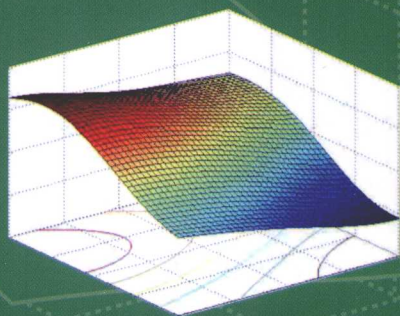


系统工程原理与技术

System Engineering Principles and Technology

阳东升 张维明 张英朝 修保新 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

C13031817

N945
31

体系工程原理与技术

阳东升 张维明 张英朝 修保新 编著



国防工业出版社

· 北京 ·



北航

C1636438

N945
31

内 容 简 介

本书共三个部分:第一部分是关于体系的理解与认识;第二部分介绍转换能力目标为高层体系需求(能力—需求转换)、理解体系的组成系统及其关系(体系的理解)、评估体系能力目标所需要的性能以及体系目前所拥有的性能(体系的性能评估)、开发和进化体系的体系结构(体系结构开发)、监控和评估变化/调整潜在的影响(体系变化监测)、评估需求和选择方案、体系升级演化的协同(体系的协同);第三部分介绍体系的系统工程方法、管理工程方法、体系的复杂网络分析技术、体系的建模与模拟技术、体系的设计与优化技术、体系的集成与交互技术、体系的测试与评估技术以及体系的演化规划技术。

本书适合从事系统科学领域的研究工作人员、从事系统科学领域的教学工作人员、从事复杂大系统工程实践的工程技术人员及从事宏观体系的管理人员等阅读。

图书在版编目(CIP)数据

体系工程原理与技术/阳东升等编著. —北京:国防工业出版社, 2013. 3

ISBN 978-7-118-08602-7

I. ①体... II. ①阳... III. ①系统工程—研究
IV. ①N945

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 031946 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)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 18 字数 311 千字

2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 56.00 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

体系工程是 21 世纪初系统科学领域兴起的一个新的领域方向,主要解决信息时代传统系统工程面临的挑战——宏观体系需求的动态性与模糊性、多系统的集成与交互工程以及大规模集成系统的演化工程实践问题。体系工程是一门高度综合性的管理工程技术,涉及应用数学(如最优化方法、概率论、网络理论等)、基础理论(如信息论、控制论、可靠性理论等)、系统技术(如系统模拟、通信系统等)以及经济学、管理学、社会学、心理学等各种学科。

关于体系工程的研究,本课题组于 2010 年出版了《体系工程理论与方法》,总结了课题组自 2003 以来在体系工程领域的研究成果,系统阐述了体系的需求分析、顶层设计、体系的构建与演化等理论与技术问题。近年来,关于体系工程的研究呈现一种“井喷”之势,越来越多的体系工程实践方法与理论在体系工程实践中得到应用和完善,其应用背景涵盖了各个领域,如 C⁴ISR 体系、国家交通体系、火星探测体系等,在不同的应用背景中,不同的方法都显示其合理性与适用性,如体系开发的系统工程方法、体系管理的管理工程方法、体系工程的三阶段方法等,都针对不同的应用背景得到验证,那么,体系工程是否遵循普适的原理?是否需要体系特有的工程技术?这是本书构思的冲动,也是初衷。

考虑到前期关于体系工程的研究成果——《体系工程理论与方法》是以我为主、自成体系,在本书中,我们侧重于国外研究成果的介绍,对体系工程原理与技术进行了分门别类的总结。

为指导体系工程实践,在引入相关方法与技术的介绍时,都力求避免空洞,结合了具体的案例进行说明,尽管没有统一的普适方法,仍力求书中引入的方法与技术都具备各自适用性和指导性,以飨读者。

另外,关于体系和体系工程的概念与定义,这是界定体系工程研究的范围,我们一方面介绍了体系和体系工程的起源与发展,系统总结了关于体系和体系工程的理解与认识;另一方面,也提出了对这一基础概念的理解和认识。

本书共分为三个部分:

第一部分是关于体系的理解与认识。对于这一部分内容,我们在《体系工

程理论与方法》的基础上,对《体系工程理论与方法》中关于体系的概念进行了全面的更新,并增加了体系特征测度的指标与方法。

第二部分是体系工程的概念与原理。在这一部分,引入了体系工程与传统工程的比较,并介绍了基于系统工程的体系工程原理。界定体系工程过程是系统工程V模型基础上的综合集成,体现为一种横向过程演化、纵向集成的复杂V模型,其核心要素(或者说主要的关键的内容)包括7个方面:转换能力目标为高层体系需求(能力—需求转换)、理解体系的组成系统及其关系(体系的理解)、评估体系能力目标所需要的性能以及体系目前所拥有的性能(体系的性能评估)、开发和进化体系的体系结构(体系结构开发)、监控和评估变化/调整潜在的影响(体系变化监测)、评估需求和选择方案、体系升级演化的协同(体系的协同)。同时,与体系工程核心要素相适应,我们介绍了系工程开发集成V模型的各个环节,包括:需求开发、逻辑分析、设计和选择解决方案、实施、综合集成、验证、确认和转移,以及支持体系工程技术过程活动的管理方法,包括决策分析、技术规划、技术评估、需求管理、风险管理、配置管理、数据管理和接口管理。

第三部分是体系工程的技术与方法。关于体系工程实践的技术与方法,我们在引入相关内容时颇为纠结,主要原因在于关于体系工程实践的技术与方法研究文献太多,如果不加选择,将会给体系工程实践活动造成思维混乱,甚至误导。基于这一思考,在方法技术的引入时,遵循三个原则:一是有成功的案例支撑;二是有较高的引用和较好的评价;三是涵盖体系工程的各个方面,具有领域的代表性。通过这三个原则的筛选,在本部分介绍了体系的系统工程方法、管理工程方法、体系的复杂网络分析技术、体系的建模与模拟技术、体系的设计与优化技术、体系的集成与交互技术、体系的测试与评估技术以及体系的演化规划技术。

本书构思的源动力在于研究生课程——“体系工程”的教学需要,在本书形成初稿后即开始投入教学,在教学过程中本书四易其稿,主要考虑了研究生教学需求和研究生论文选题的需要,这是本书的主要适用对象。另外,考虑体系工程之所以称为“工程”,是需要解决实践问题的,因此,我们在体系工程方法与技术部分紧密结合了工程实践,每一个方法与技术的介绍都引入了相关的应用背景,可以用于指导工程技术人员。

关于本书的阅读,如果需要深刻理解体系与体系工程,全面掌握这一领域的研究现状,那么,需要您耐心地从头开始阅读;如果是这一领域的专题教学需要,或者是研究选题的需要,那么,可以选择您感兴趣的章节进行阅读。考虑到这一

领域目前还没有其他的论著,建议您从第三部分开始有选择性的阅读,因为第一部分和第二部分是概念性和基础性的介绍,可以为您的架构领域的基础知识。

目前,体系工程领域的研究还处在“起飞”阶段,是“百家争鸣,百花齐放”的粗放时期,还远远没有达到一门学科成熟的境界,本书的工作仅仅只是系统总结了现阶段的研究成果,只能为本领域的研究工作者提供领域的概貌和研究思路,为体系工程实践人员提供可行的操作方法。在本书的成稿过程中,还感觉存在诸多方面的缺憾,如关于体系集成与交互的研究不够深入,关于体系的网络分析技术针对性不强,关于体系设计与优化的案例不够全面等,本书之所以把诸多缺憾留给读者,主要是抛砖引玉,为本领域的研究选题提供方向。另外,也激励我们进一步地深入展开研究,早日形成更新更完善的版本,以谢读者。我们期待您给予我们更多的理解和支持,也渴望您通过本书去挖掘体系工程领域的“金矿”,为本领域的发展贡献您的成果。

作者

2012 年 12 月 15 日

目 录

第一部分 体系的本质与特征

第1章 体系的概念与定义	1
1.1 体系的典型定义与理解	2
1.2 体系的综合定义	9
1.3 体系与人工系统、复杂系统	10
第2章 体系的主要特征及测度	13
2.1 体系层特征的测度	15
2.2 体系组成系统(子系统)层的特征测度	22
2.3 体系特性的关联及关键特性分析	27

第二部分 体系工程概念与原理

第3章 体系工程概念与定义	30
3.1 体系工程的演化	30
3.2 体系工程的概念与定义	32
3.3 体系工程与传统系统工程	33
3.3.1 传统系统工程	34
3.3.2 传统系统工程与体系工程的比较	35
第4章 体系工程过程	39
4.1 系统工程过程	39
4.2 体系工程过程	40
4.3 体系工程的核心要素及关系	44
4.3.1 体系工程核心要素的定义	44
4.3.2 体系工程核心要素之间的关系	46

4.4	体系工程核心要素的具体内容与技术管理	48
4.4.1	转换能力目标为高层体系需求	48
4.4.2	理解体系的组成系统及其关系	51
4.4.3	评估体系能力目标所需要的性能和体系目前 拥有的性能	54
4.4.4	开发和进化体系的体系结构	57
4.4.5	监控和评估变化/调整潜在的影响	63
4.4.6	评估需求,选择方案	66
4.4.7	体系升级演化的协同	70
第5章	体系工程的技术过程与管理	75
5.1	体系工程的技术过程与管理过程的内涵	76
5.2	体系工程的技术过程	77
5.2.1	需求开发	77
5.2.2	逻辑分析	78
5.2.3	方案设计	79
5.2.4	实施	80
5.2.5	综合集成	81
5.2.6	验证	81
5.2.7	确认	82
5.2.8	转移	82
5.3	体系工程的技术管理	83
5.3.1	决策分析	83
5.3.2	技术规划	84
5.3.3	技术评估	84
5.3.4	需求管理	86
5.3.5	风险管理	86
5.3.6	配置管理	88
5.3.7	数据管理	89
5.3.8	接口管理	89

第三部分 体系工程技术与方法

第6章 体系的系统工程方法	91
6.1 体系的体系结构开发过程	92
6.2 体系结构框架	94
6.3 系统建模语言	99
6.4 体系的体系结构开发过程、体系结构框架和系统建模语言的 相互关联	102
第7章 体系的管理工程方法	104
7.1 体系的特征	104
7.2 体系整体一部分的一体化视图方法	106
7.3 网络化管理方法	107
7.4 基于体系特征的一体化体系管理框架	109
7.5 案例分析	111
第8章 体系的系统网络分析技术	120
8.1 体系的网络模型概念	120
8.2 系统网络分析基本概念	122
8.3 系统网络分析方法	124
8.3.1 规则网络分析	124
8.3.2 随机网络分析	125
8.3.3 小世界网络分析	126
8.3.4 无尺度网络分析	128
8.3.5 系统网络的健壮性及其脆弱性分析	130
第9章 体系的建模和模拟分析方法与技术	134
9.1 基于UML的体系建模方法与技术	134
9.1.1 基于UML的过程建模分析方法	134
9.1.2 基于UML的过程建模分析实例	137
9.2 体系三阶段过程建模方法与技术	141

9.2.1	三阶段过程模型原理	141
9.2.2	三阶段过程模型应用实例	147
第 10 章	体系的设计与优化技术	160
10.1	体系的层次性分析	160
10.2	数据依赖与转换的形式化	164
10.3	体系单层优化设计	166
10.3.1	模型描述	166
10.3.2	案例分析	166
10.4	体系双层优化设计	172
10.4.1	模型与方法	172
10.4.2	案例分析	175
10.5	体系 3 层优化设计	179
10.6	体系多层优化设计	181
10.7	体系不确定条件下的多层优化设计	182
10.7.1	目标级联法	183
10.7.2	体系不确定条件下的多领域的最优化设计	185
10.7.3	案例分析	191
10.8	小结	195
第 11 章	体系的集成与交互技术	198
11.1	体系的集成	198
11.1.1	塔形人工智能系统工程方案	198
11.1.2	改进的系统工程 V 过程模型	204
11.1.3	体系集成主导系统方法	207
11.2	体系的交互	210
11.2.1	信息系统交互能力层次模型	211
11.2.2	组织交互能力的成熟度模型	212
11.2.3	概念交互层次模型	213
11.2.4	联合交互参考模型	214
11.2.5	体系交互模型	215

第 12 章 体系的测试与评估技术	219
12.1 i-Score	219
12.2 交互能力系数方法	224
12.3 动态软件体系结构的可视化与评估	227
12.4 联合测试与评估方法	230
12.5 联合 C ⁴ I 能力验证测度的系统工程方法	238
第 13 章 体系分阶段演化规划技术	244
13.1 体系演化规划技术基础:目标级联法	245
13.1.1 目标级联法的过程描述	245
13.1.2 目标级联法的数学描述	247
13.1.3 案例分析	251
13.2 一次性优化模型	254
13.3 分阶段序列规划模型	255
13.4 多阶段协调模型	256
13.5 三种规划模型的案例分析与比较	258
13.5.1 一次性优化设计分析	258
13.5.2 分阶段序列规划分析	261
13.5.3 多阶段协调规划分析	264
13.5.4 结论	265
参考文献	269

第一部分 体系的本质与特征

第1章 体系的概念与定义

“体系”这一术语对人们来说并不陌生,在人们的社会生活中,广泛用于书面与口头的表述。那么,它的内涵是什么呢?《现代汉语词典》对“体系”的解释为“若干有关事物或某些意识互相联系而构成的一个整体”,《苏联百科辞典》的解释为“体系是互相联系、互相关联着而构成一个整体的诸元素的集,分为物质体系和抽象体系”。

“体系”对应的英文词汇 System of Systems 最早出现在 1964 年《纽约城市参考》的一篇论文中^[1],旨在讨论城市系统中的系统。这一概念提出后,首先被用于社会学、生物学和物理科学领域。体系概念的发展演化经历了激烈的争议和讨论,(美)系统科学体系工程协会主席(SoSECE)William J. Reckmeyer 认为体系源于系统科学,是系统科学关于软系统和硬系统研究的综合,对大规模、超复杂系统的研究^[2]。体系概念的演化发展经历了系统科学发展过程的分支与融合过程,如图 1-1 所示。

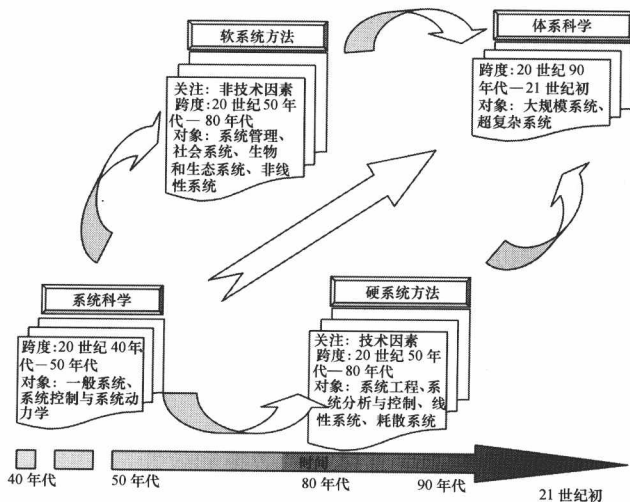


图 1-1 体系概念的演化

1.1 体系的典型定义与理解

体系也称为系统中的系统,是目前多数大规模集成体(包括系统、组织、自然环境、生态体系等)普遍存在的问题,对这一问题的研究从最初 Eisner 在研究多系统集成时提出体系的概念、特征^[3]到目前这一术语成为众多领域热点问题,其典型的概念与定义不下 40 种。

体系概念最初的提出是 Eisner 在多系统集成上的认识。Eisner 认为体系应该具备以下特征^[4]:

- (1) 由独立的系统构成,每个系统的运作都遵循系统工程的过程;
- (2) 体系中每个系统的发展在时间阶段上不存在关联;
- (3) 体系中系统之间的关联不是决定与被决定的关系,而是相互依赖的关系;
- (4) 从整体来看,体系中单个系统通常都具备自己的职能,并在体系运作中发挥作用;
- (5) 体系中每个系统的最优化并不能保证体系的最优化;
- (6) 体系中所有系统的运作促使体系目标或使命的实现。

在这一概念提出后,Buede 把这一概念关联到传统的系统工程技术。Buede 认为,传统系统工程方法如果不能明确建立问题的柔性或刚性需求,就不能有效解决问题,这一问题在高层决策中经常遇到。现实世界中,由于环境的变化与不确定性主导了世界,导致需求难于预测,Buede 认为体系的研究是对传统系统工程技术或方法的挑战^[5,6]。

Norman 认为,高层需求建立困难的原因是体系的动态性和复杂性。体系是动态环境中交互系统的集合,体系中的系统都具备两种特征:一是有体系的背景环境;二是受体系中其他系统的影响。体系同环境的边界是模糊的,体系边界的确定途径之一取决于体系决策者的判断,通常,体系的边界非常大,足以囊括体系决策者所关注的因素以及这些因素在体系众多系统中的行为。在体系中的每一个系统通常都由大量的行为实体组成,这些实体的行为包括合作、中立和敌对行为,这些行为又通常以团队、组或者非协作个体行动方式组织。系统中的实体可能运作在一个或多个体系的系统中,且对体系中其他不同的系统可能有不同的行为表现。

通常情况下,体系的决策者关注体系的效率和效能,但决策者对体系中系统的行为也许不能进行直接控制,而且,对体系来说不存在如此之大的控制机制。这就导致了体系中系统行为可能呈现出较大幅度的自主行为。基于对体系问题

的这一认识,Rod 对系统工程、管理科学、公共管理及知识工程 4 个领域的方法和技术针对体系问题的解决进行分析和比较^[7]。这些方法和技术包括了 4 个领域的 6 种方法,并采用 11 个参数进行了评价。

Maier 认为,与复杂大规模单一系统相比较,体系应该具备以下特征^[8]:

(1) 组成部分具备运行的独立性。如果体系被分解为各个分系统,则分系统能够独立运行。体系就是由这些在自身的位置上能够独立运行的系统组成。

(2) 组成部分具备管理的独立性。体系组成部分管理的独立性是指在体系形成之前其组织部分分别采购或开发,在体系形成后其组成部分仍然保持管理独立性的存在。

(3) 体系演化的不确定性。体系并不以固定的模式出现,其存在和发展都伴随其功能、使命、环境、知识和经验的变化而演化。

(4) 体系行为的涌现性。体系在功能的执行以实现其目标过程中所表现出的行为是其组成各部分所不具备或不能表现出的行为,这些行为是整个体系的“涌现”特性。体系的“涌现行为”是体系的基本特征和构建体系的主要目标。

(5) 体系在地理区域上的分布性。体系的各部分在地理上广泛分布,通过信息交流技术在各部分之间进行信息交流,实现各部分之间的融合。

根据 Maier 对体系特征的描述,常见的体系包括国际航空系统(如飞机、机场、航空公司、航空交通管制系统)、海军水面舰艇火力支援体系(如侦察、定位、武器系统和 C⁴I)、战区弹道导弹防御体系(如监视、跟踪、拦截系统和 C⁴I)等。

在 Maier 定义基础上 David 定义了联合 C⁴ISREW 体,联合 C⁴ISREW (Joint C⁴ISREW System, JCS) 是通过信息技术、文化、条令条例途径把各军兵种 C⁴ISR 和电子战系统 (Electronic Warfare Systems, EW) 有效集成以获取超越各部分能力的效果。这一联合体为军事行动中的计划、部署以及行动提供及时有效的信息以支持决策优势的获取。根据 Maier 的定义, Laird 认为 JCS 就是一个体系的实例,是 ISR、C⁴ 和 EW 的快速、适时并有效的集成^[9]。

前美军参联会主席 W. Owens 把未来的网络中心战思想归为体系思想,认为实现网络中心战的关键就是整合美军在 ISR (Intelligence, Surveillance and Reconnaissance, ISR) 系统、C⁴ (Command, Control, Communications and Computing, C⁴) 系统和 PGM 三个领域的技术优势,构建一个体系提供传感器到武器投射平台灵活的、无缝的链接^[10]。信息时代的军事变革本质上就是体系的形成,这种体系的主要部分是 ISR 技术、C⁴ 系统、系统适时集成技术以及能够充分利用内在潜力的条令条例、战略战术和军事组织(1996)^[11]。

美国应用物理实验室认为,军事体系本质上是一个联合军事实体,基于这一

认识提出了支持联合作战的联合体系概念,联合体系是指链接 C^4 和 ISR 以及精确制导武器的联合军事实体。联合体系是改变传统战争的新概念,是支持未来信息化战争、提供战场环境中信息优势的手段。在联合体系的概念研究基础上,应用物理实验室提出新的作战思想——“精确闪击战”,这一思想在 21 世纪之初的伊拉克战争中成为指导美军作战行动的主要指导思想,得到了实践的检验(1996)^[12]。

体系是一组独立运行的系统(包括人、技术和组织)通过相互连接以有效支持日常的运行,执行预定的计划,并处理突发事件(美国国土安全部,2009)^[13]。

体系是以履行综合集成复杂系统职能以产生期望结果的巨系统,它由多个自主的、嵌入的复杂系统组成,这些复杂系统在技术、环境、运行方式、地理区域和概念框架上都存在差异(美国国家体系工程中心,2009)^[14]。

体系是一组系统有目标的聚集,其目标是单个系统独立运行所不能实现的。体系中的系统通常是为实现具体的目标而开发,它们能在体系环境中独立运行,在物理上有明显的区别,在地理上是分布的,在边界上是明确的、固定的,在接口上是定义好的,如果任何系统发生大的变化或退出体系,体系通常能继续运行,但在总的能力上可能发生变化(M. L. Kuras,第一届体系工程年会,2005)^[15]。

体系描述了独立的、自我包含的系统为满足全局目标需求而进行大规模的集成行为(普杜大学工程学院,2010)^[16]。

体系是一个复杂的有目的性的整体,其组成部分为复杂的独立系统,独立系统间的交互形成体系的不同配置,甚至是不同的体系,其基本特征包括背景的复杂性、边界的模糊性和变化性以及涌现性,体系背景的复杂性在很大程度上影响体系的行为,使得难以理解(Sarah A. Sheard,第二届体系工程年会,2006)^[17]。

体系是系统的配置,其组成系统在体系运用期间可退出也可加入,每一个系统在其正确的位置都提供有用的服务,每一个系统管理自身的服务,这些系统在体系中正确配置导致体系具备了卓越的能力(美国空军,2005)^[18]。

体系是系统的聚集以实现单个系统独立运行所不能实现的目标,体系的每一个系统都可独立运行和管理以完成自身的目标。体系具有地理上的分布性、演化的不确定性和行为的涌现性(Brian E. White,第一届体系工程年会,2005)^[19]。

体系是一组面向任务的专用系统的集成,各系统提供自身资源和能力,通过对资源和能力集成获得新的更复杂的巨系统,以实现更多的功能和性能(Wikipedia,2010)^[20]。

体系是系统的连接,在系统连接的体系中允许系统间进行相互协同与协作,

如信息化战场的 C⁴I 与 ISR 系统。这一定义的应用背景是现代军事系统的集成以获取战场对抗的信息优势与决策优势(W. H. Manthorpe, 1996)^[21]。

体系是大规模分布、并发系统的集成体,组成体系的系统本身就是复杂单元^[22]。这一定义的应用背景是企业信息系统。

体系是系统的综合,系统综合以系统的演化发展、协同与优化为目的,最终达到提高整体效能的宗旨(R. S. Pei, 2000)^[23]。这一定义的应用背景是未来战场环境信息的综合集成。

体系不是单纯系统的集成,它具备五种特征:①组成系统独立运作;②组成系统独立维护管理;③组成系统的区域分布性;④具备“涌现”行为;⑤体系是不断演化发展的。这一定义的应用背景是军事领域复杂体系的发展规划(A. P. Sage, 2001)^[24]。

体系是分布环境中异构系统组成网络的集成,体系中这些异构系统表现出独立运作、独立管理和区域分布特征,在系统和系统间交互被单独考虑的情况下,体系的“涌现”与演化行为不太明显。这一定义的应用背景是国家交通系统、军事体系和空间探索(D. DeLaurentis, 2004, 2005)^[25, 26]。

体系的组成不同于一般系统的内部结构(紧耦合),它是一种系统间的交互,而不是重叠。它具有的特性是:①能够提供单一系统简单集成所不具备的更多或更强的功能能力;②其组成系统是独立运作的单元,能够在体系所生存的环境发挥其自身的职能。这一定义的军事背景包括地面防空体系、战区导弹防御体系、作战群的编成体系等,其非军事背景如航天飞机。

体系是复杂的、有目的的整体,这一整体具有的特征是:①其组成成员是复杂的、独立的,并且具备较高的协同能力,这种协同使得体系组成不同的配置,进而形成不同的体系;②其复杂特征在很大程度上影响其行为,使得体系问题难于理解和解决;③边界模糊或者不确定;④具备涌现行为。

体系是由异构系统在域上的交叉形成跨域的网络组成,这些异构的系统在体系中表现运作、管理的独立性与自主性,地理上的分布性,在异构系统以及系统间的交互被分别考虑情况下,这些异构系统的涌现性和演化性是不明显的^[27]。

体系是一种“元系统”,其自身由多个自主的、嵌入的系统构成,这些自主的、嵌入的系统在技术、环境、地理区域、运作方式以及概念框架方面是不同的(C. Keating, 2003)^[28]。

体系是相互协作的系统集成,这些组成系统具备两种附加特性,即运作的自主性与管理自主性^[29]。

Nil H. Kilicay 关于体系的概念框架^[30]从网络中心战的需求出发给出了对体系的理解与定义(第二届体系工程年会,2006),其概念框架如图 1-2 所示。

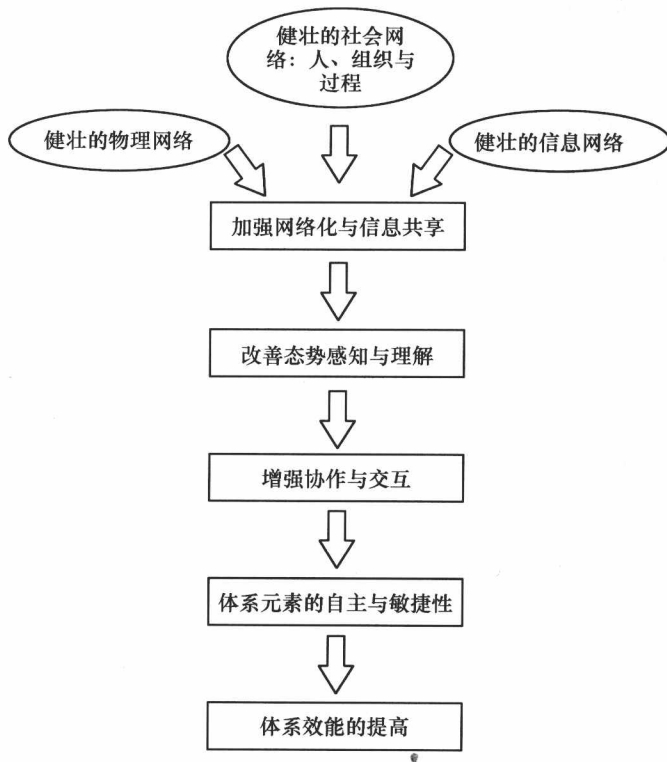


图 1-2 Nil H. Kilicay 关于体系的概念框架

“体系是规模巨大的、复杂的、持久的独立系统的集成,这些组成系统随着时间的发展通过各自的权威提供各自的能力以支持总的使命从而形成体系”(国防大学陆军工业学院 Jeremy Kaplan 教授,2006)^[31]。

(美)国家审计局(General Accounting Office, GAO):“互相依赖的系统组合链接,提供的能力远大于这些系统的能力之和”(2006)^[32]。与体系的定义相对应,美国国防部同时定义了系统联邦,系统联邦是指具备下列特性的一组系统^[33]:①能力为所有组成成员的能力之和;②具有所有成员共有的特征;③系统的组合并不产生新的能力和属性。

“体系是独立的、有用的系统为提供单一系统所不具备的能力而形成的系统的集合或系统组合。”在此基础上,《国防部采购指南》把体系划分为:虚拟体系、自愿协作体系、分散控制体系和集中控制体系四种类型(表 1-1)^[34,35](Mai-