

系统科学丛书

系统科学进展

郭 雷 主编 张纪峰 杨晓光 副主编

1



科学出版社

系统科学丛书

系统科学进展

郭雷 主编

张纪峰 杨晓光 副主编



1



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书是在中国科学院系统科学研究所每年举办的一系列系统科学学术讲座基础上遴选的精品报告扩充而成的系列丛书。作为这套丛书的首部著作，本书收集了包括钱学森、关肇直、周光召、John Holland 等著名科学家的重要文献。阅读本书，有助于读者学习系统科学的源头思想，理解系统科学的核心内涵，把握系统科学的发展方向，提升系统思维素养。这是一本值得收藏的系统科学经典之作。

本书适合系统科学、系统工程相关领域的科研人员、教师、研究生、本科生及系统科学、系统工程爱好者。

图书在版编目(CIP)数据

系统科学进展. 第1卷 / 郭雷主编. —北京: 科学出版社, 2017.4
(系统科学丛书)

ISBN 978-7-03-051914-6

I. ①系… II. ①郭… III. ①系统科学-科学进展 IV. ①N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017) 第 040178 号

责任编辑: 王丽平 牛园园 / 责任校对: 澎 涛
责任印制: 张 伟 / 封面设计: 黄华斌

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

北京京华虎彩印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年4月第一版 开本: B5(720×1000)

2017年4月第一次印刷 印张: 12 1/2

字数: 252 000

定价: 78.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序 言

诸侯分治，统一江山^①

许国志^②

20世纪20年代，美国贝尔电话公司成立了贝尔实验室。此实验室分为部件与系统两个部。40年代末，人们把贝尔电话公司扩建电话网时引进和创造的一些概念、思路、方法的总体命名为“系统工程”。20世纪中叶以来，许多学者常用系统来命名他们的研究对象，例如控制理论中的“计算机集成制造系统”，管理科学中的“管理信息系统”和“决策支持系统”等等。随着时代的进步，科技的发展，人们发现事物之间的相互作用变大了，许多问题不得不从总体上加以考虑，于是“系统科学”应运而生。美国一些大学出现了“工业经济系统系”（斯坦福大学）、“系统科学与数理科学系”（华盛顿大学）等等。

我常说“系统”有如数学中的集合，集合是数学中最基本的概念之一，但在讲到集合时并不需要给以严格的定义，人们同样会有正确的理解，系统亦复如是。但我们逐步给它一个定义。系统是由许多部件构成的一个总体，这些部件称为它的子系统，子系统之间通过能流、物流和信息流来实现它们之间的关联，系统的功能通过子系统的组合而产生。“系统科学”研究系统的属性，如系统的能观、能控和可达性，系统的状态稳定性，系统的协同理论，系统的结构和重构等。“系统工程”是一大类工程技术的总称，它有别于经典的工程技术。它强调方法论，亦即一项工程由概念到实体的具体过程，包括规范的确立，方案的产生与优化、实现、运行和反馈。

① 该文为许国志院士于1999年纪念中国科学院系统科学研究所成立20周年所作。

② 中国科学院系统科学研究所。

因而优化理论成为系统工程的主要内容之一，规划运行中的问题不少是离散性的，所以组合优化又显得至关重要。

科学的发展似乎由“诸侯分治”到“统一江山”，再“开疆拓土”，形成伟大的王朝。当欧几里德创建几何理论，阿拉伯人因通商发明了阿拉伯数字时，仅有诸侯，若干世纪后才出现了“数学”来统一江山，进而开疆拓土确立了伟大的数学王朝。运筹学的发展亦复如此。科学发展进程中，许多重要的现象常常首先以不同的形式出现于不同的学科。数学中的施米尔“马蹄”和力学中的“湍流”是混沌在不同学科的表现，建立统一的混沌理论则是一项艰巨的任务，而这正是科学的重要进程。

20 世纪目睹了“系统科学”由诸侯分治逐渐进展到统一江山，21 世纪将看到它开疆拓土，建立伟大的王朝！

前 言

系统科学是研究系统的结构、环境与功能关系，探索系统的演化与调控规律的科学。根据钱学森的观点，系统科学的体系结构包括系统论、系统学、系统技术科学与系统工程等四个层次。其中，系统论是系统科学的哲学层次，而系统学是系统科学的基础理论层次。毫无疑问，系统科学是一门综合性与交叉性很强的学科，旨在探索不同时空尺度上复杂系统的共性科学与技术问题，为深化人类对客观世界的认知，解决复杂的社会经济、国防安全、工程和信息技术等领域的实际问题提供理论和方法。

在钱学森等老一辈科学家的大力支持和推动下，系统科学在我国得到广泛重视，并形成了良好的学术基础和发展态势。近年来，系统科学研究得到迅猛发展，新方向、新成果、新方法、新思想不断涌现。作为我国系统科学的第一个国立研究机构，中科院系统科学研究所在新时期我国系统科学发展中应该担负更大责任。自2009年开始，系统科学研究所陆续组织开展了“系统科学论坛”、“关肇直系列讲座”、“系统科学系列报告”、“系统科学青年学者论坛”等系列学术交流活动，内容涉及系统科学的各个方向和层次，既有具体研究成果和研究方法的介绍，又有发展动态的综述和展望，可谓内容丰富、精彩纷呈。

我们拟以这些讲座为基础，从中遴选一批思想性、基础性、前瞻性强的演讲报告，邀请报告人整理成文；与此同时，邀请和整理一批系统科学研究和实践领域的代表性工作结集成册，编辑出版《系统科学丛书》，以展示系统科学领域的最新成果和发展动态，促进系统科学与相关交叉学科的交流，推动我国系统科学的发展。

作为《系统科学丛书》的肇始之作，我们重点选择了十篇在系统科学理论方法和应用方面的代表性工作，这其中既包括老一代著名科学家钱学森、关肇直、周光召、John Holland等在系统科学不同方向上的思想之作，也包括我国资深系统科学家如于景元、顾基发、车宏安、陈锡康等在系统科学理论和方法及实践上的创新之作。我们期望本书能为国内外相关领域的科研人员和研究生深入理解系统科学思

想、把握系统科学发展方向，提供重要的参考；同时也希望通过此书的介绍，会有更多的有志青年加入到系统科学的研究中。

在本书的编纂过程中，得到了系统科学很多同仁和科学出版社的支持和帮助，在此谨向付出艰辛劳动的全体编写人员、审稿人，以及为本书的编纂提供资料的各界人士表示衷心的感谢。特别地，系统科学研究所办公室牛园园同志在稿件的组织与审阅等方面进行了大量的联络与沟通，科学出版社的王丽平同志在本书的组织出版过程中给予了热情支持和积极帮助，有关编审人员对本书的文字编辑也做了认真细致的审核修订，在此一并致谢。

郭 雷

2016年1月30日北京

目 录

序言

前言

我对系统学认识的历程	2
复杂自适应系统研究	14
复杂适应系统和社会发展	26
复杂系统的辨识与控制 (提纲)	44
从系统思想到系统实践的创新 —— 钱学森系统研究的成就和贡献	51
商品市场经济系统结构与经济增长的“补偿”理论 —— 系统科学视角的规范 场普适意义研究	70
WSR 方法论的提出、推广、应用分析与发展	98
系统科学与粮食产量预测研究	128
复杂数据多元统计分析方法及其应用	155
系统学是什么	178



钱学森：应用力学、工程控制论、系统工程科学家 1911 年 12 月 11 日生于上海，籍贯浙江杭州。1934 年毕业于交通大学。1939 年获美国加州理工学院航空与数学博士学位。1957 年被选聘为中国科学院学部委员（院士）。1994 年被选聘为中国工程院院士。中国人民解放军总装备部科技委高级顾问。中国力学学会、中国自动化学会、中国宇航学会、中国系统工程学会名誉理事长，中国科学院学部主席团名誉主席，中国科学技术协会名誉主席。曾任第七机械工业部副部长、国防科学技术委员会副主任、中国科学技术协会主席和全国政协副主席。在应用力学、工程控制论、系统工程等多领域取得出色研究成果，为中国航天事业的创建与发展作出了卓越贡献。1956 年获中国科学院自然科学奖一等奖，1986 年获国家科技进步奖特等奖，1991 年被授予“国家杰出贡献科学家”荣誉称号，1999 年被国家授予“两弹一星”功勋奖章。2009 年 10 月 31 日在北京逝世。

我对系统学认识的历程^①

钱学森^②

于景元同志今天要我讲讲为什么要研究系统学。我就按照他的要求，讲讲这个问题。

首先，什么是“系统学”？我想把“系统学”一词的英文译作 *systematology*。讲“系统学”也必然联系到“系统论”，给“系统论”起一个英文名字，我想是不是可以叫 *systematics*。这里稍微有一点混乱，就是 *systematics* 在法语里的意思是“分类学”。当然在英语中这个“分类学”并不叫 *systematics*。关于“分类学”这个词，我问过生物学家，他们的习惯是用 *taxonomy*。所以，要以英文表达，假使把系统学叫做 *systematology*，那么，把“系统论”叫做 *systematics* 大概是可行的。

要讲这个问题，我必须先说一下人类的知识问题。我认为人类的知识包括两个部分。一部分是所谓的科学。而现在要说“科学”的话，应该把它认为是系统的、有结构的、组织起来互相关联的、互相汇通的这部分学问，我把它称为现代科学技术体系。但人类的知识还有许多放不到现代科学技术体系中去的，经验知识就属这种。一年多前，我说这个部分是不是可以叫做“前科学”——科学之前的东西。那也就是说，人认识客观世界，首先是通过实践形成一些经验，经验也总结了一些初步的规律，这些都是“前科学”。还要进一步地提炼、组织，真正纳入到现代科学技术体系里面去，那才是科学。所以知识有这两部分。当然这样一种关系是不断发展变化的。前科学慢慢地总结了、升华了，就进入到科学中去了。那么，前科学是不是少了呢？一点也不少。因为人的实践是不断发展的，所以又有新的前科学出现。因此人的整个知识就是这样——一个不断发展变化的体系，也可叫系统吧。

这就说到科学技术，或者科学本身的体系问题。我对这个问题的认识，开始也是很零碎片面的。那时，我只知道自然科学技术，因为我原来是搞工程技术的。自然科学里好像有三个部分：直接改造客观世界的是工程技术；工程技术的理论像力学、电子学叫技术科学，就是许多工程技术都要用的，跟工程技术密切相关的一些

^① 本文是钱学森 1986 年 1 月 7 日在系统学讨论班第一次活动时的讲话，最早在山西科学技术出版社于 2001 年 11 月出版的《创建系统学》一书中。

^② 国防科工委。

科学理论；再往上升，那就是基础科学了，像物理、化学这些学科。这样一个三层次的结构也是在漫长的历史中逐渐形成的。在人类历史上，恐怕原先只有直接改造客观世界的工程技术，或者叫技术，并没有科学。科学是后来才出现的。那时候，科学与改造客观世界的工程技术的关系不是那么明确。科学，或者叫基础科学和工程技术发生关系，那还是在差不多一百年前的事。就是 19 世纪六七十年代到 20 世纪初才开始有技术科学，也就是这个中间层次。现在我们说，自然科学好像是这么三个层次：直接改造世界的就是工程技术，工程技术共用的各种理论是技术科学，然后再概括，成为认识客观世界的基本理论，也就是基础科学。

后来，我把这样的一个模式发展了，说它不只限于自然科学。自然科学是人从一定的角度认识客观世界，就是从物质运动这样一个角度。当然，人还可以从其它角度认识客观世界，那就属于其它科学了。有社会科学，这是一个很大的部门。^①再有，原来在自然科学里面的数学。数学实际上要处理的问题是很广泛的，不光限于自然科学，今天的社会科学也要用数学。所以，我觉得应该把数学分出来，作为一个新的科学技术部门。后来又有了新的的发展，比如说联系到系统学、系统论，这就是系统科学，这是一个新的部门。还有思维科学和研究人的人体科学。到这个时候，我说科学技术体系有六大部门：自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学。后来看还不行，不是所有的人类有系统的知识都能纳入这六大部门。比如说，文艺理论怎么办？好像得给它一个单独的位置，后来又看到军事科学院的同志，我想军事科学向来是一个很重要的部门，应该是个单独的部门，所以又多了一个军事科学。那就从六个变成八个大部门了。这时候我感到，恐怕将来还有新的部门，所以，我就预先打招呼，说这个门不能关死，还可能有新的。果然到了去年年初，我又提出了行为科学。而行为科学好像搁到以前哪个部门里都不合适。行为科学是讲个体的人与社会的关系，既不是社会，也不是个体的人，所以又多了一个行为科学。到现在为止，我的看法是，科学技术体系从横向来划分，一共有九个部门：自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、文艺理论、军事科学、行为科学^①。而纵向的层次都是三个：直接改造客观世界的，是属于工程技术类型的东西，然后是工程技术共同的科学基础，技术科学，然后再上去，更基础更一般的就是基础科学。

这样的结构是不是就完善了？恐怕还不行。因为部门那么多，总还要概括吧！怎么概括起来？我们常常说，人类认识客观世界的最高概括是哲学，是马克思主义哲学。所以最高的概括应该是一个，就是马克思主义哲学。从每一个科学部门到马克思主义哲学，中间应该还有一个中介，我就把它叫做“桥梁”吧！每个部门有一

^① 钱学森后来又在这个体系中增加了地理科学和建筑科学两个部门，共计十一个大部门。

个桥梁，自然科学到马克思主义哲学的桥梁是“自然辩证法”；社会科学到马克思主义哲学的桥梁是“历史唯物主义”；数学科学到马克思主义哲学的桥梁是“数学哲学”；思维科学到马克思主义哲学的桥梁是“认识论”；人体科学到马克思主义哲学的桥梁是“人天观”；文艺理论到马克思主义哲学的桥梁是“美学”；军事科学到马克思主义哲学的桥梁是“军事哲学”；至于说行为科学，这个桥梁是什么？应该说是人与社会相互作用的一些最基本的规律，可不可以叫马克思主义的“人学”？

刚才剩下来没有讲的就是系统科学了，现在我要单独讲一下。系统科学到马克思主义哲学的桥梁是“系统论”。就是刚才一开始讲的 systematics，而不是现在流行的什么“三论”。或者叫“老三论”，还有“新三论”等等。我认为这种说法是不科学的。系统科学根本的概念是系统，所以应该叫“系统论”。系统论里面当然包括所谓“老三论”里面的“控制”的概念，也包括“信息”的概念。这些都应该包括进去了。至于说“新三论”，那更怪了，实际上也是我们今天要说的系统学里面的东西，即什么“耗散结构”、“协同学”、“突变论”这些东西。其实，从科学发展的角度来看，并不是到“新三论”就截止了，不会再有更新的东西了。现在不是还有“混沌”，还有好多新东西吗？那么，到底有完没完呢？若按“三论”说发展下去，就成了老三论，新三论，新新三论，新新新三论……再下去只能把概念都搞乱了，所以系统科学到马克思主义哲学的桥梁，我认为是“系统论”。那么，系统科学直接改造客观世界的工程技术就是系统工程了。现在看来恐怕还有自动控制技术，这些都是属于系统科学的工程技术，而系统科学里的技术科学，我开始认为是运筹学，后来还要扩充一下，扩充到像控制论、信息论。实际上，真正的控制论、信息论就是技术科学性质的。系统科学的基础科学是尚待建立的一门学问，那就是系统学。一会儿，我要仔细地讲这个问题。这样，系统科学的工程技术就是系统工程、自动控制等；技术科学层次的是运筹学、控制论、信息论；将要建立的基础科学是系统学，系统科学到马克思主义哲学的桥梁就是系统论。系统科学就是这样一个体系。

最近，我看到哲学家们在讲哲学的对象，或者说马克思主义哲学的对象问题，搞得挺热闹的。在哲学家里面我认识的一个，就是吉林大学哲学系的教授高清海，高清海教授在去年的《哲学研究》第八期上有一篇文章，就是讨论哲学的对象问题。这篇文章我觉得挺好的。后来我给高教授写了一封信，说：一方面你写了一篇好文章，但另一方面，我也觉得，你讨论的这个问题是不是早就解决了？我说的这个科学技术体系，九大部门，九架桥梁，然后到马克思主义哲学。这就说明了马克思主义哲学与全部自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学、人体科学、文艺理论、军事科学、行为科学这九大部门的关系。如果这个关系明确了，那么哲学是研究什么对象的，那不是一目了然了吗？也就是我常常讲的：马克思主义

哲学必然要指导科学技术研究，而科学技术的发展也必然会发展、深化马克思主义哲学。因为马克思主义哲学不是死的，它一方面指导我们的科学技术工作，另一方面科学技术工作实践总结出来的理论，必然会影响到马克思主义哲学的发展与深化。我这个想法也许有点怪，哲学家们一下子还受不了。高清海教授已经好几个月还没有复我的信呢！最近，我又找了一位教授，北京大学的黄楠森，又给他提这个问题。我说，我给高清海写信了，他没有复我，我现在又向你请教。你看怎么样？刚写的信还没有回呢！同志们，学问是一个整体的东西，实际上不能分割。我们谈一部分，也必然影响到其它部分，恐怕这就是系统的概念吧！这就说明，所谓的系统学是一门什么学问。在我的概念里，它是一门系统科学的基础科学。我们讲基础科学就是技术科学更进一步深化的理论。我必须说，这样一个认识，我也不是一朝一夕就得到的，中间有一个很长的过程。

第二点，讲一讲我对系统学的认识过程。这个过程也粗略地在纪念关肇直同志的会议上讲过，今天再讲得仔细一点吧！

我必须说，在 1978 年以前，对于什么系统、系统科学、系统工程，什么运筹学这些东西，我也是糊里糊涂的，并不清楚，仅仅是感到有那么一些事要干。所以那时候在七机部五院宣传这个事，但是没有一条理，1978 年以前就是这么一个状态。开始稍微有些条理是在 1978 年 9 月 27 日，在《文汇报》上我和许国志、王寿云合写了一篇东西。这篇东西的基础，今天向同志们交心，那并不是我的，而是许国志同志的。因为在那年，可能是 7 月份，也许更早点，5 月份，许国志给我写了一封信。他说，什么系统分析、系统工程，又是运筹学，还有什么管理科学，在国外弄得乱七八糟，分不清它们的关系是什么。他建议把那个直接改造客观世界的技术系统叫系统工程，有各种各样的系统工程。比如，复杂的工程技术的设计体系，今天在座的很多人所熟悉的总体部的事就叫系统工程。至于说企业的管理就是属于管理系统工程等等，有很多这种系统工程。然后他说各种系统工程都有一个共同需要的理论，他那个时候说，这个理论是运筹学。运筹学就是一些数学方法，是为系统工程具体解决问题所需要的。这就是当时在国外弄得很乱的一种情况。比如说，二次大战中先有 operations analysis，后又变成 operations research。把这些东西用到工业管理方面，就变成 management science。然后还有专门分析系统间、系统内部的关系的，叫做 systems analysis。我觉得 systems analysis 好像就是应用的。但是不然，名词很怪。在维也纳还有一个单位叫 IIASA。IIASA 就更怪了，叫 International Institute for Applied Systems Analysis。Systems analysis 本来就是 applied，怎么还有 applied systems analysis？所以，外国人也是不讲什么系统的，说到哪儿是哪儿。谁举一面旗帜，他就在那里举起来，可以举一阵子。所以在 1978 年 9 月 27 日《文

汇报》上的文章中，我们试图把这些东西搞清楚，把直接改造客观世界的一些工程技术，叫各种各样的系统工程。这些系统工程共用的一些理论或者叫技术科学，就是运筹学。我在 1978 年秋天的认识就停留在这里。归纳起来是两点，一个是我们那时考虑的系统，还只限于人为的系统。自然界的系统，我们没有考虑进去。二是这些人为的系统里，并没有考虑到自动控制，所以对控制论到底如何处理，也没有讲清楚。根据这两点，今天看来，当时我们对于系统的认识是有局限性的。

第三点，大概过了一年，在 1979 年 10 月份，在北京召开了系统工程学术讨论会。那次讨论会是很隆重的，许多领导同志都去了，给系统工程的工作以很大的推动。在那个讨论会上，我个人才把系统的概念扩大到自然界。也就是在那个时候，才提出系统这样一个思想是有哲学来由的，并追溯到差不多一个世纪以前，恩格斯在总结了 19 世纪科学发展的时候讲的一些话，他说：“客观的过程是一个相互作用的过程”。这就是说，过了一年，我的眼界才有所扩大。也就是在那个会上，我的发言就把系统科学的体系问题提出来了，但这个体系是缺腿的。就是说，那时候认识的这个体系只有一个直接改造客观世界的工程技术——系统工程，再加上这些系统工程所需要的共性的理论——技术科学，就是运筹学。但那时也稍微有点变化，就是把控制论引进来了。但什么是基础科学？不清楚！当时我的说法是“建立系统科学的基础科学”。但不知道这个基础科学叫什么。那次也模模糊糊地引了《光明日报》1978 年 7 月 21、22、23 日沈恒炎同志的一篇长文，他的文章用了一个词，就是“系统学”。我也引了这个词，但是没敢肯定这个系统学就是系统科学的基础科学。那时候有点瞎猜。说系统科学的基础科学是不是理论控制论呢？胡猜罢了。所以在 1979 年的秋天到冬天，我们仅仅是把系统的概念扩大了，包括到自然界了，并把系统这个思想的哲学根源追溯到马克思主义哲学。其它的问题就不清楚了。只感到有一个必要，有一个空档，就是系统科学的基础科学。但是什么东西？没有很清楚的概念。

在这里，我必须加一段涉及生物学方面的内容。因为到这个时候我开始感到，生物学方面的一些成果要加以研究。比如一些书讲“生物控制论”；也看到一些书，叫做“仿生学”。那时候感到，“生物控制论”、“仿生学”这些工作，有点把事物太简化了。比如说：“生物控制论”里面讲人的血液循环，那个模型太简单了。“仿生学”更是有点急于求成。大概是想搞点东西出来吧，就把自然的系统简化得太过分了。那时候对于生命现象的研究，据我所看到的这些材料，如所谓“生物控制论”、“仿生学”这方面的工作，老实讲，我是不满意的，觉得太简化了，事实不可能那么简单。

又过了一年，进入第四个阶段了。就是到了 1980 年的秋天，这时候，我又一次得到许国志同志的帮助，是他寄给我 R·罗申 (Rosen) 在 *International Journal*

of *General Systems* 1979 年第 5 卷的一篇文章。罗申这篇文章是纪念冯·贝塔朗菲 (von Bertalanffy) 的。此文才使我眼界大开,原来在生物学界早有人在探讨大系统的问题。后来一看,还不只是生物学界,物理学界也早有人在探讨。那么从这儿才给了我一条出路。我闷在那儿没办法的时候,看了这篇文章,并根据它的引注又看了一些文章,才知道冯·贝塔朗菲的工作,有 I·普利高津 (Prigogine) 的工作,有 H·哈肯 (Haken) 的工作,这些都使我眼界大开。贝塔朗菲当然很有贡献了,他是奥地利人,本来是生物学家,他感到生物学的研究从整体到器官,器官到细胞,细胞到细胞核、细胞膜,一直下去到 DNA,还要往里钻,越钻越细。他觉得这样钻下去,越钻越不知道生物整体是怎么回事了。所以他认为还原论这条路一直走下去不行,还要讲系统、讲整体,这可以说是贝塔朗菲的一个很大的贡献。对我们在科学研究中从文艺复兴以来所走的那条路提出了疑问。当然,对于这个问题,恩格斯在一百年前已经提出来过,就是“过程的集合体”这个概念。而且恩格斯很清楚地提出来:科学要进步,也不得不走还原论的这条路。你不分析也不行,不分析你不可能有深刻的认识;当然这时候,恩格斯也指出,只靠分析也不行,还要考虑到事物之间相互的关系。在科学家中,也许冯·贝塔朗菲是第一个认识到这个问题的,后来才有了普利高津、哈肯,他们更年轻了。所以,许志国给我送来这篇文章,使我在认识上大开眼界,才知道生物学里早就提出了所谓“自组织”的概念,在物理学中有“有序化”的概念。正在这时候,又看到 M·艾根 (Eigen) 的工作,他是一位德国科学家,又把这个发展了,应用于生物的进化,提出 hypercycle,即超循环理论,把达尔文的进化论定量化了。这时大概已经到了 1980 年的秋天或冬天了。我又得到贝时璋教授的帮助。他给了我更多的资料,使我眼界大开。所以,一个是许国志同志,一个是贝时璋教授,才使我有了一点认识。后来在 1980 年中期的中国系统工程学会成立大会上,我才明确地提出系统科学的三个层次,一个桥梁的体系。而这个时候,我也把自动控制、信息工程纳入到直接改造客观世界的系统科学体系里,也就是系统工程里面;技术科学也就是包括了运筹学、控制论、信息论,还有大系统理论。而基础科学当然应该叫做“系统学”。“系统学”是什么?没有很多素材,而是要概括地综合冯·贝塔朗菲的一般系统论, H·哈肯的协同学和 I·普利高津的耗散结构理论等等。也就是要把各门科学当中一切有关系统的理论综合起来,成为一门基础理论——系统学,这就是系统科学的基础科学。我是到 1980 年年底达到这一步的。感谢很多同志的帮助,才使我有这一步的认识。

然后,到了 1981 年,是第五步了。1981 年我参加了生物物理学家跟物理学家们组织的叫“自组织,有序化的讨论会”,这我又要感谢北京师范大学的方福康教授,今天他在座。他给我带来了西欧关于这方面最新的情况,可我当时还闷在鼓里

呢！因为我看的书是普利高津的，是讲远离平衡态的统计学，顶多是看到他关于耗散结构的一些理论。当然，我也知道，贝塔朗菲就更差一点了，他还在原理性的理论上，就是他的所谓一般系统论。这时候，我也看到哈肯的协同学。我对协同学非常欣赏，在我的脑筋里认为贝塔朗菲和普利高津他们讲的那一套东西，打个比方说，有点像热力学。我在大学里听老师讲热力学，讲温度。这个温度还好办，人还有些感觉嘛。最糟糕的就是熵，熵是什么？简直是莫名其妙。老师也讲不清楚，只有一句话，你若不信，请你按我这个办法算，算出来准对。当时我就是那样硬吞下去的，心里还是觉得疑惑。其实，温度也不好说，你说一个分子，它的温度叫什么。当时就这么糊里糊涂的，反正老师怎么说，我就怎么算，也可以考 90 分。后来出国了，念研究生，开始学统计物理，统计物理可以得出熵的概念。嗨，原来熵是这么回事。按照统计物理，熵是什么，那很清楚。熵，就是玻尔兹曼 (Boltzmann) 常数乘上概率的自然对数。这一下，我才眼界大开，世界的道理原来是这么回事！这就是我在大学三年级学热力学时感到莫名其妙的概念，这时候才知道“妙”在什么地方。所以脑筋里一直深深地印着这个统计物理大权威玻尔兹曼。在维也纳玻尔兹曼的墓碑上刻着一个公式，就是刚才说的熵的公式。我在刚才说的 1981 年初的那个大会上，因为那天下午还有别的事，我要求主持会议的贝老，是不是让我先讲，讲完了我好走。贝老说可以。我就讲了这么一套。大意是冯·贝塔朗菲和普利高津不怎么样，真正行的是哈肯。讲完以后，贝老给我介绍说，坐在旁边是方福康教授，他刚从普利高津那里回来，得了博士学位。我一想坏了，这下子骂到他老师头上了，这还得了，得罪人了。其实方福康同志跟我说，你说的这些话，普利高津都很同意，他也认为从前他做的那些不够了。他们，就是普利高津、哈肯，还有刚才说的艾根，现在经常在一起讨论问题，他们的意见也是一致的。我心上的石头才掉下来，也非常高兴。因为客观的东西，真正研究科学的人去认识它，尽管可以有不同的方向、不同的途径，但最后都要走到一起去，因为真理只有一个，我觉得我们做学问应该有这么一个认识。尽管中间经过曲折的道路，也许犯错误，只要我们实事求是，坚持科学态度，真理是跑不掉的，最后总要被我们所掌握，不同的意见终归要统一起来。

这一段还有一个认识的进展，就是生物学界的这些发展，使我开始认识到系统的结构不是固定的。系统的结构是受环境的影响在改变的，特别是复杂系统。复杂系统的结构不是一成不变的。那么，系统的功能也在改变。我开始认识到这一点的是大系统、巨系统跟简单系统的一个根本的区别，即简单系统大概没有这样的情况，原来是怎么一个结构就是怎么一个结构。这就说到 1981 年初。

大概到 1982 年初，我又学一点东西，知道数学家们在研究微分动力体系。北

京大学的廖山涛教授就是这方面的行家，他还有一个研究集体，一直在搞微分动力体系。研究微分动力体系实际上就是研究系统的动态变化，所以微分动力体系又是系统学的一个素材了。到 1982 年的初夏，在北京开过一个名字很长的会议，叫“北京系统论、信息论、控制论中的科学方法与哲学问题讨论会”，这是清华大学与西安交通大学、大连工学院^①、华中工学院^②四个学校组织起来，共同召开的。在这个会上，我把自己直到 1982 年初的认识在那儿总结了一下。

在这以后，又有 1983、1984、1985 三年的时间，这就讲到第七点，第七步了，觉得又有一些新的东西要引进系统学的研究。什么新东西呢？很大的一个问题就是奇异吸引子与混沌，即 strange attractor, chaos，这些理论好像要从有序又变成无序，所以是一个很大的问题，另外，用电子计算机来直接模拟自组织、怎么组织起来的，这是第二点。第三点，叫 fractional geometry，就是非整几何，非整维的几何，这就是法国数学家 B. B. 曼德布罗 (Mandelbrot) 的工作。第四点，可以说我孤陋寡闻了，在这个时候才知道，早有一个理论，是关于非线性的动力系统理论。在 3 维以上的非线性动力系统会出现混沌现象，这就是所谓的 KAM 理论，它是三个人名的缩写，这三个人就是 Kolmogorov, Arnold, Moser。也就是非线性 3 维以上的体系很容易出现混沌。第五点，既然这样，于是乎，有一个叫罗伯特·肖 (Robert Shaw) 的人，他说：“混沌是信息源。”总之，有这几点吧，就是奇异吸引子，混沌，还有电子计算机模拟自组织，曼德布罗的非整几何，KAM 理论，还有所谓“混沌是信息源”等等。所有这一切说明，今天在国外这些领域是一个热门，大热门！最近我看到国外有人说“非线性动力体系理论在今天对理论工作者的吸引力，就像一二十年前这些理论工作者被吸引到量子力学一样”。就是说，新一代的理论工作者不去搞量子力学了，那是老皇历，没什么可搞的了，要搞这个非线性动力体系。在座的知道这个消息吗？昨天我碰到一位科学家，我说外国人有这么一个说法，他说不知道。我说，你有点落后于时代了。所以这方面的工作看起来确实关系重大。所以给同志们如实汇报我从 1978 年以前到现在走过的这条认识道路，结论是什么呢？结论就是，创立系统科学的基础理论——系统学已经是时代给我们的任务。你不把这门学问搞清楚，把它建立起来，你就没有一个深刻的基础认识。我们要把系统这个概念应用到实际工作中去，这方面的应用很多很多，在座的都知道，不用我来讲。那么，在这些应用中，你只能看到眼睛鼻子前面一点点。要看得远，一定要有理论。这个问题我是越想越重要。下面我说点实际问题吧！

我们现在搞改革。对于改革，我们的预见性有限。所以常说“摸着石头过河”，

① 现大连理工大学。

② 现华中科技大学。