

第一篇 工程系统工程原理 与发展研究

第 1 章 绪 论

20 世纪 40 年代以来,随着科学技术与社会生产力的发展,大规模战争和冷战的军事需求,出现了诸如导弹核武器、核潜艇和航天应用系统等技术先进、作战效能高,但是系统技术复杂、研制风险较大的军事工程系统。20 世纪 50~90 年代,出于争霸世界的政治目的,美国和苏联等工业强国,进行了一场史无前例的军备竞赛,它们投入大量人力、物力和财力,争取用最短的研制周期,尽可能少的经费投入,开发、运用和更新这类新问世的复杂武器系统。这些复杂工程系统的开发、研制和运用受到社会需求、自然环境和科学技术发展阶段的制约,也受到社会资源支持能力的限制。由于社会需求、科技发展潜力和社会资源支持能力的预测,具有很大不确定性,使复杂工程系统的开发具有很大风险,即工程开发的社会性、系统性问题变得十分突出,工程发展进入了系统发展的新时代。例如,在武器装备发展由热兵器时代的简单机械装备、火力加机械化时代的一般机械系统或较为复杂的机电工程系统,向高新技术复杂的机电、信息一体化工程系统(参见图 1-1、图 1-2、图 1-3、图 1-4)转变的过程中,要求武器装备建设的科学技术活动形态与其相适应,产生了新的运行机制,表现出了新的时代特征。工程技术发展的实践,要求人们冲破原有的科学技术门类的界限,寻求有效解决高新技术复杂工程系统具有深刻的社会性、复杂的

系统性难题的理论和方法，工程系统工程^①应运而生。发展、建设和运用复杂工程系统的理论和方法由此得到长足的发展。

1957年 美国人 H. Goode 和 R. E. Machol 合著出版了第一本以《系统工程》命名的著述，60年代 系统工程得到迅速发展 美国和苏联的一些大学开始设立工程系、专业或研究中心，1964年起，美国每年举行系统工程年会……。正是在这种条件下，相继问世的一般系统论、自动控制理论、信息论、运筹学、管理科学、工程规划与设计理论相结合，产生了一门新兴的、以综合应用科学领域新成就和技术，组织管理系统为特征，并包含深刻的社会性，涉及到科学技术、策略、组织、管理等因素的新学科——系统工程学。

1.1 系 统

研究系统工程，首先要明了系统的概念。系统是指由互相关联、互相制约、互相作用的一些部分所组成的具有某种特定功能的综合体。相互关联、制约、作用的组成部分称为系统的结构，系统结构也可以是一个系统，称为原系统的子系统。原系统可能是更大系统的组成部分，从而构成更大系统的子系统。以某导弹武器装备作战系统为例，可以列出其不同层次系统的组成框图（参见图 1-1、图 1-2、图 1-3、图 1-4），弹头姿控系统还可以继续分解下去……。由不同层次的子系统构成了导弹武器装备作战系统的垂直结构，同一层次的各子系统构成了导弹武器装备作战系统的水平结构。在导弹作战运用中，组成导弹武器系统的各个子系统通过信息、物质和能量的形式相互联系、相互制约、相互作用着 完成把核弹头运送到敌方目标的任务。

系统工程的理论与方法随着近代工程系统的出现逐步形成，随着现代工程系统的形成与发展走向成熟。随着科学技术的发展，社会进步的广泛需求，系统工程的理论已经广泛应用到社会的各个领域，形成相关领域的系统工程理论^[1,2]。本书讨论的内容仅限于工程系统的开发与建设 故取名为“工程系统工程”。

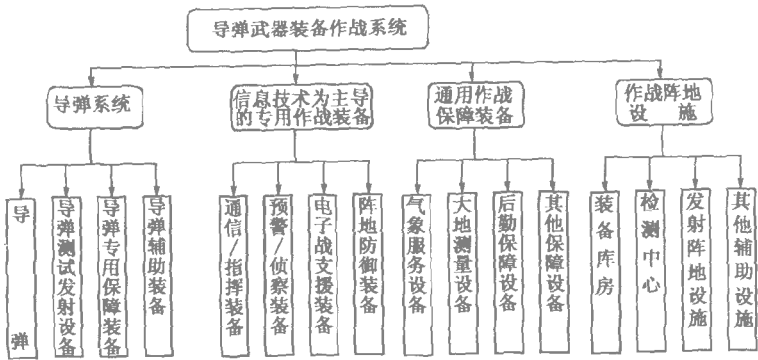


图 1-1 导弹武器装备作战系统组成框图

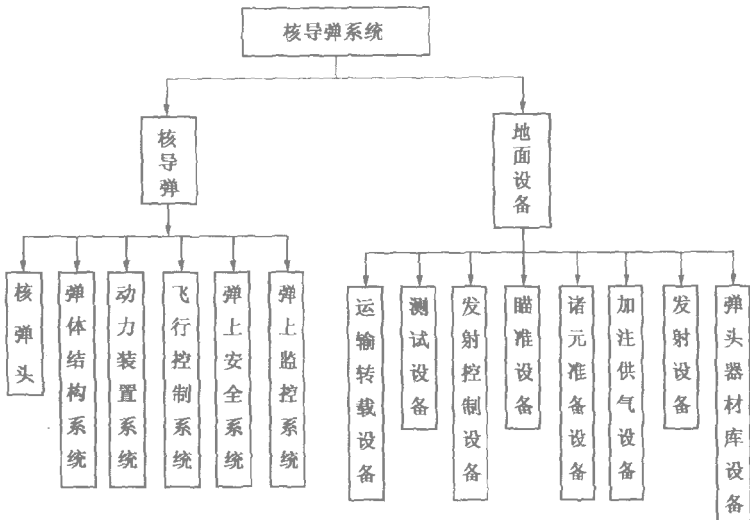


图 1-2 核导弹系统组成框图

系统以外 与系统发生作用的部分称为系统的环境 系统与其环境的界面称为系统的边界。系统对其环境的作用叫做系统的输出 Y ，环境对系统的作用叫做系统的输入 X （参见图 1-5）。通过系统的输入和输出，系统与其环境进行信息、物质和能量的交换，产生相互作用，系统的功能通过系统的输入-输出关系表现出来。

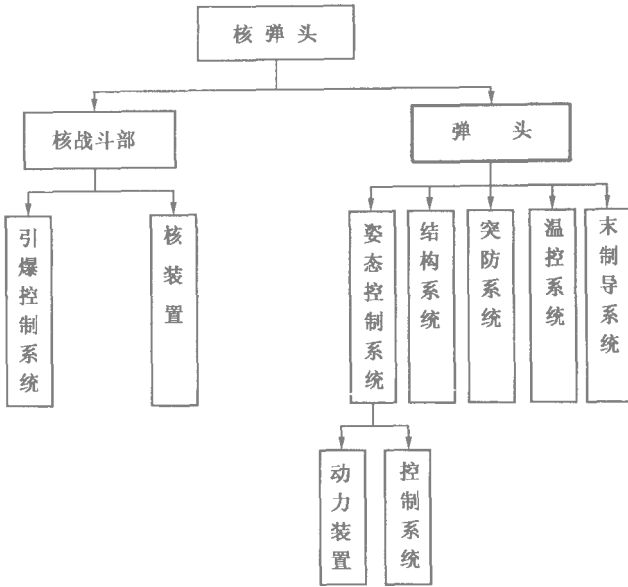


图 1-3 核弹头系统组成框图

具有相同组成部分的系统，由于其系统结构间的关联、制约和作用状态不同，可以具有不同的功能，因此，通过改变系统的结构或者改变其相互关联、制约和作用关系，可以建立具有新功能的系统。一个系统建立得如何，通常取决于系统目标制定得是否恰当，目标的主次层次是否分明，系统的结构是否合理。一个系统的功能发挥得如何，往往取决于系统对环境的适应能力，各子系统间工作是否协调。一个系统组织得好，即系统结构合理，主次分明，对环境适应，各系统间协调性好，系统内部以及系统与其环境产生良性的关联、制约和作用，就能够发挥系统的整体优势，把系统的潜能充分发挥出来。

一个工厂企业是一个系统，一项大型复杂工程是一个系统，一个家庭、一个国家、整个太阳系……，也是一个系统。系统是客观世界存在的普遍形态，根据系统具体内涵的不同，可以按系统的形成是否有人参与，把系统划分为自然系统和人造系统，太阳系是自

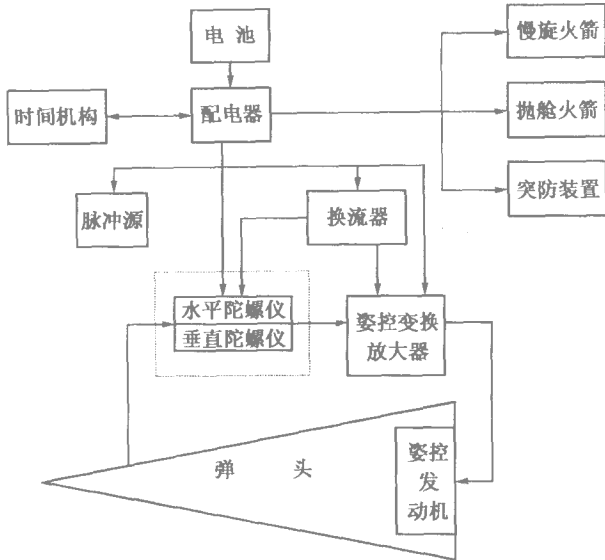


图 1-4 弹头姿态控制系统组成框图

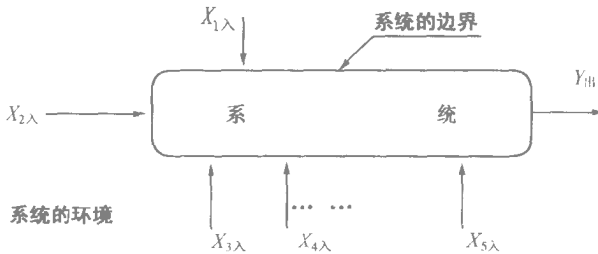


图 1-5 系统与其环境

然系统，工厂企业和大型工程是人造系统；按系统的构成元素是信息，还是物质实体，可分为意识形态系统和物质实体系统；按系统的物理属性不同，系统可划分为物理系统和生物系统；按系统是否包含生命因素，系统可划分为生命系统和非生命系统；按系统的运动状态，可分为动态和静态系统等。不管是哪类系统，按其子系统数量和种类多少，以及子系统之间相互关系的复杂程度，都可划分为简单系统和复杂系统（参见图 1-6）。

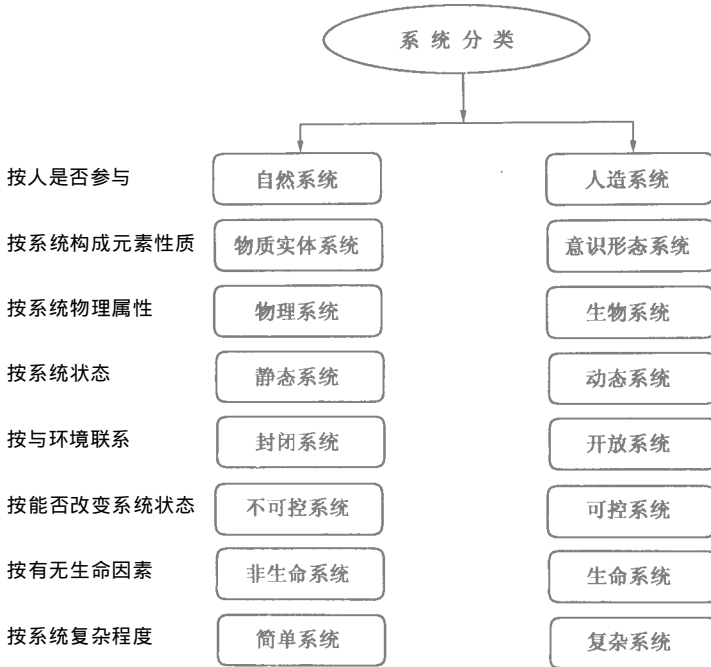


图 1-6 系统分类框图

本书讨论的工程系统，航天工程、航空工程系统均属于人造、物理、可控的复杂系统，通常可以是无生命系统，也可以是有生命系统。例如，人造卫星是无生命系统，载人宇宙飞船和空间站是有生命系统。

1.2 系统工程

1.2.1 系统工程的发展

系统的思想可以追溯到人类很早的生产活动中，但是，系统的概念是在 20 世纪 40 年代，由美国贝尔电话公司在设计电话通信网络时正式提出来的。随着弹道导弹武器系统和其他当

代先进武器系统开发的进程，特别是美国阿波罗登月计划的实施，系统工程作为一门新兴的现代科学技术真正引起人们的广泛重视，并从此不断发展，奠定了系统工程的基础。弹道导弹、美国阿波罗登月计划等大型复杂工程系统的研制和实施，计算机技术的发展，使系统工程的理论和应用得以迅速发展。

弹道导弹核武器和其他大型复杂工程系统的出现，形成了下述社会需求：

(1) 工程系统的复杂性，要求组织庞大的研究、设计、试制、试验、生产和运用队伍。

(2) 复杂工程系统的开发涉及范围广泛的科学与技术领域，以导弹与航天技术为例，我国开发弹道导弹初期，涉及到 80 多个专业，目前已经超过 200~300 个专业。导弹与航天技术的开发与研制已经形成了遍布各地、各种专业技术门类的承制单位与技术人员群体。

(3) 复杂工程系统的发展研究、采办、研制与运用要求研究、设计、试制、试验与运用保障人员高度专业化，并且要求不同专业之间相互密切沟通，形成了以解决工程开发的社会性、系统性问题为主要职责的技术队伍。

(4) 这类复杂武器装备的研制，投资巨大，开发进度要求严格，对技术、使用性能和综合技术保障提出了更高的要求，采办、研制与运用具有更大的风险，工程系统发展研究、采办、研制和运用的组织管理成为突出的问题。

要求用户和研制方必须自觉地应用系统工程的理论和方法，把复杂系统的发展研究、采办、研制和运用过程科学化、程序化，并通过分阶段决策与实施的办法，分散研制难点，逐步逼近系统目标，以便于对工程研制有更大的预见性，减少工程开发失误，避免工程失败，确保按照预定的工程目标，获得满足任务总体要求、具有可生产性、可使用性和可保障性的系统。因此，可以说：第二次世界大战后，美苏争霸世界的军事需求，导弹核武器和其他先进武器系统的开发和应用，推动了系统工程的发展。

1.2.2 工程系统工程的定义

工程系统工程是解决工程进入系统时代而发展起来的一门社会、技术学科，工程系统工程这门学科目前还处于飞速发展之中，正在不断深化并产生广阔的外延，对其定义，目前还众说纷纭，不尽一致^[1,3,6,10,29,43]。通过我国导弹和航天工程 40 多年的成功实践，我们认为把工程系统工程定义为对工程系统进行发展研究与决策、工程任务分析与范围界定、工程系统各层次组成单元与各专业之间关系的确定以及组织、协调、控制工程系统的建立、运用与更新的分析、综合、权衡与优化的科学方法，是一种实现复杂工程系统创新目标与可持续发展的综合、集成技术较为妥切，简言之，它是组织、管理工程系统的发展研究、采办、研制、运用和系统更新的分析综合、集成技术 是一种从整体上研究 并解决工程系统具有全局性、系统性问题，对所有工程系统都具有普遍意义的科学技术方法。

工程系统工程是从系统工程原理出发，分析、处理工程系统开发、建造和运用过程中具有社会性、系统性问题的一门学问。从基本上讲，它提供的是一种解决复杂工程问题的思想方法和辩证程序，是开发复杂工程系统的一种工程方略，是一种组织管理系统的技术。他不同于直接应用自然科学和技术科学知识建造工程系统的传统工程技术，它是为解决复杂工程系统开发过程中常常遇到的具有全局性的决策问题，运用系统工程的原理和方法，提供各种可供选择的发展策略与规划、概念研究、技术方案、系统要求、对策和各种专题研究报告，综合运用相关的社会科学、自然科学、技术科学和蓬勃发展着的工程专业知识，去解决工程开发过程中遇到的较为重大的社会性、系统性决策问题。它涉及到工程开发过程中的发展战略研究、规划、立项研究、工程总体方案的制定、系统研制要求的协调与确定、工程实施的组织管理、系统实施决策等影响工程全局的创造性活动，极具挑战性。

在工程开发的过程中，社会性问题涉及到工程系统发展的社会需求预测、技术发展预测、社会支持能力预测以及与工程立项相

关的各种社会性问题。工程开发的系统性问题涉及到工程发展的系统环境研究；工程系统总目标及与分系统、子系统，乃至重要设备目标要求的分配与协调；工程开发过程中各阶段、关键工程问题的决策与优化等重大问题。这类问题与工程实施过程中的具体技术问题相比，通常如同数学运算中的整数与小数运算的关系，如果工程开发过程中忽视或搞错了工程的社会性、系统性问题，将如同数学运算中把整数位算错了，小数位取得再多，算得再精确，也难以补偿工程开发可能造成的损失。因此，工程系统工程既是一个技术过程，也是一个管理过程，是一门组织管理工程系统的分析、综合、集成的技术，是从整体上研究和解决工程问题的科学方法，确切地讲，可以把工程系统工程称为工程战略学。

1.2.3 工程系统工程原理

工程系统工程原理是工程系统论的核心，它以工程系统为对象研究工程形成、开发、演化和消亡的科学规律，它是解决复杂工程系统开发过程中具有社会性、系统性问题的理论基础。它的主要内容^[11]包括：

(1) 高层次的工程系统或工程整体能够具有低层次工程系统或工程局部不具有的性质，在工程系统的开发过程中，应把工程系统看作一个整体和一个开放系统。

(2) 研究实现工程系统整体目标的程序和方法。

(3) 研究工程系统与其环境相互作用和关联的规律。

(4) 研究工程系统不同层次组成单元之间相互作用和关联的规律。

(5) 研究工程系统形成不完整性、复杂性和混沌性的原因，以及保障工程系统的完整性、化简其复杂性，保持其有序性的途径和方法。

(6) 通过上述研究寻求适用于所有工程系统的共同规律和方法

工程系统工程原理由系统工程的基本观念（或称公理）和方法论两部分组成。系统工程的基本观念，是对系统工程基本规律的

认识是系统工程活动中最根本、最积极、最具创造性的因素，是建立系统工程方法论的理论基础。系统工程的方法论建立了系统工程活动的科学工作程序，并进一步推动系统工程基本观念的发展，因此，系统工程的基本观念和方法论是推动系统工程“战车”前进不可缺少、不可偏废的两个相辅相成的轮子，是适用于一切工程系统的科学方法。

1.2.3.1 系统工程的基本观念

系统工程的基本观念包括社会需求是工程开发的原动力、整体优化是系统工程的基本目标、综合是系统工程的最基本概念、系统的开放性是系统保持活力和稳定存在的条件、综合效益是工程开发的根本评价标准、策略程序是系统工程开发应遵循的基本规律，以及工程的技术过程与质量控制过程是系统实施的基本保障等主要内容。

（一）社会需求是工程开发的原动力

社会需求是工程系统开发的原始动力和基本前提，社会需求决定工程能否立项，一个需求研究不充分的工程系统，很可能是半截子工程或重复工程，会给社会造成巨大损失。因此，开发工程系统的基础性工作工程的社会需求预测研究，或者说工程发展战略研究，它涉及到如下内容：

（1）国家战略、国家发展战略和区域、部门发展战略确定的工程系统发展目标、重点、对策和相应的发展方略研究。

（2）工程系统的社会、经济效益预测与社会资源支持能力预测。

（3）国家的科学技术、工业基础现状、发展潜力和技术环境分析。

（4）国际环境与相关资源利用前景研究与预测。

（5）工程系统发展与相应的自然环境、社会环境关系研究等。

（二）整体优化是系统工程的基本目标

从系统的观点出发，一个工程系统由目标工程系统、环境工程系统和过程工程系统三部分组成。目标工程系统是实现预期工程

效能的工程实体，它可能是一项工程设施，一套工程装备，一个导弹系统，以及一个厂矿等。环境工程系统包括与目标工程系统有关的各种外界条件，如自然环境、社会环境、技术环境和资源支持环境等。工程的过程工程系统包括工程建立过程中经历的各个阶段，通常划分为发展研究、工程建造和工程运用三个大的阶段。系统工程的基本工作就是通过研究、设计、试制、试验、定型、投产、运用和各种管理活动，建立起三个系统的内在联系，使其相互协调、融合，成为一个整体上优化，满足工程系统总目标要求的工程系统。钱学森院士强调指出：“整体是由相互关联、相互制约的各个部分所组成，系统工程就是从系统的认识出发，设计和实施一个整体，以求达到我们希望的效果^[1]”。因此，归根结底，整体优化是系统工程的基本目标。

（三）综合是系统工程的最基本概念

系统工程是一种开发性的研究活动，通常没有直接的样本可遵循，系统工程技术人员的最主要研究活动是进行新系统发展研究、提出新系统的总目标要求和技术方案、明确新系统的技术状态及其与环境的关系等，依据的主要手段是系统工程技术人员知识、经验和创造力的综合。因此，综合是系统工程活动的最基本概念。

综合是一个创造性的思维过程，是运用各种知识和经验创造新概念的活动。以我国在 1976 年 5 月提出舰载水柱测量雷达方案的过程为例，进一步阐述综合的创新过程。

1967 年初，我国火箭设计与试验研究人员根据火箭研制工作的需要，提出应进行海上火箭试验的设想，为此，启动了海上试验系统研制的论证工作。其中涉及到火箭在海上落点测量设备的研制。我国测量专家借鉴德国人、美国人海上试验的经验，首先提出研制“座底声纳阵”测量方案，继而又提出“航空摄影定位”测量方案，并陆续开始了研制工作。随着试验工作的进程，70 年代初，已明确我国首批海上试验将在太平洋中部水域进行，并决定开展我国首次远洋考察。受当时我国座底声纳技术研制水平的限制，测

量专家对试验水域的选择提出了苛刻的要求：要求箭着点附近水域的海底应是 1000~2000m 深的平坦海域。我国海洋学专家明确指出：世界大洋平均海深约 4000m 要找到这样的水域 只能在主权国家的领海或 200 海里经济区内，这是不可能实现的。首次远洋考察进一步证实了海洋学家的意见，使箭着点测量首选方案的研制停摆。此时，我国首批远洋火箭试验的准备工作已经进入倒计时阶段，试验主管系统工程师从我国首批太平洋火箭试验系统工程的全局出发，毅然决定跨越技术分工的界限，着手进行火箭落点测量新方案的研究。在海军海上打靶试验评价思路的启发下 利用远洋船通用的船载导航雷达作初步估算 于 1976 年 5 月，首次提出了舰载水柱测量雷达的初步方案。通过学习国外运用系统工程方法的案例，了解到意大利人成功地利用本国装甲兵的装甲运输车，陆军的高加速固体火箭，空军的探测雷达，引进计算机系统迅速研制出一种技术上比较先进，在当时欧洲军备订货桌上很有竞争力的“茵地果”地空导弹系统。经过进一步调研，我们很快提出：利用我国海军现有的某种测量雷达、远洋船队已有的海上打捞船和已投入使用的船舶定位系统，引进必要的计算机数据处理系统，形成了我国应急火箭落点测量系统的技术方案，几经周折，终于被采纳。这一新的测量系统只用了不到两年的时间，就成功地参加了我国首批太平洋火箭试验，并且主要依靠这一测量系统准确地获取了火箭落点数据，圆满地完成了我国首次太平洋火箭飞行试验落点测量任务。

从这一工程综合的实例可以看出，综合至少应包括技术上的综合、目标工程系统与环境之间的综合两个方面。技术上的综合是将多学科的知识和技术综合到一起，如把不同的制导方案、推进系统与飞行器工程技术相结合，形成各种运载火箭技术方案；将无线电工程技术与人造卫星技术相结合，形成各种应用卫星系统；上述实例把船舶定位技术、雷达测量技术和海军海上打靶的经验结合在一起，提出舰载水柱测量雷达技术方案等。这些系统工程活动的突出特点在于综合运用现有的科学技术成果进行技术创新。

正如美国阿波罗登月计划的总指挥韦伯指出的：“我们建造登月系统，用的都是现有技术，关键是如何创造性地综合运用这些技术。”这段话充分说明了“综合”在系统工程活动中的重要作用，也揭示了工程系统专家与工程技术专家工作性质的差别。

目标工程系统与环境系统的综合是工程发展过程中更重要、更大范围的综合，它涉及到把社会需求、社会与自然环境的制约条件与工程系统综合到一起，形成工程研制的总目标、工程发展途径与对策，进而对制定工程发展方略、规划、计划具有指导作用。前述水柱测量雷达的实例，是根据国家大型试验任务的需求，提出必须研制火箭落点测量系统的任务；从海洋环境实际和科技发展环境出发，提出了水柱雷达测量方案，这是一个大胆的设想，当时不仅国内没有这种测量方案，连国内的测量专家都没有见到过世界上有这种测量方案的任何资料（美国人 1976 年初刚刚开始研制类似的陆基雷达水柱测量系统），因此，有些人不相信这种测量方案是可行的，但是，实践证明这是我国系统工程技术人员的一个很有价值的创造。

总之，综合是一种创造性的思维过程，是运用各种知识和经验创造新系统的过程，是系统工程最基本的观念之一。

（四）系统的开放性是系统保持活力和稳定存在的重要条件

毛泽东在《矛盾论》中指出：“外因是变化的条件 内因是变化的根据，外因通过内因起作用”，精辟地阐明了系统与外界环境的辩证关系。由于系统的开放性，系统与环境的相互作用，系统的结构与功能之间建立了密切的关系。如前所述，系统的结构决定系统的功能，而系统的功能又反作用于系统的结构，系统的结构与功能是相互关联、相互制约的关系。系统的功能是一个系统对另一系统相互作用的结果，如果一个系统完全封闭起来，对环境没有相互作用，也就谈不上什么功能。因此，系统的功能只存在于系统与环境的相互作用之中，只有开放的系统，才存在系统的功能。在前述落点测量系统的开发过程中，由于座底声纳技术方案研制所依据的海洋环境与实际使用环境有较大差距，我国当时研制的座底

声纳测量系统与实际使用的海洋环境联系起来的时候，就失去了应有的功能，因此，失去了存在的条件。

系统的开放性使系统与环境、系统与系统以及系统内部各组成部分之间存在物质、能量和信息的交流，使其保持旺盛的活力。当今世界，科学技术迅猛发展，世界进入了信息时代，系统间的信息交流成为突出的特征。信息成为系统的重要资源，成为当今世界工程系统，乃至社会的时代特征。系统的开放性不仅成为保持系统活力和发展的重要条件，而且成为系统保持稳定存在的必要前提，因此，系统的开放性，系统与环境的适应性是工程系统工程的基本观念。

（五）综合效益是工程开发的根本评价标准

系统工程的主要任务之一是解决工程开发的社会性问题，因此，工程的社会效益评价成为突出的难题，其原因是：

（1）通常社会各界对同一问题可能有各种不同的，甚至截然相反的价值观。如美国对导弹防御系统，欧洲对发展载人航天技术的长时间争论就说明了这点。

（2）评价一个系统的效益常常涉及到有些因素可以定量，有些因素难以定量，有些因素是不确定的或根本无法量化的，如政治、社会影响、习惯、士气等，使得综合效益评价十分困难。

（3）一项工程的价值与时间紧密联系在一起，同一因素在不同的时间会有不同、甚至完全不同的价值。例如，一项复杂武器系统是在 10 年内还是 20 年装备部队，其价值相差甚远。

（4）开发的大型复杂工程系统通常是没有先例或大部分是全新的系统，它的评价难以借鉴同类样本。

因此，一个新系统综合效益的辨识和预测成为工程系统工程的基本活动与难点，对工程系统综合效益的评价主要包括下述内容：

（1）建立工程系统的目标集，含工程系统的技术性能、使用性能、寿命周期经费和工程的研制周期等。

（2）把系统总目标分配到分系统、子系统，甚至重要设备。

(3)确定系统各级价值目标因素与整个工程系统综合效益的关系。

(4)求解整个工程系统的综合效益。

显然，工程系统的综合效益评价和预测是系统决策和优化的基本问题，是系统工程活动的重要任务。

(六)策略程序是系统工程开发应遵循的基本规律

系统工程的策略程序包括系统开发的行动程序和系统开发的价值程序两个方面。

1. 系统开发的行动程序

每一工程系统的开发通常由工程发展研究、设计、试制、试验、定型、投产、运用和退役等主要行动阶段组成（详见图 1-12）为了能够按预定的总目标交付目标工程系统，必须按工程开发的行动程序一步一步扎扎实实地进行，前一个阶段的工作任务没有完成，不应轻易决策转入下一个工作程序。一个复杂的工程系统不能实现预期目标，或造成重大损失，甚至发生中途下马等灾难性的后果，多是违反系统开发的科学行动程序造成的，对于复杂工程系统采用“边勘察、边设计、边施工”的做法是行不通的。我国曾经研制了一种应急使用的近程导弹系统，由于导弹系统相对比较简单，就简化了工程系统的研制程序，在没有进行试样阶段研制工作，初样阶段地面试验也不够充分的条件下，就仓促地进行了飞行试验，试验结果取得基本成功。试验成功进一步鼓励了人们侥幸取胜的心理，通过少量飞行试验就装备了部队。装备部队后的实践表明，由于初样、试样阶段研制、试验不够充分，在交付部队前，系统设计存在的一些薄弱环节未能充分暴露和及时解决，给部队运用带来了难以克服的困难。这一欲速而不达的工程开发实例说明：工程开发必须严格按照系统工程的行动程序办事，在研制工作条件还不具备的条件下，试图人为地改变经过实践检验是符合工程研制科学规律的工程研制程序，到头来往往是事倍功半。

随着科学技术的发展，工程经验的不断积累，特别是计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造（CAM）技术的逐步完善，国外在

工程系统的开发过程中采用了“计划运筹管理技术 GERT”、并行研制程序(详见第 3.4 章)和“综合分部工程”等技术开发复杂工程系统取得了成功。当具备了实施‘并行研制程序’运用‘计划运筹管理技术 GERT’开发工程系统条件的时候,改变现行工程研制程序实施‘计划运筹管理技术 GERT’与‘并行研制程序’将是工程系统开发行动程序符合逻辑的发展。

2. 工程开发的价值程序

由一系列保证工程系统开发质量的所谓价值开发策略组成,其要点是

- (1)需求环境因素的分析与预测。
- (2)多方案、多途径论证与决策。
- (3)工程开发的潜在价值分析与预测。
- (4)工程开发的风险分析与管理。
- (5)危险环境、危害分析及对策。
- (6)通用化、标准化与系列化。
- (7)阶段评审与里程碑决策等。

从一定意义上讲,系统工程研究的目的就在于拟定一整套关于技术开发、组织管理、工程实施和工程运用等有关活动的价值程序,保证工程开发在整体上取得最满意的效果。

(七)工程的技术过程与质量控制过程是工程实施的基本保障

工程系统工程的研究与设计过程包括工程技术和质量控制两个相辅相成的工作过程,工程技术过程是在工程立项后,工程系统人员运用系统工程原理进一步明确工程系统的目标、制定工程总体方案、指导工程研制在系统工程原理指导下按研制程序(详见 3.3)组织工程系统的设计、试制、试验、定型、投产交付工作,保证目标工程系统按预定的工程总要求实施的过程,这一过程主要由工程承包方负责。工程研制的质量监控过程,是在工程的技术过程中,实施工程设计评审、研制质量控制的管理过程。这一过程不仅由工程承包方按研制程序分阶段组织实施,还必须按照工程实施的有关管理标准、合同和文件的规定,由使用方以用户代表、用

户驻厂工作组、工程监理或其他名义，按照工程系统的采办程序（参见第 2 章）参与工程全过程的研制质量监控。这是保证工程按预定目标实施的重要手段。

在系统论的研究中还提出了系统的目的性原理、层次性原理、稳定性原理、相似性原理，以及自组织原理等^[12]，这里不赘述。通过工程实践，作者认为对工程系统工程而言，工程系统的需求牵引、综合集成和整体优化是其理论的精髓，工程实施与管理的策略程序是系统工程实践应遵循的基本规律。

1.2.3.2 系统工程的方法论

系统工程的方法论是建立在系统工程原理的基础上，通过一整套科学、规范和辩证的工作程序，阐明了每一项系统工程活动的任务背景、任务描述、系统建立与其决策过程，它提供了解决系统工程社会性、系统性问题的总原则和基本思路。系统工程的方法论主要由系统工程的三维结构、辩证程序、辨识过程、决策策略以及系统优化等内容组成。

（一）系统工程的三维结构

60 年代以来，世界各国的系统工程学者对系统工程的方法论进行了大量研究与探索，试图找到一种通用的系统工程工作方法，结果都是无功而返。但是，1969 年，美国学者霍尔提出了一种能够适用于解决各种系统工程问题的基本思路——系统工程三维结构，也称为“霍尔三维结构”（参见图 1-7）得到广泛应用。

系统工程三维结构将系统工程活动，按时间维、逻辑维分为前后紧密联系的七个工程开发阶段和七个工程实施步骤，同时提出完成上述工程阶段和步骤所需的各种知识，这样为解决复杂、影响因素较多的工程和社会问题提供了一个具有较好适应性的工作总体框架。

三维结构是由时间维、逻辑维和知识维构成的空间立体结构。时间维表示系统工程活动由发展研究到系统更新阶段的科学工作程序，分为

（1）发展研究阶段。