

工程 工程系统 工程系统论与工程科学体系

王连成

(中国航天机电集团第二研究院, 北京 100854)

[摘要] 从分析工程的基本内容、性质和特征入手, 引出了工程系统的概念, 接着应用一般系统论思想讨论了工程系统论的研究对象和研究方法, 并论述了它在整个工程科学体系中的元学科地位。

[关键词] 工程; 系统; 系统论; 学科

迄今为止, 人类获取物质产品的途径大致可划分为三种: 工程、工业生产和科学试验。与工业生产相比, 工程具有较低的规范化程度; 与科学试验相比, 工程具有较高的规范化程度。由此使工程成为具有显著特征的一种获取物质产品的途径。并且, 由于在全部人类获取物质产品的途径中, 工程占据一个重要的份额或比例, 因此, 工程自然成为人类整个科学研究活动的一类重要对象。

工程科学是对存在于工程中的规律性的科学总结和概括。无疑, 在一切被人们称为“工程”的人类活动中, 既存在着个性(差异性), 又存在着共性(普遍性)。对于存在于工程中的个性的科学总结和概括形成了各种较低层次的工程科学门类; 相应地, 对于存在于工程中的共性的科学总结和概括就形成了各种较高层次的工程科学门类。由此, 全部工程科学知识不仅构成了整个人类科学知识体系的一个重要部分, 而且其本身也逐步形成了自己的体系——工程科学体系。

1 工程

既然工程科学是以工程为研究对象的科学, 因此弄清工程的基本内容、性质和特征对于工程科学门类的划分和研究都具有重要的意义。

在现代文明用语中, “工程”这个概念是为数

不多的被人们当作口头禅的概念之一。并且, 纵观被人们称作“工程”的一类人类活动的整体, 可把工程划分为狭义工程和广义工程两大类。

狭义工程定义为以某组设想的目标为依据应用有关的科学知识和技术手段通过一群人的有组织活动将某些(某个)现有实体(自然的或人造的)转化为具有预期使用价值的物质产品的过程^[1,2]。相应地, 广义工程则定义为由一群人为达到某种目的在一个较长时间周期内进行协作活动的过程。

以狭义工程为例, 任何一项工程活动都毫无例外地包含着以下9个基本要素:

1) 用户 期望使用工程产品的是哪个(些)人或哪个(些)组织(包括中间顾客和最终用户)?

2) 目标 用户期望的产品是什么? 这种产品能做些什么(有哪些功能)? 怎么做法(如何工作)? 做到什么程度(性能与能力如何)? 期望它在什么条件(环境)下工作? 期望它带来什么价值或积极后果? 不希望它产生哪些消极后果?

3) 资源 实现用户期望目标的基本物质条件(包括原材料、设备、工具、设施、能源、信息、财政, 等等)是什么?

4) 行动者 谁是工程的主承包商(即系统承包商)? 谁是工程的子承包商? 谁是工程的供应商? 谁是工程的顶级管理和监督单位? 谁是工程的后勤

保障单位?对这些组织及其所属个人的能力、素质、信誉、行为准则及道德水准的要求是什么?

5) 方法与技术 行动者使用哪些可用而有效的手段(包括技术的和管理的)去实现他们所承担的工程任务?

6) 过程 工程从什么地方或状态开始?到什么地方或状态结束?中间经历哪些阶段?每个阶段中又包括哪些子阶段或步骤?

7) 时间 整个工程的持续时间(又叫做工程的生命周期或系统的开发周期)有多久?每项工程活动从什么时间开始?到什么时候结束?不同活动间的时序关系是什么?哪些活动在时间上必须是串行的?又有哪些活动是应该而且是可以并行的?

8) 活动 在工程过程的每个阶段和每个步骤中,每个行动者应该做些什么?依据什么(法规、文件、标准等)去做?怎么做法?

9) 环境 工程是在什么样的背景(其中包括国际政治、国家政策、市场竞争、技术状态、工程标准,等等)下进行的?这些背景带给工程的约束是什么?

尽管在不同的工程中这9个基本要素有不同的表现形态,但是,它们几乎同时存在于一切被人们称作“工程”的人类活动中却是一个基本事实。因此,它们构成了工程的基本内容。

这些基本内容同时隐含着工程的基本性质和特征,即在一切实体中,既存在着物与物的关系,还存在着人与物和人与人的关系;既存在着实体,也存在着过程。

工程所具有的上述基本内容、性质和特征,即使它有别于单纯的人类社会活动,也使它有别于单纯的物质运动。

显然,正是这些基本内容、性质和特征不仅把现代意义上的工程概念与传统意义上的工程概念相互区别开来,而且也决定了现代工程科学的研究任务和研究方向。

2 工程系统

值得注意的是,除环境要素外,工程的其余8个基本要素不仅共存于一个工程框架或边界之内,而且还相互紧密地联系和作用着,组成一个整体或全局。这个整体或全局可以并且应该被叫做工程系统。相应地,环境要素可以并且应该被叫做工程系统环境。

根据组成工程系统的8个基本要素的相近性与差别性,同时根据工程理论家研究支配工程系统一般规律的需要,特别是根据工程行动者操作上的方便,可将工程系统分解并包装为如图1所示的6个子系统(为方便计,以下均将它们称为系统)^[1,3]。

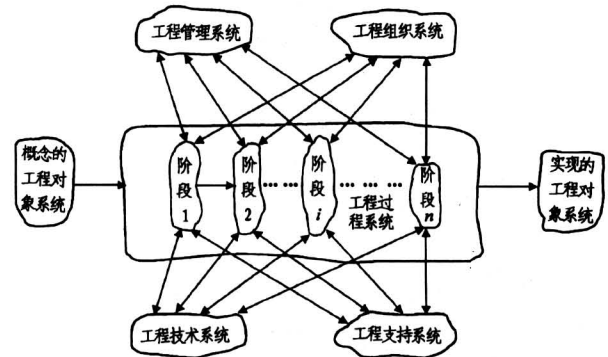


图1 工程系统的体系结构

Fig.1 Architecture of engineering system

这6个系统的定义如下:

1) 工程对象系统 用户所期望的一种工程产品。这种产品可能是纯粹物理系统,也可能是纯粹抽象系统,还可能是物理成分与抽象成分相结合的系统。由于任何工程事实上都是对工程对象系统存在形态的转换过程,因此,在图1中,分别将工程开始和工程结束时工程对象系统的存在形态叫做概念的工程对象系统和实现的工程对象系统(工程产品)。

2) 工程过程系统 工程所经历的全部阶段或步骤及其全部活动的有序集合,因而又被叫做(工程对象)系统开发生命周期,或被叫做(工程)项目生命周期。

3) 工程技术系统 工程技术活动及其所使用的全部原理、方法和手段的有机集合。

4) 工程管理系统 工程管理活动及其所使用的全部原理、方法和手段的有机集合。

5) 工程组织系统 获取工程对象系统产品所涉及的所有组织、个人及其技能、知识结构、组织准则、道德水准和行为规范的有机集合。

6) 工程支持系统 为正常而有效地进行工程技术活动和工程管理活动提供保障的全部实体的有机集合。

由其构成可见,工程系统是一类特殊的系统。如果采用英国工程师和系统理论家P·B·切开兰德关于系统的分类方法^[4],那么,工程系统至少是

由人造物理系统、人造抽象系统和人类活动系统三大类系统（有时还应包括自然系统）组成的复合系统。因此，它不仅具有这三大类系统各自单独具有的某些基本性质，而且它还必然具有自己作为一类特殊复杂系统所单独具有的突现性质。

3 工程系统论^[2,3]

系统问题的有效解决依赖于系统理论和方法的正确运用。工程问题的系统性质要求使用系统的理论和方法。千百万次工程危机的出现呼唤着有效解决工程系统问题的理论的出现和支持。这种有效解决工程系统问题的理论正是工程系统论。

工程系统论^[5]是关于工程系统中的系统规律的理论，是一般系统论与工程实践相结合的产物。

3.1 研究对象

工程系统论以各种各样的工程系统为其研究对象，并力图寻找和概括在所有工程系统中存在于如下诸方面的共同规律：

1) 工程系统的一般结构 工程系统应由哪些基本成分组成？这些成分在空间、时间和功能上是怎样联结在一起的？系统的最小和最有效的配置是什么？

2) 工程系统与环境的关系 环境是以什么方式或通过什么途径影响工程系统的？工程系统又是以什么可能而有效的方式做出反应或进行适应性调整的？

3) 工程系统的协调器 在工程系统中，能把其诸子系统紧密地组织在一起有效地实现工程目标或对环境变化做出适应性调整的核心因素（即工程系统的协调器）是什么？它应具备什么样的特征、素质、知识结构、能力和道德水准？

4) 工程系统的突现性质 工程系统有别于非工程系统的特征是什么？它具有哪些它的任何一个子系统所不可能单独具有的性质（突现性质）？除了协调器的作用之外，获得这些突现性质的条件是什么？

5) 工程系统的复杂性 工程系统的复杂性表现为哪些基本类型？处理或控制这些复杂性的可能和有效的途径是什么？在什么条件或什么意义上这些处理或控制途径有可能保持系统的完整性不会遭到不可接受的损害？

6) 工程系统的无序性 工程系统表现为哪些基本类型的无序性？这些无序性是怎么发生的？保

持工程系统有序性或将难以避免的无序性转化为必要的有序性的条件是什么？

7) 工程系统的完整性 什么是工程系统的完整性？工程系统欠完整性主要表现在哪些领域？保持工程系统完整性的必要和充分条件是什么？

8) 一般工程系统范式 在某些给定条件下，是否可以找到适合于某类乃至所有工程系统的一般范式？如果可以找到，它的基本构成要素是什么？

对于工程系统中存在于上述诸方面共同规律的研究必然得到一系列概念、原理和方法论，并且它们必有可能构成一个完备的理论体系。

3.2 研究方法

工程系统论采用一般系统方法论研究存在于所有工程系统中的共同规律。

为有可能这样做，首先，它需要将各种各样的具体工程抽象为相应的具体工程系统。这种具体工程系统的许多性质是与工程对象系统的域特征相关联的。其次，它还需要进一步研究存在于所有具体工程系统中的系统同构性。既然它们都被叫做工程系统，那么，在其任何两个具体工程系统之间，就必然存在着某种程度的系统同构性。并且，研究表明：在所有具体工程系统间至少表现出如下5个方面的系统同构性：

1) 成分同构 它们都由8个类属相同的要素组成。

2) 结构同构 它们都可分解为6个类属相同或相似的子系统。

3) 过程同构 它们都经历相同或相似的演化过程。

4) 活动同构 它们都是由一群人（个人是不多见的例外）合作进行的有目的的活动。

5) 现象同构 在其运动与演化的过程中，它们都表现出相同或相似的有序或无序现象。

上述同构性意味着：可以将所有具体工程系统抽象为一个一般工程系统（当然也可抽象为一棵多层次的工程系统树）。这种一般工程系统只保留着所有工程系统共有的和区别于非工程系统的特征，而不再具有任何具体工程系统所单独具有的个别特征。

有了一般工程系统的概念，就为应用一般系统研究迄今所建立的概念、原理和方法论研究工程问题构筑了一个活动舞台。

4 工程科学体系

像对任何事物/事务规律性的认识一样,人类对于工程的认识也走过了从个别到一般、从一般到个别、再从个别到一般的过程。

最初,人们只是关注于个别工程领域中个别方面的知识(特别是关注特定工程对象的结构和功能方面的知识),后来,人们则越来越多地关注于更多工程领域的更多方面的知识(特别是从仅仅关注于工程对象本身的知识到关注工程过程的知识)。

这种发展之所以必要,来源于在不同工程领域间相互借鉴工程经验的需要;这种发展之所以成为可能,根源于在一切被人们称为“工程”的人类活动的相同领域或相同层次上必然存在着相似或相同的特征和规律。

正是因为经历了这样一个漫长的发展过程,人类积累的工程知识才有可能形成为今天这样一个初步完备的知识体系——工程科学体系。

在这个知识体系中,既有反映同一工程领域乃至同一工程领域的同一工程技术或工程管理方面的相似或相同特征和规律的知识,又有反映较多工程领域相似或相同特征和规律的知识。前者是一些较低层次的具体的技术或管理专业知识,后者则是一些较高层次的具有不同程度系统性的技术或管理专业知识。

这个知识体系的最顶层是反映所有工程共同特征和规律的知识。这种知识不再含有任何具体工程的内容与特征,因此它是站在诸多工程技术知识和工程管理知识之上的一种具有最高系统性质的知识。

工程系统论正是这种具有最高系统性质的知识。因此,在整个工程科学体系中,工程系统论是一门具有“突现”性质的元学科,即能够站在其他工程学科之上足以谈论其他工程学科的学科^[1,2]。或者等价地说,它是任何一项工程要想取得成功都不可能摆脱其指导和约束的学科。

由于工程系统论以一般工程系统为其研究对象,因此迄今它所得到的概念、原理、方法和一般工程系统范式适用于所有工程系统,并且应该成为所有工程组织的基本理论基础,特别是应该成为那些在工程组织体系中居于支配地位的工程管理组织、工程技术总体组织及其组成人员的基本理论基础。

当然,工程系统论是整个工程科学发展到一定阶段的产物,还是一门崭新的工程学科。但是,既然工程科学的发展推出了工程系统论,那么,工程科学的继续发展,必将使工程系统论、同时也使整个工程科学体系本身完善和成熟起来。

参考文献

- [1] 王连成. 工程系统论——一门工程元学科[J]. 系统工程与电子技术, 1997, 19(7): 38~42
- [2] Wang Liancheng. Engineering system theory——a new engineering meta-discipline [J]. Journal of System Engineering and Electronics, 1999, 10(1): 1~3
- [3] 王连成. 总体部的历史经验与工程系统论[N]. 中国航天报, 1998-09-30(3)
- [4] Checkland P B. Systems Thinking, Systems Practice [M]. John Wiley & Son, Chichester, 1981
- [5] Bertalanffy L V. General System Theory [M]. George Braziller, New York, 1968

Engineering, Engineering System, Engineering System Theory, and System of Engineering Science

Wang Liancheng

(Second Academy of Astronautics Mech. & Elec. Group, Beijing 100854, China)

[Abstract] Based on analysis of basic contents, nature and feature of engineering, this paper introduces concepts of engineering system and engineering system theory, then discusses objects of study and research methods of engineering system theory using thinking of general system theory. Finally, it expounds meta-discipline standing of engineering system theory in system of engineering science.

[Key words] engineering; system; system theory; discipline