种要素的集合体，例如，人对自然物进行加工而制造出来的工具和机械装置等各种工程系统，人工建立的组织、制度、程序、手续等各种管理系统和各种社会系统，以及人根据对自然现象和社会现象的科学认识创造出来的科学技术体系等，都属于人工系统。

实际中大量存在的是这两种系统的结合。社会系统也可以看作人工系统，但有的只是按照自然产生的社会规律发展起来的，与人的意志无关。有的则是随着人类知识的发展，对社会进行人为的改善而发展起来的。因此可以说，社会系统是自然系统与人工系统的结合。至于人工系统，很多是人对自然产生的自然系统进行科学的说明，并人为地使它逐渐进行变化而形成的。这意味着人工系统很多是与自然系统结合而成的复合系统。然而也应该注意到：完全由人工建立的纯粹人工系统也很多。作为系统工程学研究的对象，可以说包括人工系统，自然界的自然系统，自然产生的社会系统，以及加上人

① 原文误为 $i = 1-g, k = 1-g$ ——译者注。

起作用而建立起来的自然系统和人工系统的复合系统都在内。

从另一个角度, 这些系统可以看作是软件系统(software system)和硬件系统(hardware system)。自然界现存的自然物, 如上面所说的矿物、能和生物等自然的硬件, 是按照自然的规律和法则存在和活动的, 不加人为措施就遵照自然法则保持着平衡。人依据科学的力量从这些自然物的硬件中, 发现了支配这些自然物活动的自然原理和规律, 并利用这些原理和规律按照人类的需要改造它。人类用科学去认识自然界的自然现象和历史的社會现象, 发现了使这些现象活动的原理、规律, 从而创造出自然科学和社会科学体系, 并且进一步利用它人为地改造自然系统和社会系统, 创造出有益于人类社会的应用科学技术体系。积极、主动地对自然和社会进行改造利用, 并从中创造出更新的硬件, 进一步利用它就能够制造出软件体系来。这样, 人工系统在世界上的地位和作用, 日益变得重要起来。但是另一方面, 也应该注意到: 人工系统的发展破坏了自然系统的平衡, 从而引起自然破坏和环境破坏, 使各种公害产生, 这对人类的生活和存在造成了威胁和危险。系统工程学本来是以人工系统作为研究对象的, 而根据这种观点, 在现行的系统工程学中, 也就把人工系统放在自然系统之中来进行研究了。

(二) 实体系统与概念系统

用另一观点来看系统时, 就有实体系统(physical system)和概念系统(conceptual system)之分。所谓实体系统, 就是象人一机械系统(man-machine system), 或者机械系统那样, 它是由矿物、生物、能、机械和人等物理的、实体的要素构成的。与此相反, 概念系统是由概念、原理、原则、法则、方法、体系、程序和手续等要素所构成, 而这些要素并不是物理的、实体的。如科学技术体系、法律系统、教育系统等。机械系统本身是实体系统, 为了利用它作功, 必须有使它作功的技术, 而利用这种技术的方法、程序和手续, 则是概念系统。实际中的系统往往是这两种系统的结合。系统工程学主要是研究实体系统, 当然也研究概念系统。

(三) 封闭系统与开敞系统

以上是按照系统构成要素的特性来区分系统的种种形态的, 此外还可以按照构成系统形态的性质, 来进行各种区分。下面将就这些问题简单地加以叙述。

首先, 有封闭系统(closed system)和开敞系统(open system)之分。这种系统的性质已在“系统与外界条件”一节中有过说明。当把系统 S 和它的外界条件 $\bar{S}$ 之间的关系用 R 来表示时, 则:

$$S\bar{R}\bar{S}, \bar{S}R\bar{S} \quad (1.11)$$

如果式(1.11)不成立, 即 $S\bar{R}\bar{S}$, $\bar{S}R\bar{S}$ 时, 称 S 为封闭系统。当式(1.11)中的一个或两个都成立时, 称 S 为开敞系统。

(四) 静态系统与动态系统

所谓静态系统(static system), 是指反映其特征的状态变量不随时间而变化的系统。因此, 系统取决于状态变量 $x_i \in X$ ($i=1-n$)。

所谓动态系统, 是指系统的状态变量随时间而变化的系统。换句话说, 系统的状态变量是时间的函数。因此, 为要知道有关系统未来的举动, 必须给出状态变量

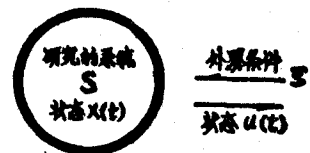


图1 系统与外界条件

$x_i(t) \in X(t)$ ($i=1-n$) 的信息, 就是说, 系统的特性取决于以空间状态所定义的函数 f_i ($i=1-n$)。系统工程学主要是研究动态系统。

当动态系统是连续系统, 并且自变量只有时间 t 一个因素时, 可用常微分方程式表示; 当状态变量存在微分项时, 则用偏微分方程表示。

现在, 首先研究自变量只有时间 t 的情形。这时一般用下式表示:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f_i(x(t), t) \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad (1.12)$$

式 (1.12) 表示式 (1.2) 的关系 $x_i R x_i$ 成立。如式 (1.12) 的解用矢量形式表示, 则:

$$x(t) = \phi(t)x(0) \quad (1.13)$$

式中, $\phi(t)$ 为状态传递矩阵 $\phi_{ij}(t)$, 它反映初始条件和状态变量之间的关系, 就是说, 如把系统的第 j 号初始条件作为输入, 就可以得到第 i 号输出的应答。因此, 式 $\phi(t)$ 对于掌握系统状态未来的举动起着重要作用。再者, 如果在式 (1.12) 中加上外界条件 $\bar{s}$ 的原因、影响因素, 并且把这些原因、影响因素作为 $u_i \in u(t)$ ($i=1-n$) 时, 则用矢量形式表示为:

$$\frac{dx(t)}{dt} = f_i[x(t), u(t), t] \quad (1.14)$$

这个问题将在第四章中详细说明。

其次, 研究状态变量微分项存在的情形。

对于规定系统状态的方程式 (1.14) 来说, 认为 f_i 在某开集合处是连续的, 且可为一阶偏微分方程。 dx_1/dt 表示由于系统状态变量相互作用而产生的 x_1 的变化率。再来研究由于 x_1 以外的其他状态变量的相互作用, x_1 的变化率受到怎样的影响呢? 在某时刻 t_0 , 由于状态变量 $x_2(t_0)$ 的相互作用, 使 $x_1(t_0)$ 的变化率受到的影响的程度变成偏微分项:

$$\frac{\partial}{\partial x_2} \left(\frac{dx_1}{dt} \right) = \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial x_2} \quad (1.15)$$

因此, 根据这个符号就能够考察系统的状态。包括: (1) $\partial \dot{x}_1 / \partial x_2 > 0$, (2) $\partial \dot{x}_1 / \partial x_2 = 0$, (3) $\partial \dot{x}_1 / \partial x_2 < 0$ 等三种情形。情形 (1), 当 x_2 增加时, x_1 的变化率增加。或者, 当 x_2 减少时, x_1 的变化率减少。情形 (2), 即使 x_2 增加, x_1 的变化率不变。情形 (3), 当 x_2 增加时, x_1 的变化率减少, 或者, 当 x_2 减少时, x_1 的变化率增加。同样, 对于 $x_3, x_4, \dots$, 根据知道的 $\partial \dot{x}_1 / \partial x_3, \partial \dot{x}_1 / \partial x_4, \dots$ 的符号, 就能够得到来自系统的信息。同样也能够知道在 $x_2, x_3, \dots$ 以外的状态变量的相互作用下, 对 $x_2, x_3, \dots$ 的变化率的影响。

因此, 根据下式求出 J , 就能够深入考察系统的性质。

$$J = \begin{pmatrix} \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial x_1} & \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial x_2} & \frac{\partial \dot{x}_1}{\partial x_3} & \dots \\ \frac{\partial \dot{x}_2}{\partial x_1} & \frac{\partial \dot{x}_2}{\partial x_2} & \frac{\partial \dot{x}_2}{\partial x_3} & \dots \\ \frac{\partial \dot{x}_3}{\partial x_1} & \frac{\partial \dot{x}_3}{\partial x_2} & \frac{\partial \dot{x}_3}{\partial x_3} & \dots \end{pmatrix} \quad (1.16)$$

(五) 因果系统与目的系统

当开敞系统 S 的状态 $x(t)$ 仅仅由外界条件 S 的状态 $u(t)$ 所决定时, 称系统 S 为因果系统 (causal system)。就是说, 给研究的系统以输入 (原因), 就得到相应的输出 (结果)。这时, 系统的内容是唯一被决定的。

与此相反, 当系统 S 具有某种目的, 而要达到这个目的进行具有特定目标的活动时, 称系统 S 为目的系统 (teleological system)。

因此, 为了达到目的进行既定的目标活动时, 如果把系统构成要素 S_i 活动的集合作为 B_i , 则总的活动范围 B 用各个要素活动的组合表示, 即用连乘积 (direct product) 来表示⁷⁾:

$$B = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n \quad (1.17)$$

$$= \{(b_1, b_2, \dots, b_n) | b_i \in B_i, i = 1-n\} \quad (1.18)$$

而活动范围 B 至少也要满足适当的评价标准 B^* , 即:

$$B^* = \{(b_1, b_2, \dots, b_n) | (b_1, b_2, \dots, b_n) \in B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n, b_i \in B_i, i = 1-n\} \quad (1.19)$$

$$(b_1, b_2, \dots, b_n) \in B^* \subset B \quad (1.20)$$

然而, 对于 B^* 来说, 如果成对对应的 $(b_1, b_2, \dots, b_i) (i = 1-m)$ 满足评价标准 $C = \{c_k | k = 1-r\}$, 则存在于 $(b_1, b_2, \dots, b_i) (i = 1-n)$ 之中。即:

$$\forall (b_1, b_2, \dots, b_i) \exists (b_1, b_2, \dots, b_i) \in B^* (C = \{c_k | k = 1-r\}) \quad (1.21)$$

系统的状态取决于系统构成要素活动的组合结果。因此, 要想使系统的状态处于最优, 就必须适当地选择系统的构成要素。但要做到这一点, 就应该有能控制构成要素活动的组织者。当把组织者也包括在系统之内时, 系统成了组织机构。目的系统也就变成了组织机构。

(六) 控制系统

所谓控制 (control), 在日本工业标准 JIS 语言中, 定义为“为了实现某种目的, 对所研究的对象进行必要的操作”。控制对象是指为了实现某种目的被用来进行操作的控制装置。因此, 把由被控制的各装置构成的集合体称为控制系统 (control system)。如果控制装置是自动进行工作的, 称为自动控制 (automatic control); 需要人工操作的称为手工控制 (manual control)。

自动控制与自动化在内容上容易混淆, 实则自动控制包含在自动化之中。就是说自动化分自动操作 (程序控制, sequence control), 与自动控制 (反馈控制, feed back control) 两类⁸⁾。

自动操作一般称程序控制, 在系统中传递信号的是开环 (open loop)。自动控制有反馈控制和前馈控制 (feedforward control)。而从控制的特征看, 自动控制主要是指反馈控制。在反馈控制中又包括两种方法, 一是消除实际控制的结果和目标值之间的误差的负反馈 (negative feedback), 二是电路中的振荡电路和再生放大等的正反馈 (positive feedback)。

图 2 表示反馈控制系统的一般构成。图 3 表示程序控制系统用作定量充电装置的逻辑控制线路。象这样由逻辑单元构成的逻辑控制线路, 是最一般的简单例子。在高度程序控制系统中, 除逻辑控制部分外, 往往同时设置反馈控制部分。

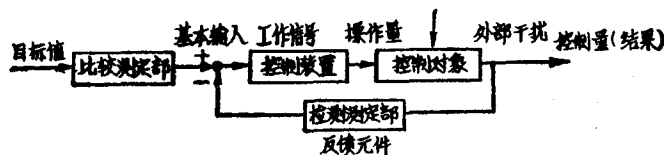


图2 反馈控制系统的一般构成

前馈控制是根据控制对象的外界条件,对控制方针预先进行计算的控制方式。就是说,在控制对象受到外界条件影响之前,预测控制方式。因而,这种控制与其它控制并用,适用于自适应控制 (adaptive control) 和学习控制 (learning control)。

在高度控制中¹⁰⁾,除自适应控制外,还有最优化控制 (self-optimizing control)、最优控制 (optimum control) 和计算机控制 (computer control)。最优化控制就是使其评价标准经常保持最大 (或最小) 的一种控制方式,应用登山法等静态最优化方法。最优控制是应用动态最优化方法的一种控制方式。有关静态最优化和动态最优化方法的详细叙述见第五章。

(七) 行动系统

所谓行动系统 (behavioral system) 是指以达到目的的行动作为构成要素的系统。人的系统,人一机械系统,以及社会、经济系统都可以看作行动系统。这些系统的区分,并不是以系统的构成要素的结构特性为标准,而是根据行动特性的内容来区分的¹¹⁾。因此,即使构成要素的内容相同,只要要素的功能特性不同,系统就是不同的。就是说,人的系统,人一机械系统,社会系统的区分,并不是考虑系统构成要素的结构,而是必须重点考虑要素功能的特性。行动系统具有自己改变自己的组织的功能。

行动的作用就是为了达到规定的某种目的,完成特定的功能,使外界条件产生某种效果 (或价值)。同时又适应外界条件的变化而改变其内容。这种改变所产生的输出,成了另一个集合体的输入,并使这个系统改变其内容产生输出。此时,系统的内容状态,是在若干约束条件和评价标准的条件下进行改变的。

现在,来研究行动要素 $b_k \in B_i (k=1, 2, \dots, n)$, 当把它作为输入而改变系统输出内容时,输入输出关系变换¹²⁾为:

$$b_j = T_{ij}(b_i) \quad b_i = T_{ji}(b_j) \quad (1.22)$$

同样,

$$B_j = T_{ji}(B_i) \quad (i \neq j) \quad (1.23)$$

一方面,行动范围根据式 (1.17) 为:

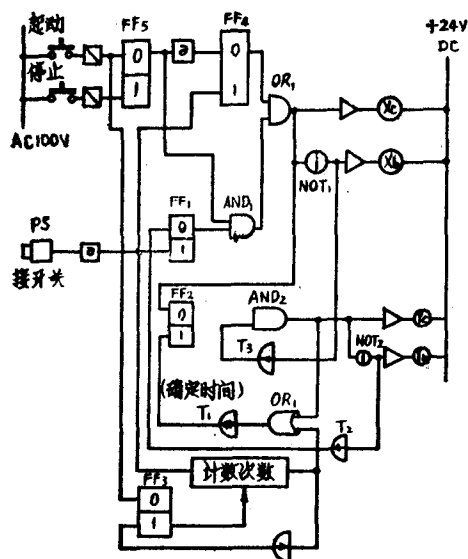


图3 用作定量充电装置的逻辑控制线路

$$B = B_1 \times B_2 \times \dots \times B_n$$

因为行动范围内的行动 $(b_1, b_2, \dots, b_n)$ 也是 B 的部分集合, 所以如果这个行动给外界以某种作用而产生效果的话, 结果就完成了功能 f 。如果这种功能存在 n 种, 则行动范围 B 相应于 f 而存在, 因此得:

$$B = \bigcup_{i=1}^n B_i(f) \quad (1.24)$$

由于输入输出进行变换, 系统改变其内容, 所以行动范围表示为:

$$B = \{(b_1, b_2, \dots, b_n) | b \in B_i, j=1-n, b_j = T_{ij}(b_i) \\ B_j = T_{ij}(B_i), i \neq j\} \quad (1.25)$$

另一方面, 当输入输出进行变换而改变其系统内容时, 虽然并不需要考虑一切功能产生的效果, 但必须考虑其中产生降低效果的全部逆功能。就是说, 行动范围应表示为:

$$B^* = \{(b_1, b_2, \dots, b_n) | (b_1, b_2, \dots, b_n) \in B, b \in B_i, j=1-n \\ b_j = T_{ij}(b_i), B_j = T_{ij}(B_i), i \neq j\} \quad (1.26)$$

在这个行动范围中, 存在着由意志决策的必要行动。为了达到目的, 虽然功能是必要的, 但并不需要全部功能。在多种功能中, 存在着一些不利于达到目的的逆功能, 和不必要的功能。对于这些功能的存在必须给予充分注意, 同时必须加以控制使之变成必要的功能。如果取必要功能的行动为 $B_i^*(f)$ ($B_i(f)$), 则必须采取的行动为:

$$(b_1, b_2, \dots, b_n) \in B_i^*(f) \quad (1.27)$$

(八) 不同研究对象的系统的各种形态

上面叙述了有关系统的一般形态及其具有的特性, 这里简单介绍不同研究对象的系统的各种基本形态。

(a) 物的系统, 人的系统, 方法、程序系统 当系统是由矿物、生物能构成, 或者是由对这些进行人为加工而制造出来的机械、装置, 以及设施、设备这样一些物体构成时, 把这种系统称为物的系统。由于过去的一般工程学主要是研究物的系统、尤其是其中的机械系统的, 所以过去就把这种系统特别叫做工程学系统。

系统中只是以人作为构成要素的称人的系统。如医学和心理学以及各种人文科学。以研究事物进行的方法、程序、手续等作为系统构成要素的, 称方法、程序系统。

以上, 根据研究对象的不同, 把系统分为三种形态进行了叙述。但是, 系统工程学研究的对象, 一般是这几种形态的结合。

(b) 作业系统和管理系统 一般把人们生产物品、运输货物、或者处理信息的行动过程叫做“作业”。写小说、作诗、从事教育也是一类作业。把以作业作为研究对象的系统称为作业系统。这些作业是人的行动产生的, 而在多数情况下, 还必须具有物质手段, 借以按照一定的方法、程序、手续来进行。因此, 作业系统是以人、物、程序作为构成要素的, 可以说是这些要素综合起来的系统。

为了合理地开展作业的过程, 必须对这些作业的功能和过程进行管理。而以管理的功能和过程作为研究对象的就是管理系统。管理系统过去是以人和方法、程序作为构成要素的, 近几年来, 也有以电子计算机系统和资料输送系统等信息处理机械作为构成要素的。今天, 已经变成以人、机械、方法和程序作为构成要素的系统了。可以说, 各种