

系统工程

亨德里克·波德 (Hendrik W. Bode)
威廉·霍尔斯坦 (William K. Holstein)

前言

“系统工程”是使用工程和科学各个分支的知识的一门技术，它将技术创新引进到系统的规划和发展中。

系统工程与其说是工程学的一个分支，不如说它是一种将其他工程学分支和科学学科的知识有效地结合起来以解决多方面工程问题的一种技术。它与运筹学相关，但不同之处在于它更多的是进行规划和设计，并经常涉及技术创新。系统工程最重要的方面可能是它在新技术可行性开发中的应用，其具体目标是在经济和技术允许的情况下尽快将它们投入到使用之中。从这个意义上

来说，它可以被视为是技术发展的助产士。

“系统”一词也经常用于其他场合，尤其是当技术进步的要素不那么重要时。系统分析就是一个例子。系统理论，有时也称为系统科学，经常应用于物理动力系统的分析。一个例子是具有一个或多个反馈回路的复杂电气网络，其中过程的输出效应返回到输入端从而引起过程起始条件的变化。

在 19 世纪和 20 世纪各个工程学科的发展过程中，不同领域之间不可避免地存在相当多的交互。例如，化学工程和机械工程都涉及热传导和流体流动。专门化的进一步扩散，像在电气和电

子工程的许多分支里发生的那样，诸如通信理论、控制理论和计算机理论，都导致了进一步的学科交互。系统工程可以被视为是这个过程中合乎逻辑的最后一步。系统工程师通常具有电子或通信背景，并广泛使用计算机和通信技术。然而，系统工程不应与这些类型的其他领域相混淆。从根本上说，它是一种观点或一种处理问题的方法，不应被视为与任何定型的领域同类。就其本质及其所解决的问题的本质而言，它是跨学科的，是一个将独立的技术和一般知识体系结合在一起去有效地实现某个预定目标的过程。

一般来说，系统工程方法很可能与传统的设计方法不同。它在自身基本逻辑框架中表现出更高的通用性，并且更关注要实现的基本目标。因此，在每个阶段，系统工程师可能会问为什么和怎样做，而不仅仅是怎样做。

除了系统工程之外，定义“系统”本身也很重要。系统工程师所关心的系统首先是人造的。其次是，它们规模大、结构复杂。它们的组成部分相互作用是如此广泛，以至于某一部分的变化可能会影响到许多其他部分。除非有这样的交互，否则系统工程师几乎没什么可做的，至少在系统的层次上是这样。没有这样的交互，他可以立即转向组件本身。系统的另一个重要特征是它的输入通常是随机的；也就是说，输入本质上是时间的随机函数，尽管它们可能表现出某些统计规律。因此，我们不能期望准确地预见系统在实操中将面临什么，并且其性能必须通过对一系列可能输入的响应的统计平均值来评估。在这里，基于单个精确定义输入函数的计算是行不通的。

系统也可能根据参与其操作的人的主观判断程度而变化。当然，还有一些系统，例如电路、自动化生产设备或机器人，可以以完全确定的方式运行。在另一个极端，存在一些用于商业和军事目的的管理和控制系统，其中的机器在某种意

义上完成了大部分工作，但在关键点需要人类的监督和决策。显然，这些混合人机系统为系统工程师提供了最多样化的可能性及问题。此类系统的各个方面在我关于人的因素的文章中再讨论。

系统工程的发展

数学建模

系统技术有很多来源。从广义上讲，它可以被视为标准科学方法论的简单延伸。首先列出可能影响给定情况的所有因素然后从完整表列中选出那些看似关键的因素来，这是科学（和其他许多领域）的常见做法。数学建模也许是系统工程中最基本的工具，是任何已经充分定型了的科学分支中都会使用的技术。因此，从广义上讲，系统方法只不过是传承了几代人甚至几个世纪的传统。

另一方面，在寻找系统方法的更新近和更具体的来源时，可以看到有两个特别突出的来源。首先是一般通信领域，特别是商业电话，系统工程首先作为一门明确的学科在该领域出现。至少早在本世纪初，系统方法的踪迹就可以在电话工程中找到，并且系统思想在 20 世纪 20 年代和 30 年代的电话技术中已经相当普遍。当美国电话和电报公司的研究部门贝尔电话实验室于 1925 年正式成立时，其两个主要工程部门分别称为“设备开发”和“系统开发”。然而，系统工程作为完整正式的学科首次出现于第二次世界大战后的几年中，是重新定义研发政策和结构所作努力的一部分。这一学科将工程工作置于与研究和工作同等逻辑水平上，并认为它与研究和开发的实际规模相当，至少与研究相当。系统工程师具有多种职能，其中特别强调在规划新的通信系统时有效地利用科学技术进步的成果。当然，这些特殊的想法反映了电话的特殊需求。尽管如此，作

为一个例子和一个出发点，它产生了广泛的影响。这似乎就是系统工程这样深刻的学科发展得如此迅速的原因之一。（有关系统工程的研究和开发方面的详细讨论，请参阅我关于“研究与开发”的文章。）

运筹学和系统工程

系统工程的第二个主要来源是运筹学。运筹学起源于二战期间的英国，最初关注的是军事装备的最佳使用。典型例子包括：确定给定数量的轰炸机的最佳使用方式、安排机队抵御潜艇攻击的最佳方式以及使用拦截机抵御轰炸攻击的最佳方式。运筹学在这种情况下非常有效，并且从那时起在民用和军事领域都有了蓬勃的发展。运筹学和系统工程之间存在明显的区别。由于运筹学关注的是现有设备的最佳利用，因此不会出现技术不确定性。另一方面，系统工程通常涉及新设备的规划，这种不确定性可能很重要。然而在实践中，系统工程和运筹学有很多共同点。特别是，它们共享许多相同的分析技术。这在很大程度上是因为系统工程师可能会使用运筹学专家对实际硬件使用的相同方法来评估预设计的有效性。

两者有重叠的另一个原因是新设备和现有设备之间的区别通常并不十分明显。设备的新旧程度是相对的。如果新设备基于现有的设计技术工作得足够好，并且涉及足够少的技术不确定性，那么这个问题就变得不重要了。这个问题是一个程度问题，在某种意义上也是一个判断问题。

系统工程目前的大部分特征都源自 20 世纪 50 年代初期的历史。第二次世界大战结束后的几年里发生了一些值得注意的事件。包括 1947 年线性规划的引入以及 20 世纪 40 年代末为持续发展该领域而成立的各种组织。但是，总体而言，这只是一个巩固早期进展的历史时期。那时候，在通

信领域，主要的系统是一些战前启动并因战争活动而中断的长途传输系统。

20 世纪 50 年代，系统工程的发展速度明显加快。第一本系统工程通用教科书于 1957 年出版，随后出现了许多涉及工业和军事应用的其他著作。事实证明，这些出版物足以将系统工程确立为一门公认的学科，并且世界上发达国家的许多大学现在都在教授系统工程课程。法国、印度、日本、德国、英国和美国都有各种系统工程专业协会和期刊。

通信和电子工程

1950 年后，系统工程的发展在很大程度上源于邻近领域（尤其是通信和电子）巨大进步的影响。自动控制系统就是一个很好的例子。控制系统的主要特征是组件广泛相互作用，并且系统作为一个整体具有某些属性（例如稳定性），而不能说这些属性只依附于某些单个组件。因此，控制系统为系统工程提供了很好的教科书示例。

第二次世界大战后不久，信息论的发展作为通信工程的基本起点，对系统工程的演变也产生了影响。人们发现，许多完整系统中的各个子系统是由各种因素结合在一起组成的。因此，从系统的一个部分到另一个部分的信息传输这一观念被证明对于理解整个结构的运行是很有帮助的。

计算机和系统工程

系统工程还受益于计算机的出现和随后强大高级编程语言的发展。这两个主要方面影响了系统工程领域。首先，它们提供了通过广泛计算或直接模拟来分析复杂系统的新工具。其次，它们可以用来处理大量数据或作为复杂系统的实际组成部分，特别是那些主要涉及信息传输的系统。这开辟了信息处理以及在此类系统中简单传输信

息的可能性（另见“信息处理”）。

军事武器问题对系统工程的影响在第二次世界大战后不久就开始了。1945年是一个具有里程碑意义的年份，当时美国启动了“Nike Ajax”防空导弹系统。

1945年，实用的火箭推进力似乎不足以让导弹达到令人满意的战术射程。后来发现，可达到的射程取决于几个参数，例如弹头的重量和尺寸、导弹空气动力学设计的精度、控制系统提供的机动性、弹道形状和平均速度。因此，人们进行了有效的系统工作，探索了导弹特性的各种组合，目标是在射程和其他战术特性之间实现最佳平衡。

控制和反馈问题也是整个系统问题的重要方面。整个系统实际上是一个巨大的反馈回路，因为导弹是由地面计算机发送的命令来控制的，而计算机输入包括跟踪雷达观测到的导弹行为信息。因此，存在从导弹到计算机再回到导弹的闭环反馈回路。还有控制导弹姿态的自动驾驶仪等辅助反馈回路。由于需要处理雷达信号以消除雷达信号的“抖动”，系统的动态响应会进一步受到影响。对这种涉及交错反馈回路的复杂动力系统的分析已成为一般系统领域中的一个重要特殊部分。

在20世纪50年代和60年代，系统工程也向其他方向发展。这主要是与冷战相关的武器系统项目的结果。那时，“Nike Ajax”防空导弹系统的研究所关注的是单个孤立导弹的动力学。另一方面，20世纪50年代发展起来的防御系统涉及分散在相当大区域内的大量导弹、火炮、拦截武器和雷达装置的协调运作。这些都由一台大型数字计算机连接在一起，从而成为系统的核心部分。美国的SAGE（半自动地面设备）系统就是一个很好的例子。

在同一年里，系统方法也越来越与管理职能

相协调。因此，“系统工程和技术方向”一词被用来描述负责各种项目的初始规划及其后续管理的系统工程师的角色。所谓的规划、执行和预算(PPB)技术的开发是为了提供系统工程和财务管理的类似组合。

在非军事领域，系统工程也沿着类似但更为温和的路线发展。早期的应用可能强调大型自动化生产设施中的反馈控制系统，例如轧钢厂和炼油厂。后来的应用强调基于计算机的信息管理和控制系统，有点像早期为防空而开发的系统。近年来，系统方法偶尔也被应用于大型民用项目，例如新城市的规划。

系统工程的技术、工具和步骤

如果一个系统在这些术语所定义的意义既庞大又复杂，那么可能很难弄清楚它是如何工作的。系统工程的很大一部分内容包括了研究这种相对复杂情况的各种技术。

建模与优化

也许最基本的技术是流程图，或者流程表，那是由代表整个系统的各个组件或子系统组成的各种方框，加上从方框到方框的箭头以显示子系统之间如何交互。虽然这种表示在初步研究中非常有用，但它本质上只是定性的。从长远来看，更有效的方法是构建所谓的数学模型。该模型由一组方程组成，有时甚至简单地由表格和曲线组成，以定量的方式描述系统内的相互作用。数学模型不必非常精确，只要能达到预定目的即可。它通常由近似基本非线性情况的分段线性连线组成（即一系列粗略近似于一条曲线的许多短线段）。构建并检查模型后，可以采用多种数学技术（包括直接枚举和计算）来找出模型对系统实际运行的影响。这些计算通常具有概率或统计的特点。

当组件或子系统有显著交互时，可以通过许多不同的方式来实现各方基本上相同的最终性能水平。一个子系统的有限性能可能会被其他子系统的卓越性能所补偿。这些优化研究称为折衷平衡 (trade-off)，它们对于建议如何以最经济的方式来实现所期望的结果非常重要。它们在判定所得结果在实际上是否合理的问题上同样有价值。例如，人们可能会发现，性能的适度降低将允许总体成本的大幅节省。或者相反，假想的设备能够比要求的性能好得多，但本质上费用却更高。（事实也可能是，设备可以提供最初没有考虑到的有用功能。例如，计算系统通常可以在成本增加很少的情况下执行额外的记录保存工作。）由于所有这些原因，对各种可变因素的研究是系统工程的重要组成部分，无论是在项目的早期探索阶段还是在最终设计之中。

确认目标

为最终系统制定合适的目标是系统工程进行过程中非常重要的一部分，因而值得特别关注。当然，总是可以用模糊或完美主义的术语来陈述系统的总体目标。然而，足够清晰、精确和全面的陈述作为工程研究的基础则是另一回事。除非过去已经对情况进行了充分探讨，否则真正的选择在工作开始时不太可能是显而易见的。因此，系统工程师的首要任务是给出一个尽可能清晰的目标表述。这通常涉及许多计算，以及咨询对该系统感兴趣的其他人。由于最终陈述必须反映价值判断，以及纯粹处于技术方面的考虑，因此系统工程师不会尝试单独进行这种思考，而是会尝试去催化该项工作的重点。尽管这类问题在系统研究开始时自然会表现得特别突出，然而它们可能会在后续步骤中再次出现。系统工程师永远不会忘记目标这件事。

令人满意的目标陈述可能会出现这样那样的问题。主要原因很简单，大多数系统都有多个目标，并且经常相互冲突。例如，在运输飞机的设计中，有许多需要最大化的理想特性，例如航程、速度、有效载荷和安全性，以及需要最小化的不良特性，例如噪音和空气污染。由于相同的设计无法在所有这些方向上都做到最好，因此需要作出某些妥协以实现最理想的整体性能。最有吸引力的折衷方案可能需要特别研究并具独创性，但在认真思考真正需要一些什么特征之前，是根本不可能找到它的。

当现有技术被移植到一些新的学科领域时，定义目标可能会出现特别困难的情形。一个例子是电子学科（例如计算机技术）在医学和教育中的应用。在这种情况下，最好的系统很少是基于简单的一对一的替代，例如用电子硬件和计算机辅助教学材料直接替代课堂教师。最有效的计划更有可能是一种新旧计划相当复杂的混合。然而，这一结论可能会提出有关新系统实际目标的基本问题，但这种情况的跨学科研究性质并没有使问题变得更简单。

一个设计例子

上述商业运输机的设计就是系统工程问题的一个例子。在这样的设计中，气动升力、机身和机翼的阻力、控制装置、推进系统以及起落架等辅助硬件都存在明显的相互作用。一个元素受到干扰便会影响其他元素。因此必须考虑整个系统的所有要素和各个方面以及它们之间的相互作用。如果设计者使机身更宽、机翼更小，以便在相同或更高的速度下承载更多的有效载荷，则可能需要新的控制系统，因为运输机的整体机械结构和空气动力学特性都发生了变化。还可能需要更强和更重的起落架以便承受更高的着陆速度。几乎

可以肯定的是，新设计将需要更大的发动机和油箱来应对更大的空气动力阻力。因此，设计师可能在某些方面失去了优势，而在另一些方面却取得了进展。一架新飞机对于不需要携带太多燃料的短途飞行可能更有用，但对于长途飞行就不太有用了。显而易见，系统目标——实际想要的飞机类型——必须把握所有诸如此类的不同研究方向。

如果考虑到基础技术可能取得的进步，例如推进器或空气动力学的改进，那么这项研究就会变得更有趣，并且需要确定如何最好地将其应用到新飞机设计中。这样一来，中心系统工程问题可能会涵盖可用的新飞机特性与现有航空运输系统的需求之间的关系。显然，这样的研究只能通过进入系统层次结构中的上一层来进行。

最后，为了成功地运营一架新飞机，除了直接涉及飞机飞行的功能之外，还可能需要一系列的支持功能，包括例行检查、维护和备件供应。虽然在正常情况下，这些可能很容易由现有的操作人员去处理，但是系统工程师应该预测随时会出现的新需求并确保对它们有适当的规划。这是系统方法中用户导向的部分。

为了在相互竞争的两个目标之间进行充分的比较，需要一个足够广泛以包含这两个目标的逻辑参考框架。因此，系统工程师可以在多个系统或通用性稳步增加的整个系统层次结构的框架中研究各种情况。还是以飞机为例。飞机本身就可能是一个系统。一家航空公司拥有的一组飞机、某个特定国家的飞机总数以及该国家的交通设施也是如此。尽管最简单的系统——飞机本身——对于具体的设计问题来说是一个令人满意的参考物，但可能需要一个更通用的框架来解决更广泛的问题。因此，个别飞机设计者可能会寻求通过改善飞机起飞和着陆特性来改善空中交通拥堵，

从而更好地利用现有的机场。反过来，航空公司可能会建议建设更多更好的机场。从整个交通系统的角度来看，最好的步骤可能是投入更多资金让高速火车承载部分空中交通负荷。在系统工程中，那些在狭窄框架内研究问题时出现的错误被称为“次优化错误”。

用户导向

来自设立系统目标的压力还有一个值得提及的后果，就是系统工程很可能主要以用户为导向。这是很自然的结果，因为系统目标通常与整体性能相关，而整体性能是最终用户感兴趣的。系统工程师和最终用户之间技术兴趣的同一性通常是会特别标明的。系统工程可能会特别考虑诸如可靠性、易于维护和操作方便等品质。此外，系统工程项目的最后一步通常是评估，试图了解系统在用户侧的工作情况。

工具

系统工程的工具最明显的方面是其多样性。该领域的一篇主要文章指出，“实际上没有任何科学学科不能用于某些大型系统的设计”，并特别指出了概率论、数理统计、计算数学、系统逻辑、排队论、博弈论、线性规划、控制论、群体动力学、数值模拟、信息论、伺服机构理论和人体工程学。此列表中还可以添加决策理论、非线性规划、计量经济学等一些要目，以及与随机过程相关的通信理论。

尽管存在这种多样性，系统理论的许多工具都可以归为几个主要类别。例如，与优化相关的分析问题是一个反复出现的主题。概率和统计也是带有许多更专业主题的主要工具，例如排队论和许多通信理论。最后，计算是系统工程师的主要领域。如果一切尝试都失败了，直接计算或模拟也许能够产生所需要的结果。

这些领域本质上都是数学领域。系统工程师可能还需要其他类型的知识和技能。例如，通常开始系统分析的数学模型和相关目标函数只有在充分代表真实物理本质的情况下才会令人满意。然而，从这个意义上说，数学模型的充分性是物理或工程问题，而不是数学判断问题。在某些情况下，系统工程师可能还需要了解一般的实验程序，特别是以最大化给定测试程序信息量的方法。这种情况尤其有可能发生在紧急的高风险项目中，例如太空探索或核发电。其中，必然会发生中间测试失败，而系统工程师作为其总体责任的一部分，必须决定下一步该做什么。即使在更简单的情况下，项目应在最终测试和评估阶段结束，系统工程师也有责任确保这项最后工作得以充分执行。一个密切相关的问题是以常规质量控制为目的而对测试程序进行的监控。从逻辑上讲，这也是系统工程师职责的一部分，反映了基本的用户导向。当可靠性非常重要时，例如在太空计划中，这可能是一个重大责任。

当系统工程师的工作被定义为包括重要的管理职责时，他显然需要熟悉现代管理技术。其中特别重要的技术是那些与成本计算和调度技术发展最直接相关的技术。

最后，系统工程用于新情况时，可能涉及将科学或技术中的新发现应用于现有技术领域或将已有的科学或技术应用于新环境。无论哪种情况，系统工程师显然都需要对所涉及的领域有相当多的实质性知识，才能制定出可靠的计划来。

显然，没有一个人能够具有全部这些专业资格。因此，任何大规模的系统工程几乎总是涉及团队运作。

系统工程的应用

许多有用的系统实际上是对先前设计的修改。

子系统的比例可能会改变，但不会增加或删除实质性的功能。例如，化学加工厂和信息系统很可能属于此类。在这种情况下，系统工程师的基本任务相对简单，本质上只是一个重新优化现有设计以满足新条件的问题。

然而，在其他情况下，基本系统概念代表了与过去更为彻底的决裂。新概念可能涉及新功能的引入或以新方式去实现旧功能。另一方面，它可能涉及系统参数（常数）的彻底改变。

全新系统的发展

全新概念的系统的产生就像普通工程中的发明。它们通常会在整体性能方面带来显著的进步，超过对一个已知系统作最低限度重设的预期。这显然值得特别关注。另一方面，在许多情况下，人们不可能在开发之前准确地预测新系统的一个或多个关键要素将会具有什么性能。这给系统工程师带来了一个特殊的规划问题。这通常通过为关键元件建立可接受的最低性能水平来解决。系统的其余部分则需要做到无论超出了这个水平将会实现什么，系统的整体能力都能表现出增长的潜力。不过，最终的优化研究可能会被推迟，直到系统得到更好的理解。

Nike Ajax 导弹系统提供了应用全新系统概念的范例。简单地说，该技术可用于提供一种导弹，它能够击毁采取躲避行动的敌方轰炸机。这也许就是本例中的系统的一项发明。（以前曾考虑过制导导弹，但它仅用于对付比快速机动飞机更简单的目标。）然而，在某种意义上，整个系统概念中的关键思想可能是使用指令制导系统的决定，比如采用一个与目标追踪系统不同的系统。

在指挥系统中，用于跟踪飞机和拦截导弹的雷达以及计算导弹航向改变的计算机都在地面上。这种系统需要在导弹中放置尽可能少的控制装置。

它还允许导弹遵循计算机确定的从空气动力学方面考虑有利的路径飞行。当年，在最大化推进系统可实现的航程时，这是一个特别重要的考虑因素。它还通过计算机最大程度地灵活处理目标的躲避行为。另一方面，随着范围的扩增，地面跟踪系统达到足够精度在指挥系统中变得越来越困难，而目标追踪系统则不受此限制。因此，指挥系统的采用意味着人们相信地面雷达是足够准确的，即使在预期火力范围内也能提供令人满意的拦截效果。随着雷达的发展，跟踪精度足以满足此要求，并且它们覆盖的空间为更长的射程和更高的拦截概率提供了巨大增长的潜力。（当然，在其他情况下，不同的选择也有可能更好。）

长期系统发展

到目前为止，系统工程的描述似乎表明系统工程的工作本质上是间歇性的。然而，在许多情况下，系统工程师实际工作中存在连续性的重要环节。事实上，作为长期努力的一部分，他很可能会解决一系列类似的问题。就电话工程而言，系统工程小组已正式成立。作为整个组织结构的永久组成部分，每个小组都对电话技术的某些广泛领域有所认识。因此，该项目的连续性可能会延续多年。

由于长期预测对电话设备的重要性，电话工程就是一个特别好的例子。例如，该领域系统工程师的重要职责之一涉及为工厂中的新项目建立性能标准。在大多数领域中，系统工程师在这方面的作用相对较小，因为性能标准代表了其他人建立的价值判断。在电话技术中，系统更加引人注目。这是因为在任何给定时刻，设备都是新旧项目的组合，在不同时间以不同方式设计以满足各种假设的操作条件。这些部分必须一起工作。任何新设备或系统必须与现有设备或系统兼容。

此外，如果工厂要继续有序发展，新设备还必须适应未来的交通和服务需求。因此，系统工程师承担一种长期性能标准的责任变得非常重要。

某种程度上，同样的考虑也会影响新电话系统的经济性。在这里，精心制定的预测再次变得至关重要。一方面，通信设备通常具有显著的经济规模。因此，在安装新设备方面采取重大举措是值得的。另一方面，未充分利用的设备的资本费用可能过高。由于复杂系统的设计、生产和安装连续步骤可能需要数年时间，而且由于技术和服务需求可能同时发生重大变化，情况便可能会变得更加复杂。因而，系统工程师可能会发现选择最有吸引力的系统涉及可以估算的风险。他们负责随时判断应在多大程度上利用新的可能性。为电话系统工程师分配持续的组织职位和职能的主要结果是让他们与通信技术前沿更加密切地接触。他们的主要职责是监控技术前沿，以了解哪些内容可以在新操作系统中使用。

当然，重大技术进步从最初发现或构想到实际设计变得可行，这可能需要很多年的时间。系统工程师在整个过渡期间与设计和研究工作的进展保持联系。他们只需注意到项目成功所需纠正的弱点和错误，就可以对调查产生宝贵的间接影响。经常发生的情况是，即使基本概念已经建立，在实施新的系统概念之前也需要对系统进行广泛的测量。

在许多情况下，技术会提出解决同一问题的两种或多种竞争性方法。如果存在持续运作的系统工程组织，通常没有必要在它们之间做出过早的选择。相反，两条路线都可以遵循，直到明确哪一条更胜一筹。也许每条路线在市场上都有其独特的定位。例如，在电话领域里，微波传输系统与基于同轴电缆传输的系统之间长期持续的竞争就是这种情况。

政府和社会问题中的应用

到目前为止，系统工程已经涉及两个主要应用领域。其中一个领域是工业，在那里系统工程的进一步扩展前景光明。现有的应用程序提供了很多很好的模型，并且似乎可以进行此类扩展而不会引发诸多不寻常的问题。另一个主要应用领域是军事和空间系统，这些可能是塑造系统工程领域的主要力量。在世界范围内的基本社会和经济问题领域中，人们也开始考虑系统的思想在政府和非军事领域中应用的新可能性。但是，在其他环境中实践的系统工程不会自动轻松地转移到这个新环境来。另外，人们对这一主题的普遍兴趣从20世纪60年代才开始，而且该领域尚未得到完全的探索。

在一项军事系统工程技术转换的实验中，美国州政府与四家大型航空航天公司（每家公司都具有强大的系统工程能力）签订了合同，研究以下四个主题：(1) 全州范围的信息处理系统，包括一个实施计划；(2) 预防和控制犯罪和违法行为的计划；(3) 废物管理问题，以及(4) 解决基本运输问题的系统方法。

这四项研究中没有一项提出了似乎足以吸引国家实施的方案。在这方面，该实验令人失望。考虑到该研究问题的目标以及研究合同所要求的有限努力，其结果就不会令人意外。另一方面，该实验却有助于宣传系统分析应用于民事问题的可能性，并阐明在进行此类应用时可能遇到的困难。该实验激发了美国国内外对系统方法民用的兴趣。

无论是在发达国家还是在发展中国家，系统方法在政府活动中的潜在应用都是如此广泛而且多种多样，因此这里不可能提供详尽的条目。尽管如此，还是值得列出一些最明显的可能性。最明显的一类是针对非常广泛的社会经济问题的

规模进取型工程。这些情况似乎以系统方法在武器开发中的应用最为常见。也包括新的交通系统、全面治理污染以及彻底重建城市地区。一个具体例子是发电厂选址问题。这对于许多发达国家和发展中国家来说都是一个紧迫问题。系统噪音是显而易见的。发电站通常是相互连接的，因此新发电厂会对相当大的地区的电力供应产生影响。当然，特定发电厂的热污染和大气污染的影响也可能会广泛传播。

系统分析在社会领域的其他应用通常规模较小并且容易处理。第一类包括把军事预算和财务控制方法扩展到非军事领域。另一个应用是使用系统分析来支持对外援助计划的操作。其他领域包括新技术在犯罪侦查、消防和交通控制等领域的可能应用。还有一些研究涉及住房和其他类型的建筑施工等主题的具体方面。这些研究的宗旨在未来任何时候都将会是有用的，虽然不一定是非常广泛的或必然确定的。

系统分析在公民政府中的应用在其潜力被耗尽之前显然还有很长的路要走。另一方面，有很多原因会导致这些潜力只能缓慢地实现（假如可以实现的话）。其中一些与所提出的问题的固有难度有关。例如，它可能会影响到某些决策的技术推广和社会因素的考虑。另一些则反映了政府结构的某类共同特征，例如必要的职能官僚化，或者常见的管辖权重叠问题。还有其他问题反映了这样一个事实：现有的系统分析师主要接受过物理科学和工程学方面的培训，因此可能无法很好地适应他们将面临的社会经济问题，尽管大多数从事社会经济问题的系统分析小组都试图通过增加适当的缺失技能来弥补他们的实力。然而，最常见的问题可能只是需要为系统分析师和政府之间的相互合作建立坚实的基础。

随着这种演变的进行，个体系统分析师可能越来越倾向于认同他们工作的那些领域，而失去与系统分析这一独特领域的固有关系。因此，系统分析的最终命运可能是作为一个独立领域而消失，却成为了现代社会中许多部分所需的规划功能的一个重要组成部分。

本文译自 Hendrik W. Bode and William K. Holstein "Systems Engineering", 原文转载于 Encyclopedia Britannica, 28 July 2023.



【译者简介】陈关荣，1981年获中山大学计算数学硕士学位，1987年获美国 Texas A&M 大学应用数学博士学位，目前是香港城市大学电机工程学讲座教授，致力于复杂网络和非线性系统动力学分析与控制方面的研究。