



系统工程与体系结构 建模方法与技术

System of Systems Engineering
and System of Systems Modeling

赵青松 杨克巍 陈英武 姜江 编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

体系工程与体系结构 建模方法与技术

赵青松 杨克巍 陈英武 姜江 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

体系工程是系统科学、管理科学与复杂性科学在研究特定体系问题时产生的新领域。本书以体系结构建模为主,将武器装备体系作为主要研究对象,主要内容包括体系结构与体系结构建模框架、基于能力需求的体系结构建模过程、体系结构建模方法与工具、体系能力与体系效能评估、体系结构与体系能力演化、体系结构设计 with 优化等。

本书可供系统工程、体系工程、军事装备学、管理科学与工程相关专业的研究人员、工程技术人员及高校学生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

体系工程与体系结构建模方法与技术/赵青松等编
著. —北京:国防工业出版社,2013. 8
ISBN 978-7-118-08989-9

I. ①体... II. ①赵... III. ①体系工程—研究②
系统结构—系统建模—研究 IV. ①N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 179262 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 13 字数 242 千字

2013 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 59.90 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717



前 言

进入 21 世纪,随着以信息技术为代表的各项高技术在各领域的广泛应用,原来广泛存在的系统之间的交互和联系越来越普遍、越来越广泛,这些联系多数以信息为介质,以网络为载体,通过互联、互通和互操作实现交互和协同,以完成共同的目标和使命。在这样的背景下,大规模的系统组合在一起完成任务成为普遍现象,体系的概念及其相关研究也成为研究的热点。

本书以体系工程与体系结构建模方面的研究为主,在简要介绍体系、体系工程的由来、概念及其最新发展和研究的基础上,重点研究体系结构与体系结构建模框架、基于能力需求的体系结构建模过程、体系结构建模方法与工具、体系能力与体系效能评估、体系结构与体系能力演化、体系需求演化方法、体系结构设计与优化等内容。最后根据体系工程的国内外最新研究成果及研究热点进行了分析及展望。

本书的撰写,为体系工程特别是体系结构建模相关领域的研究人员,提供一个了解和研究体系工程和体系结构建模较为全面的知识体系。特别地,以武器装备体系为主要的研究对象,着重分析和研究了武器装备体系结构的特点和相关技术方法。本书可以为开展武器装备建设的规划计划论证、论证评估以及装备的全系统全寿命科学管理提供科学的理论、方法、技术和工具方面的有力支撑;为武器装备体系顶层设计人员开展相关领域研究提供技术指导,对影响武器装备体系发展的各种要素,如规模结构、配比结构、技术水平、数质量等方面的优化提供思路、方法,并提供可供实用操作的具体技术、手段方面的相关知识。

这本书凝结了国防科技大学体系课题组 6 年来集体的研究成果,全书由赵青松、杨克巍负责统稿和撰写,陈英武教授参与部分章节的撰写和全书的指导工作,姜江讲师和葛冰峰、舒宇、李兴兵三位博士生分别参与了第 2 章、第 3 章和第 5 章的撰写。此外非常感谢鲁延京、豆亚杰、王栋、赵华、程贲、熊健、张小可、曾平等,他们在研究生期间卓有成效的研究为本书的理论、方法及实例研究提供了丰富的素材,同时对为本书出版作出大量工作的人们表示深深的感谢。

本研究得到了 985 工程“装备体系工程管理哲学社会科学创新基地”、国家自然科学基金(No:71001104)的支持,对此深表感谢!

作者

2013 年 5 月

目 录

第 1 章 体系与体系工程	1
1.1 体系问题的由来	2
1.2 体系	5
1.2.1 概述	5
1.2.2 体系与系统	8
1.3 体系工程	13
1.3.1 概述	13
1.3.2 体系工程与系统工程	15
1.3.3 体系工程研究框架	17
1.4 武器装备体系工程	20
1.4.1 武器装备体系工程	20
1.4.2 武器装备体系工程的研究框架	23
第 2 章 体系结构与体系结构框架	26
2.1 体系结构	26
2.2 典型的体系结构框架	27
2.3 美军联合能力集成开发系统	34
2.4 武器装备体系及结构框架	37
2.4.1 武器装备体系	37
2.4.2 武器装备体系结构框架	39
第 3 章 基于能力需求的体系结构建模过程	45
3.1 能力与体系能力	45
3.1.1 能力与体系能力的概念	45
3.1.2 体系能力的特征	46
3.2 基于能力需求的武器装备体系结构建模	47
3.2.1 基于能力需求的武器装备体系结构建模框架	47
3.2.2 从需求到体系结构的建模	51
3.2.3 武器装备体系结构的建模	57
3.2.4 从体系结构到能力的建模	62

3.2.5	建模过程分析	65
3.2.6	基于能力需求的武器装备体系结构建模过程模型	67
第4章	体系结构建模方法与工具	72
4.1	结构化建模方法	72
4.4.1	面向过程的建模方法	72
4.4.2	面向对象的建模方法	72
4.4.3	形式化建模方法	73
4.2	基于多视图的体系结构建模	74
4.2.1	基于多视图的建模方法	74
4.2.2	基于多视图的武器装备体系结构建模	76
4.2.3	基于 SysML 的武器装备体系结构视图产品描述	79
4.3	体系结构建模工具	91
4.3.1	System Architect(Telelogic)	91
4.3.2	Framework 和 Core	93
4.3.3	武器装备体系结构建模工具集	94
第5章	体系能力与体系效能评估	102
5.1	体系评估方法	102
5.2	基于改进 ANP 的网络分析法的系统功能对体系能力贡献度评估	103
5.2.1	从体系能力到系统功能的网络层次结构模型	103
5.2.2	网络分析法及其改进研究	105
5.2.3	系统功能对体系能力贡献度评估	110
5.3	基于证据推理的武器装备体系能力需求满足度评估	113
5.3.1	问题背景及模型假设	113
5.3.2	能力需求满足度评估方法	114
5.3.3	示例	118
5.4	基于系统动力学的武器装备体系作战效能建模	125
5.4.1	系统动力学	125
5.4.2	武器装备体系对抗作战效能系统动力学建模	130
第6章	体系结构与体系能力演化	151
6.1	演化与体系演化	151
6.2	体系结构与能力演化分析的基础理论	153
6.2.1	自组织理论	153
6.2.2	突变理论	155

6.2.3 复杂网络理论(Complex Network Theory)	157
6.3 体系演化中的涌现行为	158
6.3.1 涌现的基本观点	158
6.3.2 体系能力涌现过程	160
6.4 体系结构与体系能力演化分析工具	162
6.4.1 基于 Agent 的仿真工具——SWARM	162
6.4.2 基于 Agent 的仿真工具——Anylogic	163
第7章 体系结构设计与优化	166
7.1 体系结构设计与优化方法概述	166
7.2 体系结构关系分析与建模	169
7.2.1 体系中的关系	169
7.2.2 体系关系的复杂性分析	170
7.2.3 体系能力的双层建模框架	172
7.3 面向演化的体系结构设计与优化	173
7.3.1 面向演化的体系机构设计与优化框架	174
7.3.2 基于实验设计的多维场景构建	174
7.3.3 基于 ABM 和 SD 混合模型的体系结构演化行为研究	177
7.3.4 基于知识的体系结构优化	181
第8章 体系工程的发展与展望	184
8.1 国际上体系工程研究的主要机构	184
8.1.1 体系高级研究中心	184
8.1.2 珀杜大学	185
8.1.3 卡内基·梅隆大学	185
8.1.4 老道明大学——国家体系研究中心	186
8.1.5 科学应用国际公司的一体化体系协同环境实验室	186
8.1.6 波音公司的体系集成实验室	186
8.1.7 其他机构	187
8.2 体系研究的热点问题和领域	187
8.2.1 体系工程最新的研究热点	187
8.2.2 能力工程	193
参考文献	195

第 1 章 体系与体系工程

随着时代的迅猛发展,特别是信息时代的突飞猛进,在解决重大问题时需综合考虑的相关因素越来越多,且所处外部环境的不确定性越来越强,例如,考虑天气、安全、出入流、服务质量等因素的综合空中交通系统建设;考虑战略背景、国家使命、科学技术发展、恐怖主义等的军事装备发展方案等。面对上述问题时,仅仅单纯考虑某个系统或几个系统的工程优化解决方案,往往无法全面适应和解决上述复杂问题,而传统的系统工程方法在处理此类规模非常庞大,目标变化大,环境因素不确定性强的问题时缺乏有效手段和方法。

这种完成特定目标时由多个系统或复杂系统组合而成的大系统,在不同领域和应用背景下有多种不同的术语来进行表述,使用较为广泛的如 Systems within Systems、System of Systems、Family of Systems、Super – Systems、Meta – Systems 等。随着研究的不断深入,SoSs (System of Systems) 这一名词逐渐得到研究人员的认可并被广泛地使用,我们将其译为“系统的系统”简称为“体系”。从字面理解,体系是由系统的系统构成,即多个系统:可能是层次明确的多级“系统 – 子系统”模式;可能是紧密耦合的多个相关系统组合;可能是一类松散联邦制,根据具体环境(威胁、目标等)快速聚合的系统集合,应用体系的理念及其相关的思路,在面临复杂问题时往往具有强适应性;当某个构成体系的系统出现问题或者损坏的情况下,快速灵活调整体系的局部构造,新“体系”仍旧胜任原有任务;具有宽扩展性:随着时间和环境的变化,只需要调整(更新)某几个系统,增加或者改进这些部分,在保持体系总体结构的同时,使用最小的代价大幅提升体系的能力。体系的这些特点使其成为 21 世纪初交通、军事、制造、社会研究等领域的热点方向。

体系工程是系统科学、管理科学与复杂性科学在研究特定体系问题时产生的新领域,目前,体系研究的主要研究思想、理论和方法多脱胎于系统工程的思想,并在此之上面向体系研究中的独有特征及应用领域的差异,建立了一套面向体系独有特征的分析模式。

1.1 体系问题的由来

人类对客观世界的认识与改造,从总体到局部,再到总体;自顶向下,自底向上,再自顶向下;从分解到综合,再分解,再综合,不断地螺旋式地向更广、更深的方向发展。20 世纪 40 年代,在贝塔朗菲、香农、维纳等人的努力下,人们逐步将“系统”作为认识客观世界的一个基本载体。伴随一般系统论、运筹学、控制论、信息论、系统工程、自组织理论等基础理论的产生与发展,系统思想成为人们认识客观事物的基本指导思想之一,系统工程也逐步成为现代社会解决复杂问题的一种主要工程方法和技术手段,如载人航天、三峡工程、南水北调等。

从 20 世纪 90 年代初开始,体系一词出现并广泛应用在信息系统、系统工程、智能决策等研究领域。体系一词的出现在文献中最早可以追溯至 1964 年,有关纽约市的《城市系统中的城市系统》中提到“Systems within Systems”。英文词汇中常用的 System of Systems 或 System - of - Systems (SoSs) 与我们一般所称的体系概念最为接近,而随着研究范围的不断扩大和内涵的差异,在外文文献中 Super - Systems、Federated Systems、Family of Systems (FoSs)、System mixture、Ultra - Scale Systems、enterprise - wide System 等词也在不同领域和背景下表达了与体系相近的含义。进入 21 世纪以后,越来越多的大规模、超大规模的相互关联的实体或组合的出现,特别是在信息领域,超大规模系统(Ultra - Scale Systems)正成为体系领域研究的另一个热点。

国际上许多学术机构和学者从体系的组成、类型、内涵、领域应用及关键技术等进行了研究,并取得了一定的成果。随着研究的深入,在美国已经成立了多个体系研究的专门机构如体系高级研究中心、老道明大学的国家体系研究中心。IEEE 也专门开辟了体系领域的专题,从 2005 年开始每年召开一届体系工程国际会议,会议主席由著名的体系研究学者 Mo Jamshidi 担任,体系及体系工程的研究逐渐成为系统科学和复杂性科学研究的热点。而国内学者对于体系的研究相对滞后,研究也主要集中在军事领域。国防科技大学信息系统与管理学院自 20 世纪末以来开始关注体系的相关问题,以军事问题为背景,对体系需求、体系结构优化以及体系评估等问题进入了深入的研究。有关国内外体系研究的主要机构及学术前沿详细内容请参考第 8 章。

在体系领域研究的发展初期,尽管发展势头很好,但关于体系及体系工程的各种概念、观点和开发,对于诞生不久又正在成长中的新兴领域,存在着大量的争议,更需要围绕这方面研究的基础知识形成一个较为一致的观点,以便在更深层的探

讨中不断提高研究水平。

在综合多个定义(见 1.2 节)的基础上,本书将体系定义为:在不确定性环境下,为了完成个特定使命或任务,由大量功能上相互独立、操作上具有较强交互性的系统,在一定约束条件下,按照某种模式或方式组成而成的全新的系统。体系是在当今世界一大批高新技术发展的推动下,形成和发展起来的一类按人为机制和人为规则所构成的“非物理性”系统。例如,航天装备体系是由各种侦察、预警、通信、气象、导航卫星及其地面应用、运行控制和发射系统组成的。目前,经常提及和应用最为广泛的一个体系方面的代表就是武器装备体系。现代战争条件下,军事对抗的胜负不仅取决于某一种或者某几种参战武器装备,而且还取决于所有参战武器装备所形成的整体作战能力及其在对抗中是否得到恰当运用,甚至是各类未直接参战的武器装备(如保障装备、后勤装备等)的综合实力的比拼。在联合作战背景下,战争不再是单一的武器对武器、平台对平台的对抗,武器系统之间实现互联、互通和互操作,各种资源包括信息被充分共享,由指挥控制系统、侦察监视系统、联合火力打击系统等各种系统组成的作战体系的对抗。

美军更是在装备采办阶段即提出了面向体系,基于能力规划的采办,即未来装备的发展全部要纳入到各类体系的建设规划中,否则不予支持。在已经公布的美军各类典型装备体系建设任务中,以下几个是当前正在建设的非常具有代表性的体系:

- 陆军作战指挥系统(Army Battle Command System);
- 空军作战中心系统(Air Operations Center Weapon System);
- 弹道导弹防御系统(Ballistic Missile Defense System);
- 美国海岸警卫队指挥和控制系统(United States Coast Guard Command and Control Systems);
- 国防部情报信息系统(Department of Defense Intelligence Information System);
- 未来作战系统(Future Combat Systems);
- 军事卫星通信系统(Military Satellite Communications);
- 海军综合火力控制和防空体系(Naval Integrated Fire Control - Counter Air)。

体系建设不仅要考虑体系层面的条件、约束和目标,而且还要考虑组成体系的系统层面的条件、约束和目标。体系建设具有规模大、周期长、耗资大等特点。组成体系的各个系统在功能上的独立性导致了构建的体系可能存在着冗余或差距,对体系需求的分析和体系结构优化已经成为当前体系建设所面临的一个重要问题。在目前的体系研究中,如何明确一套被体系各利益相关者所共同接受、理解并能准确表达各方的需求规范,是体系工程研究需要首先解决的问题。

2009 年,国际系统工程期刊通讯(System Engineering INSIGHT)发表了著名系统工程学者 Joseph E. Kasser 对于系统和体系评价的一篇短文,他认为对于体系的概念及其存在性产生了分歧:一些人认为体系是一个全新的问题,需要提出新的方法、技术和设计新的工具、来进行研究,代表人物是 Cook 和 Bar - Yam;另一个阵营的人则认为体系问题属于复杂性研究的领域,可以采用处理复杂性手段来解决问题,只是认为在处理某些细节和特殊背景的特殊问题时,需要运用新的技术和手段予以解决,代表人物包括 Maier 和 Hitchins 以及 Rechтин。

Kasser 则认为体系与系统的研究不存在本质的不同,只是不同角色的人员在研究和解决问题的过程中,采用不同的视角看待同一个事务所产生的差别,如图 1-1 所示。

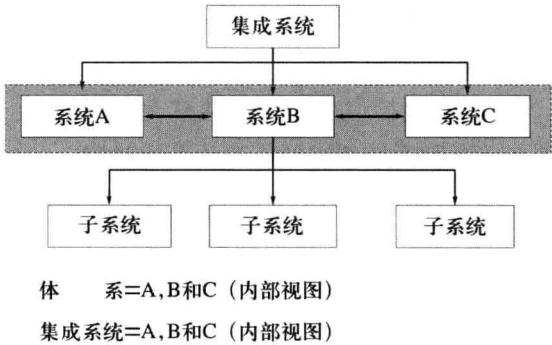


图 1-1 不同视角看待体系

首先,从传统的系统工程观点来看,上图自上而下是一个“集成系统 - 系统 - 子系统”(Metasystem - System - Subsystem)模型,主要是采用了一个纵向的视角对于相关问题领域的观察和描述,多出现在开展总体论证、系统分析时;而持有全新概念 SoSs 的人则更多的是从横向的视角出发,将这些系统纳入整体进行考虑,多出现于具体提出解决方案时。

其次,当系统 B 从上向下观察时,我们看到它由三个子系统构成,当我们看集成系统时,也会发现它是由三个子系统构成。但是从横向的视角去观察它,会发现通常被称为一个“体系”。因此在解决体系问题时,应将其视为“系统工程发展的新领域”,其中有许多需要重新研究的问题,但是总归从目前的研究来看仍属于系统工程领域。

本书从体系和体系工程的基础理论、概念出发,重点介绍体系需求工程中有关体系需求获取、需求建模、需求分析、需求管理等方面的主要理论、方法和技术,重点从模型和工具的角度为开展体系需求工程方面的研究提出一些见解和观点。

1.2 体 系

1.2.1 概述

1. 体系的定义

不同领域的学者和组织从他们各自的领域和角度提出了体系的定义,表 1-1 给出了其中部分较为权威和被广泛应用的关于体系的定义和描述。

表 1-1 体系的一些的定义及应用领域背景

出处	体系 定义	重点描述	应用领域
Maier, 1996	为实现共同目标聚合在一起的大型系统集成或网络	系统间的信息流动,通信标准;根据是否存在集中管理和共同的目标来划分体系	军事系统中以强制型和协作型体系为多。前者要求组成系统虽然能够独立使用和管理,但仍进行集中式的管理,必要时分解开来。后者则要求组成系统各自独立使用和管理,但能够相互协作,增强各自的能力
Cook, 2001	体系是包含人类活动的社会——技术复杂系统,通过组成系统之间的通信和控制实现整体涌现行为	体系分类:专用体系 (dedicated SOS);临时体系 (virtual SOS)	两类军事体系:①在设计阶段就考虑到组成系统的协作,以满足共同的目标称为专用体系;②在设计阶段没有考虑日后的协作,在短期(数周)内为完成特定使命而构建的体系。如联合维和行动的指挥控制体系,它的组成系统之间从未进行过互联测试。这类体系将会在行动完成后自动解体
Sage and Cuppan, 2001	体系是具有以下五大特征的复杂系统:使用独立性、管理独立性、地理分布、涌现行为和演化发展	复杂系统的演化开发	军事领域
Maryland – ScottSelberg	体系是具有一定功能的独立的系统的集合,这些系统聚合在一起获得更高层次的整体涌现性		一般通用领域

(续)

出处	体系定义	重点描述	应用领域
US DoD	相互关联起来实现指定能力的独立系统集成或阵列,其中任意组成部分缺失都会使得整体能力严重退化;能够以不同方式进行关联实现多种能力的独立系统集成或阵列		军事体系
IEEE	在多个独立机构的指挥下,能够提供多种独立能力来支撑完成多项使命的大型、复杂的独立系统的集合体		一般领域
现代汉语词典	体系是若干有关事物互相联系,互相制约而构成的一个整体	与系统含义相近,强调关于某事物的整体认识	理论、知识等抽象层面,如思想体系、科学体系、学科体系等

其他的一些国内外文献中有关体系的定义如表 1-2 所列。

表 1-2 其他的一些有关体系的定义

时间/年	作者	有关“体系”的定义
1994	Shenhar	体系是大范围分布的系统集成成的系统的网络,这些系统一齐工作达到共同目的
1996	Manthorpe	对于联合作战,体系是由 C ⁴ ISR 系统联系起来的具有互操作和协同能力的系统;主要关注点:信息优势;应用领域:军事
1997	Kotov	体系是由复杂系统组成的大规模并发分布式系统;主要关注点:信息系统;应用领域:私人企业
1998	Maier	体系是组件的集合物,这些组件单个可作为系统并具有以下特征:①组件的运行独立性,若体系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,而且实际上是独立管理的;③其他特性如体系的演化发展与整体涌现行为等
1998	Lukasik	体系工程主要研究许多系统如何集成为体系,这将最终有助于社会基础设施的发展。主要关注点:系统评估、系统交互。应用领域:教育
2000	Pei	体系集成是一种寻求系统的开发、集成、互操作和优化的方法,用以提高未来战场想定的性能。主要关注点:信息密集系统集成。应用领域:军事
2001	Carlock 和 Fenton	体系工程主要关注传统系统工程活动与战略规划和投资分析等企业活动的结合。主要关注点:信息密集系统。应用领域:私人企业

(续)

时间/年	作者	有关“体系”的定义
2006	张最良	体系是能得到进一步“涌现”性质的关联或联结的独立系统的集合
2006	Northrop	体系由许多独立的系统组成一个整体,并满足指定的需求。主要关注点:系统的涌现性。应用领域:软件工程
2006	Kaplan	体系是由多个在不同权利机构管理下不断发展的独立系统构成的长期集合,其目的是提供多种相互独立的能力以支持多种任务

上述的定义从军事、商业、教育、软件工程等领域给出了体系的相关定义,有着不同的关注点和特征,在它们各自的领域内都是有较强说服力和应用广度的。

本书中给出的一般意义体系的定义如下:

在不确定性环境下,为了完成个特定使命或任务,由大量功能上相互独立、操作上具有较强交互性的系统,在一定约束条件下,按照某种模式或方式组成而成的全新的系统。

2. 体系的特征

针对体系, Maier 给出了五条准则来区分体系与一般系统:

- 体系的组成部分在运行上的独立性;
- 体系的组成部分在管理上的自主性;
- 体系的组成部分在地域上的分布性;
- 体系的涌现性;
- 体系的演化性。

Kaplan 对体系进行全面深入地研究,归纳了体系的特点如下:

- 体系组成部分管理的独立性、重叠性和复杂性;
- 体系组成部分规模大、具有主动权且逻辑边界模糊;
- 体系构成部分之间信息共享的不确定性;
- 体系超长的生命周期;
- 体系所面向任务的不确定性、复杂性和评估的复杂性。

3. 体系研究与开发的原则

体系的上述特征对于体系的开发策略具有决定性的影响,为有效实施体系的开发与研究,体系开发过程中需要遵循以下原则:

1) 加强体系的顶层分析与设计,保证体系有目的地演化

为了使最终开发出来的体系满足用户的要求,首先要进行需求分析。通过需求分析,全面获取利益相关者对体系的需求,尤其是那些长远的、规划性的需求;识别需求之间的冲突,并进行权衡分析,使体系的利益相关者对于体系的发展形成一

致的需求;对体系需求进行管理,实现需求到后续开发过程和产品的跟踪,重视需求的变更。

在确定需求的基础上,探索体系的实现方案,关键是体系的结构方案。在体系的结构设计中,要从使用性能、技术、经济、风险等多方面对备选结构方案进行综合分析。另外,良好的扩展性和适应性将会是体系结构设计必须考虑的目标,只有实现该目标才能有效促进体系的演化。

2)采用分布、演化的开发方式,规避开发风险,提高开发效率

考虑到当前基于系统项目的开发管理体制,体系的开发模式与之完全不同,无法找到一个组织能够从总体和全局上负责整个体系的开发与管理,只能是以体系的组成系统为单位建立相应的开发项目,并确立这些系统开发的规范和原则,并且建立一个统一的协调与指导机构予以负责。另外,体系的利益相关者存在不同的群体,对体系的开发拥有不同关注点和利益,这为体系的分布开发提供了必要条件。在分布开发方式下,体系包含多个系统项目,这些项目可在一定程度上并行实施,不仅缩短了总的开发周期,降低了部分开发资源的闲置时间,还能让相关利益相关者同时参与到体系的开发中,有利于提高利益相关者的积极性。

体系的开发是一个长期的过程,不仅仅包括新组成系统的开发与加入,还包括对于老系统的综合利用,所以如果直到体系开发完成后才能测试、部署或使用体系,那么很难保证最终的体系是否满足用户的要求,这为体系开发带来的巨大风险。演化开发方式提出了采用迭代、分批或增量的方式实现体系的逐步开发,不仅有利于用户的意见和要求得以快速反馈,实现体系的优化设计;同时通过识别风险因素,制定迭代增量的计划,能够有效地降低体系开发的总体风险。

3)协调体系的开发项目,管理体系的演化

在体系的不断演化过程中,各组成系统的开发并不是完全独立的,开发项目中的有关决策,如制定接口标准,仍需要根据体系的总体目标进行协调。一般在体系层次存在一个专门的集成工作组,负责体系的演化管理,在组成系统的接口、进度、费用等方面协调各项目的开发。在组成系统层次,每个系统开发项目都有自己的集成工作组,在体系集成工作组的指导下完成各项目的系统工程任务,并把项目开发中出现的一些问题上报,由体系工作组负责协调处理。

1.2.2 体系与系统

体系的概念提出最开始就是脱胎于对于大系统及多个系统组成的复杂系统问题的研究,最初研究人员大部分沿袭了系统工程的相关理论、方法和技术来处理体系问题,但随着体系应用的不断扩展,体系研究中的新问题不断出现,这些独有的

特征和特点要求使用新的方法和技术来解决实际问题。

体系与系统最大的不同:构成系统的功能部分相互之间的相互关系紧密,是紧耦合关系;体系的构成要素往往具有较强的独立目标,且独立工作能力相对较强,这些要素之间是松耦合关系,且根据不同的任务需求可以快速的重组或者分解,体系工程研究的主要是如何根据目标的指引,建立最优(满意)的体系结构来完成任务。

表 1-3 给出了系统与体系在各个方面上的比较,可以较为清晰的表现出来体系区别于系统的典型特征:

(1) 体系能够产生新的功能,具有涌现性特征,这种功能往往是构成体系的元素个体所不具备的,或者单个个体完成效果显著低于体系。

(2) 体系的构成要素是动态变化的,一方面根据完成任务过程中调整体系构成或者结构以满足目标的要求;另一方面由于不可测因素带来的部分环节和要素功能的缺失,需要其他替代要素补充或者体系内部结构调整以弥补。

(3) 体系更多的是体现的组合关系,构成体系的元素之间的相互作用和相互配比与组合方式的不同,能够胜任和解决不同的任务。

(4) 体系的组成部分间松耦合;组成元素具有自治性;边界的演化性;元素互操作与管理的独立性;涌现性行为;目标多样性。

表 1-3 系统与体系的比较

特 性	系 统	体 系
复杂性	一般系统的复杂性不明显	体系的一项重要特征。表现在体系结构、行为与演化的复杂性上
整体性 /涌现性	系统表现出“整体大于部分之和”的特征,从整体中必定可以发现部分中看不到的系统属性和特征	体系也具有“整体大于部分之和”的特征,但是表现出强烈的涌现特性。体系将具有大量组成组件完全没有的特征或属性
独立性	系统的各要素一般不具有独立性	体系各组件是独立存在的
目标性	通常系统都具有某种目的,为达到既定目的,系统都具有一定功能,而这正是系统之间相互区分的标志	体系拥有超过一个目标,但是在特定条件下有一个核心目标主导体系运行
层次性	一个系统可以分解为一系列的子系统,并存在一定的层次结构	体系可能存在层次结构,也可能不存在,如 Internet 上的节点可以是网状结构

通过比较体系和一般系统之间的差别,总结出体系具有如下基本特征。

1. 开放性

对于一般系统,系统工程人员在最开始研究它时就为其划定边界,定义它们与

外部环境之间存在的物质、能量、信息交换关系。系统工程人员出于研究便捷的目的,往往人为地定义系统的确定性边界,简化它们与外部环境之间的影响关系,尽可能把一般系统当作一个相对独立和封闭的系统进行处理。

但是,体系作为一类特殊复杂系统,它的边界并不明确,组成元素从属于它到不属于它是逐步过渡而非“一刀切”的,并且不同体系存在相互渗透,经常是“你中有我,我中有你”,有时同一个组成元素被包含在不同的体系中,而且随着时间的推移,环境的变化,体系的构成要素及其范围也发生着变化。对于体系与环境之间的关系,一方面外部环境对体系有着重要影响,如组织的高层战略与制度、科技水平与经济条件、自然环境以及对手的情形等因素,当这些因素发生变化时,体系也将随之做出变化;另一方面,体系也能对外部环境施加影响,具体而言,体系的开发将直接影响到外部环境的战略、经济、技术等方面。

因此,体系具有“不可简化”的开放性。开展体系研究时必须正视这一体系复杂性根源,“把复杂性当作复杂性处理”。这里的“不可简化”并不是指不能对体系与外部环境的关系进行简化,而是要求不能把体系的开放性给简化掉,要在保持开放性这一前提进行适当的简化。

2. 多利益相关者

一般来说,某个系统的开发工作通常由多个人或组织合作共同承担,每个合作者只完成系统的某个明确组成部分。这些合作者一般只支持某个特定的用户群体。所有的系统开发工作都在一个垂直性项目管理机构的领导下进行。

对体系而言,它所面对的大多是隶属于不同的多个领域的代表及用户群体。在这些用户群体以及其他利益相关者群体在体系生命周期中,拥有自身对体系的独特视角、利益和关注点。这些关注点不可避免地存在一定的冲突和矛盾,传统的应用于系统开发的集中控制方式无法有效解决这些冲突,只有建立一个跨利益相关者群体的水平结构的综合性组织,例如,集成产品开发小组,采用权衡分析方法,才能做出令所有利益相关者群体满意的决策。

3. 组成系统的协作性

一般系统中,各组件之间存在高度耦合关系,这种高耦合可理解为组件之间存在强制性的关联。这种强制性表现在某个组成系统必须其他相关组成系统的支持下才能有效发挥作用,例如物理上的结构依赖关系。在体系中,组成系统之间存在松耦合关系,某组成系统并不强制要求与另一个组成系统进行关联,而是根据目标要求和具体情况有选择地建立联系,例如信息服务,这种非强制性的关系被定义为一种协作关系。而且这种关系不是稳定不变的,可能随着任务的调整、任务的变化组成系统之间的关系也随着发生变化。