

·科学论坛·

体系开发规律和科学途径

张最良 黄 谦 李露阳

(军事科学院军事运筹分析研究所,北京 100091)

[摘 要] 体系开发规律和科学途径是信息时代的一个崭新研究领域。本文探讨体系概念及特性;体系开发研究的重要意义;体系开发面临的困难、挑战以及研究体系开发需关注的关键问题。

[关键词] 体系,复杂系统,科学管理,设计与优化,涌现行为

体系开发规律和科学途径是信息时代的一个崭新研究领域。本文探讨体系概念及特性;体系开发研究的重要意义;体系开发面临的困难、挑战以及研究体系开发需关注的几个关键问题。

1 体系的概念及特性

1.1 体系的概念

体系的一般含义是“若干有关事物互相联系,互相制约而构成的一个整体”(辞海,1979年)。如果讨论的事物是系统,体系的基本含义就是由系统组成的系统。英文词是“System of Systems”—SOS, Super-Systems, Meta-Systems 等。从上世纪七、八十年代以来,随着现代信息技术等的发展,各式各样的体系在民用和军用领域发展起来,如卫星对地观测体系、因特网、综合防空体系、智能交通体系等。

体系的开发和应用从多方面给人们带来巨大效益,并引起相关领域人类活动方式的深刻变化,许多领域出现了通过体系开发推动发展以满足需求的趋向。由于体系开发的重要性和复杂性,体系特性及开发规律的研究日益成为信息时代多学科汇聚的一个热点和难点。但对于 SOS,至今没有一个普遍接受的明确定义。

早期对术语 SOS 给予的一种说明是 Eisner 等人^[1]从采办过程角度给出的定义, Shenhar^[2]给出 SOS 的简明定义;SOS 是大范围分布系统的集合或系统的网络,这些系统一齐工作达到共同目的。Maier^[3]给出的定义是: SOS 是组件的集合物(Assemblage),这些组件单个可作为系统并具有以下特

性:(1) 组件的运行独立性,若 SOS 拆回成它的组件系统,组件系统必须能有用地独立工作;(2) 组件的管理独立性,组件系统不仅可以独立运行,而且实际上是独立运行的。另外,他还指出体系的渐进开发与整体涌现行为特性。2002年10月 Old Dominion 大学的 Keating, et al.^[4]列举了 1996—2001 年间另外 6 种 SOS 定义。

2004 年美国国防部采办技术后勤副部长办公室网站在“SOS and FOS FAQ”中,把 SOS 定义为相互依赖系统的编配或集合,这些组成系统关联或联结以提供特定能力。除此以外,还定义了系统族(Family of Systems-FOS)的概念。

SOS 定义的多样性,一方面说明 SOS 问题的普遍性,各领域和专业都基于各自的背景提出自己的定义;另一方面也说明关于 SOS 的研究尚处于初期,以至于还没有一个能被各家共同接受的定义。本文在讨论中,倾向于从最基本意义上定义体系,即认为:体系是能得到进一步“涌现”性质的关联或联结的独立系统集合。这个定义说明体系的 3 个基本要素:(1) 独立有用系统;(2) 相互关联或联结;(3) 能得到进一步涌现性质。在讨论具体的体系问题时,还需要根据领域背景,对所研究的体系给予更具体的定义。

1.2 体系的类型及特性

体系虽然是由于信息技术推动而引起关注的。但人们对体系的研究已超出基于信息技术的体系范围。人们研究的体系类型,按领域分,有生物、社会、军事和工程等类型。

本文于 2006 年 2 月 20 日收到。

生物领域中的 SOS 和社会领域中的部分 SOS 是自然演化形成的,而工程、军事和部分社会 SOS 是人们有意识计划和构造的,是人造的。我们主要关心研究“人造”SOS。对自然形成 SOS 的研究则主要是为了增加知识,以帮助“人造”SOS 的开发。

人造 SOS,从组成系统相互关联的管理控制程度可以分成 3 类^[3],每一类型的采办或建设规则是不同的。

(1) 指导或强制型(Directed/Coerced):为满足特定目的而构造并管理的一体化 SOS。组件系统有能力独立运作,但其常态运行模式服从于集中管理的目的,如一体化区域防空体系。

(2) 合作型(Collaborative):集中管理机构没有运行体系的强制权力。组件系统必须自愿合作以满足商定的集中目的,如因特网就是合作型体系。

(3) 虚拟/混沌型(Virtual/Chaotic):虚拟型则是无集中管理权限,没有集中商定的目的,其形成在设计时很少能设想到,其组成系统往往是从未准备集成的。如万维网(World Wide Web)。

2 研究体系开发的重要意义

体系开发作为信息时代有普遍意义的社会技术形态,对满足人类需要,推动相关领域的发展具有十分重要的意义。

(1) 体系开发可以涌现新的能力。

体系开发是利用信息技术获取新能力的有效途径。在民用领域,因特网和万维网提供的人际交流能力在政治、经济、文化等领域引起重大变化并对全球化起到巨大推动作用。军事上最早的体系是 20 世纪 80 年代初融侦查、自动化指挥与毁伤兵器于一体的侦察打击综合体。“胜利将取决于掌握用先进信息技术联结多军种硬、软毁伤能力组成体系的能力”。

(2) 以体系为中心的发展方式可以加快新能力的形成。

体系的出现,引起发展方式的变化。工业化社会条件下工程装备发展方式是以主要工程装备为中心,着眼于主要装备升级换代的烟囱式发展。在信息化社会条件下,生产能力提高,不只靠主要装备,而且要靠相关保障和信息装备,要以体系为中心,使主要装备与体系其他组成装备保持一体化同步配套的螺旋式发展方式。

(3) 体系观念(SOS Perspective)提供解决复杂社会性决策问题,实现可持续协调发展的途径。

社会发展面临的大规模复杂问题具有鲜明的体

系特征,涉及多种不同类型广泛分布的系统(包括政策、经济和技术等类型),具有烟囱式背景的单一领域研究机构不可能解决如此复杂的问题,体系成为解决复杂社会性问题的一种方法论。

(4) 体系开发是解决人类社会面临挑战的必然选择。

21 世纪人类社会面临的一个巨大挑战是减少地球环境变化对人类社会发展的影响。这些问题具有全球性,它的解决要求加强对地球的观测,2003 年建立了综合性协调可持续的国家和全球地球观测体系(GEOSS)。

我国从上世纪 90 年代初起就着手开展体系建设研究,在一些领域确立了体系开发目标和以体系为中心,着眼体系整体质量的发展思路。但总体上,体系开发一直是我国许多领域建设的薄弱环节,制约相关建设快速持续健康发展,远不能满足从工业社会向信息社会发展,构建和谐社会的要求。导致体系开发薄弱的一个重要原因是对体系开发的相关理论、方法、技术与工具研究十分不够,“十一五”规划提出落实科学发展观,自主创新实现快速协调可持续发展的要求,进一步说明了体系开发研究的必要性和迫切性。

3 体系开发的研究内容框架

与系统开发相比,体系开发面临的新挑战主要是:(1) 需求变化。(2) 进化式开发。(3) 组成选择的多样性的挑战。(4) 综合寿命期管理。(5) 非线性开发,非均匀部署。(6) 与开发背景相互作用。

体系开发遇到的新挑战要求在传统系统工程基础上开展体系工程研究。为了促进有目的研究,有必要根据实际需求和研究现状建立研究内容框架。体系开发可以按 3 个维度建立研究框架:一是获得的知识类型;二是体系开发问题类型;三是研究的应用领域。

3.1 获得的知识类型

体系研究获得的知识类型可分为以下 5 类:

(1) 理论知识

解决怎样想的问题。主要是建立学科基础的基本理论、运作原理、行动原则、开发规律以及公理等。

(2) 方法学

解决怎样做的指导问题。一般认为:方法学比理论原理更具体,比方法、工具或技术更一般。

(3) 实现过程

解决体系开发怎样实现的问题。包括具体步骤

和方法等。

(4) 技术

用于支持体系开发的技术工具。如模型、仿真、辅助决策、辅助设计等。

(5) 应用经验

应用理论、方法学、过程和技术成功地解决体系开发问题。通过应用说明体系开发怎样进行才能成功以及为什么成功的原因,进一步丰富学科知识。

3.2 体系开发问题类型

体系开发是一个演化过程。所以与系统开发不同,体系开发是一个没有最终结束状态的螺旋式过程。体系开发问题类型包括需求论证、体系设计、开发管理、部署运用、试验评估以及体系进化等。

(1) 体系设计

体系设计要区分新体系设计和现有体系转型。新体系设计要确立强壮的体系结构,包括体系的组成结构和互操作结构。已有体系的转型要求不同的方法学、技术和能力。必须解决组成系统的再设计及集成已有系统达到满意体系性能的问题。

(2) 体系开发管理

研究实现体系方案的管理技术,包括资源分配、采购、承包、计划调度、试验评估、集成实验、管理机制等。

(3) 体系的部署运用

研究有效的体系部署方式,最利于发挥体系效能的控制与运用方式。

(4) 体系的实验、试验与评估

体系的实验主要是验证假设,发现新的原理。体系的试验是检验体系的实现是否达到预期要求。体系的评估既不能从组成系统性能评估外推,也不能沿用单一系统评估的方法,需要用不同的概念和方法。

(5) 体系的维护与进化

核心是体系的可持续发展问题。为此需要解决体系维护、风险防范以及实现体系的螺旋式发展机制等问题。

(6) 需求论证

体系的需求是一个有层次的需求。其顶层需求论证的特点,一是考虑多个利害相关者的希望;二是需求的不确定性及时变性;三是对体系进化式开发全程的需求而不只是某一时间点的需求;四是立足现状的可实现需求。

3.3 应用领域类型

体系开发的应用领域大体上可区分为人造工程

体系、军事体系、社会经济体系等。横向可区分不同应用领域,纵向又有多个层次,如国际、全国、省、县等,同时还要区分体系的两种角度,一是编成角度,二是运行角度。编成体系的组成系统(包括子体系)之间是功能关联,没有信息联系。运行体系的组成系统间不只是功能关联,还有具体的信息联系。

4 体系开发研究的几个关键技术

研究体系开发规律,探索体系开发的科学途径需要针对具体的领域背景,解决理论、技术、管理和工具,手段等4个层面的关键技术问题。

4.1 理论层面的研究

体系开发研究是系统科学与应用领域的交叉研究,在科学上属于复杂性科学研究的范畴,所研究的对象是一类特殊的复杂系统(基于信息技术的人造体系)。体系开发在理论层面的研究是关系到体系开发的思路是否正确的问题,主要是围绕体系的复杂性与涌现行为机制问题进行研究的。

在体系的涌现行为机制研究方面,钱学森同志提出的处理复杂巨系统的从定性到定量的综合集成方法论,在思维科学层次上为研究指明了方向。近期复杂性科学研究中提出的诸如自适应规划建模,状态空间建模,网络建模以及基于主体建模等都是具有潜在应用价值的概念模型和量化模型建模方法论。

4.2 体系顶层设计和优化

体系顶层设计是体系开发跨领域、跨层次、跨时段的整体谋划,主要是能力评估与资源分配决策问题。关系到体系开发的成败。体系顶层设计的科学问题:一是顶层设计的方法学,原则上,基于可能情景的规划与基于能力的规划两类。基于能力规划以提供适合于当前广泛挑战与环境的能力为目标;二是顶层设计重在演化设计,要解决从现有状态到预期的阶段目标状态的演化设计;三是体系的结构设计包括组成与接口两方面,要建立分析框架并用于进行功能评估与互操作性评估;四是顶层设计的优化问题,重点是优化准则确立与优化方法问题。

4.3 体系的开发管理和运行控制

这是保障体系开发谋划取得实实在在效益的关键,是对管理科学和系统工程的新挑战,其目的是保证在限定的投入、进度下得到提供所需能力的体系。这里讨论其中3个关键问题。

(1) 体系开发原则

Maier等都建议以下4项原则:(i)首先实现一

个稳定的中间形式。稳定的中间形式是体系的原形,其中有些组成部件用旧的系统暂代。在完全部署或建成前能运行并满足部分使用目的。但性能可能达不到要求。(ii) 责任分担方针。要区分专责部分和属于合作的部分。例如内部通信协议,由设计单位自定,但外部通信应遵从共同标准,避免多次转换。(iii) 接口分析和管理的。通过使用系统方法进行体系的接口分析。这方面的有效工具是 N^2 图,通过 N^2 图,可以用合并元素或功能的方法减少接口。由于体系的复杂性,有必要建立分层的 N^2 图。并进行分层的接口管理。(iv) 确保合作。体系设计者必须细致选择组成系统的自治程度,为了避免自愿合作带来的随意性,可能需采取某种程度的行政或经济手段。而实现自愿合作,则需设计合作机制与激励。除此以外还有并行工程管理等。

(2) 体系集成管理

从一定意义上讲,体系开发过程就是体系集成过程。只不过传统意义上的集成是在已经备齐了组件系统基础上的集成,而体系开发则是把集成分散在体系寿命期全过程,使最后阶段的集成可在短时间内方便地实现。体系集成作为体系开发的重要环节或重要阶段。其管理内容包括:(i) 集成工程。包括需求定义、接口、互操作性、效果评估、试验、软件验证确认以及体系结构开发。(ii) 集成管理。包括计划调度、预算/成本、技术状态管理及文档。(iii) 转换工程。包括转换计划、运行安全、后勤保障、预先计划的产品改进等。

(3) 体系的采购方式

体系的采购方式至少有3种:一是由一个开发和集成企业承包;二是政府把组件系统和集成工作分包给若干公司;三是政府把组件系统分包给各公司,自己负责集成。

体系采购方式涉及体系开发机制创新与管理体制改革等问题,要深入总结我国在体系开发管理方面的成功经验,借鉴国外在体系转型方面的经验教训,研究论证我国相关领域体系开发的改革措施。

4.4 体系的实验、试验和评估

充分发挥体系实验、试验和评估作用对于体系开发的成功和减小风险具有决定性意义。

(1) 体系的实验试验环境

体系的实验试验环境应当是实验室、现场和试验场的有机组合。实验室进行概念探索,模拟检验和现场试验方案的模拟论证。现场、试验场进行检验性试验,并提供试验结果数据,修改完善实验室所

用模拟系统。

如何使体系实验室建设满足体系设计、论证和管理的要求,还面临着巨大挑战,要组织跨单位的合作,用体系开发的方法进行模拟体系的开发。

(2) 体系实验试验环境的应用

一是要按体系开发各阶段要求制定实验试验计划;二是要做好具体试验实验方案设计;三是研究分析方法、处理模拟结果、得出体系开发所要求的分析评估结论。

5 结束语

以上讨论说明,体系开发规律与科学途径的研究是信息时代的一个崭新研究领域,具有重要实际意义与学术意义。

(1) 体系开发和应用已成为信息时代社会技术形态的一个重要特征,对把信息技术潜力转化为信息社会的发展具有根本意义。

(2) 掌握体系开发与应用的内在规律将为相关领域协调发展,资源有效利用,落实科学发展观提供一种科学途径。

(3) 自觉而科学的进行体系开发与应用,为利用信息技术的发展,实现从半机械化向信息化的跨越式发展提供保证。

(4) 促进复杂性科学研究与实际的结合,拓展系统工程的研究范围,并为信息技术和各领域科学技术发展,从体系开发与应用角度提供新推动。

由于体系开发所要解决的矛盾特殊性,有必要把体系开发与应用作为专门领域研究。这个研究领域将通过工程与社会应用领域的科学技术以及系统科学、管理科学、运筹分析、系统工程、信息技术等多学科交叉,分析现实体系开发与应用的经验和存在的问题,探讨体系的原理,体系开发的理论、方法学、技术、工具以及相关经济、政策和标准化等问题;推动我国各领域体系开发与应用的快速健康发展。

参 考 文 献

- [1] Eisner H. Computer-Aided System of Systems Engineering. Prentice Hall, NY, 1988.
- [2] Shenhar A. A New Systems Engineering Taxonomy. Proceedings of the 4th International Symposium of the National Council on System Engineering. National Council on System Engineering, 1994, Vol 2, 261—276.
- [3] Maier M W. Architecting Principles for System-of-System. Systems Engineering, 1998, 1.
- [4] Keating C. System of Systems Engineering. National Centers for System of Systems Engineering (NCSOSE), 2002, 10.

THE DEVELOPMENT PRINCIPLES AND RATIONAL APPROACHES FOR SYSTEM OF SYSTEMS

Zhang Zuiliang Huang Qian Li Luyang

(Institute of Military Operation Research and Analysis, Academy of Military Science of Chinese People's Liberation Army, Beijing 10091)

Abstract The development principles and rational approaches for System of Systems (SOS) is a new study subject of the information age. This paper focuses on: the concepts and characteristics of SOS; the significances of SOS development study; the difficulties and challenges of SOS Development; and the key problems concern of SOS development study.

Key words system of systems, complex system, scientific management, design and optimization, emergence of behavior

·资料·信息·

《中国科学基金》《自然科学进展》第5届编委会在京举行

《中国科学基金》和《自然科学进展》第5届编委会会议于2006年3月17日举行。

国家自然科学基金委员会陈宜瑜主任、朱作言副主任、王杰副主任、孙家广副主任及《自然科学进展》主编师昌绪院士出席会议。两刊编委约50人到会。会议由朱作言院士主持。

陈宜瑜主任首先讲话。他充分肯定了两刊取得的成绩,并代表委党组对两刊的编委们和编辑部表示感谢。接着,陈主任重申了委党组对于办好两刊的方针政策,明确了两刊工作意义、定位和刊物的性质。他说,当前对于学术期刊而言,实现市场化为时尚早,因此新一届领导决定以全额补贴形式办好两刊。

陈主任还就如何办好两刊提出了以下具体指示:(1)《中国科学基金》不能只定位为机关刊物,应该更高一点。要研究和发表科学基金政策方面的文章,包括国内外各种形式的科学基金;加入一些科学普及型栏目,通俗地宣传和展示基金支持项目的工作;发布信息,发挥信息平台的作用。(2)继续推动《中国科学》、《科学通报》、《自然科学进展》三刊合作,使三刊办成各具特色的优秀刊物。《自然科学进展》可与《中国科学》系列期刊相互配合,分工合作,要报道有反响的综述类论文,逐步发展成中国的 *Nature, Science*。(3)要依靠编委会。刊物质量与编委关系密切,要充分发挥编委的科学及学科背景,

提高编委会的组成质量和能动性。《中国科学基金》的编委组成应该适当增加委外科学家。应该请高水平科学家作为期刊的编委,提倡编委参与实际工作。

《中国科学基金》编辑部汤锡芳主任和《自然科学进展》编辑部梁平主任分别报告了两刊的工作。编委们就我国科技期刊的发展形势、两刊如何定位、如何解决所面临的诸多问题等展开了热烈讨论。师昌绪院士认为,出版工作十分重要,因为基金工作的痕迹最终会落实在出版物上,没有好的学术期刊,创新型国家不可能实现。他建议,《中国科学基金》应重点报道基金政策、有关基金的规章制度、一些先进做法和先进人物,同时大力宣传基金制;《自然科学进展》要加强对外合作,走国际化道路。

朱作言副主任在总结性发言中,充分肯定了两个编辑部的工作及刊物近年来所取得的成绩,强调了办好学术期刊的重要性。他指出,我们要以新的视野看待办好两刊,两刊要宣传好我国的科技研究前沿与特色,引起国外同行的兴趣,起到宣传、展示与引导作用。即:随着中长期规划的实施,国家正在继续推进基础研究,两刊要加强对基础科学发展中关键问题的宣传工作,宣传形式可以多种多样,如以简报形式报道各科学部位列前列的重大项目的中期检查和结题验收情况。争取要有科普型文章报道 NSFC 资助的优秀科研项目,如杰出青年科学基金的报道等,以回报纳税人,回报社会。