



系统科学在交通运输中的应用 ——交通运输系统学简述

张 国 伍

北方交通大学应用系统分析研究所

一九八九年六月于北京



内容章节，

- 一. 系统科学与系统学
- 二. 系统科学的发展
- 三. 系统的分类与大系统理论
- 四. 系统科学与管理科学
- 五. 系统科学与交通运输
- 六. 交通运输系统学的基本理论
 - (一). 交通运输系统的功能
 - (二). 交通运输系统的特点
 - (三). 交通运输系统的结构
 - (四). 交通运输系统的稳定
 - (五). 交通运输系统的控制
 - (六). 交通运输系统的基本原理
 1. 系统原理
 2. 反馈控制原理
 3. 能级原理
 4. 弹性与协调原理
 5. 动力原理
 6. 安全可靠原理
- 七. 交通运输系统学的基本方法

- (一) 信息方法
- (二) 反馈方法
- (三) 功能模拟法
- (四) 运输动力法
- (五) 功能效益法

八. 交通运输系统分析的意义、准则与程序

一. 系统科学与系统学

人类社会正进入一个新的历史时代。这个新时代，从科学技术的观点看，有人称为信息时代，有人称为原子能时代，有人称为科学技术革命时代，等等。这些用语虽然能够反映这个时代的某些特征，但从整体上，从基本上看，这些称呼用来概括这个时代的全貌是不确切的。我们认为，根据苏联学者B. H. 库兹明的从“实物中心论”转到“系统中心论”的观点，这个新时代称之为系统时代是最恰当不过了。

半个多世纪以来，在国际上“系统”作为一个研究对象，引起了很多人的注意，特别是自本世纪四十年代出现了“系统工程”，“控制论”和“一般系统论”以来，“系统”吸引了众多领域的专家来从事一些新的研究。不同的人从不同的侧面了解到一些特点，从而选择了他们认为适当的名称，于是“人各一词，莫衷一是”。如有：系统理论、系统论、系统学、系统科学、一般系统论、系统工程、系统分析等等。

钱学森同志指出现代科学技术可以分为“四个层次：首先是工程技术这一层次，然后是构成工程技术的理论基础的技术科学这一层次，再就是基础科学这一层次，最后通过进一步综合，提炼达到最高概括的马克思主义哲学。除哲学外，整个人类知识包括自然科学，社会科学，数学科学，系统科学，思维科学和人体科学这六个部门。这是钱学森同志把系统科学提到与自然科学，社会科学同一层次。

钱学森同志对“系统研究”提出了一个清晰的系统科学结构式。他认为：作为现代化科学技术六大部门之一的系统科学，是

由系统工程这类工程技术，系统工程的基础理论诸如运筹学，控制论，信息论等这类技术学科，以及系统的基础理论——一般系统论等组成的一个新兴的科学技术部门。钱学森同志的“系统科学”包括邻接马克思主义哲学的哲学部分和邻接科学的基础科学部分。而他提出系统科学的体系模式中的“系统学”则是属于“系统科学”中的基础科学部分。

二. 系统科学的产生与发展

系统这一概念来源于人类的长期社会实践。系统理论也产生于人们的生产实践。早在战国时期秦国李冰父子主持设计和修建了伟大的都江堰工程。这项大型水利工程就体现了科学系统思想。这项工程包括“鱼咀”岷江分水工程，“飞沙堰”分流工程，“宝瓶口”引水工程等三大主体工程 and 一百廿个附属渠堰工程。工程之间的系统联系关系处理的恰到好处，形成了一个系统协调运转的防洪、灌溉的工程总体。这项工程是系统思想和系统科学理论指导下的产物。这项成果至今仍然是我国和世界系统科学发展的一项伟大成就。都江堰工程的成就说明了在古代中国就有光辉成就。尽管系统思想的长期存在和发展，但是由于受到当时的科学技术水平和历史环境条件的影响和限制，系统这个概念和理论一直没有受到应有的重视，系统科学的发展也受到影。从世界上看，直到廿世纪五十年代，由于第二次世界大战以后工业的恢复，工业化的发展促进了系统科学的兴起和发展。到了六十年代由于航天工业的发展，对系统科学的发展起了很大推动作用。近廿年来系统理论，系统科学更有新的发展。辩证唯物主义的产生，是以十九世纪自然科学的三大突破为基础的。即：进化论，能量

守恒及细胞学说。有人认为，廿世纪中叶发展起来的系统论，控制论和信息论是廿世纪哲学的奠基学科。在此基础上总结提炼的一般理论（简称系统理论），就是廿世纪的哲学，是辩证唯物主义向高层次发展的产物。

哲学对科学发展起指导作用，需要纽带和桥梁，系统理论是辩证唯物主义哲学与具体学科相结合的中间环节，是纽带和桥梁。科学发展历史说明一门新兴的学科在发展的初期，是很难确切地定论其地位和作用的，只有在其发展，实践过程中予以检验，明确和认识。

系统科学的发展是有它的一定的历史背景和条件的。

(一). 近年来，在自然界和社会、经济、管理、经营以及国家关系等各个方面在组织上日趋复杂，出现了综合性很高的相互制约和相互联系的复杂的系统性的问题和关系。这些问题和关系突破了区域性，行业部门性和学科的界限。这些复杂的项目、问题和目标的解决，都必须从总体或整体立场出发，综合系统地掌握它与外界的关系，从整体最优化的原则出发，调整各个部门之间的关系，而且各个部门也都要求从总体来考虑自己的行动。因此，过去使用的比较狭隘的孤立的方法已经不能解决问题，要求有一种新的能适应这种发展了的情况的方法，即从系统理论上去观察、思索、分析、解决问题，这就为系统科学的发展提供了客观基础。

(二). 在大范围内情报信息流的形成。近几十年来，由于通讯技术和信息科学的发展，使社会生产和经济活动过程各个环节得以迅速地有机的联合起来，同时，由于电子计算机技术的高度

发展，使情报信息的收集、贮存、加工、传送的能力大幅度增加，大大缩小了空间和时间的界限，就使人们有可能迅速地、全面地掌握处理和传送大量的情报信息，从而推动了系统科学，系统理论与系统方法的急速发展。

(三) 系统论和系统科学各分支学科的发展为系统理论建设奠定了理论基础。

系统科学包括奠定其基础理论的系统论，控制论和信息论以及与其密切相关的运筹学，决策理论、规划理论、最优化理论、经济理论、模型与计算机模拟以及计算机科学等，近二十年来有了新的突破和发展，这些理论和方法都与系统科学密切相联，它们之间必然互相渗透，互相影响，促进了系统科学向纵深发展。比如控制论是信息反馈原理进行自动控制的基础理论，它为研究系统控制奠定了基础。系统结构的控制和发展要广泛地运用运筹学和最优化理论和方法，以达到系统预期最优的目标，而信息理论则构成了控制工程的“神经中枢”，没有信息，所谓控制也是空话，系统的正常运转，与信息的取得息息相关，而且由于事物的运转变化，新信息的产生，因而，在系统控制的全过程中，信息的获取和处理不能一次完成，此外，系统的运动亦需随时取得反馈信息来完成。所谓反馈就是指在完成控制的过程中，收集行动效果和响应信息，并把其响应同目的要求相比较，进行工作的调整。这种行动后果和响应信息就称为反馈信息，当行动响应同目标要求一致，控制过程便告完成。当行动响应效果偏离目标甚至背道而驰时，就需要对系统进行调节，使其逐步接近目标，最后使系统能得到合理的发展，综上所述，这些学科的形成与发展为

系统科学的发展建立了理论基础，提供了系统科学的方法。

3. 多种功能的高速度，大容量的高水平电子计算机科学与技术出现，人工智能微电脑的出现，促进了世界新技术革命，也为现代系统科学的发展提供了工具和手段。国内外的现代化生产和管理系统，可以说都离不开电子计算机，无论是设计还是管理系统都需要使用电子计算机，电子计算机的出现使社会生产管理进入了一个新时代，也是社会进入系统理论发展新时期的物质基础。例如实现目标最优化的系统仿真，特别是多变量，多目标的社会经济系统的仿真模拟，没有计算机是不可能的，系统的信息收集，储存，加工，大的工程项目和大型生产企业，物流系统的规划，铁路运输现代化管理系统工作，也必须通过电子计算机手段来实现。

系统科学就是在上述条件和背景下逐渐形成和发展。尽管近年来这门学科发展较快，但与其它学科如数学、物理学、经济学相比较，特别是就其基础理论和方法来说，则系统科学还是一门年青的科学，它将随着这门科学的研究和应用，随着相关学科的发展而渐成熟，成为一门密切社会发展的新的学科。

近年来系统科学又发展了一个新的分支，即大系统理论。它是以研究庞大而复杂的大系统为对象。所谓大系统归纳起来表现为，系统结构庞大而且复杂，信息复杂，计算复杂，采用分散化控制，多目标，在大系统里人的因素，经济因素越来越多。这个新的研究领域引起各方面的关注。

系统科学是以系统为其研究对象，因此，我们必须首先明确什么是系统，综合各家论述基本上对系统的定义归纳为，系统是

由两个以上相互区别和相互作用的元件或部件有机结合起来完成某一特定功能的综合体。组成的系统，其功能不是系统内元部件功能的简单叠加，而是通过系统的组合形成系统的新功能。

三. 系统科学与管理科学

把系统科学运用到管理中在西方的盛行是在六十年代前后。

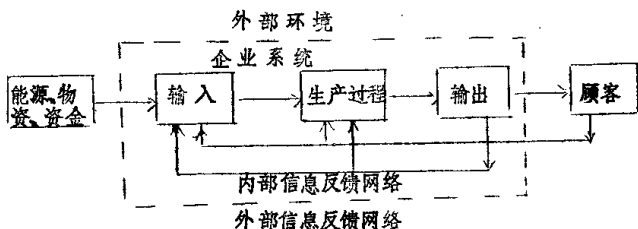
虽然人类早就有关于系统的提法，但近代比较完整地提出系统的概念的，一般认为是路德维格·伯特朗菲。他是生物学家和哲学家，1937年他在美家芝加哥大学的一次讨论会上，首次提出了“一般系统理论”，他直到1947年才公开发表其著作。他认为：系统作为一个整体来看，因其组成部分和子系统在性质上是不同的，不能简单地看成是它们包含的各个要素之总和。

诺伯特·威纳在1948年创制了“控制论”理论，控制论的研究表明，所有系统都是可以设计得能够通过通信线路来控制他们自己。这个通信线路把情报“反馈”给有机体，使它能适应其环境1949年，克劳德·香农发表了“信息联系的数学理论”对系统理论的发表都起了促进作用。

经济学家博尔丁发表了伯特朗菲的观点，并企图把控制论和信息论结合起来，发表了“一般系统理论一种科学的推导”一文中系统地阐述了一般系统理论的主要概念。

西方有一些学者认为，系统理论也应运用到企业管理中来。他们认为，一个企业是一个由相互联系而共同工作的各个要素（子系统）而组成的一个系统，以便达到一些目标。一个企业是一个人造的系统，它同周围的环境（顾客、工 政府）之间存在着

动态的相互作用，而且具有由外信息反馈网络，能够不断地自我调节，以适应环境和本身的需要。其结构如下图所示。



一个企业系统包含一些必要的子系统，其中有：①传感系统，用来度量 and 传感企业系统内部和周围环境的变化；②信息处理系统，如会计和数据处理系统；③决策系统，它接受输入的信息，给出决策并传达下去；④加工系统，它利用信息、能量和物资来完成一定的任务；⑤控制系统，它保证加工按照原订的计划进行，一般都有反馈控制；⑥记忆和信息存储系统，可采用记录、手册、计算机等形式。企业的长期目标由企业的目标制订单位来制订，其实施成果用销售、利润、就业等指标来度量。

以上是就各个子系统在系统中所起的作用来说的。还可以按其内容划分为①目标子系统②技术子系统，③工作子系统，④结构子系统，⑤入际社会子系统，⑥外部因素子系统。

系统管理认为，从系统的观点来观察和管理企业有助于提高企业的效率。

首先，这使得企业的管理人员不致于因为只注意一些专门领域的特殊职能而忽视了企业的总目标，也不致于忽视自己这个企

业在更大的系统中的地位和作用。企业的系统管理就是把人员、机器、金钱等没有联系的资源结合成为一个达到一定目标的整系统。按照系统观念组织企业并且会消除企业的各项基本管理能，但它能使各个子系统和有关部门的关系网络显得更清楚。些基本职能不是孤立而是围绕着系统及其目标而发挥作用的。

四. 系统的分类与大系统理论

(一) 系统的共性与特性

1. 系统的定义。

所谓系统，是混乱，无秩序的反义词，通俗的说就是有组织、有秩序地达到某种目的的一个组合体。对于系统这一概念有各种的定义，但都大同小异，有代表性的说法有以下几种：

- (1) 系统是由相互关联，相互制约的元件或部件组成的综合体。
- (2) 系统是由两个以上相互区别和相互作用的单元间有机结合起来完成某一功能的综合体，每一单元也可称为一个子系统。而且它又是更大系统的组成部分。
- (3) 将多个元素（指元件、部件、组件、成员…）有机结合而能执行特定功能，达到特定目的时，称其为系统。
- (4) 系统是相互关联而结合在一起的元素的集合。或执行特定功能而达到特定目的互相制约关系的元素集，称为系统。
- (5) 系统是由两个或两个以上的互相区别的要素构成的集合体，各要素间存在着特定的联系，而且能够适应环境变化经常保持其功能，以达到最优目标。
- (6) 用比较抽象的定义，则一般系统定义为：设 V_1, V_2, \dots, V_n

为任意集合，则 $V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n$ 的任意部分集合 S ，即 $S \subset V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n$ 称为一般系统。

【 $V_1 \times V_2$ 表示集合 V_1 与 V_2 的笛卡尔乘积】

2. 系统的共性

千变万化的各种系统都具有某些共同特性这是系统的共性，这些共性表现如下：

(1) 系统的有序性（层次性）

凡是系统都有结构，结构都是有秩序的。系统的有序性主要表现在系统的层次性上。系统往往是以多级递阶结构组成的。一份大系统可以分为若干子系统，子系统还可分为若干分系统，分系统还可以再分，以至分到组合系统的最小单体。

自然界是有层次的，从总体上看，有微观、宏观、宇观之分。在微观领域中还有基本粒子，原子，分子等层次。生物系统，社会系统等也有自己的层次态。由于系统中层次的普遍性，系统本身也就有层次性，有子系统，大系统，特大系统…等区别。大系统和子系统是相对的，子系统又由更小的子系统所构成，大系统相对于高一层次的大系统，便又成了子系统。对于铁路来说本身是个大系统，而点（车站包括区段站、编组站，客货运设备，机务检修设备等）线（指区间的平纵断面，运行中机车，车辆，通讯信号以及运行图的铺划等）相对于铁路运输整体来说都是子系统。就铁路的点系统来说，相对铁路运输来说是子系统。而对编组站设备来说又是个大系统。铁路运输综合运输能力系统层次如下图。

| | | |
|-------|-------|--------|
| 系统 | 铁路系统 | 港口系统 |
| 一级子系统 | 点系统 | 作业区系统 |
| 二级子系统 | 编组站设备 | 码头通过能力 |
| 功能要素 | 驼峰 | 码头装卸机具 |
| 部件 | 调速设备 | 码头线能力 |
| 元件 | 慢行器 | 轨道 |
| 材料 | 相关材料 | 材质 |

图 4. 1 铁路港口综合运输能力的层次结构

又如企业中的车间，相对于整个工厂来说是子系统，而相对于班组来看又是大系统，工厂相对公司又只能是子系统。基于物质的无限性，系统的层次也是无限的。整个宇宙是由无限多个层次的系统所构成。因此对系统的层次分解，只能是根据需要来确定。

(2) 系统的集合性

一个系统至少由二个以上的子系统构成的。构成系统时，不可少的子系统（即缺了这个子系统就无法构成大系统）称为要素，或称为要素子系统。如把人作为一个大系统来看各种器官，躯体等都是子系统。人若缺了一手，一腿尚可生存，但缺了心脏，脑便失去生命，因此，心脏，脑便是要素子系统。

构成大系统的各子系统间存在着联系，形成结构，这就是系统的集合性。

(3) 系统的相关性和整体性

系统内各子系统间的联系表现为相互依存，相互制约。这种依存和制约的关系是通过大系统这个整体相联系的。正由于系统中各子系统和大系统之间存在互相依存关系，就产生了互相制约的作用，大系统的存在和发展是各子系统存在和发展的前提，那末各子系统本身的发展就受大系统和其他各子系统的制约。

3. 系统的特性

系统的层次是由低级向高级发展的，高级层次具有低级层次的共性，但又产生了低级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系统所具备的共性——有序性、集合性、相关性、整体性外，又增加了无机系统所不具备的特性，这就是目的性和环境适应性。社会系统比生物系统又高了一个层次，为此又增加了生物系统所不具备的环境改造性。

(1) 目的性

目的性是当生命起源时大分子具备了控制反馈和调节的机能而形成的。具有目的的系统称为目的性系统，包括生物系统和社会系统。目的性系统都具有明确的总目的，凡是人造系统也都必然是目的系统。也就是要根据一定目的构筑系统，为达到这种既定的目标而需要对系统采取某种手段，以发挥系统功能。系统有单一目标，也有多种目标，而现代化的系统多半是多目标的系统。在管理工作中的目标管理，就是根据管理对象的大系统的总目标，来协调各子系统的分目标。

(2) 环境适应性。

大系统中其他子系统相对于某一子系统来说就是环境。各子系统与其他子系统（环境）之间产生物质、能量，信息的流动。

任何一个系统必须要适应外部环境更要适应外部环境的变化，才能达到大系统的总目的与子系统的分目的。如一条铁路或一个港口，要了解所担负的客货运输任务，如果客观客货运量发生了变化，必须采取相应的措施，以便能适应环境的变化从而达到它们确定目的。

(8)环境改造性

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。社会系统之不同于生物系统，在于生物系统的基元是细胞，而社会系统的基元是人。动植物只有适应环境的能力，而人具有改造环境的能力，所谓环境改造性是指构成社会系统的人类具有改造无机系统和生物系统的能力。这个能力是在“生产”中体现出来的。交通运输系统的建立和发展使资源得到开发，地区间经济得到相互沟通，即交通运输的发展要与其分布的环境相适应。

(一)组成系统的三要素

系统处理的对象是物质、能量和信息，有时也包括人，从而构成系统的三要素。一个钢铁厂处理的对象主要是铁矿（材料），一个电力系统处理的对象是电能，一个交通运输系统处理的对象是货物（或旅客）。因此，严格来说，任何一个系统都要和物质对象，能量、信息发生关系。为了使系统正常运行或高效率化，就必须合理地管理和控制能量和物质的流动。就系统来说管理和控制不合理，就会使得产品质量低劣，甚至出现事故。而管理和控制的本质就是信息。

(二)系统的分类

在自然界和人类社会中普遍存在着各种系统。例如太阳系是由某些行星和卫星组成的。同样，在人类社会中存在着生产系统、消费系统、交通运输系统等等。为了对系统的性质加以研究，我们就必须对系统存在的各种形态加以探讨。系统的形态分类是：

1. 自然系统与人造系统

从组成要素的性质看，可划分为自然系统与人造系统。自然系统就是由自然物所组成的系统，它的特点是自然形成的。由矿物、植物、动物等自然物组成的系统，如生态系统，气象系统，星空系统等都是自然系统。

人造系统是人工造出来的系统，如生产，交通，运输，管理等系统。一般人造系统包括三种类型：一是由人们从加工自然物中获得的零、部件装配而成的工程技术系统，二是由一定的制度、组织、程序、手续等所构成的管理系统，三是根据人们对自然现象和社会现象的科学认识所创立的学科体系与技术体系。

实际上，大多数系统是自然与人造相结合的复合系统。从人类发展的需要看，其趋势是越来越多地发展和创立更新的人造系统。了解自然系统的形成及其规律，是建立人造系统的基础。

2. 静态系统与动态系统

是从系统的状态与时间的关系着眼，静态系统是指系统的性能与功效不随时间而改变。反之就是动态系统。应注意的是静态系统并非指系统中一切部静止，就是说即使是静态系统其所属各子系统间存在着物质，能量，信息的交换。

封闭系统因与环境联系不密切，系统不易变化发展。往往就形成静态系统，而以封闭系统为子系统所构成的大系统，因各子

系统间的联系不密切也易形成静态系统。

静态系统与动态系统对于系统发展速度的影响是不同的。欲构成高速度发展的动态系统首先必须改封闭系统为开放系统。

3. 封闭系统与开放系统

这是从系统与环境的密切程度来看，当系统与 环境联系不密切，即很少与环境发生能量物质、信息的交流者称为封闭系统。如自给自足的小农经济，闭关自守的封建国家，大而全小而全的工厂也近似为封闭系统。与外界环境完全没有联系的系统为孤立系统在宇宙间实际上是不存在的，只是有时为了方便研究与计算，把某些封闭系统中与外界联系不密切的因素暂时不计，近似地作为孤立系统来对待。开放系统是指系统与环境经常有较多的物质、能量、信息的交换，而且这种交换影响着系统的结构、功能和发展。一旦与外界的联系切断便会影响系统的稳定，甚至破坏了系统。

4. 实体系统与概念系统

实体系统是人—机系统或机械系统那样，组成部分都是物理方面的存在物。这种系统是以矿物，生物，能量，机械，人类等实体的。物理方面的存在物为组成部分的。与此相对应，概念系统是以概念，原理，原则，法则，方法，制度，步骤，手续等非物理方面的存在物为组成部分的，法律系统，教育系统都属于这一类。机械系统本身虽然是实体系统，但要想利用它，并使之产生作用，就需要有使之产生作用的使用方法，作为这种使用方法的步骤和手续的系统就是概念系统。

(四)大系统的形成