

重庆出版社科学学术著作出版基金资助

自动化系统 设计的系统学

● 王永初 任秀珍 著
● 重庆出版社出版



责任编辑 张镇海
封面设计 徐赞兴
技术设计 费晓瑜

自动化系统设计的系统学

王永初 任秀珍 著

重庆出版社出版、发行(重庆长江二路205号)
新华书店经销 重庆印制一厂印刷

*

开本850×1168 1/32 印张18.75 插页6 字数464千
1989年12月第一版 1989年12月第一版第一次印刷

印数: 1—1,700

*

ISBN 7-5366-1073-4/TP·3

科技新书目206—359

定价: 10.20元

内 容 简 介

系统学是研究方法论的一门科学,在自然科学和社会科学方面有广泛的应用。本书介绍系统学的理论,并将系统学的基本方法和观点,应用于自动化系统的设计,重点介绍数学模型的建立与简化方法、系统的解耦方法、系统逻辑方法、网络分析方法、优化及次优化方法以及系统理论设计至工程实施的有关信号匹配问题。本书阐述的自动化系统设计的系统学是一门新兴的边缘学科。

本书可供从事自动化、自动化仪表及计算机应用等专业的科技人员及大专院校师生参考。

前 言

系统学是一门研究现代科学的方法论，它是建立在现代控制论、信息论与科学决策论的基础上，吸收了许多学科的精华，经过无数科学家总结提炼而形成的一门独立的新学科。系统学应用于工程就是各类学科的系统工程，应用于经济就是经济控制论，应用于管理就是管理科学。尽管系统学的发展直接与计算机科学、计算数学及运筹学的发展密切相关，但是由于它是一门方法论，今后无论计算工具如何发展，生产工艺如何更新，元器件与原材料如何进展，系统学的基本原则与方法决不会过时的，它只会随着时代的前进不断得到充实和完善，从这个意义上说，系统学是一门人们普遍关心与有兴趣的科学。

系统学的发展既然吸收了控制论的大量概念与方法，必然与自动化的亲缘关系更加接近，应该在自动化科学中得到最有成效的应用。系统学作为一门新兴的科学，正在向各类学科渗透，必然引起许多学科的变革。工业过程自动化毫无例外地受到这个时代潮流的影响，正在逐渐形成自己的工程设计新的理论体系。

作者长期从事生产过程自动化的理论与应用的研究，觉得在目前的条件下，撰写一部这方面内容的系统学的书条件是成熟的，一方面是作者感到自己某些观点有必要进一步阐述，另一方面是大批优秀的自动化专家已为我们创造了许多应用系统学的成功实例，为促进生产过程自动化设计方法的现代化，为使系统学的方法论在我们从事的事业中得到深化和广泛应用。本着这样的愿

望，作者开始涉及这个颇引起社会各界瞩目的题目，实在有点自愧水平有限与力不从心。但是受时代感与责任感的驱使，斗胆命笔，数易其稿，但还是惶惶然，恐愿望难于兑现。现在整理出来付印，目的在于与从事自动化系统设计的同志共勉，本书不妥之处欢迎批评指正。

著 者

1988年8月于华侨大学

目 录

第一章 概 述..... (1)

一、一门研究现代科学方法
的学科..... (1)

二、系统的结构决定系统的
品质..... (2)

三、模型是系统设计的基础..... (4)

四、系统学中的目的性原则..... (8)

五、优化是系统学的核心问
题..... (11)

六、系统的思维原则..... (19)

七、系统学与生产过程自动
化..... (21)

第二章 数学模型的建立和简化

..... (24)

一、建立模型的系统观..... (24)

(一) 确立整体模型的
结构..... (24)

(二) 定性分析模型引
起的困难..... (28)

二、数学模型的基本形式..... (32)

(一)	线性连续系统·····	(32)
(二)	线性系统的离散化·····	(46)
(三)	状态方程的离散化·····	(55)
三、	有目标地进行模型参数的测试·····	(58)
(一)	利用最小二乘法拟合模型·····	(58)
(二)	时间离散系统的拟合模型·····	(74)
四、	数学模型的简化·····	(83)
(一)	保留主极点的降阶方法·····	(84)
(二)	基于状态空间方法的降阶模型·····	(86)
(三)	定阶拟合·····	(111)
(四)	离散定阶拟合·····	(119)
第三章	多变量复杂系统的解耦与控制·····	(148)
一、	系统耦合程度的判断·····	(149)
(一)	重新定义系统耦合度的必要性·····	(150)
(二)	系统的耦合度·····	(152)
(三)	耦合度概念的实用意义·····	(153)
二、	串级解耦方法·····	(158)
(一)	串级解耦的可行性分析·····	(158)
(二)	串级解耦系统特性的估计·····	(161)
(三)	利用串级调节降低系统的耦合度和提高系 统的能见度·····	(164)
(四)	耦合对象的可控性分析·····	(167)
三、	逐次降维解耦方法·····	(170)
(一)	基本结构·····	(171)
(二)	应用举例·····	(175)
(三)	逐次降维解耦方法的证明·····	(180)
四、	任意个支路分离的解耦方法·····	(182)

(一)	分组分离的原理	(182)
(二)	解耦网络的结构	(186)
(三)	解耦的实施过程	(189)
五、	全部支路一次分离的解耦方法	(202)
(一)	矩阵求逆解耦	(202)
(二)	反馈解耦	(204)
(三)	不变性解耦	(207)
六、	在数字计算机上分析与综合解耦控制系统	(213)
第四章	系统逻辑	(224)
一、	开关逻辑与接点控制器设计	(224)
(一)	一个常见的例子	(225)
(二)	开关逻辑	(226)
(三)	列写动作条件函数式	(229)
(四)	开关逻辑的基本定理	(230)
(五)	开关逻辑在自动化系统设计中的应用	(232)
二、	选择逻辑与选择器设计	(234)
(一)	选择器在氨制冷设备控制中的应用	(234)
(二)	选择性逻辑的基本定理	(240)
(三)	排序系统的单一模式	(244)
(四)	排序系统的复合模式	(253)
三、	模糊逻辑与模糊控制器设计	(271)
(一)	温度模糊控制器	(272)
(二)	模糊逻辑	(273)
四、	记忆逻辑与顺序控制器的设计	(281)
(一)	脉冲继电器逻辑	(283)
(二)	算子描述	(292)
五、	概率逻辑与可靠性分析	(297)

(一)	估计安全系统的可靠度	(298)
(二)	概率逻辑	(299)
(三)	概率逻辑的应用	(300)
第五章	系统网络分析	(303)
一、	系统相似模拟	(304)
(一)	相似的普遍性	(304)
(二)	相似准则	(308)
(三)	相似模拟的应用例题	(313)
二、	图论在网络分析中的应用	(318)
(一)	图论的一些基本概念	(318)
(二)	三个重要的拓朴矩阵	(319)
(三)	三种网络矩阵的关系	(324)
(四)	网络的解	(328)
(五)	图论在对象特性分析中的应用	(331)
三、	信号流图在系统分析中的应用	(337)
(一)	切割方法	(337)
(二)	线性信号叠加分离方法	(343)
(三)	多变量信号流图	(352)
第六章	系统优化	(377)
一、	系统结构参数的优化	(377)
(一)	ISE法与ISTSE法准则	(377)
(二)	$\frac{1}{4}$ 衰减法则	(412)
二、	系统优化结构	(450)
(一)	状态反馈控制系统	(450)
(二)	自适应控制系统	(470)

第七章 系统信号的匹配	(496)
一、信号综合汇合点的匹配问题.....	(496)
(一) 一般匹配原理.....	(496)
(二) 设计示例.....	(499)
二、控制输入汇合点的信号匹配问题.....	(503)
(一) 给定值模型与测量值模型的匹配.....	(503)
(二) 具有附加信号的控制输入汇合点的信号匹 配.....	(512)
三、检测点的信号匹配.....	(514)
(一) 信号的迁移、压缩与扩大.....	(514)
(二) 转换过程的匹配.....	(520)
(三) 检测信号的非线性校正.....	(528)
四、信号传输过程的匹配.....	(536)
(一) 内部寄生振荡源与滤波器.....	(537)
(二) 传输线的合适距离.....	(538)
(三) 防止外部干扰.....	(539)
(四) 信号检测迟后或传输迟后的动态补偿.....	(541)
五、系统信号极性的匹配.....	(545)
(一) 环节的极性.....	(545)
(二) 基本回路的信号极性匹配.....	(545)
(三) 多环回路的信号极性匹配.....	(547)
六、控制系统的动态匹配设计方法.....	(550)
(一) 一个系统实验的启示.....	(550)
(二) 系统的设计与动态匹配.....	(551)
七、系统信号匹配方法的应用.....	(560)
(一) 简化交叉限幅系统.....	(560)
(二) 多种燃料混烧系统.....	(569)

八、数字采样系统的信号匹配.....	(576)
(一) 数字控制器与模拟设备的匹配.....	(576)
(二) 多速数据系统的信号匹配.....	(580)
参考文献.....	(584)

第一章

概 述

一、一门研究现代科学方法的学科^[1]

系统论、信息论与控制论是现代科学技术的三大支柱。现代科学的总趋势是新的学科不断从旧的学科中分化、独立并形成自身完整的体系，同时各门学科互相渗透，交叉学科不断创立。在这个背景下，介于社会科学与自然科学中间，以研究科学方法为目标的系统论应运而生。系统论就是整体论、统一论与规范化的方法论。系统学就是研究事物结构层次、信息交换与传递，运动过程的模型化与相关性，思维逻辑和最优控制决策形式的一门科学。

人类在很早以前就有了系统的观点，人们在早期的科学实践中就认识到“世界是一个运动着的整体”，根据这个观点，门捷列夫发现了元素周期律，达尔文创立了进化论，根据这个观点，人们进行了卓有成效的经济与政治体制的改革，创造了人类空前繁

荣的物质与科学文化。

系统学是由许多方面的科学家共同创立的，包括控制理论家、信息论专家、生物学家、心理学家、经济学家、哲学家，因此它是一个综合的科学共同的科学。系统学不是某一门科学发展或分化的结果，是各门学科从分化发展到汇合通融的结果。在这个过程中，自动控制理论与自动化技术起着重要的作用，譬如反馈理论、稳定性理论、系统动力学的观点，都渊源于自动化技术，可以说系统学同自动化技术的关系是最密切的。但是当前自动化系统的设计许多还是凭经验，孤立地分析问题，因此尽管自动化工具不断地更新换代，而生产过程自动化系统的设计水平仍然提高不大。一个关键的问题就是应该在自动化系统的设计中贯彻与运用系统学。

二、系统的结构决定系统的品质^{[2][3]}

系统学的一个重要的观点：系统是分层次的，系统是复杂研究对象的总称，系统是由若干互相依赖、互相作用完成特定功能的有机整体。从哲学的观点看世界是物质的，物质是无限可分的。譬如一个工厂由若干车间组成，车间又由一些工段组成，工段由若干设备组组成，每一个设备又有许多零部件，零部件有不同的材料，材料由一些分子合成，分子又可以分原子，原子又分为中子和质子……，是一个层次分明的系统。结构决定系统的品质，这是系统学的一个重要观点。譬如碳原子可以构成石墨也可以构成金刚石，差别在于结构的不同。一个系统几乎都包含有被控制对象、执行器/调节阀、检测-变送器与调节控制装置四个基本要素，但由于结构不同，控制品质就会有很大的差异。系统层次之间是互相协调，但又各负其责，譬如微机集散控制系统有两种常见的层次结构形式：(1)功能垂直分解；(2)功能水平分解。功

能垂直分解包括四个层次，依次是自组织系统层、自适应系统层、监控层与直接控制层。自组织系统的作用是确定总体控制目标，并根据系统已掌握的资料和数据，及时调整系统的结构。系统能够自动调节自身的组织和活动的特性，这就是系统论中的自组织原则。生命现象是自组织性的体现，因此思维模式、生理及心理结构正在逐步被研究、被复现、被移植到工程控制系统与经济管理系统，以建立合适与健全的系统运行机制。自适应层：系统有适应环境的能力，系统与环境、系统与系统要素是动态的联系，系统受外界刺激产生动态运动的结果可以通过系统的参量来调整。监控层是监督和控制系统运行的边界，或者说是控制系统运动的范围，使它不超越允许的边界。所谓系统的运动就是表征系统本质特性的一组变量变化的动态过程，在这个层次里力求这组特征变量组合的优化。直接控制层是基本控制的单元回路，这些基本回路直接控制系统内部的调整机构或系统与外部转换设备，既是系统决策生效的场所，又是系统获取信息的场所。系统各个层次之间的垂直联系，表明系统有不同的权级，上一级的意志决定下一级的行动，下一级行动的效果影响着上一级的决策。系统的另一种结构是功能水平分解，这种分解是功能的分解、目标的分解，将总体的目标分派给局部系统来完成，局部系统又将其任务分派给它的子系统来完成。无论哪一种结构均呈现树状的结构，如图1-1所示。树是有生命的，包括树根、树干、树枝与树叶乃至土壤与大气构成一个有机的整体，从树苗到参天大树是一个有目标的连续的运动过程。一棵树决不是孤立地、

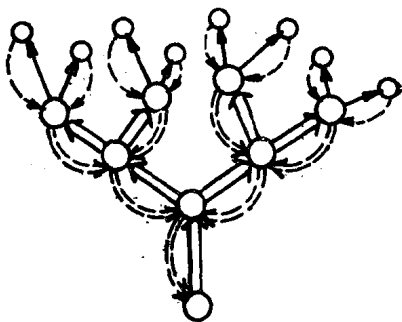


图1-1 系统树

静止地生长在一块土壤上，它要从土壤吸收养料和水分，通过生长的空间获得阳光和空气，创造自身生长的条件，因此除了生长运动以外，还有物质、能量的生物信息的迁移组成一个链状的运动过程，因此，系统是闭环的组织。一个系统往往是某一个大系统中的子系统，而同时自己又包含着若干子系统，系统在特定环境中发挥作用或能力就是系统的功能，系统的结构决定系统的功能。

生产过程控制系统的发展，已从个别或局部的控制发展到整体的控制，其结构也是呈现树状的。生产过程控制系统的运动空间不像树那样单纯，即使是树，其生长运动也会遇到风暴与恶劣气候的限制也不会是单纯的。生产过程的发展受供料、市场和科学技术的进步所影响，所以系统的设计首先是寻找适合生产发展机制的结构。从事自动化系统设计的人们都有这样的体会，一个结构合理的系统可望通过参数的调整获得最好的调节效果，一个不合理的系统结构即使精心调整，往往还是达不到预定的效果。因此结构决定品质是系统论的一个重要观点。

三、模型是系统设计的基础^{[4][5]}

模型是人们认识事物运动规律的集中体现。系统论将系统的功能与结构看作是系统的两个方面，结构是系统与要素、系统与系统的内在联系，是静止的，功能是系统与外部环境的外在联系，是动态的，但是系统的外部与内部是随着系统划分范围而改变的，一个外部的因素由于系统的扩大，就可能演变成系统内部的因素。控制论将具有独立输入与输出的部分称为环节，输入为激励源，输出为响应源，描述环节输入与输出因果响应关系的数学式就是模型。维纳很早就预言到模型在系统中的作用，并且为

了回避建立数学模型的困难，采用了“黑箱”的概念，这对于后来发展起来的由实验数据制作模型起着重要的作用。

客观事物的复杂性使表征事物运动的特征变量的无序程度增加，系统学的一大任务就是在无序、模糊、不确切的因果系统中寻找变量间的量化关系，或者说是研究复杂的无序运动转化成简化的有序运动。生产过程中的复杂运动规律用简化的模型来复现不可能是完全的，只能是某些对应关系的相似或某些重要特征变量在数值上的近似，大量次要、非本质的因素则被省略，所以模型并不是实体，而是运动规律在数学描述上有条件的近似，是人们对实体运动规律认识的高度总结，可以用来指导 解 决 实 际 问 题。

工程中模型有如下几种主要形式：

1. 相似模型

相似模型或称类比模型和模拟、仿真模型，通过电模型来复现被研究对象的运动。

2. 符号模型

它是利用算子加上一些代数方程式、逻辑式或程序式来复现被研究对象的运动。

3. 数学模型

它是直接通过求解数学关系式来了解被研究对象的运动。当被研究对象为生产过程时，称为生产过程的数学模型，当被研究对象为控制器或调节器时称为控制或调节模型。生产过程模型常用如下几种：状态方程式、传递函数、随机序列统计模型（自回归模型、平均移动模型与自回归-平均移动模型）、调节与控制模型，主要有计算反馈控制规律的代数方程式、微分与积分方程式、逻辑函数、排序模型、搜寻函数。上位系统、SPC控制系统或规划调度系统经常应用数理规划模型。系统规模越大，模型的建立往往更加困难。近代由于计算工具与计算技术的发展，模型

辨识的方法得到广泛和充分的研究。一般地说,模型的精度或拟合度越高,模型的阶次就越高。模型阶次越高,求系统控制策略就越困难。Shinna曾称模型阶次的增加是一个灾难,因为它使系统设计者感到束手无策,使得目前最快运算的电子数字计算机感到难于应付与实施。因此建模与模型简化对系统模型工作同等重要,降阶或简化模型必须包含原模型最有代表性、最重要的信息,例如保留主本征值方法。

模型的制作有如下方式:

(1) 由被研究对象的输入与输出响应,直接研究低阶模型,

(2) 由高阶模型降低为低阶模型。

这两种方法在工业生产过程自动化系统中都是经常采用的。

由于控制系统实现的自动化工具(自动化仪表或微型机)不同,模型有时写成连续形式,有时写成离散形式。一般地说,连续系统所拥有的信息比离散系统多,随着数字控制系统采样周期的提高,离散系统会逐渐逼近于连续系统的性能。但是采样频率增加会加重计算机的负担,申农指出:如果采样的角频率 ω_s 高于2倍的输入信号角频率 ω_i ,即

$$\omega_s = \frac{2\pi}{T_s} \geq 2\omega_i \quad (1-1)$$

其中, T_s 为采样周期。

则离散后的信号可以保持原来输入信号的真实性的。模型可以转换,一种形式的模型可以根据系统设计的需要转化成另一种形式的模型。模型转化在自动化系统中应用最多的是连续模型转化成离散的模型,譬如拉普拉斯传递函数可以转化成Z变换传递函数,常用的方法有:

(1) 阶跃响应拟合法

$$G(s) \longleftrightarrow G(z)$$