

走向智能时代的智能科学

我们正在迈入一个崭新的时代，一个由具有高度智慧的“人”和高度智能化的“工具”共同构成的全面智能化的时代，一个“人机共进共存”的智能时代。在这一高度智能化社会的开创和发展的进程中，智慧永远是照亮人类和人类社会进步的灯塔，而经由智能管理、智能教育和智能技术等集结而成的人类智能生产力，永远是人类社会发展的基本推动力和核心。为了迎接这一崭新时代，我们迫切需要有一套与其相匹配的智能科学理论。这既是智能时代的强烈要求，也是智能研究进一步发展的一种必然的趋势。

众所周知，“智能”是高等生物，特别是我们人类所具有的一种“能力”；而富有逻辑性、创造性和主观能动性的“智能”，更是人类所特有的，并被认为是人与其他动物具有本质区别的一个重要标志。无论是作为一个古老的哲学问题，还是作为现代心理科学、生理科学、信息科学、系统科学、工程科学和社会科学等多门学科相互交叉、相互渗透和协同研究的课题，可以说，千百年来，有关智能的话题都一直在深深地吸引着人们探索的目光。尽管有关智能的研究是迄今为止最富挑战性的一项极其艰难的探索性研究工作，但是，它那异常丰富的学科内涵，以及就其研究内容而言迄今罕有与之相匹敌的学科交叉性和复杂性，还有其本身所固有的带有根本性的创新意识以及其广泛的应用前景，都是那么令人神往，使人们不畏艰难地去探索。更何况，在其艰难的探索中，还毫不掩饰地寄托着“用机器完全来替代人”这一“人类的最终极的梦想”！如今，对智能的研究和探索正伴随着人类智慧的增长和科学技术的发展而不断深入，而随着智能化时代的到来，这一研究已显得更加迫切和重要！

我们常说，智能研究古老而又年轻。一方面，作为一个古老的研究领域，有关人类智能的研究已经持续了数千年之久。千百年来，人类的先哲们就以其超前的智慧，提出过种种富有哲理性的箴言，它们就如一盏盏光芒四射的明灯，一直引导着人类不断前进的航程。而另一方面，作为哲学、社会科学、心理科学、生理科学、信息科学、工程科学和系统科学等多种学科相互交叉和相互渗透的产物，现代智能理论研究热潮的出现，则是在近半个多世纪才加速发展起来的。现在，人们对智能进行研究，一是希望能继续深入探索人类智能的奥秘，**弄清人类智能产生的机制和运行的机理**；二是希望能**在洞悉人类智能产生机制和运行机理的基础上，发展和提升人类的智慧和智能行为**；三是希望能**在洞悉人类智能产生机制和运行机理的基础上，利用机器代替人脑来从事各种推理、规划、设计、思考和学习等思维活动，构建各类智能系统，拓展人类的智能**；特别是去解决那些“**需要由人类专家才能处理好的复杂问题**”。若简单一点说，也可以认为，现代智能研究的主要目标，就是**认识智能、发展智能、拓展智能**。而研究如何构建各类智能系统来模拟人类的智能行为，以达到利用各种自动化设备或智能机器来模仿、延伸和拓展人类智能，并最终实现“机器思维”或“脑力劳动的自动化”，实现“**人机共进共存**”，则是智能研究中的一项最重要的应用。

我们认为，上述关于人类智能的理论探索与应用研究无疑是非常重要的，也是智能研究必不可少的。但是，若能再进一步深入理解，则人们对人类智能进行深入研究和探索的意义和内容，实际

上还要更加广泛的多。事实上，人们关于智能的理论及应用研究，本质上应是一类学科的总称；它所覆盖或涉及到的研究领域，应非常之广泛。比如，直接与其基础研究密切相关的学科，就至少应包括了信息科学、系统科学、计算机科学、生理科学、心理科学、社会科学、语言学和哲学等诸多学科；而其主要的研究分支，也至少包括了认知心理学、脑和神经科学、思维科学、人工智能、专家系统、模式识别、模糊逻辑、神经网络、机器学习、智能机器人、情景分析、自然语言理解、问题求解系统、机器发明系统、多智能体系统理论等等诸多学科及内容。因此，我们可以毫不夸张地说，当前，有关智能理论及其应用的研究，实际上已经涉及到了人类活动的一切领域。几乎所有学科的科技工作者，都可以从有关智能的理论及应用的研究中找到自己感兴趣的问题或应用。关于智能的理论和应用的研究，作为一个具有广泛研究内容和广泛应用领域的学科门类，**它是把整个人类的有意识的社会行为都作为了自己的研究对象，是把整个人类社会和所有学科体系都作为了自己潜在的应用领域。**人所从事的任何有意识的工作，都离不开智能；因此，任何领域都应该是智能研究的潜在的应用领域。例如，关于人类个体智力开发的研究，会让所有人受益；而应用人工智能和专家系统的理论和技术所设计和开发出的各类“智能系统”，可以模仿各行各业的专家们去从事诸如医疗诊断、智能控制、自动驾驶、工程设计、机器发明、事务管理和运筹决策等各类专业性工作；未来，当它们进一步地完善之后，很有希望能实际完成那些以往必须要靠人的“特殊才能”以及“专门知识”或“经验技巧”才能解决的所有问题和任务等。

在经过了长期的研究，特别是最近半个多世纪的努力之后，应该肯定地说，在智能的理论和应用研究方面，我们已取得了令人瞩目的成绩。但是，我们也认为，就现有的状况而言，智能研究，无论是在理论研究还是在应用研究方面，都离人们对它的期望还相差很远。对智能的理论和应用研究，还都需要更进一步的拓展和深入！要实现了对智能和智能系统的更透彻的了解，我们还有一段非常漫长而艰巨的路要走。

目前，在智能研究领域，就建立“**智能科学和技术**”这一学科门类，人们已经达成共识。不少学者认为，在过去的半个多世纪中，在对智能进行深入研究的过程中，在多个相关学科的交叉和融合过程中，智能研究已形成了诸如哲学、社会科学、认知科学、脑科学、思维科学、教育科学、人工智能、专家系统、智能控制、智能机器人、智能决策系统等一大批基础和交叉学科。如今，要建立一门包罗所有这些相关学科中关于“智能研究”的系统性科学—“**智能科学**”，条件已经成熟。他们还认为，在当今时代，最具影响魅力的两大带头科学群体是“**信息科学学科群**”和“**生命科学学科群**”，而智能科学和技术，恰恰是信息科学学科群和生命科学学科群中最重要、最精彩、也最有前景的交叉领域。**智能科学研究，是生命科学的精华，是信息科学的核心。**智能科学学科的建立和深入研究，对于推动智能科学和技术的发展，已非常重要。对此，我们深表赞同。我们认为，这样一门经过拓展之后而形成的独立而系统的“智能科学”，它的建立和深入研究，对于促进智能科学和技术的研究和发展，将具有特别重要的意义。并且，它的建立和深入研究，既是智能研究相关学科进一步发展的一种必然趋势，也是当今时代发展的一种迫切要求。

0.1 智能时代需要智能科学

0.1.1 智能科学学科的建立和深入研究，首先是当代社会发展的迫切要求

我们为什么需要智能科学？这首先应当说是当代社会发展的一种迫切要求。因为越来越多的事实表明，随着信息革命的不断深入和信息技术和数字技术的不断发展，我们已经进入到了一个崭新

的时代。人们普遍认为，这个时代将是“信息”的时代，将是“知识”的时代，更将是“智能”的时代。目前，我们正在从信息化社会迈向智能化社会。社会的信息化、知识化和智能化，将是当代社会一个不可逆转的发展趋势。

有人认为，人类经济和社会的重大发展，特别是生产力的发展，在很大程度上应是由“**能量革命**”和“**信息革命**”所引发的。从“钻木取火”把机械能转变为热能，到“发明蒸汽机”又把热能转变为机械能，所实现的，主要是能量转换与利用的“**能量革命**”；它们是人类历史上两次最伟大的“创举”。早先，人类研究和探索的主要是生产能力的提高或能量革命。就动力而言，首先是畜力的利用和蒸汽机的发明，而后是内燃机和电动机等的出现；动力的变革带来了人类生产能力和效率的不断提高。由于一系列的“能量革命”，大的规模性的生产才有了可能；随之，规模化的产业才开始形成，社会化的商品交换才更加发展，规模化的社会组织方式才开始形成；所有这些，都极大地改变了人们的生产方式和生活方式，也促使人类社会进入到了“工业化”的社会阶段。

信息革命虽然在人类历史上曾经有过四次——**从语言的产生、文字的创造、印刷术的发明，一直到近代电信、广播和电视的使用**，尽管它们对人类社会的发展都曾产生了非常巨大的影响，但是，它们都未能产生出一种具有相对独立形态的“**信息社会**”。而兴起于 20 世纪并在 21 世纪还在不断深入发展的一场新的信息革命——**基于计算机技术和网络技术的第五次信息革命**，才使我们真正进入到了一个“**信息社会**”。也由于这次革命，才使人们开始认识到：未来促进人类社会发展的根本要素将是“**信息**”，人类能不断提高其可持续发展的生产能力的基础将是“**信息**”和“**知识**”的传播、加工和应用。而这一主要由微电子技术和网络技术所引发的第五次信息革命，其主要内容和特征，有人认为应是“**数字化**”和“**网络化**”。在这里，所谓“数字化”，主要是指用数字编码来表达、存储、转换和传输一切信息；而所谓“网络化”，则主要是指我们可以用遍布全球的纵横交错的各种交互式信息网络来实现信息的交流和共享等。在经过多年的努力之后，这场信息革命已经取得了非凡的成绩。如今，几乎所有信息都可以以数字的形式来表达、转换、传送和储存，它们已经深入到了我们的日常生活之中，成为了我们生活的一部分。而一个基于电信网络、广播电视网络和全球互联网络等构成的网络世界，也已经形成。现在，几乎每天都有数以亿计的人，在用手机和电话进行通信；几乎每天都有数以十亿计的人，在收听或观看各类广播和视频节目；几乎每天都有数以亿计的人，利用手机和电脑在网上发布、查找各类信息和进行交流。因此，我们可以毫不夸张地说，当今时代已经进入到了**数字化加网络化的信息时代**。

如今，信息化正沿着“信息高速公路”不断地向前拓展和迈进。三网（广播网、电信网、互联网）的融合更大大加速了社会的信息化进程，使我们正逐步迈入“**信息社会**”，亦即“**全面信息化**”的社会。同时，我们也认为，信息化的进一步发展，将加速社会的“**智能化**”。由于信息化在数字化方面的不断加速和在网络化方面的不断拓展，信息、数据、知识、智力和其他一切智慧资源，将会由此得到更广泛、更深刻、更合理的传播、配置、优化和融合，人类社会也将面临着一场更新、更加激动人心的挑战，这就是**对人类自身智慧的挑战**。信息革命不但已将人类带入到了一个**信息化的社会**，更会将我们带入到一个**知识化和智能化的社会**，或称**全面智能化的社会**！

更有人认为，所谓“信息社会”，其实只不过是工业化社会向智能化社会发展进程中的一个过渡阶段，而并非一种独立的社会形态。因此，作为信息化社会标志的 A^3 （ A^3 即生产自动化、办公自动化和家庭生活自动化）将逐步向作为智能化社会标志的 I^3 （ I^3 即生产智能化、办公智能化和家

庭生活智能化)转变。当然,就是这个 I^3 ,它也只是社会智能化的一个重要方面。要实现社会的“全面智能化”,还必须要有**人文教育、科学探索、文化生活与社会管理等各方面的智能化**,亦即整个社会的全面智能化。

究竟什么是“**智能社会**”?很遗憾,因为我们至今还没有见到一个能为大多数人所公认的准确而完整的论述。而相关的描述则有不少。比如,有人认为,如果信息化社会,可以用3C—即 Computer(计算机)、Communication(通讯)和 Content(内容)来表征,则智能化社会也可以用另一个3C—即 CONCEPT(概念)、COMPETENCE(能力)和 CONNECTION(联系)来说明。这就是说,智能社会,在“概念”方面,必须拥有更佳、更新也更加科学的知识和理念,以不断进行知识、能力和行为的更新;在“能力”方面,社会成员必须不断提高学习、工作和创新的能力,以使各类组织能成为一个个不断学习和创新的团体,用集成化的知识和能力,为社会发展提供不竭的动力;而在“联系”方面,则社会将拥有更佳的协同、合作机制和集成机制,以使社会成为一个可亲密合作的信息系统、知识系统和智慧系统。他们认为,“概念”、“能力”和“联系”的变革所带来的,将是一种革命性的创新,一种我们还无法完全预见其未来的创新。它可能会为未来的创新、生产、流通、生活以及社会发展带来无法估量的变化。因此,这种以“概念”、“能力”和“联系”为主要标志的社会,人们只能称之为“**智能社会**”。而在这个社会中,人们将更需要信息、知识、能力和智慧;而信息、知识、能力和智慧的广泛开发、发展和应用,也将使人类社会更加坚定地向着全面智能化的社会迈进。

有研究认为,**信息革命将开创人类革命的新篇章**。与能量革命可实现能量的转换与利用不同,信息革命将会在更大的范围内实现对人类智能的挖掘、转换、开发、拓展与利用。亦即,一方面,人类将使自己的智慧得到更加充分的继承、发展、集成、传播和应用;另一方面,人们还将有可能把自己的智慧赋予机器,**把人的智能转换为机器智能**,从而大大拓展人类本身的生物智能。如果说蒸汽机等的出现已经魔术般地创造出了人类历史上的“**工业化社会**”;那么,信息革命也一定能奇迹般地创造出人类历史上的“**智能化社会**”。这一人类文明史上的新纪元,也许将由“**高度智慧的人**”与“**高度智能化的机器**”共同来开创。由具有高度智慧的人与具有高度智能的机器所构成的“**人-机智能系统**”,有可能会形成未来**智能生产力系统**的最基本的形式,它们作为新一代生产力的代表,将使被充分拓展和放大的了人类智能成为最直接的现实生产力,加速推进着人类和人类社会的发展进程。

更有人认为,从生产力是社会发展的主要动力的观点来看,智能社会的形成和发展,将会是由这种“**智能生产力**”所驱动的。众所周知,人类的社会生产力已经有过三次划时代的发展:以使用棍棒、石器_{等原始工具}的“**远古**人”为代表的**第一代生产力**;以使用铜器、铁器_{等简单工具和畜力}的“**自然经济**人”为代表的**第二代生产力**;以操作着蒸汽机、内燃机和电动机_{等动力机器}的“**工业经济**人”为代表的**第三代生产力**。而所有这些发展了人类生产力的“**劳动工具**”的一大特点,就是它们只是实现了人类“手”“脚”的延伸或人类“体力”的放大。只有信息革命所产生的各类信息化和智能化的系统,才是“**智能化的工具**”,可作为人类“脑力劳动”或“人脑”的延伸,实现人类“智能”的放大。他们认为,这一新的生产力革命,将会出现**第四代生产力—“智能生产力”**。而就一般意义而言,这里所谓的“**智能生产力**”,是一种**智能化的集成生产力**。它首先是**具有高度智慧的人**,进而是**高度智能化的理念和高度智能化的工具**。如果我们将高度智能化的工具也视为另一种机器,那么,这一新的智能生产力系统必有两大要素:即**具有高度智慧的人和具有高度智能的**

机器。更进一步说, 如果我们将智能化技术(各类科学技术及其应用)看作是促进社会发展的第一生产力, 把智能化管理(各类智力和能力的有效社会集成)看作是促进社会发展的第二生产力, 把智能化教育(各类智力和能力的社会开发和延续)看作是促进社会发展的第三生产力, 那么, 把这三种生产力集成起来的人类, 作为一种完整的智能生产力, 必将主宰着未来智能社会的形成和发展。

有人认为, 以往的工业化社会, 可被称为“高能”社会或“高能耗”的社会, 因为它主要是靠“能量”来推动社会的物质生产和经济发展; 而未来的智能社会, 将是“高智”社会或“高智能”的社会, 它会以“智能”来推动整个人类社会的物质文明和精神文明的发展。“高智”社会的特点是具备“高智能结构”, 即, 既有人的智能和机器的智能, 也有人-机复合智能和系统集成智能, 进而会形成一种整体性的“社会智能”。而这种复合的“社会智能”, 将成为未来智能化社会发展的基本推动力。

也有人认为, 智能化社会就是高度知识化和智能化的社会。而这一高度知识化和智能化的社会, 其最显著的特征将是: **社会生产和经济发展的知识化和智能化、社会所有成员的知识化和智能化、社会组织管理的知识化和智能化以及整个社会的知识化和智能化**等。这种观点认为:

(1) **智能化社会的首要特征, 应是社会生产和经济发展的知识化和智能化。**他们认为, 信息革命将使我们进入一个崭新的经济时代。这一崭新的经济时代, 有人曾称之为是“信息经济时代”或“数字经济时代”, 也有人曾称之为“高科技经济时代”; 但是, 若更准确地说, 它应该被称之为“知识经济时代”或“智能经济时代”, 或按照世界经合组织的术语, 称之为“以知识为基础的经济时代”。随着社会的发展和科学技术的突飞猛进, 这一知识经济时代将使人类经济活动的本质发生一系列深刻的变化, 其具体表现可包括:

- **产业的知识化和智能化。**由于现代生产技术和生产装备的不断改进, 将使知识在生产经营中的作用日益增大。未来, 不仅新诞生的高新技术产业对知识的要求会越来越高, 就是一些传统产业, 由于其不断地向高技术转化, 在其硬件不断更新的同时, 其软件配置的水平也会不断提高。因此, 智能产业将成为知识经济时代的重要产业, 成为知识经济时代增长最快的产业门类。

- **生产的知识化和智能化。**随着计算机集成制造系统(CIMS)、企业集成管理系统(ERP)、智能生产线和智能机器人等的出现, 未来, 在整个工业企业的全部生产过程中, 包括产品设计、工艺流程控制、质量控制和流通服务等各个主要环节, 知识和智能都将发挥关键性的效用。生产的全过程都将依赖于知识的运用和智能控制, 而这种运用也将使人与技术及设备的组合更加合理, 效率更高, 更具活力。

- **产品的知识化和智能化。**在知识经济时代, 产品的技术含量将成为一个产品生存的基础, 知识-技术-产品则构成了一个产品完整的生命周期。并且, 随着知识的不断更新和创新, 这个周期将呈现出不断缩短的趋势。由于以创新为基础的新产品最能抢先获得高额利润, 因此, 人们将比以往更加注重如何让新知识、新技术在新产品上尽快反映出来, 并将不断加大其在产品研发过程中的知识投入和智能投入。

除以上几点之外, 这一由知识和智能所主导的新经济时代, 还将具有以下显著特征:

- **经济的发展将以技术突破的要求和知识的“涨落”为主要诱因。**我们知道, 传统经济发展的诱因主要是产品的需求和价格的涨落; 而未来的知识和智能经济发展的诱因将是关键技术的突破以及由信息和技术等构成的知识(包括科学和技术)的涨落。在未来社会, 由于知识的不断创新和新技术的不断突破, 将使经济面临着不断随之变化的选择; 而知识和技术的快速老化, 在加速经济发

展更新换代的同时，也呼唤着新的技术突破。这种知识和技术涨落的普遍存在以及表现形式的多种多样，将推动着经济向更高级的有序状态进化。因此，知识和智能经济时代将是靠知识和智能推动经济，靠知识和智能获取利润的时代，更将是把知识、智能和技术当作主要“资本”来发展经济的时代。

• **经济的发展将以知识的开放和人的开拓进取为重要前提。**在知识和智能经济时代，经济发展的前提将是经济的进一步开放，特别是知识的进一步开放和广泛应用。一般认为，知识是最具有开放特性的。知识可以激发人们的新思维，而新的思维又可创造出新的知识；这是一个无限发展的过程。信息化和网络化的实现，为信息和知识的传播提供了广阔的平台，也加速了知识和智慧交融的过程。在这个过程中，人们将通过不断地开拓、不断地创造、不断地冲破传统、不断地超越常规，来开发新技术、创造新知识。而这带来的，又将是一个知识的不断发展和开放的过程。由于这种知识的不断开放创新和人们的不断开拓进取，也为未来的社会和经济带来了永恒发展的动力。

• **经济的发展将以知识的“突变”和关键技术的突破为主要动力。**在这里，知识的“突变”指的就是知识的“创新”。而在知识的创新中，除了人的因素外，最重要的一点，它一般是由人们知识的不断积累和相互交融所造成的。创新不仅将带来知识、理论、理念、价值等的改变，更重要的是，它也将带来科学、技术、产品、工艺、设备、管理、以至消费等的联动“跃变”；因而最终可导致经济更飞速地发展。知识和智能所带来的技术创新、制度创新、管理创新、观念创新和消费创新等，将成为未来经济发展的重要“引擎”。

• **经济的发展将以知识的协同和智慧的融合为主要推进方式。**有研究认为，知识和智能经济还意味着人类将是在未来知识和智能的社会中谋求共同的“生存和发展”；未来社会的联系和经济的协同都将建立在知识的协同和智慧的融合之上。未来社会的发展将使未来的经济越来越依靠“**协同、协调和协作**”，而协同、协调和协作的基础将是人与人之间的理解、知识的普及以及信息的沟通。在未来的知识和智能经济中，我们所说的知识既包括“know-what”（知道是什么——相关的知识和事实）和“know-why”（知道为什么——相关的机理、原理和法则）等这类显式或“可编码”的知识，也包括“know-how”（知道怎么做——各种技术诀窍）和“know-who”（知道谁能做——各领域的专家与人才）等这类不能文字化的或“活”的知识。从一定意义上说，在未来经济的发展中，对这类信息和知识的掌握可能要比其它有形要素更为重要；并且，这些信息和知识还能使其他有形要素发挥出更大的作用。知识的协同和智慧的融合，将使整个经济的有序性得到不断提高，并进而推进着经济的快速发展。

(2) **智能社会的第二个重要特征，将是社会所有成员的知识化和智能化以及整个社会生活的智能化。**有研究认为，知识和智能经济的出现，将使经济活动的重心发生深刻地变化。由于新技术研究和开发的重要性不断增加，创新人才和技术将成为未来经济发展的核心。随之，未来从业人员的结构，也将随之发生许多质的变化。由于新的科学技术所造成的日益激化的竞争环境，不仅要求企业要不断壮大从事技术研究和产品开发的科技人员的队伍，而且还要求企业全体成员都必须不断地掌握最新的知识和技术，具有强烈的创新精神和开拓精神。由于非智力的劳动会逐步自动化，社会将主要依靠创造性的智力劳动来进行物质的生产和知识的生产，脑力劳动在社会劳动中的比重的逐步提高将是一个不可逆转的发展趋势；因而，全体社会成员的知识化和智能化也将是一个必然的要求和一个不断发展的进程。社会和组织都需要其成员要有多维的视野和崭新的知识结构，这也就预示着一个社会成员“**全员知识化和智能化**”的社会必将来临。在这一新型社会中，人类社会的各个

成员将更加依靠自己——依靠自己的知识，依靠自己的学习，依靠自己的智慧——来发展自己。而强化对高新知识的认识，强化知识持有者之间的沟通和交流，改进学习的方法和方式，增加知识的积累、扩散和融合，将会是整个智能社会中社会和个人发展的关键，也将是人类社会所面临的一场严酷的**自己对自己的挑战**。

当然，生产的智能化和社会的智能化，也必将带来**人类生活的智能化**。出行和通信自不必说，智能手机和智能交通会得到极大的普及。即使居住和娱乐，也会处处享受着智能化的成果，人们可随时沉浸（inmersion）于虚拟现实（Virtual Reality）之中，或享受着机器人的优质服务。

（3）**智能社会的第三个重要特征，将是社会组织管理的知识化和智能化**。他们认为，除了**社会生产和经济发展的知识化和智能化、社会成员的知识化和智能化、社会生产力和生产工具的知识化和智能化**之外，在知识经济和智能社会时代，人类将更加注重对知识、智能、经济和社会的智能化组织和管理。而“**管理的智能化**”和“**组织的学习化**”，将会是这个时代的最显著的特征。

对社会和组织的科学管理，无疑是依靠和利用人类已有的认知和知识来实现的。随着社会经济的快速发展，随着系统理论、控制理论、协同理论和自组织理论等**组织理论**的出现，尤其是随着信息网络的广泛建设，已使现代管理成为了一项复杂的系统工程。社会的信息化和网络化，一方面使“**社会空间**”变得越来越小，“**世界**”已变成了“**地球村**”；而另一方面，也使人们的“**联系空间**”在不断地扩大。因此，在网络社会中，人们的社会和经济活动，将不能再像以前一样，仅仅在有限的局部范围内考虑和进行；很多活动，需要也必须在更广阔的“空间”中进行思考。而在此社会中，要掌握和运用一套完整的管理理念和管理方法，没有一定的**全局理念**和**战略智慧**是根本不可能的。

信息化和网络化给社会组织管理所带来的另一个显著影响，将是**社会组织形态的虚拟化和扁平化**。有人认为，随着空间不再是联系的障碍，虚拟或网络组织将在未来社会中不断地大规模涌现。比如，虚拟公司或网络公司、虚拟交易市场或网络交易市场、虚拟或网络研究中心、虚拟或网络制造中心乃至远距离的全球化的多主体虚拟或网络合作中心等等，都将纷纷出现，成为常态。虚拟组织将成为现实系统的有力组成部分或扩充，这是智能化和网络化发展的必然结果。而与此同时，它们的出现和发展也对未来组织的管理和运作提出了更新、更高、更具体的挑战，也对未来组织和社会的管理提出了更高的智慧要求。

组织功能更多地向**学习和创新型组织**的转型，将会是智能时代的一个显著特征。有研究认为，在未来社会中，由于组织始终面临着社会智能化和经济知识化的挑战，而这种挑战必将会促使组织的形态和功能发生许多质的变化。由于一个有活力的组织将主要依靠其**集成知识和集成智慧**，并因其集成知识和集成智慧的不断积累和扩充所形成的能量而使其成为一股可在社会或经济活动中持续发挥作用的力量；因此，组织生存和发展的活力的所在，将是其所积累的理念、知识和智慧，而学习和创新也就自然而然地成为了一切组织的首要功能和动力。在此知识和智能时代，“每一个成功的公司都必须变成一个‘不断学习的团体’；每一个人在其整个一生中都需要不断地进行学习和创新”。而这种学习和创新型组织也将是一种更加人性化的组织，它将由一些具有“共同理念和共同学习目标”的人所形成的“团体”，它有其崇高而正确的核心价值、信心和使命，有着强韧的生命力和实现其共同目标的强大动力，因而能不断地创新并能获得持续地发展。“生活在智能社会和知识经济环境下的人们将不得不看到，他们的社会将是一个对知识有着自适应的社会；而这个自适应的社会的一个重要的特征就是自学习特征和创新特征”。

如今，社会学家、经济学家和未来学家们对于 21 世纪尽管还有着许多不同的说法，但在对未

来经济的看法方面有一点却是相同的，即都认为人类正在步入一个以智力资源的占有和配置，知识的生产、分配和使用(消费)为最重要特征的经济时代。这也就是说，未来的经济本质上是智能经济。而这一新的智能经济，对智能必然有着强烈的需求，也必然会带来各个经济和社会领域向智能化发展的趋势以及各个科学技术领域对智能化的深入研究。这种研究与应用应是相互促进、相互影响、共同发展的。

综上所述，我们有充足的理由相信：社会的智能化将是信息化发展的必然趋势；社会的信息化必然发展为社会的智能化；信息革命必将导致一场更为深刻的智能革命，促进信息化向智能化发展，推动社会向智能化发展，直至创造出一个“智能社会”。这是历史的必然。因为信息化的发展将使生产力向智能化发展，而发展了的智能生产力必将推动社会形态的改变，使信息化社会发展成为智能化社会。在智能化社会，整个社会的基础结构定将发生重大地改变；传统的经济将会逐步向“知识经济”过渡；以人类个体智能为核心的人力资本、以高科技为核心的技术知识和具有高度智能的人-机系统所共同构成的新的“智能生产力系统”，将在未来社会的发展中起着决定性的作用。“信息和智能”将与“物质(材料)和能源”一起，共同构成未来社会赖以生存和发展的四大基本要素。信息和智能技术将渗透到社会的各个角落，起着越来越重要的作用。而未来社会的发展和进步，也将主要靠信息、知识和智能。

为了迎接这一崭新时代的挑战，我们迫切需要有一套与此相适应的智能科学理论的指导。这既是未来智能化时代的强烈要求(社会的信息化、知识化和智能化已经成为一种不可逆转的发展趋势)，同时，也是智能科学学科研究本身进一步发展的一种必然的趋势(是学科发展本身的一种强烈的内在要求)。

0.1.2 智能科学学科的建立和深入研究，更是智能理论研究与技术发展的必然趋势

我们认为，智能科学学科(或称智能科学与技术学科)的建立和发展，既是未来智能化社会发展的一种迫切要求，更是当前智能科学学科理论研究与技术发展的一种必然的趋势。对此，我们拟从两个方面来进行论述：一是，从智能学科研究的历史与发展的现状来看，早已预示着智能科学学科的诞生；二是，从当前智能科学和技术研究中的现实问题和可能的出路来看，智能科学的建立也是智能学科发展的一种必然的趋势。

0.1.2.1 对智能研究历史的简要回顾

众所周知，物质的本质、宇宙的演化、生命的起源和心智(意识)的涌现，一直是人类科学研究所关注的四大基本课题，也是人类科学研究史上最著名的跨世纪科学研究难题。其中，人的心智，作为宇宙中最奇妙、最复杂、最独特的一种现象，作为人世间一种独有的现象，作为物质演化最高成果的一种具体的体现，更是科学研究中最重大、最深奥的一个课题。康德曾经说过：“世界上有两件事最神秘：一是遥远的星空，二是深邃的心灵”；比利时学者克里斯蒂安·德迪夫也认为：“除了宇宙本身，人的心智是整个宇宙中最大的谜”。可以说，对人类心智世界的探索比人类迄今为止所进行的对其他任何领域的认知，都要更加艰难得多。

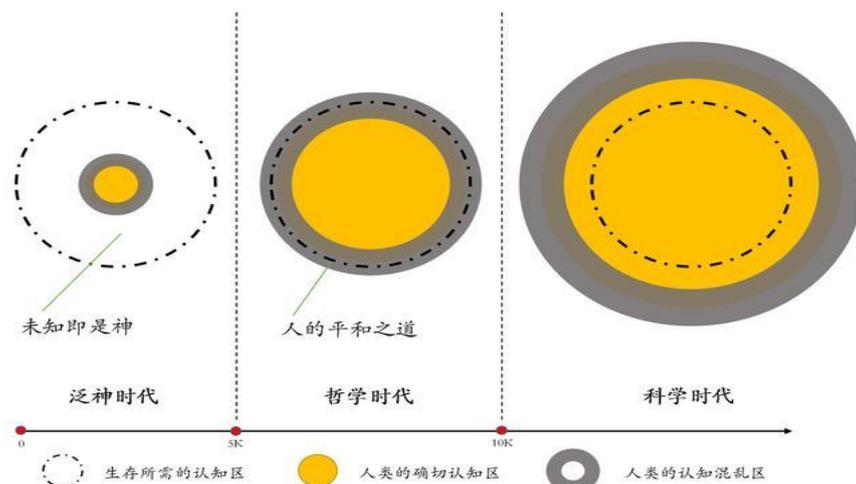


图 0.1.1 人类认知发展的三个阶段

如前已述，对人类心智的研究，其实是一个非常古老的话题。人们对它的研究和探索应该由来很久。对它的研究也曾经是一个非常漫长的探索过程，已经经历过多个发展阶段。有人认为，人类认知发展的进程，大致可以划分为**神学（宗教）、哲学和科学**三个发展阶段，而这每一个发展阶段，又都与心智的研究有着密不可分的关系。在人类认知的**神学（宗教）、哲学和科学**三个发展阶段中，后者与前者的关系，犹如细胞的裂变，也宛若新的生命诞生于母腹，是一个不断继承和发展的进程。正是由于人类认知的不断发展和深化，才导致了后者从前者中逐步地分离出来，才形成了在人类认知探索的历史长河中，**神学（宗教）、哲学、科学**三者既相互独立、相互矛盾，又血脉相通、水乳交融的这样一种历史状况。而在这一认知发展的进程中，心智问题始终受到了**神学（宗教）、哲学和现代科学**的共同关注。

对于人类智能或心智的研究历史，也有人将其归结为五个发展时期，或称五个发展阶段，它们分别是：

• 相信灵魂，崇拜神灵的时代

这是人类对自己心智认知的**懵懂时期**。在人类的远古时代，正处于“童年时期”的人类，对自己有别于其他动物的智慧和行为，既感惊奇，又不了解；于是，就把人类智慧的起因，都归之于了“神”的意志和力量，认为是“上帝”或“神灵”赋予了人类以聪明才智。因此，也有人把此阶段称为“把智能归结为‘神’的功能的神人阶段”。

• 感悟心灵，意识到“心之官则思”，崇拜圣贤的时代

这是人类对自己心智认知的**启蒙时期**。在此时期，人们逐渐将对“神”的崇拜转化为对先贤和圣人的崇拜，即把“智慧”看成是先贤和圣人的“**本能或超能**”。一些先知先觉者更把心智视为人类“心”或“脑”的功能，他们把智能与“心”或“脑”进行了联系，猜测到了“心”或“脑”才是“思维活动”、“心理活动”和“智慧活动”的“器官”。比如，中国古代的圣贤曾认为，“心之官则思”；毕达哥拉斯和柏拉图则把人脑看成是“灵魂寄居的场所”；德谟克利特则认为，人脑能产生精致的“原子”，而精致的“原子”能产生“灵魂的活动”等等。

• 自我意识，进行思辨的时代

这是一个人类试图对自己的心智进行**思辨和解析的时期**。其特征是：① 研究由直觉转向了经验；② 研究由想象转向了内省。比如，休谟就认为，我们了解“心灵”就应该像了解“物质”一

样，通过“感觉”来完成。贝克莱则认为，一切知识都是正在经验着或知觉着的人的一种机能；知觉是我们可以确信的唯一现实；**经验世界是我们的感觉的总和**。还有穆勒认为，一切知识都始于感觉，而较高水平的复杂观念则是由感觉并通过联想而获得的。

• 注重科学分析，迈向科学研究的时代

十九世纪，心理学的正式创立，标志着对人类心智的研究已开始进入到以精神分析和行为分析为主的心理科学研究时代；也就是说，智能或心智的研究已正式进入到了**科学分析**的时代。由于智慧通常只是大脑神经活动的外在表现，单纯用思辨、直觉或概括自己经验的方法是无法彻底解释心智现象的。因此，只有当人们用那些“**对自然科学解答问题行之有效的科学工具和方法**”来回答人的心智问题的时候，**心智研究的突破性进展和革命性时代才算来临**。但是，只在心理的层面上来认识人类心智的本质，把智能或心智单纯看作是学习和认知的能力，这种研究方法，既有片面性，也无法使研究继续深入下去。

• 进行多学科的深入研究，多层面探索人类智能或心智奥妙的时代

这是关于人类智能或心智研究的现代时期。现在，对于智能，人们除继续**哲学和心理科学**层面的研究之外，还开始了**脑科学、神经科学、信息科学和工程技术科学**等多个层面的研究和探索。其中，又以**认知科学和脑科学**的研究最为突出。脑科学是把人类心智或智能看作是人的大脑或神经组织的功能，并希望从生理层面上来研究和探索人类智能的本质。它为深入探索人类智能的起源、本质、结构、差异和发展等，都开辟了新的途径。而认知科学则主要是从信息处理的角度来对人类智能或心智进行研究，它与计算机技术相结合，更为人类智能的研究和拓展工作，开辟出了一片崭新的天地。

0.1.2.2 现代智能研究的成果与问题

目前，人们对智能的研究，包括了智能的本质和智能系统的功能结构、智能的产生机理和智能的计算机模拟方法等诸多方面。而从其研究的层面来看，则分别有哲学层面的研究、社会科学层面的研究、心理科学层面的研究、生理科学层面的研究、信息科学层面的研究和工程科学层面的研究等不同侧面。而从研究的核心内容考虑，则主要包括对**智能（行为）产生机制和运行机理的研究**以及对**人类智能的工程模拟和智能系统构建**等两个重要方面。

人们关于智能本质和产生机制的研究，重点研究的是智能的本质特征、智能（行为）产生的机理和大脑运行的神经机制等基础问题。其主要目标，是希望能揭示人类智能行为中所体现出的“智能”这一自然现象的本质、产生机制和运行规律，并进而开发和拓展人类的智能。现在，人们主要是从脑科学、神经科学、心理科学、信息科学、思维科学、社会科学和哲学等不同的角度来对其进行研究。由于智能本身所具有的多学科交叉的性质，可以认为，它未来也将是哲学、社会科学、思维科学、认知科学、信息科学、心理科学和脑科学等多个学科共同研究的对象。当然，对于智能本质和产生机理的深入研究，无疑将主要依靠心理层面和生理层面的研究和突破。

人类对智能的研究和探索，最早是从哲学、社会科学和心理科学的层面开始的。长期以来，众多的哲学家和心理学家，都试图从人的内心世界和外在行为来研究人的思维和心智活动，并希望由此而阐明人类思维和心智活动的一般规律。其中，心理科学对人类意识和心智的研究，可认为是近代人类对其心智和智能进行“科学研究”的“开端”。在对人类意识和心智进行研究的一百多年的历史中，心理科学曾产生了不少成果，提出过不少相关理论，形成过不少至今仍有重要影响的心理学派。这些学派，都曾代表了一定历史时期心理学科发展的一种倾向，都曾对人类心智研究本身

产生过极其深远的影响，也都曾在一定程度上左右过人类心智研究的历史发展进程。心理科学百余年来对人类心智研究所取得的成果，也集中地反映在了这些心理学派的卓有成效的研究成果上。在心理科学研究的历史上，这些曾经产生过重要影响的研究包括：

• **内容心理学派及构造主义心理学派的研究。**内容心理学派产生于19世纪中叶的德国，其代表人物是**冯特**。该学派主张，心理学应基于对人的直接经验所进行的研究。所谓直接经验就是人在具体的心理过程中可以直接体验的东西，如感觉、知觉、情感等。不过，他们所研究的并不是感觉、知觉等心理活动本身，而是感觉或知觉到的心理内容，即感觉到了什么，知觉到了什么。冯特等认为，人的这种直接经验（心理或意识）是可以进行分析的。他们将心理被分析到最后不能再分析的成分称为心理元素。他们认为，心理元素是心理构成的最小单位，而人的心理，是通过联想或统觉才把在些心理元素综合为人的直接经验的。因此，冯特等人认为，**心理学的任务就是要分析心理的结构和内容，发现心理元素复合成复杂观念的内在原理与规律。**冯特等人的内容心理学的理论观点，后来被**铁钦纳**等发展形成了一个较大的学派——**构造主义心理学派**。由于“内容”与“构造”两个学派的主体思想一致，故后人一般都倾向将它们视为一个整体的学派。

威廉·冯特在《人类与动物心理学论稿》一书中的一些典型观点包括：（1）从联想到严格的智慧这一步无疑是心理进化中花费时间最长的。任何低于人的高等动物由于其生理物理组织的一般特性而不可能跨过这极其重要的一步。（2）梦的产生与睡眠时的感觉刺激有关，这些刺激引起了记忆中某些观念的活动，因而导致了梦。梦游的机制也是如此，只不过在梦游的状态下，刺激不仅引起了观念的活动，而且引起了意志的活动。梦是一种暂时性的“心理变态”，但是梦对于普通人来说是正常的，每个人都会有这种暂时性的心理变态。（3）拟人论观点不是以客观的观点把心理过程看成心理过程自身所展现的样子，而是把观察者的观点强加给心理过程，把观察者的想象和动机投射给动物。这就是拟人论观点的一个最大的弊端。（4）情感和意志紧密交织，两者又与观念紧密相连。这些过程的区分只存在于心理学研究的抽象过程中，并没有现实的基础；感情可以转化为冲动，冲动可转化为意志行为，而意志行为所指向的客体又可成为观念的来源。

• **行为主义学派和机能主义学派的研究。**行为主义学派产生于20世纪初的美国。其代表人物是**华生**和**斯金纳**。该学派的主体思想常被认为是对19世纪末詹姆士的机能主义学派的心理学观点的进一步发展。他们一反传统心理学主张只对人的意识进行研究的观点，主张心理学不应只是研究人脑中的那种无形的、像“鬼火”一样不可捉摸的东西——**意识**，而应去研究那种从人的意识中所折射出来的看得见、摸得着的客观东西，即**人的行为**。他们认为，行为，就是生物体用以适应环境变化的各种身体反应的组合。这些反应不外乎是肌肉的收缩和腺体的分泌，它们有的表现在身体外部，有的隐藏在身体内部，其强度有大有小。他们认为，具体的行为反应取决于具体的刺激强度，因此，他们把“**S-R**”（**刺激—反应**）作为解释人的一切行为的公式。行为主义理论认为，心理学的任务就在于**发现刺激与反应之间的规律性联系**，这样就能根据刺激而推知反应，反过来又可通过反应推知刺激，从而达到预测和控制行为的目的。

• **格式塔学派的研究。**格式塔学派产生于20世纪初的德国。其代表人物有魏特曼、考夫卡和苛勒等。“**格式塔**”是对“形状、完形、整体”等意思的德文译音。格式塔心理学派既反对冯特等把心理现象分析为各个元素，也反对行为主义的“刺激—反应”的“S-R”公式。他们认为，**任何一个心理现象都是一个完整的整体。该整体具有其特殊的内在规律和完整的历程，具有其具体的依赖整体原则的结构。整体并不简单地等于各部分的和。**他们有一句名言：“**整体大于部分之和**”。比如，

把许多单个的音符放在一起，就可从它们的组合中产生出某种新东西——一支乐曲；而这种新东西并不存在于任何个别的音符中。再如，把四根线段组成一个正方形，它就已是一种具有新的性质的新的形式了，它的含义比四根线段本身的含义要多得多。

格式塔心理学派强调整体的观点，重视各部分之间的综合。这对心理学的研究是个较大的贡献。但其不足之处是，他们的研究只局限于知觉的领域；另外，他们的一些原则究竟能否适用于心理学的全面研究，还有待进一步探讨。

• **精神分析学派的研究。** 精神分析学派产生于 20 世纪 20 年代。其代表人物是奥地利的**弗洛伊德**。精神分析学派着重于精神的分析和精神疾病的治疗，并由此提出了一些关于人的心理和人格的新的独特的解释。他们认为，人内心深处的生物方面的冲动、情欲等原始本能的东西，是人的个体复杂生存活动和传宗接代的种族生存的主导驱动力。弗洛伊德认为，外部的一些社会伦理道德的要求在一定程度上约束了人的这种原始冲动的自由表现，所以，弗洛伊德进一步认为，**人的心理可以分成两部分，一部分是意识，另一部分是潜意识（或无意识）**。意识包括个人现在意识到的和现在虽然意识不到但却可以被记忆起的心理活动；无意识是不能被本人意识到的，它包括原始的盲目冲动、各种本能以及出生后被压抑的欲望等。无意识的东西并不会因压抑而消失，它还会存在并伺机改头换面的表现出来。这就是其精神分析理论。

弗洛伊德等人的精神分析学说的最大特点，就是强调人的本能的、情欲的、自然性的一面。他们首次阐述了无意识的作用，肯定了非理性因素在行为中的作用，开辟了潜意识研究的新领域。他们十分重视对人格的研究，重视心理研究的应用。在精神疾病治疗方面，他们提供了一整套治疗的理论和方法，成为了现代医学心理学的先声。另外，在艺术创造、教育及其他人文科学方面，其精神分析理论也得到了广泛的应用。不过，弗洛伊德的学说也有其消极的方面，这主要表现在他过分夸大了人的“**自然性**”而贬低了人的“**社会性**”。他的“泛性论”基本上是非科学的。后来，弗洛伊德的一些学生发展了弗洛伊德的理论，表现为不再那么强调人的本能作用，而开始重视人和人之间的关系的社会因素。但是，不管怎么说，弗洛伊德的精神分析学说还是值得肯定的，这一学派能成为心理学百余年研究历史中唯一一个能经久不衰的心理学派，就很能说明问题。它的许多理论，至今仍在心理学研究中发挥着重要的作用。弗洛伊德的心理治疗——精神分析——孕育了当代许多心理治疗的变种。在某种程度上也可以说，弗洛伊德的无意识心理学是对冯特心理学的一种补充和发展；但是，弗洛伊德的心理学比冯特的心理学影响要大得多，寿命也长得多。

• **认知心理学派的研究。** 认知心理学如今已是心理学研究的主流学派，也是**认知科学的核心**，本书在后面的章节中将其作重点介绍。认知心理学的主要分支之一是**皮亚杰的认知发展心理学**。皮亚杰的认知发展心理学主要研究儿童的认知活动，探索人类智慧的结构、机能以及其形成和发展的规律等。他认为，**人类智慧的本质就是适应。而适应主要是因为生物体内的“同化”和“顺应”两种机能的协调，从而才使得生物体与环境取得了平衡的结果。**皮亚杰理论的核心是“发生认识论 (Genetic epistemology)”。这一理论主要是从纵向来研究人的各种认知的起源以及发展规律。在皮亚杰学派以前的各个学派，都是停留在成人正常的意识或病态的意识以及行为的横断面的研究上，从未由儿童到老年纵向地、全面地、发展地去考察、去研究人类智慧发生和发展的规律。因此，皮亚杰对人类心理的研究，不能不说是心理研究史上的一个空前的创举。它丰富和发展了科学的认识论，拓展了心理学研究的领域，促进了儿童心理学和认知心理学的发展。同时，对其他一些学科如认识论、逻辑学、语言学和教育学等的发展，也产生了很大的影响。它的不足之处主要表现在对人的社

会性和实践性活动重视不够，对环境，特别是对教育的作用估计偏低，对人类智慧的“结构化”有些牵强武断。

• **人本主义心理学的研究**。人本主义心理学派也是一个引人瞩目的心理学派。人本主义心理学反对把人想象为一架机器以及允许主观经验（意识）作为心理学研究对象的合法部分，与此相一致的是否定完全客观的、像机器一样的研究对象以及允许主观性进入科学。人本主义心理学的目标是要对作为一个活生生的完整的人进行全面描述。他们强调人的尊严和价值，反对心理学中出现的将人的心理低俗化，动物化的倾向；主张**心理学要研究对个人和社会进步富有意义的问题**。在方法论上，他们反对以动物实验结果推论人的行为，主张对人格发展进行整体分析和个案研究。**人本主义心理学研究的主题是人的本性及其与社会生活的关系。既反对精神分析学派的性本能倾向，又反对行为主义的动物化倾向，也反对认知心理学的“机器化”倾向**。人本主义认为，行为主义将人的行为混同于一般动物，不能体现人类本身的特性，而认知心理学虽然重视人类的认知结构，却忽视了人类情感、价值观、态度等最能体现人类特性的因素对人的心理和行为的影响。在他们看来，要理解人的行为，就必须理解行为者所知觉的世界，即要知道从行为者的角度来看待事物。在了解人的行为时，重要的不是外部事实，而是事实对行为者的意义。如果要改变一个人的行为，首先必须改变他的信念和知觉。当他看问题的方式不同时，他的行为也就不同了。换言之，人本主义心理学家试图从行为者，而不是从观察者的角度来解释和理解行为。人本主义心理学家总的观点是，心理学应该探讨的是**完整的人(the whole person)**，而不是把人的各个从属的方面(如行为表现、认知过程、情绪障碍)割裂开来加以分析。

上述这些心理科学的典型研究，都曾对人们认识人类的“心智”产生过重要影响，很值得我们去学习和借鉴。随着现代科学的进步和研究的更进一步深入，目前，人们对人类心智的研究，已经主要集中在了“**神经**”和“**认知**”两个主要层面。其集中的体现，就是人们对人类智能的“**认知科学**”研究和“**脑科学**”研究。

一般认为，认知科学(Cognitive Science)是一门研究人的智能、其它动物的智能及人造系统的智能的科学。它要研究人类认知和智能的本质和规律，它要研究“智能实体与他们的环境相互作用的原理”，这几乎就是一门“**智能科学**”了。但其要研究的内容，主要是：**感知(Perception)、学习(Learning)、记忆(Memory)、知识(Knowledge)、推理(Reasoning)、语言(Language)、注意(Attention)、意识(Consciousness)以及思维(Thinking)等人类的心智活动**。认知科学的兴起和发展标志着人类对认知和智能活动的研究已经进入到了一个崭新的阶段。而弄明白“**认知**”和“**智能**”的机理则是认知科学的一个长期的奋斗目标。

在国外，人们常把20世纪50年代中期认作是人类认知变革的一个重要时期。在这一时期，随着生产力的持续进步和科学技术的进一步发展，诞生了“**人工智能**”等一批新的智能学科。人工智能等学科冲破了传统思想的束缚，提出了**以知识为基础的“信息加工”智能理论**。可以认为，这是国际自然科学界乃至社会科学界和哲学界思想上的一次大的解放。而从“**信息**”的角度，用“**计算**”的观点来理解和研究智能问题，无疑是一种革命性的变革。它对当代人类智能的研究和工程模拟，都产生了决定性的影响。

认知科学反对单纯的行为主义，认为应当承认人的“**主观意识**”的存在和作用。并认为，人的行为主要决定于人的“**认识**”和“**信念**”，包括感性认识和理性认识；**是人的“意识”和“认知”支配着人的行为**。认知科学强调人的心理意识在行为过程中的重要作用，强调人的主动性，重视各

个心理过程的联系和制约。它基本上是博采了传统心理学中各大学派的长处，并在一个崭新的层面上来进行研究。

一些认知科学研究者把着眼点主要是放在了怎样描述人类的认知活动（大脑的心理、生理活动）以及现代计算机与这一描述的对应关系上，认为最好把人类大脑也视为是一个信息加工系统。这一“**信息加工心理学**”强调，人是一个不断进行信息加工的生命体，人对外界的认知实际就是一种对信息的“**接受、编码、操作、提取和使用**”的过程。因此，他们认为，认知科学的主要目标就是要研究人类认知的信息加工的过程，给出其信息加工的模型。这些认知科学的研究成果，已对人工智能和计算机科学等学科的发展，做出了重要的贡献。

与**认知科学**相关联的另外一个学科是**思维科学**。建立思维科学的主张是钱学森院士等在 20 世纪 70 年代提出的，并已经进行了卓有成效的研究。钱学森院士认为，“**从搞机器人、人工智能这方面考虑，需要搞一个人工智能、机器人的理论，国外叫认知科学。我们用‘思维科学’更确切一点，就是包括逻辑思维、形象思维以及其它各种思维过程等**”。后来，他又提出，作为思维科学的基础科学—思维学，至少应包括三个部分的内容：**逻辑思维，微观法；形象思维，宏观法；创造思维，微观与宏观结合**。并认为，“**逻辑思维和形象思维都是手段，“创造思维才是智慧的源泉”**；而只有将“人与计算机相结合”，才能达到“人-机结合的大成智慧”。他认为，“**思维和意识是大脑物质运动的产物，是开放的复杂巨系统的表现**”；“**要研究智能的形成，关键问题是研究人脑神经系统这个开放的复杂巨系统的动力学特性**”。由此，钱学森院士等又进一步认为，① 人的聪明、智慧与人的思维能力有着直接的密切的关系；② 人脑的思维能力又是不断发展的，它的发展在于：第一，人脑是一个开放的复杂巨系统，有很强的可塑性，是活的，不是死的、不变的；第二是实践的作用，人与客观环境的作用是永无止境的。若按照 K·Ponner 所提出的三个世界的说法（即：**第一世界是主观世界，即人脑；第二世界是不以人们的意志为转移的客观世界；第三世界是人类实践积累的知识信息世界，这当然也是前人和他人实践的创造物**），人的思维能力则是**第一世界与第二世界和第三世界相互作用**的成果；③ 处理开放的复杂巨系统的方法，应是“**从定性到定量的综合集成法**”。在此基础上，他们认为，发展智能要靠“人-机结合”，“机器可以帮助人，人也可以不断地改进机器”。只有通过从定性到定量的综合集成方法，才能达到集智慧之大成的目的。

对人类智能进行研究的另一个重要领域是**脑与神经科学**的研究。脑与神经科学对智能的研究是对智能的生理基础的研究。恩格斯曾把人的心理现象誉为“地球上最美的花朵”。而产生人类心智这朵瑰丽“**精神之花**”的大地，就是人的中枢神经系统，尤其是人的**大脑**。人类的大脑是自然进化中最神奇的产物，在经历了亿万年的极为漫长岁月的进化和发展之后，已经成为了迄今大自然所创造出的一个绝妙无比的杰作与奇迹。**人类的大脑，是我们目前所知的最复杂、最完善的动态信息处理系统。人的心智，其实只是人脑这种物质运动的宏观表现和产物**。可以肯定地说，如果我们连对产生人类心智的这一有形的物质运动形式都不甚了解，那么，要达到对由这种物质运动所产生的更为复杂的无形的意识和智能现象的彻底了解，是根本不可能的。因此，智能研究应当而且必须了解这一物质的结构与运动规律。

对智能进行脑和神经科学研究的一个基本观点，就是把智能看作是脑或中枢神经系统的功能。认为，从本质上讲，**智能就是生物种系演化至特定阶段和脑组织演化出特定组织结构后所生发出的一种能够使其内部的“精神”活动与其外部的环境相适应的一类神经活动的体现；而人类个体智**

能则是正常人类个体在发育至一定阶段和其大脑神经细胞成熟到一定水平后，在实践和认知的基础上所产生出来的一种能够主导其自我觉知、自觉意识、自由意志和自主行动等的一种高级神经活动。

脑科学试图从分子水平、细胞水平、组织水平和行为水平上来研究人脑智能产生的机理，从人脑的宏观组织和微观结构上来研究人类复杂的思维活动，从生物和生理的层面来探索人类智能的本质，并建立人脑的运行机制模型。它的提出和发展，为深入探索人类心智和智能的起源、本质、结构、差异和发展等，都开辟了崭新的途径。

目前，脑与神经科学已经开始从生物生理解剖结构、生物化学组成和变化、脑神经活动动态等诸多方面对脑及中枢神经系统的结构与功能进行研究。其一些典型的研究包括：对核糖核酸、神经递质等化学物质在神经系统信息传导和记忆过程中的作用机理的研究；对认知功能的大脑皮层机能定位的研究；对大脑的感知、记忆、思维等过程的神经运行机理的研究；等等。

脑与神经科学对脑的研究，其首要目标是希望搞清**脑的组织结构和运行机制**。应该指出的是，在此过程中，一些现代化的检测和分析技术的出现，对脑科学的研究也发挥了重要作用。比如，19世纪末期，Cajal染色法的发明，从技术方面为神经元学说的创立准备了前提条件；20世纪40年代末期，微电极的发明，则开创了神经生理研究的新时代，使我们对神经活动的认识因此而出现了重大的飞跃。现在，X射线计算机断层扫描技术（CT）、功能磁共振成像技术（Functional MRI, fMRI）、正电子发射射线断层成像技术（PET）、高分辨率脑磁图技术（MEG）和高分辨率的脑电图技术（EEG）等技术和设备的出现，更使我们可以从体外无损伤地、定量地、动态地从分子水平、细胞水平和回路水平上来观察代谢物质或药物等在人脑内的活动及其变化，这无疑为我们观察和确定脑神经系统的活动打开了一个窗口，为脑科学的进一步研究提供了重要的条件，对我们关于脑和认知的关系的认识也会产生划时代的作用和影响。

目前，脑与神经科学关于脑组织结构和运行机制的研究，已经取得不少丰硕的成果。比如，关于脑功能定位的研究已经获得许多突破性的成果；已有专家借助fMRI，利用立体成像技术，找到了与动作、感觉、听觉和言辞等相对应的脑部区域，并由此可推论出**人类大脑的功能是分区的**。不过，由于人脑是一个极其复杂的系统，这一由140多亿个神经细胞所组成的器官，是人体中最复杂的部份，也是宇宙中已知的最为复杂的组织结构。因此，要搞清楚脑的组织结构和运行机制，并不是一件容易的事。人脑的复杂性，还在于神经细胞在形状和功能上所具有的多样性，以及神经细胞在组成结构和分子组成上所显示的千差万别。对脑和智能的脑与神经科学研究，还有大量的事情要做。

经过长期不懈地努力，基于脑与神经科学的认知研究目前已经取得了不少的成果。比如，德国解剖学家加尔等所提出的**大脑皮层功能定位的观点**，法国生理学家弗洛仑斯等通过用精确的切除法研究人脑从而提出的关于**大脑机能的整体性的观点**等，都得到了大家的一致公认。再如，诺贝尔奖获得者柯贝等通过对记忆的研究发现，**记忆是通过大量的神经元的突触变化储存在中枢神经的特定网络上的，这种储存是扩布性的，很像全息照相**；诺贝尔奖获得者斯佩里等通过长期对“裂脑人”的研究，发现人的左右两脑半球有明显分工——**左半球主管语言、数理和逻辑等抽象思维活动，右半球主管空间形式、音乐和艺术等形象思维活动**；美国哈佛大学医学院神经生理学教授休贝尔和威塞尔等通过脑电的研究发现，**大脑皮层的细胞还有进一步的分工**——有的管看线条，有的管看角，有的管看运动；等等。近年来，一些神经生理学和脑科学的研究成果还表明，**脑的感知部分，包括视觉、听觉、运动等脑皮层区，不仅具有输入/输出通道的功能，而且具有直接参与思维的功能**，

智能不仅是运用知识通过推理解决问题，智能也处于感知通道中。

在利用现代分析技术对人脑的组织结构和运行机制进行研究的同时，人们也十分关心建立新的**脑科学认知理论**，并提出了一些有意义的见解。比如，W. Clancey 等以诺贝尔奖获得者 G. Edelman 提出的**神经达尔文理论 (Neural Darwinism)** 为基础，给出了一种**自适应神经系统**的观点，并对知觉的产生作了一些大胆的猜测。他认为，**对于大脑来说，当有外界的输出，或者大脑有输出时，大脑神经系统中被激活的最小单元是“神经群” (Neural group)**，这种群由一些同时被激发及振动的神经细胞组成。神经群内的细胞可以从该群本身的细胞，或者其它神经群的细胞或者从外界获取输入。由于大脑的功能是分区的，不同的刺激将引发出大脑的不同功能区的激活。W. Clancey 等将当有刺激输入时，在不同的功能区中被激活的那部分神经结构称为“**映图**” (Map)，认为每个“映图”都由多个“神经群”构建而成，而两个“映图”之间的联接则是通过一种被称之为“**再入**” (Reentry) 的联接方式来实现的，并且这些联接随着大脑的神经细胞不断被激活而得到加强。若由不同功能区的“映图”所组成的一个整体被激活，则这种整体激活状态可称为**外界事物在脑区内部的一种“整体映射” (Global mapping)**。他们认为，**大脑整体的激活是一种动态的过程，是经过长期、多次的“感觉-动作”行为所引发的激活序列进行范畴化后相对稳定而形成的，是动态过程结束后的一种稳态结果**。由于每一个外界刺激只是使大脑的一部分被激活，所以，我们很自然地会提出这样的问题：究竟哪些神经细胞组成神经群，哪些神经群构成映图，以及哪些映图组成整体映射？W. Clancey 等的解答借鉴了达尔文进化论的观点，即认为这种组成都是通过**选择机制**来实现的，并且认为这种选择是由一种称之为**价值范畴**的机制所决定的。这里的价值是指生物体所具有的内部判断尺度，它们和体内平衡系统，如脑干、下丘脑等有紧密的联系。而人脑中的这些组合都经过了自下而上的长期不断的选择进化过程。

与智能研究最密切的**脑与神经科学研究**应是**认知神经科学**的研究。认知神经科学兴起于 20 世纪 90 年代，是认知科学和神经科学的交叉学科。**其任务在于阐明认知活动的脑机制**。人类大脑是如何调用各个层次上的“组件”——包括分子、细胞、组织和全脑，去实现自己的认知活动的？这是认知神经科学希望回答的最根本性的问题。认知科学的研究，取得了不少重要进展，但也发现其研究领域内的许多难点问题，必须在人脑认知活动机制中去寻求解答。例如，在认知心理学的研究中，信息加工的并行和串行方式，外显机制和内隐机制，基于经验和知识的认知活动和基于灵感和顿悟的认知活动，其脑机制有何异同？在智能工程模拟的研究中，物理符号系统的离散表征和运算原理，与亚符号的联结运算原理之间存在何种关系？人工神经网络的学习机制需要千万次训练，而为何人类的观察模仿学习有的则能“一看就会”？这些问题都尖锐地提到了认知科学各个分支学科的发展面前。认知神经科学的研究任务，即在于阐明这些认知活动的脑和神经机制，它要研究感觉、知觉、注意、记忆、语言、思维、意识等认知过程的脑神经机理，要研究智能的本质和在生理层面上的产生机理等。它的分支包括认知神经心理学、认知心理生理学、认知生理心理学（如对前额叶皮层功能、颞叶认知功能和复杂视觉及运动功能的研究）、认知神经生物学（从生物物理学和生物化学的角度深入研究各种认知过程的分子、细胞学基础等）、计算神经科学等学科，以发现心智的表征和计算能力以及它们在人脑中的结构和功能表示，并试图以心智能力的结构、功能和内容来抽象地描述此种能力，探索由物质系统完成认知功能的各种途径，谋求表征生命系统中出现的心智过程，研究认知所涉及的神经机制，等等。

目前，**认知神经科学**的基本理论和方法学研究，都取得了不少进展，同时也存在不少问题。在

理论方面, 智能的本质和意识的本源一直是认知神经科学的基本重大理论问题。比如, 在认知科学理论发展的历程中, 曾经提出了多个有重要影响的理论体系, 诸如: 物理符号系统理论、联结理论和生态进化理论等; 而这些理论, 与认知神经科学中的检测器与功能柱理论、群编码理论、多功能系统理论和基于环境的脑认知功能理论等, 就有着一定程度的对应关系和联系。认知神经科学的这些理论, 有些可以分别用于分析不同层次的脑与神经机制中, 它们之间并无根本的对立或排他性; 而有些理论观点, 则还不能相容。在方法学上, 认知神经科学已经有了两大类互补的研究方法: 一类是无创性脑功能(认知)成像技术, 另一类是清醒动物的认知生理心理学研究方法。前一类方法中又分为脑代谢功能成像和生理功能成像两种; 后一类方法中则包括了单细胞记录、多细胞记录、多维(阵列)电极记录法和其他生理心理学方法(手术法、冷却法、药物法等)等。尽管这些方法为脑科学研究增添了许多光彩, 但还远未满足认知神经科学研究的要求。因此, 作为当代认知科学和脑科学研究热点的认知神经科学, 要继续展现光辉, 还需要更进一步地研究和发展。

目前, 在国际上, 关于认知的脑与神经科学研究, 非常活跃; 研究队伍在不断壮大, 研究手段也越来越现代化。脑与神经科学研究根本任务, 就是要彻底揭开人脑这个“黑匣子”中的全部秘密, 从而最终为我们揭示出人类心理活动的全部内在奥秘。该方向的研究正方兴未艾, 具有广阔的前景。科学家们预言, 脑与神经科学的研究, 必将在未来的智能科学研究中占据特别重要的地位。

信息科学特别是人工智能的研究, 则主要是从信息加工的角度来研究智能问题。它一方面从信息加工的角度来解释智能的机理, 构成了认知心理学的重要基础理论; 另一方面, 也希望能利用人工的方法和技术, 来模仿、延伸和拓展人类的智能, 并最终实现“机器智能”。由于其后一部分研究往往是紧密结合应用来进行的, 因而, 在许多场合, 我们常将其看作是“智能技术”。

在这里, 我们是用“智能技术”来作为那些“从信息科学和工程技术的角度来研究智能问题, 并试图用机器人和人工系统来模拟人的认知及智能行为”的一类科学技术的总称。从学科分类方面来讲, 智能技术应属于技术科学或工程科学, 而技术科学从本质上讲应是有别于自然科学的。因为人们常常把自然科学研究的目标确定为: 探索自然界的奥秘, 阐明自然现象, 发现自然现象之间的规律及定律。也就是说, 认为自然科学的目的就在于认识自然和增进知识。而技术科学则是研究“人造物”构成的原理与方法的科学, 即利用已知的自然科学规律与理论来研究“人造物”的构成方法及原理的科学。但是, 将科学和技术截然分开又是不可能的。对智能工程模拟技术的研究绝对离不开对人类智能的彻底了解。我们在这里所讲的, 也只是总的研究侧重而已。

用机器来模拟运行人类所具有的智能, 是人们长期以来一个迫切愿望。几乎就在第一台电子计算机问世的同时, 人们就已经在开始研究“机器思维(Machine thinking)”的问题了。智能工程模拟或人工智能学科要研究的问题包括: 可否用计算机或其他自动化设备来模拟人的智能行为, 包括识别和思维等? 怎样才能利用机器来模仿人脑所从事的推理、规划、设计、思考、学习等思维活动, 特别是解决那些必需由人类“心智”或“专家”才能处理好的复杂问题? 等等。若简单一点说, 也可认为智能模拟和工程化技术就是研究如何用机器(计算机)来模拟执行人类的智能活动, 其目标则是希望能利用各种自动化设备或智能机器, 模仿、延伸和拓展人的智能, 以实现某种仿人的“机器思维”或脑力劳动的自动化等, 制造出智能系统或“机器人”, 最终达到“人-机共进共存”或更高级的“硅基智能”。

人工智能或智能工程模拟技术的研究肯定是以我们对人类智能的研究成果为基础的, 但又不完全依赖于我们对人类智能的机理研究。因而, 尽管至今我们对“人为什么会具有心智? 人类智能行

为的微观运行机制究竟是什么？”等问题尚未完全明了，但这并不妨碍我们现在就尽我们的努力去用机器来替代人的部分脑力劳动，去努力发展各类智能技术等。

经过众多学者数十年的共同努力，在智能工程模拟技术领域，我们已经取得了许多理论成果，也取得了许多应用结果。可以说，智能工程模拟已经取得了很大的进展和成功。比如，在智能工程模拟的理论方面，有以 McCarthy 和 Nilsson 等为代表的**逻辑主义学派**，他们主张基于逻辑（思维）的方法来研究智能的工程化问题，即主张用形式化的方法来描述客观世界，并希望以此为基础在计算机上模拟运行。逻辑主义学派在人工智能研究中强调的是概念化知识表示、模型论语义和演绎推理等，他们的智能模拟的思路是“自上而下”式的。他们认为，人类的思维活动可以通过一些公式和规则来定义，通过把人类的思维方式翻译成程序语言输入“机器”，就能使机器也产生出像人类一样的思维能力。这一理论指导了早期人工智能的研究。而其随后所提出和实现的“专家系统”，也是人工智能试图走向应用的一种尝试，并最终形成了“**知识工程**”的核心领域，成为了早期知识经济的先声。

在智能工程模拟的理论方面，还有 Newell 和 Simon 等所提出的“**物理符号系统假设**”。他们认为，任何一个系统，如果它能表现出智能，它必定能执行下述 6 种功能：① 输入符号；② 输出符号；③ 存储符号；④ 复制符号；⑤ 建立符号结构；⑥ 条件性转移。反之，任何系统，如果具有上面所述 6 种功能，它也就表现出智能。他们认为，物理符号系统假设是实现智能行为的必要而充分的条件。这样，我们就可以把任何一个满足上述条件的信息加工系统都看成是一个具体的物理符号系统，例如人的神经系统和计算机的程序系统等。目前，有大量的人工智能研究，都是在这个假设的推动下进行的，并形成了所谓认知和智能模拟理论中的**符号主义理论**。

人工神经网络理论则是人们试图从生理层面上来模拟人类思维和智能的另外一种尝试。它构成了智能模拟中的**联接主义模式**。从当今的研究来看，现有的人工神经网络，本质上就是一个“**万能**”的非线性映射“**转换器**”。当用它进行信息处理时，这种以简单的类似于人类神经元的“**计算单元**”通过高度相互连接而构成的“**计算网络**”，尽管没有通常的算法或传统智能系统中的规则，却可以通过多层网络的不同联结来实现所要求的非线性映射。它在**模式识别**以及**经验学习**等方面已经显示出了无比的优越性，更在深度学习、自然语言理解和人-机对话等领域显示出了广阔的前景。人工神经网络理论试图用网络系统经验学习的方法来解决人工智能领域中知识表示和知识获取的难题，有一定的积极意义。不过，现有的神经网络系统，在处理一些“**简单问题**”时还比较有效，一旦问题比较复杂时，其训练集应如何设计以及系统能否快速收敛，就又是一个问题了。还好，这些问题现在已经有了一些突破性进展。

若我们将基于逻辑主义和符号主义的模拟方法类比为是对人类抽象思维的模拟，则基于联接主义的模拟方法就有点类似于对人类形象思维的模拟了。其实，人类在处理问题时，常常是抽象思维和形象思维两种思维方式混合使用。也许将联接主义的模拟方法与符号主义的模拟方法相融合，才是智能工程模拟当前最正确的发展方向。我们在《**模糊逻辑与神经网络—理论与探索**》一书中，一直坚持这一观点。

经过众多学者和专家半个多世纪的共同努力，应该肯定地说，有关智能工程模拟的研究已经取得了令人瞩目的成绩，智能技术研究所取得的成就也是有目共睹的。有很多在过去只有“人”才能做的事情，今天，用“机器”都可以实现了，例如，语音识别、故障诊断、印刷体汉字识别、机器翻译、人机对话，以及能在可变环境中工作的自适应系统（如自动驾驶）等等，这些都是智能技术

了不起的成就。尽管这些系统现在在某些方面还远远不如“人”，但在另外一些方面却又大大超过了“人”。当然，我们也应充分认识到，我们今天所掌握的智能技术的局限性，即以符号主义为基础的“人工智能技术”和以联接主义为基础的“神经网络技术”的局限性，若对其做不适当地过分夸大，也是不恰当的。因为就现有的成果而言，我们对智能模拟技术的研究，无论是在理论研究方面还是在实际应用方面，都还与人们对它们的期望相差很远。要实现对人类智能本身以及智能模拟和工程化方法的透彻的研究和认识，我们还有一段非常漫长而艰巨的路要走。对人类智能产生机理的研究和对高级智能工程化技术的研究，都还“任重而道远”。而要实现从“弱人工智能”到“强人工智能”甚至“超人工智能”的飞跃，我们就必须要搞懂它们才行。

0.1.2.3 对现有智能研究的反思和对智能科学学科建立的期待

不管是对智能产生机理的研究还是对智能工程化技术的研究，目前都遇到了不少的困难，出现了进一步突破的难度。比如，前些年曾有过一种说法，认为，现在的“专家系统不专家，智能系统无智能”，智能的模拟和工程化研究已处于了“山穷水尽已无路”的境地。这种说法尽管有些夸张和扭曲，但也道出了智能研究进一步发展的一种困境。那么，对智能的研究如何才能走出“山重水复疑无路”困境，如何才能开拓出“柳暗花明又一村”的途径呢？我们认为，**智能科学学科的建立和系统性地深入研究**，无疑是一个值得期待的发展方向。一是人类科学技术的发展，正呼唤着新的认知和智能理论的建立，也呼唤着智能科学学科的建立；二是对现有智能研究的反思，也正激发着人们对智能科学深入而系统研究的期待，加速着智能科学学科的诞生。

在当代智能、智能系统和智能工程模拟研究的发展进程中，人们曾经有过多次的反思。比如，上世纪中期从“感知机”而引发的对“计算智能”的反思，上世纪末对**基于符号主义的智能工程模拟技术**的反思和对**单一智能模拟研究方法**的反思等等。这些反思，都在一定程度上促进了当时的智能和智能工程模拟研究的发展。再比如，基于神经科学所提出的神经达尔文主义理论，也曾引发了一场以 Simon 教授为代表的“**传统认知理论**”和以 Clancey 教授为代表的“**现场认知理论**”之间的一场辩论，那场辩论曾给传统的认知理论带来了冲击，其结果是，人们对基于符号主义的智能模拟理论有了更深的认识，而“现场认知理论”也引发了不少人的兴趣与深入研究。

如今，人们对智能模拟和工程化的研究困境也在进行深入的思考。这些思考已涉及到对智能研究的一系列根本性问题。比如：① “知识”与“概念”是否“智能”的核心？② “认知能力”能否与其“载体”分开？③ “认知的轨迹”是否可用“类自然语言”来描述？④ “学习能力”能否与“认知”分开来研究？⑤ 所有的“认知”是否有一种“统一的结构”？等等。这些反思和思考，肯定会在一定程度上使我们对智能的研究获得新的认知。

由于对智能产生机理的研究会涉及到对“**大脑运行机理**”的揭示和对“**意识的产生**”等一系列十分复杂问题的求解；人们已经开始意识到，对智能的机理研究，应该而且必须从多个方面和多个层面入手：一方面是深入研究人脑的运行机制，走神经科学和脑科学等学科的研究道路；另一方面是进行人脑的认知机理研究，走心理科学、认知科学、思维科学和人工智能等学科的研究路线。如果说脑科学与神经科学等学科的研究能使我们认知智能产生的奥秘；那么，认知科学和思维科学等学科的研究将能使我们明白智能神秘的演化机制。若从揭示奥秘的角度来看，沿第一条道路进行探索研究应该是最根本的；但是，这条路还很长，恐怕一时还很难取得突破。而从实用的角度来考虑，研究智能问题，采用心理科学、认知科学、思维科学和人工智能等学科的研究策略，也是很有必要的。但是，要真正实现对智能研究的突破，不采用多个学科有机结合和综合研究的方式，恐怕都很

难取得更进一步的突破。并且，这种综合不应是机械的综合，而应是有机的综合。只有在一个统一的“框架”下，将与智能科学相关的各门学科的研究成果集成起来，将智能模拟和工程化研究中的各种不同类型的模型和方法综合起来，共同研究和探索智能科学研究中的新概念、新理论和新方法，我们才有可能在 21 世纪走出智能科学研究的困境，实现智能科学和技术的再度辉煌。

由反思而引发的对新的智能科学研究的呼唤还在于，有不少人已经意识到，现有的智能科学研究方法存在着严重的缺陷。其中的一个致命缺陷就是：**分割分析**。包括主观与客观的分割分析；形式、内容与价值的分割分析；局部与整体的分割分析；等等。现有的研究，多是分别从某个孤立的侧面探讨了智能（行为）产生和发展的若干规律；由于没有一个统一的“架构”，因而也就很难从根本上触及到智能产生和发展的核心规律。比如，现在在智能模拟和工程化研究领域，还是符号主义、联接主义和行为主义方法三足鼎立的局面，而将功能主义方法、结构主义方法和生态主义方法统一起来，或许才是智能模拟和工程化研究的一个必然的发展趋势和根本途径。因为人类的思维活动，原本就是建筑在一个统一的平台之上的。但如何将它们完美统一，这却是一个很值得我们去认真考虑的问题。

目前，智能研究正在发生一些明显的变化。比如，生命科学、基因工程和生物信息学的研究和发育，正为揭示人类心智奥秘的研究开拓出一片新的天地。其中，**生物信息学**主要是一门研究生命中物质的组成、进化、结构以及功能产生（涌现）的基本理论，以及这些物质在生命体中能量和信息的交换和传递的机制的学科。该学科主要是以计算机和生物电子设备为工具，对生物信息进行提取、储存、加工和分析，进而用信息理论和技术以及生物数学的方法去理解和阐述生物大分子的存在和生命价值，并最终对它们进行各种处理与应用。它们对智能研究的突破，也许将会有重大的现实意义。再比如，目前，对智能的研究方法也正在发生转变，有一种从**基于“分割分析”的“还原论”方法**向**基于“分析和综合”的“整体论”方法**转变的趋势；对智能模拟和工程化的研究，也已有“三分归一”的呼吁和实际操作；对智能系统运行机理的研究，也提出了诸如**“信息-知识-能力-行为”的转化机制理论**等。就是在认知科学的研究中，目前，一些起主导作用的概念和认知也已经发生了一些有积极意义的变化，它们既已构成了对传统认知观点的挑战，也导致了一些有意义的拓展。举例来说，“物理符号系统”假设的提出，曾解释了人类认知活动中的许多现象，并以此为基础发展了许多类型的知识系统，形成了“知识工程”等研究领域。但也有一些学者认为，“物理符号系统”假设并未能正确解释人类的认知；人类真实的认知方式并不完全像计算机的中央处理器那样操作，而是运用了一种能同时协调**“感知-动作”**的机制：**人类智能行为大多是“感知-动作”机制多重循环的结果，而不是深思熟虑的推理和决策**；学习也不只是一个“存储新程序”的过程，而是一种能同时协调“感知-动作”的辩证机制；这种“感知-动作”的神经结构和神经过程是在实践中逐步形成的，是通过人脑各神经单元之间的不断激活、竞争选择和重新组合而得到的，是一种自组织的机制和过程，是一种**“学习-进化”**的过程。再比如，一些主张认知模拟的研究人员认为，对于智能的工程模拟研究，应该注重从系统的角度来考虑，而不仅仅只是注重于表达

（Representation）和推理（Reasoning）。他们特别突出了**智能体与环境互相进行作用**的重要性。他们认为，是**环境（及问题）的复杂程度决定了系统的复杂性**，并形成了**“现场人工智能”**

（Situated AI）的新提法，认为**智能本质上就是人或智能体与环境进行动态交互的结果**。按照其现场认知（Situated Cognition）的说法，人与周围环境的相互作用极为重要，人的行为模式主要是人的内部神经的相互作用，以及人与人之间、人与周围环境之间的相互作用；只有当外部的信息

与内部的信息交融在一起时，才能产生智能行为。不过，我们认为，上述的变革目前还都只是局部性的。对智能研究的根本性的变革，还有待于一个统一的集成的智能科学与技术学科的建立与发展，还有待于我们对智能的更深入、更系统地认知和研究。

智能研究的更进一步发展之所以迫切需要一个统一的智能科学学科的建立，是因为学科的发展有其一定的发展规律。它既需要分解式的分析，也需要系统性的整合。由于“人”作为一个典型的“智能系统”，既是一个有着复杂生理活动的生命系统，又是一个有着复杂心理意识活动的信息系统，更是一个与自然和社会有着复杂交互关系的智能行为系统；因此，对人类智能的研究，需要也必须从生理层面、心理层面、行为层面、信息层面、系统层面、工程技术层面和社会层面等多个层面来进行研究。若不如此，就不能深入而全面地探求智能的奥秘。但是，分层面研究后的成果，需要有一个整合的平台；不如此，也就不可能对人类智能有彻底的了解。现在，已经是建立这一整合平台的时候了。

科学在 20 世纪的发展曾有两条主线：一条是以物理科学为代表的，如相对论、量子力学以及后来的混沌理论等；另一条则是以包括认知科学在内的“意向性科学”（Intentional sciences）为代表的主线。所谓意向性科学指的是涉及到符号、指称和解释的科学，如逻辑学、认知科学、神经科学以及计算机科学等。20 世纪是个伟大的世纪，以物理学为代表的科学取得了前所未有的成就，在探索宇观世界和微观世界的过程中，物理学将人类认知和理解的水平已经提高到一个崭新境界。但是，与此同时，在介于宇观世界和微观世界的宏观世界，在涉及人类自身的内在世界，却遗留下了大量的尚未解决的科学难题。在新的世纪中，科学需要进行“深入地”研究，需要深入研究以解决我们所实际面临的种种困难问题。全面发展物质科学、生命科学和智能科学，全面提高人类的认知能力和创新能力，努力探索解决物质结构及本源之谜、生命起源之谜、心智涌现之谜、思维创新之谜的方法和途径，无疑将是 21 世纪科学发展的方向和重大的科技前沿。为此，我们认为，在 21 世纪，科学研究的背景将会逐渐转换到这些新的作业层面上来，而以“意向性科学”为主要内容的探究路线，必将成为未来科学研究的最重要的进路。

心理科学一直力图使用科学的方法来对人类个体的行为和心理过程进行研究。力图在适宜的水平上来客观地描述人类的行为，解释产生人类特定行为的原因，预测行为可能会在何时发生，以及研究如何控制人类的行为以改进生活的质量等。早期的心理学家认为，人的心理过程是由“决定论原则”所支配的——心理和机体的活动由特定的原因决定。其中，结构主义心理学主要关注心理的内容以及行为的结构；机能主义心理学主要关注于行为的机能。而当代心理学则混合了多种观点：生物的观点主要希望研究人类行为与脑机制之间的关系；心理动力学的观点则把行为看作是由意识和无意识动机驱动的；行为主义的观点认为，行为是由外部刺激条件决定的；人本主义的观点则强调，个体内在的需求才是个体成长的动力；认知的观点强调影响行为的心理过程；进化的观点则把行为看作是在环境中为生存而进化出的适应性；文化的观点则希望在“特定文化背景”中来探索行为的含义等。

脑与神经科学的认知研究则体现了人类试图理解脑与行为关系这一古老问题的现代成果。脑与神经科学力图利用各种方法来探索人脑的奥秘：他们既研究脑损伤病人，也在动物的特殊脑区制造一定的损伤；他们既希望通过刺激脑中特定的部位，以记录脑的特定活动，也希望通过记录人在工作时的影像来研究人脑的生物活动。人脑由大脑、小脑、脑干和边缘系统构成。研究已确认，脑干主要是维持基本生命功能，如呼吸、心率和消化等；小脑主要协调身体运动并影响一些类型的学习

过程；边缘系统在动机、情绪和记忆活动中有重要作用；而大脑则负责语言、认知和思维等高级过程。因而，对脑的研究主要应是对大脑的功能和结构的研究，特别是对人类认知的脑机理的研究等。

毫无疑问，对人类认知机理的研究，既需要生理层面的研究，也需要心理层面的研究，这无疑也是**认知科学**的主要任务。诺尔曼曾为认知科学提出了12个主题：(1) **信念系统 (Belief systems)**；(2) **意识 (Consciousness)**；(3) **成长 (Development)**；(4) **感情 (Emotion)**；(5) **相互作用 (Interaction)**；(6) **语言 (Language)**；(7) **学习 (Learning)**；(8) **记忆 (Memory)**；(9) **知觉 (Perception)**；(10) **行为实践 (Performance)**；(11) **技能 (Skill)**；(12) **思考 (Thought)**。这些，无疑从一个侧面体现了认知科学的研究方向。其中，对**意识**的研究也许是最艰难的。有人提出，对意识可以在三个水平上进行介定：一种是对内部和外部世界的觉知与控制，一种是反映那种觉知和控制的能力，以及将“自我”作为被觉知和反映的那种个体的感觉。在当前的研究中，心理学家常使用出声思维报告和**经验抽样**等技术来研究有意识思维的内容，这些意识研究无疑是有助于理解认知和思维的。但要研究意识的产生机理和功能，研究者还需要探索有意识和无意识之间的关系与机理。我们知道，许多像呼吸这样的机体活动，通常是无意识的，人在前意识的记忆中也加工大量信息——只在有需要时才把这些信息带进意识中。在没有意识去注意的环境刺激中，无意识注意的信息也是大量的。如今，尽管Freud等已将无意识与被压抑的记忆联系在了一起，但当代的意识研究还需要更多的关于意识的机理。**只有当人类可以把握意识，并能够自由运用意识来创造的时候，那也许才是人类能够与无所不知的“上帝”自由交谈的时候。**

综上所述，我们认为，有关智能的研究尽管已经取得了很多成果。但是，由于智能问题的复杂性，人类的智能行为至今仍有大量未解之谜。就像对生命科学中生物所具有的生命现象我们至今还知之甚少一样，对人类智能这一科学难题，还有大量的奥秘仍有待于我们去深入探索。种种迹象已经表明，智能科学学科的形成与发展，已是智能研究的一个必然的发展趋势。它既是对已有智能研究成果的综合集成，也是对智能进行更深入研究的良好契机。我们期待着这一统一学科的形成，并希望以此为契机，开创出对智能进行深入而系统研究的新局面。

0.2 智能科学的基本构架及其研究和探索的主要内容

尽管建立智能科学 (Intelligentics) 这一综合学科，是许多专家和学者的热切期盼，也是形势发展的迫切要求。但是，由于智能科学是一门正在发展中的综合性学科，对智能科学的学科体系、研究内容、研究方法和理论架构等应该如何考虑，至今我们还没有看到一个统一的提法。

0.2.1 对智能科学基本架构的一些设想和建议

对智能科学的学科体系究竟应该如何构架，应该说目前大家的看法还不太一致，认识还存在一定差异。并且，人们现在所提出的，大多还仅仅是一些初步的设想和建议。

比如，史忠植等人认为，**智能科学要研究智能的基本理论和工程模拟技术**，它应是由脑科学、认知科学和人工智能等学科构成的一个交叉学科。其中，脑科学要从分子水平、细胞水平、行为水平上来研究人脑的智能机理，建立脑模型，揭示人脑的本质；认知科学要研究人类感知、学习、记忆、思维、意识等人脑心智活动的过程；人工智能则研究如何用人工的方法和技术，来模仿、延伸和扩展人的智能，实现机器智能。

再比如，涂序彦等人提出，智能科学的初步构架应为：

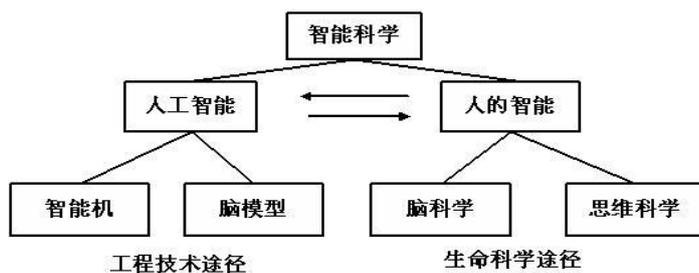


图 0.2.1 智能科学基本构架 (涂序彦)

若更进一步考虑，则智能科学的主要构架应为：

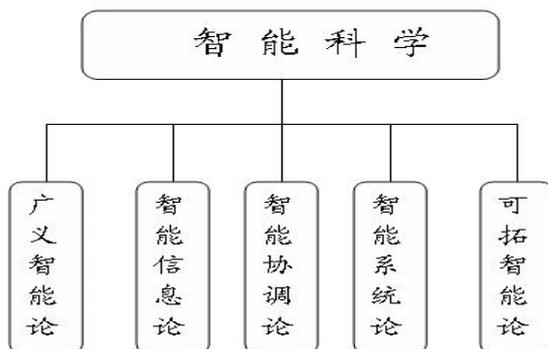


图 0.2.2 智能科学基本构架 (涂序彦)

其中，“广义智能论”要研究智能的普存性、层次性、群体性，可包括下列分支：智能普存论、智能层次论、智能群体论等；“智能信息论”要研究多层次、多维度、多模式的智能信息的获取、传输、变换、处理和利用的理论和方法，可分为下列分支：多层信息论、多维信息论、多模信息论等；“智能协调论”要研究人-人协调、人-机协调、机-机协调，以及导引协调、全息协调、循环协调的理论和方法，可分为下列分支：人智协调论、人-机协调论、机智协调论、“协调学”与“协调化”等；“智能系统论”应研究感知智能系统、思维智能系统、行为智能系统的建模、分析与综合的理论和方法，可分为下列分支：感知系统论、思维系统论、行为系统论等；“可拓智能论”则研究人的智能、机器智能的产生、测度、进化的机理和方法，可包括下列分支：智能产生论、智能测度论、智能进化论等。

钟义信等人则认为，智能科学应是“知行学”，这一知行学的研究应该包括：知行学、知行律、知行论、知行机与知行网等。



图 0.2.3 智能科学基本构架 (钟义信)

亦即，智能科学，从理论上，应研究“知行学”这一认知与行事的统一理论，其中重点是：信息-知识-智能-情感-行为的转换规律和具有现代方法论特色的原创科学理论；从研究体系上考虑，在基础研究方面，要研究知行律，包括：脑的信息处理、思维-认知科学、脑与认知科学机理等；在本体研究方面，要研究知行论，即研究信息-知识-智能转换的机制与算法；在应用研究方面，要

研究知行机与知行网等。在这里，所说的知行机要有感觉，有意识，有知识，有情感，有智能；会说话，会做事，能交往，善合作。而所说的知行网则是一种新一代的通用社会生产工具。

0.2.2 本书对智能科学基本架构的一些考虑

我们认为，上述的提法都是一些不错的建议，很值得我们认真考虑。若按照我们的理解，现在绝大多数人实际上是希望把“智能科学”看作是所有与智能科学和智能技术研究密切相关的一类科学和技术的总称，人们目前能普遍接收的一种提法就是“智能科学与技术”。但是，如果按照严格的定义，智能科学和智能技术应该是有所不同的，其研究也应该是有分工的。**智能科学应是研究智能（现象）的本质，研究智能（行为）产生的机制与运行机理的科学。**若从学科体系上考虑，在现阶段，我们不妨采用下述的学科体系架构。

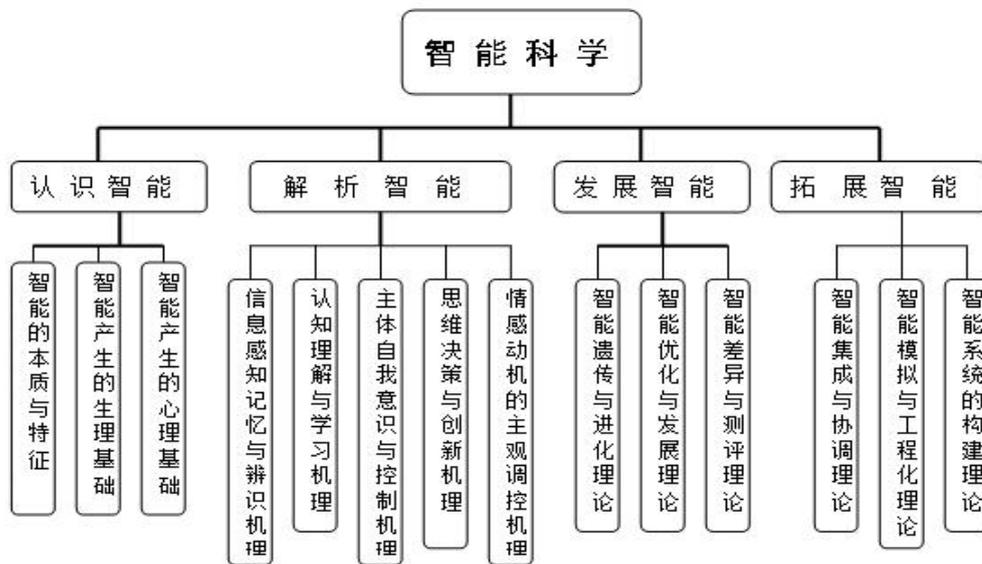


图 0.2.4 智能科学基本构架

在上述的学科体系架构中，我们是把**智能科学**看作是对**智能和智能系统的基础理论研究**。智能科学的研究对象无疑是智能和智能系统。而这里所说的智能，主要是指人类智能，它本质上应是一类基于人类个体智能的群体智能、集体智能或社会智能；而其基础则是可被看作是“独立智能主体”的“人”的个体智能；人工智能或机器智能则是人类智能的模拟、拓展或延伸。对智能和智能系统的研究，主要就是要“**认知智能、解析智能、发展智能和拓展智能**”。而其相应的研究内容则应有：**认知智能**——研究智能的本质与产生机理，研究智能的外部宏观表现与其内在的微观运行机制等，从生理层面、心理层面、行为层面和社会层面对智能进行深入探索，包括脑和神经科学、认知科学与认知神经科学的研究等；**解析智能**——研究和解析智能主体或智能系统的各种智能行为，如感觉、知觉、记忆、学习、思维、自然语言理解与使用、创新，乃至意识和情感等，研究和解析它们产生的生理基础和心理基础，研究它们运行的机制和产生的机理等；**发展智能**——研究智能的遗传与进化理论、差异与测评理论、继承和发展理论，包括人类智能的社会继承与发展以及人类个体智能的提高与优化等；**拓展智能**——研究智能的集成与拓展理论，包括智能的社会集成理论、智能的模拟和工程化理论以及智能的人-机融合理论等；也包括人工智能系统以及人-机智能融合系统的构建及应用研究等。也可以认为，智能科学主要包括对智能的基础理论研究和对智能系统的基础研究两个

方面。其中，**智能基础理论**主要是从生理层面、心理层面、行为层面、信息层面和社会层面等来研究人类智能的本质，探索其宏观运行规律和微观运行机制，以揭示出其产生、进化和发展的基本规律和基本理论，其研究可包括：关于智能的本质与产生基础的研究、关于智能产生的生理和心理机理与运行规律的研究、关于人类个体智能的差异与测度的研究、关于智能的继承与发展的理论研究、关于智能的拓展与工程模拟理论的研究、关于智能的协同与集成理论的研究等。**智能系统理论**则是以各类智能系统为主要研究对象。它要研究各类智能系统的构成和运行机制，揭示各类智能系统可产生智能行为的机理，还要研究如何构建各类智能系统以提高人类的整体智能水平等。由于在现实存在着三类不同的智能系统：**（个体）生物智能系统、社会（组织）智能系统和非生物（机器或人-机混合）智能系统**，因此，智能系统理论需要分别来研究它们。其研究可包括：生物智能系统理论、社会智能系统理论、人工智能系统理论和人-机“和谐共处”融合智能系统等。而与整个研究相关的学科则至少应包括：

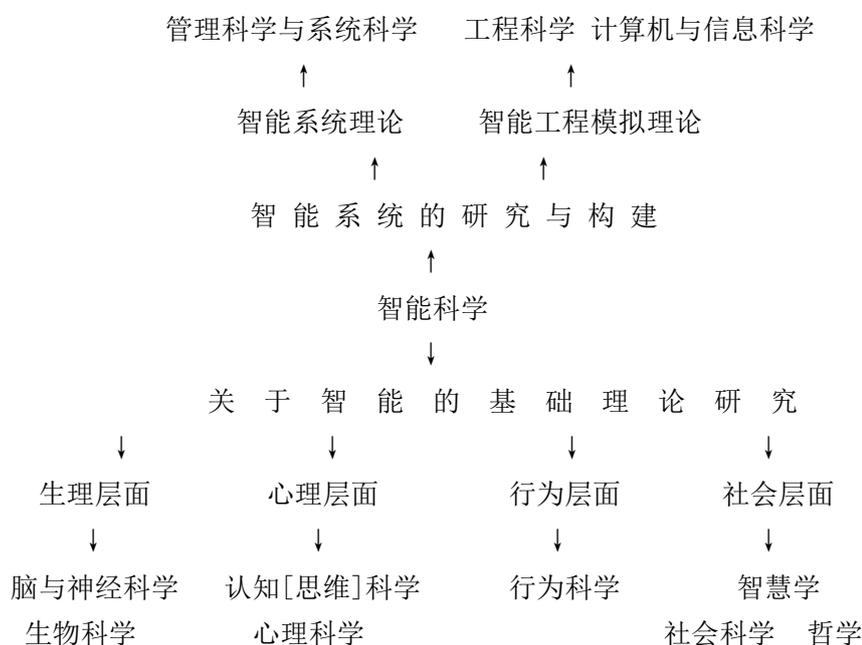


图 0.2.5 智能科学的学科基础

0.2.3 智能科学要研究和探索的一些主要方向和内容

如上所述，我们认为，未来的智能科学，不管其学科体系如何构建，其研究对象必定是智能和智能系统，包括生物智能、社会智能和机器智能，以及生物智能系统、社会智能系统、人工智能系统和人-机综合集成智能系统等。但其核心应是**人类智能**。而对人类智能进行宏观层面的运行机制研究和微观层面的运行机理探索，则应是其最主要的研究内容；要研究它的本质、产生机理与运行机制等。当然，我们认识世界的目的主要是为了能动地改造世界。智能科学除了要对智能和智能系统进行深入的理论研究和探索外，还应考虑在对智能和智能系统进行充分认知的基础上如何开发及优化人类的智能以及如何构建各类智能系统并努力提高其智能水平。如果按照我们提出的构架来考虑，则智能科学要研究的内容至少应包括：对智能特别是人类智能所进行的各种理论研究和探索、对各类智能系统所进行的深入研究和分析、以及如何将各类研究成果转化为构建各类智能系统的应

用研究等。智能科学的研究，就是要让我们**认知和解析智能、发展智能和拓展智能**。

0.2.3.1 认知与解析智能—关于智能产生与发展的基础理论研究

研究智能首先要**认知和解析智能**。这包括对智能的本质和智能产生（生成）和发展（演化）的心理机制的认知，对智能产生（生成）和发展（演化）的生理结构和运行机理的认知，对特定智能行为（如感觉、知觉、记忆、学习、思维、自然语言理解与运用、创新，乃至意识和情感行为等）的宏观表现与微观产生机理的认知等。它将包括认知心理学与认知神经科学大部分的研究内容，其研究成果或将形成关于智能产生（生成）与发展（演化）的基础理论或认知理论或智能解析理论。

研究人的智能、动物的智能以及机器的智能的基础理论在国外被称为**认知科学**(cognitive science)，认为认知科学是认知心理学、人工智能、脑科学和计算机科学等众多学科交叉的新兴研究领域。但我们认为，人类智能的产生与发展不仅与认知有关，还与人的动机、目的、情感及意志等有关，应是人的心理素质、认知水平和价值观等的综合体现。单纯的认知研究并不能反映人类智能行为的全貌。更何况，智能不仅是一种生理现象和心理现象，还是一种社会现象和系统现象。智能作为一种系统功能，不仅与智能体本身的功能结构有关，也与问题情境和社会评价有关。因此，**认知科学并不是智能科学的全部**，对智能产生机制和发展规律的研究，应该从生理层面、心理层面、行为层面、信息层面、系统层面、社会层面和工程层面等多个层面来进行探索，从信息、计算、系统、控制、知识和认知[思维]等多个角度来进行解析。但是，认知能力确实是智能的最核心的功能和能力，认知理论也确实是智能基础理论的核心部分。我们认识智能，即认识智能的信息加工的本质和机制，最重要的就是要认识人类认知心理活动的本质和运行机制，认知理论肯定是智能科学基础理论中最核心的部分。

钱学森院士曾主张将思维科学作为智能研究的基础。我们认为，思维确实是智能行为产生的核心和基础，但作为智能科学的基础理论，思维科学似乎还应包括更多的内容。我们主张智能应是对人的智力和能力的“综合”考虑，智能的基础理论应是关于“人的智力和能力”的基础理论。尽管关于智力的研究是侧重于从人类个体的心理层面和生理层面来解析智能产生的基础，关于能力的研究则是侧重于从行为主体的心理层面、行为层面和社会层面来认知智能的表现和功能；而作为智能科学的基础理论，则应是对人类智力和能力产生和运行机理的生理层面、心理层面、行为层面、社会层面和系统层面的综合性研究。

不少专家认为，在 21 世纪，智能科学的研究将会取得突破性的进展，特别是在智能的基础理论研究方面。智能的基础理论研究将会认知人类智能的本质，揭示出人类智能产生的奥秘，发现人类智能产生与发展的规律等。对于智能基础理论需要研究的具体内容，国内外学者目前已提出不少看法和建议。参考这些看法和建议，我们认为，对智能基础理论的研究，至少应该包括以下几个方面：

(1) **关于人类智能的本质及其内在结构的研究**。什么是人类智能的本质？它的基本特征是什么？它是否存在一定的内在结构？应该如何准确表达其内在结构？这应是智能研究首先要解决的一个基本问题。

(2) **关于人类智能产生的生理与心理基础及其运行机制的研究**。智能是如何产生或涌现的？它的宏观运行机制和微观运行机理之间，在生理层面和心理层面上各是如何对应的？这无疑是智能科学研究中一个最富挑战性的重大前沿问题。智能研究在这方面的突破，将使人们对智能本质的认识，对人类智能的开发（优化）与提高，对智能的功能模拟和工程化等，都将产生重大影响。还有，按

照现有的观点，智能是一种对“信息进行加工”的能力，那么，这种加工在生理层面和心理层面各是如何进行的？它又是如何实现了人类将信息转化为知识，又将知识转化为产生智能行为的能力的？等等，这都应是智能基础研究需要考虑的内容。

在上述基础理论研究中，对智能产生机理与运行机制的研究也许是最基本的和最艰难的。人类智能的产生有其生理基础和心理基础，因而，对人类智能产生机理的研究也就包括了对其运行的生理机制的研究和对其产生的心理机制的研究两个重要方面。

对人类智能的心理层面的研究，根据一些学者的建议，目前，其研究可以有以下一些具体的方向和内容：

(1) **对脑的感知过程和知觉表达的研究**。感知和觉知无疑是人类具有智能的重要基础。对脑的感知过程和知觉信息的表达研究应是智能产生机制研究的一个重要组成部分，也是研究其它各个层面认知过程的起点。感知和觉知过程是如何进行的？外在物理世界的哪些变量才具有心理学的感知和知觉意义？人类是如何对它们进行“加工”的？这些问题无疑都需要深入研究。

(2) **对学习过程中的信息处理、感性认识与理性认识的相互关系的研究**。智能的形成和提高都离不开学习。学习是人类最基本的认知活动，是一个经验与知识的积累过程，也是一个通过对外部事物前后关联地把握和理解来改善主体行为的性能的过程。揭示学习的生理和心理机制，理解感性认识与理性认识的相互关系，也应是智能产生机制研究的一项主要内容。按照现有的说法，学习有感知学习、认知学习、内省学习和内隐学习等。其中，**感知学习**是发生在感知水平上的学习，特别是通过视觉和听觉的学习。那么，人究竟是如何从低级的传感器（感官）所输入的原始数据中提取出相关的抽象信息的？又如何实现了从非结构化或半结构化的信息到结构化信息的变换的？还有，在感知和学习过程中，注意机制与元认知是如何形成和发挥作用的？等等，都应是我们应该研究的问题。**认知学习**是发生在认知水平上的学习。现有认知学习理论认为，在人的行为背后都有一个相应的思维过程，行为的变化是可观察的，并且通过行为的变化是可以推断出学习者的内心活动的。在对认知学习的研究中，已有 Ausubel 等所提出的**有意义学习理论（又称同化理论）**——认为获得新信息主要取决于认知结构中已有的有关观念，学习要通过新信息与学习者认知结构中已有的概念相互作用才得以发生，并由于这种相互作用的结果而导致了新旧知识意义上的同化；也有 Gagne 等所提出的**信息加工学习理论**——它是将学习过程类比成了计算机的信息加工过程，认为学习结构由感受登记器、短时记忆、长时记忆、控制器、输出系统等组成，认知过程则可分为选择性接收、监控、调节、复述、重构等；在这个信息加工过程中，关键是**执行控制和期望**；执行控制是指已有的学习经验对当前学习过程的影响，而期望则是指动机系统对学习过程的影响；整个学习过程都是在这两个部分的作用下进行的。不过，上述理论对认知学习的研究还都是初步的，要深入了解人类的认知学习，还有待我们进一步地努力。**内省学习**是人的一种自我反思、自我观察、自我认识的学习过程，是一个“感悟”过程；而**内隐学习**则是一种无意识获得刺激环境复杂知识的过程。内隐学习理论认为，在内隐学习中，人们并没有意识到或者可陈述出控制他们行为的规则是什么，但却学会了这种规则。故其进一步认为：① 内隐知识能自动地产生，无需有意识地去发现任务操作的外显规则；② 内隐学习具有概括性，很容易概括到不同的符号集合；③ 内隐学习具有无意识性，因而内隐获得的知识一般不能用语言系统表达出来。现在，内隐学习已是学习和认知心理领域一个令人关注的课题，也可能是一个将对认知心理学的发展产生深远影响的重要课题，很值得我们去深入研究。

(3) **对思维的本质与运行机制的研究。**智能离不开思维。因为思维本质上是具有意识的人类大脑对于客观现实的本质属性和内部规律性的自觉的、间接的和概括的反映。**智能与思维应是密不可分。**研究智能离不开对思维的研究。尽管对思维的研究已经有了“思维科学”的一大批成果,但是,现有的研究都还有待深入。比如,对“不同类型的思维的运行机理究竟有何不同?”“思维究竟是如何综合运用各种思维方式进行信息加工的?”“人的感知和知识如何在思维过程中发挥作用?”等问题,还都有待我们深入探索。通过研究人脑中不同层次的思维过程,找出其运行的机理、规律和方法,建立其功能模型,也能为人工智能系统的开发提供必要的帮助。

(4) **对语言加工的认知机制的研究。**语言是人类进行思想交流的工具,是思维的窗口。语言也是一个以语音为外壳、以词汇为材料、以语法为规则而构成的体系,是最复杂、最有系统而且应用又最广的符号系统。语言包括口语和文字。口语的表现形式为声音,文字的表现形式为形象。语言符号不仅表示具体的事物、状态或动作,而且也表示抽象的概念。而概念是反映事物的特有属性的思维形态,它与语词有密切的联系。语词所以能够表示事物,就在于人们头脑中有相应的概念。所以,一般认为,**语词是概念的语言形式,概念是语词的思想内容。**语言的产生曾在人类的进步和发展过程发挥了巨大作用。理解和使用语言是人类特有的功能,也是人类心理和思维表达的基本途径。有人认为,从神经、认知和计算三个层次上来研究语言,也许是我们开启智能之门的一个极好的途径。语言的中枢表象是什么?语言加工的认知和脑机制是什么?这都是我们应该探索的问题。比如,有研究认为,在人类进化的过程中,语言的使用已使大脑两半球的功能发生了分化,语言半球的出现使人类明显有别于其他灵长类动物,人脑的左半球同串行的、时序的、逻辑分析的信息处理有关,而右半球同并行的、形象的、非时序的信息处理有关。事实是否真是这样?人类大脑处理语言信息的详细机制究竟是怎样的?这还有待我们深入研究。目前,我们对大脑的语言加工机制还知之甚少,就整体而言,语言信息的智能处理还存在许多悬而未决的问题。我们认为,对人脑语言加工机制的研究必须要以认知科学的研究成果为基础,并且需要有新的理论为指导,才有可能取得突破性的进展。

(5) **对人类意识问题的研究。**人类的智能行为大多是一类“有意识”的行为。人类智能的产生绝对离不开人的意识。而人的意识(心智)也许是人类最大的奥秘和自然进化的最高的成就之一。一般认为,它是人脑对外部世界和自身心理、生理活动等的觉知和控制,也是“人”这一“智能体”或“智能系统”的控制中枢。尽管自从现代心理学建立以来,意识(心智)就成为了心理学的研究对象,对意识(心智)的研究目前也已有可喜的进展[比如,诺贝尔奖获得者 Crick 等关于意识的惊人假设(认为意识所涉及的是注意和短时记忆相结合的神经机制,可以用科学的方法去研究)和通过视觉注意和短时记忆研究视觉意识的具体建议,已引起了大批认知心理学家、神经科学家和计算神经科学家的广泛兴趣。另一位诺贝尔奖获得者 Eccles 等也热衷于意识问题的研究,他在发表了“三个世界”的哲学观点(即认为**世界 1**包括所有**物质世界**(大脑也在内),**世界 2**包括人的**精神世界**,**世界 3**包括人的**社会、语言、科学、文化等活动**)并根据神经系统的结构和功能提出“树突子”(Dendron)的假设(认为树突子是神经系统的基本结构和功能单元,由 100 个左右树突构成,估计在人脑中有 40 万个树突子)之后,进而又提出了“心理子”(Psychon)的假设:认为世界 2 的心理子与世界 1 的树突子相对应,由于树突中的微结构与量子尺度相近,所以量子物理有可能用于意识问题],但是,由于意识问题是一个极其复杂的问题,当代科学对意识的研究还远远不够。当

前,对意识的进一步深入研究最迫切的任务是能寻找到一个最恰当的切入点。有人建议,研究人类意识可以将觉知(awareness)和非觉知作为切入点,找到神经相关物在其脑活动中的区别。

对人类智能的生理层面的研究也许更加艰难。因为它要深入到对思维着的大脑的生理和生化的研究,并且要探索其与智能行为的关系。但是,对智能产生机制的研究绝对离不开对人脑的研究,因为人脑是“人”这一智能系统的“司令部”,对人脑的研究无疑将是智能科学研究的核心和方向。由于人脑非常复杂,目前,对人脑的研究尚不充分,人脑的记忆、思维、想象、情感的奥秘远未揭开。我们要想在智能研究方面有所突破,最重要的,首先必须是在对人脑的研究方面要有所突破。而一些具体的研究则至少应包括:

(1) **对智能产生的生理机制的研究。**有人建议应重点开展以下工作:对神经活动的基本理论及神经活动的基本过程的研究;对神经元蛋白质组织及神经信息物质的组织机理的研究。对神经生理的研究曾使我们对神经活动的认识发生过重大的飞跃;但是,由于神经活动机理和过程研究对智能产生机制研究的重要性,我们认为,现有的研究还应有更进一步地发展。其研究可包括:对神经信号的发生、传导、突触传递等的研究;对神经递质的合成、维持、释放及与受体的相互作用的研究;对神经元和神经系统发育的分子机制的研究;等等。

(2) **对视觉整合及视觉不变性的脑机制的研究。**如对面孔识别、情景分析、错觉发生等的神经机制和调控机制的研究等。

(3) **对学习和记忆过程中的脑信息处理机制的研究。**记忆是人脑对过去经验中发生过的事物的反映,是对新获得行为的保持。由于记忆,人才能保持过去的反映,使当前的反映得以在以前反映的基础上进行,使其反映更全面、更深入。记忆在人的智能活动中占有重要的地位,正是因为有了记忆,人才能积累经验和运用经验。因此,记忆能力也是衡量一个人智力高低的重要标志之一。在内容上,记忆可分为陈述性记忆(包括情景记忆和语义记忆等)和非陈述性记忆(包括启动效应、运动技巧、习惯等);在时间上,记忆又可分为感知记忆、短时记忆和长时记忆等。其中,工作记忆是一种短时记忆,它的功能是短时间“在线式”地保存和处理信息,是多种高级认知功能的一个核心环节。有人认为,工作记忆可能蕴藏着智能的某种玄机。

在工作记忆的研究方面,Baddeley等已提出了关于工作记忆的系统概念,并用“工作记忆”代替了原来“短时记忆”的概念。他们认为,工作记忆指的是一种系统,它可为复杂的任务,比如言语理解、学习和推理等,提供临时的储存空间和加工时所必需的信息。工作记忆系统能同时储存和加工信息,这和短时记忆概念仅强调储存功能是不同的。工作记忆可分成三个子成分,分别是:中枢执行系统、视空初步加工系统和语音环路。目前,大量行为研究和神经心理学上的证据业已表明了这三个子成分的存在。但对有关工作记忆的结构和作用形式的认识,还应不断地丰富和完善。

学习在大脑内是如何发生的?这应该是脑和神经科学研究的核心问题之一。因为揭示学习的神经机制,对理解人类智能的本质,具有重大意义。学习会导致神经系统结构和功能上的变化,形成记忆痕迹。一般认为,学习的神经生理基础是神经细胞之间的联系结构—突触的可塑性变化。所谓突触可塑性变化,即在突触前纤维与相联的突触后细胞同时兴奋时,突触的连接加强。它是Hebb提出Hebb学习规则的基础。Hebb认为,在学习过程中,正是有关的突触发生变化,才导致了突触连接的增强和传递效能的提高。Hebb学习规则现在已是联接学习的基础,但这是否学习和记忆过程的全部?关于学习和记忆的详细机理,还有待进一步的深入研究。

关于智能的脑信息处理机制的研究还有很多，如：对大脑中空间信息和时序信息的处理机制的研究；对意识、自我意识的脑机制研究；对认知功能可塑性的脑机制研究；等等。我们将会在后面的相关章节中进行详细介绍，此处不再赘述。

0.2.3.2 发展智能—关于智能的继承与发展理论的研究

智能并不是一种孤立的现象，无论是作为智能主体的一种功能或能力，还是作为人类社会发展的—种宝贵财富和推动力，智能都是动态发展的，有一个继承与发展的过程。关于智能继承与发展的理论研究，应是智能研究的一个重要方面。人类智能的发展（演进）包括人类个体智能的发展和人类社会总体智能的发展，二者应是相辅相成的。关于智能继承与发展的理论研究，既应包括对人类个体智能的生物遗传与进化、社会继承与发展、个体差异与评估、个体能力发展的生理特质与心理特质基础、学习与训练等方面的研究与探索；也应包括对人类智能继承与发展的社会机制的研究。由于认知智能的主要目的就是要发展和拓展人类的智能，所以，研究如何在认知和解析人类智能的基础去进一步发展和拓展人类个体和人类社会的智能，就显得更为重要了。如何使社会智能得到更快的发展和更好的发挥？如何更好地开发人类个体的智力和能力，使其获得人生更大的成功？这都是令人感兴趣的课题。而其具体研究则可包括：

(1) **关于人类智能的演化、继承与发展的研究**。人类文化和智能不断提高和发展的过程，本质上是一个不断继承、累积和创新的过程。研究人类智能继承和发展的途径和规律，使人类的智能得以更快地提高和发展，是我们研究智能的一个出发点，也应是—我们研究智能的一个主要目的。智能社会继承与发展的—个主要途径是**社会教育**，如何优化社会教育系统以使其达到可更好地促进社会文化和智能发展的目的，应是智能继承和发展理论研究的一项重要内容。

(2) **关于人类个体智能的差异与测评理论的研究**。智能有不同的表现形式，智能行为从来就不是单一的。不同的人，其智能表现形式和水平也各不相同。研究人类个体智能差异产生的原因，研究评价人类个体智能已有或潜在水平高低的正确方法，对我们正确认识智能并进而有针对性地去发展和优化每个人的智力和智能，无疑具有特别的现实意义，也很值得我们去研究。其中，评估会有定性方法和定量方法，如何使评估更为科学和准确，—直是一个有争议的问题，因为它直接涉及到我们应该如何去看待“人才”和“智能”的问题，是与人们的智力观和能力观直接相联系的。

(3) **关于人类个体智能的发展与优化途径的研究**。科技是第一生产力，而人才是最宝贵的财富，是社会发展的动力。培养各类专门人才，既是社会发展的需要，也是我们认识智能的—个根本性的目的。让每个人都能成为人才，也许是一件“功德无量”的事。为此，开展个体智能的发展和优化途径研究，对于满足人类社会发展的需要，对于提高每个人的整体素质和智力水平，都具有十分重要的意义的。

0.2.3.3 拓展智能—关于智能的集成与拓展理论的研究

“人”是“社会化”的。一个人的能力和力量总是有限的。只有“组织起来”，“人”才是具有足够强大的力量的。研究人类个体智能的产生和发展十分重要，因为它是人类智能的基础；但是，研究人类智能的集成和拓展对人类更为重要，因为这才是人类生存和发展的根本。人类智能的拓展包括两个重要方面：**一是集成化**，“三个臭皮匠，顶个诸葛亮”，集中群体的智慧和能力，相互协调配合，“集大成”，才能得到“大智慧”；**二是工程化（或工具化）**，即开发和制造各种智能机器和智能系统，充分利用“智能机器”来辅助人或替代人，实现人的“全面解放”。**智能的集成理论**要研究对人类社会或组织的“智能资源”进行系统化集成的机理与有效方法，要研究知识、智力和人才

的社会化集成与管理等。关于智能的集成的研究以及集成智能系统的构建与管理，常常被看作是一个组织学和管理科学的问题，但它本质上应是一类“**社会智能系统**”的构建、运行和优化的问题。

关于**智能的模拟和工程化（工具化）研究**一直是一个热门，它要研究的是智能模拟的方法与途径，包括对辨识、思维、问题求解和行为控制等进行功能模拟的方法和工程实现的途径等。其目标是实现“**智能的工程化或工具化**”或“**工具的智能化**”。如何在搞清人类智能的功能结构和运行机制的基础上构造一类智能机器或智能系统来替代人类的脑力劳动，是我们的期望，也是智能研究得以持续的强大动力。尽管要真正实现可替代人类全部脑力劳动的人工系统目前还比较困难，但它应该是有光明的前途的。

智能工程化或工具化的目标是构建人工智能系统，其构建的理论基础是认为**智能系统本质上就是一类信息加工系统**。因此，智能模拟和工程化的研究，一是要研究“**信息加工理论**”，它要研究对各类结构化或非结构化的信息进行加工的机理和方法；二是要研究“**智能系统的构建理论**”，它要研究各类智能系统的功能结构、工作原理与运行机制，要研究系统运行中“**信息-知识-能力-行为**”的转化，也要研究如何才能构建一个智能系统，使其可以替代人类的各类脑力劳动。

人工智能（机器智能）是人类智能的“外化”与“延伸”，其本质上就是人的各种认知能力和智能行为的外化与拓展。那么，人的知识、思维和能力[包括感知、辨识、洞察、探索、理解、创新等能力]应如何“外化”？是否必须首先“**形式化**”？如果我们认为“能力”是“知识”的“**动态化**”，是对知识的“**准确理解**”与“**灵活的运用**”，那么，**机器如何才能将知识转化为能力**？又如何**自动将实践后的经验转化为知识，并用于指导实践活动**？如果我们认为人的实践活动是一个主体运用其知识来认识问题和解决问题的过程，是一个灵活运用“**假设-检验**”、“**想象**”和“**创新**”等能力的过程，是一个反复实践的过程，那么，它就必须具有一定的目的性（长期目标）、**价值判断和主观能动性**。现在的问题是，我们怎样才能把人的主观能动性和价值观赋予机器？这无疑智能模拟和工程化研究必须考虑的问题。

0.2.3.4 智能科学的应用研究

研究是为了应用。对智能科学当然也不例外。智能科学的应用研究也应是智能科学研究的一项重要内容。我们认为，智能科学的应用研究是与其理论研究密不可分的。相应于智能，特别是智能系统的研究，其应用研究应包括：如何制订科学而又可行的培养计划，优化人类个体的素质，以提高其智力和能力；如何构建和优化运行各类社会智能组织和社会智能系统，以提高社会的整体智能水平；如何构建各类人工智能系统或人-机集成智能系统，以利用它们来替代“人”的脑力劳动；等等。而各类具体智能技术和智能系统的研究，则是在智能基础理论和智能模拟和工程化理论等的指导下，研究和探索将各类智能技术具体应用于各个专业领域的方法和途径。

我们曾提出，**人类个人智能水平的提高依赖于培养和教育，更依赖于学习和实践；而人类社会整体智能水平的提高则有赖于“智能的工程化（工具化）”和“工程（工具）的智能化”**。在这里，我们是用“工程”来泛指人类为了改造自然、社会和人类本身而进行的一切有规划的系统行为，包括人造工程和社会工程等。由此，所谓的“**智能的工程化**”将有两方面的含义：一是，将人类智能的提高和集成当作一项社会工程来对待，研究人类智能继承、发展和集成的方式和方法；或者说是把“智能”作为一项社会系统工程来运作，使人类智能的继承、发展和集成走上“**系统化**”和“**工程化**”的轨道。二是，力图将人类智能工具化和工程技术化，研究构建各种人造智能系统的技术和方法；或者说要研究如何将“人类智能”赋予“机器”，让“机器”去从事一些带“智能性”的工

作。其基础就是人类智能的全面提高、社会化普及和优化集成等。而“工程（工具）的智能化”也有两方面的含义：一是，要在各类生产工具和生产系统中引入更多的“智能化”成分，实现诸如“智能控制”、“智能化生产”、“智能机器人”等，其核心就是构建各类智能化系统。二是，合理组织和管理各类“工程”项目，实现各类“工程”项目的智能化管理、智能化规划和智能化决策等。

由此，我们也可以认为，智能科学应用研究的一个重要方面，就是要探索“智能工程化（工具化）”和“工程（工具）的智能化”的各种方法和途径，在设法实现人类智能“社会系统化”的同时，重点研究用人工的方法和技术，模仿、延伸和扩展人类的智能，实现“机器智能”。

有研究认为，每个时期都有每个时期的中心技术。在 21 世纪中叶以前，**信息技术**可能还会是这一时期的中心技术；但 21 世纪 20 年代以后，这一时代的中心技术将逐渐转移到**生物技术**（包括生命科学技术）和**智能技术**；而到本世纪中叶以后，时代的中心技术将有可能以认知或智能科学为中心，把信息技术、生命技术、智能技术和工程技术等结合起来，形成一种新的“**智能集成技术**”。因为随着认知科学和智能科学的深入研究，人们将会逐渐搞清人类智能产生和运行的机制，在此基础上，智能科学技术将会得到更加充分地发展。用机器辅助和替代人的脑力劳动虽然现在才刚刚开始，进一步发展困难很多；但如果真正实现了，那么，人类社会的经济、文化、科学、技术等都将产生巨大的飞跃，人类文明也必将达到一个新的阶段。我们有充足的理由相信，各类“工程或工具”的“智能化”，将是未来工程技术和社会发展的一个重要方向。

首先，**智能化将是未来信息技术的一个重要发展方向**。有研究认为，作为信息技术的核心，现代计算机与通信技术目前正沿着数字化、微型化、个性化、交互式、移动式、集成式、网络化和智能化的方向发展。现代通信设备、各种家用电器、电子商务、网上教育、网上设计、……甚至遥控医疗手术等，都迫切需要应用智能技术。可以毫不夸张地说，信息化、网络化的进一步发展的核心，就是实现**智能化**。因为未来实现信息化和网络化的工具和技术都将是智能的。在现代信息科学技术中，将会愈来愈多地使用诸如自然语言理解、图像识别与处理、机器视觉、多信息传感融合与控制、知识的多源获取与处理、专家系统、智能控制等智能技术。随着认知科学与智能技术的发展，智能技术一定会愈来愈多地应用于信息技术方面。

其次，**智能化也将是未来自动化工程系统的一个重要发展方向**。自动化是现代工业发展的重要手段和条件，可以毫不夸张地说，现代工业发展的过程就是不断应用、改进和提升其自动化生产技术的过程。在各种自动化工程系统中，将会愈来愈多地使用各种各样的智能技术。自动化工程中应用智能技术的水平和程度，将决定该工程系统自动化的水平和程度。智能化将成为各种工程和系统现代化的最明显的标志。当前，生产的智能化已初露端倪，各类智能化设备正不断涌现；产品智能化趋向已愈来愈明显，已出现了各种智能仪表、智能车辆、智能机器、智能机器人、智能“宠物”、智能材料……甚至智能大厦等。一些生产和经营系统也已大量地采用了智能技术，如各种智能生产控制系统、智能物流系统、智能制造系统和智能销售系统等。甚至于一些生产和经营的管理系统，也实现了程度不同的智能化，如智能铁路运输管理系统、智能空中交通管制系统、智能财务结算系统、智能金融管理系统、智能物资管理系统、智能数据库管理系统等。未来，我们要用信息化带动工业化，其中最突出的一点就是要用包含有各种智能化技术的信息技术来带动工业化，在这一过程中，智能技术将起着极其重要的作用。

另外,智能化也将会是今后社会各部门办公和管理的一个发展方向。它要实现的,将是一个包括从办公自动化到办公智能化,再到整个社会管理智能化的进程。

与“工程(工具)的智能化”相比,也许“智能的工程化”更为重要。若从实现的内容方面考虑,我们认为,“智能的工程化”实际上包含着实现“**社会智能的系统工程化**”和“**人类智能的工具化**”两个方面的内容。其中,“社会智能的系统工程化”将研究将人类社会中的各类智能进行系统化和工程化管理和集成的方法,包括知识与智能的有效管理,知识与智能的有效传播、继承与发展,知识与智能的有效集成,等等。“人类智能的工具化”将研究智能模拟和工程化的原理和方法,并设法构建各类人工智能系统和制造各类智能机器人等。尽管在对人类智能产生的机制尚不十分明了的情况下,现在就要模拟出一个与人类大脑完全相同的“电子大脑”来也许是根本不可能的事,我们现在只能使“智能机器”的智能不断地接近人类智能而还不能使其完全等同于人类智能,而现在就让“机器智能”完全代替“人类智能”也还是奢望;但是,部分模仿人脑的功能,用机器来辅助人类进行智能决策,甚至用智能机器来促进人类智能的发展,却是完全可以实现的,也是应当大力加以研究和开发的。有人建议,我们对智能工程模拟的研究,具体可考虑如下的一些研究方向和内容:

(1) **关于智能的计算理论和工程实现技术的研究**。智能的计算理论和工程实现技术包括了从**进化计算到自然计算的计算智能理论,非确定性系统的智能化建模与非确定性决策中的推理方法,知识模型的变换方法和工具**等一系列问题。一般认为,计算智能(computing intelligence)包括神经网络、模糊逻辑和进化计算等,是智能模拟的基础理论。现在,人们对神经网络和模糊逻辑的研究已经有了较长的历史和较丰富的研究成果,而对进化计算的研究则相对较晚,并仍处在研究和应用的活跃期。进化计算(evolutionary computation)是以达尔文的进化论(生物进化论)为依据来设计、控制和优化人工系统的一种技术和方法。进化计算的方法已有遗传算法、进化策略和进化规划等。目前,进化计算已开始用于并行计算、机器学习、神经网络设计、多智能体仿真和细胞自动机等领域。

未来,智能技术的发展将主要依赖数据、算力和算法,特别是算法。目前,GPT等系统主要使用的是基于神经网络的深度学习算法。未来,智能系统研究的重点将从计算智能扩展至感知智能、认知智能和类脑智能,相应的算法会更加重要而复杂,研究任务会更加繁重。我们看好基于生态进化主义的各类类脑智能算法的研究。

与此相关的另一个课题是**量子计算**(quantum computation)和**量子信息处理**。量子计算研究的突破将诞生量子计算机,并实现电子计算机与量子计算机、电子信息处理与量子信息处理并存的局面,它也许会对信息技术的发展产生不可估量的促进作用。

(2) **关于智能控制的理论与实现技术的研究**。自动控制科学的发展曾对整个科学技术的发展做出过重要贡献,并为人类社会带来了巨大的效益。然而,现代科学技术的迅速发展,已对控制科学提出了更新、更高的要求,自动控制理论与工程正面临着新的发展机遇和严峻的挑战。多年来,自动控制一直在寻找新的出路,而实现控制系统的智能化应是解决其面临问题的一种有效方法。现实表明,**智能控制象征着自动控制的未来**。目前,智能控制已发展出一些重要分支,如专家系统控制、模糊控制、神经网络控制、学习控制和进化控制等;智能控制已经有了自己的理论框架。为推动智能控制的进一步完善和发展,我们有必要做更进一步地研究,使智能控制的理论和方法进一步发展,应用领域进一步扩大,使智能控制和智能自动化继续为人类做出更大的贡献。

(3) **关于分布式人工智能与多智能体系统的研究**。分布式人工智能是分布式计算与人工智能相结合的结果，它可使各种不同的异构系统在快速变化的环境中具有交换信息和协同工作的能力。分布式人工智能的研究目标是要创建一种能够描述自然系统和社会系统的精确概念模型，其系统中的智能将在团体协作中实现。分布式人工智能最具发展潜力的研究领域是**多智能体系统**。在信息技术领域，尤其是人工智能和计算机领域，人们常把智能体(agent)视为能够通过“传感器”感知环境，并借助“执行器”作用于该环境的主体。智能体与分布式人工智能一样，具有协作性和适应性等特性。此外，智能体还具有自主性、交互性和持续性等主要特征。现在，人们已应用智能体来模拟现实世界和社会中“人”的理性行为，也能够对不断变化的真实环境进行行为规划、建模和预测，并借助通讯实现各智能体间的协商和协作等。由于多智能体系统要研究各智能体间的智能行为的协调，它更能体现人类的社会智能特性，且具有更大的灵活性和适应性，更适合开放和动态的世界。目前，多智能体系统已成为智能系统研究中的一个热点，并已在不少领域获得成功应用，很值得我们去深入研究。

(4) **关于多模型下的智能综合集成与优化决策方法的研究**。目前，**集成人工智能(Integrated AI)**已成为人工智能及相关学科研究的一个重要发展趋势。人工智能的符号主义、联接主义和行为主义三个学派的思想正逐步走向融合集成(基于生态进化主义的类脑智能)。在一个系统中，人们往往同时在使用多个学派的理论和方法。例如，在一个智能机器人系统中，可能同时应用了人工神经网络和反馈控制，并采用了专家系统的推理方法等。研究多模型下的智能综合集成与优化决策方法，可能是弥补现有智能系统中单一联结主义、符号主义或行为主义方法的缺陷，完善系统功能的一种较好的方法，值得我们深入研究和探索。更进一步的研究还应包括：基于神经网络和专家系统的集成系统，基于智能主体(agent)的集成系统，将功能模拟和机理模拟结合起来的各种智能模拟系统，基于生态进化主义的类脑智能系统以及人-机综合集成智能系统等。

(5) **关于机器学习与知识发现的研究**。**知识获取**一直是人工智能和智能信息处理中的一个关键问题。利用机器(计算机)来实现知识的自动获取，即机器学习，一直是专家系统和其他智能系统功能改善的一个主要瓶颈。研究知识的自动获取和机器学习，以实现智能系统的自动升级、协调与优化，已是智能系统能否应用于实际问题求解的关键。从大规模数据库的海量信息中提取出对需求有用的信息，即**知识发现**，更是一个具有挑战性的研究课题。目前，比较成功的知识发现系统已可应用于商品数据的分析与报告、交互式大型数据库分析工具、自动分析大规模天气观测数据等。如今，**网络及大数据的飞速发展，已为信息和知识的获取提供了方便之门**；相信，随着对机器学习和知识发现的深入研究，将会有更多更好的智能系统和知识发现系统被投入实际使用。

(6) **关于智能机和智能机器人的研究**。研制智能机和智能机器人一直是人工智能的一个长期目标。随着智能技术的不断发展，智能机和智能机器人的研制也日益受到重视，其应用也日益普遍。尽管智能机和智能机器人已在许多方面都取得不少重要成果，但智能机和智能机器人的进一步发展还是面临诸多方面的挑战。我们不得不对此领域内的一些根本性问题进行研究和探索。到底什么是智能机和智能机器人？机器人的进化和人类的进化是否有本质差别？机器智能与人类智能是否能够相提并论？。。。。。。我们除了要对所有这些问题都需要展开更广泛、更深入的讨论之外，探索智能机和智能机器人的新的研制方法和途径，更是一项繁重的任务。要让智能机和智能机器人更好地为人类造福，成为人类永恒的助手和朋友，我们还有大量的课题需要去探讨和攻关。

(7) **关于人工生命的研究**。关于人工生命的研究也与智能工程有关，其主要目标即在于要用计

算机等人工媒介生成或构造出能够表现出自然生命系统行为特征的仿真系统或模型系统。人们希望所研究的人工生命系统能具有自然生命系统的一些典型特征和行为,包括自组织、自复制、自修复等。而要形成这些特征就需要有与之相应的混沌动力学、进化和环境适应理论等。人工生命的研究涉及到对生命现象的仿生、建模、进化动力学、人工生命计算理论、进化与学习等。目前,比较典型的人工生命已有计算机病毒、进化机器人、细胞自动机和人工脑等。其研究还处于起步阶段,更深入的研究还有待今后的探索。

(8) **关于机器智能的自主发展的研究。**研究**机器智能的自主发展**,使机器也能像人一样可通过自主学习变得越来越聪明,最根本的或者说是最本质的问题是,**要使机器具有像人一样的学习能力**。这是机器智能研究中的一个巨大挑战。在过去的研究中,人们主要采用了四种方法来实现机器智能的发展:①**基于人类知识的方法**。它是通过人对机器进行直接的编程从而把人类的知识和智能转化为机器的知识和智能。②**基于机器学习的方法**。机器可在具体学习程序的控制下,通过人类编辑好的感知数据,进行有导师指导下的学习或强化学习。③**基于生物智能体行为反馈的方法**。即用智能体模型来取代传统的理想世界模型,开发者针对不同层次的行为状态和所期望的行为来编写相应程序,使其行为在实践中不断得到改进。④**基于生物生态进化的方法**。即让机器按照适者生存的原则不断自主进化。而传统的机器智能开发的一般过程是:首先弄清楚人类专家在解决具体问题(或任务)时的思路和方法,然后设计一个相应的知识表示和问题求解方法,再根据设计好的知识表示和问题求解方法进行具体问题的程序设计,最后运行所谓的“智能”程序以实现可模仿专家的问题求解过程。在程序执行的过程中,如果能利用感知数据对上述预先设计的知识及有关参数进行修改,则认为机器可以进行学习。在传统的机器智能开发方式下,机器只会做事先设计好的事情;事实上,机器根本搞不清自己在做什么。而未来的**自主机器智能开发程式**,应是一种不同于传统机器智能开发程式的新的机器智能发展方法。它所包含的内容是:首先,根据机器的生态工作条件设计合适的机器,然后在此基础上设计**机器智能发展程序**并在机器投入使用时(或者说“出生”时)运行机器智能发展程序。为达到机器智能发展或进化之目标,人类需要不断地与机器进行实时交互来培养正在发育中的“机器”。由此可见,“机器”的智能发展也会是一个较长的进化过程。所以自主机器智能发展的本质是使机器能自主地成长并使它越来越聪明。

社会智能的“系统化和工程化”是一种新的提法。我们认为,它应是“社会工程”的一个重要组成部分。作为初步的考虑,它应该研究人类智能或人-机智能的系统化、工程化和优化组织方法,包括知识与智能的有效管理、知识与智能的有效传播、知识与智能的有效集成等。**智能社会需要有智能的“人才”,更需要有效地“智能组织”和“智能管理”**。对智能进行系统化和工程化的组织、管理和优化,是一项新的提法。如何充分利用已有的知识和人才创造出更多的社会财富及更先进的技术?如何才能培育出更多更有智慧的人才?这都是我们必须认真思考的问题。

我们认为,**从系统的角度来考虑智能问题应是一个最佳的方法**。因为,从本质上讲,所谓的智能就是智能系统的一种系统功能。在这里,我们是将具有或部分具有人类智能以及能模拟或部分模拟人类智能的系统都称之为**智能系统**。目前,这类系统至少包括:①以人为代表的生命系统,特别是有生命的人脑系统;②人类以其智能直接参与活动的各类系统,如经济系统、政治系统和社会系统等;③人与机器密切协作共同工作的人-机集成系统;④可模拟或可部分模拟人类智能的机器智能系统,如智能计算机系统、智能机器人系统、智能制造系统、智能控制系统、智能语言理解和翻译系统、智能图像处理系统、智能决策支持系统等。上述智能系统,前两类主要是“**人类智**

能系统”，也就是主要由“人”所构成的系统；而后两类则主要是“**人-机智能系统**”，也就是人类为了改变自然或为人类谋利益而创造或改进的“智能”系统。“人类智能系统”可从生物科学、认知科学和社会科学等不同的角度来研究，在智能科学中，我们主要是从“智能”的角度来研究它们，研究其智能行为和其智能行为产生的机理等。“**人-机系统**”则主要是工程科学研究的对象。而对于具有智能功能的“人-机智能系统”的研究，则需要智能科学、信息科学和工程计算的共同努力。

从系统的角度来研究智能问题，有一个重要方面就是研究各类智能系统。要研究它们都是如何构成的，它们可以产生不同智能行为的运行机制和机理是什么，等等。而对其研究的具体内容，我们认为，起码应包括如下一些考虑：

(1) **关于生物智能系统的系统（功能）结构及其运行机制的研究**。生物智能系统，特别是其大脑系统，一直是智能研究的基础，也是人类智能的根本所在。对人类智能的研究离不开对人类个体智能的研究。在智能基础理论的研究中，对生物智能系统的研究已包括了脑科学和认知科学的研究内容。其中，**脑科学**主要是对智能进行生理层面的研究，它是从分子水平、细胞水平和回路水平上来研究人脑可产生智能的机理，搞清人脑的运行机制并建立其生理、心理功能模型，以揭示人脑可进行意识和思维等活动的本质。**认知科学**主要是心理层面的研究，其重点研究的是人类感知、学习、记忆、思维、意识等心智活动的机理和过程。但从研究内容方面来说，智能基础理论主要研究人类智能的共性和一般理论。而智能的系统理论对个体智能的研究更注重将其作为“智能体”考虑时其智能发展的个性，更注重对个体智能系统的构成和发展过程的研究。我们知道，每个“人”的智能都有一个发生、发展的过程。研究人的成长及其智能发展的过程，研究人是如何利用自己的智能来完成各项社会实践活动的，并在完成各项社会实践活动中是如何发展自己的，这无疑也是智能科学研究的一个重要任务。

对人类个体智能系统的研究当然也包括对影响个体智能的各种因素的研究，比如对人的**意志和情感**的研究等。**情感**（emotion）是人们对客观事物的主观态度和相应的内心体验。一个人的情感往往对其智能行为有着重要的影响。有研究认为，情感活动与大脑边缘系统和植物神经系统有着重要的联系。大脑皮层则调节着情绪和情感的进行，控制着皮层下中枢的活动，包括丘脑、下丘脑、边缘系统和网状结构的机能等。因此，对情感的研究也已成为了智能研究中一个令人感兴趣的课题。

(2) **关于社会智能系统的组成及运行机制的研究**。智能的发生、发展和演化的历史源远流长。智能科学研究的总目标决定了它的研究对象、任务、范畴主要是人类自身。毫无疑问，智能科学首先研究的应是生物智能，特别是**人类智能**。而**人类智能**主要是一种集成智能、群体智能和社会智能。因为，一方面，“人”是社会中的个体，离开了社会，人就无法生存，也无法施展其才能；而另一方面，社会也需要人们之间的合作，也正是在所有社会成员的共同努力下，社会才得以进步和发展。大自然孕育了人类，无私地奉献了自己的一切。人类创造了科学、文化和社会，也改变了自身。人类在不断地认识自然和改造自然的过程中，也在不断地解放包括人类自身在内的生产力，进而推动着历史的进步和社会的发展，并希望能使大自然与自身能得到更加美好和协调的进化。智能科学对智能的研究，应以人类智能或人类社会智能为主要研究对象，更应以社会智能系统为主要研究对象，探索其构成和运行的机制，从中寻找可以提高社会整体智能的方法和途径等。

研究**群体智能和社会智能系统**的形成与发展，特别是现代智能组织的智能化管理与发展机制等，已是人们感兴趣的一个研究方向。对社会智能的研究，可使我们在不断认识社会智能的本质和发展

的过程中,不断地完善、更新和加强这种智能活动,以利于进一步解放生产力和推动社会的发展,以及自然、人类、社会的协调进化等。而将**智能组织**作为一个演化着的复杂智能系统来进行研究,探索其构成、运行和演化的规律,也可为管理和决策的智能化提供理论上和实证上的依据等。

社会智能系统需要多个“智能体”的协同。多个智能体或智能系统间应如何有效组织和协同,也是研究社会智能系统时的一项重要内容。若在社会智能系统中再加入人工智能体,则系统会更加复杂,协同更加困难,但在智能时代,这类系统应是社会系统的主要组成形式。

(3) **关于人工智能系统的构建和运行机制的研究。**对智能的研究不仅需要进行机理的研究,而且需要进行功能上的模拟。如何构建一个人工智能系统来模拟人类的智能行为,应是智能系统研究的一项重要内容。研究要注重单一智能系统的构建,更要特别关注对**多智能体系统**的研究。如何运用多智能体系统理论来描述复杂系统的宏观行为;如何构建一个具有持续学习功能的多智能体系统;如何将多智能体系统用于系统的演化和进化模拟等;都是应该认真考虑的内容。关于多智能体系统理论与复杂适应系统的研究,可以以**复杂自适应系统 CAS (Complex Adaptive Systems) 理论**作为研究的起点,进而提出各种复杂系统理论,来描述、解决各个领域中的复杂系统问题,如模拟生物的行为,模拟社会经济系统的行为等。

目前,智能模拟和工程化的研究取得了重大进步,也遇到不少困难。现实已使我们意识到:**智能模拟不仅要功能模拟,而且还要机理仿真;智能模拟不仅要考虑运用推理,自顶向下,而且也需要考虑通过学习,由底向上。**未来的智能模拟和工程化,需要有新的运行机制,即可同时处理多模态信息;因为人类智能所处理的,原本就是两类不同的信号系统——第一信号系统和第二信号系统——的信息。其中,第一信号系统的信息主要是直觉信息,第二信号系统的信息主要是抽象信息等。人们早就发现,很多“技能”性活动,诸如开车、画画和各种技巧活动等,都是在运用“直觉知识”和“直觉思维”。它们通常只有在实践中亲身体会才能学会,并且一般无法用语言和文字来完全描述。不仅如此,就是一些高层次的决策行为,在进行抽象思维的同时,也往往有“直觉知识”或“直觉思维”参与其中。还有,在构造专家系统的过程中,我们对有经验的专家的深层知识的挖掘,即对其“只可意会而不可言传”的知识的采集,也常常是无法以显式的方式来表达的。人们对这类知识及其活动过程,往往知之甚少。而没有这些“只可意会而不可言传”的知识,一个“**专家系统**”将是不完善的。从一定意义上说,这也是目前人们所开发的某些专家系统不能被广泛而有效的利用的一个重要因素。当然,智能模拟和工程化的过程有个**模拟人、代替人和超越人**的过程,它并不是一下子就可以完成的,它是一个长期探索的过程。

0.3 智能科学研究和探索的主要方法

在智能科学的研究方法方面,我们赞同:一是要继续进行多学科多层面的深入研究;二是要注重从系统的角度进行集成研究。

0.3.1 继续进行多学科、多层面的深入研究

由于智能问题十分复杂,涉及到生理、心理、行为、社会和工程等多个层面,故研究智能问题,需要而且必须采用多学科协同、多学派兼容、多途径结合的多层次深入研究方法。所谓多学科协同,是指在原有各基础学科深入研究的基础上,更注重多学科之间的协同研究。现在,智能科学的学科基础已经十分广泛,仅就基础理论而言,与其密切相关的学科就包括了心理科学(Psychology)、生理科学(Physiology)、行为科学(Behavioral Science)、脑科学(Brain Science)、认知科学

(Cognitive Science)、人工智能 (Artificial Intelligence)、信息科学 (Informatics)、系统科学 (Systemics)、思维科学、计算机科学 (Computer Science)、仿生学 (Bionics)、语言学 (Linguistics) 和复杂性理论 (Complexity Theory) 等一系列学科。在工程技术实现方面, 也有了模式识别 (Pattern Recognition)、知识工程 (Knowledge Engineering)、自然语言理解 (Natural Language Understanding)、计算智能 (Computational Intelligence)、多智能体理论 (Multi-agent)、机器学习 (Machine Learning)、虚拟现实 (Virtual Reality)、自动推理 (Automatic Reasoning)、数据挖掘 (Data Mining)、规划与决策 (Planning and Decision-making)、计算技术 (Computing Technique)、控制工程 (Control Engineering)、系统工程 (System Engineering) 和信息处理技术 (Information Processing) 等一系列理论和方法, 采用多学科协同的研究, 已有了坚实的基础。特别是脑和神经科学、认知科学[思维科学]、人工智能和社会科学等学科的协同研究, 更是智能研究的核心。所谓多学派兼容, 是指对基于符号主义的心理学派和逻辑学派等, 基于联接主义的生理学派和神经学派等, 基于生态进化主义的适应和控制学派等, 兼收并蓄。所谓多途径结合, 则是指在智能的工程模拟方面, 可考虑多途径结合的方法: 如将基于启发式搜索、非单调推理及柔性推理、专家系统和知识工程的功能模拟, 基于神经元、神经网络和多种信息处理模式的结构模拟, 基于机器人、人工生命和多智能体的行为模拟等, 配合使用。对于复杂问题, 采用多角度的研究无疑是十分必要的。对智能的研究, 从信息、知识、思维、行为、社会、系统和控制等多个不同角度进行解析和研究, 将更有利于我们对智能的认知和了解。

研究视角与层面	关注对象与内容	主要相关学科
生命与生理层面	生物与生命 脑与神经系统的结构与运行机理	生物与生命科学 脑与神经科学
心理与意识层面	个体与群体的心理活动与意识活动	心理科学 社会心理学 哲学
认知与思维层面	感知、理解、记忆和思维等认知行为	认知科学 思维科学 哲学
社会与行为层面	个体或群体的社会行为	行为科学 社会科学 智慧学
知识与能力层面	知识和能力的获取、转换与运用	认识论 学习与教育理论
工程技术层面	智能工程模拟; 智能系统开发	信息科学 计算机科学 人工智能
信息系统层面	信息系统的结构与运行机理	系统科学 控制理论
社会集成层面	智能的社会集成、交流与协作	管理科学
发展与进化层面	人类智能的遗传、继承与发展	遗传学 社会发展动力理论

图 0.3.1 智能科学研究的一些主要研究层面、视角与学科基础

我们主张对智能和智能系统要从**多个学科、多个层面和多个视角**进行研究。与智能科学研究相关的一些主要研究层面、研究视角及基础学科见图 0.3.1; 其中,

哲学是关于世界观和方法论的学说, 是自然科学和社会科学的结晶, 是关于自然、社会、人类思维及其发展的最一般规律的学问。世界观包括自然观、社会历史观、伦理观、人生观、价值观等, 是人们对世界(包括人生)的总的和根本的看法。哲学理论是人类智慧的基石, 是所有科学的基础, 也是一切科学发展的催化剂。哲学可从认识论和方法论的高度为智能科学的研究提供理论上的基础和方法上的指导。智能科学作为自然科学和社会科学的交叉, 其研究既需要科学的世界观、人生观和价值观, 也需要科学的方法论, 当然也就需要哲学层面的研究和理论。

社会科学是关于人类社会的科学, 它通常是从某一特定的角度—或侧重于对社会, 或侧重对作为社会主体的人, 或侧重对社会和人的关系—所进行的一类综合性的研究, 是关于人类社会的结构

和发展变化规律的科学。我们知道，**人属于社会**。马克思更认为，“人是各种社会关系的总和”。人的进化产生了人类社会，而每个人又都毫无疑问地要生活在一定的社会环境之中，与社会建立密切的联系。**人的智能行为主要是社会行为**，人的智能也离不开社会对人的行为的评判。人类智能的研究既离不开一定的社会环境，要与一定的社会相联系，当然也就离不开社会科学对智能研究的理论支持和研究背景。

心理科学是研究人的心理活动规律与特点的科学。智能作为心理活动的特定表现，其产生和发展的基础无疑是人的特定的心理状态及其运行机制等。不了解人类的心理及其发展变化的机理，就无法理解智能，也无法从根本上提高我们的智能。从心理层面上说，智能科学，就是研究人的智能心理活动的机理和发展规律的科学。在这里，我们用**智能心理活动**来泛指人类个体在获取知识、方法、技能、技巧以及运用它们解决问题时所进行的心理活动；其活动通常需要有**观察力、记忆力、思维力、想象力、创造力、抽象概括能力**等的参与。它强调主体的个性特征，强调适应，强调问题的解决，强调以思维为核心的感知、记忆、思维、想象等认知活动。

脑科学是研究人脑的结构及其功能的科学，包括其生理功能和高级功能——智能。目前，我们对大脑智能功能的了解主要还是在心理学的层面，在大脑的**结构-功能**方面的研究还未有突破性的进展。未来，关于智能的脑机制研究或将致力于大脑的结构-功能方面的研究，以揭示各种智能活动所对应的确切的脑组织结构以及运行机制等。这将是一项非常艰苦的研究工作。大脑是由极其错综复杂的神经元网络组成的。外界的刺激，通过感官，被转换成了电的、生化的和生物的信号，传给大脑。在刺激的传输和变换过程中，大脑的神经元网络会产生“生化”或“生物”的变化，记忆就是这种变化的结果之一。**神经网络是“先入为主”的，并且其运行是不断“演化”的**。大脑接受的刺激越多，记忆就越深刻。记忆以何种物理、生化或生物的方式存在，我们目前仍然只知道一部分机理。但是，**它至少可以通过两种方式被唤醒**：一种就是**同样的刺激**——它会跟过去的同样的刺激留下的记忆发生非常深刻的反应，从而唤起深藏在脑海里的记忆；另一种（对人而言）就是**语言文字**。语言文字同样可以对大脑里的记忆起到“检索”和“唤醒”的功能。如果说大脑是个数据库，那么，语言文字就是它的检索工具。**大脑是如何将神经元和神经网络的生物活动呈现出一定心理和行为意义的，又是如何通过特定的神经系统活动对信息进行加工的，这还是一个研究的难题**。毫无疑问，智能科学的研究需要脑科学研究的突破，特别是在特定的意识和心理状态产生的生理机制方面。

要揭示人类智能产生的脑机理并不是一件容易的事，它需要对人类各种心智活动的现象与内在机理进行深入的探索。它需要对大脑感知与记忆活动的解说与探索，需要对大脑思维活动的过程和功能的解说与探索，需要对人类认知与学习机理的研究和探索，需要对人类问题解决与创新行为的心理、生理、信息与知识、社会层面的解说与机理探索，需要对人类情感与意志的心理、生理、信息、社会层面的解说与机理探索，需要对人类交流、表达、操作[动手]、执行[实践]与协作的心理、生理、信息[语言]和社会层面的解说与机理探索。这既需要多学科的联合，也需要我们艰苦的努力。但我们也坚信，只要我们在多个学科范围内，从信息、计算、系统和控制等多个角度，在生理、心理[认知、思维]、行为、社会和工程等多个层面上，开展深入研究，就一定能揭示出人类智能的奥秘。

0.3.2 积极开展对智能的系统研究和系统集成研究

对智能的研究可以也必须从多个层面和多个角度去研究，如哲学层面、心理层面、生理层面、

社会层面和信息加工层面等。在这里，我们则更希望能从系统的角度来考虑。我们之所以希望从系统的角度来考虑智能的问题，主要是基于下述一些看法：

(1) **智能本质上就是智能体或智能系统的一种“能力”或“功能”。**从本质上讲，智能本身就是智能体或智能系统，特别是人脑（系统）的一种“系统”功能。要研究智能，就不能脱离智能体或智能系统。从生理层面上来说，现代智能研究早已将人脑视为一个网络系统。泛脑层次网络理论认为，人脑就是一个综合了泛脑层次与泛脑关系的信息网络系统。神经活动的功能就是在人脑复杂的神经联系或网络中实现的。而从心理层面上来说，现代智能研究在理论认识上也已将人脑与意识的相互作用和相互关系有机地联系起来。按照人类心智的“三个世界”的解说——即认为人类的心智是物理的世界（包括无机、有机、生物、人脑以及人造客体）、意识的世界（包括知觉、情感、思维、意愿，尤其是作为一种经验存在的自我）和文化的世界（即以科学、艺术、文学表达为基础的客观思想和知识内容）三者的有机统一的观点，“人”不仅存在于世界，而且能以自我意识认识世界，还能利用所认识的世界的知识来创造“世界”。心理现象本质上是人脑整体活动在动力学上的一种“涌现”属性，两者相互联系、相互作用。皮亚杰曾主张，人的心智的发展，是人和他的物质世界相互作用的必然结果。智慧的成熟差不多是与身体的和生物学的成熟同时到来的。鲁利亚则认为，心智取决于人脑三个主要机能结构的相互作用。认为，人脑的第一个机能结构系统主要起调节张力或觉醒的作用（其功能区主要在边缘系统）；第二个机能结构系统负责接收、加工、保存来自外界的信息（其功能区主要在新皮质后部）；第三个机能结构系统则是程序编制、调节、控制的部门（其功能区主要在皮质前中央回以前）；三者之间相互联系、相互依存、相互保证；人的任何心智或意识活动都是这三种机能结构共同作用的结果。

(2) **智能科学的研究对象都具有明显的系统特征。**智能科学的研究对象是智能和智能系统，包括人类个体在内的生物智能和生物智能系统、由有智慧的人类个体集合而构成的社会智能和社会智能系统、以及“人工智能”和人工智能系统等。这些对象，无论是自然人系统、社会系统还是人一机系统，本身都具有显著的系统特征：如整体性、系统性、层次性和复杂性等。它们都是复杂或比较复杂的系统，很难或比较难以用传统方法来处理。这也使得我们必需要采用系统的观点或复杂系统的观点，甚至开放的复杂巨系统的观点来进行处理才行。

(3) **智能的研究目前最需要多学科的协同和综合性的系统研究，而从系统的角度来对智能现象、行为和机理进行探索和研究是最恰当的方法。**系统科学认为，世间万事、宇宙万物，若从一个有限的方面去认识，每一个问题都有一门学问，都可以提出自己的一套思想、理论和方法。以前我们对智能的研究，学科众多；各门学科都是从各自的角度提出来的，由于种种条件限制，并没有从全面的角度去深入分析智能问题。当然，由于智能研究对象本身的内隐性、复杂性与不确定性，从各个不同角度来研究智能问题是必要的，还应该继续深入研究。但是，对智能的分学科研究，并不完全是智能本身的要求，也是局限于人类认识能力的局限性。现在，学科整合和希望从整体上来认识智能问题的趋势已经凸显，而且在不断加速。在单一学科继续深入研究的同时，向多学科研究、跨学科研究和整体性研究方面发展，应是智能学科发展的一种趋势。我们认为，从系统的角度和整体的角度来研究智能问题，是一种最佳的选择。因为智能科学的研究迫切需要系统的思维和系统科学理论的指导。系统思维的引入，将会深深地影响着智能研究的指导思想和方法论，并将会在智能的具体研究方法上不断取得突破。我们相信，随着科学的不断发展，现代智能学科对智能的研究也会不断向纵深发展，越来越接近智能的本来面目。从系统的角度来考虑问题将能为智能研究提供新的思

路、新的方法，这对智能的研究无疑会产生重大而深远的影响。

在具体的研究方法上，我们认为，从系统的角度来研究智能问题，可以考虑下述的一些步骤和方面：

(1) 认真学习和掌握自系统科学兴起以来所提出的重要理论和观点，并对其中某些最新学科和学派的观点进行深入研究，特别要对当前正在兴起的**复杂自适应系统(CAS)理论**进行深入研究。

(2) 在此基础上，基于系统的思想，首先建立一个统一的关于智能和智能系统研究的理论框架，以求从系统的角度来把握智能和智能系统问题。

(3) 运用系统科学的思想 and 理论来研究和探索智能系统，包括单一功能智能系统、分布智能系统、智能主体系统和智能组织系统等，研究其系统特性、系统构成和系统运行机制，特别是要弄清智能系统中智能的生成(涌现)和运行机制，并在此基础上建立智能研究的系统科学方法论体系。

(4) 运用系统思想和系统理论尝试去解决一批智能和智能系统中的基础问题，包括智能和智能系统中的本体论问题、认识论问题和进化论问题等，进而运用智能系统的观点和方法去解决某些社会、经济、管理等方面的现实问题，在这些应用研究中，一方面对理论进行检验，另一方面也能在实践中提出新的理论。

在上述研究中，基于“**复杂系统理论**”的研究无疑是一个重要方面。如今，系统科学发展的两个重要方面是“**复杂性**”和“**智能化**”。其中，复杂性主要体现的是我们认识世界的一面，而智能化则主要体现的是我们改造世界的一面。并且，复杂性和智能化应是密切相关的。

基于复杂系统理论的研究将有助于我们对智能本质的认识。大半个世纪以来，从牛顿到爱因斯坦，科学的发展曾向我们展示了自然界的一幅**可逆的、决定论的、连续的、稳定或周期运动的图画**；然而，在今天，科学家们已在各个不同的研究层次，从基本粒子、生物群落到社会科学，向我们展示出了自然界另一幅**不可逆的、随机性的、多样化的、非连续的、不稳定的图画**。一旦系统研究进入生命、社会、思维和智能等领域，以前那些在科学研究中十分有效的理论与方法，很多就会失效。因为我们现在的这些对象不仅异常复杂，而且充满不确定性，原有的确定性理论和科学并不是解决这些问题的恰当的理论与方法。例如，在现代科学的发展过程中，还原论方法曾取得了巨大的成功。人们可将一个自然人还原为系统(如神经、呼吸、循环、消化、生殖…)、组织(如神经、骨骼、肌肉…)、器官(如脑、心、肺、肝、胃、肠…)、细胞(如细胞生物学中的线粒体、叶绿体、核、质、壁、膜)、分子(如分子生物学中的DNA、RNA、蛋白质、肽…)和量子(量子生物学中的量子)等，并在各个层次的研究上都取得了巨大的成就。但是，我们并不能因此而知道人的整体特性是如何产生出来的，甚至连生命是什么也回答不清楚，更不用说由“人”组成的社会了。因此，还原论方法处理不了系统的整体性和复杂性问题。

世界是复杂的，我们面临的许多问题都具有复杂性。而作为系统科学的发展，复杂系统理论无疑是系统科学中的一个前沿方向。复杂系统理论的主要目的，就是要揭示复杂系统的一些难以用现有科学方法解释的动力学行为。与传统的还原论方法不同，**复杂系统理论强调用整体论和还原论相结合的方法去分析系统**。它通常以系统的整体行为，如**涌现(emergence)**等作为主要研究目标和描述对象，**并常用主体及其相互作用或者用可演化的可变结构来描述系统**。它探索的是复杂的演化动力学规律，如遗传规则、自组织临界性等。

以前的还原论研究方法，对学科之间的交叉融合和“人”的因素考虑不多。复杂系统理论主张将不同的学科联系起来，并要考虑“人”在其中的作用。复杂系统理论的主要研究对象是复杂性和

复杂系统。在所有复杂性系统中，最复杂的系统当推**复杂智能系统**，也就是有“人”参与其中的系统。解决复杂智能系统中的许多问题，诸如，“大脑是如何工作的？大脑是怎样进行选择性自适应的？大脑与行为的自组织是如何相互联系的？”“思维与智能的本质是什么？大脑是如何组织其存储的信息的？大脑是怎样认知外部世界的？心智的脑机制是什么？等等”，不从系统的角度考虑，不采用系统研究的方法，是很难找到新的突破口的。

对智能和智能系统的复杂性研究，可研究的内容很多。我们需要研究智能系统的微观生理活动是如何产生出宏观的智能现象的，其“涌现”的机制是什么。也就是说，我们需要从微观机制出发研究系统的宏观行为，使系统的宏观行为能得到系统微观机制的解释，并尽可能通过数学模型能把系统的微观机制和宏观行为联系起来。我们需要研究智能系统的动力学行为，包括系统中物质、能量和信息的相互作用机制等，并研究如何建立其演化的数学模型等。我们需要探索智能系统中各个子系统的相互作用与协作，用非线性模型来研究其间的作用等。

我们认为，**对智能功能内在运行机制的研究应是智能研究的基点，对宏观层面的智能现象和智能活动的研究应是智能研究的最基本的层面，而对智能行为进行系统性的比较、分析与综合研究则是智能研究的最基本的方法，它们可构成智能研究的一个最基本框架。**这一智能研究基本框架的明确，将有助于智能研究的深入进行，有助于解释复杂的智能现象和智能活动，有助于揭示智能产生的机理、智能系统运行的机制和智能的本质等。

从智能功能的实现和智能系统运行的机制的角度来进行研究，应是智能系统研究的基点。其研究将有助于我们对智能的更深入的理解和对智能结构的更深入的把握。由于智能涉及到信息输入、加工、输出反馈、监控调节等整个过程，智能的功能本质上是通过选择、加工、输出、反馈、监控、调节等来显现的。其中，新信息的输入是智能发生和智能活动展开的前提，对新信息的觉察是意识的一个基本功能；对信息的加工是智能的核心，是思维的基本功能；对智能活动和过程的监控、调节则是智能系统主体性的基本体现。智能活动是信息输入功能、思维操作加工功能、输出反馈功能和监控调节功能等共同作用的结果。不同功能各有其独特的作用，又缺一不可。智能活动的顺利完成是这些功能或系统模块协调配合和共同作用的结果，智能活动的顺利完成也需要这些功能模块的协调配合等。

我们主张将宏观层面的智能现象和智能活动看作是智能研究的最基本层面，是因为宏观层面的认知活动是人类认知的最基本层面，智能首先涉及和表现为宏观层面的心理现象和心理活动，智能的宏观现象性是智能的最基本特征。将宏观层面的智能现象和智能活动作为智能研究的最基本层面，应是恰当的选择。在现实中，我们所面对的，都是完整的认知和思维对象，智能活动首先涉及和表现为宏观层面的心理现象和心理活动，而揭示宏观层面的智能心理活动的机理也是智能研究的一个重要目标。

从信息加工的角度，从智能活动的内部过程和智能实现的角度来研究智能，无疑是智能研究思维方法的重大改变。但是，单纯的信息加工理论往往忽视了智能与具体情景、环境和社会文化之间的关系，单纯信息加工的角度割裂了微观信息加工与宏观智能活动之间的关系，割裂了智能与现实和具体情景的有机联系。单纯从信息角度出发的微观信息加工对智能的发生和宏观层面的智能活动缺乏足够的解释力，单纯的信息加工研究在揭示和解释人的宏观层面的智能活动时具有先天的局限和不足。须知，人类智能系统原本就是一个复杂的巨系统，是一个开放的动态的复杂巨系统；因此，将微观机理研究与宏观运行机制研究相结合，认真研究人类智能系统这一“开放的动态的复杂巨系

统”的功能结构和运行机制，应是智能研究未来的一个方向。

我们还主张将系统性的比较、分析与综合研究作为智能研究的基本途径，作为智能研究的基本方法，这是因为，智能原本就是一种比较现象。比如，人的智能就是相对于动物的适应性活动而言的。比较研究作为智能研究的基本方法，用于对智能在不同层次和不同水平上进行分析 and 比较研究，将有助于揭示智能的起源、发生和智能的本质。从比较研究的内容来说，将涉及到人与人的比较研究、人与动物的比较研究、甚至动物与动物的比较研究等。从比较研究涉及的层面来说，将涉及到传统心理学层面的比较研究、大脑神经生理层面的比较研究和认知神经科学层面的比较研究等不同的层次和水平。而综合则是揭示系统本质特性的有效方法，没有综合，我们就不能从总体上看清事物的本质，智能研究当然也不能例外。有分析，有综合，我们才能既深入探求事物的本质，又可宏观上把握事物的总体特性。**系统研究就是分析-综合研究。**

0.4 本书论述的主要内容与章节安排

本书是关于智能和智能系统的基础理论研究。其内容包括，关于智能及其本质特征的研究；关于智能的产生机制与发展机制的研究；关于（人类）特定智能行为产生的内在机制的研究；关于智能系统的结构与运行机制的研究；关于智能的遗传与进化理论的研究；关于智能的测度、发展与教育理论的研究；关于智能组织中智能和智力的凝聚、管理、激发以及智能组织构建的研究；关于智能的模拟和工程化理论的研究以及人工智能系统的构建等。在本书中，我们从各个不同的角度，对智能的本质及其基本理论进行了论述，其中包括：智能产生的心理要素结构理论，智能系统的功能结构与运行机制理论，智能的遗传与进化理论，智能的差异与测评理论，智能的发展与优化理论，智能的产生及脑神经机理，智能的涌现与宏观发展规律，智能的集成与拓展理论，智能的模拟与工程化理论，等等。为了使读者便于阅读。本书的内容是这样安排的：

第一篇是感悟智能。主要论述智能的本质及其产生的生理和心理基础。其中，**第一章**主要讲述**智能的内涵与本质特征**。说明什么是智能；如何准确理解智能；关于智能的一些可以接受的观点与解说；智能的本质特征等。**第二章**主要介绍**人类智能产生的生理基础**。包括脑与中枢神经系统的结构与功能；神经元的结构与运行机制等。**第三章**主要介绍**人类智能产生的心理基础**。包括人类心理活动的现象与本质，心理与意识，心理意识与认知等。

第二篇是解析智能。主要剖析以“人”为代表的智能系统的功能结构与运行机制，是对智能产生的基础和机理的深入解析。其中，**第四章**介绍**人类智能的功能结构和心智模型**。包括智能的心理要素模型、智能的层次结构模型、智能产生的过程理论模型、智能生成的复杂系统理论模型等认知心理学与认知神经科学等的研究成果。**第五章**讲述**人类认知过程中的信息感知、记忆与辨识**。包括人类信息感知的内容与过程，视觉信息的感知与辨识的过程与机理，听觉信息的感知与辨识的过程与机理；人类认知过程中的记忆与回想，包括长时记忆、短时记忆与工作记忆的过程和机理；信息辨识的机理与机制等。**第六章**讲述**人类认知过程中的思维机制**。包括思维的本质、思维的基本特性、思维的主要形态、思维的基本要素、思维的基本过程、思维的方法、思维与智能的关系等；重点是关于人类思维的基本形态的研究，包括关于形象思维和抽象思维的研究，关于演绎推理的理论研究，关于逻辑思维基本方法与基本规律的研究，关于思维的脑机制研究，关于直觉、灵感与顿悟的研究，等等。**第七章**讲述**知识获取、认知与学习**。内容包括：人类认知的本质；知识和能力的本质、类型、描述与表征；关于知识的结构理论、转化理论、进化与发展理论；知识和能力习得的过程与获取途

径；行为主义学习理论、认知主义学习理论、人本主义学习理论；关于学习过程中的信息加工机制和神经机制等。**第八章讲述问题求解、发明、创作与创新。**内容包括：问题求解过程中的思维与决策；基于知识的理性决策与不确定环境下的决策理论；科学研究的一般过程与论证；创作与发明；创新与创新思维；创新能力的培养等。**第九章是关于意识的进一步研究。**内容包括：关于意识研究的容易问题与困难问题；关于个体意识产生与发展的解说；关于意识控制能力的解说；关于主体意识与自我意识的认知；关于意识产生的脑机制研究；关于意识的一些研究模型；关于注意的理论研究等。**第十章讲述智能行为中主体的主观调控机理。**内容包括：情绪和情感的状态和表现；情绪和情感的作用与功能；情绪和情感的本质特性及心理机制；需要、动机与行为；动机的主要功能；意志与意志活动的心理过程；意志的品质及培养等。**第十一章讲述人类个体间信息的表达与交流。**内容包括：人类信息和思维的表达与交流；关于人类信息交流的主要工具—语言的研究；关于语言习得的理论；语言与思维；关于言语机制的脑和神经科学的研究；影响人类个体之间交流与协作的因素；人际交流与协作的心理规律等。

第三篇是智能的继承与发展理论。主要论述人类智能与人类个体智能的继承、发展与优化。其中，**第十二章是智能的遗传与进化理论。**内容包括：关于人类智能的生物遗传与社会遗传；关于人类智能进化的宏观进化理论、微观进化理论和社会进化理论；关于智力遗传与进化的人类遗传学研究；关于人类心理进化的解说等。**第十三章讲述智能的差异与测评理论。**内容包括：关于人类智能的个体差异及其产生的内在机制；关于人类个体智能差异测评的基本原则与主要方法；儿童的智力发育与发展测评研究；成人职业能力和素质测评研究；关于智力和能力测评的模糊综合评估方法研究等。**第十四章是人类个体智能的发展与优化理论。**内容包括：人类个体智能优化与发展的必要性、可能性与合适途径；关于人类智力和能力发展的基本理论；关于人类个体智能发展的认知神经科学的研究；促进个体智能发展的原则与方法；发展智能应着重培养的核心素质与基本能力；如何构建独具特性的完美的个体智慧系统等。**第十五章是智能的社会发展与教育理论。**内容包括：教育的意义、功能和目的；教育的主要目标与基本原则；学校教育的一些基本理念（基于大脑发展的学习与教育理念，基于人类个体心理发展的教育理念，基于个性发展多元化的教育理念，基于社会发展需求多元化的教育理念，基于能力特别是创新能力的教育理念，基于素质教育的理念）；开发学生智力的现代化教学方法（如，情景化教学、协同合作学习、研究性学习）等。

第四篇是智能的集成与拓展理论。其中，**第十六章是人类智能的社会集成理论。**主要内容包括：社会中的组织与组织智能；组织中的知识集成与智能集成；组织智能的产生机理与运行机制；组织智能的演化与发展机制；组织智能的行为表现；适应性智能型组织的创建；智能组织中知识与智能的管理等。**第十七章是智能的模拟与工程化理论。**主要讲述智能模拟的心理模式与生理模式，辨识模拟、思维模拟、问题求解的模拟和行为控制模拟的理论与方法，智能模拟系统的研究与开发等。内容包括：人类智能拓展与工程化研究的重要意义；智能工程化【智能工程化（人工智能）与工程智能化（智能化系统）】研究需要解决的问题；人类智能模拟和工程化的主要方法与途径；基于领域显式知识的问题求解系统（要点包括：典型特点、基本构成、可处理的问题、需解决的关键问题、系统的体系结构的设计、系统知识表示方法的选择与确定、系统中的推理与解释机制、基于符号逻辑的问题求解系统、基于产生式的知识表示与问题求解系统、问题求解系统中基于搜索的通用问题求解方法、基于结构化知识表示的问题求解系统及其推理机制、问题求解系统中的信念维持、问题求解中不确定性的处理等）；认知模拟的神经网络方法；机器学习与知识发现；智能机器人技术

(要点包括: 智能机器人的信息感知与识别、导航与多传感器信息融合、行为规划与控制、情感机器人与情感模拟等); 智能模拟的多智能体系统(要点包括: 典型的智能体及模型描述、多智能体间协作的实现、联合行动的建立、联合行动过程中合作的协调、智能体间的通信与交流等); 人-机自然交互与自然语言理解; 等等。**第十八章是智能的人-机综合集成理论**。内容包括: 人-机结合的综合集成智能系统研究的意义[集大成 得智慧]; 人-机结合的综合集成智能系统的可实现模型; 人-机结合的综合集成系统的基本构思和典型理论框架; 人-机结合的综合集成智能系统实现需解决的关键技术; 基于网络的人-机结合综合集成智能系统的实现方法等。**第十九章是作者所提出的可用于综合集成智能系统构建的“超智能体系统理论”**。内容包括: 超智能体系统的基本概念和模型; 超智能体系统中共享信息/知识资源的构建理论研究; 超智能体系统中人工智能体的构建理论研究; 超智能体系统中思维及智能的集成理论研究等。最后是**结束语—智慧点亮世界与人生**。

智能科学一书是我们关于智能和智能系统基础研究的一些认知和感悟。书中有我们的研究、探索、理念和认知, 但更多的则是对国内外众多研究者研究成果的归纳、理解和陈述。我们写作本书的最初愿望是希望是能为智能科学的研究描绘出一幅色彩斑斓、波澜壮阔的“画卷”, 以供智能科学研究者作为入门时的参考; 但是, 由于作者“画笔”的粗劣, 书中最终所勾勒出的, 也许仅仅是一张张被扭曲了的画面。在研究和写作的过程中, 我们曾经参阅了国内外众多已有的研究成果和难以计数的文献, 它们犹如一颗颗耀眼的明珠, 令智能科学研究的大厦熠熠生辉、光彩耀目, 也令我们受益匪浅。我们真心希望能把它们编织成一幅美丽的“工艺品”, 但在很多时候却总感到是力不从心。智能科学已有的研究成果是众多学科苦心研究的成就, 也是众多科学研究者智慧和汗水的结晶; 要将这些智慧的结晶构筑成一座“智能科学”的大厦, 绝非易事。书中有不少内容是我们对已有研究成果的论述, 但贯穿其中的还有我们个人的理解与感悟。书中所陈述的很多是“主流”的观点; 但也有部分可能是“异端邪说”; 为了开拓大家的思路, 我们也作了一些陈述。本次发表的还仅是初稿, 书中有不少地方, 还只是一些原始材料的“罗列”或作者不成熟的“建议”。我们期望, 本书的正式出版, 能多少起到一点“抛砖引玉”的作用。我们更期待, 以此为契机, 能与各位同行继续进行深入地探讨, 以共同构建出一座智能科学的大厦; 也使本书的后继版本能真正达到学术论著的水平。

参考文献(略)