第1章 绪 论

这是一个数字化的时代，人们的生活已全然构建在数字之上。云计算、人工智能、虚拟现实、数字孪生、数字原生、元宇宙等不断涌现的新技术，一次次刷新着人类的认知，从根本上改造和重塑着大家的生活方式、消费习惯、生产关系和商业结构，各行各业的数字化变革已成为当今社会新潮流。

1.1 数字化的内涵与特点

数字化至今没有公认的定义，一般可作如下理解：数字化指将信息载体（文字、图片、图像、信号等）以数字编码的形式进行存储、传输、加工、处理和应用的技术途径；数字化本身指信息表示方式与处理方式，但本质上强调的是信息应用的计算机化和自动化；随着数字经济概念的发展，数字化是一切通信技术、信息技术、控制技术的统称。无论何种理解，数字化的重要性不言而喻。

（1）数字化是数字计算机的基础。数字计算机的一切运算和功能全由数字来完成，没有数字化技术，就没有当今的计算机。

（2）数字化是多媒体技术的基础。数字、文字、图像、语言、虚拟现实以及可视世界的各种信息，通过采样定理，都可用0和1来表示。换句话说，这些数字化以后的0和1成为各种信息最基本、最简单的表达。所以，计算机不仅可以计算，还可以发出声音、打电话、发传真、放录像、看电影，建造虚拟的房子，描绘形形色色的大千世界。

（3）数字化是软件技术的基础。系统软件、工具软件、应用软件

等以及数字滤波、编码、加密、解压缩等信号处理技术，都是基于数字化实现的。例如，如果图像的数据量很大，可通过数据压缩技术和相应的应用软件将数据压缩至原来的十分之一甚至几百分之一；如果图像受到干扰时模糊不清，可用滤波技术和相应的应用软件使其变得清晰。

（4）数字化是信息社会的技术基础。数字化技术正引发一场波及甚广的产品革命，诸如数字通信、数字电视、数字广播、数字电影、DVD 等正迅速更新换代，各种家用电器设备、信息处理设备也都在数字化技术的支持下日臻完美。

（5）数字化是智能技术的基础。建立在计算机、多媒体、软件之上的智能技术，都是以数字化为基础的。

数字化离不开大量数字技术的应用，这些数字技术包括物联网、智能传感器、边缘计算等实时数据采集技术，互联网通信、网络安全等安全高效数据传输技术，数据存储、数据清洗等复杂数据运算技术，人工智能、深度学习等大数据分析技术，运营管理、生产工艺等业务相关技术，以及智能控制硬件等反向伺服技术。数字技术包括信息感知、分析、行动、反馈等各个环节，具有以下特点。

（1）全方位感知。感知是分析、行动和反馈的基础。数字技术通过各种装置与技术，包括各种信息传感器、射频识别技术、全球定位系统、红外感应器、激光扫描器等，实时指向任何需要监控、连接、互动的物体或过程，采集有关声的、光的、热的、电的、力的、生化的、位置的各种信息，通过各种可能的网络接入，实现物与物、物与人的泛在连接，实现对物品和过程的智能化感知、识别。

（2）全过程编码。数字技术可以通过对于现实世界经济发展全过程的数字化编码，影响到生产、消费、管理的各种领域。它能促进知识的交流和文化的传承，为技术创新奠定基础，为组织重构带来契机。全过程的数字化编码技术是实施即时决策的支撑数字技术，它使得企业和产业的感知响应周期得以逐步缩减，从过去的数月、数周到现在的数天、数小时、数分钟。未来，数字技术的发展将使更大范围的即时决策成为可能。

（3）全行业穿透。全过程编码可以将过去和未来、此地和彼地、甲人和乙物、一二三产业的信息连通起来，具有全时空的穿透能力。由于其广泛的适用性，数字技术逐渐渗透到每个行业之中。数字技术将过去隐性的、未充分利用的知识显性化、要素化，并以极低的成本推动这些数据要素的积累、交流和扩散，有力地促进了创新活动的广泛开展，成为推动经济发展中全要素生产率提升的重要因素。一些掌握了大量数据要素的信息与通信技术（information and communications technology，ICT）企业直接进入传统领域，推动了跨界的兴起和平台的繁荣，带来了产品和制造工艺的变化。

1.2 数字化阶段

数字化阶段有多种分类方法。从数据要素驱动经济增长的角度，可以把数字化分为三个阶段。

1. 数据要素注入阶段

数字技术将现场采集、后台收集的各种生产、流通、消费、管理等信息进行编码，将企业生产能力、组织知识等要素进行集合。这是数字化的数据要素注入阶段。

（1）编码化、透明化和穿透化。编码化是指信息的编码、收集和应用，是数字化的主线。服务领域的消费互联网、新零售等收集和处理了消费者的信息；工业领域的数字孪生、工业互联网平台、智能制造等收集和处理了生产者的信息。两者都是通过把现实世界进行数字化，再将这些转化后的现实数据在虚拟世界中进行建模运算，进而开展数字化生产设备创新、数字化业务流程创新，以提升经济体系的运行效率。可以说，数据是连接现实世界和数字世界的桥梁，全过程的创新链、产业链、价值链数字化是主线。数字化的实体可以在全球范围内互联，从根本上降低了通信成本，极大地扩展了包括个人、企业、组织和政府等经济主体互操作和数据共享的潜力。这不仅增强了双边和多边的联系，也支持和增强了市场运作的能力。精心设计的数字交互可以快速交换大量结构化信息，使得交易变得扁平，市场变得更大、更明智、更有效、更完整，信息不对称性大幅减少，交易成本大幅降低。数字技术带动经济体系的更多部门实现数字化，大大降低了各部门的专业化壁垒，带来了产业、创新、消费等领域的整合和发展。这种跨领域的沟通能力使得数字技术真正具备了行业间的穿透力。

（2）数字化生态圈形成。数字基础设施的大量建设、数字化设备的大量增加以及数字化专业人才的大幅培育，使数据得以更快地收集和流通，形成了一批突破地理空间限制，以高能级企业为核心的全球化产业圈、以高等级科研机构为核心的全球化创新圈，以及以高容量市场为核心的全球化消费圈。一系列平台正成为数据在经济系统中循环的枢纽，比如，基础研发平台、应用研发平台、研发推广平台正成为创新领域不可缺少的组成部分；产能共享平台与区块链技术进行深度融合，可以提高共享行为的可追溯性，更好地促进制造业协同发展。数字基础设施、数据共享平台等将推动跨圈层统一的数字化生态圈出现。数字化生态圈的形成，将提高数据在经济系统中采集、流通和注入的效率，进一步加强数据的要素属性。

2. 数据聚变扩能阶段

通过大数据的存储、挖掘、计算，形成优化的知识、技术、工艺，带动劳动生产率的提高，这是数据聚变扩能阶段。数字化技术将过去隐性化的、没有充分利用的知识编码为数据，实现显性化和结构化，与已编码化的数据聚合，扩充数据的再配置能力，提升生产率，成为经济增长的新动力。

（1）多部门数字化聚变效应。多部门生产过程数据的系统集成和优化，大大降低了大规模跨部门过程创新的成本，推动过程创新的产能呈现爆发性增长，极大地提升了数字技术开发商、数字技术装备供应商、数字技术与装备用户的市场份额和利润水平。多部门数据集成开发，实现了数据和生产、经营、组织知识等传统生产能力的融合，一方面作为新生产要素投入生产，直接促进经济的增长；另一方面通过生产率提升，引发劳动力、资本在企业间、行业间的动态配置，间接地促进经济增长。

（2）数字技术成果的转化和扩能。经济发展离不开创新成果的转化和扩能。数字化后，一方面，大企业和小企业形成长期交易关系，小企业存续时间延长，创新动力更强，成果更加丰富。另一方面，小企业进入大企业的生产网络后，由于技术能力的积累和与大企业的绑定，技术水平提高更加迅速，逐步与大企业生产率趋同。可见，数字化不只是促成了企业个体的生存和成长，更大大促进了全产业链的创新，提高了整体生产网络的效率；各行各业数据的汇集和注入，大大活跃了融合创新活动，催生了大量新业态、新模式、新增长点；众多产业逐步呈现跨界发展的态势，形成了部分初具规模、未来市场潜力大的跨界产业，如能源互联网、互联网金融、车联网、生物芯片等（图 1-1）。这些新产业的诞生是数字化扩能作用的另一体现。

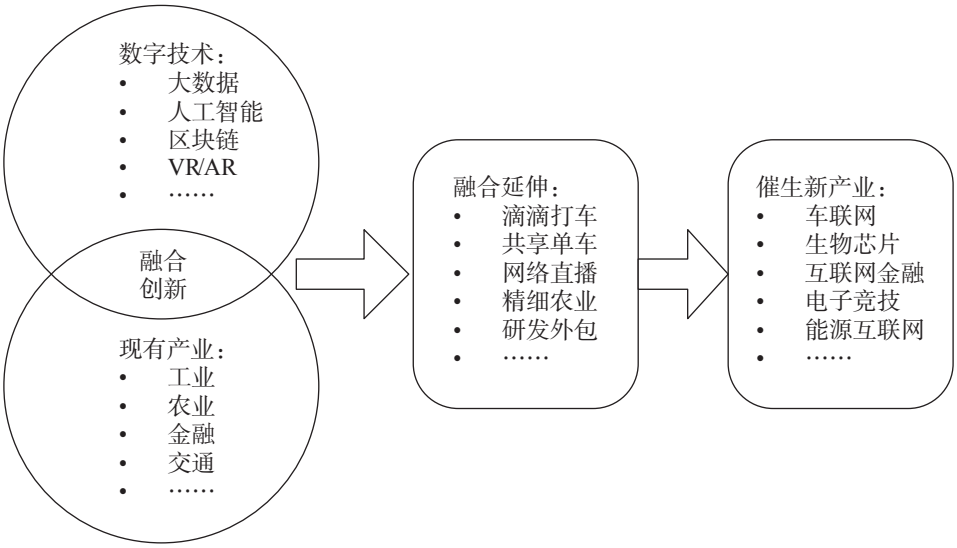

图 1-1　数字技术融合创新 / 延伸

3. 数字化增长阶段

数据要素在新的生产率水平上进一步转化，通过聚变扩能，形成更优化的知识、技术和工艺，这个过程循环往复，数字技术的通用性不断加强，数字技术全社会共享程度越来越高。率先实现数字技术装备化的企业，由于获取了明显的市场竞争优势，在通过市场竞争和产业集中度的变化后，数字技术的垄断维持时间缩短，经济体系的竞争性大

大增强，社会福利水平大大提高，经济发展总体上实现了数字化转型。

数字化带来持续的技术进步和交易成本降低，导致资产专用性、合同不完备性发生改变，企业生产网络组织实现半内部化，产业以更高水平实现稳态增长。从供给侧来看，数字经济推动着供给体系实现优质、高效、多样化，推动着创新体系实现网络化、开放化、协同化，推动着生产方式实现模块化、柔性化、社会化。从需求侧来看，数字经济能够通过改变市场投资方向、推动消费升级、培育出口优势扩大新动能。

数字化对经济实现更高水平稳态增长有重要作用。数字技术成为经济的主要增长动力。随着数字技术的深度应用，过去一度处于技术停滞状态的行业在未来也会迎来新的技术进步的机会；替代劳动力的技术进步可以产生永久性的影响。机器学习、移动机器人和人工智能等数字技术在不久的将来无疑会提供可增长的替代劳动技术。

1.3 数字化任务

本节从产品生命周期和数字技术两个视角阐述数字化的任务。

1. 产品生命周期视角

数字化贯穿产品全生命周期，包括产品设计、运营以及增值服务、交付等环节，主要有以下四个要素，每个要素都担负着数字化的任务。

（1）产品。产品数字化体现在功能和形式的设计能否密切贴合用户的需要，因此需满足丰富的个性化需求，并且考虑通过增值服务以实现最大收益。

（2）运营。运营优化的目的是提升各行各业的决策效率，实现末端快速反馈，提升用户体验并合理降低运营成本。由于各行各业之间的竞争呈现出从技术、产品等单方面竞争向平台化生态系统竞争转变的趋势，因此各行各业需要关注构建资源聚集、合作共赢的生态系统。

（3）用户。各行各业数字化，首先可以考虑扩大业务流程对用户的开放，借助互联网的连接，让用户更多地参与到产品或服务的优化和推广中。数字化实现了用户和各行各业的直接对接，用户对产品或服务的体验和建议可以快速反馈，使产品优化改进的节奏加快。

（4）人员。作为数字化的主体，人员也需要相应赋能。人员的数字化素养将极大影响变革的进程，也将成为各行各业的核心竞争力之一。人员的赋能并不仅仅针对各行各业员工本身，还包括各行各业所构建的生态系统中的相关人员。

2. 数字技术视角

数字化所涉及的内容涵盖了从业务战略到关键基础设施的所有层次，其中每一个层次都担负了数字化工作开展的不同任务。

（1）业务战略。作为数字化的起点，各行各业的管理者需要依据数字经济的发展

契机思考并明确业务的战略。这将涉及制定各行各业经营理念、经营策略和产品策略，以及明确数字化生态系统的构建策略。管理层也需要完成数字化领导力转型，更新各行各业的决策模式，使数据成为决策的关键因素。

（2）业务流程。业务流程将以价值流为基础进行优化，在保证最大用户价值的同时，提升流程的执行效率并合理控制各行各业的经营成本。数字化时代的一个趋势便是业务流程开放。一方面，向上下游合作伙伴开放，构建支持共享、创新的生态系统平台；另一方面，向用户开放，让用户更多地参与到业务流程的执行中，这不仅有助于提升用户体验也有助于用户意见的快速反馈。

（3）数据。数据的重要性体现在数据对于整个业务战略和业务流程的支撑作用。各行各业需要制定一个基于价值的数据治理计划，以确保其在经营过程中能方便、安全、快速、可靠地利用数据进行决策支持和业务运行。故此，或借助大数据和人工智能等技术，构建组织的数据应用能力，充分挖掘数据的价值；或利用区块链技术的特点，让数据在数字生态系统中安全可靠地流转，实现不可篡改的产品溯源、机构间结算等。

（4）应用。应用程序是业务流程的执行载体，也是数据加工的工厂。各行各业既可以在云计算平台开发满足高并发、大规模运算的分布式应用程序，也可以基于区块链开发去中心化应用程序。

（5）基础架构。各行各业需要发挥云计算的优势，构建整合计算、网络、存储等硬件的统一资源池，打造涵盖数据库、应用软件开发工具包、中间件、消息队列、网络文件等系统组建的平台和应用程序的调用接口。其数字化基础架构也要合理规划与社会数字基础设施的对接，从而构建灵活、可靠的基础架构平台。

（6）关键基础设施。各行各业数据中心建设更多关注如何利用新兴的技术和理念，实现关键信息基础设施的绿色运营。为了实现基础设施的稳定运营，需不断提高数据中心资源使用效率。

1.4 数字化工程

工程可理解为人类在生存和发展过程中，为实现特定的目的，运用科学和技术，有组织地利用资源所进行的造物或改变事物形状的集成性活动。基于此，数字化工程可以理解为各行各业、各个领域数字化的实现形式。如果把数字化工程中的“化”字作为名词，此时数字化工程是指数字化的生产、服务、城市与社会治理的工程运作体系，如智慧农场工程运作体系、工业互联网工程运作体系、智慧城市工程运作体系、智慧交通工程运作体系等。如果把“化”字作为动词，数字化工程则是指数字化工程的建设、改造以及与其相关的流程再造、模式创新、管理体制变革、运作机制创新等。

数字化工程是各个领域数字化变革的实现载体，数字化任务实现的快慢、优劣由数

字化工程的实践质量决定。经过多年的发展，尤其是近十年移动互联网的飞速发展，数字化已进入大规模工程化时代。数字化工程具有以下比较特征。

1. 与计算机工程、软件工程、网络工程、自动化工程的比较

数字化工程与计算机工程、软件工程、网络工程等同属信息工程范畴，它们在目的、对象、考核评价、团队素养等方面存在以下几点不同。

（1）在目的方面。计算机工程与软件工程是为了实现自身的信息化或某一具体单项应用的知识化，网络工程是为了建设通信网络基础设施。数字化工程则是为了跨界融合应用的数字化，包括不同行业应用的全过程、全链条的数字化。数字化工程要“化”的是不同行业的生产、服务与工程的作业方式，而不在于某一个环节或链条的自动化应用。跨行业、跨界融合应用，既是数字化工程区别于其他信息工程的特点，又是数字化工程的目的。简而言之，数字化工程的目的，是实现各行各业生产、服务、工程作业方式与管理的数字化。

（2）在应用对象方面。计算机工程以计算机为应用对象，以计算机的联网为使用条件。软件工程是以某一生产与服务环节的知识化应用以及以某一个环节的流程、知识或工艺算法模式成功开发为对象。网络工程是以公共通信的实现为对象。数字化工程则是计算机工程、软件工程、网络工程等集成为一体的更复杂的系统工程，它以行业知识、技术为支撑，以打通数据链的物联及互联体系为载体，以实现大数据应用为目标，以物联网与互联网平台为应用条件，是可以基于人工智能实现超级应用的。数字化工程的应用端或客户端是物联网体系，如无人超市、物联网农场、物联网工厂、智能家居、智能楼宇等。

（3）在工程建设与运营的评价考核方面。信息工程类对工程技术要求相对简单，允许工程存在某些未自动化的环节，只要求能部分解决问题。数字化工程则一般有如下要求：要求全面实现数字化生产、管理与服务；要求工程投资合理，有更好的性价比；要求工程标准化，有规范的建设与施工操作规程，能复制；要求系统解决问题，创造更多更好的价值。

（4）在工程团队科技素养的要求方面。相比于信息工程，在进行数字化工程的建设或改造时，要求工程团队具有整体或系统解决问题的顶层规划与设计能力、软硬件一体化的开发与整体的集成能力、跨界融合的创新能力、物联网应用端与云平台的设计与施工能力、多个应用系统与复杂智能体系的施工组织与工程管理协同能力。

可见，数字化工程虽源于计算机工程、软件工程、网络工程，但数字化工程尤具综合集成性以及跨界跨行业融合的特性。

2. 与建筑、水利、交通、环保工程的比较

建筑、水利、交通、环保等硬化工程与数字化工程都是人类社会改造自然、改造客观世界的工程。硬化工程有传统硬化工程模式与新型软硬相结合工程模式。传统硬化

工程模式是哑、聋、傻工程模式，新型软硬相结合的工程模式则是以“专项工程＋数字化”为基础的新型工程模式，它是一种可感知、可表达、有智能的工程模式。数字化工程与硬化工程既有联系又有区别。其共同之处是，它们都同样要求有工程与工程管理方法理论或科学来指导，指导其工程的方法和理论也有相通与可相互借鉴的内容、规则与要求，比如它们都追求工程方案的经济合理性、工程进度的协同性、工程质量的安全可靠性、工程组织管理的严密性与科学性。其不同之处主要表现如下。

（1）工程的目的和要求并不完全相同。水利工程的目的和要求是防范水患、水灾、水难，化水患为水利，造福人民；建筑工程的目的和要求是让城乡居住有其屋，生产有其房，使用有水电气的保障；交通工程的目的和要求是保证货畅其流、客行方便、出行安全；环保工程的目的和要求是保护、保持、修复生态，确保山清水秀、空气清新、人民健康的生活生产环境。而数字化工程的目的和要求，首当其冲则是让上述传统硬化工程向数字化工程转型，成为“软硬相结合的工程”，从而节约工程消耗、提升工程质量、提高工程运行效率，能对工程进行数字化的预测与主动性的维护，保障工程更高效、更节约、更安全地运行。因此，数字化工程有更宽广的领域、更为宏大的目标，能更精准地开发、利用、保护资源与环境，是对各种自然资源、环境资源、科学技术与知识、经济要素、社会资源、人力资源的更节约、更精准和更可持续的利用。

（2）工程的内容对象、技术标准、质量要求、验收评价的方法不完全相同。相对于各项传统硬化工程而言，数字化工程属于跨界融合工程，它把传统硬化工程作为数字化的对象，要求既要懂得传统硬化工程的知识，还要懂得数字化及工程的知识；既要懂得传统硬化工程的设计、咨询、决策、施工建设、施工组织、安全生产的知识与经验，还要懂得数字化工程与传统硬化工程一体化融合的知识。从技术标准等要求来看，数字化工程要求将技术标准、施工安装的操作规程、工程质量验收评价体系、工程运行与绩效评价等方面进行融合性创新或集成性创新，而不可再简单地沿用传统硬化工程的技术标准与技术规范。从数字化工程的应用范围来看，既包括所有传统硬化工程的领域，又开辟了工程类生产与服务的新领域、新模式与新境界，如智能家居工程、智慧楼宇工程、电梯安防工程、智慧水务工程、智慧医疗与健康服务工程、智慧社会治理工程等，它覆盖了各行各业、各领域。

综上所述，数字化工程有其自身清晰的发展目标，它以跨界融合为标志、以系统解决问题为基本要求，具有自己的内在规律与特点。

1.5　数字化工程管理

数字化工程管理，顾名思义，数字化可理解为解决数字化转型的现实矛盾（业务＋数字技术），工程是指服务于上述目标的工程性措施，管理则是对数字化转型问题进行

的工程性措施运用管理学方式和技术进行协调、控制等管理活动，三者关系见图 1-2。

为什么需要数字化工程管理呢？数字化工程管理的价值具体体现在哪些方面？总结起来就是一句话，数字化工程管理能够让数字化工程现状更可靠，目标更可达，过程更可行。数字化工程管理可帮助工程负责人科学地管理工程现状、目标和过程，持续提升服务、技术、团队能力（见图 1-3）。服务包括支撑业务需求、提升业务效率、扩充业务范围和创造新业务四个阶段，技术包括创新、专利、文章、开源、组件、技术平台、代码、性能、稳定性和准确性等，团队则包括执行力、规划、组织、创新、编码能力、架构能力等。

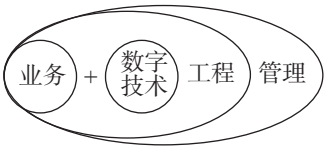

图 1-2 数字化工程管理

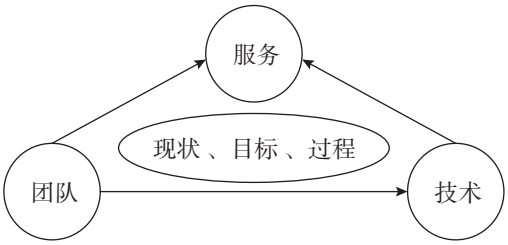

图 1-3 数字化工程管理的价值体现

从与业务关系的角度分析，可把数字化工程分为支撑业务阶段、促进业务阶段、驱动业务阶段和成为业务阶段四个阶段，每个阶段都有不同的侧重和要求，每个阶段在服务、技术、团队三个部分所关注的重点也有所不同（见表 1-1）。每个公司都想演进到第四阶段，但是否有必要演进到第四阶段就需要慎重了，因为还受到公司的具体情况、各行业的发展状况和团队的综合素质等各方面因素的制约，而且演进过程是一个螺旋式上升的过程，不可能一蹴而就。

表 1-1 数字化工程管理的工作内容

阶　段	服　务	技　术	团　队
支撑业务	完成需求	代码，快速实现	编码能力，执行
促进业务	提升业务效率	性能、稳定性、组件、工具、平台	架构能力，组织与管理
驱动业务	扩充业务	创新，专利	前瞻性，创新
成为业务	创造	创造	创造

1.6 数字化工程管理人才需求

在全球数字经济进入加速创新和深度融合的时代背景下，中国经济的数字化转型迈入了从需求端向供给端扩展的新阶段，发展重心从消费领域向生产领域转移，与消费领域数字化转型主要依靠海量互联网用户的人口红利相比，生产领域的数字化转型将更加依赖人才红利。随着中国经济数字化转型的不断深入，对拥有专业数字技能人才的需求

正在急剧增长，数字人才日益成为我国创新驱动发展、企业转型升级的核心竞争力。在这样的背景下，中国数字化正面临来自人才短缺的巨大挑战。

1. 从国家层面来看

从国家根本利益出发考虑，必然需要一支掌握计算机基础理论和核心技术的创新研究型队伍，需要高校大力培养数字技术研究型人才。目前，国家数字化进程已经渗透到各行各业，大部分 IT 企业都把满足国家数字化的需求作为本企业产品的主要发展方向，这些用人单位需要大批数字化工程型人才。目前高校在研究型和工程型人才培养方面，已有一定的基础，而针对从事数字化工程管理类型工作人才的培养则几乎处于空白阶段。

2. 从劳动力市场来看

具备数字技术与行业经验的顶尖数字技能的人才供不应求，初级数字技能人才的培养跟不上需求的增长，这些问题给企业的数字化工程带来了很大的挑战。数字技能人才的短缺将严重影响企业向数字化转型，阻碍实体经济的数字化转型进程。据 2020 年新基建产业人才发展报告显示，具有管理能力的技术人员最具市场价值，如 IT 技术 / 研发总监、管理类、架构类等；人工智能技术岗位热度较高，如数据、算法相关的音频、图形开发等；产品类职位愈发受到重视，如产品实现、用户体验相关的互联网产品 / 增值产品开发经理等；数据库、算法工程师等岗位需求旺盛，如数据库开发工程师、通信研发工程师、算法工程师等岗位。具体见表 1-2。

表 1-2　新基建背景下四大产业招聘需求 TOP10 职业（2020）

排序	大 数 据	人 工 智 能	5G	工业互联网
1	软件工程师	互联网产品经理 / 主管	软件工程师	ERP 实施顾问
2	Java 开发工程师	软件工程师	通信研发工程师	软件工程师
3	IT 技术支持 / 维护工程师	项目经理 / 项目主管	质量管理 / 测试工程师	Java 开发工程师
4	项目经理 / 项目主管	运营主管 / 专员	硬件工程师	Web 前端开发
5	Web 前端开发	Java 开发工程师	通信技术工程师	项目经理 / 项目主管
6	软件测试	算法工程师	项目经理 / 项目主管	高级软件工程师
7	网络与信息安全工程师	Web 前端开发	嵌入式软件开发	ERP 技 术 / 开 发 应 用
8	互联网产品经理 / 主管	IT 技术支持 / 维护工程师	无线 / 射频通信工程师	软件测试
9	高级软件工程师	软件测试	工艺 / 制程工程师	嵌入式软件开发
10	数据库开发工程师	高级软件工程师	需求工程师	IT 技 术 支 持 / 维 护 工程师

3. 从ICT技能来看

经济合作与发展组织（Organization for Economic Co-operation and Development，OECD）将数字经济所需要的ICT技能分为三类：ICT普通技能、ICT专业技能和ICT补充技能。ICT普通技能主要指绝大多数就业者在工作中所使用的基础数字技能，例如使用计算机打字、使用常见的软件、浏览网页查找信息等技能。ICT专业技能主要指开发ICT产品和服务所需要的数字技能，例如编程、网页设计、电子商务、大数据分析和云计算等技能。ICT补充技能主要指利用特定的数字技能或平台辅助解决工作中的一些问题，例如处理复杂信息、与合作者和客户沟通、提供方案等。德国机械设备制造业联合会（Verband Deutscher Maschinen-und Anlagenbau，VDMA）对数字化时代对员工的能力需求进行了研究（见表1-3）。从目前情况来看，表1-3中“应该具备”“可以具备”方面的内容更缺乏。现代意义上的数字化工程管理人才，是ICT专业技能和ICT补充技能的融合，且更倾向于ICT补充技能的价值实现——拥有数据化思维，有能力对多样化的海量数据进行管理和使用，进而在特定领域转化为有价值的信息和知识的跨领域专业型人才。

表1-3 数字化时代员工数字能力需求

技能种类	必须具备	应该具备	可以具备
知识技能	IT知识与能力、数据和信息处理与分析、统计知识、结构性及过程性理解、现代接口技术	知识管理、跨学科/通用知识及组织、制程与工艺专项知识、IT安全与数据保护意识	计算机编程/代码能力、特殊工艺知识、人体工学意识、法律事务的理解
个人能力	自主时间管理、接受并具有改变的能力、团队工作的能力、社交能力、沟通能力	新技术推动力、持续改善与终身学习的思想	

4. 从职能方面来看

职能分类对应于数字产品与服务价值链供应端的战略制定、研发、制造、运营和营销五个基本环节。战略制定环节主要涉及数字化转型的顶层设计，核心职能人员包括数字化转型领导者、数字化商业模型战略引导者、数字化解决方案规划师、数字战略顾问等具有丰富经验的顶尖数字人才；研发环节主要涉及数据的深度分析和数字产品研发两大部分内容，核心职能人员包括商业智能专家、数据科学家、大数据分析师等具有深度分析能力的数字人才和产品经理、软件开发人员、算法工程师等传统产品研发类技术人才；先进制造环节主要涉及数字产品和服务的提供以及硬件设施保障，核心职能人员包括工业4.0实践专家、先进制造工程师、机器人与自动化工程师以及硬件工程师；数字化运营环节主要涉及数字产品与服务的运营、测试质量保证和技术支持，核心职能人员包括运营人员、质量测试/保证专员、技术支持人员等；数字营销/电子商务环节主要涉及数字产品与服务的营销、商务服务等内容，特别借助互联网和社交媒体等新型渠道进

行营销和商务推广，核心职能人员包括营销自动化专家、社交媒体营销专员、电子商务营销人员等。

5. 从能力角度看

数字化工程要求企业发展一系列新的数字化能力。德勤研究发现，数字化工程所需人才技能可以划分为数字化领导力、数字化运营能力、数字化发展潜力三个层次（见图 1-4），表 1-4 给出了数字化人才能力需求描述。

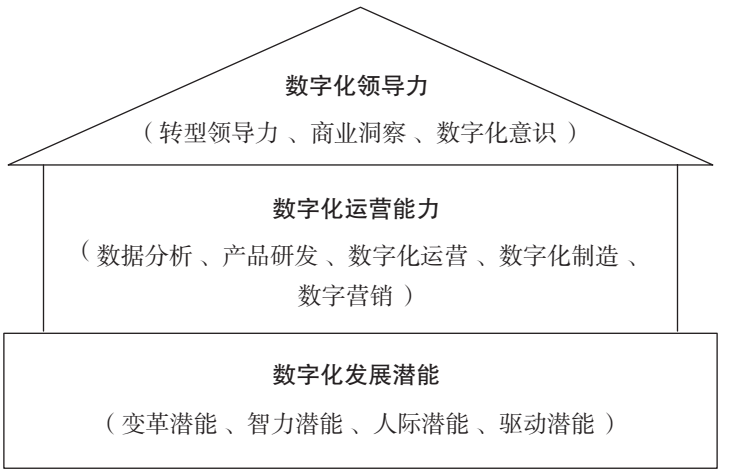

图 1-4　数字化人才所需的能力组合

表 1-4　数字化人才能力需求描述

能力层次	能力类型	能力描述
数字化领导力	转型领导力	领导人们实现转型的能力
	商业洞察能力	商业与数字化结合起来做什么
	数字化意识	数字化能做什么
数字化运营能力	数据分析	BI 研究、数据挖掘、数据分析等
	产品研发	产品设计、项目管理、算法、架构设计、软件 / 系统研发等
	数字化运营	创新运营设计、质量测试、技术支持、流程自动化
	数字化制造	硬件技术、机器人与人工智能技术、先进制造技术
	数字营销	营销自动化、新媒体运营、电子商务、新零售
数字化发展潜能	变革潜能	在有巨大不确定性的情况下领导，在新且不熟悉的情境下交付，对引领变革具有巨大使命感
	智力潜能	快速学习新知识和新技能，愈加的复杂性，长时间尺度，更大的大局远景，解决问题的多样性
	人际潜能	新型和不同类型的关系，形形色色的人，更复杂的人机环境
	驱动潜能	更大的挑战，更高的绩效期望，交付更大范围的结果，更大的工作量

综上所述，数字化工程管理的人才需求，可以概括为以下两点。

（1）产业横向技术的分享人才。数字化工程需要关注客户需求与横向技术。客户需求是指产业对于数字化产品的期望，尤其是前沿领先的企业对系统的性能与功能的需求，这使得数字化产品技术必须适应于数字产业的实际需求；而横向技术重点在于解决如何将信息技术、软件处理、硬件技术相融合，如何让这些技术能够被数字化所应用。例如，将功率电子、编码器、连接器、FPGA 芯片、智能算法等产业链上下游的企业集中在一起，根据具体需求，进行横向技术的交流，为下游企业提供技术与方法的支撑，跨界实现产业的融合。这里的人才需求，不是培养单一技术人才能解决的。

（2）产品技术与运营管理复合型人才。数字化工程的主体是企业，企业也是人才成长的地方。数字化工程面对的是各类客户追求投资回报的各种项目需求，产品设计往往带来千万亿计的营业收入，这与大学里单纯地研究某项技术具有完全不同维度级别的考量，需要工程师们具备全局、综合、系统地把握问题的能力。同时，数字化工程管理人才需要了解产业需求和客户需求、把握技术发展方向，且对商业合作有着更为深入的全局性认知，需要具备在技术、市场、财务、生产运营等多个方面进行数字化运作的能力。

1.7 数字化工程管理人才培养

数字化工程管理人才的综合素质要求高，不但要求相关的硬核技能，如人工智能、算法、互联网等方面的知识和技能，还要储备关于产品、市场的相关知识，如数据分析、产品研发、市场营销等。从各国研究的成果看，目前高等工程教育面临的矛盾有很多，比如人文与科学、通识与专业、理论与实践、基础与前沿、课内与课外、教与学等。高等工程教育实施过程中出现的问题也很严重，很多学生要么不能适应工程学习，要么虽能勉强完成学业却不一定适应设计性、创新性的工作。

知识随着社会的发展而不断丰富，但每个人的学习时间却是有限的，增长的知识量和有限的学习时间之间的矛盾必然存在。老师课上讲的量越来越多，而学生得到的质却越来越少，导致学生学习效果大打折扣。学生要学的理论课程越来越多，实践体验的时间却越来越少，从而导致得到了一些“鱼”，却没能掌握“渔”，阻碍了学生能力的发展。课内负担越来越重，课外活动越来越少，学生没有时间去思考、锻炼、交往，综合素养发展受限。在目前高等工程教育中，尤其是在数字化工程管理人才培养中，这一矛盾体现得尤其明显。对此历年来采取过一些措施，比如分学科（专业）、分层次（本、硕、博），还有延长学制，但是都没有从根本上解决问题。

从学习理论可知，学习是一个知识重建的过程。所谓知识重建是指将现有学习内容建立在学生已有知识基础之上，重视新知识与已有概念的连接和差异，以达到提高教学

效率和改善教学效果的目的。任何一个领域的知识都有其系统和结构，把知识放到一个大的架构下学习，有助于理解和掌握，有益于记忆和应用，可以有效提高学习效率。知识体系是建立在为数不多的核心概念基础之上的，很多知识内容不过是这些核心概念在某种具体条件下的实例；学科知识架构非常重要，运用此方法得到的知识记忆时间长，运用速度快，迁移能力强。应用知识架构时，需要构建知识地图，以便了解知识脉络，建立知识的框架。综上，梳理知识体系和核心概念，构建起学科的整体知识脉络，是首要的任务。

本书提炼了以下概念，并把每个基本概念作为一章进行阐述，试图建立基于比特的囊括技术、工程和管理的数字化基础知识地图。

比特与编码。比特是数字化最基本的概念，比特的属性蕴含了数字化工程的一切矛盾。编码赋予了比特特定的含义，使得比特可以描述万事万物。

运算与存储。阐述比特进行运算和存储的基本原理，以及相应的关键部件和技术，包括比特逻辑运算、逻辑运算的电路实现、门电路的基本逻辑，加法器、存储器以及芯片等相关知识，最后落脚到 IC 这个最大的“卡脖子”技术。

指令与程序。阐述了累加器的实现原理、计算机、指令集、计算机体系架构、计算机指令的处理过程等概念，阐述了机器语言、汇编语言、高级语言之间的关系，比较了几种高级语言特征，并对计算机的 BIOS、操作系统和应用程序进行了说明，分析了软件结构和工程。

通信与交互。主要从比特在计算机之间、人机之间、环境之间的传递交互，阐述了路由过程、计算机网络、现代通信网络、5G 等概念和相关关键技术，阐述了人机交互的发展历程、主要问题、关键技术等。

数据与算法。主要阐述了数据的基本概念，数据库的发展历程和关键技术；算法的基本概念，算法解决的问题，一些典型的需要掌握的算法；讲述了算力的概念，阐述了云计算、边缘计算和物端计算，以及算力网络等概念和问题。

智能与大脑。阐述了智能的基本概念，分析了人类智能、人工智能、互联网类脑智能以及智能伦理等概念和内容。

经济与产业。阐述了技术经济范式、数字经济、数字产业化、产业数字化等核心概念，以及它们之间的联系。

决策与优化。比较了数字化企业与传统企业之间的竞争维度，从商业模式角度给出了决策分析方式，阐述了三个转型阶段以及各个阶段的策略选择。

转型与升级。围绕制造企业展开阐述，包括制造业不确定性、转型趋势、转型方法和转型工具，工业互联网平台，工业软件（工业 App），工业物联网结构和工程等概念

和知识点。

量子比特。主要是从学科的颠覆式突破来定位的。从量子比特的角度，阐明经典比特的未来。比特变了，构筑在比特概念之上的一切都可能被颠覆，蕴含无数机会。

在上述核心概念的基础上，可以形成一系列课程（见图 1-5）。在图 1-5 中，将上述核心概念分为技术 + 管理两个群组，将课程分为四个大的模块。下面是公共通识模块；左边是技术模块，包括技术应用基础和技术理论基础两个子模块；右边是经济管理模块，包括业务基础知识模块和经济管理基础模块两个子模块；上面是开发与应用模块。一般地，技术理论基础模块和经济管理基础模块的课程设置，要能覆盖所有核心概念的学习，比如，可以通过开设“计算机原理”课程来覆盖比特与编码、运算与存储、指令与程序等核心概念，数据与算法可以通过开设《算法理论》和《数据科学》两门课来覆盖，有条件的学校还可以通过开设量子力学、量子通信、量子计算方面的课程来覆盖量子比特这个基本概念。

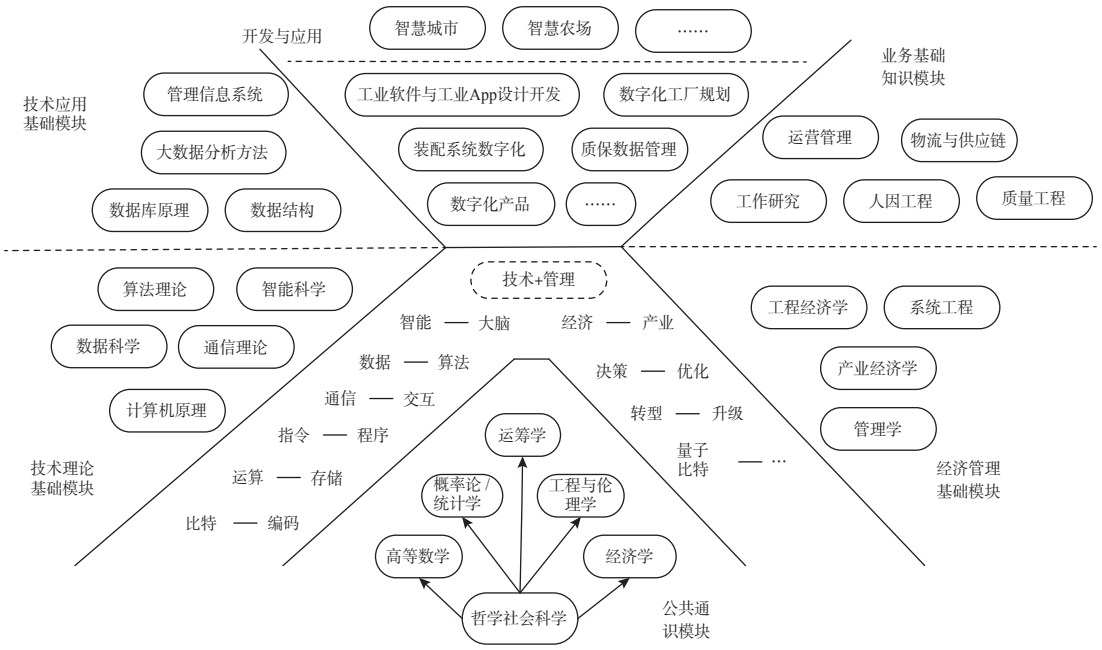

图 1-5　数字化基础概念和课程体系

本章小结

本章系统阐述了数字化的内涵、特点、阶段、任务，比较了数字化工程的特征，指出了数字化工程管理的内容，分析了数字化工程管理的人才需求，并根据目前高等教育面临的基本问题，提炼了关于数字化技术、数字化工程和管理的基本概念。

习题一

1. 如何理解数字化概念？

2. 数字化工程有什么特征？

3. 数字化工程管理的目的是什么？

4. 数字化工程管理人才需要具备哪些技能和素质？

5. 如何理解现代教育面临的不断增长的知识和学习时间有限之间的矛盾？你认为解决这个矛盾的途径有哪些？

6. 如何理解核心概念和知识地图在课程设计中的重要意义？