

工程与工程演化

殷瑞钰

2011.7.9 北京

主要内容:

第一节 关于工程

第二节 关于演化

第三节 工程演化

工程活动是人类依靠自然、适应自然、认识自然和适度改变自然，构建美好家园、不断提高生活的实践活动。在人类的发展史中，工程一直是直接生产力。因此，工程发展史就是直接生产力发展的历史，工程演化论就是关于生产力演化的理论。

第一节 关于工程

工程是人类有组织、有计划利用各种资源和相关要素创造和构建人工实在的实践活动。

1.1 工程的本质和工程活动的标志

工程的本质可以被理解为利用各种资源与相关基本经济要素，构建一个新的存在物的集成过程、集成方式和集成模式的统一。

这可以从三个方面解析：第一，工程是各种要素的集成方式，这种集成方式是与科学相区别、与技术相区别的一个本质特点。第二，工程所集成的要素是包括了技术要素和非技术要素（主要是基本经济要素）的统一体，这两类要素是相互作用的，其中技术要素构成了工程的基本内涵，非技术要素也是工程的重要内涵。两类要素之间是相互关联、相互制约、相互促进的（图1）。第三，工程的进步既取决于基本内涵所表达的科学、技术要素本身的状况和性质，也取决于非技术要素所表达的一定历史时期社会、经济、文化、政治等因素的状况。

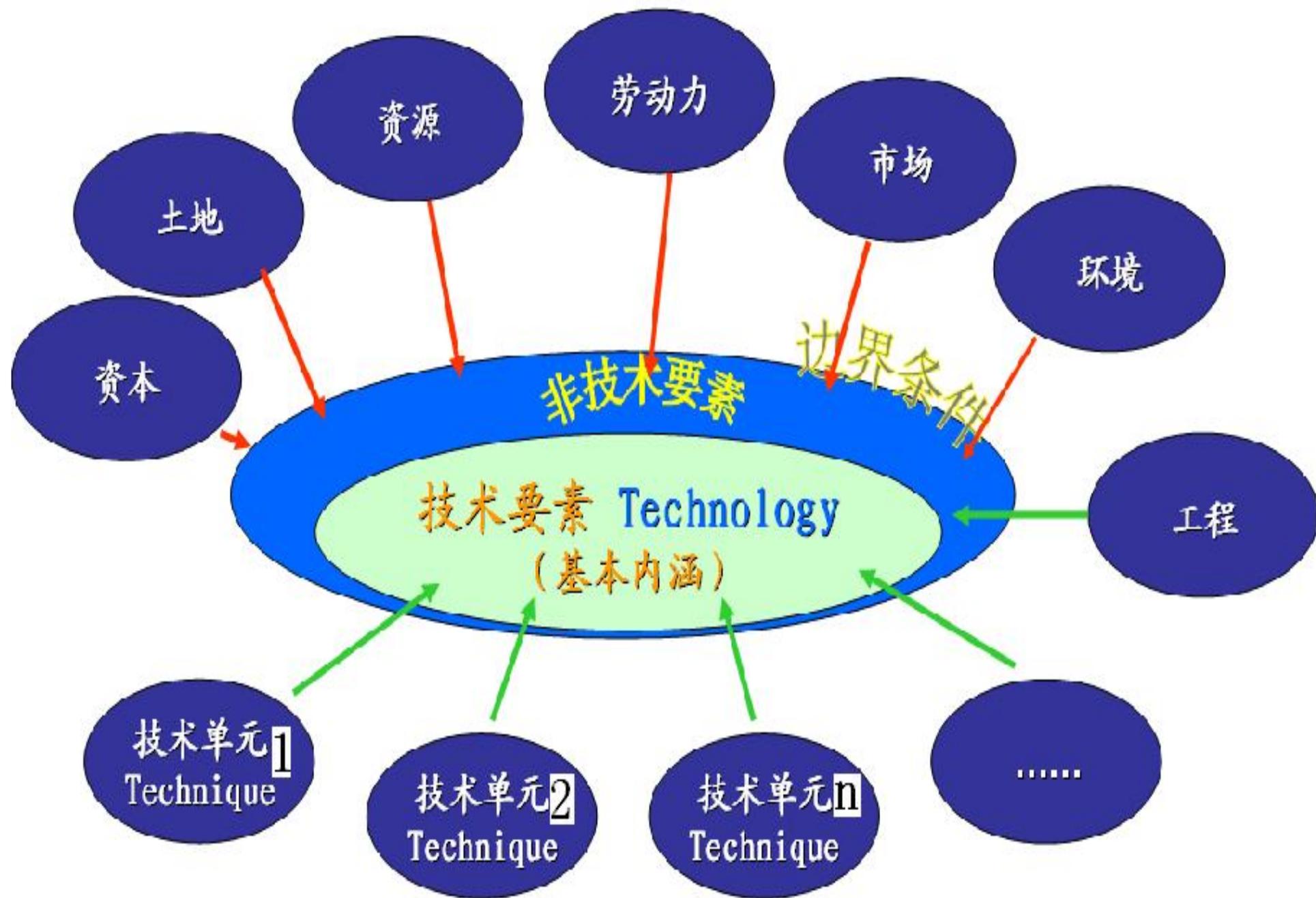
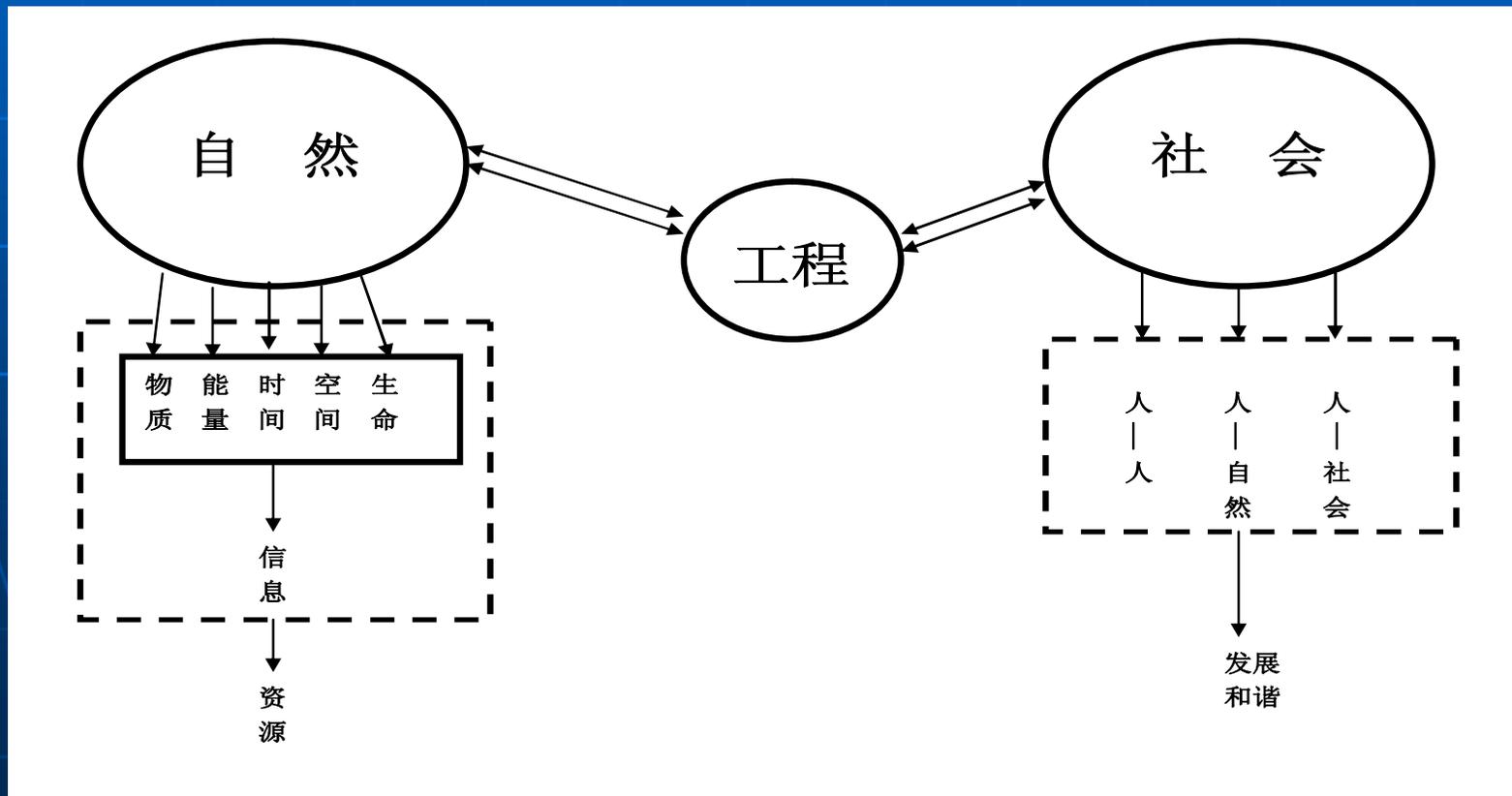


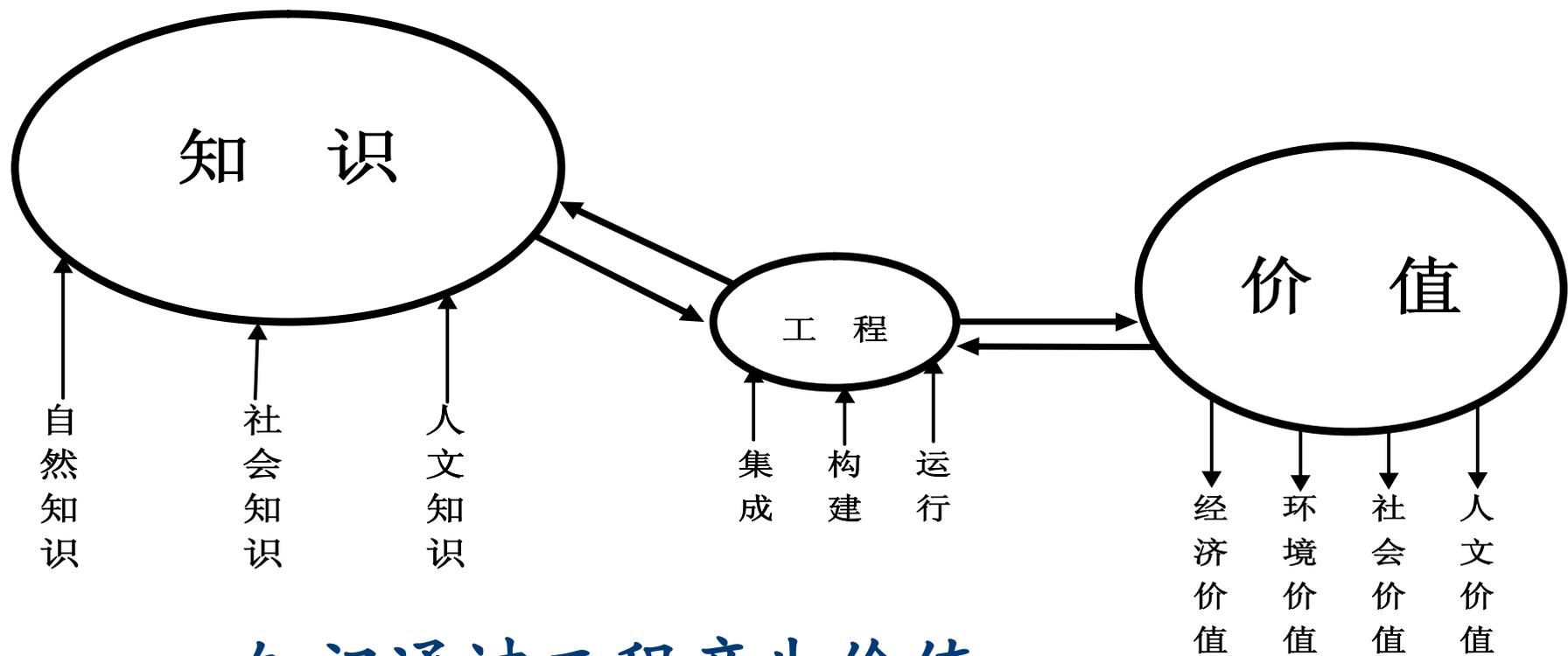
图1 工程活动的要素及其系统的构成

社会、经济发展不能脱离物质性的工程活动。工程活动有两端，一端是自然（包括资源等）与知识，另一端是市场与社会。工程立足自然，运用各类知识，实现市场价值（经济效益）和社会价值（和谐发展、可持续发展）。



工程与自然、社会的关系

工程是直接生产力，而且是各类相关技术的动态集成系统。科学发现、技术创新一般都要通过工程这一动态集成系统，才能转化为直接生产力，进而通过市场、通过社会体现其价值（包括增值、就业、利润、社会服务、文明进步、环境友好等）。



知识通过工程产生价值

1.2 工程的基本特征

工程活动体现着自然界与人工界要素配置上的综合集成和与之相关的决策、设计、构建、运行、管理等过程。工程活动特别是工程理念体现着价值取向。工程的特征是工程集成系统动态运行过程的功能体现与价值体现的统一。

工程是经过对相关技术进行选择、整合、协同而集成为相关技术模块群，并通过与相关基本经济要素的优化配置而构建起来的有结构、有功能、有效率地体现价值取向的工程系统、工程集成体。工程功能的体现应包括适用性、效率性、可靠性、安全性、环保性等价值。工程体现了相关技术的动态集成运行系统，技术（特别是先进技术）往往是工程的基本要素。

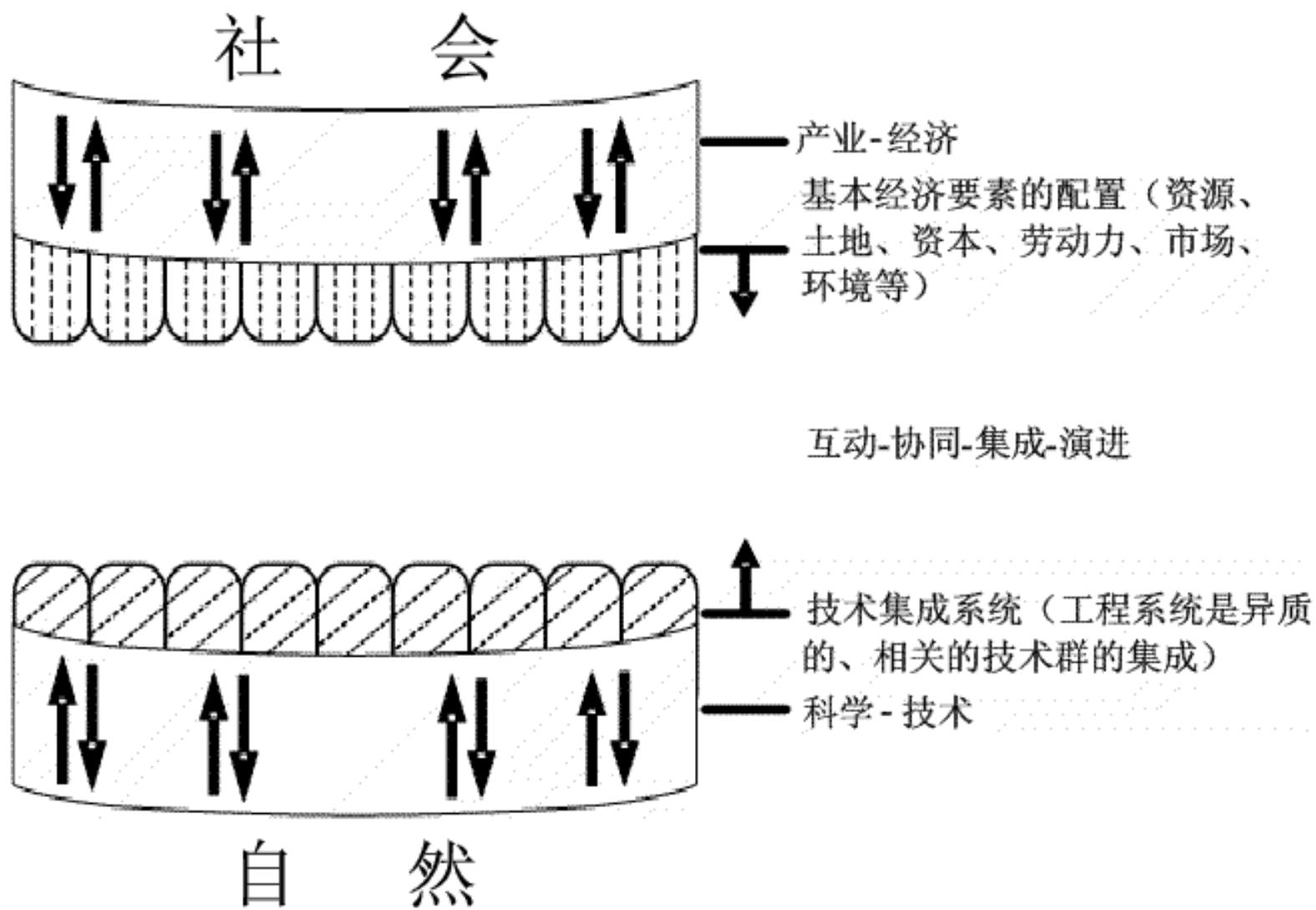
技术的本质可以理解为对客观事物运动机理的理解和经过巧妙构思的再加工，从而获得的“工具性”手段，并实现与价值目标的统一。技术的性质包括了创造性、创新性、发明性、诀窍性、有效性、稳定性等。技术和工程都不是唯真理导向的，两者都存在着权衡、选择、构建、运行、演化等出自价值目标的导向。现代技术、现代工程需要基础科学、技术科学和工程科学的支撑和导向。

科学的本质则可以理解为对各类事物及其运动的本质、构成、运动规律的探索、发现并追求和真理的统一，科学不一定是唯价值导向的。

工程与技术科学是既相区别又紧密相关的，不同历史条件下工程-技术-科学之间的关系是演变着的。在现代，科学（特别是“工程科学”）对工程的推动是重要的，其推动的机制和作用也有一个历史发展的过程.....。

1.3 对“工程”模型思考

工程是在特定自然和社会条件下，相关技术模块群和诸多基本经济要素组合-集成在一起的系统。其中，技术集成系统体现着相关的、但又功能不同的异质技术群（不同的技术模块）通过动态-有序的集成过程所形成的特定结构及其动态运行的特征；而且，这一特定的技术集成系统必须要与特定的自然、社会条件下诸多经济基本要素（例如资源、土地、资本、劳动力、市场、环境等.....），互相协同作用，并通过设计、构建和运行，形成工程系统并产生特定的、预期的功能和价值。



工程的内涵及其要素与集成

从上图可以看出：工程是以一系列相关的但又功能不同的技术模块集成起来的，技术模块及其动态-有序的集成系统对工程起着基本要素的作用；然而，技术集成系统必须和基本经济要素合理地配置在一起，并通过互动-协同-集成-演进等过程才能形成功能，产生价值，进而对自然、对经济、对社会产生正面影响或是负面影响。

在“工程”的模型构建的过程中，其逻辑程序应包括：确立正确的工程理念-建立符合时代需要集成理论与方法（集成优化和演变创新）-设计与构建（结构-效率-功能的获得并优化）-动态运行与管理（多目标的优化选择与权衡）-开展生命周期评估-深化工程对自然-社会环境的适应性与演变性的认识（拓展正面影响，避免负面影响）。

现代工程的理念，应体现自然-人-社会之间和谐发展，包括自然-工程-社会之间可持续发展。

工程与工程演化体现着：

——价值与战略的取向；

——具体发展路径的选择与取舍；

——对自然-社会-人文系统的适应性、选择性和进化性。

1.4 工程中的技术要素

从工程的构成模型中，可以看到工程与技术的区别和相互之间的复杂关系，因而有必要对工程中的技术要素进一步讨论。

1) 技术是工程的基本要素

工程和技术密切相关。技术是工程活动的专业组成要素（基本内涵），若干技术的系统集成便构成了工程的基本形态。工程是集成建构新的存在物的活动或结果，是不同形态的技术的系统集成，是核心专业技术和相关支撑技术的有序集成。技术一般存在于一定的物化过程或者工程构建、运行过程中。

2)工程是相关技术模块群的优化集成

构成某一工程的诸多技术模块之间有核心专业技术和相关支撑技术之分。工程作为技术模块群的集成体具有以下特征：

第一，集成统一性。工程是诸多技术模块及其相互关联中产生的整体，因此，不管在相对于工程存在的环境还是相对于技术模块群关联的系统，工程都以统一体出现。

第二，协同性、功能性。世界上没有“无”技术的工程，也没有“只有一项”技术的工程，工程至少是由两个或两个以上的技术模块整合而成，不同技术模块之间具有相互协同关系并形成一定的结构形式，在运行过程中体现其协同性、功能性。

第三，相对的结构稳定性。工程是相关的、异质的技术模块群的有序、有效集成，工程不是几个技术模块的简单加合，而是有相对稳定的结构的，工程的结构及其整体运行功能在一定条件下必须具有相对稳定性。

工程是对诸多相关的、异质的技术的优化集成。对工程而言，技术是基本内涵，十分重要，但是，工程活动不能理解为单纯的技术活动，而是技术与社会、经济、文化、政治及环境等因素综合集成的产物，它体现着自然科学知识、社会科学知识以及人文学科知识综合集成和建构的过程和活动。

1.5 工程与产业

现代化的产业形态是建立在各类专业技术、各类工程系统基础上的各种行业性的专业生产系统或社会服务系统。工程与产业的关系是既相区别又相联系。

产业可以理解为同类工程、相关工程及其市场领域的集合。工程则是产业系统的组成单元或基础。

工程是产业发展的基础

在当今世界，工程活动已经成为现代社会生产实践活动乃至生活过程的主要形式。现代工程活动具有大规模、巨系统、中长期、高投入、高科技含量的特点（例如大型工、矿企业，交通运输系统，通讯、信息系统等），往往会对自然生态环境和社会生活方式产生重大影响，工程活动已经成为国民经济发展和社会文明发展的基本内容，同时，工程也构成了产业发展的基础和组成单元。

国民经济中的产业活动大多表现为工程建造与工程运行的过程和结果。某种类型的工程建造和运行形式表现为相应的产业形态，甚至还可以培育并发展为某种新型的产业。产业的特征往往以工程活动的内涵为表征（例如冶金工业、化学工业、机械工业、石油工业、纺织工业、交通运输业等），通常包含了产业工程设计、制造活动、运行活动、服务活动、市场活动等在内的、系统的生产和服务活动。

工程活动作为一种产业活动是国民经济的基本架构。工程活动的质量、水平和规模、效率表征着产业发展的程度和竞争能力。

工程活动作为产业发展的基础，它不仅支撑着产业生存、发展，还进一步推动着经济结构的升级换代，深刻地影响着人类生活的各个方面，塑造了现代文明的基本特征。

第二节 关于演化

2.1 演化的概念和定义

存在与演化是不可分割的。演化论认为自然界“不是既成事物的集合体，而是过程的集合体。”演化是不能脱离过程的。实际上，演化就意味着过程。演化过程不仅涉及物质、能量、生命以及相应的信息，还关联到时间-空间等因素；进一步讲，过程是有边界条件的。在边界条件（外界环境）发生变化并达到一定临界状态后，演化过程将加速、减慢或停止。因此，演化必然与环境有关。

一般而言，当边界条件（外部环境条件）相对稳定时，演化过程的形式大多是渐进式的，而在边界条件（外部环境条件）发生变化而且达到某一临界值时，演化过程的形式有可能是突变或跨越式的。

对演化概念的理解是基于运动、要素、过程、系统、边界条件、功能、效果以及理念等关键词。演化的定义可以理解为从一种存在形态向另一种存在形态的转化过程。演化是一种活动过程，演化源于万物诸事都有运动的本性，运动必然是过程，运动必然联系到一些要素（或是基本参数），特别是时间-空间参数。

在一定环境条件的促进/制约下，事物（系统）运动的过程中将各种相关要素以新的方式集成（集合）起来，构成另一种有序、有效的系统（事物），而新的有序、有效的系统，具有特定的结构、性质并发挥特定的功能，产生特定的效果。由于功能、效果不同，这些系统（事物）必然要面对人工选择或是自然选择，从而决定其生存、发展或淘汰、灭绝。

在研究演化的过程中，人们对演化的认识也随之发生演化。对演化概念、内涵、定义等认识在逐步深化、丰富并进行集成、归纳，拓展为不同领域的演化研究。

2.2 演化过程及其特征

从历史的、宏观的角度上看，事物的演化过程具有连续性和不可穷尽性。各类事物演化过程始终在不断进行着，而且将不断地延展出去，具有总体的宏观连续性。这也可以认为是“发展原则”。

正如恩格斯在谈到历史的发展时指出的：“我宁愿把历史比作信手画成的螺线，它的弯曲绝不是很精确的。历史从看不见的一点徐徐开始自己的行程，环绕着这一点缓慢地盘旋移动”。他还指出：“自然界不是循着一个永远一样的不断重复的圆圈运动，而是经历着实在的历史。”恩格斯在这里指出的：“它的弯曲不是很精确的”，而且“不是循着一个永远一样的不断重复的圆圈运动，”这些观点确切地描述了这种宏观连续性的特点——既有连续性又有转折性，即有时由于外界环境条件的变化而使渐进的、连续的演化过程中出现某种类型的“拐点”。其实也意味着事物在历史的宏观发展（演化）过程中，存在着连续与非连续的统一。

从具体物质的、逻辑的角度上看，演化过程具有连续性和非连续性在特定环境下统一的特征。即事物演化过程既有连续性，例如表现为遗传性、继承性和渐进性；又有非连续性，例如表现为变异性、突变性和跃迁性。这是由于事物发展演化的动力是事物内部的矛盾运动和/或事物（系统）和外部环境条件相互对立矛盾不断地斗争（相互作用、相互影响等），而导致相互转变或向更高形式转变才推动事物（系统）的演化和发展。这可以被认为是“物质统一原则”。

可见，演化过程中连续和非连续是在特定外界环境条件下的统一，即既取决于事物（系统）的内因（自重组），又取决于外因（环境对事物的选择和事物对环境的适应）。在某种意义上看，这也是“发展原则”（竞争、演变）和“物质统一原则”（选择、适应）相结合所产生的结果。

第三节 工程演化

工程作为一个人工系统在其历史发展进程中充满着演化的过程。

3.1 工程演化的历史脉络

人类社会的演进与生产力发展（工程演化的标志）之间有着密切的关系。不同社会历史时期的劳动目的、劳动对象、劳动工具、劳动方式、劳动组织，特别是生产力、生产关系发生了明显的变化、演进，同时也出现了相应的淘汰落后过程。

从人类社会的生产力发展进程——工程演化过程来看，在原始社会、农业社会，由于当时生活、生产的需要，人们主要集中在解决工具问题（例如从石制的工具，到青铜工具，再到铁制工具），实际上是解决初级材料的生产问题，而该时期的动力就是人力和畜力，因此生产方式只能是以农业和手工业为主的小规模生产。

产业革命以蒸汽机的发明为标志，解决了几十马力、几百马力动力源的获得问题，促进了大规模工业生产方式的形成，带动了纺织、机械制造、铁路、造船、钢铁、桥梁、运河开凿、水坝建设、化工、房屋建筑等工程体系的发展……实际上是以动力工程的突破，带动了金属材料、化工材料、建筑材料、矿业资源开发、油气资源开发、交通运输和相关的机械制造等物质性工程和产业的蓬勃发展。

在物质材料、动力能源的工程和技术得到较好地发展的基础上，需要解决信息问题、系统问题就相应突现出来了。电子计算机的发明、发展和广泛应用引起了信息革命，带动了计算机工程、通讯工程、广播电视工程等以及与之相关的新能源工程、新材料工程的发展。进而将进一步导致生物信息、生命工程的蓬勃发展，生物工程、基因工程、新医药工程等新型工程、新兴产业正蕴育着巨大的生产力发展前景。

在人类社会发​​展进程中，物质性工程演化过程经历了由以工具-材料性工程为主要引领的工程推动阶段，到以动力-能源性工程为主要引领的工程系统推动阶段，再到以信息-网络性工程为主要引领的工程系统推动阶段，并又正在进入以生命-智能性工程为主要引领的工程系统推动阶段。

当然，这只是一个工程、产业演化的发展脉络，实际上在每一时期，与物质材料-动力能源-信息-生命等相关的工程之间都是不同程度、不同形式的发展，并且是相互需要、相互促进、相互制约的；例如机械工业、造船工业、铁路运输工业的发展，相应也促进了对钢铁产量的需求和钢材质量的提高，内燃机、汽车、航空等工业的兴起，对石油工业的发展有着强烈的拉动作用……；只不过是在不同历史时期内它们之间相互关系、相互促进、相互制约的程度、方式和引领带动的关系有所不同而已。

3.2 工程演化和技术进步

纵观物质性工程的演化脉络，技术和技术进步是基本要素和重要推动力，技术是物质性工程中绝对不可缺少的要素。对物质性工程而言，没有不需要技术的工程，也没有只有一种技术的工程，工程体现着不同种类技术的集成。任何物质性工程都需要一定的技术手段作为基础性条件，没有技术，工程活动很难迈开步伐。

在讨论工程演化中的技术和技术进步时，应该先对技术的发展过程进行区分（此处不讨论与原始时代相对应的手艺或农耕时代的作坊式技艺，而是指工业革命后对应于工厂规模化生产的技术），大体上可以从技术的形成-发展过程将技术的状态区分为两类，一种是实验室技术或研发中的技术，这种技术一般不太成熟，较难直接“嵌入”到工程系统中去。另一种是工程化了的技术（工程技术），可以直接地、相对顺利地“嵌入”到工程系统中。

可见，在工程活动中直接发挥重要作用的技术是工程技术。然而，实验室技术、研发中的技术往往具有发明、创造性，具有源头性，也是必须重视的，当然还需要经过“工程化”的适应性转化过程，才能在相关的工程系统中发挥作用。因此，对技术进步而言，不仅需要重视实验室技术、研发过程中的技术，而且必须高度重视它们在不同条件下的“工程化”转化，才能在工程活动中使技术具有实用价值，才能真正体现技术进步的活力。

在不同产业（行业）的工程系统中，工程技术以其性质和功能来看，往往可以分为专业技术和相关支撑性技术两类。

在工程演化的历史进程中，不同产业（行业）的工程演化既受到专业技术的渐进性和/或突变性进步的影响，又受到相关支撑性技术的渐进性和/或突变性进步的影响。而且由于不同技术之间也还存在着相互选择、配套整合、互动适应等关系，所以技术进步的方式不仅以单体技术进步的形式出现，而且也有以互动的、网络化集成形式出现。

在工程实践中，某些技术进步有时也会有不确定性，即具有成功与失败两种可能性。这种现象的出现，一方面是由于技术特别是单体技术对工程及其环境的适应性，另一方面是由于工程从价值、目标出发对技术路线和技术进步的选择。可见，单元技术特别是新技术模块要接受工程系统出自价值目标的选择，并通过配套整合-互动-协同-集成进化等机制“嵌入”到工程的系统中，随之出现了不同形式工程的演化现象，这种工程演化可以是渐进性的，也可以是跃迁性的。

在选择技术或新技术的过程中，要高度重视“壁垒”与“陷阱”这一哲学命题。一般地说：“壁垒”是看得见的障碍（例如技术的难度等），“陷阱”则是看不见的危险（例如由于采用了新技术引起全流程、全过程的结构失衡，导致工程系统的效率降低等）。在工程活动选择和采用技术、新技术过程中遇到的“壁垒”和“陷阱”是多种多样、错综复杂的。在工程活动中选择技术特别是新技术为的是克服技术“壁垒”，满足工程目标的要求，但同时也要防止形形色色的“陷阱”。

工程演化与技术进步有着十分紧密的关联，技术进步是工程演化的重要推动力，而反过来工程系统的目标需求（例如市场需求、竞争力需求、可持续发展需求等）也对技术的发明、开发和应用有着强烈的拉动作用、引导或限制作用，因为工程是直接生产力的综合体现，工程直接体现价值、直接关联市场。

3.3 工程演化与集成

工程出自价值目标，通过选择、整合、互动、协同、演化等过程将诸多相关的-异质的技术群集成在一个工程系统中，并进而通过与基本经济要素综合集成在一起，对工程系统展开决策、规划、设计、构建、运行和管理。对工程而言，技术集成是其中一个重要的环节，这往往出现在工程设计和工程系统的动态运行过程中。

应该指出，只是将诸多技术一般性地拼凑、捆扎在一起不能称之为集成，只有当诸多技术经过选择-搭配-整合、互动-协同-优化等机制，使诸多技术相互之间以最合理的结构形式结合在一起，形成一个由适宜的技术模块组成的、相互优势互补的、匹配协同的“有机体”，这样的过程才能成称“集成”。

在工程发展的历史进程中，特别是工程的演化过程中，人们不难看出工程演化也体现着相关的-异质的技术群的集成性演化。

工程的集成性演化不仅应该从其技术集成性的视野上来认识其演化，而且必须从技术集群和基本经济要素在一定社会、自然边界条件下集成优化的视野上来认识其演化。在工程活动中，必然会涉及到人群、物质流、能量流、信息流、资金流以及环境、生态等方面的问题；因此，还必须在工程总体尺度上对技术、市场、同业竞争者、产业（行业）、资本、土地、资源、劳动力、环境、文化以及各个环节中相应的管理等因素进行更为综合的集成优化。也许可以说，工程活动实际上体现着在一定社会、自然条件下对其构成要素的集成性演化的过程。

工程演化（工程创新）与其要素集成（和集成性优化）有着很强的关联性。

3.4 工程演化与时间之矢的不对称性

时间之矢是不可逆的。

经济、社会的历史发展过程鲜明地反映出工程活动的**时间之矢不对称性**。在这一过程中，既可以看到科学技术进步的鲜明印记，又可以看到工程集成系统的进步、进化现象，也可以看到与之相应的淘汰退化现象。总的看来演化过程中展现出产业结构的更替、升级。

——一批先进技术的进化导致一批落后技术的淘汰；

——一批先进企业（工程系统）的新建（进化），导致一批落后企业（落后的工程系统）的淘汰（退化）；

——一批先进产业（工程类型、工程系统）的新生（进化），与此相应一批落后产业的淘汰、消失（退化）。

不仅如此，还可以从工程演化的时间之矢的不对称性中看出这样一种规律：即随着时代的发展和各类知识的进步、涌现，工程演化（进化、淘汰等）的速度、进程将变得越来越快，工程演化的形式也越来越丰富多彩。

谢谢!