

系统均衡理论[†]

张沁文 刁惠文 周卫民

(山西省农村发展研究中心) (太原机械学院)

System Equilibrium Theory

Zhang Qinwen Diao Huiwen Zhou Weimin

(Shanxi Rural Development Research Center) (Taiyuan Institute of Machinery)

Abstract In this paper, "System Equilibrium Theory" based on general system meaning is proposed to abstract some law from the similar phenomena existing in every type of systems and branch of knowledge and strive to explain more scientific facts and phenomena. Entire theory setup including thinking, method, models and examples is given.

一、缘起

本文作者在系统工程实践和系统科学研究中,曾为许多不同质系统和不同学科的某些现象的相似性所惊叹,它们蕴含着共同的规律,为此,我们经过长期研究,在系统理论上提出系统均衡律来抽象和概括其规律性,文献[1-3]是我们有关的研究。其它研究(如文献[4-7])对我们的探索以支持和启发。本文是有关系统均衡规律和一些相关的研究结果的综述。

二、系统均衡理论框架

1. 若干概念及其定义

在引出系统均衡律之前,先定义几个概念。

功能集: 设系统整体功能为 F , F 由一组子功能实现,这组功能构成功能集 $\{F_i\} i=1, 2, \dots, n$ 。尽管各个功能性质特征不一、重要程度不一,但对整体功能都是不可或缺的,每个子功能衰弱或缺,都会影响整体功能的发挥。

功能理想值: 根据系统内要素间相互协同作用机制,系统整体功能最优,必然要求各个子功能的最优组合,即各个子功能 F_i 要达到某个理想值 D_i ,在数量上 D_i 可取单值、多值或区间值形式。

功能满足度: 设各个子功能 F_i 的实际水平为 R_i , R_i 对 D_i 的满足程度 P_i 称为功能 F_i 的满足度,满足度函数表达为 $P_i = g_i(R_i, D_i)$, g_i 一般满足严格单调递增性、归一性、线性变换下相对不变性、等同性等性质。整体功能 F 的实际水平相应定义为 R 。

2. 系统均衡律

当系统的各个功能满足度 P_i 均等且极大化时,系统整体功能 R 达到最优。

由于系统总是处在一定时空环境条件下,因此,所谓系统最优是在某种环境约束条件下的最优。另外,系统均衡还体现在目标、效用、价值等关系上。本文仅着重讨论功能结构关系。

3. 系统均衡律的数理证明

文献[5]在多人多目标协商对策论题下,证明了最大均衡满意度协商对策解满足 Pareto 最优性。这

[†] 本文于1990年5月21日收到。

不难推广到最大均衡功能满足度的存在性、唯一性及系统等衡律的证明。限于篇幅,证明从略。

另外,前已述及,各个子功能对整体功能都是不可缺的,从逻辑关系(而非物理联接形式)看各个功能是串联起来对整体功能起作用。因此整体功能水平 R 与各个功能满足度的一般函数关系 $R=f(P_1, P_2, \dots, P_n)$ 可具体化为

$$R = K \cdot P_1 \cdot P_2 \cdots P_i \cdots P_n \quad (1)$$

在一定环境约束下系统蕴含的物质能量使得所有功能满足总和为相对恒定值,即

$$\sum_{i=1}^n P_i = C \quad (2)$$

从(1)、(2)式看到,欲使 $\max R$, 则解出结果 $P_1 = P_2 = \dots = P_n = c/n$, 即各个子功能满足度均等。

4. 对众多事物的解释力

一个人最差的一个精神特征决定它的“精神容量”; 一个国家最不景气的限制尺度决定它的发展效益; 一条铁链最弱的一个环节决定它的拉强度; 农田作物产量受光热水肥等因子中的限制因子影响最大……, 在社会、经济、科技、自然系统中, 许多这样的现象都符合木桶定理: 一只沿口不齐的木桶, 最短的那块木板或低缺口决定它的盛水容量。提高木桶的整体效益, 则要求补齐最短木板的长度以及使各木板长度相等。

系统等衡思想在系统工程建模中得到应用, 如在农业最优种植结构模型研究中⁽⁴⁾, 以种植业提供的发热量、蛋白质、脂肪、产值、农产品进出口外汇支出等指标的同等满意度极大为优化目标, 基于计算结果的政策建议提供给我国制订“六五”计划参考。在多目标线性规划⁽⁷⁾研究中发现, 用一个总的线性准则去协调多个目标, 会出现不合理的替代或目标淹没现象, 对各个目标满意度的均衡和等比例同步调整, 则可避免目标的淹没。

大量社会经济系统, 涉及人的心理和行为, 子系统或要素的一些指标满意度均衡体现出社会公平。而组织行为学理论指出, 社会个体间的公平感觉有助于减少系统内的冲突和内耗, 改善系统协调程度, 从而使系统整体效益和功能最优化。这对一些系统工程应用研究产生了影响, 如文献[5]中用最大均衡满意协商对策解决区域城乡投资方面分配问题; 在文献[6]中常规优化方法结果与等比例公平削减原则结合起来解决多污染源污水处理问题。

从以上所列材料的分析不难归纳出系统等衡的普遍性, 对其它的科学事实和生活经验也可作出合理的解释。事实上从哲学矛盾来看, 系统等衡状况对应着矛盾总体诸方面在力量对比呈均势, 建立起诸方协调一致的平衡关系, “平衡就是解决矛盾”⁽⁸⁾, 每一次矛盾的解决都促进事物的发展。这是系统等衡的哲学依据。

5. 基于系统等衡的益损分析

在实际系统中, 一般而论功能满足度是不均衡的, 某些功能过剩和某些功能不足都会造成系统的损失; 系统结构的优化, 改善系统等衡程度, 将使系统损耗减少而带来系统收益。

1) 系统损失分析

功能绝对过剩损失 Q_1 : 许多功能因冗余过度、过饱和、积压、闲置而造成过剩损失。我国工业产品经常出现功能绝对过剩现象。

功能相对过剩损失 Q_2 : 由于功能满足度不均衡造成一些功能相对过剩而导致损失, 如木桶的长板、国民经济的长线均因相对过剩而损耗资源。

功能不足超负荷损失 Q_3 : 一些子功能不足可能导致功能超常发挥, 从而因加速耗损、折旧而带来损失。

所以系统损失函数为

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (3)$$

2) 系统收益分析

设耗费 Q_0 的资源投入去调整系统结构, 功能满足度均衡状况得到改善, 系统三项损失由 Q 下降

到 Q' ，则系统收益函数为

$$\Delta B = Q - Q' - Q_u \tag{4}$$

显然，应该使 $\Delta B > 0$ 。

6. 环境投入与系统进化

当系统环境对系统的输入输出流量产生变化时，系统内的物质能量存量也可能随之变化，所以(2)式中的常数 C 成为一个可变的参数。设系统内部总是处在各个功能满足度等衡状态，在该前提下考察环境投入与系统整体功能的关系 $R = y(C)$ 。

一种函数图形见图 1。

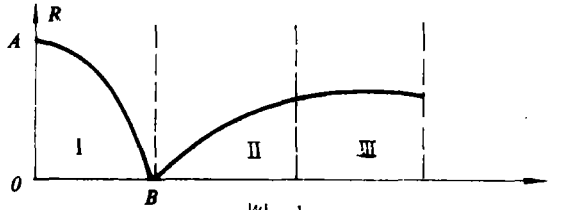


图 1

从图中分析得到：

- i) 在 A 点，当外部投入使系统内部物质能量相当大时， $C = n$ (理想状况)，此时对所有 $P_i = 1$ ，系统整体功能也达到最大值 k 。
 - ii) 在 B 点，当系统无物质能量维持时， $C = 0$ (假想状况)，此时对所有 $P_i = 0$ ，说明系统正崩溃或已解体，系统整体功能也丧失。
 - iii) 在 I 区，当投入变化使系统物质能量存量减少时，系统整体功能减弱。
 - iv) 在 II 区，当投入变化使系统物质能量存量增加时，系统整体功能增强。
 - v) 在 III 区，如果维持系统物质能量存量在一定水平不变，则系统整体功能也保持一定水平。
- 所以，一个系统在保持功能等衡状态时，整体功能水平受到外部输入流量的影响。

7. 系统等衡律的逆反命题

当系统目标是使系统整体功能劣化时，则要使各个功能满足度不等衡。

当正命题为真时，逆反命题亦真。尤其当某个功能满足度 $P_R = 0$ 时，将彻底破坏整体功能。

探讨逆反命题的意义在于使人们认识和掌握达成另一类系统目标的方法，从而完整地研究系统优化和非优化的所有侧面。在加速一些系统消亡时，有效途径是仅仅选择其中的一些子系统加以彻底破坏，就可轻而易举达到破坏整个系统的目的。

三、系统等衡理论的方法论意义

系统等衡理论的现实意义首先是方法论上的定性指导：

现实中的各类系统常常是“短缺”系统，由于物质能量输入短缺而使某些功能得不到充分满足。因此，有限的资源优化配置就要以各个子功能等衡和整体功能最优为目标。

对人工系统，在初始设计阶段，应考察整体功能、子功能及其关系，功能成本及其实现难度。系统优化设计就是使预定的系统功能用最小成本实现；或在预定的资源约束下使系统功能最强。

对正在运行中的系统，则要考察其系统功能结构和功能满足度均衡状况，可以通过环境新增投入分配、系统内部资源存量调整或这两方面并举来达到系统结构优化，改善功能等衡程度，从而使整体功能大大增强。

从正命题出发，实际调控时要强调“各个击破”，使各个功能均衡配置，尤其着力抓最落后的环节，使其功能水平大幅度提高。如在国民经济产业发展中，要压长线、补短线、打通瓶颈、消除梗阻、拉平补齐，使产业结构合理化，使国民经济协调有序发展。又如在重大产品和技术攻关中，要避免不注重整

体配合导致某些子功能不足而另一些子功能过剩并存的局面,尤其不要片面追求单项零件、单项装备和单项技术的高精尖或盲目追赶国际水平,否则因这些单项突破远超过整体现实要求或难以组装进系统而带来巨大损失。

从逆反命题出发,实际调控时可“孤军深入”,抓住一个子系统,往往是最薄弱环节或最容易破坏的环节,进行彻底破坏从而达到使整体陷入瘫痪和瓦解。在军事上这被广为运用,如对敌“伤其十指不如断其一指”、“乘劳可功,乘饥可困”、“趁火打劫”;对农作物病虫害的防治、人类疾病的医治,可以从消除一个致病因素达到断其根本的目的。

从动态观点看,事物总是在变化发展,系统、环境间相互作用、扰动和涨落,都使系统偏离等衡态,因此应经常进行调控,使系统维持在某个功能水平的均衡态或从较低的功能满足变向更高层次进化。

四、应用模型及实例

系统等衡理论的定量应用是建立数学模型,对各类系统进行系统等衡状况的评价和优化。

1. 系统等衡评价模型

对某时刻或时段的系统等衡程度评价可用(1)式,或用

$$H = \min \{P_i\} / \max \{P_i\} \quad (5)$$

$$H = \max \{P_i\} - \min \{P_i\} \quad (6)$$

当要对多个时刻或时段的系统等衡程度进行总体评价,可用

$$H = \prod_{j=1}^m H(j)^{w_j} \quad (7)$$

其中 $H(j)$ 为某时刻 t_j 的等衡程度, w_j 为人们对 t_j 时刻系统等衡程度重要性偏好。

2. 系统等衡优化模型

静态优化模型 对某个时间的系统结构进行优化,这往往可将现有的数学规划模型加以变换而实现,如一个模型为

$$\begin{cases} \max & P_i \\ & P_i - P_j = 0 \quad j = 1, 2, \dots, i-1, i+1, \dots, n \\ & Y(u) \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

动态优化模型 对较长时间范围或多个时段的系统结构优化,也可利用现有的多种模型,如使用二次型最优控制模型,对加权矩阵参数化调整,便可使系统各个功能或目标指标满足度达到均衡。

3. 应用实例

在文献[11]中,我们根据畜牧营养原理指出的:营养严重不足和严重过量都对畜禽生长不利,在考虑营养元素互补和拮抗相互作用、饲养经验基础上,提出了饲养标准理想值区间,定义了营养成分实际值对理想值的满意度形式,建立模糊线性规划模型进行了多级等衡满意度条件下的成本极小化,其计算结论更为合理。

在文献[14]中探讨了国民经济协调发展问题,一个观点是:各个国民经济生产部门不应追求本部门的高速度应注意各部门的协调配合,将本部门的实绩控制在计划值或目标值规划值附近,只有各部门均贴近各自目标值时,系统总体最优。根据这个思想,我们在文献[12]中对某省五年计划应用最优控制模型,调节若干政策参数,根据投资总量规模、基于产业目标完成率的五年产业结构等衡评价价值、产出总量规模等多维准则,经人机交互式对话得到多种备择方案,供有关决策部门或在不同经济运行环境下选择。

文献[13]的某县农林牧协调发展模式研究,通过历史回顾,现实分析诊断和发展前景定性预测规

划, 得到宜农、宜林和宜牧的土地面积和其它规划指标, 使用改进的目标规划等衡模型制定规划方案, 有关结论和政策建议被决策部门采纳和参考。

在文献[2]中还有运用系统等衡理论思想和方法所作的其它工作, 如土地资源、农业资源潜力综合评价; 农田生产系统分析; 比赛评分方法的改进等。

前已述及的文献[4-7]都是国内其它学者的研究结果, 它们共同反映出系统等衡的思想。

五、结束语

以上仅对系统等衡理论的若干侧面作了粗线条的概述, 没有展开许多细节。钱学森先生提出建立系统科学体系, 首先要奠定系统学的基础。系统学将揭示许多反映系统一般规律的原理, 我们的探索只是投石问路, 愿得到同行学者的指教。

参考文献

- (1) 张沁文: 系统结构的基本规律, 中国系统工程学会第三届年会, 1983年。
- (2) 刁惠文、周广心: 山西省科技计划项目[87402]课题研究报告, 1989年。
- (3) 周卫民: 系统等衡原理及其在社会经济系统中的应用, 太原机械学院硕士论文, 1989年。
- (4) 陈锡康: 同等满意度及其在经济中的应用, 《系统工程》, 1985年第4期。
- (5) 曲晓飞: 《基于协商对策的多人多目标决策》, 大连理工大学出版社, 1990年。
- (6) 顾培亮等: 协商对策原理与方法——在资源分析中的应用, 《系统工程学报》, 1990年第2期。
- (7) 王延章、王众托: 多目标线性规划的无目标淹没交互式决策方法(NOSIA), 《系统工程学报》, 1989年第1期。
- (8) 彭泽农、林圃: 《波浪式发展规律研究》, 上海人民出版社, 1987年。
- (9) 中国工业科技管理大连培训中心: 《组织行为学》, 企业管理出版社, 1985年。
- (10) 张沁文: 最大概率乘积定理及其应用, 《山西大学学报·自然科学版》, 1985年第3期。
- (11) 张沁文等: 饲料配方的模糊优化及评价, 《农业系统科学与综合研究》, 1991年第1期。
- (12) 周卫民: 经济系统等衡最优控制, 《太原机械学院学报》, 1990年第2期。
- (13) 徐保根: 崞岗县农林牧协调发展模式研究, 山西大学硕士论文, 1990年。
- (14) 刘桂苏: 《国民经济有序结构的优化设计》, 经济科学出版社, 1986年。

(上接第80页)

四、结果讨论

从优选结果可知, 郑州市商品鱼基地以主养草食性鱼类的养殖模式为最佳。因为与其它养殖模式比较, 它投入少, 产出多; 产品质优价廉, 深受消费者欢迎; WFP—2814工程属开发黄河滩废弃地的新工程, 水源受地下水位影响大, 水质消瘦, 适宜养草食性鱼; 该工程一亩水面配套一亩饲料地, 种草养鱼, 发展节粮型渔业, 生态效益显著。

参考文献

- (1) 杨圣宏: 用比较矩阵法求多指标的权值及排序, 《系统工程理论与实践》, 1988年第1期。
- (2) 于宏义: 定义排序和定量转化研究, 《模糊数学》, 1987年第3~4期。
- (3) 刘乳等: 层次分析法——规划决策的工具, 《系统工程》, 1984年第2期。
- (4) 赵汇全: 层次分析法对WFP——2814工程社会效益诸因素的优化排序, 《郑州水利与系统工程》, 1989年第1期。

表 2

$\begin{matrix} C \\ X \end{matrix} \backslash V$	模式 I	模式 II	模式 III
x_1	900	1800	6000
x_2	4	5	3
x_3	5	5	2
x_4	300	600	800