

“大系统控制” 浅谈—1

涂序彦 北京科技大学

什么是“大系统”？“大系统理论”如何产生？“大系统理论”面临什么难题？这是我们首先要谈的问题。

1. 什么是“大系统”

现代社会日趋系统化、信息化、网络化，在工程技术、社会经济、生态环境等各领域出现了许多复杂的大系统。如图1所示。

由图1可知：“大系统”是：工程技术、社会经济、生态环境等各领域，规模庞大、结构复杂、功能综合、因素众多的系统，具有下列共性：

(1) 规模庞大

大系统的规模庞大，包含许多小系统、部件、元件。通常，大系统占有的空间大、经历的时间长、涉及的范围广，具有分散性。

(2) 结构复杂

大系统的结构复杂，其中，各小系统、部件、元件之间的相互关系复杂。通常，大系统中不仅包含有物，还包含有人，具有“人-物”、“人-人”、“物-物”之间的多种复杂关系，是主动系统。

(3) 功能综合

大系统的功能综合，由于目标是多样的：

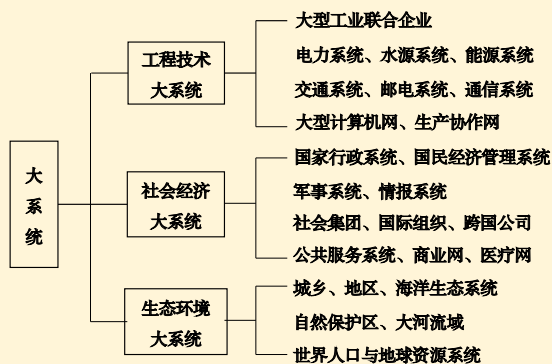


图1. “大系统”的实例



技术的、经济的、生态的，因而，大系统的功能是多方面的：质量控制、经济管理、环境保护，具有综合性功能。

(4) 因素众多

大系统的因素众多，是多变量、多输入、多输出、多目标、多参数、多干扰的系统，而且，不仅有“物”的因素，还有“人”的因素，不仅有技术因素，还有经济因素、社会因素、文化因素等，具有不确定性、不确知性。

由于大系统关系到经济发展、社会进步、人民生活、国家安危、世界稳定、生态环境等大问题，所以，在国际上受到广泛的注意和重视。这表现在以下几方面：

(1) 学术会议的“热门”论题

大系统在许多重要国际学术会议关注的问题。例如，IFAC（国际自动控制联合会）、IFORS（国际运筹学联合会）、IFIP（国际信息处理联合会）等国际学术机构召开过多次关于大系统的专题学术会议；中国自动化学会召开了关于“大系统理论及应用”的学术会议，举办了关于“大系统理论”的学习班。

(2) 研究机构的重大课题

许多国家的研究机构、高等院校都进行有关大系统的研究工作，例如，美国、英国、法国、俄罗斯、日本等，1972年在维也纳成立了IIASA（国际应用系统分析研究所），专门研究涉及世界范围的大系统问题；中国科学院自动化研究所、系统科学研究所等，进行了关于“大系统理论及应用”的课题研究。

(3) 学术刊物的重要专题

大系统是控制理论、运筹学、信息处理等方面学术刊物的重要专题，例如，IEEE Trans on Automatic Control, 1978年出版了大系统专刊（Vol.23, No.2, April），1980年，关于大系统

的专门国际学术刊物Large Scale System也创刊了；我国《自动化学报》、《信息与控制》等刊物也刊登了关于“大系统理论及应用”的不少论文，举办了“大系统理论及应用”的讲座。

为什么需要研究“大系统理论”？因为：如果大系统运行状态好、效益高、稳定、可靠、优化、协调，将有利于国计民生，造福于人类社会；反之，大系统运行状态差、效益低、失稳、故障、劣化、失调，将危害人民的生命财产，破坏社会环境，影响国家安定、世界和平。

工程技术、社会经济、生态环境领域各种大系统的控制与管理、设计和运行是关系到经济发展、社会稳定、人民生活、国家安危的重大问题。

由于“大系统”的复杂性、主动性、多变性，“大系统理论”需要创新，需要突破传统框架，研究大系统建模、分析、设计和控制、管理的新方法、新途径。

因此，如何对大系统进行控制和管理，如何进行大系统分析、预测、规划、设计，改善大系统的运行状态，提高运行效益，这是现代科学技术面临的重大课题。

2. “大系统理论”的产生

实际大系统需要人们去探讨和研究“大系统理论”，科学技术的进展为大系统研究提供了理论基础和发展条件。

上世纪60年代末、70年代初，在国外，许多控制理论、运筹学、系统科学方面的专家、学者纷纷从事大系统问题研究，例如：M. D. Mesarovic, D. A. Wisman, L. S. Lasdon, W. Findersen, P. V. Kokotovic, J. D. Pearson, D. D. Siljak, M.G.Singh, A. N. Michel, A. P. Sage, 何毓琦, M. Athans, H. Chestnut, A. Я.

Л е р н е р, E. I. Davison等。

在国内,1976年,我们在中国科学院自动化所率先开展了“大系统理论”研究工作,1977年,发表了“大系统理论及其应用”论文;1978年,在中国自动化学会作了关于大系统的学术报告;1979年,发表“关于大系统理论的几个问题”论文,在清华大学开设了“大系统理论”讲座;1980年,在中国科学院研究生院开设了“大系统理论”课程。华中工学院(现华中科技大学)、西安交大、清华大学、北京航空学院(现北京航空航天大学)等院校,中国科学院系统科学研究所、七机部二院等研究机构,也相继进行了关于“大系统理论及应用”的研究工作。

“大系统理论”在下列方面取得了进展:

- (1) 大系统结构分析与综合
- (2) 大系统模型化及模型简化
- (3) 大系统稳定性
- (4) 大系统最优化
- (5) 大系统多级递阶控制
- (6) 大系统分散控制

主要采用时域数学模型,如:微分或差分方程组、代数方程组,通过“分解-协调”、“分解-集结”方法,将现代控制理论中的稳定性理论、最优控制理论、多变量控制理论等,和运筹学中的线性规划、非线性规划等加以推广,用于大系统的分析与综合。

由此可知:传统的“大系统理论”基本上是“现代控制理论”与运筹学相结合的产物。如图2。

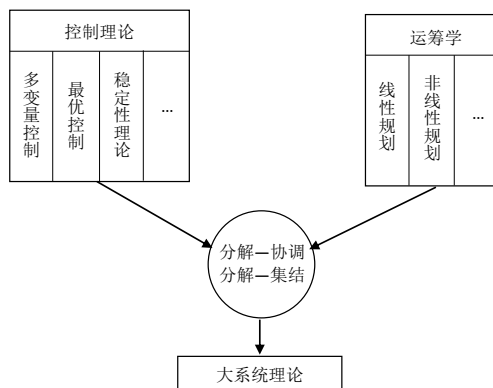


图2. “大系统理论”的生产



3. “大系统理论”的难题

虽然，经过十多年的努力，人们在“大系统理论”方面取得了不少进展，但是，由于大系统非常复杂，在理论研究和应用开发方面，都面临：主动性、不确定性、不确知性、维数灾、分散性、发展性等一系列难题。如下所述：

(1) 主动性 (Activity)

大系统往往是“主动系统” (Active System)，包含有“主动环节”——“人”，具有“主动性”。例如，控制人员、管理人员、操作人员等，在大系统分析和设计中如何考虑人的因素？如何建立“人”的数学模型？就是难题。

(2) 不确定性 (Uncertainty)

大系统中有许多不确定因素，例如，模糊性、随机性、对象特性漂移、摄动，难以用传统的确定性数学模型进行描述、难以用常规的方法进行控制。

(3) 不确知性 (Uncertainly-Known)

大系统往往是信息不完全、数据不精确、知识不充分的系统，结构变化、参数未知，难以建立适用的、准确的数学模型，进行精确的定量分析和设计。

(4) 维数灾 (Curse of Dimensionality)

大系统的数学模型都是高维的、状态变量的数目甚多，系统分析、系统设计的工作量随维数增高而迅速增长，导致所谓“维数灾”，不仅造成计算机的沉重时空负荷，而且难以满足在线实时控制的需要。

(5) 分散化 (Decentralization)

大系统具有“分散性”，包含了许多小系统，而各小系统往往是分散化的，例如，分布在不同地方，这将导致信息分散、控制分散，使系统具有“非经典信息模式”，因而，基于“经典信息模式”的控制理论和方法失去了可应用的前

提条件。

(6) 发展中系统 (Developing System)

通常，大系统的控制过程较慢、过渡过程时间较长，在控制过程期间，大系统本身也处在发展当中，系统的结构和参数，系统的目标、环境条件，系统特性、系统功能也处在变化发展过程中，可称之为“发展中系统”，具有与时俱进的“发展性”，这种系统难以用常规的方法进行控制。

上述种种难题使已有的“大系统理论”处于困境，面临严重的挑战，因此，从事大系统理论和应用研究的学者们感到：需要突破传统的框架、探讨新的途径，正如钱学森先生所指出：“大系统理论要创新”。

4. 结论

综上所述，结论如下：

1. “大系统”是：工程技术、社会经济、生态环境等各领域，规模庞大、结构复杂、功能综合、因素众多的系统。

2. 已有的“大系统理论”基本上是“现代控制理论”与运筹学相结合的产物。

3. 面临：主动性、不确定性、不确知性、维数灾、分散性、发展性等一系列难题。

展望未来，我们认为：

由于大系统的复杂性、主动性、多变性，大系统理论需要创新，需要突破传统框架，研究大系统建模、分析、设计和控制、管理的新方法、新途径。

因此，如何对大系统进行控制和管理，如何进行大系统分析、预测、规划、设计，改善大系统的运行状态，提高运行效益，这是现代系统控制学科面临的重大课题。

思考题

1. 什么是大系统？有何共性？列举你所知的大系统。
2. 为什么要研究大系统？有何重要性？
3. “大系统理论”面临什么难题？如何解决？你有何见解？

涂序彦贺诗一首

贺《系统与控制纵横》科普杂志创刊

系统控制纵横好，
科普刊物质量高，
面向读者范围广，
影响全国多投稿。

中国人工智能学会荣誉理事长
北京人工智能学会名誉理事长
中国自动化学会荣誉理事
北京科技大学计算机系特聘教授
计算机与系统科学研究所所长
涂序彦 2014年6月6日

