

第 1 章 人脑认知控制相关研究

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

三次科技革命（农业革命、工业革命、信息革命）让人类征服了物质世界，每一次科技革命都给我们的生活带来翻天覆地的变化。人类历史的下一次科技革命将会是什么主题？神经科技工业组织（Neurotechnology Industry Organization, NIO）的创立者和领导者扎克·林奇（Zack Lynch）在他的著作《第四次革命：看神经科技如何改变我们的未来》^[9]中认为是意识领域的革命——神经革命。以牛拉犁为代表的农业革命给我们带来丰富的食物，以蒸汽机为代表的工业革命给我们带来充裕的商品，以计算机、网络为代表的信息革命给我们带来畅通的交流，以神经技术为代表的神经革命将给我们带来无限的幻想和实现幻想的无限可能，如图 1.1 所示。届时，人类将极大地开发大脑潜能，最大限度地利用对大脑的认识改造世界。唯有经历这四次科技革命，人类才能完整地书写历史。

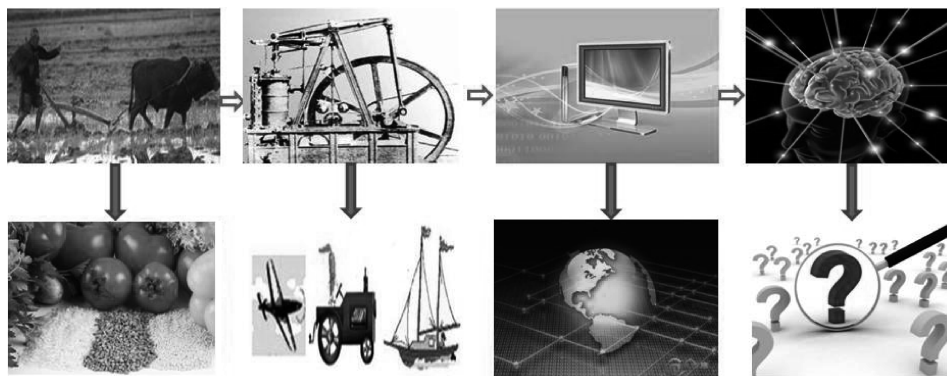


图 1.1 人类历史上的“四次重大的科技革命”

生物集成芯片与大脑成像技术的加速发展催生出种种功能各异的神经技术。神经技术，指任何能理解人类大脑的意识活动、工作过程以及改善和修复大脑功能的手段与工具。未来的神经技术最终想要解决的问题是读懂人的大脑到底在想什么。越来越多的科学家开始关注神经科技，主要使用脑功能成像技术研究大脑，如：功能性核磁共振成像技术 (functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI, 如图 1.2 所示)、正电子发射计算机断层扫描技术 (Positron Emission Computed Tomography, PET, 如图 1.3 所示)、脑电图技术 (Electroencephalograph, EEG, 如图 1.4 所示)、脑磁图技术 (Magnetoencephalography, MEG, 如图 1.5 所示) 等。



图 1.2 功能性核磁共振成像技术



图 1.3 正电子发射计算机断层扫描技术

随着神经技术的发展，各个科研强国也启动了探索“大脑如何工作”的计划。2013 年，时任美国总统奥巴马宣布将投资 1 亿美元启动研究人脑活动图

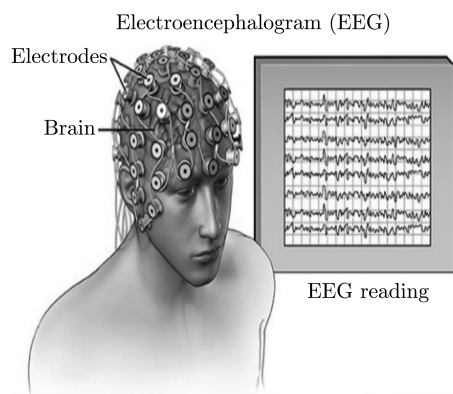


图 1.4 脑电图技术



图 1.5 脑磁图技术

工程计划——使用先进革新型神经技术的人脑研究（Brain Research through Advancing Innovative Neurotechnologies, BRAIN）。同年，欧盟和日本也分别启动欧洲脑计划（The Human Brain Project）以及日本脑计划（Brain Project）。2016 年 8 月 8 日国务院颁发《“十三五”国家科技创新规划》，将“脑科学与类脑研究”列为“科技创新 2030-重大项目”，并提出抢占脑科学前沿研究制高

点。同年我国发布了“中国脑计划”，即“脑科学与类脑研究”国家重大科技专项，侧重以探索大脑认知原理的基础研究为主体，以发展类脑人工智能的计算技术和器件及研发脑重大疾病的诊断干预手段及社会化相关行业领域为应用导向。

1.1.2 研究意义

人们在执行信息加工任务时难免会遇到各种各样的干扰信息，人们需要将注意力放在与当前任务相关的信息上，同时忽略或抑制与任务无关的信息。在这个过程中，认知控制起着至关重要的作用。

1. 认知控制

认知控制是指人们执行任务过程中，面对干扰或冲突时，通过促进与选择任务相关信息（刺激、行为等）的加工，同时抑制不相关信息（想法等）的加工，从而灵活地完成当前任务的能力，它是人脑完成认知活动所必需的高级认知功能，是注意、工作记忆、抑制、信息加工与评价等多种认知过程的基础和重要参与者。Botvinick 在其关于冲突监测和认知控制的综述中指出，认知控制是指人的认知系统在特定任务中为了更好地完成任务而进行感知选择（perceptual selection）、反应偏向（response biasing）和对信息的保持（on-line maintenance of contextual information）的自我调控或者适应过程^[10]。这些过程涉及感知觉加工、选择性注意、工作记忆以及执行控制等功能。

人们在面对复杂多变的情境时，需要能够及时地把行为与当前的情境和目标联系起来。认知控制过程通过选择与情境相关的知觉、记忆、反应表征或加工通路使这种灵活的行为成为可能。认知控制是我们人类大脑非常重要的一种执行能力。认知控制能力和我们的生活是息息相关的。例如：当你穿过十字路口或者在课堂上学习时，你必须对干扰信息做出有效的抑制；在嘈杂的研讨会上，你能够通过认知控制能力和别人进行交流；当你在驾驶汽车时，你需要调动视听觉的认知控制能力进行有效及时的操作。当在学习中的人被噪声所干扰时，认知控制功能会使大脑注意所学习的内容，这些被注意的信息在大脑中被流畅地加工，而噪声信息的加工则被抑制，这使得学习的效率得以保持在较高的水平。总之，认知控制是一种能够调控大脑资源对大脑的任务相关活动进行选择集中处理的能力，当这一能力减弱时，会使人在任务执行的过程中出现错误、反应迟钝，从而导致破坏性事故的发生。

2. 认知控制相关研究的意义

对人脑认知控制的研究对于我们的生活、学习和工作等有着重要的意义。近年来有大量关于人脑认知控制的研究,与一些实际应用领域联系起来,取得了一系列成果。

(1) 脑部疾病诊治

据有关数据表明,我国脑中风的发病率正以每年 8.7% 的速度上升,已成为我国国民第一位的死亡原因,而黑龙江省居全国发病率之首。通过认知控制相关生物指标和检测方法对认知控制功能进行评价,及时发现认知控制功能受损(脑中风、阿尔茨海默病等)的人群,采取治疗措施,防止症状加重,改善患者生活质量。如:研究^[11]通过对无症状脑梗塞患者进行认知控制任务,发现其事件相关脑电位 P300 生物指标有显著性,可用于早期发现脑认知功能受损,防止病情恶化。Murie 和 Fernandez 提出了对于中风后的司机评测和恢复其驾驶能力的方法,其中就包括让他们完成认知控制相关的任务^[12]。另外,Verdelho 等通过对 638 名老年人进行认知控制实验,发现年龄相关的脑白质病变与脑的认知执行功能、注意、反应速度下降有关^[13]。

数据表明,我国现有癫痫患者 1000 万人,并且呈低龄化趋势。Chevalier 等发现有良性癫痫的小孩存在抑制控制的缺陷,反映了脑额叶功能的不良^[14]。研究^[15]发现相比于正常的实验者,脑顶叶癫痫的患者在认知控制任务中的反应潜伏期增长,同时脑电位 P300 的幅度减少,从而可以通过这两个指标评估脑顶叶癫痫患者的认知损伤。相关研究也通过认知控制任务评估癫痫病患者服用抗癫痫药物治疗后的认知功能情况,验证医药治疗手段的有效性^[16-17]。

精神分裂症的认知损伤的一个关键部分就是认知控制的扰乱。Laurenson 等提出通过 Stroop 干扰指标解释精神分裂症患者的认知抑制缺陷^[18]。研究^[19]通过 fMRI 技术发现精神分裂症患者执行认知控制任务时 ACC 活动减少,说明 ACC 的病变是精神分裂症患者认知控制受损的主要原因之一。另外,Cho 等通过认知控制任务发现在健康被试的前额区,更多的认知控制需要使前额区诱发的 gamma 频段的活动增加,但对于精神分裂症患者不存在^[20]。

通过认知控制的研究,在手机移动端也有应用。Bajaj 等应用认知控制任务的范式开发了智能手机应用程序,可以有效地监控很难被诊断的轻微肝性脑病^[21]。最近,Walton 等认为步态冻结的帕金森病患者在高认知负载的情况下对于自己犯的错误存在监控缺陷^[22]。另外,David 通过对患有阿尔茨海默病(Alzheimer's disease, AD)的患者和年龄相当的健康实验者进行认知控制实

验,发现 AD 患者存在认知控制的干扰效应,强调了感知控制的退化和处理的反应速度可以评测 AD 患者的选择注意^[23]。

(2) 情绪疾病防控

据世界卫生组织估计,中国情绪疾病的发病率占有疾病发病率的 20%,高于世界平均发病率,中国抑郁症患者高达 7000 万人,处于临界抑郁状态的人数过亿。通过发现有情绪性疾病倾向的人群(恐惧症、抑郁症、焦虑症等),及时进行心理疏导干预。

相关研究通过 fMRI 技术发现有情绪性疾病的人群在执行认知控制实验任务时特有的生物神经指标。认知控制的能力即对无关的干扰能力进行有效控制的能力,而焦虑症患者不太容易对无关刺激进行抑制。如 Bishop 等采用 fMRI 技术,在对脑侧前额叶 (Lateral Prefrontal Cortex, LPFC) 和 ACC 的认知控制功能的分析基础上,发现焦虑水平更高的实验者同时表现出整体上前部 ACC(rostral Anterior Cingulate Cortex, rACC) 的激活,以及减少的背侧 PFC 的调用^[24]。Krug 等也通过情绪认知控制实验发现,只有低焦虑的实验者表现 rACC 激活,而高焦虑的实验者表现出更高的杏仁体活动的激活以及和冲突活动相关的背侧前扣带回 (dorsal Anterior Cingulate Cortex, dACC) 的激活^[25]。

研究^[26] 利用情绪认知控制任务发现曾被烧伤的实验者对于烧伤相关的词的反应潜伏期长于中性或创伤词。研究^[27] 利用情绪认知控制任务发现创伤患者对于创伤相关的词命名变慢,存在认知干扰效应。这些发现的认知控制效应的原因可能是经过烧伤或创伤的人由于当时产生了恐惧情绪,从而在海马体形成了较深刻的记忆。

研究^[28] 发现抑郁症通常由脑注意控制和执行功能下降以及负性情绪增加导致。Ladouceur^[29]、Dichter^[30] 在认知控制任务中加入情绪信息,结果发现,抑郁个体的认知控制功能会因情绪背景的干扰而受到影响。研究^[31] 也发现严重抑郁症患者对悲伤或中性词的命名反应时都比对照组长,同时, fMRI 发现抑郁患者的右楔前叶和左侧 rACC 显著激活^[31]。廖成菊等提出抑郁症的产生是由于抑郁症患者情绪加工脑区过度激活与认知控制脑区功能降低之间的相互作用而形成的恶性循环所导致^[32]。最近,研究^[28] 提出抑郁症恢复患者通过互联网进行认知控制训练 (Cognitive Control Training, CCT) 可以激活脑前额的神经网络,增强脑认知和情感功能,有效地降低认知损伤和残余症状,促进抑郁患者的恢复。

Kocak 等通过认知控制实验范式研究强迫症患者的脑动态性,结果发现

强迫症患者在需要认知控制的任務中没有脑右额顶区，从而导致强迫想法的侵扰^[33]。

（3）精神疲惫监测

国内外统计数据表明，有 20% 左右的交通事故是由疲惫驾驶引起的。认知控制是一种能够调控大脑资源对大脑的任务相关活动进行选择集中处理的能力，人脑在精神疲惫状态下认知控制能力会下降。通过认知控制能力的实时监测，可以及时发现驾驶员由认知控制能力下降引起的精神疲劳状态，防止意外交通事故发生。Rauch 和 Schmitt 使用认知控制任务（stroop）发现连续运用认知控制能力会导致认知控制能力逐渐受损，表现为错误率和反应时间增加^[34]。Lorist 等认为精神疲惫导致认知控制能力下降的原因是，没有足够的多巴胺递质传递给前扣带回（Anterior Cingulate Cortex, ACC）和纹状体^[35]。郭孜政等通过事件相关电位（Event-Related Potential, ERP）的方法，发现连续作业的高铁司机的持续注意力会下降，主要原因是认知控制等高级认知能力的下降^[36]。

Rauch 等使用认知控制任务发现连续运用认知控制能力会导致认知控制能力逐渐受损，表现为错误率和反应时间增加^[14]。

（4）戒瘾措施实施

酒精成瘾、药物成瘾近些年呈上升趋势。通过认知控制能力的评估，检测物质成瘾者在某些对其有干扰的刺激下的认知控制能力，采取相应的戒瘾措施，减少依赖。

Johnsen 等研究发现在“Stroop 色-词干扰效应”认知控制任务（命名颜色）中，酒精成瘾者对酒精相关的词（如白酒、喝醉等）的颜色命名时间要慢于中性词^[37]，原因在于，相比于中性词，酒精成瘾者对酒精相关的词自动化加工的程度更高，受干扰程度更大。Drobes 等也发现在情绪认知控制实验中，吸烟者的注意力和反应速度都下降，他们对与吸烟或负性情绪相关的词有注意倾向^[38]。这种注意的倾向在大麻成瘾者中也存在^[39]。

另外，Garavan 等发现通过可卡因依赖者的脑神经图像观察到其前额区（prefrontal）有缺陷，成瘾者对于药物相关的刺激注意倾向，抑制控制表现不足，同时，对自身行为的检测和评估能力也下降^[40]。通过研究认知控制实验中吸毒者的行为学数据（反应时间和错误），Liao 等认为美沙酮的持续治疗（Methadone Maintenance Treatment, MMT）能提高海洛因成瘾者的认知控制，减轻其冒险行为^[41]。

另外，认知控制能力的评估还在认知训练^[17]、任务执行^[18]、语言学习^[19]、道

德判断^[20]等领域有重要应用。

(5) 语言加工

Zied 等通过认知控制实验提出掌握两门语言能够增强抑制机制的效率^[42]。Yow 等也提出经常使用双语可以有较好的认知控制表现（如抑制反应倾向和全局上下文切换）^[43]。

(6) 道德判断

Greene 等采用 fMRI 研究，得出道德判断中认知控制和情感过程都起着关键的作用，有时还存在相互竞争。研究结果表明，与认知控制和抽象推理（包括背侧 PFC 和 ACC）有关的脑区在解决困难的个人道德两难问题（功利主义违背个人道德）时受到激活^[44]。

综上，认知控制在人脑的各种认知活动中是广泛存在的，相关的问题引起越来越多学者的广泛关注，已经在认知控制的理论研究成果取得进展，可以在精神疲劳检测、物质成瘾治疗、精神/神经/情绪疾病的诊治、癫痫诊治、道德判断、认知控制能力评估等方面进行应用。毋庸置疑，对人脑认知控制的脑电生物指标、行为学指标、神经机制、认知过程等的理论研究，进而实施人脑认知控制的计算，具有非常重要的意义。同时，本研究可以对人脑进行认知控制的机制有更深入的探索，对智能信息科学和认知科学等的发展都具有重要的理论意义和借鉴价值。

1.2 国内外研究现状

人脑认知控制的研究在认知科学中起到非常重要的作用，这方面获得了很多来自功能性神经影像、脑电图的新数据。文献 [45] 进行了综述。国内外对于脑认知控制能力的研究主要是先通过设计认知控制实验范式，获得实验者的相关数据（行为学、功能性神经影像、脑电图等），然后进行数据处理和统计分析，得到人脑认知控制检测的主要计算指标有行为学的响（反）应时间和错误率、脑功能性神经影像得到的脑激活区以及脑电信号的时域特征和频域特征结果，如图 1.6 所示。

1.2.1 认知控制检测实验范式

要对人脑的认知控制进行检测，首先要设计实验范式诱发认知控制，然后采集相关数据进行处理和分析，主要基于的原理都是任务无关信息对任

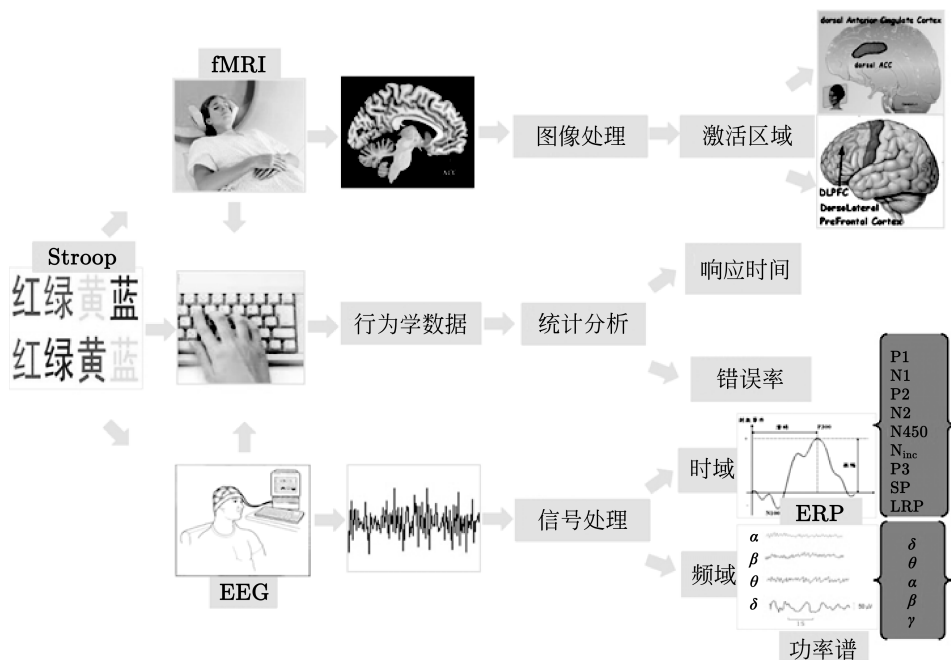


图 1.6 认知控制能力的研究和评测方法

务相关信息的一种干扰。目前研究人脑的认知控制能力的实验范式常用的有 Oddball(如图 1.7 所示)、Go/NoGo(如图 1.8 所示)、Stroop(如图 1.9 所示)、Simon(如图 1.10 所示) 和 Flanker(如图 1.11 所示)。Oddball 范式通常要求实验者在经常出现的标准刺激中确定不经常出现的目标刺激(偏差刺激)^[46]。Go/NoGo 范式要求参与者对某种刺激做出反应(如按键-Go),同时对其他刺激进行抑制(如不按同样的键盘-No-go)^[47]。Simon 范式主要是实验者反应方位和目标位置间的认知冲突,如果目标位置与反应方位不一致,实验者的反应

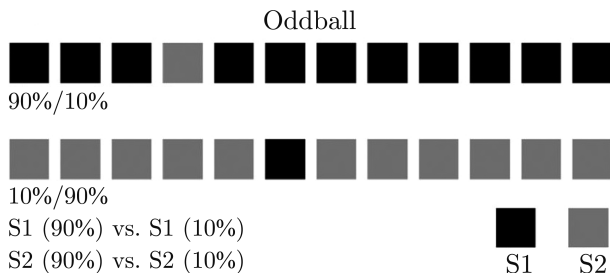


图 1.7 Oddball 认知控制实验范式

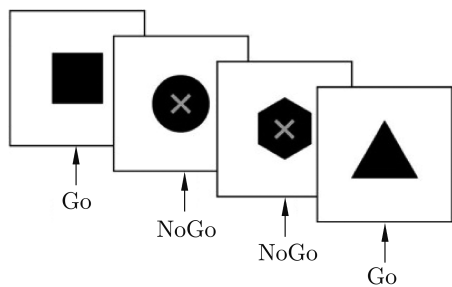


图 1.8 Go/NoGo 认知控制实验范式



图 1.9 Stroop 认知控制实验范式

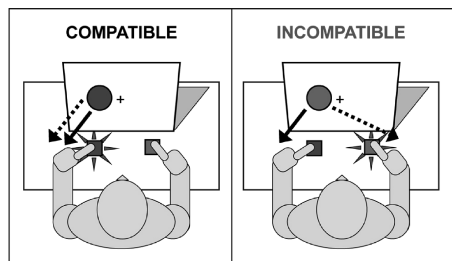


图 1.10 Simon 认知控制实验范式

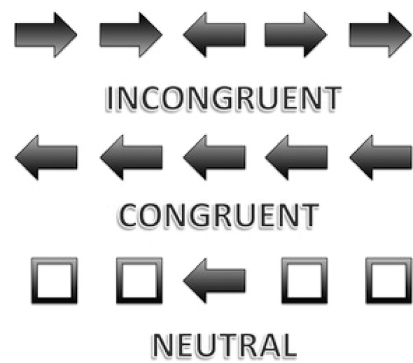


图 1.11 Flanker 认知控制实验范式