

# 谢友柏设计科学研究基金项目 年度报告

项目名称：系统科学及系统工程在设计科学中的应用研究

负责人：蒋立国

依托单位：上海图阅智能科技有限公司

通讯地址：上海市闵行区剑川路 951 号零号湾 1 号楼 609 室

邮政编码：200240

电子邮件：jove1028@163.com

电话：13381878397

报送日期：2023.04.30

## 1. 年度计划研究内容

与谢友柏院士仔细讨论沟通后，决定将课题名称由“集成系统模型和流程模型实现设计的复杂性管理”变更为“系统科学及系统工程在设计科学中的应用研究”。调整后的年度研究计划如下：

2022.01-2022.06 全面搜集相关文献，研究系统科学、系统工程、设计科学等学科的概念和知识体系；

2022.07-2022.12 研究系统科学、系统工程与设计科学的关系，重点探讨如何将系统科学和系统工程方法应用到设计科学中。

调整前的年度研究计划如下：

2022.01-2022.06 全面搜集相关文献，归纳研究企业架构、系统工程、建模语言等，完善技术路线和实施方案；

2022.07-2022.12 研究系统工程流程和企业架构方法，探索数字转型环境下，复杂系统设计过程中企业采用基于模型研发模式的发展方向。

## 2. 年度研究进展及成果

今天我们面临的问题和挑战是高度关联、复杂和多学科的。特别是系统复杂度越来越高，新技术层出不穷，对我们复杂系统研发和设计科学的要求越来越高。因此有必要从根本上研究设计科学，寻求符合数字时代和智慧时代的设计规律和设计模式，为复杂系统设计和制度设计提供理论基础。

本研究课题最开始的名称为“集成系统模型和流程模型实现设计的复杂性管理”，但通过与谢友柏院士仔细沟通后，认为该课题偏重于模型应用研究，此外该课题还涉及系统模型、流程模型，甚至还包含组织模型，特别是该题目的直接成果是面向软件平台开发和模型定义，内容过于庞杂，并不适合理论研究，因此将课题题目转为“系统科学及系统工程在设计科学中的应用研究”。课题重点关注系统科学和系统工程中如何应用于设计科学，从而更好地发展设计科学，提升设计科学在复杂系统正向设计中的作用和价值。

### 2.1 系统科学的概念定义及其研究内容

#### 2.1.1 系统科学的概念定义

系统科学汇集了系统方方面面的研究，目的是识别、探究和理解跨学科领域

和应用领域的复杂模式。其目的是寻求发展跨学科的、独立于元素类型或应用、且适合所有系统类型(如自然、社会和工程等)的理论基础。可以说,系统科学是一门跨学科的科学,旨在研究和解决复杂系统的问题。它包括了多个领域的理论和方法,如系统思维、系统动力学、系统工程、信息学、运筹学、控制论等。

此外,系统科学可以为系统工程及设计科学提供共同语言和知识基础,并为“系统方法”的从业人员提供实用的系统概念、原则、模式和工具。解决复杂问题的系统方法需要结合系统科学、系统思维、系统工程、设计科学、设计方法等要素。因此,系统科学可作为统一传统科学专业的基础学科。

系统科学有多种定义,如:

**系统科学:**是从可观测世界中的系统研究中获得知识的有序排列,以及将这些知识应用于人造系统的设计<sup>[1]</sup>。

**系统科学:**是汇集源于通用系统主题思想的综合性学科,其目的是识别、探究和理解跨学科领域和应用领域的复杂模式<sup>[2]</sup>。

**系统科学:**是一门科学,其研究领域包括系统的属性及其相关问题,这些问题源于系统性的一般概念<sup>[3]</sup>。

**系统科学:**是各种科学中对系统的科学探索 and 理论,如生物学、社会学、经济学等,而一般系统理论关注于通用性原则<sup>[4]</sup>。

**系统科学:**是一个跨学科领域,研究自然、社会或任何其他科学领域系统的复杂性<sup>[5]</sup>。

系统科学即是“系统的科学”又是“科学的系统方法”,涵盖了与其他学科相对立的理论与方法,其他学科的理论和方法通常是简化的。在恰当的情况下,简化方法在使用切割和分离来寻求简单化方面是非常成功的。然而,当这些方法不合适时,系统科学依赖于关系和场景来识别组织复杂性的模式。

### 2.1.2 系统科学的研究内容

系统科学和系统思维的诞生,是学术和实践中破除先前界限(跨学科和跨学科)的知识体系密切相关。如生物学、心理学、社会学和技术等领域的研究人员密切合作来解决紧迫的现实问题,同时研究有关系统如何运作的通用原则和理论(系统理论)。这些理论在应用领域受到越来越多的关注,因此出现了许多结合系统理论(系统方法)方面以改进实践的结构化方法。其目的是更好地了解不同

类型的系统如何运用以及如何处理越来越严重的复杂情况。

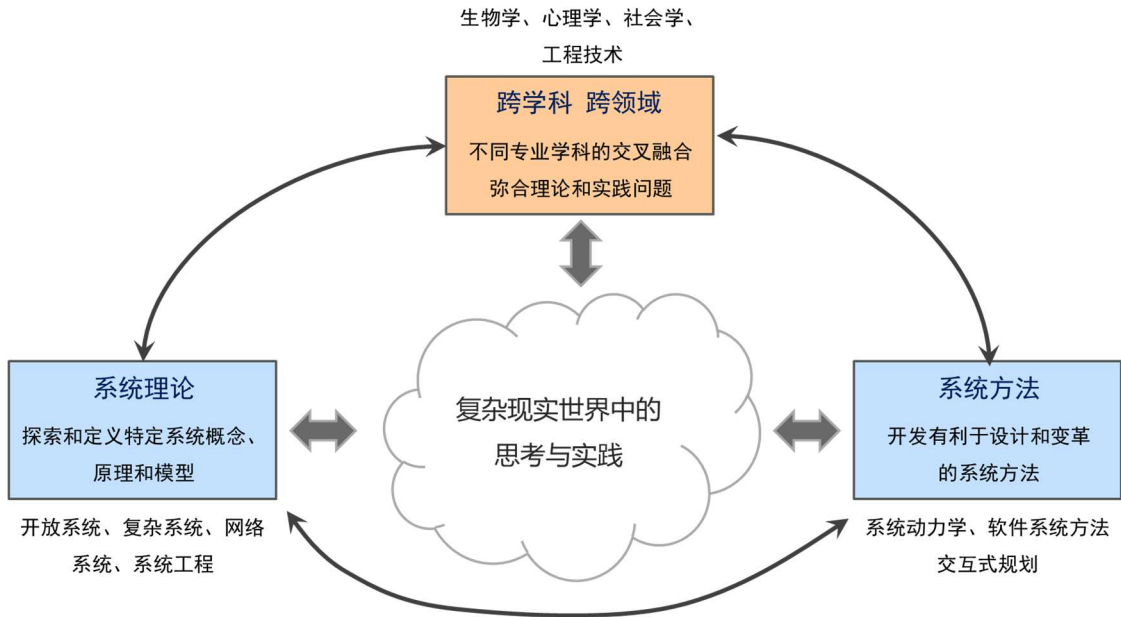


图 1 系统科学中三个主要的研究内容

系统科学包含跨学科研究、系统理论和系统方法三个部分的研究，主要是为了更好地理解和解决复杂系统问题。

跨学科研究是指系统科学在不同领域中的应用和发展。它涉及到多个学科领域，如生物学、社会学、经济学等，并通过整合这些领域的知识和方法，来研究复杂系统的结构、行为和演化规律。跨学科研究强调了不同领域之间的相互作用和影响，以及系统思维在解决实际问题中的重要性。

系统理论是系统科学的一个重要组成部分，它包括了系统科学的基本原则和理论框架。通用系统理论是系统科学的核心理论之一，它探讨了所有类型的系统共同具有的特征和规律。此外，复杂性理论、网络理论等也是系统理论中的重要分支。这些理论框架提供了一种抽象化、模型化和形式化的方法来描述和解释复杂系统的行为和演化规律，并为实际问题解决提供了指导思想。

系统方法是系统科学中常用的方法和工具，它们可以帮助研究人员更好地理解 and 解决复杂系统中所出现的问题。常用的系统方法包括系统动力学、系统仿真、多智能体模型等。这些方法可以通过建立数学模型、计算机模拟等方式来描述和分析复杂系统的行为和演化规律，并为实际问题解决提供有效的工具和技术支持。此外，系统方法的研究中还包括探讨这些方法如何应用并解决实际问题。

这三个部分相互关联、相互依存，共同构成了一个完整的研究体系。通过

跨学科研究、系统理论和系统方法的有机结合，可以更好地应对现实世界中日益复杂的问题，并为实际问题解决提供有效的工具和技术支持。

## 2.2 系统工程的概念定义及其研究内容

### 2.2.1 系统工程的概念定义

系统工程是一种视角、一个过程或一个专业，以下几种代表性的定义可以说明这一点：

**系统工程：**是一种能够实现成功系统的跨学科的方法和手段。它侧重于在研发周期的早期就定义客户要求和所需的功能，将需求文件化，然后在考虑如运行、成本、进度、性能、培训和支持、试验、制造和退出等全部问题时，同时着手设计综合和系统确认。系统工程将所有学科和专业团队整合成一个团队，形成从概念到生产，再到运行的结构化研发流程。系统工程同时考虑所有用户的业务和技术需求，以提供满足用户需求的高质量产品为目标<sup>[2]</sup>。

**系统工程：**是一种自上而下的综合、开发和运行真实系统的迭代过程，它以接乎最优的方式满足系统的全部需求<sup>[6]</sup>。

**系统工程：**是专门研究全局(系统)设计和应用的学科，与部件是不一样的。这需要全面审视问题，同时考虑所有方面和所有变量，并将社会与技术方面关联起来<sup>[7]</sup>。

**系统工程：**是组织管理系统的规划、研究、设计、制造、试验和使用的科学方法，是一种对所有系统都具有普遍意义的方法<sup>[8]</sup>。

系统工程是基于系统思维的。系统思维是针对现实的独特视角——这种视角提升了人们对系统整体的认识，以及整体中各部分之间的相互关系。当系统被认为是系统元素的组合时，系统思维就会占据整体(系统)的首要位置，也占据着系统元素与整体之间相互关系的首要位置。系统思维是通过发现、学习、诊断和交流产生对真实世界的感知、模型和理论，以此更好地理解、定义和使用系统。系统思维者清楚系统如何适应具有强大背景的日常生活，系统的行为方式，以及如何管理系统。

系统工程流程具有支持发现、学习和持续改进的迭代方法。随着流程的展开，工程师将深入了解系统特定需求与系统涌现特性之间的关系。因此，可以通过理解系统元素之间的关系及其与整体(系统)的关系来认识系统的涌现特性。由于因

果循环关系，其中一个系统变量可能是另一系统变量的原因或结果，即使最简单的系统也可能具有意想不到或无法预见的涌现特性。

### 2.2.2 系统工程的研究内容

在广义上，系统工程是一种综合性学科，涉及多个学科领域，包括物理、数学、计算机科学、管理学等。它的研究内容包括从整体上看待问题、采用系统思维的方法来分析和解决问题、对复杂系统进行建模和设计等。

在狭义上，系统工程是一种应用科学，主要关注如何将各个子系统集成到一个完整的系统中，并确保这个系统能够满足特定的需求。它的研究内容包括确定需求、制定规格、选择技术方案、进行各个子系统之间的接口设计等。

系统工程包含技术和管理流程，这两个流程都非常依赖良好的决策。在系统生命周期早期制定的决策，其后果尚不明确，可能会在系统生命后期产生巨大影响。系统工程师的任务就是及时探究这些问题并做出重要决策。



图2 系统工程流程

狭义的系统工程主要是描述复杂系统生命周期模型的六个阶段：概念、研发、生产、使用、支持和退出。这六个阶段会涉及到系统工程的四大流程组，包括技术流程组、技术管理流程组、协议流程组和组织的使能流程组。

技术流程包括业务或任务分析、利益攸关者要求和需求定义、系统需求定义、

架构定义、设计定义、系统分析、实施、综合、验证、移交、确认、运行、维护和退出。技术管理流程包括项目计划、项目评估和控制、决策管理、风险管理、配置管理、信息管理、衡量及质量保证。协议流程包括采购和供应。组织的项目使能流程包括生命周期模型管理、基础设施管理、项目组合管理、人力资源管理、质量管理和知识管理。每个流程都是通过输入-流程-输出(IPO)图进行详细描述,展示关键输入、流程活动和结果输出。

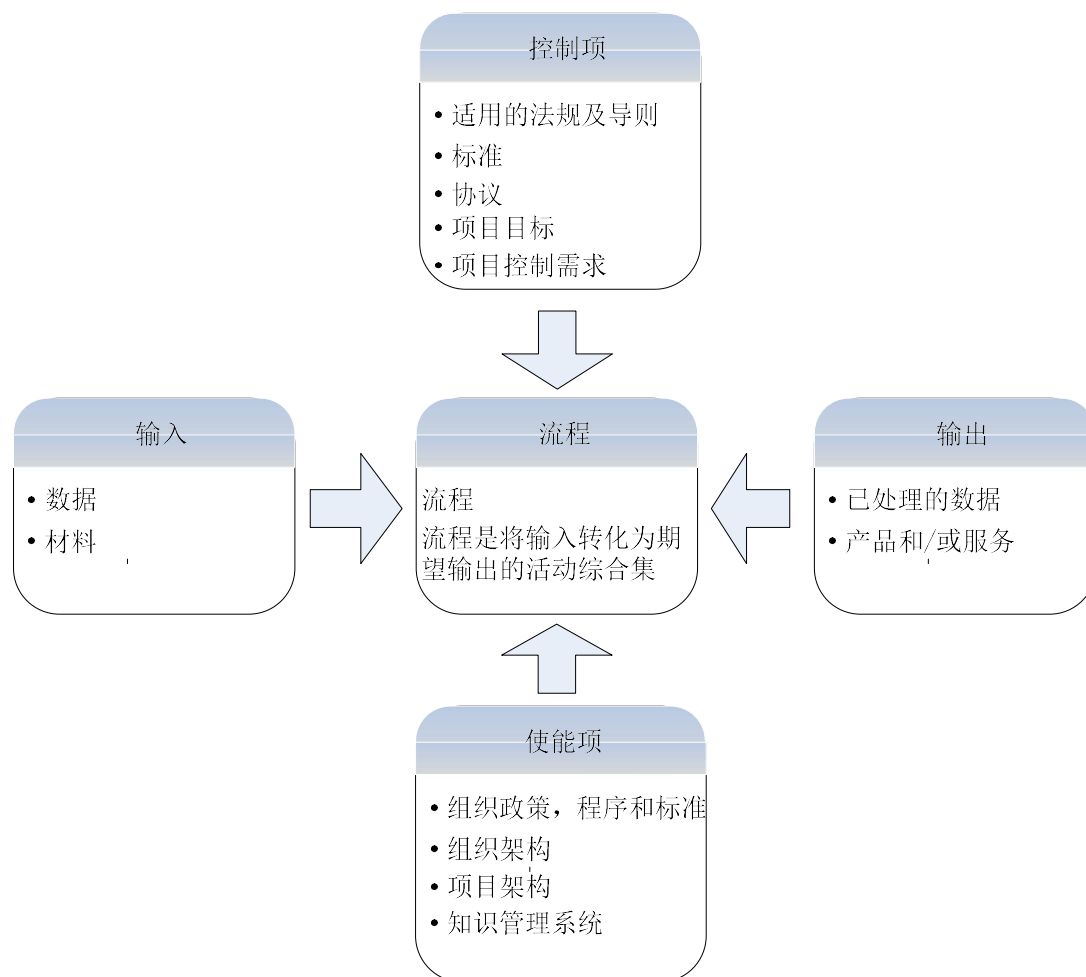


图 3 系统工程流程 IPO 图

## 2.3 设计科学的概念定义及其研究内容

### 2.3.1 设计科学的概念定义

设计科学是一种跨领域的研究领域,旨在通过创新和创造来解决现实世界中的问题。它包括了系统性的方法论、跨学科研究以及以用户为中心等特点。

**设计科学:** 是研究统帅人类一切有目的的活动——设计的基本规律、共同规律<sup>[9]</sup>。

**设计科学:**是人工制品的科学研究和创建,因为它们是由人们开发和使用的,目的是解决普遍关注的实际问题<sup>[10]</sup>。

**设计科学:**是一项研究范式,重点侧重于规范性知识的开发和验证<sup>[11]</sup>。

**设计科学:**是一种跨学科的研究领域,它涉及到工程、心理学、人类行为学等多个领域,旨在研究人类如何进行创造性思维和行为,并将其应用于实际问题中。

**设计科学:**是通过观察和推理获得系统结构的知识体系,从中推导出一般原则和规律<sup>[12]</sup>。

设计科学是一种跨学科的研究领域,旨在通过创新和创造来解决现实世界中的问题。它包括了系统性的方法论、跨学科研究以及以用户为中心等特点。具体来说,设计科学的基本内涵包括以下几个方面:

1. **创新和创造:**设计科学强调了人类创造性思维和行为对于解决问题的重要性。在设计科学中,人们通过不断地尝试和实验来发掘新的想法和方法,并将其应用于实际问题中。

2. **系统性的方法论:**设计科学包括了问题定义、需求分析、概念设计、详细设计、实现和评估等多个阶段。在每个阶段中,人们都需要进行系统性的思考和分析,并采用相应的工具和技术来支持决策。

3. **跨学科研究:**设计科学涉及到工程、心理学、人类行为学等多个领域。这些不同领域的知识相互交融,共同支持着设计科学的发展。

4. **以用户为中心:**设计科学认为用户需求和体验对于产品或服务设计的重要性。因此,在设计过程中,人们需要进行用户研究和测试,并不断改进设计方案,以满足用户的需求和期望。

国内对设计科学发展最具影响力的理论是谢友柏院士提出的设计科学四定律:(1)设计以现有知识为基础定律;(2)设计知识的不确定定律;(3)设计以新知识获取为中心定律;(4)设计的竞争性定律。在设计科学的研究过程中,从关注设计方法到研究知识在设计中的行为,从研究物质产品的设计到认为物质产品,精神产品和社会产品,都应该遵循同样的公理进行设计。

### 2.3.2 设计科学与系统科学、系统工程的关系

设计科学、系统科学和系统工程是三个相互关联的概念,它们之间存在着密



切的联系和互动。

设计科学是一种跨领域的研究领域，旨在通过创新和创造来解决现实世界中的问题。它包括了系统性的方法论、跨学科研究以及以用户为中心等特点。设计科学强调了人类创造性思维和行为对于解决问题的重要性。系统科学是一种研究复杂系统的跨学科领域。它涉及到数学、物理、工程、计算机科学等多个领域，旨在揭示复杂系统内部结构和行为之间的关系，并提供相应的分析方法和工具。系统工程是一种将系统科学原理应用于实际工程项目中的方法。它包括了需求分析、概念设计、详细设计、实现和评估等多个阶段，并采用相应的工具和技术来支持决策。

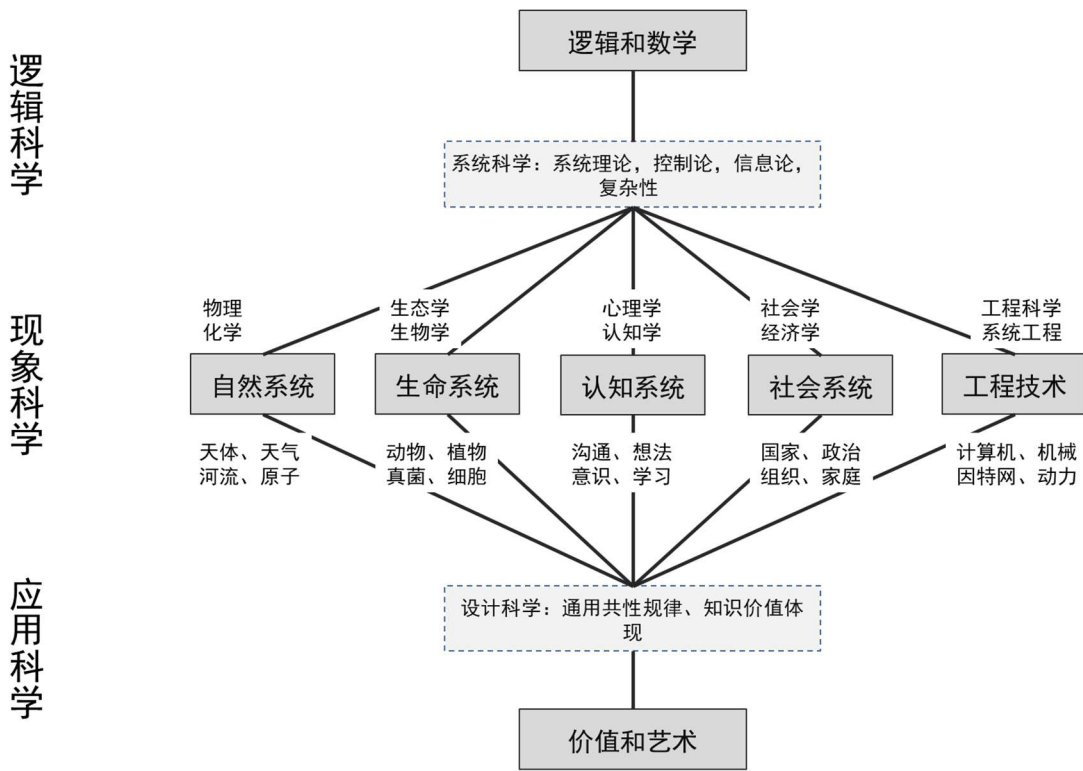


图 4 设计科学与系统科学、系统工程的关系

#### 2.4 系统思维与设计思维

系统是一个概念，反映了人们对事物的一种认识论，即系统是由两个或两个以上的元素相结合的有机整体，系统的整体不等于其局部的简单相加。这一概念揭示了客观世界的某一种本质属性，有无限丰富的内涵和处延，其内容就是系统论或系统学。系统论作为一种普遍的方法论是迄今为止人类所掌握的最高级思维模式。系统思维是指以系统论为思维基本模式的思维形态，它不同于创造思维或形象思维等本能思维形态。系统思维能极大地简化人们对事物的认知，给我们带

来整体观。

系统思维是原则性与灵活性有机结合的基本思维方式。只有系统思维，才能抓住整体，抓住要害，才能不失原则地采取灵活有效的方法处置事务。客观事物是多方面相互联系、发展变化的有机整体。系统思维就是人们运用系统观点，把对象的互相联系的各个方面及其结构和功能进行系统认识的一种思维方法。整体性原则是系统思维方式的核心。这一原则要求人们无论干什么事都要立足整体，从整体与部分、整体与环境的相互作用过程来认识和把握整体。领导者思考和处理问题的时候，必须从整体出发，把着眼点放在全局上，注重整体效益和整体结果。只要合于整体、全局的利益，就可以充分利用灵活的方法来处置。

设计思维是一种以人为本的解决复杂问题的创新方法，它利用设计者的理解和方法，将技术可行性、商业策略与用户需求相匹配，从而转化为客户价值和市场机会。作为一种思维的方式，它被普遍认为具有综合处理能力的性质，能够理解问题产生的背景、能够催生洞察力及解决方法，并能够理性地分析和找出最合适的解决方案。在当代设计和工程技术当中，以及商业活动和管理学等方面，设计思维已成为流行词汇的一部分，它还可以更广泛地应用于描述某种独特的“在行动中进行创意思考”的方式，在 21 世纪的教育及培训领域中有着越来越大的影响。设计思维的体验学习，是通过理解设计师们处理问题的角度，了解设计师们为解决问题所用的构思方法和过程，来让个人乃至整个组织更好地连接和激发创新的构思过程，从而达到更高的创新水平，以期在当今竞争激烈的全球经济环境中建立独特优势。

虽然设计思维和系统思维有不同的起源、应用和方法，但两者在实践中都需要相似的认知技能：设计和系统的从业者都必须具有创造性、灵活性、好奇心和情商。设计思考者和工程系统思考者都利用发散和聚合的思维策略，使用类比、视觉和空间推理，并接受歧义和涌现。然而，设计思维在某种程度上是一个更线性和有界的过程，因为它会产生具体的物理原型。系统思维更具循环性和抽象驱动性，并不像设计思维方法那样通过原型设计强调有形性。



图 5 设计思维与系统思维的异同点

设计思维和系统思维都是解决设计复杂性、定义和解决棘手问题以及理解认知和社会过程对系统设计和性能的作用的方法。系统思维被描述为设计思维的必要技能。其关键区别在于系统思维强调抽象、相互依赖和出现，而设计思维强调有形性、原型设计、测试和重新设计。

需要注意的是，系统思维是作为设计思维的子集包含在内的，而不是相反。这是因为与更随意的探索性研究和系统思维技能相比，设计思维具有既定的跨学科方法等。同样，系统思维有时在设计思维文献中被提及为设计思维的必备技能，而在工程系统思维文献中却很少提及设计思维。

## 2.5 产品设计的通用流程

设计是创新的核心。产品设计不是让产品看起来美观或时尚。产品设计是一个多学科的过程。产品设计包括在物理生产过程中发生的与设计相关的活动。只有非常适合其市场的产品才能称为设计良好。设计的基本要素是设计策略的制定、设计任务、设计方式、组织的使用以及实际环境和设计师对它的反应。在产品设计中，想法和需求最初是作为解决方案概念给出的。当要形成一个新产品时，通常可以采用几种可以体现在概念中的不同解决方案。产品设计可能涉及采用全新产品，也可能需要改进或升级现有设计，以提高功能、性能或吸引力。然

而，产品设计不一定倾向于采用新技术来创造新颖的产品。设计主要处理引入功能和概念的变化。

产品设计和开发的过程如下图所示。产品设计开发的过程，主要包括以下几个阶段：

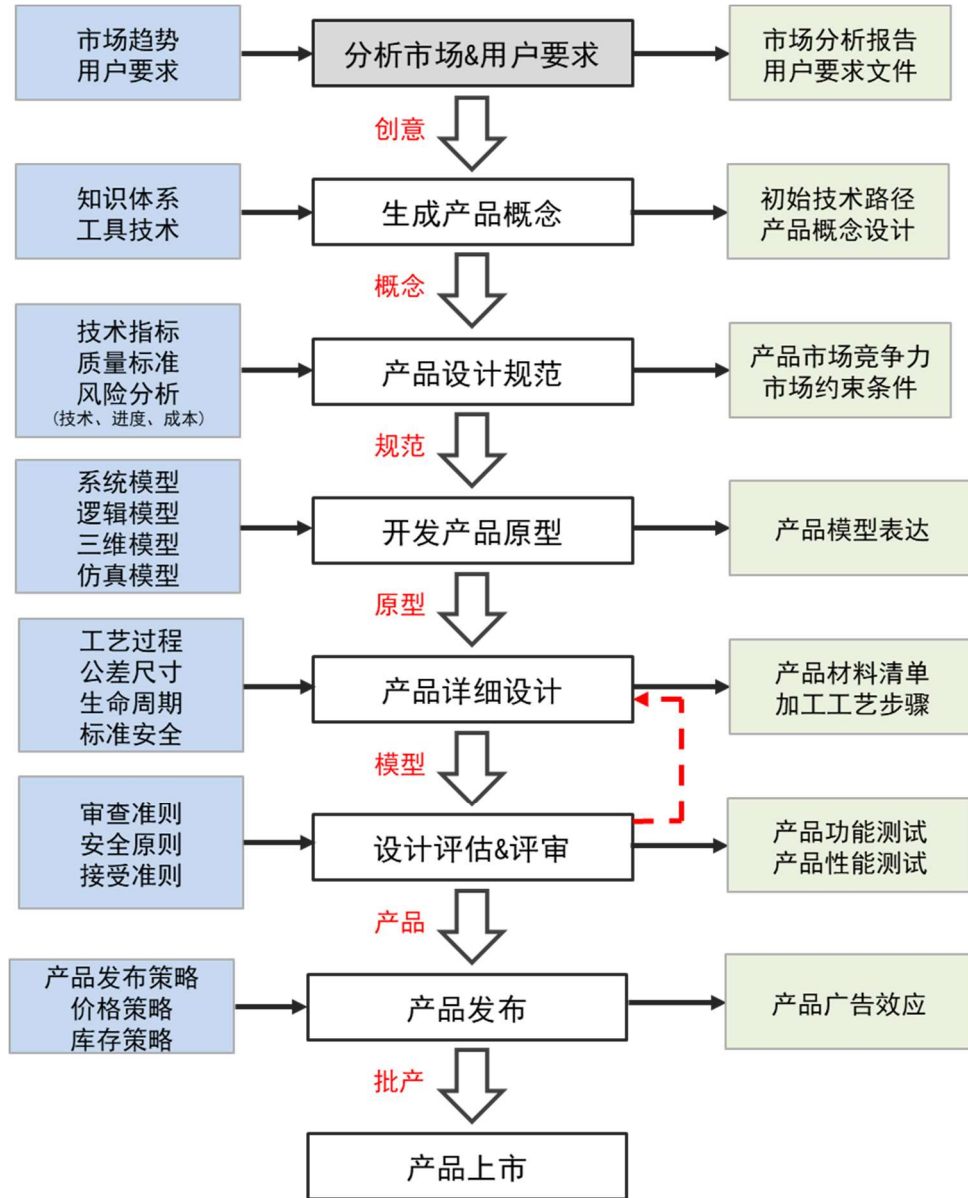


图 6 产品的通用设计流程

- 分析市场和客户需求
- 产品概念生成
- 产品设计规范
- 制造设计
- 概念和原型的开发

- 详细设计
- 设计评估和审查
- 产品发布会

分析市场和客户需求实现客户满意度的旅程始于有效捕捉、分析和理解客户的真实需求。客户的角色由产品的接受者转变为决定一个行业成败的主要因素。它们成为竞争存在和各种趋势演变的唯一目的。客户的需求可能很复杂且多种多样，有时甚至非常具体。通常，客户的要求是定性的，并且由于其语言来源而往往不精确和模棱两可。在大多数情况下，需求是可以协商的，并且可能会相互冲突，因此需要权衡取舍。非常清楚客户的需求和市场趋势非常重要。语义和术语的差异总是导致需求信息从客户到设计师的传输效率较低。在产品设计和开发的最初阶段，需求规格说明会考虑许多工程问题。以市场为导向的设计过程是将客户的需求转化为可以在市场上销售的过程。不同市场的客户对同一种产品的这些需求可能会随着环境条件、地理条件、人们的经济能力和生活方式、文化趋势以及其他配套资源的可用性而发生变化。因此，对客户需求和市场的分析对于生产适合其目标客户需求的产品以及避免设计需求较少或没有需求的产品的高昂代价的错误非常重要。因此，在这个阶段，营销部门分析和收集有关现有产品和市场的信息，以及产品旨在满足的需求或问题。优先考虑客户对客户需求偏好也是必不可少的事情，它可以指导设计师编译、组织和分析产品设计问题。为了弄清楚客户的需求，营销部门可以进行观察、调查、民族志方法、自我报告和访谈。这可以通过为客户分配不同的重要性权重来实现。

## 2.6 需求的共同特性

需求分析的目的是提供对各种功能之间相互作用的理解，并根据用户目标获取一组相对平衡的需求。需求不是凭空产生的。需求开发流程中的一个重要部分是场景概念，依附其上的隐含设计概念以及相关技术的关联要求等。需求的来源多种多样，包括客户/用户、法规/准则、以及公司实体等。

这个复杂流程涉及性能分析、权衡研究、约束评估和成本效益分析等。如果不确定它们对较低层级元素的影响(可实施性)，那么系统需求就无法建立。因此，需求定义和分析是一个包含“自上而下”(称之为分配和分流)和“自下而上”的迭代和平衡过程。一旦建立顶层系统需求集合，就必须将它们分配和分流到相

应的低层级。由于分配和分流过程是反复的，因此保持需求的可追溯性至关重要，以确保在最终设计中满足所有系统层级的需求。最终的需求数据库通常包含每个需求的众多属性，并且也会用于验证。尽管规避需求约束或定义系统实现方面是一个目标，但这并非总是可行的。通常需要反映必要的约束条件，如下这些：

- 1) 标准——确定符合质量或设计考虑所需的标准，以满足组织、行业或领域需求所定义的利益攸关者需求或衍生需求。
- 2) 应用环境——确定应用环境及所有可能影响系统性能、影响人员舒适或安全，或预想系统应用中每个运行场景可能的人因失误等环境因素(天然的或诱发的)。
- 3) 基本设计考虑——确定设计考虑因素，包括人员系统综合(如人力、人员、培训、环境、安全、职业健康、生存能力、可居住性等)，系统安保需求(如信息安全、防火防盗等)以及潜在环境影响等。
- 4) 设计约束——确定设计约束，包括系统运行时的物理限制(如重量、形式/适合因素等)、人力资源、人员及其他资源约束，并定义与主机平台的接口，以及与系统边界以外的交互系统，包括供应、维护和培训基础设施等。

每个需求应考虑如下特征：

- 1) 必要性——每个需求都会以处理、维护和验证的形式产生额外的工作。因此，规范书中应只包含必需的需求。不必要的需求大致有两类：(i)不必要的设计规范，应由设计人员自行决定；(ii)其他需求集合中已有的冗余需求。
- 2) 独立实施性——客户需求可在他们期望的任何层级上施加；但是，当客户需求指定设计时，应当提出质疑。一个恰当的需求应通过描述由“盒子”执行什么样的转换来处理被当做“黑盒”的实体。该需求应当指明在该层级“要做什么”，而非“如何”在该层级实现。
- 3) 简洁明了——需求必须传达下一发展阶段要做的事情。其主要目的是沟通。需求是否清晰、简洁？需求是否有多种形式的理解？是否定义了术语？需求之间是否存在矛盾或冲突？每个需求声明应有且仅有一个概念。包含“和”、“或”、“逗号”或其他形式的冗余需求可能难以验

证，应当予以避免，不然难以确保所有人都有共同的理解。因此，必须非常谨慎地编制需求。使用的语言必须清晰、准确且足够详细，以满足所有合理的解释。应当使用术语表精确定义常用的术语，如“流程”，就可能有多种不同的解释。

- 4) 完整性——所阐明的需求应当是完整的、可衡量的且无需进一步详述，同时还应提供足够的能力或特征。
- 5) 单一性——需求声明应只针对一个需求，而不是针对需求组合或多个功能或约束等。
- 6) 可实施性——需求必须在约束范围内具备技术可实施性，同时要求技术的进步在可接受的风险范围内。实施开发者参与需求定义是最好的。开发者应具备评估需求可实施性的专业知识。在分包项目中，潜在分包商的专门知识在需求产生时是非常有价值的。此外，制造商和客户/用户的参与有助于确保需求的可实现性。如果在需求生成期间，无法拥有开发人员、分包商和/或制造商专业知识的融合，那么必须首先对其进行评审，以确保可实现性。
- 7) 可验证性——每个需求必须使用四种标准方法之一在某个层级上进行验证(检查、分析、演示或测试)。客户有可能指出：“范围越大越好”，这是一个正当的但无法验证的需求。这种类型的需求表明，需要通过权衡研究来确定可验证的最大范围需求。每个验证需求应可通过单一方法进行验证。需要多种方法进行验证的需求，应当分解为多个子需求。采用一种方法验证多个需求是没有问题的。但是，这也表明需求可以归并的潜在可能。当系统层级结构设计合理时，每个规范层级在验证阶段都有相对应的验证层级。如果所需的元素规格适当地指定系统时，则应执行元素验证。
- 8) 符合性——在许多情况下，有适用的政府、行业和产品所需遵守的标准、规范和接口。一个实例可能是为实现可能的重用性，对新软件开发施加的额外需求。另一个可能是某些产品类别的标准测试接口连接器。此外，各项需求应符合组织需求编制的标准模板和格式——当同一组织的所有需求具有同样的视觉和感觉时，每个需求都会易于编制、理解和评审。

除了单个需求特征外，还应阐述需求集合的特征，以确保这些需求共同提供满足利益攸关者意图和约束的可行解决方案。这些包括：

- 1) 完整性——需求集合包含与特定系统或系统元素定义相关的所有内容。
- 2) 一致性——需求集合的一致性表明需求彼此之间既不矛盾也不重复。所有需求都应依照术语表规范使用术语和索略词。
- 3) 可行性/可承担性——需求集合可通过 LCC、进度和技术约束等获取的解决方案来满足。
- 4) 边界范围——需求集合定义了满足利益攸关者要求的解决方案所需的范围。因此，必须包含所有必要的需求，而任何不相干需求都应排除。

## 参考文献

- [1] M'Pherson PK. 1974. A perspective on systems science and systems philosophy. *Futures* 6: 219–239.
- [2] INCOSE 2015. *Systems Engineering Handbook: A Guide For System Life Cycle Process and Activities*. 17–18.
- [3] Pfeifer R, Scheier C. 2001. *Understanding Intelligence*. MIT Press: Cambridge, MA.
- [4] Strijbos S. 2010. Systems thinking. In *The Oxford Handbook of Interdisciplinarity*, Frodeman R, Thompson KJ, Mitcham C. (eds.). Oxford University: Oxford; 453–470.
- [5] <https://www.publichealth.columbia.edu/research/population-health-methods/systems-science>.
- [6] Eisner, H. (2008). *Essentials of Project and Systems Engineering Management*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- [7] FAA. (2006). *Systems Engineering Manual, Version 3.1*. Federal Aviation Administration.
- [8] 钱学森. 论系统工程, 上海交通大学出版社, 2007.
- [9] 谢友柏. 认识设计科学, 研究设计科学, 科技导报: 2017, 35(22).



- [10] Erik Perjons. Introduction to Design Science. Department of Computer and Systems Sciences (DSV), Stockholm University.
- [11] [https://en.wikipedia.org/wiki/Design\\_science\\_\(methodology\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Design_science_(methodology))
- [12] Efrén Moreno Benavides, Advanced Engineering Design, 2012.