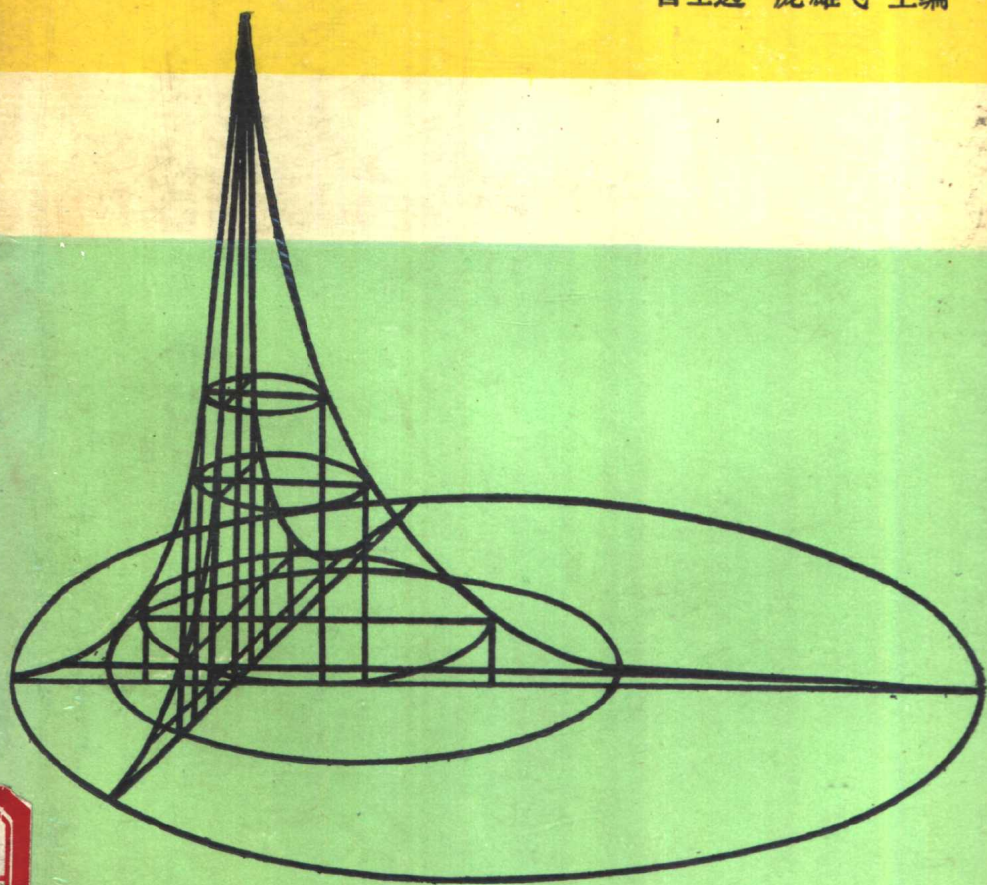


系统科学在植物保护 研究中的应用

曾士迈 庞雄飞 主编



农业出版社

系统科学在植物保护研究 中的应用

曾士迈 庞雄飞 主编

农 业 出 版 社

**系统科学在植物保护研究
中的应用**

曾士迈 庞雄飞 主编

• • •

责任编辑 杨国栋

农业出版社出版（北京朝阳区枣营路）

新华书店北京发行所发行 通县向阳印刷厂印刷

850×1168 mm 32开本 12.25印张 301千字

1990年5月第1版 1990年5月北京第1次印刷

印数 1—635册 定价 11.95元

ISBN 7-109-01497-5/S·1032

引 言

我们两位主编，曾士迈专攻植物病理学，庞雄飞专攻昆虫生态学，带着将系统科学应用于植物保护的浓厚兴趣，参加了1986年在成都举行的第二次全国农作物病虫害综合防治学术讨论会，在会上分别作了半个小时的报告，说明系统科学在植物保护研究中的应用的必要性，引起代表们的争论和兴趣，也得到不少代表的鼓励和支持。

会议恰好把我们安排在同一个房间住宿，在短短的5天内，我们在不同的学科领域中讨论了共同的问题，也邀集了一些同好共同研究，从而提出编写本书的设想。

1974年在广东韶关举办的第一次全国农作物病虫害综合防治学术讨论会上，提出了“预防为主，综合防治”的植保方针。实践证明，这个方针是正确的，它推动着植保工作的发展，同时，也提出了如何研究综合防治、包括理论和方法上的问题。在第一次至第二次综合防治学术讨论会的12年间，系统科学的发展是异常迅速的。在我国，1982年钱学森同志大力倡导和组织系统理论、控制论的学习，在工程科学和管理科学中都取得进展，在实践中也取得成果。系统工程和控制论，在我国已经成为研究生培养的独立的二级学科，不少大专院校也列为基础课程之一。

在系统论和控制论的形成过程中，生物科学的成就，是其主要来源之一。例如系统论的奠基者 Bertalanffy，他是奥地利的生物学家。Wiener的控制论的奠基著作，其书名为《控制论或关于在动物和机器中控制和通讯的科学》。然而，在发展过

程中，系统科学在生物学研究中的应用反而比较薄弱。其原因可能是多种多样的。在这里，我们不打算讨论近代自然科学哲学史中一些观点带来的影响，这可能是其中的一个原因；有人怀疑，能否应用工程科学中发展起来的系统科学方法去研究如此复杂的生物学问题，这可能是其中的又一原因。的确，生物系统是相当复杂的，植病流行的研究对象是复杂的，昆虫种群的研究对象是复杂的。面对这样的复杂问题，或者是回避，或者是找寻研究的思路和解决的办法。经过多年的工作和探索，当我们学习了系统科学的一些知识，粗浅地了解系统科学的进展，我们认为，系统科学的思想和方法，是解决这些复杂问题的途径。

我们是基于激情，而不是基于已有的成果来组织本书的编写。我们希望，通过本书提出问题，推动系统科学在植物保护研究中的应用。希望我国在这个领域中不断取得成果。也希望读者能向我们指出本书的错误和不足，以便在工作中不断改正。

对读者表示衷心的感谢！

编 者

1988.5.

目 录

引言

第一篇 概说..... (1)

系统科学与病虫害综合防治 庞雄飞 (1)

第二篇 植病流行病学研究..... (16)

系统分析和电算模拟在植病流行病学研究上的应用 曾士迈 (16)

SIMLR——小麦叶锈病流行的模拟模型.....

.....董金琢 苏海 曾士迈 (42)

小麦叶片生长模型——用于小麦叶部病害的综合治理.....

.....董金琢 马奇祥 (55)

小麦条锈病慢锈抗性的流行病学分析.....骆勇 曾士迈 (65)

系统分析方法在病害流行规律研究上的应用——小麦条锈病

春季流行的时间动态.....肖悦岩 (75)

小麦条锈病春季流行的空间动态赵美琦 (99)

系统分析方法在防治决策上的应用——小麦条锈病的损失估计

和防治指标的研究.....肖悦岩 (125)

小麦条锈病大区流行模型的雏型试制PANCRIN.....曾士迈 (151)

第三篇 害虫种群研究..... (166)

昆虫种群生命系统及其控制.....

.....庞雄飞 梁广文 尤民生 吴伟坚 (166)

稻纵卷叶螟种群生命系统的模拟与控制.....梁广文 庞雄飞 (207)

褐稻虱种群生命系统的研究.....吴伟坚 庞雄飞 (250)

系统模型在粉虱防治策略研究中的应用.....徐汝梅 (278)

积分自回归滑动平均模型在害虫预测上的应用...辛绍石 胡正军 (290)

模糊近似推理方法在山西草地螟发生预测上的应用.....	鲁光球 (317)
第四篇 植保工作的系统工程.....	(332)
农作物病虫测报系统工程维析.....	胡伯海 (332)
应用层次分析法对病虫害测报体系进行评估分析的初步研究	
.....	骆勇 孟和平 (351)
植保系统工程拟议.....	曾士迈 (368)

第一篇 概 说

系统科学与病虫害综合防治

庞 雄 飞

系统科学把系统作为研究的对象。

系统是普遍存在的。世界事物的不同层次都可以看到系统结构。当人类按照客观世界的本来面貌认识世界，系统概念或系统思想也就产生了。“系统概念来源于古代人类社会实践经验”。“系统思想经过两千多年的演变，最后到了一百年前，恩格斯把它明确了，成为真正辩证唯物主义的、科学的、现代系统的思想。然后又经过半个世纪，才真正实际应用来解决具体的问题”（钱学森，1982）。形成了一门研究系统的科学。

近50年来，系统科学正在迅速发展。根据当前已有的成果看来，“它包括直接改造世界的技术——各种系统工程，和与系统工程直接有关的基础理论（或叫应用科学），象运筹学、控制论、信息论等等”（钱学森，1986）。与此同时，钱学森（1986）还进一步提出建立系统科学体系的基础科学——系统学，和系统科学的哲学——系统论。在这里，系统科学被划分为三个层次，即工程技术层次、技术科学层次和基础理论层次。在工程技术层次中，系统工程已在实践中形成了自身的结构，在各学科部门中发挥着重大的作用；在技术科学层次中的各门横向学科已取得了丰硕的成果，并在应用中得到检验，显示其巨大的生命力；基础理论层次也正在形成之中。

作为系统科学在半个世纪以来的发展历程中，常常提到奥地利生物学家L.V.Bertalanffy, 1937年首先提出了一般系统论的基本思想，1945年发表了《关于一般系统论》，对系统科学的迅速发展起着重要的作用（引自朴昌根, 1986）。Bertalanffy (1972) 进一步明确系统的定义，认为“系统的定义可以确定为处于一定的相互关系中并与环境发生关系的各组成部分（要素）的总体（集）”。

不同学者对系统所下的定义虽然不完全相同，但其基本点却是十分近似的。例如Forrester (1961, 1975) 把系统定义为“为了一个共同的目的而一起运行的各部分的组合”。秋山穰、西川智登 (1977) 认为：“相互间具有有机联系的组成部分结合起来，成为一个能完成特定功能的总体，这种各组成部分的有机结合体就称为系统”。钱学森等 (1978) 认为：“把极其复杂的研究对象称为系统，即由相互依赖的若干组成部分结合的具有特定功能的有机整体，而且这个‘系统’本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分”。刘龄德、夏国平 (1985) 认为：“系统就是由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合的具有特定功能的有机整体”。

现代科学技术对系统的研究作出了重大的贡献。首先，对复杂的系统不但定性描述，而且力求定量研究错综复杂的事物和过程的相互关系及动态；也为定量描述发展了一系列的方法以及提供了强有力的计算工具——电子计算机。在这基础上发展成为一门有理论概念，有特定研究方法的横向科学体系。近20多年来，系统科学的发展更快。系统科学表现出强大的生命力，这与系统思想应用于改造世界有关。“用系统思想直接改造客观世界的技术，这是系统工程”（钱学森, 1982）。系统工程在工程技术、管理方法中取得了愈来愈明显的应用成果。包含在系统科学之中，作为系统科学组成部分的控制论、信息论、运筹学等，形成了一套比较完整的科学方法体系。应用微分方程、傅里叶变换、

拉普拉斯变换、传递函数以及频域技术、状态空间分析方法，以及进一步把这些方法归并于一个框架之中，从而把连续时间系统与离散时间系统统一起来。应用这些方法可以研究系统的行为、系统的动态性能、系统的优化、系统的预测、系统的控制等。特别是在近年来正在发展的大系统理论，在解决多组分、多层次的复杂系统（大系统）的分散控制和分层递阶控制等取得的理论和方法论上的成果，将会对系统的研究发生重要的影响。这里仅从系统、系统的控制、大系统的分散控制和递阶控制分别讨论系统科学在病虫综合防治研究中应用的有关问题。

一、系 统

不同系统的组成可以千差万别，系统的大小可以相差悬殊，但均具有一些共同的基本性质，其中包括：

1. 系统具有层次结构 系统(system)本身存在于一个更大的系统(supersystem)之中，系统的内部可以包括若干个子系统(subsystems)。这个基本性质称为系统的层次性，反映了客观世界的本来面貌。

2. 系统由各组成部分构成统一的整体 系统的内部由两个或两个以上的组分(components)或子系统所组成。组分或子系统是可以相互区别的，是相对独立的，同时也是相互联系的。为了便于描述，常常也把组分或子系统称为系统的状态(states)。

按照研究的目的，必须选择组分与组分（或组分与子系统，子系统与子系统）之间可以转换为量的转移关系的纽带，与系统的输入和输出联系在一起而构成相互联系的整体。

3. 系统具有特定的功能 每一系统都有其独自的功能。功能不同，使不同系统具有不同的特性。在总体输入和各种因子的共同作用下，系统内部的组分或子系统分别承担其中一部分功

能,全部组分或全部子系统完成总体功能,产生总体输出的效应。

4.系统受环境的影响 系统还存在着外界因素的影响,即环境对系统的作用。特别是在自然系统中,外界环境因素的作用更为明显。在生态系统的研究中,往往把作用于系统的各种环境认定为系统本身的空间边界。

把研究和考察的对象看成是一个系统整体,这对曾经学习辩证唯物主义的人来说并不陌生。辩证唯物主义认为,物质世界是由相互联系、相互作用、相互依存、相互制约的事物和过程所形成的统一整体。这是辩证唯物主义的基本原理,在世界观和认识论上对系统思想的高度概括。前面提到的 L.V.Bertalanffy 在回顾一般系统论的形成过程时,就明确地把“马克思和恩格斯的辩证法”列举为一般系统论的思想来源之一(引自刘龄德等,1985)。

“生态学是研究生物与环境相互关系的科学”。Haeckel (1870) 在生物学中首先应用生态学 (Ecology) 的名称并给予上述定义,说明了生态学研究生物与生物之间,生物与物理环境之间的相互关系。生态学是病虫综合防治的基础。曾经学习生态学的对系统思想和上面描述的系统特点并不陌生。生态学是以自然系统作为研究对象的。系统科学的形成和发展与生态学密切相关。Tansley (1935) 首先应用生态系统 (Ecosystem) 的术语,表达生物与生物之间,生物与物理环境之间的相互依存、彼此制约、共同发展、形成一个自然整体的基本思想。随后,系统生态学 (Systems Ecology) 受到普遍重视。系统生态学把一个生境内的各种生物,以及作用于生物的环境看成是相互联系的整体,把各种生产者、消费者、分解者、贮存者作为各个相对独立的状态,以能流、物质流、信息流、价值流等作为相互联系的纽带,研究生态系统的形成、演替、进化、发展,以及从人

类的长远利益出发,研究生态系统的优化控制问题。H.T.Odum和E.P.Odum对系统生态学的形成和发展作出了重要的贡献。Odum (1983) 曾经出版了专著《系统生态学》,对系统科学应用于生态系统的研究进行了比较全面的论述。

目前,不少生态学者认为,生态学不但研究现状,进行现状的描述,而且要研究过去和未来。在过去、现状研究的基础上预测未来、控制未来(庞雄飞等,1986)。系统科学的理论和方法正在促进生态学的发展,使生态学进入定量研究领域,不断揭示生态系统中的相互联系、相互作用、相互依存、相互制约的规律性,以及进一步研究生态系统的优化控制问题。

系统生态学研究的一个分支是农业生态学。农业生态学以农业为研究对象,“是运用生态学和系统论的观点及方法,把农业生物与其自然和社会环境作为一个整体,研究其中的相互联系、协同演变、调节控制和平衡发展规律的科学”。“系统科学是农业生态学的重要方法论基础”(骆世明等,1987)。

种群生态学是害虫防治的重要基础。人口统计学是种群生态学的来源之一(伊藤,1975)。种群生态学研究的生命表方法,早在17世纪,Graunt (1662) 提出设想, Halley (1693) 发展应用于人寿保险统计之中。生命表方法把一个特定范围内的人口按年龄阶段划分为不同的状态,以统计各年龄状态的死亡概率及死亡原因。随后, Lewis (1942), Leslie (1945) 在这基础上建立了种群矩阵模型,以年龄阶段划分为状态,以各年龄的数量作为状态向量,以各年龄的存活率及生殖力作为状态的转移关系,应用于预测人口的数量动态。Morris and Miller (1954) 首先应用生命表方法研究昆虫自然种群。Watt (1961, 1963) Morris (1963) 建立种群数学模型,应用这个数学模型对种群数量动态进行系统分析。生命表方法、Morris-watt种群数学模型、Lewis-Leslie种群矩阵模型,是种群生态学研究的重要

方法。这些方法与系统科学方法是甚为近似的，是相互适应的。不能认为这些方法来源于系统科学，也难于断定这些方法对系统科学方法的发展曾经发生何种影响。正如系统科学的发展过程中，生物学家 Bertalanffy (1945) 发展了一般系统论，生物学家 Miller (1978) 提出了一般生命系统理论，物理化学家 Eigen (1971) 提出超循环理论，物理学家 Prigogine (1969) 提出耗散结构理论，物理学家 Haken (1977) 提出协同学以及 Wiener (1948) 提出控制论，Shannon (1948) 提出信息论等等。这些科学家在不同的科学领域中提出了系统理论，这些系统理论汇集在一起，共同对系统科学的形成和发展起着重要的作用。种群生态学早期发展的这些系统分析方法，使种群生态学者更容易接受系统科学，更容易应用系统科学方法而促进种群生态学的发展。

在种群生态学的研究中，Geier (1964) 提出了种群生命系统 (Life systems) 的基本概念。Clark et al (1967) 进一步认为：“生命系统由一个对象种群和影响对象种群的环境所组成”。“影响对象种群的环境包括全部作用于种群的外界因子，其中包括人类的活动在内”。Hughes et al (1984) 进一步阐明，“生态学家通常把种群看成是占领一个特定空间的同种个体的组合，生命系统的研究把作用于对象种群的环境看成是系统的空间边界”。Hughes et al (1984)，庞雄飞等 (1986) 对种群生命系统研究方法作了综述性介绍。种群生命系统把系统科学方法与种群的研究结合起来。Ruesink (1976) 曾经作了如下的叙述，“昆虫学研究昆虫，系统科学研究系统……”。种群生命系统的概念“对应用昆虫学家来说是一个有成效的起点”。种群生命系统的概念和方法源于系统科学，同时，随着系统科学的进展而不断补充和发展。关于种群生命系统的研究将在本书中的另外章节进行介绍。

植物病理学是研究植物病害现象、原因、发生发展和流行规律及防治方法的学科。奠基于19世纪中叶。应用近代科学方法分析研究和防治病害,一般认为是从de Bary (1853)关于黑粉病菌的专著开始的。随着研究的发展,逐步认识到病原物、寄主植物和环境三方面在病害发生发展中的作用, Gaumann (1946, 1951)从病原物的寄生适应性和寄主的感病性相对应的观点,阐明感染的基本原理, Flor (1946, 1947)从遗传学方面证实了寄主抗病性和病原物致病性的关系,为植病流行学的形成奠定了基础。Vanderplank (1960, 1963)进行了病害流行进展的定量研究。Kranz (1974)总结了植病流行研究方面从定性—描述阶段进入定量—动态阶段的研究成果,讨论了病原物、寄主植物、环境、时间和空间五个决定着侵染程度的因子和他们的相互作用(曾士迈、杨滇, 1986)。打下了应用系统科学方法研究植物病害流行学的基础。

植物病害流行学是现代出现的一门综合科学。“……仅仅按照传统的学术观点和实验研究技术,已不能适应流行学研究的要求。因此,近年一些研究工作者在从生态学吸取适用的概念和方法的同时,应用了普通系统论的理论和系统论、控制论和信息论的方法”。认为,“系统理论和系统分析是植病流行的有力工具”。“应用系统的观点和系统分析的方法研究植病流行问题,是近年植病流行研究的一个重要途径。我们把这个途径的流行研究称为系统流行学”(曾士迈等1986)。植物病害流行学应用系统科学的原理和方法,正在不断取得进展。

有害生物协调管理(IPM)的研究迅速发展,其发展过程与系统处理方法(System approach)密切地联系在一起。Wat (1966 ed.), Haynes (1971), Stark et al (1971), Geier et al (1973), Giese et al (1975), Stark (1973, 1973, 1975), Ruesink (1976), Tumala et al (1976

eds.), Huffaker (1980 ed.), Huffaker and Rabb (1984 eds.) 应用或综述了系统处理方法或系统分析方法 (System analysis) 研究有害生物协调管理问题取得的成果。其中美国 1972—1978年由 C. B. Huffaker 主持执行的有害生物协调管理计划 (1972—1978 Huffaker IPM Project) 所起的作用是比较明显的。计划执行开始, Huffaker et al (1974) 特别强调系统处理方法 (或系统分析方法) 的应用。Huffaker (1980 ed.) 的《有害生物防治新技术》一书介绍了系统处理方法及其应用于有害生物协调管理研究的成果。Frisbie and Adkisson (in Hoy et al, 1985) 认为, “1972—1978年由 G. B. Huffaker 主持的有害生物协调管理计划, 引进了系统科学作为研究昆虫种群及其管理的基础, 并在实践中取得了高度的成就。”

系统科学使生态学、农业生态学、种群生态学、植物病理学和研究有害生物协调管理问题取得了新的进展。这些进展说明了系统概念和系统处理方法 (系统分析方法) 应用于解决病虫害综合防治的可能性和实践性。可以认为, 这是系统科学应用于解决病虫害综合防治问题的良好开端。

在害虫的研究中, 把害虫种群看成是一个系统, 按其发育阶段或发育历期划分为不同的状态, 以存活率和生殖力作为状态间相互联系的纽带, 把作用于种群的各种因子看成是系统的空间边界。这样, 不同状态分别与一个或少数作用因子相联系, 完成系统的一部分功能, 全部状态共同完成系统的总体功能。这样的单种种群系统——种群生命系统模型结构成为种群动态研究的基本框架。在不少对象害虫的研究中, 把重要因子和关键因子与其作用的状态的数量关系构成子系统, 完成系统的完整描述, 用于分析种群数量动态和预测种群数量发展趋势, 使害虫种群数量动态的研究和种群数量发展趋势的预测水平不断提高。

在植物病理学中, 把植病流行看成是一个系统, 病原物、寄

主和病害被看成是这个系统中的三个子系统，这三个子系统有其各自发展的状态，同时也相互联系在一起。环境作用于各个子系统而产生不同的反应。由此建立的系统模型对病害流行的预测和控制研究起着重要的作用。

作为病虫害综合防治，不仅要研究数量动态及其预测，与此同时，还必须研究其数量控制问题。

二、系统的控制

在病虫害综合防治中，要求解决害虫的种群数量控制和植病流行的控制问题。把种群看成是一个系统，把植病流行看成是一个系统，有可能通过改变控制变量而实现控制。控制论提供系统控制的基本思想和研究的具体方法。

Wiener (1948) 的《控制论或关于在动物和机器中控制和通讯的科学》一书，奠定了控制论发展的基础。钱学森 (1954) 的《工程控制论》为工程控制论本身的发展和控制论的普及应用作出了贡献。30多年来，控制论的发展已经历了经典控制论、现代控制论和大系统理论三个发展阶段。在控制论方法本身的研究和控制论在各个领域中的运用，都不断创造新的成绩。

控制论发展的早期，经典控制论一般以研究单变量系统为主，用频率法研究控制系统动态特性，在特定输入下研究系统输出的运动规律和按一定动态性能要求来改变这种运动规律。现代控制论是在经典控制论的基础上发展起来的，建立在系统的状态和状态空间分析法的基础上，研究系统状态的运动规律，并按照所要求的各种指标最优为目标来改变这种运动规律。对系统的控制来说，状态空间分析法是一种更全面描述系统性能的方法，较容易把分析结果推广到非线性系统和时变系统。

Goh et al (1974), Conway (1977), Shoemaker (1977) 等曾经应用最优化控制方法研究害虫问题。Goh (1980)

在《生物种群的管理和分析》中，详细讨论了系统的优化控制及系统的稳定性，并应用于研究生态系统和种群系统。这些研究是控制论应用于病、虫系统控制的良好开端。

宋健、于景元（1985）在《人口控制论》中应用控制论方法研究中国的人口控制问题，其中特别是应用状态方程建立人口发展模型，为种群系统的控制研究作出了良好的范例。

庞雄飞等（1986）曾经讨论了状态空间分析方法研究种群生命系统控制的可能性。庞雄飞等（1988）讨论了适应于昆虫种群生命系统研究的状态方程和输出方程。关于应用状态空间分析法研究生命系统的控制问题，将在其他章节进行讨论。

三、递阶控制和分散控制

“递阶控制和分散控制的理论和应用，以及与此相联系的多目标优化和决策，是当前大系统理论（Large scale system theory）研究的活跃领域（邵福庆，1987）。”“自70年代开始，关于大系统理论及其应用的研究逐渐形成一个专门领域。它综合了近代控制理论、图论、数学规划和决策论等方面的成果，不仅把复杂的工业技术系统作为研究的对象，并已扩展到社会、政治经济系统和生态系统中。……所以有人把大系统理论及其应用的研究看作是控制理论的发展已进入到第三代的标志。……在应用方面，国外在工农业、社会经济、资源开发、水源管理、交通运输、环境保护等方面已有不少成功的例子。国内在管理系统、能源系统的开发和利用，人口经济系统等方面也都开始有了应用并取得了一定的成果”（李人厚、邵福庆，1986）。

关于大系统，目前还没有确切的定义。“一般认为，可以粗略地定义大系统是规模庞大、结构复杂、目标多样、功能综合、因素众多的系统”（刘龄德、夏国平，1985）。大系统模型往往维数众多，层次重叠，各级时标复杂，或包含多个相互关联的子系