



综合的时代：从认知科学到聚合科技及其未来发展

清华大学心理学与认知科学研究中心主任 蔡曙山

【摘要】20世纪最后25年有两个最重要的科学和学科的发展：1975年出现的认知科学和2000年出现的纳米-生物-信息-认知聚合科技(NBIC)。在21世纪，我们将实现跨学科的交叉、综合、知识创新和人才全面发展。NBIC聚合科技将极大地拓展人类认知和交流，改善人类健康，提高群体和社会效益，加强国家安全，统一科学和教育。认知科学和聚合技术将对人类未来的发展产生重大影响。21世纪是一个综合的时代，反映在以问题为导向的科学研究和以交叉综合为特征的学科发展。综合的时代将需要与20世纪分析时代不同的思想理论和创新方法。我们预测，这些发展将使每个人实现全面发展。与时代发展相适应，21世纪的教育体系将发生重大变化，并形成新的综合人才培养体系。

【关键词】综合时代 认知科学 聚合科技 学科综合

【中图分类号】G303

【文献标识码】A

【DOI】10.16619/j.cnki.rmltxsqy.2022.20.003

导言

20世纪50年代是哲学和科学硕果累累的重要时期，这些成果首先产生在语言学、心理学和计算机科学等学科领域。1956年，一个由众多认知科学家参加的重要会议在麻省理工学院(MIT)召开。认知心理学的奠基人米勒(George Miller)在他的著名论文《神奇的数字 7 ± 2 ：我们信息加工能力的局限》里证明：在短时记忆中，一般人平均只能记下7个组块(chunk)。进而，他提出人类对信息加工能力、注意广度、即时记忆广度以及人类处理信息能力的限度等重要的认知加工理论。1957年，乔姆斯基(Noam Chomsky)建立了转换语法，随后展开了对斯金《言语行为》一书及其行为主义心理学的论战。乔姆斯基认为，人类的第一语言(母语)的能力是先天遗传的，而不是后天习得的，转换生成语法的理论为人类语言加工提供了令人满意的语言学和语言哲学解释。乔姆斯基的先天语言能力(Innate

蔡曙山，清华大学社会科学学院心理学系教授、博导，清华大学心理学与认知科学研究中心主任。研究方向为逻辑学、心理学和认知科学。主要著作有《认知科学导论》、《自然语言形式理论研究》(合著)、《语言、逻辑与认知——语言逻辑和语言哲学论集》、《言语行为和语用逻辑》、《聚合四大科技 提高人类能力：纳米技术、生物技术、信息技术和认知科学》(译著)等。

Language Faculty) 的理论、普遍语法 (Universal Grammar) 的理论为认知科学奠定了基础, 而他的句法结构理论、形式文法理论则为人工智能奠定了基础。与此同时, 麦卡锡、明斯基、纽维尔和西蒙等先行者开创了人工智能的新兴领域。在20世纪50年代和60年代, 这些以信息加工为初衷的研究逐步覆盖了哲学、语言学、心理学、人类学、计算机科学和神经科学等学科领域, 这些学科不约而同地将自己的目标对准同一个东西——人类心智 (Human Mind), 形成一个以揭开人类心智奥秘为己任的多学科综合交叉群体。

20世纪70年代中期, 认知科学在美国创立, 标志着一个被称为“综合时代”的科学新时代的到来。在其后的四分之一世纪, 认知科学迅速发展成为一个新兴的科学领域和学科群体。认知科学的目标是揭开人类心智的奥秘, 其学科目标是促进相关学科的交叉融合和综合发展。

2000年, 人类迈入新世纪。美国国家科学基金会 (NSF) 和美国商务部 (DOC) 共同资助了一个研究计划, 目的是要弄清楚哪些学科是新世纪的带头学科。70多位美国一流科学家参加了这项计划, 研究结果是一份480多页的研究报告, 标题为《聚合四大科技 提高人类能力: 纳米技术、生物技术、信息技术和认知科学》(Converging Technologies for Improving Human Performance Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science), 简称CTIHP, 或NBIC。^[1]这里有两个关键词, 一个是“聚合科技” (Converging Technologies), 另一个是“NBIC” (Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science), 两者是等价的。“聚合技术”就是要把四大科技NBIC聚合起来, 形成一个更大的学科综合体。认知科学是6大学科的综合体, NBIC则是包含认知科学在内的更大的学科综合体。从认知科学到聚合科技, 表明人类从综合走向更大的综合。聚合科技NBIC的提出和建立,

标志着一个被称为“科学综合”的新的时代的到来。如果说20世纪是“分析的时代” (The Age of Analysis), 那么21世纪则是一个完全不同的“综合的时代” (The Age of Synthesis)。

聚合科技在新世纪的作用和意义是: 四大科技NBIC互相缠绕在一起, 共同支撑21世纪的人类发展; 同时, 它将四大科技的能量聚集到一点, 所向披靡, 无坚不摧。本文将描述从认知科学到聚合科技NBIC的这一转变过程, 揭示21世纪综合时代的特征, 并对聚合科技NBIC对未来的潜在影响作出预测。

综合的时代

分析科学和分析方法是20世纪的一个标志, 由此产生了一个“分析时代”。这个时代, 各门学科、各个研究领域的范围都受到分析方法的影响, 虽然科学研究越来越深入, 但科学领域和学科范围却越来越窄, 知识的广度也越来越有限。以分析方法为主的科学技术主导了20世纪的发展, 从太空探索到人类生存都取得了显著成就。然而, 这一时期却缺乏以人为本的人文社会科学研究和成果来支持上述发展。这种情况在20世纪的最后25年开始改变, 随着文理工大综合的认知科学的建立, 越来越多的研究聚焦于人类综合的能力。

分析与综合: 人类认识世界的两种基本方法。分析与综合是人类认识世界的两种基本的科学方法。分析是一种自上而下的获取信息的方法, 即将认识对象分门别类地进行研究, 这种方法基于古代分类学。相反, 综合是一种自下而上的研究方法, 在这种方法中, 我们将认识对象组合成一个整体来进行研究, 这种方法基于古代对世界的整体观。

分析和综合这两种科学方法涉及到两种逻辑方法: 演绎和归纳。分析方法在逻辑上使用的是演绎推理, 从认知科学上说, 它是左脑的工作方



式；综合方法在逻辑上使用的方法是归纳推理，采用的是右脑的工作方式。在人类认识史上，分析与综合、演绎和归纳，这两类主要的科学认识方法和逻辑推理方法早就被哲学家注意到了，形成了从古希腊到近代西方哲学中的唯理论和经验论之争。例如，古希腊哲学家柏拉图和亚里士多德分属于唯理论和经验论阵营；近代西方哲学中唯理论者有笛卡尔、莱布尼兹、斯宾诺莎等；经验论者有培根、洛克、休谟等。欧陆哲学家多属唯理论，英美哲学家则多属经验论。中国哲学从古代到现代都是以经验论为主流。

综合：人类认知与发展的新的时代。20世纪是分析的时代，但自20世纪下半叶以来，分析和演绎的缺陷日益显现出来。1931年，哥德尔（K. Gödel）证明在一个充分大的数学系统中，系统的一致性和完全性不能同时满足。这是说，在一个一致的数学系统中，至少存在一个真而不可证的命题。这个伟大的定理证明了分析方法和演绎推演不能穷尽系统内的真理，即使是数学和逻辑这种纯粹的分析 and 演绎的科学亦是如此。这个定理也证明了人类的理性是有限度的。

从20世纪70年代中叶认知科学建立到21世纪之初聚合科技的建立，人类认识的发展走在一条从综合到更大综合的道路上，这并不是偶然的，它反映了人类认识世界的方式的根本转变，这是2000多年来人类认知的一次重大变革！科学发展从以分析和演绎为主的认知方式，转向以综合和归纳为主的认知方式，人类社会从分析的时代进入综合的时代！

综合再综合，创新再创新，这将成为21世纪的时代特征。

认知科学：三个综合目标

认知科学有两个重要的特点。首先，它是经验性的。认知语言学家莱考夫（G. Lakoff）指出认知科学的三大发现是：心智是涉身的；思维是无

意识的；抽象概念是隐喻性的。其次，学科具有整体性和综合性。认知科学有三大综合目标：学科交叉融合；知识综合创新；人才综合发展。

学科交叉综合。在科学发展中，分析方法通常用来研究自然、社会和精神现象。这种方法几乎应用于自然、社会和精神领域的所有学科。随着时间的推移，学科分类越来越细，而学科的范围却越来越窄。

联合国教科文组织（UNESCO）的学科划分确定了5个学科门类和60个一级学科。联合国教科文组织国际文献联合会分类体系（BSO）的学科分类有9个门类和60个一级学科。美国标准有17个门类、38个组、362个学科。英国标准有20个门类、159个一级学科、654个二级学科。德国的学科分类有10个门类、64个一级学科、558个二级学科。日本标准有9个门类、49个组、1250个学科。1992年建立的中国学科标准包括11个学科门类，58个一级学科，573个二级学科和大约6000个三级学科。这种学科的细分可以概括为：学科门类十几个，一级学科几十个，二级学科几百个，三级学科几千个。这样的学科分类将人类知识切割得支离破碎。

在这样一个复杂而繁琐的知识分类系统中，学习和掌握所有领域的知识是不可能的。相反，越来越多的学生被要求专注于一个狭窄的领域，并在一个特定的学科发展专长（专业化）。在这种分析性的教育系统中，作为学习和掌握这种狭隘的专业知识的代价，可能会导致受教育者宝贵的综合能力的丧失。

人类知识本来就不是按照学科来划分的，而是以问题为中心的，是以问题为学习和研究导向的。学科设置却是人为的，现代教育强化了这种人为的学科划分。认知科学打破了这种以分析方法建立的严格的学科壁垒，重新建立了多学科、跨学科的知识体系。认知科学作为一门综合自然科学、工程技术、人文科学的新的知识体系和研究方法，有可能帮助许多传统上互相分离的学科实现

交叉综合，重新焕发科学和学科的青春与活力。

综合知识创新。科学是以问题为导向的，是处处稠密的。科学是针对特定问题而产生的，凡是有问题的地方，就会有科学。学科则是人为划分的，是离散的和受学科规范约束的。现代教育体制，特别是现代大学强化了学科划分和学科规范。在科学与学科的这一对矛盾中，科学是第一性的，是活跃的，是常新的和生生不息的。学科是第二性的，是僵化的，是滞后的和难以改变的。学科规范与科学规律相适应则促进科学发展，反之则阻碍科学发展。但科学总是为自己的发展而不断突破学科障碍、开辟发展道路。认知科学的建立就是一个科学研究突破学科障碍而使科学得到发展的典型例子。其后聚合科技NBIC的建立又一次突破学科障碍，并为自己的发展开辟新的方向。通过这种矛盾运动，科学和学科都得到了健康发展。

在综合发展的时代，一些最初出现的学科或领域之间可能会发生整合。比如，在认知科学的框架内出现了大量的交叉学科新领域，如控制论产生于计算机科学与神经科学的交叉融合，神经语言学产生于神经科学与语言学的交叉融合，神经心理学产生于神经科学与心理学的交叉融合，认知过程的仿真产生于心理学与计算机科学的交叉融合，计算语言学产生于计算机科学与语言学的交叉融合，心理语言学产生于心理学和语言学的交叉融合，心理学哲学从哲学与心理学的交叉融合发展而来，人类学语言学从人类学与语言学的交叉融合发展而来，认知人类学从心理学与人类学的交叉融合发展而来，脑进化从神经科学与人类学的交叉融合发展而来，等等。显而易见，如果没有认知科学的发展，这些新的综合领域或交叉学科就不会出现。

人才综合发展。现代教育体制由多学科的分科教育组成，因此就涉及到一种学科分析的方法。当代教育系统需要分析方法和管理部门发挥学科间的协调作用，从而强化了学科管理部门本

身的职能。例如，当前，中国的大学如果要增加一个学科目录中没有的新学科，必须经过国家教育部的批准。在科学基金项目的申报中，跨学科、交叉学科和新兴学科项目的申报也存在困难。认知科学这个在美欧已经发展了近半个世纪、硕果累累、具有强大生命力的学科，在中国的学科目录和自然科学、社会科学两大科学基金项目的申报中，至今仍然没有自己的一席之地和正常通道。

在这样学科和教育体系中，学生更容易被培养成某种类型的专家、学者或教授，而很难被培养成为大师。为什么呢？因为这样的科学和教育体制不太可能产生历史上像诸葛亮那样精通天文、地理和军事的全才；也不可能产生像达·芬奇那样集艺术家、雕塑家、建筑师、工程师和科学家于一身的大师。古希腊百科全书式学者亚里士多德、中国古代思想家和哲学家老子、思想家和教育家孔子、心学大师王阳明、儒学大师莫友芝，也不可能从当代教育体系中诞生。事实上，古今中外的所谓“大师”，他们的知识类型全都是综合型的，而不仅仅是专业型的。这就是困扰我国科学界和教育界的“钱学森之问”的答案。可以期望，“钱学森之问”这个难题在综合的时代能够得到完美的解决。

在现代教育体制下，之所以很难出现上述那样的学术大师或改变人类命运的人物，重要的原因就是综合能力和综合知识的缺乏。如果人类知识是一座森林，在现代条分缕析的教育体制下，受教育者不过像虫子一样生活在一片树叶上，对其他树叶和树木缺乏了解，更不用说整个森林了。我们需要的是这样的人：他们能够像鹰一样在人类知识的森林上空自由翱翔，只有这样才可能有综合的眼光，才可能对人类知识，对整个森林有全面的了解，也才可能对人类的进步作出更大贡献。

聚合科技：大规模集成

认知科学和聚合科技NBIC正在向更高层次、



更大规模的方向发展。斯博列尔 (J. Spohrer) 预言：“在下个世纪，或者在大约5代人的时期之内，一些突破会出现在纳米技术（消弭了自然的和人造的分子系统之间的界限）、信息科学（导向更加自主的、智能的机器）、生物科学和生命科学（通过基因学和蛋白质学来延长人类生命）、认知和神经科学（创造出人工神经网络并破译人类认知）和社会科学（理解文化信息，驾驭集体智商）领域，这些突破被用于加快技术进步的步伐，并可能会再一次改变我们的物种，其深远的意义可以媲美数十万代人以前人类首次学会口头语言知识。NBICS（纳米—生物—信息—认知—社会）的技术综合可能成为人类伟大变革的推进器。”

扩展人类的认知和交际能力。实现NBIC聚合总目标的第一个重点领域是扩展人类认知与交际能力。这一领域的主要任务是促进技术突破，这些突破有可能增强个人的心理和社会交际能力。整个20世纪，人们提出了许多纯粹的心理学术来加强人类的人格特征，但是系统的研究通常无法证实这些技术方法的所谓好处。目前的证据表明，综合运用各种科学和技术的方法，可能比单纯依靠心理训练更有效。

加州大学圣特巴巴拉分校的高雷奇 (R. G. Golledge) 认为，聚合技术NBIC可以拓宽人类在几个感官领域“跳出界外”思考的能力，例如，聚合NBIC和空间认知方法，我们就可以得到：自然语言驱动的机器人和可穿戴计算机；基于人类寻路实践方法的互联网搜索引擎；感知环境并提醒我们污染程度等的智能面料等；当我们旅行时会与我们交谈的智能环境系统（如远程听觉标识系统）；以GPS为基础的个人导航系统能够方便我们在不熟悉的地方出行（例如旅游）；通过触控、注视或手势来解释所在环境的智能地图（例如“你在这里”的实时地图或触摸屏数据表达计算机）；机器导盲犬携带大型环境数据库，可以在不熟悉的地方开辟路线；为访客提供建筑物内

部状况及游客信息的智能建筑，比如，中转终端机；在地面或交通工具上提供的远程听觉标志（谈话标志/远程红外听觉标志）；购物中心和交通枢纽等建筑物内的“会说话”的荧光灯；具有点链功能的GPS导航系统，可以提供定位于地点和网站的信息。

改善人类健康和身体能力。由于生物医学项目设计的需要，了解细胞-分子界面（即纳米级相互作用）将是纳米生物技术应用的一个重要发展方向。

在延长人类寿命方面，广泛和成功地引入纳米生物技术将需要跨学科合作和广泛的信息交换。例如，在修复和替换损伤的生物器官方面可能的干预水平和一些正在出现的解决方案，其中纳米生物技术可以发挥作用。

在人机交互领域，人们普遍认为纳米技术的最新进展将对脑机接口 (BMIs) 和神经假体器件的发展产生重大影响。通过在神经元组织和机器之间建立直接联系，这些设备可以使用自愿神经元活动来直接控制机械、电子甚至虚拟物体，就像它们是身体的延伸一样。

这项新技术的核心是不断增长的电生理学方法的能力，用于揭示从大量个体神经元的原始电活动中获得意识和有意向的神经过程（如移动手臂）的潜在机制。这些神经信号可以被转换成一种可以用来控制外部设备的信息形式。此外，通过提供从这些设备向大脑传递感官（如视觉、触觉、听觉等）反馈的方法，有可能在大型神经回路和机器之间建立互惠的（生物学上更合理的）交互形式。这些发展可能满足人工驱动器的要求。这些驱动器作为简单的身体延伸功能，可以用来增强人体运动性能。基于这项研究和纳米技术的最新发展，构建一套闭环控制的脑机接口成为可能，使之在宏观、微米甚至纳米环境下恢复或增强电机性能。

提高团体和社会效益。NBIC创新的主要好处超出了个人层面，施益于群体，并促进经济、文

化和整个社会发展。特别是，NBIC创新寻求提高团队能力，促进社会交际和合作。

加州大学伯克利分校的班菲尔德（J. Banfield）提出了一个模型来解释认知科学的引入在指导复杂过程的超级模型发展方面是如何发挥无法估价的作用的。该模型将物理和化学环境信息与种群大小、结构和基因表达信息结合起来，分析群落相互作用并预测系统对扰动的响应。

在微生物模型的研究中，班菲尔德发现，过度使用和/或不平衡使用资源可导致毒素积累、食物短缺、人口过剩和死亡。纳米-生物-地理的整合可以让我们梳理出器官与其周围环境之间复杂的相互依赖关系，从而最终获得对环境系统的充分理解，以避免由微生物层面的相互作用中表现出来的资源耗尽的不利后果。

国家安全。美国国防部阐明了NBIC的7个国家安全目标：（1）数据链接、威胁预测和战备；（2）无人驾驶作战车辆；（3）作战人员教育和训练；（4）化学/生物/辐射/爆炸（CBRE）的探测与防护；（5）战士系统；（6）提高人类工作表现的非药物治疗；（7）脑机接口的应用。

例如，手腕佩戴的监视器（腕表）通过监测睡眠来预测人员的工作能力。睡眠通过手腕监视器处于非运动状态来确定。腕表显示的曲线根据士兵的休息时间来预测士兵的行动能力。海军研究实验室的默戴（J. Murday）开发了一种涉及未来纳米生物技术应用战士系统，该系统包括电镀陶瓷制造的等角天线材料、碳纳米管和纳米纤维制造的轻型弹道头盔、燃料电池膜制造的紧凑型电池、纳米纤维和选择性发膜制造的化学/生物防护服、聚合体分层硅化物和多层聚合物制造的弹道防护面罩、化学/生物探测技术和水质探测技术制造的化学/生物传感器、纳米初级合成物和纳米金属物制造的先进武器系统、纳米反应物制造的化学/生物皮肤杀虫剂乳霜、纳米胶囊和纳米薄膜过滤器制造的饮用水系统，这个

多系统综合的“未来战士系统”将极大地提高单兵作战能力，并在未来战争中形成前所未有的强大战斗力。

在21世纪之初，《聚合四大科技 提高人类能力》（CTIHP）一书就作出预言，无人机将会成为未来战争的主要作战手段。自动化技术（包括传感器小型化、增强的计算能力、存储能力和增强的软件能力）将替代飞行员在许多危险的作战任务中实现完全自动化或者人机循环组合。无人机将具备人工大脑，在执行任务时能够效仿技术娴熟的战斗飞行员。除需要战略决策或开火决定等特殊情况下，如起飞、航行、情况侦察、目标确认和安全返航等任务，将被自动完成。解除了人体重力约束和减少了人体物理支持设备（氧气、弹射系统、装甲等）的重量，飞机将更加灵敏。坦克、潜水艇和其他战斗车辆将会得到类似的改进。今天看来（特别是在近期的乌克兰危机中），这一预言已经完全成为现实。

统一科学和教育。目前，科学和工程的教育是高度碎片化的，每个部分都受到特定学科边界的限制。纽约城市大学的阿金斯（D. Akins）等人预测，在未来，知识将基于由纳米技术、生物技术、信息技术和认知科学提供的统一概念，而这是通过教育机构来推行的。自然科学、工程科学、社会科学和人文科学将聚合在一起。统一科学的基本概念将从教育过程的一开始就引入，包括K-12、本科和研究生教育的全过程。聚合科技将开发新的工具，用以提供高质量的、随时随地可利用的教育机会。NBIC的科学和工程教育方式将让大多数学生可以受益，并作为继续教育让感兴趣的成年人也可以受益。

美国国家航空航天局的巴特森和波普（J. G. Batterson and A. T. Pope, 2002）对2015年K-12教育的发展前景做了详细的预测：

在未来的15年里，聚合科技（CT）、纳米、生物、信息和认知技术（NBIC）的协同作



用将显著改善K-12年级的教学方式、教学地点和教学内容，并支持快速发展的科技经济所需的终身学习。通过国家和州的标准，美国一半的学校将根据科学与技术统一的原则开展科学教育（NRC, 1995），而不是自工业革命前以来孤立学科的教育。新的学习工具如神经科学传感器，通过保证带宽提高互联网服务质量，以及对自我完善的生物反馈的新理解，将为所有人提供新的、高效的学习方法，特别是确保所有儿童在五岁前都能够阅读。学生们将不再依赖于教室或校舍的严格管理和课程表，因为他们将从无数的场所全天候地获得课程和补充信息。

NBIC的研究进展可以满足每年越来越多学生的特殊需求，而需要的教职员工却越来越少。随着科技的发展，学生可以越来越方便地与世界各地的其他学生交流，分享信息、语言和文化。随着人们认识到终身学习的重要性，全世界可能会有越来越多的人加入到教育体系中，其中包括数百万老年人，终身学习的重要目标成为现实。在巴特森和波普（2002）的教育模式中，对新建筑的要求降低了，因为学生可以在家里、工作区域和学校全天候（每周7天，每天24小时）利用课程资源。节省下来的资本投资可以用于提高教育工作者的薪酬，以吸引和留住优秀的教师和课程开发人员。据设想，教育和娱乐之间的界限将越来越模糊，因为公民都可以全天候对学校进行访问，以改善他们的生活。

结论与未来预测

在20世纪的最后25年里，科学技术的两个重要的发展是1975年认知科学的建立和2000年NBIC聚合技术的产生。下面，我们对从认知科学到聚合科技及其后的发展作一总结，并对未来作出预测。

人类发展进入综合时代。认知科学由6大学

科组成，是人类知识的综合发展。NBIC聚合科技，包括认知科学，是一次更大的学科综合。科学综合的趋势为科学知识提供了极其广泛的基础，也为科学技术进步和人类认知发展提供了前所未有的广阔前景。

纵观人类科学史和思想史的发展历程，我们可以看到一个从分析到综合，再从简单综合到更大综合的发展过程。不断地综合发展，从综合到更大的综合，是21世纪人类科学技术发展的持续趋势。

这种融合发展的趋势体现在科学研究、学科建设、人才培养等多种模式上。在综合知识、综合学科和扩展能力的发展基础上，综合和发展将会变得更加全面。此外，这一趋势可能会对中国的政治、经济、社会、文化、教育和社会的其他方面产生强烈的影响。在21世纪综合的时代，NBIC聚合科技有可能从根本上改变人类前进的方向，甚至改变物种。重要的是要预测这些变化的性质，并作出适当的准备。

然而，认知科学和聚合技术的新发展目前还未进入决策层面。例如，尽管部分发达国家和世界一流大学都在全力支持认知科学和聚合技术的研究，但认知科学尚未被纳入中国的学科目录。这种状况令人担忧。许多年前，笔者曾说过，一所大学如果不进行认知科学研究，就不足以被认为是世界一流的大学。这个观点应该引起大学和各级教育管理者的重视。

思想和方法创新在当今时代的重要性。认知科学，特别是认知人类学（涉及文化、进化和认知）和进化心理学的研究表明，人类和非人类动物之间的根本区别是：人类在200万年前发明了口头语言，这是可以表达抽象概念的符号语言。在抽象语言的基础上，人类发展出抽象思维。凭借抽象语言和抽象思维，人类建构了全部的知识体系，知识在历史的演进过程中积淀为文化。因此，人类具有语言、思维、文化层级的认知，而非人类动物并不具有这种认知。非人类动物的进

化仅仅发生在基因的水平上，一个有生物学意义的小小变化往往需要历经数百年甚至数千年的时间跨度。人类的进化可以发生在思想、文化和技术层面上，其基础是通过语言进行社会传播。文化演变可以在几十年、一代人或至多几代人的时间内产生实质性的变化。地球上生命的历史长达数十亿年。作为基因进化的结果，智人出现在1.6亿年前。这个过程涉及数十亿年缓慢的生物进化。在大约5000年前人类逐渐发展出了语言和书写。从那时起，人类的进步在很大程度上不是在基因水平上，而是在工具和文化水平上的进步。自文字发明以来，人类社

会的进步呈指数级的发展。书面语言促进了知识的保存，而语言促进了文化的传播（见表1）。美国科学家文特（J. C. Venter）使用合成染色体来创造人工生命，验证了表1最后一行的合成方法，文特将自己从无到有合成的这个新生命命名为“辛西娅”（Synthia），与“综合”（synthesis）为同源词，由此开创的一个新的学科被称为合成化学（synthetic chemistry）。人工合成生命出现的时间比2002年罗科、班布里奇等人预测的要早得多。

分析方法在20世纪初极大地改变了人类社会。在20世纪下半叶，认知科学的综合方法也产

表1 人类能力获得某些非常重大发展的历史：提高人类的能力来加速发展人类自身

代（每代30年）	一些关键的进步（人的种类、工具和技术、通信）
-m	细胞；身体和脑的发展
-100,000	旧石器时代；直立人；言语
-10,000	现代人；制造工具
-500	中石器时代；创造艺术
-400	新石器时代；农产品；写作；图书馆
-40	大学
-24	印刷术
-16	科学技术复兴；精确的钟表
-10	工业革命
-5	电话
-4	无线电
-3	电视
-2	计算机
-1	微生物学；互联网
0	达到物质构件层次（纳米科学）； 生物技术产品； 通过互联网实现全球联系； 用于导航的GPS传感器
1/2	从纳米尺度上统一科学和聚合技术； 纳米技术产品； 促进人类能力提高； 全球教育和信息基础设施
1	聚合技术产品，提高人类身体和心智能力（新产品和服务、大脑的连通、感知能力等）； 社会和商业的改组
n	超越人类细胞、身体和大脑的进化？

来源：J. Spohrer, 2002, "NBICs Convergence to Improve Human Performance: Opportunities and Challenges," M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*

生了类似的效果。随着更加综合的科学方法的使用，NBIC聚合技术将从根本上改变21世纪的人类社会。人类的思考和行动受语言使用方式变化的影响。因此，从语言中产生的工具和技术发生变化，会引发社会在多个层面上的变化。从分析到综合，再从综合到更全面的综合，涉及语言学层面的思想和方法的创新。这就突出了创新思想和方法对社会进步的重要性。很明显，在综合时代需要大量的思想和方法的创新，且这种创新不同于作为分析时代单一学科或某一领域的创新。

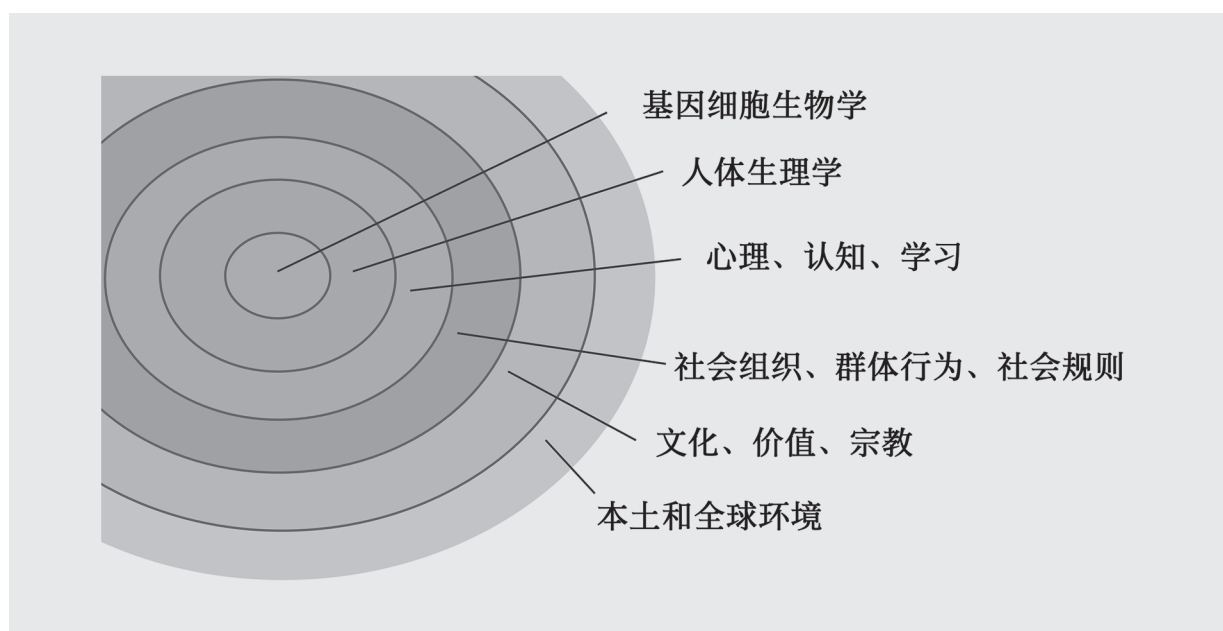
个人全面发展的重要性。综合的时代有利于个体的全面发展。在分析时代，左脑在控制思想和行为方面占主导地位。可以预测，在未来，左脑优势将被右脑优势所替代，左右脑半球将扮演更平衡的角色，因为大脑高度偏侧化使得双脑平衡的个体比只使用或主要使用左脑的个体能够更有效地同时执行左右脑的功能，从而达到分析与综合、演绎与归纳平行的认知功能。

因此，左脑的分析功能应该得到越来越多

的应用，右脑的综合功能也应该得到越来越多的应用，只有这样个体才有可能得到更全面的发展。认知神经科学已经表明，没有足够的对大脑与心智能力的理解，即对脑、心理、语言、思维和文化认知的理解，人的整体心智能力无法得到提高。

《聚合四大科技 提高人类能力》(CTIHP)一书顾问罗宾奈特(W. Robinett)认为，新的认知能力通过对大脑的全面了解而实现。这些能力包括虚拟存在、改进的感觉、记忆、想象等。罗宾奈特还设想了一些发展，比如，“将自己下载到新的硬件”的能力，通过这些能力，一个人可以实现即时学习，开发多个体蜂群心智，光速旅行，甚至自主进化等。NBIC技术可以帮助我们整合现有的关于人类行为的多种驱动因素的知识，以全面理解人类活动。这一目标的实现将使我们对人类行为的理解有一个重大飞跃(见图1)，有可能导向人类构成一个新物种。

最后，应该认识到，科学和技术的回归必须是在个体层面上，并且是以人为本的。也就是



来源：M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), 2022, *CTIHP*, p. 159

图1 NBIC融合人类行为研究，有可能改变人类进化方向，形成新的人类

说，人类的生存应该有一个总目标，包括预防潜在的危害和遏制科学技术目前所造成的危害。必须考虑到，聚合技术的发展除了积极的影响，也可能有潜在的负面影响。目前，地球正在变暖，海洋冰层正在融化，环境正在受到破坏，资源面临枯竭危险。此外，一些人类活动正在对人类自身产生严重的有害影响。解决技术的这些消极影响是未来科学技术的核心问题。

完善教育体系，在广阔的发展体系中创造全面发展的人才。未来的真正改善将依赖于社会变化，这些变化使人类能够在不破坏地球的前提下生存和发展。这不仅需要能够进行数学和逻辑分析的科学家和哲学家，也需要能够运用综合认知能力进行艺术创作和综合思维的思想家和创造者。

中国古代思想家孟子说：“万物皆备于我矣。反身而诚，乐莫大焉。”这是说，世界上万事万物之理已经由天赋与我，在我的天性之内完全具备了，如果向内探求，到达天人合一的至诚境界，便会感到莫大的快乐。这句话反映了孟子天人合一的思想。两千年后，马克思曾引用一句他所喜欢的格言“人所共有我皆有”，表明了同样的哲理和人生价值。相距两千年的这两位伟大思想家对世界的思考得到同样的结论，这不是偶然的。

《达·芬奇传》的作者瓦萨里（Giorgio Vasari）评价达·芬奇这位文艺复兴时期著名的科学家和艺术大师：“在正常的过程中，许多男人和女人生来就具有非凡的才华；但有时，一个人被上天以一种超越自然的方式神奇地赋予了美丽、优雅和才华，他把其他人远远甩在了后面，他的所有行为似乎都受到了启发，事实上，他所做的一切显然都来自上帝，而不是人类的技能。每个人都承认列奥纳多·达·芬奇是这样的，他是一位有着出众的身体美的艺术家，他在做任何事情时都表现出无限的优雅，他如此轻松地培养他的天赋，以至于他研究的所有问题都能轻松解

决。”意大利物理学家、天文学家、数学家、哲学家、现代实验科学先驱伽利略说：“自然是完美的”，乔姆斯基引用伽利略的话写道：“科学家的任务就是证明这种美，无论是研究运动的定律、雪花的结构、花朵的形状和生长，还是我们已知的最复杂的系统——人类的大脑。”

一些科学家预测，全球教育和信息系统将在本世纪的前15年从根本上改变教育的面貌。NBIC聚合科技有可能将科学和教育统一起来，提供一个包括认知科学在内的更广泛的基础。在当今时代，我们也许能够消除对学生和学习的限制，包括自现代教育系统出现以来就存在的物理教室和社会纪律的限制。我们希望涌现像文艺复兴时期的达·芬奇和伽利略那样杰出的科学家和学术大师，我们也希望出现更多像孔子、孟子、老子、庄子那样关心人类命运的思想家。

（本文系国家社会科学基金重大项目“语言、思维、文化层级的高阶认知研究”、国家自然科学基金重点项目“语言理解的认知机理与计算机模型研究”的阶段性成果，项目编号分别为：15ZDB017、62036001）

注释

[1] M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *Converging Technologies for Improving Human Performance Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, Kluwer Academic Publishers, 2002. 中文版《聚合四大科技 提高人类能力——纳米技术、生物技术、信息技术和认知科学》，蔡曙山、王志栋、周允程等译，北京：清华大学出版社，2010年。本书入选2011年中央国家机关“强素质，作表率”读书活动科技类唯一推荐书目。为方便阅读，英文版书名简写为：CTIHP。

参考文献

G. A. Miller, 1956, "The Magical Number Seven,



Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information," *Psychological Review*, 63, pp. 81–97.

N. Chomsky, 1957, *Syntactic Structures*, The Hague: Mouton.

G. A. Miller; M. Chomsky, 1963, "Finitary Models of Language Users," in R. D. Luce; R. R. Bush; I. Galanter (eds.), *Handbook of Mathematical Psychology*, New York: Wiley.

M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), 2002, *Converging Technologies for Improving Human Performance: Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, Dordrecht/Boston/London: Kluwer Academic Publishers.

M. G. White, 1955, *The Age of Analysis: 20th Century Philosophers*, Mentor.

K. Gödel, 1992, *On Formally Undecidable Propositions of Principia Mathematica and Related Systems*, translated by B. Meltzer, New York: Dover Publications.

S. Cai, 2011, "The Age of Synthesis: From Cognitive Science to Converging Technologies and Hereafter," Beijing: *Chinese Science Bulletin* (《科学通报》英文版), 56, pp. 465–475, doi: 10.1007/s11434-010-4005-7.

蔡曙山, 2021, 《认知科学导论》, 北京: 人民出版社。

G. Lakoff; M. Johnson, 1999, *Philosophy in the Flesh: The Embodied Mind and Its Challenge to Western Thought*, New York: Basic Books.

R. M. Harnish, 2001, *Minds, Brains, Computers: An Historical Introduction to the Foundations of Cognitive Science*, Malden, M. A.: Blackwell Publishers.

J. Spohrer, 2002, "NBICS (nano–bio–info–cogno–socio) Convergence to Improve Human

Performance: Opportunities and Challenges," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, pp. 101–117.

D. Druckman; R. A. Bjork, 1992, "In the Mind's Eye: Enhancing Human Performance," Washington, DC: National Research Council.

R. G. Golledge, 2002, "The Nature of Geographic Knowledge: Annals of the Association of American Geographers," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, pp. 135–136.

P. Connolly, 2002, "Nanobiotechnology and Life Extension," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, pp. 182–190.

M. A. L. Nicolelis; M. A. Srinivasan, 2002, "Human–machine Interaction: Potential Impact of Nanotechnology in the Design of Neuroprosthetic Devices Aimed at Restoring or Augmenting Human Performance," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, pp. 251–255.

J. Banfield, 2002, "Making Sense of the World: Convergent Technologies for Environmental Science," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, pp. 294–300.

R. Asher; D. M. Etter; T. Fainberg, et al., 2002, "Theme E (National Security) Summary," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, pp. 328–329.

D. M. Etter, 2002, "Cognitive Readiness: An Important Research Focus for National Security," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, pp. 330–336.

J. S. Murday, 1999, "Science and Technology of Nanostructures in the Department of Defense," *Journal of Nanoparticle Research*, 1, pp. 501–505.

D. L. Akins; Y. Bar–Yam; J. G. Batterson, et al., 2002, "Theme F (Unifying Science and Education) Summary," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, p. 363.

National Research Council (NRC), 1995, *National Science Education Standards*, Washington, DC:

National Academy Press.

J. G. Batterson; A. T. Pope, 2002, "Converging Technologies: A K-12 Education Vision," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, pp. 417-418.

D. G. Gibson; J. I. Glass; C. Lartigne, et al., 2010, "Creation of a Bacterial Cell Controlled by a Chemically Synthesized Genome," *Science*, 329, pp. 52-56.

E. Pennisi, 2010, "Genomics: Synthetic Genome Brings New Life to Bacterium," *Science*, pp. 958-959.

P. F. MacNeilage, L. J. Rogers, G. Vallortigara, 2009, "Origins of the Right and Left Brain," *Scientific American*, 301, pp. 60-67.

D. Kahneman, 2011, *Thinking, Fast and Slow*, Farrar, Straus and Giroux.

W. Robinett, 2002, "The Consequences of Fully Understanding the Brain," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, pp. 167-170.

G. Yonas; J. G. Turnley, 2002, "Socio-Tech: The Predictive Science of Societal Behavior," in M. C. Roco; W. S. Bainbridge (eds.), *CTIHP*, p. 159.

N. Chomsky, 2001, *Preface: An Introduction to Cognitive Linguistics*, Beijing: Foreign Language Teaching and Research Press, F19.

责编 / 张晓

The Age of Synthesis: From Cognitive Science to Converging Technologies and Their Future Development

Cai Shushan

Abstract: The last 25 years of the 20th century saw two most important scientific and disciplinary developments: the establishment of cognitive science in 1975 and the emergence of nano-bio-info-cognitive convergence technologies (NBIC) in 2000. In the 21st century, we will achieve interdisciplinary intersection, synthesis, intellectual innovation, and overall development of human resources. NBIC convergence technologies will greatly expand human cognition and communication, improve human health and physical capabilities, enhance group and social outcomes, strengthen national security, and unify science and education. Cognitive science and converging technologies will have a major impact on the future development of humanity. The 21st century is the age of synthesis, reflected in problem-oriented scientific research and the development of disciplines characterized by cross-cutting synthesis. The new era of synthesis will require different ideas, theories and innovative approaches from those of the 20th century. We predict that these developments will lead to the full development of each individual. In line with the development of the era, the education system of the 21st century will undergo significant changes and a new system of integrated cultivation of human resources will be formed.

Keywords: age of synthesis, cognitive science, converging technologies, disciplinary synthesis