

统计预测与控制

朱明德 余光辉 编著



中国林业出版社

272975

统计预测与控制

朱明德 余光辉 编著



中国林业出版社

(京) 新登字 033 号

内 容 简 介

本书主要阐述随机性动态系统的定量统计预测与控制。共十三章，包括基本原理、“多对多”线性回归、脉冲响应函数模型、线性差分方程模型、状态空间模型、随机最优控制等及模型程序与算例。

本书从实际出发，取材新颖，既阐明主要概念，又递进式地介绍各种随机数学模型与定量预测及控制方法。所以本书能适应多方面、多种专业的科学工作者、管理人员及预测爱好者的需要。

DV01/23

统计预测与控制

朱明德 余光辉 编著

中国林业出版社出版 (北京西城区刘海胡同 7 号)

新华书店北京发行所发行

艺苑印刷厂印刷

787 × 1092 毫米 16 开本 30.25 印张 736 千字

1993 年 5 月第一版 1993 年 5 月第 1 次印刷

印数 1—2000 册 定价: 25.00 元

ISBN 7—5038—1139—O / F · 0054

前 言

预测、决策，是人类生活、生产及管理活动中必不可少的一种行为，是人的主观能动性的表现。个人、集体、国家或社会，没有不进行预测、决策的。

现代科学技术的发展，人的本能也在变化，犹如原始人的本能与现代人的本能，不可同日而语。尤其直觉与理性及量化科学技术的结合越来越显得需要与突出。当今的信息社会中，预测、决策及其相关的管理理论已处于各种学科的交叉和中心的地位，影响并决定各个领域及各种对象的决策与行为方向。各先进国家都加强了这方面的研究与普遍运用，我国也越来越重视。更多的人已经认识并在研究对各种可能发展途径与潜在事件的未来作出预测、决策。这不仅十分必要而且极为有益。缺少较为准确可靠的预测与决策，常常失去了某些理想的机会，而造成不应有的损失甚至危害。

预测，有定性预测与定量预测。定量预测又分为方案预测与统计预测。

本书所阐述与研究的是统计预测与控制。统计预测与控制是定量地研究随机性系统的未来行为或状态的一门科学。其主要内容涉及回顾、评论历史，立足现状，推测、选择、控制与创造未来。理论依据是系统论、信息论、控制论。所用方法是用变量描述系统的状态，用数学模型定量地反映各变量间的关系及控制变化，控制系统向预定目标转移，使建立模型的多种方法在一定程度上得到集中与统一。基本的方法是集中运用最小二乘法。最小二乘法是多数科学工作者最熟悉、最常用的经典方法，用它来建立系统的预测与控制模型，具有广泛的适应性与实用价值。

本书从实际出发，取材新颖，深入浅出，既阐明主要概念，基本原理，又递进式地介绍各种随机数学模型及定量预测与控制方法。同时，本书将统计预测与控制中的模型与预测控制方法编制了基本 BASIC 语言的运算程序并附以实际的算例，更利于读者掌握和应用统计预测与控制的理论与方法。所以本书能适应多方面、多种专业的科学工作者、管理人员及预测爱好者的需要。

书中“森林资源系统指标体系”为林昌庚教授所撰，“森林生态系统指标体系”为姜志林教授所撰，“林业经济系统指标体系”为马天乐副教授所撰。这些体系，为本书在林业中的应用提供了依据。此外，本书参考了有关国内外专家的研究成果（主要参考方献目录附后），在成书过程中还得到了卢振副教授等多方人士人的关心与支持，中国林业出版社、长江生态科学院的同志给予了大力支持，值此机会，一并致以衷心感谢。

本书第一篇由朱明德编著，第二篇由余光辉编著

作 者

1988.12.于南京林业大学

目 录

前 言

第一篇 统计预测与控制的理论及模型

第一章 基本原理	(1)
§ 1 系统的基本概念	(1)
§ 2 系统的分类	(8)
§ 3 系统的控制	(12)
§ 4 管理系统的概念	(14)
§ 5 系统的模型描述	(16)
§ 6 数学模型的建立	(19)
§ 7 统计预测与控制的基本原理	(22)
§ 8 森林系统的指标体系	(29)
第二章 随机过程	(37)
§ 1 随机向量过程的基本概念	(37)
§ 2 有限阶联合分布族与数字特征	(39)
§ 3 若干重要的随机向量过程	(42)
§ 4 各态历经性与采样定理	(51)
第三章 线性回归模型	(56)
§ 1 “多对多”线性回归模型	(56)
§ 2 参数矩阵的一次估计	(59)
§ 3 递推最小二乘估计	(65)
§ 4 带虚向量的多元线性回归	(74)
第四章 脉冲响应函数模型	(78)
§ 1 脉冲响应函数	(78)
§ 2 模型及最小二乘估计	(80)
第五章 线性差分方程模型	(89)
§ 1 线性自回归模型	(89)
§ 2 带输入项的线性自回归模型	(106)
§ 3 广义回归模型	(122)
第六章 状态空间模型	(142)
§ 1 离散时间随机性系统的状态空间与模型	(143)
§ 2 Kalman 滤波	(149)
§ 3 有色噪声情况下的 Kalman 滤波	(169)
§ 4 推广的 Kalman 滤波器	(176)

§ 5	Kalman 滤波用于系统参数估计	(178)
§ 6	最优平滑	(180)
§ 7	联合 Kalman 滤波	(185)
§ 8	连续时间线性系统的 Kalman 滤波	(191)
第七章	随机最优控制	(204)
§ 1	最小方差控制	(204)
§ 2	标量最小方差自校正调节器	(210)
§ 3	向量最小方差自校正调节器	(213)
§ 4	线性二次型高斯最优控制	(215)
第八章	分散随机控制	(233)
§ 1	森林资源是一个大系统	(233)
§ 2	分散随机控制的原理与方法	(233)
§ 3	实际应用	(240)

第二篇 统计预测与控制的程序及方法

第九章	线性回归模型	(241)
§ 1	“多对多”线性回归模型	(241)
§ 2	多元线性加权回归模型	(250)
§ 3	多元线性回归递推模型	(260)
§ 4	带虚向量的多元线性回归模型	(292)
第十章	输入—输出模型	(313)
§ 1	多输入—多输出模型	(313)
§ 2	多输入—多输出递推模型	(322)
第十一章	线性差分方程模型	(334)
§ 1	线性自回归模型	(334)
§ 2	带输入项的线性自回归递推模型	(375)
第十二章	状态空间模型	(390)
§ 1	Kalman 滤波	(390)
§ 2	有色噪声情况下的 Kalman 滤波	(405)
§ 3	最优平滑模型	(420)
第十三章	随机最优控制模型	(452)
§ 1	最小方差控制模型	(452)
§ 2	参数未知情况下的最小方差控制模型	(455)
§ 3	线性二次型高斯最优控制模型	(464)
参考文献		(479)

第一篇

统计预测与控制理论与模型

第一章 基本原理

§1 系统的基本概念

一、系统、环境、边界

1. 系统与要素

自然界的一切事物都处在不停地运动与相互联系之中。一切物质都存在于一定的具体系统之中，且同时存在于诸多层次的系统中。构成系统的各个组成部分或单元称为系统的要素。由若干个相互联系、相互制约的要素所构成的具有特定功能的有序性整体称为系统。没有系统也无所谓组成要素；没有组成要素的存在，也无所谓系统。系统与要素是相互依存的。要构成一个系统，必须有两个以上的要素。单个要素是不能构成系统的。构成系统的要素可以是离散有限个，也可以是连续无限个。

自然界大至天体，小至微生物的细胞都可看作按一定时序产生、传递与接受能量和信息的系统。

要确定一个系统，先要确定该系统的组成范围与层次。确定系统的组成范围，要明确划分该系统的边界与环境。一个复杂的系统，可分解成分系统、子系统与单元体，它们各处在系统的哪个层次上，以及所研究层次的选择，事先也要明确划分。但系统的划分及不同层次的划分与选择是相对的，有很大的灵活性。不同的划分，可从不同的角度反映客观系统的某种属性。

2. 环境

环境是相对于所研究的对象系统而言的。系统以外的部分称为该系统的外部环境，也称为环境系统，简称环境。换句话说，环境是指与该系统发生一定物质、能量、信息交换

的外部客观存在的状况。

系统与环境处在相互作用之中。环境往往对系统起着约束的作用。系统对环境特定物质、能量、信息的交换要求，是系统对环境的需要。不同的系统选择不同的环境，各在一定的环境中生存和发展。系统对环境具有影响或支配作用。不同的系统对环境往往有不同的作用与影响。在一定的条件下，系统与环境的支配现象会发生转移。随着所研究对象系统的转移，环境也相应地改换。

3.边界

系统的边界是指系统与环境的分界处。边界可以属于该系统，也可以不属于该系统；可以是具体的，也可以是抽象的或模糊不清的。在实际系统中，边界通常可以是几何上的点、线（直线、曲线）、面（平面、曲面）。

边界确定系统的组成范围，将系统与环境分开。系统对环境的影响是通过边界进入环境的。环境对系统的作用也是通过边界进入系统的。系统的边界条件对系统起着约束的作用。

二、输入、输出

系统通过边界与周围环境分离，通过输入、输出信号与周围环境相互联系、相互制约，发生一定物质、能量、信息的流通。

将物质流、能量流、信息流简称为“三流”。在实际工作中，常采用输入变量（或向量）与输出变量（或向量）定量地表示三流，简称输入与输出，这是采用定量方法描述系统行为的出发点。

可见，输入、输出是表示系统与其外部环境相互作用的变量(或向量)。常有下列三种情况：

单输入—单输出，简称“一对一”。

多输入—单输出，简称“一对多”。

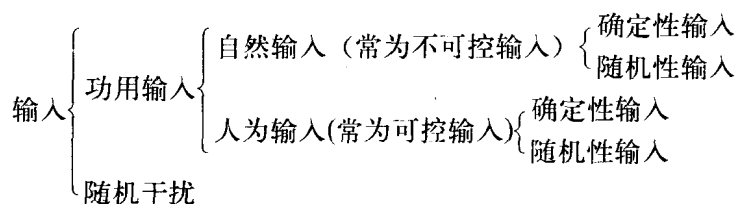
多输入—多输出，简称“多对多”。

1.输入

系统的输入是指由外部源加到该系统上的全部激励。所以，系统的输入作用也称为激励，是由系统外部环境确定，它表示外部环境对系统的作用。换句话说，输入是引起系统运行与变化的外部原因，是原因变量。例如，对森林资源系统来说，激励其运行与变化的原因可列表如下：

原因 { 自然因素：气温、降水量、日照天数、地理位置等
 人为因素：措施、政策、任务、控制等
 随机干扰

根据输入变量（或向量）对系统的作用及其特性，将输入作如下分类：



系统的输入分正输入、零输入、负输入及多余性输入。系统所需要的输入称为正输入。与需要对抗的输入称为负输入，不需要但也无害的输入称为多余性输入。

2. 输出

系统对输入激励产生的反应，称为系统的输出响应，简称系统的输出或系统的响应。它表示系统对外部环境的作用。如结果、效果、期望值等都表示系统的输出，是由系统状态中能从外部直接量测到的值构成的。

系统的输出分正输出、零输出、负输出及多余性输出。如果输出的行为为系统本身的存在和运行所需要，这种输出称为正输出。与需要对抗的输出称为负输出。不需要但也无害的输出称为多余性输出。

3. 变换

系统的作用实质上是从输入到输出的“变换”，只不过这种变换通常极其复杂，变换反映系统的特性。从这个意义上讲，一个系统实际上可理解为一个“变换器”。因此，当“变换”全知时，该系统可形象地称为一个“白箱”；当“变换”全不知时，该系统可形象地称为一个“黑箱”；当“变换”知其一而不知其二时，该系统可形象地称为灰色系统，也称为灰箱。

统计预测与控制所研究的核心问题是寻找系统从输入到输出的“变换”式，那怕是近似的也好。

下列几种变换是系统的基本变换^[5]：

比例——起放大或缩小作用	传递——起通过或传递作用
集散——起集中或分散作用	变向——起改变方向作用
离合——起分开或连合作用	存取——起贮存或取出作用
吸收——起吸收或放出作用	调控——起调节或控制作用
微积——起微分或积分作用	转换——起转换信号的作用
滞延——起保持与延时作用	振荡——起短时往复作用

一些复杂的变换可由这些基本变换组合生成。

三、结构与功能

凡系统都有结构和功能。

1. 结构

系统的结构分横向结构与纵向结构。林业上还将森林资源分布结构分为水平结构与垂直结构。

系统的横向结构是系统特定的层次内结构。例如，系统的同一分系统内各子系统间的横向结构，是指在子系统这个层次上的诸子系统之间及各输入、输出之间相互连接的秩序或方式。这是对诸子系统这个层次而讲的横向结构，特地称为子系统层次结构。同理，可定义分系统层次结构。规定分系统层次结构是较子系统层次结构高一层次结构。所以，系统的横向结构也称为系统的层次结构。

系统的纵向结构是系统的层次间结构，是指系统的高层次结构与低层次结构之间及其输入、输出之间相互联系、协同作用的秩序或方式。一高层次结构与一低层次结构之间的纵向结构为一个纵向结构。

一个系统的全部纵向结构与全部横向结构即所有层次结构与所有纵向结构总称为该系统的系统结构。系统的结构是指系统内部的组织形式，说明系统的存在方式，表示系统的空间特征，是系统内部整体性质的反映。结构的相对稳定性是系统存在的一个基本特点。

可按结构观点将系统分为单层次结构系统与多层次结构系统。

2.功能

系统的功能是指系统与外部环境相互联系过程与相互作用过程的秩序、能力及结果。它由系统的运动表现出来，表示系统的时间特征。它不考虑系统的内部结构，是表达系统与外部环境或其它系统之间的物质、能量和信息的输入、输出的变换关系。

按功能观点可将系统分为单功能系统与多功能系统。

3.结构与功能的关系

结构与功能的关系仍是一个争论不休的问题。“结构决定功能”的观点，目前在林业界也是一个流行的观点。我们认为结构与功能的关系不是一一对应的关系，是辩证统一的关系，两者具有相对的独立性。不同结构的系统可以具有相同的整体功能，或者说，相同的功能可以由不同的结构来实现。这就是所谓“结构不确定性”原则，也称为“同功异构”原则。这一原则的重要意义在于为设计与选择不同结构方案提供了灵活性与可能性。同一结构的系统，可以有多种功能。尤其是在不同的环境中，同一结构的系统更能发挥多种功能。所以，要注意充分发挥结构的作用。

四、系统的共性

1.系统的整体性

系统的整体性是指系统的本质属性，仅在各要素构成一个有机整体时才体现出来，并非各孤立要素的性质所能具备。如钟的一套散零件不等于一只钟，只是在组装成有机整体时才形成钟。一个系统，即使每个要素的素质良好，如果整体性能差，仍不是一个优良系统；但一些不算很理想的要素，有时也能“组装”成一个具有优良整体性能的系统。

(1)系统的整体性表现为系统目标、性质、规律、功能的整体性。①系统整体目标最优，各要素的分目标必须服从系统的总目标。②系统的规律是整体规律，整体规律是系统各要素的集体行为所表现出来的规律。③系统的功能是整体功能。

总之，整体性原则是系统方法的一个基本原则。

(2)系统的整体性表现为整体联系的有机性。系统、要素和环境是有机地联系在一起。表现在系统与要素、要素与要素、系统与环境的相互联系与相互制约上。这三者的辩证统一是系统整体性的基本特点。

(3)、“整体大于各孤立的部分之和”——贝塔朗菲定律。这是系统整体性的又一重要特点，称为系统的整体性效应。

系统理论的先驱、奥地利生物学家贝塔朗菲(L.V.Bertalanffy)对生物系统的研究，提出了著名的“整体大于各孤立的部分之和”。称为贝塔朗菲定律。“整体大于各孤立的部分之和”指的是系统的整体性具有其组成部分在孤立状态所不具备的新特性、新功能、新行为、新规律等。

但贝塔朗菲定律对我们的宇宙来说不是普遍适用的定律。生物系统是目的系统，目的系统总是追求“大于”的，不产生“大于”的生物将被淘汰。但对无机系统就无“大于”可言。对社会系统来说，虽然总体上是不断产生“大于”效果的，但也不能忽视出现局部的，暂时的“等于”或“小于”效果。管理的目的在于使管理对象产生尽可能大的“大于”效果，避免出现“等于”、“小于”效果。

2.系统的有序性

系统的有序性包括系统结构的有序性与系统发展的有序性。

(1)系统结构的有序性表现在系统的层次性上。凡是系统都有结构，结构都有层次，层次是有序的。这就是系统中的一些子系统为高层次子系统，另一些子系统为低层次子系统。系统结构体系中的每一层次都应有各自的功能。

(2)系统发展的有序性。自然界的一切系统都处于不断地变化与发展过程中，只不过这种变化与发展过程是快变化还是慢变化而已。但系统的变化与发展是有顺序的，呈现一定的规律性。

3.系统的集合性

任一系统都是由两个或两个以上必不可少的要素按一定方式组合而成的集合。

4.系统的相关性

系统内各要素之间是相互联系、相互制约的，其中任何要素的变化，都会引起其它要素甚至系统整体的变化。这种性质称为系统的相关性。但系统内往往也包含某些独立性要素。

五、系统的特性

系统的层次由低层次向高层次发展，高层次具有低层次的共性，但又产生了低层次所不具备的特性。

生物系统比无机系统高一层次，因此生物系统除了具有有序性、集合性、相关性及整体性等共性外，又增加了无机系统所不具备的特性，这就是目的性与环境适应性。社会系统比生物系统又高了一个层次，又增加了生物系统所不具备的环境改造性。

1.目的性

具有目的的系统称为目的系统，包括生物系统及社会系统。目的系统都有明确的总目

的，各子系统应在总目的的指引下协同配合，完成各自的分目的。

管理工作中的目标管理，就是根据管理对象的总目标来协调各子系统的分目标。

2.环境适应性

任一系统都存在于一定的外界环境之中。系统内部要素与系统外部环境相互联系、相互影响、相互制约，因而系统能适应外部环境的变化。环境在某种情况下也能适应系统的变化。系统与环境具有相互适应性。所谓环境适应性，是说系统的一定特性(功能)在某一外界环境下能够保持或随环境相应变化。

目的系统之所以具有环境适应性，是与其具有目的性、控制、反馈、调节能力分不开的。系统的目的性、适应性与我们研究的角度有关。

3.环境改造性

社会系统不同于生物系统，生物系统的基本元素是细胞，而社会系统的基本元素是人。动植物只有适应环境的能力，而人具有改造环境的能力。

六、干扰与稳定性

任何系统都处于特定的环境作用之中，都受到来自内部和外部的种种干扰，所谓干扰，就是指把一个系统从一种状态迁移到另一种状态的作用。干扰往往具有随机性，是随机性干扰。随机干扰对系统的“冲击”作用不都是很小的。

一个系统要具有确定的性质和功能，就必须具有能抵抗干扰的稳定性。干扰对系统的状态不发生显著影响，属静态稳定性。运行的系统受到某种干扰而偏离正常状态，当干扰消除后能恢复其正常状态，或系统能自动地趋向某一状态，属动态稳定性。

一个系统，既要考虑它的结构、结构状态的稳定性，又要考虑其运行轨道的稳定性。稳定是系统发展的前提，没有稳定就无所谓系统的发展。

七、时间、空间与因果律

对任一系统的处理，都涉及到“时空”概念。时间和空间是物质运动的存在形式，是系统信息特征中的基本要素，是信息赖以传递和存在的条件之一。由于系统的信息流总是伴随着物质流、能量流，因此时间与空间也总是伴随着物质与能量的运动。任一系统的物质、能量与信息都是随时间变化的。

时间是一种不断流逝的有方向性的非空间的连续统一体。空间是运动物质的广延性。时间与空间只是在确定的参考系下，对特定系统的运动才具有确切的含义并可以量测。

时间信息具有三种含义：①“时刻”（或时点）——事件出现在“特定时候”。②“时间间隔”（或间隔期、步长）——事件演变的“持续时间”。③“时间同步”——两事件“同时”出现或“同时”向前推移。

系统随时间的变化、发展过程无不有它的过去、现在与未来。这就将时间轴相应地划分为三部分：过去—现在—未来。

任一系统的变化、发展过程都是按照这样的时间顺序向前推移。

任何系统的变化、发展都是由一定的原因引起的，都是在内因与外因的共同作用下变化、发展的。通常称这种系统为因果系统。因果系统是一个“不推不动”的有序系统。我们所讨论的系统一般为因果系统。这种系统的变化、发展结果与引起其变化、发展的原因之间存在着因果关系。因果关系既反映系统的结果与原因之间的本质联系又反映系统的本质特性与功能。因果关系必须满足因果律。因果律有两层含义：

一是任一系统的变化、发展结果都有其产生的原因，任何原因都必然引起一定的结果，没有原因的结果和不产生结果的原因都是不存在的。

二是系统的变化、发展结果不会出现在原因之前。这是从原因与结果出现的时间而论的，它包括两种情况。①结果与原因同步出现，两者无时差，也即出现结果相对于施加原因而论不存在时间滞后。②原因在先、结果在后，两者存在时差，也即现在施加的原因，其结果需在未来的一定时刻才完全显现出来，或者说现在出现的结果依赖于过去的原因，这种现象称为滞后(或时延、延迟)现象。

由以上可知，因果系统的概念要求有原因与结果的时间描述，从而构成原因变量(原因向量)与结果变量(结果向量)。将原因变量称为系统的输入变量(输入向量)，简称输入。将结果变量称为系统的输出变量(输出向量)，简称输出。

有两种引入时间的方法。①是采用连续时间描述，处理的原因变量与结果变量都是时间的函数。②采用离散时间描述，处理的是时间序列。

在统计预测与控制工作中，正确认识和把握所研究系统的因果关系是做好预测与控制的重要条件。科学的预测与控制，是以正确认识和把握系统的因果关系为前提。在此前提下，统计预测与控制的一个典型问题可归纳如下：已知一系统，当给定了原因变量的时间函数(或时间序列)后，能否找到一个“变换”式来表示结果变量的时间函数(或时间序列)?换句话说，当给定了系统的输入后，能否找到一个“变换”式来表示相应的输出?

八、因变、突变与灾变

因变与突变是从状态的变化着眼的。

如果系统的状态由控制因素的取值决定，并随着控制因素的变化而变化，是控制因素的函数，不显含时间，这种状态变化称为因变。因变是稳定状态情况的变化方式，控制因素以外的随机扰动不能使状态随时间有规律的改变。

如果系统的状态变化发生在控制因素不变的条件下，由状态自身的非稳定推动，称此状态变化为突变。它是量变质变规律的具体充实。突变是以内因为主引起的状态变化，在突变过程中控制因素不能决定状态，外因的贡献在突变以前已被吸收进内部因素。人类创造性的机理是突变论。

灾变是使系统的基本结构遭受摧毁的一种异常发展过程。外部条件的灾变性变化往往带有不可控制的性质，是系统发生灾变的主要原因，对系统的灾变起着重要作用。灾变性预测是以灾变条件的研究为基础，以灾变先兆的研究为依据，参照灾变周期的研究而作出的综合判断。

九、系统观点与系统方法

系统观点是指系统的共性观点。

系统方法是指把研究对象视作系统，从系统观点出发，着重从系统与要素、要素与要素、系统与外部环境之间的相互联系、相互作用、相互制约关系中综合地、精确地考察对象，以达到最优地处理问题的一种立足整体、统筹全局的科学方法。应遵循整体性、历时性(系统的产生、经历的发展阶段、消亡的历史)、最优化(在多方案中选择出一种最优方案，使系统处于最优状态)原则。

现代科学技术的特征是高度分化与高度综合。对个别事物的研究发展到对系统的研究。从单值的研究发展到多值的研究。从单方向的研究发展到矩阵与网络的研究。从单目标函数研究发展到结构的研究。系统论以上述四方面问题为研究对象，并在科学决策方面起重要作用，也是控制论的基础。

§ 2 系统的分类

一、无机系统、生物系统及社会系统

按系统的自然发展层次来划分。

(1) 无机系统：由自然界的无机物质构成的系统，又称为无目的系统，如矿物结构系统、原子结构系统。

(2) 生物系统：由生命物质构成的系统，如动物群体系统、植物群体系统、人体系统。

(3) 社会系统：以人为基本单元的系统。

生物系统与社会系统总称为目的系统。

二、自然系统与人造系统

按组成要素子系统的性质来划分。

(1) 自然系统，如生态系统、气象系统、星空系统。

(2) 人造系统，如交通系统、管理系统、学科体系与技术体系、工程技术系统。

三、闭环系统与开环系统

按系统与环境联系的密切程度来划分。

(1) 闭环系统: 系统与环境联系不密切, 即系统很少与环境发生物质、能量、信息的交换。闭环系统一般是稳定的系统。

(2) 开环系统: 系统与环境经常有较多的物质、能量、信息的交换。这种交换影响着系统的结构、功能和发展, 开环系统通常是不稳定的系统。

四、静态系统与动态系统

按系统的输入、输出与时间的关系划分。

(1) 静态系统: 系统在任意时刻 t 的输出仅依赖于同一时刻的输入。这种系统的状态不随时间改变, 是相对稳定的系统。它具有两个显著的特性: ① 满足因果律, 系统在任意时刻 t 的输出不受时刻 t 以后的输入影响。② 无记忆能力, 系统在任意时刻 t 的输出也不受时刻 t 以前的输入影响。它对历史上的输入无记忆能力。所以, 静态系统也称为无记忆系统。

用变换表示静态系统输入、输出的关系为

$$Y(t) = h[U(t)]$$

所以静态系统是时间不变量。

(2) 动态系统: 系统在任意时刻 t 的输出不仅依赖于同一时刻的输入, 还依赖于该时刻以前的输入。它是由一个平衡稳定状态到另一个平衡稳定状态的过程, 是由各种正常的输入与不正常的干扰引起的。所以, 在各种输入与干扰作用下, 系统可能产生什么样的输出(即后果、效果、结果)是我们解决的首要问题。这就要求掌握从输入到输出的动态传递规律。它具有两个显著的特性: ① 满足因果律。② 对历史上的输入具有记忆能力。这种系统在任意时刻 t 的输出不仅受该时刻的输入影响, 还受该时刻以前的输入影响。它具有储能功能, 强烈地记忆着过去, 所以我们也称动态系统为有记忆系统。

静态系统与动态系统有相似处, 也有严格的区别。两者都属于因果系统的类型, 这是它们的相似处。区别在于:

(1) 静态系统在施加输入与出现输出之间无时间滞后, 故可以说静态系统是一个对输入反应灵敏的系统; 动态系统对于现在的任一输入(如某项措施), 由于有记忆, 存在时间滞后, 其输出(如某种结果)需要在未来的某个时刻才能完全显现出来, 这就存在着一个用时间函数表示输入与输出的过程, 一般地说它是一个随机过程。所以, 我们也可说动态系统是一个对输入反应缓慢的系统。这是两者最本质的区别。

(2) 静态系统所采用的数学模型是一组联立的代数方程; 动态系统所采用的数学模型通常是一组联立的差分方程或常微分方程。

五、确定性系统与随机性系统

按系统的输出特性划分。

给定一系统，相应的变换为 h ，对两结局 ξ_1 与 ξ_2 ，已知对任一 t 有

$$Y(t, \xi_1) = h[X(t, \xi_1), U(t), t]$$

$$Y(t, \xi_2) = h[X(t, \xi_2), U(t), t]$$

当两输入

$$X(t, \xi_1) = X(t, \xi_2)$$

时，如有两输出

$$Y(t, \xi_1) = Y(t, \xi_2)$$

成立，则称该系统是确定性系统。如有

$$Y(t, \xi_1) \neq Y(t, \xi_2)$$

成立，则称该系统是随机性系统。

(1) 确定性系统的特点是：①当系统的初态和输入确定后，系统的状态就唯一地确定。因此，确定性系统是可重复性、可再生性系统。②系统的行为或状态采用确定性函数描述。

(2) 随机性系统的特点是：①系统的初态和输入确定后，系统的状态具有不确定性，唯一能确定的是系统状态的概率。②系统的行为或状态采用随机性函数描述。

六、连续时间系统与离散时间系统

根据系统在时间轴上的定义域划分。

(1) 连续时间系统：系统在有限时间区间或整个时间轴上定义。连续时间确定性动态系统用确定性常微分方程或常微分方程组描述。连续时间随机性动态系统用随机微分方程或随机微分方程组描述。

(2) 离散时间系统：系统在有限个或可列个时点上定义。离散时间确定性动态系统用确定性差分方程或差分方程组描述。离散时间随机性动态系统用随机差分方程或随机差分方程组描述。

在实际工作中，常采用离散化方法或利用采样方法将连续时间系统转化为离散时间系统。

七、线性系统与非线性系统

按描述系统的方程划分。

设一系统的输出为 $Y(t)$, 输入为 $u(t)$, 有

$$Y(t) = L[u(t)]$$

称 L 是一线性变换, 如果对任意 a_1, a_2 , 及 $u_1(t)$ 与 $u_2(t)$, 有

$$L[a_1 u_1(t) + a_2 u_2(t)] = a_1 L[u_1(t)] + a_2 L[u_2(t)]$$

成立。特别当

$$L[0] = 0$$

时, 称 L 为线性齐次变换, 即在零输入作用下系统的响应为零。这时, 称该系统为线性系统。

当 L 为非线性变换时, 称该系统为非线性系统。

在实际工作中, 常采用线性化方法将非线性系统转化为线性系统。

八、时变系统与时不变系统

按系统参数是否随时间变化而定。

(1) 时变系统: 系统的参数是时间的函数, 也称为非定常系统。

(2) 时不变系统: 系统的参数是常量, 也称为定常系统。

在实际工作中, 当时间间隔很小时, 则在此间隔期内可将时变参数近似地当作时不变参数处理。

九、实体系统与概念系统

森林、湖海、电子、机械等系统为实体系统。

由概念、原理、方法、法则、制度、程序等非物质组成的系统称为概念系统, 如学科体系系统、法律体系系统、政策及制度体系系统、计算机软件系统。

十、对象系统

按具体研究对象区分, 就产生了各种各样的对象系统, 如工程系统、操作系统、军事系统、管理系统。