

引用格式:程璐,马庆国,王琳. 神经创新学赋能创新人才培养的机制与方法[J]. 技术经济, 2025, 44(4): 36-48.

Cheng Lu, Ma Qingguo, Wang Lin. The mechanisms and methods for innovation talent cultivation empowering through neuro-innovation[J]. Journal of Technology Economics, 2025, 44(4): 36-48.

神经创新学赋能创新人才培养的机制与方法

程璐¹, 马庆国^{2,3}, 王琳¹

(1. 杭州电子科技大学中国科教评价研究院, 杭州 310018; 2. 浙江工业大学管理学院, 杭州 310014;

3. 浙江大学管理学院, 杭州 310058)

摘要:新质生产力正加速从“要素驱动”向“创新驱动”跃迁,本文聚焦其核心需求,深入探讨神经创新学在提升人才创新能力中的内在机制及实践方法。基于生产力“三要素”理论,将创新人才视为核心要素,从微观层面剖析神经创新学对个体创新能力的作用机理。通过梳理神经科学与创新学的交叉研究,系统揭示了生理指标、情绪-认知及人格特质在创新能力形成与提升中的关键作用,并论述了神经创新学工具在动态测量、精准分析与干预个体认知行为方面的独特优势。本文进一步提出了基于“实践-人才-技术”循环与“实践-理论-实践”再创新循环的互动机制与发展模式。构建了创新人才培养的全新理论框架与实践路径,为推动新质生产力发展提供了新思路。

关键词:神经创新学; 创新人才; 新质生产力; 神经反馈; 神经机制

中图分类号: G455 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-980X(2025)04-0036-13

DOI: 10.12404/j.issn.1002-980X.J24092424

一、引言

习近平总书记在中共中央政治局第十一次集体学习时强调,面对科技的迅猛发展,必须加快优化高等院校的学科设置和人才培养模式,以精准对接新质生产力发展和高质量发展对急需人才的需求^[1]。从构成要素来看,新质生产力本质上是劳动者、劳动资料和劳动对象质的显著提升与优化组合^[2]。劳动者作为生产力的第一要素,是一切创新活动的源泉;而劳动资料,主要是生产工具与技术,归根结底,也源自劳动者的创造。由此可见,促使新质生产力发展的关键在于创新人才的培养与成长。作为创新的策动者、技术应用的实践者及制度变革的中坚力量,创新型人才对推动新质生产力的发展起着决定性作用。在当前的创新人才培养实践中,仍面临着诸多困境。一方面,传统培养模式难以突破创新思维形成的“黑箱效应”。基于行为观察和结果导向的教育方法,往往忽视创新过程的神经认知机制,导致对创造力形成规律的认识长期停留在经验层面。另一方面,创新思维的培养往往缺乏科学的、量化的评估体系,使得创新教育的实施效果难以有效衡量和改进。此外,随着新质生产力的快速发展,创新人才的需求日益多样化和复杂化,现有的人才培养模式难以适应快速变化的市场需求,导致人才与产业需求之间的脱节现象愈发明显。这些问题的存在,使得创新人才培养的路径和方法亟待突破与创新。

神经创新学植根于对上述困境的洞察,基于神经科学解析创新思维的生成机制与培育路径,构建了创新人才培养的新理论框架与实践范式。神经创新学以交叉学科定位破解创新能力动态测量与调控难题,通过实时监测实践场景中的神经活动及认知特征,构建量化模型揭示实践对创新能力的动态塑造机制。一方

收稿日期: 2024-09-24

基金项目: 国家自然科学基金重点专项“神经科学驱动的管理决策基础理论与方法研究”(71942004);浙江省高等教育“十四五”研究生教学改革项目“神经科学与人机交互赋能创新型信息资源管理人才培养的探索与实践”(JCGG2024208);杭州电子科技大学2024年研究生教育教学改革项目“基于智能人机交互技术的研究生教学改革实践探索与创新”(JXGG2024YB011)

作者简介: 程璐(1995—),博士,杭州电子科技大学中国科教评价研究院讲师,研究方向:神经管理学、信息行为;(通信作者)马庆国(1945—),硕士,浙江工业大学管理学院教授,浙江大学管理学院教授,博士研究生导师,研究方向:神经管理学、决策神经科学;王琳(1979—),博士,杭州电子科技大学中国科教评价研究院教授、副院长,博士研究生导师,研究方向:用户信息行为、信息资源管理。

面,它能够精准捕捉个体在创新任务中的生理状态,揭示专注力、灵感触发等关键节点的神经机制;另一方面,它能够量化情绪状态对创新能力的影响,为情绪在创新过程中的调节作用提供科学依据。因此,深入研究神经创新学在创新人才培养中的应用,对于打破当前创新人才培养的瓶颈,推动新质生产力与创新人才的良性互动,具有重要的现实意义。近年来,功能性近红外光谱成像(fNIRS)-脑电图(EEG)多模态神经解码技术多模态神经解码技术的发展为研究创新思维的形成过程提供了新的工具。通过结合脑电图(EEG)的高时间分辨率和功能性近红外光谱(fNIRS)的高空间分辨率,该技术能够实现对大脑活动的动态追踪,从而更全面地揭示创新思维的神经基础。此外,基于计算精神病学原理构建的神经特征图谱^[3],也进一步推动了创新人才的精准评估。这些技术突破不仅弥补了传统行为测量方法的不足,更构建了连接神经可塑性规律与创新人才培养的实证桥梁,成为新质生产力发展所需人才供应链的核心支撑机制。同时,新质生产力的发展能为创新人才的成长提供更多路径和更优条件,两者之间可以形成相互促进、共同发展的良性循环^[4-5]。正如《实践论》^[6]所强调的,实践是认识的来源和发展的基础,同时也是理论验证与提升的主要途径。结合新质生产力的发展需求,本文认为未来的人才培养必须紧扣生产实践和科学实验这两大实践活动,促进两者互动、融合,在协同中提升。然而,实践活动的复杂性和多样性对管理提出了更高要求,特别是在创新型人才的培养中,如何科学评估实践效果、精准指导培养过程,是实现有效管理的关键。

没有科学的测量,就没有科学的管理。在创新能力的培养和提升中,测量不仅是评估实践成效的重要工具,也是优化管理策略的基础。以往的研究指出,创新能力的测量可以分为4个层级:国家/地区层级、公司/企业层级、团队层级和个人层级^[7]。这4个层级构建了一个从宏观到微观的全面视角,有助于深入理解和评估创新能力在不同维度和层次上的表现。在创新体系中,个体层级的创新能力是团队、企业乃至国家创新能力的核心基石,其重要性不容忽视。当前个体创新能力的测量与评估,尤其在创新行为与神经活动层面,仍有待完善^[8]。本文将引入神经创新学工具与方法,结合动态分析和精准测量,构建以数据驱动为核心的反馈循环体系,从以下几个层面优化创新人才的培养:①精准评估个体特质:通过神经创新学工具,捕捉个体在实际生产与科研中的认知特质与能力表现,找到其优势与不足;②个性化培养方案制定:根据评估结果,为每一位个体量身定制培养计划,注重特长发展与短板补足;③动态调整与实时反馈:在培养过程中,持续监测个体的进步情况,根据实时数据优化培养策略,提升培养效率;④实践验证与应用提升:在生产实践中检验培养成果,并将验证结果反馈到科学实验中,推动理论与技术的再发展。通过这一完整的体系,可以进一步提高人才培养的效率与质量,使其更好地服务于新质生产力的发展。

综上所述,本文引入神经创新学理论与方法,借助动态精准分析,揭示个体在生产实践与科学实验中的认知与素质变化规律,使创新能力测量更具科学性与精细度。与传统方式相比,神经创新学以动态追踪个体能力为核心,整合多维数据,为个性化培养方案提供科学依据,助力创新人才培养迈向精准化。本文创新之处在于构建了基于神经数据的个性化培养机制与反馈循环体系,从微观层面系统探索新质生产力视域下创新人才培养的机制与方法,为生产力发展提供新的理论支撑与实践指引。

二、新质生产力视域下创新人才的培养:现状与优化思路

(一)从宏观视角培养创新人才的理论框架

从宏观视角出发,本文对创新人才培养的已有研究进行了系统的梳理与整合。现有成果可依据研究范式划分为以下四类具有代表性的理论框架。

(1)聚焦能力维度建构。于慧与张丽莉^[4]提出知识学习、创新创造、统筹协调和数字素养四维框架,为新质生产力背景下高校拔尖创新人才培养提供指引。这些能力与素养决定个体创新潜能,培养需结合实践路径,如项目式学习、设立实践基地等。李亚员等^[9]强调创新人才培养需理论与实践结合,通过实验教学改革、产学研合作等提升学生创新能力,并从问题兴起、领域拓展和研究转向3个阶段系统梳理,破解瓶颈难题。

(2)关注教育生态优化。王文浩与徐梦瑶^[5]基于人才生态环境理论,从宏观层面构建人才培养生态系统,涵盖优化课程设置、加强实践教学、创新教学方法和构建多元化评价体系等方面,旨在为科技创新型人才成长创造条件。汪大海与莫雪杨^[10]从教育治理数字化转型角度,探讨新质生产力赋能教育治理的行动逻辑。

辑,提出提升教育资源配置效率、加快数字化转型、重构治理结构和促进治理互动融合等路径,以创造更好的教育生态。精准评估教育生态系统各要素的相互作用及其对人才培养效果的影响,以及差异化教育生态优化策略的研究仍存在空白。傅进军等^[11]从人才环境关系视角,系统阐述了高校创新人才培养的教育环境,深化了相关领域研究,对我国高校开展创新人才培养的教育环境建设具有指导意义。

(3)着力制度设计创新。苏强等^[12]提出多主体协同育人机制,在产学研融合与跨学科教育层面取得突破,探讨新质生产力与高等教育的逻辑关联及科技人才培养实践路径,提出深化产学研融合、优化学科专业设置、推进跨学科教育和改革评价体系等举措,构建协同育人共同体,为科技人才培养提供制度保障。施一公^[13]强调拔尖创新人才培养需加强高水平教育对外开放,营造国际开放人才成长环境,加强与海外知名高校、科研院所合作交流,提升学生国际胜任能力和综合素质。

(4)探索素养体系升级。赵腾等^[14]基于数据要素提出新质人才五维素养模型,包括信息素养、数字素养、创新素养、管理素养和跨学科素养,为创新人才素养体系升级提供新视角,并提出构建新质人才素养发展体系的建议,如加强课程建设、开展专题培训等。刘嘉^[15]指出创新人才培养中多元评价是开端,教育模式与师资水平是关键,需完善多元评价,探索教育模式和提升教师能力,各国对创新人才培养的师资队伍有专门规定和职前培训体系。

尽管现有研究从宏观政策、教育治理及生态优化等宏观视角对创新人才培养提出了诸多重要建议,但在具体结合生产实践与科学实验提升个体创新能力的过程中,仍缺乏对微观个体认知及能力提升机制和方法的细致探讨。将宏观制度设计与微观神经调控有机结合,推动从经验驱动到数据驱动的范式转换。这种基于认知神经的视角,既为现有理论研究提供了微观实证支撑,也为实践层面个性化培养的方案设计提供了科学依据。

(二)从微观视角构建并优化创新人才培养

从微观视角出发,探究如何通过特定培训与实践切实提升个体的认知能力、素质和创新意识,已成为创新人才培养的重要课题。作为一门结合神经科学、管理学和教育学的交叉学科,神经创新学通过研究大脑创新认知机制,为创新人才的培养提供了科学理论和技术支持^[16]。随着人工智能、大数据、神经测量等技术的迅猛发展,神经创新学的发展前景愈加广阔。从神经科学的视角来看,个体的认知灵活性、创造性思维能力及复杂问题解决能力是创新型人才成长的核心要素,而这些要素的提升过程具有高度的个体化和动态性。更加科学有效地培养创新型人才,关键在于建立理论与实践深度结合的机制,从而确保培养路径既能适应实践需求,又能持续动态提升个体能力。为此,需要从以下几个方面着手。

1. 结合生产实践与科学实验的双向促进

创新型人才的培养需要将生产实践与科学实验深度融合,通过双向促进机制为个体能力发展提供多维支持。生产实践为创新人才提供了理论验证与应用的真实场景,使其能够通过实际任务发现并解决创新过程中的瓶颈与需求^[17]。与此同时,科学实验通过提供系统的理论支持和实验方法,为个体在生产实践中遇到的技术难题提供创新性解决方案。例如,通过科研实验和数据分析,个体能够提升自身的系统思维能力和问题分析深度,这对生产效率的优化和技术创新的落地具有关键作用^[18]。此外,在制造业领域,个体创新人才通过解决生产中的技术难题明确科研方向,而科学实验的突破性成果又为生产提供全新思路和技术支持^[19]。这种实践与理论的循环互动,极大地推动了个体创新能力的成长,使其在实践中不断优化自身的技能和认知水平。

通过这一闭环机制,创新人才的培养从单一的能力提升转向为多维度的动态优化。生产实践和科学实验的结合不仅促进了个体创新能力的全面发展,还为新质生产力的持续提升注入了强劲动力。

2. 基于神经创新学的能力动态优化

创新型人才培养的核心在于精准识别和动态提升个体的创新能力。通过神经科学工具(如脑波监测、神经反馈等),能够捕捉个体在认知能力、创新潜能及情绪状态方面的动态变化,为人才培养提供科学的评估与干预支持。例如,脑波监测通过捕捉脑电信号,分析个体在创新任务中的专注力、灵感触发点和认知负荷水平,为创新潜力的挖掘提供定量依据^[20-21]。情绪调控技术则通过检测情绪波动(如压力、兴奋和疲劳状态),识别情绪对创新能力的影响,并制定适合的情绪管理策略^[22-23]。认知能力评估结合神经反馈技术,动

态评估个体的发散思维、问题解决能力及决策质量,明确能力短板和优化方向。神经创新学工具所获取的数据不仅能够精准评估个体能力,还通过即时反馈和动态优化提升培养效率^[24]。例如,通过阶段性监测个体能力发展轨迹,及时调整培养策略,确保资源的高效利用;同时,持续整合数据形成动态反馈闭环。无论是在科学实验还是生产实践中,神经创新学工具都能实时记录个体的表现。在科学实验中,这些工具捕捉个体在实验设计、问题解决和团队协作中的认知表现,挖掘创新过程中的关键节点。而在生产实践中,则监测个体在复杂生产环境中的决策能力、抗压能力及跨领域协作能力,验证其在真实情境中的创新应用水平。这种动态优化体系不仅为创新人才的精准培养提供了科学依据,更使整个培养过程实现了个性化、动态化与高效性,确保能力提升精准对接科学实验和生产实践的实际需求。

3. 个性化与适应性培养策略

新时代的创新型人才培养需要根据个体特质和环境变化制定个性化和适应性强的培养方案。神经创新学的动态评估为实现精准化人才培养提供了重要支撑。通过精准捕捉个体在认知能力、情绪状态和实践表现上的特点,神经创新学能够量身定制个性化、适应性的培养方案,从而推动培养策略的精准落地。在认知能力训练方面,通过大脑功能优化训练(如提升前额叶皮层的活跃度),可以增强个体的记忆力、发散思维和问题解决能力。在情绪调控训练中,根据情绪波动数据,制定压力管理和情绪平衡方案,帮助个体在高强度任务中保持稳定表现。实践能力提升计划则结合科研和生产实践中的实际表现,设计针对性任务,增强团队协作和跨学科适应能力。此外,为了应对社会环境的快速变化和技术的持续进步,培养方案需要具备高度的适应性。例如,根据实时评估结果动态调整培养目标,使个体能力始终适应外部环境的需求;通过多样化学习场景的设置,在不同实践场景中模拟真实挑战,增强个体的综合应对能力^[25];引入虚拟现实(virtual reality, VR)、人工智能(artificial intelligence, AI)等科技辅助工具,打造更加沉浸式、个性化的培训体验。针对薄弱环节进行有针对性的训练,弥补短板确保能力的全面性。并通过动态反馈与调整,构建持续进步的机制,使人才在职业生涯中始终保持创新能力。

基于以上论述,本文认为新时代创新型人才的培养不仅需要政策和环境的外部支持,更需要通过科学的培训模式和针对性训练方法促进个体在认知和神经层面的深层次成长。这种方法通过结合脑科学的前沿研究和实践需求,能够有效提升个体的创造力和适应能力,对推动新质生产力的发展具有重要意义。

三、神经创新学的主要工具及核心模型

通过神经科学工具(见图1),可以实时、精准地捕捉个体在科学实验和生产实践中的脑活动、情绪状态及认知能力变化,形成数据驱动的培养方案。认知神经科学关注个体在创新过程中的脑部活动与情绪变化,揭示了创新思维的生理基础和形成机制。而创新管理理论则强调如何通过系统的管理方法和策略优化创新活动,推动创新成果的有效转化。二者的结合提供了一个解释创新思维如何在个体的脑神经活动与管理策略的协同作用下得到激发与提升的全新视角。例如,在创新管理中,团队合作、跨学科协作和持续的反馈循环被认为是提高创新绩效的关键因素。通过结合神经创新学工具,能够实现创新管理中对团队成员认知模式和情绪状态的实时监测,管理者可以基于此更加科学地调整工作氛围、分配任务和制定创新激励机制。

通过这种动态且量化的评估机制,神经创新学不仅能够深入分析个体在创新过程中的脑部活动和情绪反应,还能与创新管理的理论框架相结合,提供个性化的培养路径和实时的反馈调整。通过动态测量个体在实践中的能力变化,能够及时发现

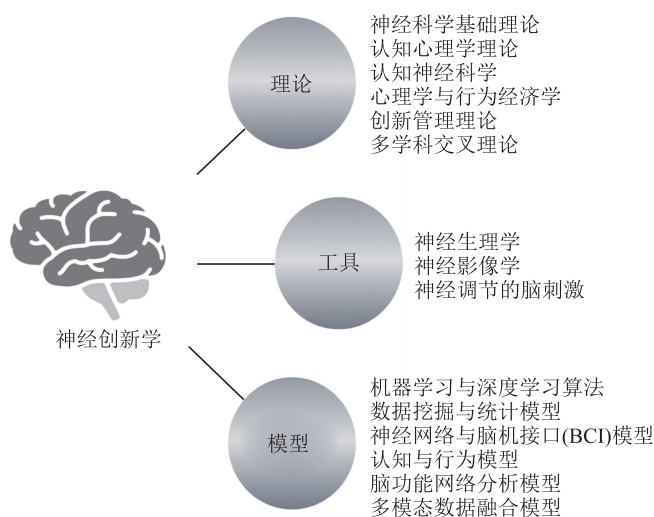


图1 神经创新学的基本理论、工具及模型

个体短板、优化培养策略,从而确保培养结果的针对性和有效性。这种融合神经科学与创新教育理念的培养路径,不仅能够深化对个体认知发展规律的理解,还可以将传统实践中的粗放式反馈转化为精准的量化分析,使得人才培养从经验主导走向科学主导。

神经科学工具通常可以分为三大类:神经生理学工具、神经影像学工具和神经调节的脑刺激工具。神经生理学工具主要用于记录外周神经系统的生理活动,帮助研究者了解神经信号的传导过程及其对行为的影响。神经影像学工具则专注于大脑和中枢神经系统的神经活动,利用先进的成像技术描绘出大脑各区域的活动情况,这对于揭示大脑如何处理信息、形成记忆和调节情绪至关重要。第三类工具是神经调节的脑刺激工具,通过直接刺激大脑特定区域,研究这些刺激如何影响认知和行为,从而有助于理解不同脑区与特定认知功能之间的关系。

在神经创新学的研究背景下,这些神经科学工具不仅用于探索脑区与认知功能之间的因果关系,更为理解创新过程中的神经机制提供了重要的支持。表 1 总结了这三类常用的认知神经科学工具及其工作原理和优缺点。这些工具的有效结合将为神经创新学的研究者提供有价值的参考依据,并且为培养创新型人才提供更加科学和系统的支持。

表 1 常用认知神经科学工具的工作原理和优缺点

认知神经科学工具	工作原理	优点	缺点
神经生理学工具			
心电图(electrocardiograph, ECG)	从体表记录心脏每一心动周期所产生的电活动变化	非侵入性;成本低;易于获得	通常需要结合其他认知神经工具一起测量
眼动追踪(eye tracking, ET)	记录用户的眼动轨迹特征,提取注视点数、注视时长、注视点轨迹、瞳孔直径、眨眼次数等数据,可用于测量用户的注意力	时间分辨率较高;是用户在提取视觉信息过程中的生理和行为表现	不能捕捉周围的视觉;注视点不一定代表被试真正关注的区域
面部肌电图(facial electromyography, fEMG)	面部肌肉活动产生的电信号,用于测量情绪反应	非侵入性;成本低;能够敏感地测量情绪表达	测量精度受到可连接到面部的电极数量的限制;人为设置可能导致行为误差
激素测量(hormone)	血液或唾液中的激素水平可以反映细胞间的信息传递过程(如神经递质),可用于测量情绪反应	使用唾液样本的侵入性低;成本较低	使用血液样本的侵入性高
皮电反应(skin conductance response, SCR)	皮肤电导水平随着汗腺变化而波动,可用于测量情绪反应	非侵入性;成本低;易于使用	容易受习惯影响;测量的指标解释力不足,无法辨明情绪反应的性质和内容
神经影像学工具			
脑电(electroencephalogram, EEG)	从头皮表面记录人类进行认知加工活动时诱发的大脑电活动	时间分辨率高;成本相对 fMRI 较低;操作简单	空间分辨率低;只对大脑浅层皮层敏感
功能性磁共振(functional magnetic resonance imaging, fMRI)	通过测量大脑各部位血氧浓度变化来观察认知加工活动	空间分辨率高;非侵入性	时间分辨率低;成本高;扫描噪声大;对被试的轻微动作敏感
功能性近红外光谱(functional near infrared spectroscopy, fNIRS)	利用脑组织中的含氧和脱氧血红蛋白对不同波长的近红外光吸收率的差异特性,实时反映大脑皮层的活跃状态	时间分辨率高;非侵入性;成本低;便于携带;对被试动作不会过于敏感	空间分辨率低;无法测量脑深层的神经信号
神经调节的脑刺激工具			
经颅磁刺激(transcranial magnetic stimulation, TMS)	磁信号可以无衰减地透过颅骨而刺激到大脑神经,改变大脑皮层神经细胞的膜电位,使之产生感应电流,影响脑内代谢和神经电活动	非侵入性;成本低于 fMRI;在一定程度上判断认知功能和神经活动之间的因果关系	直接刺激只能到达脑皮层,无法触及深部脑区
经颅直流电刺激(transcranial direct current stimulation, tDCS)	由阴阳两极组成,依据刺激极性不同引起静息膜电位超极化或去极化的改变	非侵入性;成本较 TMS 低;在一定程度上判断认知功能和神经活动之间的因果关系	直接刺激只能到达脑皮层,无法触及深部脑区

注:资料来源于《神经隐私:用户信息隐私行为研究的新视角》^[26]。

近年来,神经科学与计算机科学的交叉融合推动了机器学习(ML)和深度学习(DL)算法在神经数据分析中的应用,展现出巨大潜力。这些算法通过处理复杂的神经生理学数据,帮助深入理解大脑的创新机制,并为个体创新能力的调节和提升提供了新策略。例如,近年来的研究利用深度学习算法对 EEG 数据进行分类,以识别与创造性思维相关的脑活动模式^[27]。除了深度学习,其他数据建模方法也被广泛应用于神经数据分析,帮助提取关键因素并量化其相互作用,从而揭示创新能力的形成机制。本文将简要介绍六种模型及其在神经创新学中的应用,探讨其如何通过分析神经数据赋能个体创新能力的探测。

(1)数据挖掘和统计模型在神经创新学中用于从复杂和大规模的数据集中提取有用的信息。通过数据挖掘技术,可以识别出影响个体创新能力的关键因素^[28]。

(2)统计模型则用于评估这些因素之间的关系。例如,结构方程模型可以通过个体生理数据分析认知加工和创新行为之间的因果关系,从而有助于解释个体创新能力的形成机制^[29]。

(3)神经网络和脑机接口(BCI)模型在神经创新学中扮演了重要角色。BCI 技术通过直接读取脑电活动为个体与计算机系统之间建立联结提供了可能。神经网络特别适用于处理来自 BCI 的高维数据,并可以通过脑活动预测个体创新行为^[30]。

(4)认知与行为模型在理解创新过程中的心理机制方面至关重要。这些模型通常基于认知科学理论,描述个体在创新任务中的思维过程和行为策略。

(5)脑功能网络分析模型通过研究脑区之间的联结和相互作用,揭示了与创新相关的神经网络。功能连接性分析和图论方法被广泛用于识别创新过程中的关键脑网络^[31]。

(6)多模态数据融合方法在整合来自不同来源的数据(如脑电数据、fMRI 数据和行为数据等)的基础上,捕捉单一数据源无法提供的多层次信息和复杂互动,有利于更全面地评估个体创新能力。例如,多模态深度学习模型可以同时处理 EEG 和 fMRI 数据,更准确地预测个体创新能力^[32]。

四、神经创新学赋能创新人才培养的作用机制

神经创新学能够精准记录个体在科学实验与生产实践中对事物的认知水平及创新能力的动态变化,揭示创新过程中的关键节点与能力发展规律。这种基于神经数据的测量不仅细化了实践与理论的互动过程,也为优化其循环模式提供了科学依据。为此,本文提出从 3 个微观层级系统探讨如何利用神经创新学推进创新人才培养:首先是生理指标的测量与调控,聚焦于神经活动、内分泌系统及其他生理状态的动态监测,以揭示创新能力的生物学基础;其次是情绪-认知层面的调节,关注情绪状态对创造力的激发作用及认知灵活性在复杂问题解决中的关键作用;最后是人格特质的影响,包括开放性对探索行为的促进、风险偏好对创新尝试的激励及坚韧性对持续投入的支撑等。通过对这 3 个层级的深入分析,可以全面理解创新行为的内在驱动机制,为优化个体创新能力提供科学依据(见图 3)。

1. 第一层:生理指标层

生理数据层主要测量个体神经活动,如脑电和脑血流含氧水平变化,这些数据为理解创新能力提供基础。通过监测和分析这些指标,研究者可以识别创新思维的神经活动模式,并借助神经调节技术增强相关区域活动,从而提升创新能力。脑电研究发现,在发散性思维测试中,经常能观察到与发散性思维相关的 α 波(频率为 8~13 Hz 的脑电波)在前额区域的同步性增强^[33-35]。此外,在执行创新任务时,前扣带皮质的 N200 (N2) 偏转更为显著^[36-37]。Tang 等^[38]的研究进一步发

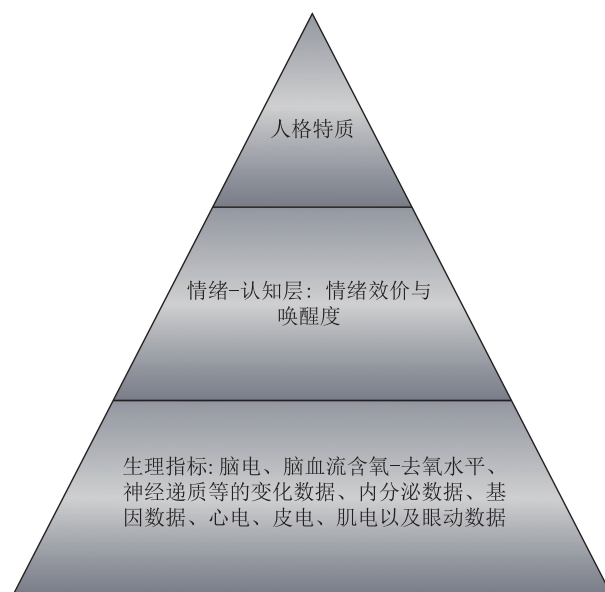


图3 微观层面个人创新能力的评级体系

现,当参与者在进行新颖性评估时,双侧前额头皮区域的 N2、N400 两个脑电成分反应更为强烈。功能性神经影像学(如功能性磁共振成像、正电子发射断层扫描或近红外光谱)也报告前额区域的显著激活与创新思维相关,进一步支持了大脑特定区域在创造性思维中的关键作用^[39-40]。

在创新型人才培养中,基于生理反馈的研究可助力管理者设计训练计划。通过 EEG 技术监测大脑不同频段活动(如 α 波、 β 波和 γ 波),可深入了解个体在创造性思维、专注力及灵感触发过程中的神经状态。其中, α 波活动增强与放松状态及创造性思维触发密切相关^[41]。通过神经反馈设备,个体能够训练自己在特定情境下提升 α 波活动,从而增强灵感触发能力。同时, γ 波的活跃度与高阶认知功能(如问题解决和信息整合)密切相关^[42]。可以设计针对 γ 波的专注力训练和深度思考训练,进而显著提高个体在复杂问题解决中的表现。此外,使用 fMRI 技术可以监测个体在创新任务中大脑特定区域的激活情况(如前额叶皮层、顶叶、海马体)。通过分析这些区域的活动模式,可以识别创新过程中的关键神经机制。结合非侵入性脑刺激技术(如经颅磁刺激, TMS),增强或调节与创造性思维相关的脑区活动,提升个体的创新能力。

2. 第二层:情绪-认知层

情绪和认知过程对创新活动至关重要。积极情绪与创造力密切相关,情绪唤醒度影响问题解决方式,而积极情绪有助于形成全局性、创造性和创新性思维^[43-44]。此外,积极情绪可形成积极循环,提升情绪和幸福感^[45],并抵消消极情绪,为个体提供情绪缓冲^[46-47]。

从神经科学的角度来看,大脑的活动旨在最大化奖励并最小化威胁。奖励与多巴胺水平的增加、积极情绪、兴趣和学习紧密关联^[48-49],而威胁状态则与消极情绪相关^[50]。积极情绪有助于完成创造性任务,可能会促使人们产生更多的论点或选项,并促进更具包容性和全局性的思维形成^[51]。研究发现,高唤醒的积极和消极情绪比低唤醒状态更利于创造力提升^[52-53]。在情绪识别方面,研究取得显著进展,包括通过语音^[54]、面部表情^[55]或两者结合^[56]识别情绪,以及利用生理信号进行情绪测量^[57]。生理信号的优势在于数据真实客观,不受主观偏差影响。

针对创新型人才培养,可开发情绪管理与调控课程,帮助个体在复杂任务中保持积极情绪和适度唤醒度,同时通过认知训练提升其认知灵活性和问题解决能力。结合 EEG 和皮肤电反应等多模态数据,能够实时监测情绪波动对创造性思维的影响,借助生物反馈技术帮助个体调整情绪状态。此外,利用 VR 模拟创新场景,结合神经监测数据提供情绪干预和任务适应训练,开发情绪管理应用程序,基于神经数据实时反馈并提供个性化训练建议,如冥想、深呼吸或休息,以维持心理平衡。

3. 第三层:人格特质层

人格特质是影响个体创新能力的稳定因素,具有相对稳定性和遗传性^[58]。人格是个体在不同情境下表现出的稳定特征和行为倾向,涵盖外在行为、内在动机、信念、情感反应及应对方式。人格可通过多种模型测量和分类,如大五人格特质模型(外向性、宜人性、尽责性、情绪稳定性、开放性),这五大维度构成人格轮廓,解释个体在不同情境下的反应和行为^[59]。研究发现,背外侧前额叶皮层(DLPFC)和内侧前额叶皮层(mPFC)活动增强与高创造力人格特质密切相关,表明特质创造力与创新能力的个体差异可能反映在前额叶区域^[60]。在儿童中,特质创造力还与情感相关脑区(如眶额皮层、杏仁核、岛叶和海马体)显著相关^[61-62],这些区域在情感处理中的作用会影响创造力和创新能力。尽管人格特质相对稳定,但通过长期训练和环境塑造,与创新相关的人格特质(如开放性)可在一定程度上被调节和增强,为创新型人才培养提供了依据。

神经科学工具和个性化干预手段为塑造创新相关人格特质提供了重要路径。开放性人格个体更易接受新事物且创造力强,其发散思维任务中 α 波活动增强,表明脑活动效率高^[63]。通过多样化教育、开放式任务、跨学科协作和跨文化体验,结合神经反馈技术,可提升低开放性个体的发散性思维能力。风险偏好与决策灵活性是创新行为的关键因素,风险决策时前额叶皮层和腹侧纹状体活动增强^[64]。利用虚拟现实技术模拟风险决策环境进行实践训练,可帮助低风险偏好个体提高风险承受和应对能力。坚韧性人格在创新中至关重要,尤其在应对压力时。高坚韧性个体在压力情境中杏仁核反应较弱,而前扣带回皮层和前额叶皮层活动较强^[65],表明其情绪调控和冷静应对能力较强。通过情绪调控练习、生物反馈技术和压力管理课程,可提升个体的神经调控能力和坚韧性。探索性人格表现为快速适应新环境和接受新事物,相关研究发现高探

索性个体在陌生情境中海马体和前额叶皮层活动显著增强^[66-67]。通过设计动态变化的学习和实践环境,如跨学科项目和多任务切换训练,可激发个体的探索性人格,增强创新能力。

本章节聚焦于神经创新学在创新型人才培养中的核心机制与多层次干预方法,深入剖析其在生理、情绪-认知和人格特质三个层面的应用。这三个层面相互协同,形成动态反馈机制:生理优化为情绪和认知调节提供支持,情绪-认知调节激发创造力,人格特质则在情绪管理和认知调节中发挥桥梁作用,影响创新投入和效率。神经创新学的多维度、精准干预策略,结合实践论与神经科学,为新时代创新型人才培养提供了全新理论支撑和实践路径。

五、面向新质生产力的人才培养与神经创新学赋能

发展新质生产力要求劳动者具备系统性创新思维、复杂问题解决能力和高效团队协作能力,并将其应用于新质生产资料开发,以创造更高价值。劳动者需成为战略型、应用型和创新型人才,引领技术方向、高效转化技术并提出原创性解决方案^[68]。神经创新学通过提升个体创新能力、优化创新成果转化,助力新质生产力发展。其作用机制在于精准测量与优化实践中的创新能力,通过监测神经活动和认知特征,动态捕捉创新能力发展轨迹,为科研与生产实践的反馈机制提供量化支持。

在这一背景下,可以进一步解析出神经创新学推动新质生产力发展的两个具体循环互动机制(见图4)。

1. 实践-人才-技术更新循环

生产实践与科学实验是创新型人才成长的关键途径,二者相辅相成。科学实验通过理论探索与技术创新,培养人才的创新思维与实践能力;生产实践为科研明确应用方向,催生创新需求,推动科研理论验证与优化,形成正向反馈。这种融合模式不仅提升人才的综合能力,还推动技术创新与突破。技术进步为生产实践和科学实验提供先进工具与支持,提升实践效率与创新效果。例如,科技成果转化优化生产流程与资源利用率,同时为科学实验提供高效设备与智能化分析方法,加速科技进步与生产力提升的循环过程。

这一循环使创新型人才实现创新能力的螺旋式上升,为新质生产力发展注入驱动力,成为推动社会经济高质量发展的重要支撑。

2. 实践-理论-实践再创新循环

理论与实践结合是创新发展的核心动力。理论为实践提供指导,实践验证并完善理论,积累的经验与数据推动理论创新。生产实践落地理论与转化成果,提出新问题反哺理论创新。这一循环形成螺旋上升的动态过程,助力创新型人才能力提升,为新质生产力发展提供知识与技术动力。

通过优化“实践-人才-技术”更新循环和“实践-理论-实践”再创新循环,实现科学实验、生产实践、技术创新与人才培养的协同发展。这一体系化路径为新质生产力注入持续驱动力,提升生产力质量与效率,助力在全球创新竞争中保持优势。“实践-技术-人才”更新循环与“实践-理论-实践”再创新循环在本质上是相辅相成的动态机制。二者的关联体现在以下方面:

(1)实践的纽带作用。实践是两个循环的核心交汇点,既是人才培养与能力提升的主阵地,也是理论验证与完善的场景。它连接理论与技术,是知识转化为生产力的桥梁,也是人才积累经验的关键平台。

(2)理论指导与科技支持的双向驱动。理论为实践提供方向,而实践生成的新技术

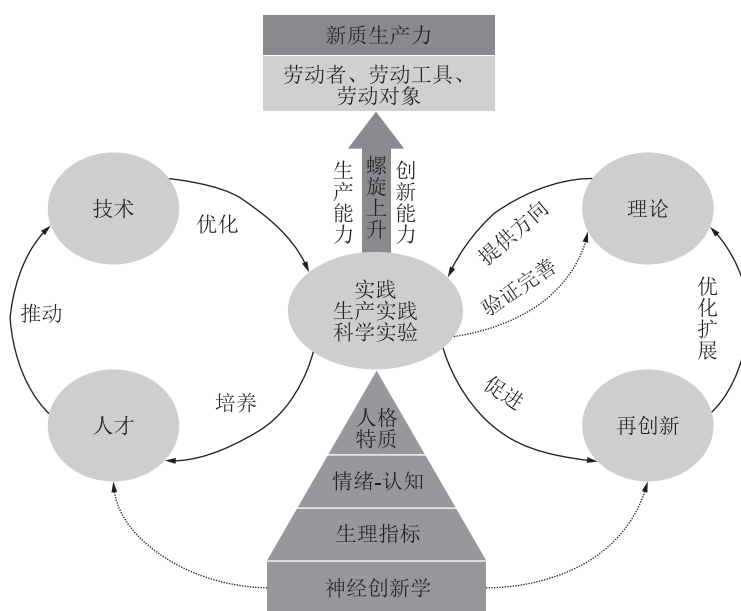


图4 神经创新学推动新质生产力发展的双循环互动机制

和新工具反哺人才培养与能力提升。这种双向驱动确保理论与实践在实践中高效结合,推动人才快速成长与创新力增强。

(3)动态迭代与螺旋上升的共同目标。两个循环最终目标均是推动创新能力和生产力的螺旋式提升。实践是交替循环的动力源,连接理论与再创新、技术与人才,通过不断的迭代优化,形成一个具有内在逻辑自洽的系统性发展模式。

神经创新学为上述两个循环的动态优化提供了科学工具和数据支持,将抽象的理论交替、实践验证和人才培养具体化,推动循环模式的科学化和精细化。其融入与提升主要体现在以下方面:

(1)捕捉和优化认识能力的动态变化。在科学实验中,个体的认识能力和创新潜能是动态变化的,而传统的理论框架难以对这些变化进行实时追踪和优化。神经创新学通过脑波监测、功能性磁共振成像及情绪与生理信号监测,精准捕捉个体在实践与理论结合过程中神经活动的变化,揭示创新能力在复杂情境中的提升规律,并为认知能力的优化提供科学依据。

(2)“实践-理论-实践”再创新循环的动态优化。“实践-理论-实践”再创新的循环优化需要精准的反馈机制和瓶颈识别能力,而神经创新学通过监测个体的专注状态、认知灵活性和问题解决能力,为这一循环的高效运行提供技术支持。通过神经反馈技术,神经创新学能够识别理论转化为实践中的关键节点和障碍,帮助个体更高效地应用理论并将实践经验反馈至理论创新。此外,这种技术还能任务设计、资源分配提供基于神经数据的个性化指导,提升循环过程中的科学性和针对性。

(3)建立个性化培养与干预体系。神经创新学将两个循环中人的作用具体化,通过捕捉个体的脑区活跃度、认知状态和情绪反应,为每位创新人才量身定制培养与干预方案,确保培养过程更具针对性,显著提升创新能力发展效率。

通过神经创新学的助推,两个循环不再仅仅是理论上的框架,而是成为可量化、可优化的动态系统。这种结合使得生产力的发展不再仅依赖单一层面的理论探索或实践优化,而是实现了从个体能力、团队协作到理论体系的全面进化,为未来全球科技竞争提供了中国智慧的创新范式。

六、总结、未来展望及挑战

本文从生理指标、情绪-认知状态与人格特质三个微观层级,系统分析了神经创新学在创新能力提升中的作用机制。生理指标,如脑电活动和激素水平的变化,揭示了创新思维的生物学基础,并为情绪调节与认知灵活性的有效发挥提供了生理支持。情绪与认知的互动关系则决定了个体在复杂问题解决过程中的创新表现,而人格特质的影响,如开放性、风险偏好与坚韧性,进一步推动了个体的探索性行为与创新持续性。本文创新性地提出了基于“实践-人才-技术”循环与“实践-理论-实践”再创新循环的互动发展模式,阐明了神经创新学如何通过动态评估、精准干预和个性化培养路径的设计,形成一个闭环反馈体系。“实践-人才-技术”循环通过动态神经监测实现市场需求与培养策略的精准对接,而“实践-理论-实践”循环依托神经认知数据驱动理论突破与人才培养的螺旋上升,两者通过闭环反馈体系形成动态优化。该机制突破传统评估的单向性局限,通过实时监测创新潜能的神经表征,构建“动态评估-个性化干预-反馈优化”的全周期培养路径。本文通过神经创新学构建了创新人才培养的全新理论框架与实践路径,为新时代创新型人才培养提供了科学依据,并为推动新质生产力提升和社会经济高质量发展提供了创新思路和解决方案。

从实践层面来看,在企业创新、高校科研等多元场景中,人才培养可依据其特定需求,灵活运用以下策略。①精准评估个体特质:运用神经创新学工具,系统评估个体在生产实践和科研活动中的认知特质、思维方式及创新能力。在企业创新场景中,通过脑电和眼动追踪技术,精准识别研发人员的创造性思维、技术商业化敏感度和跨部门协作能力,构建以市场需求为导向的敏捷创新能力培养模型。在高校科研场景中,借助fMRI影像分析和认知负荷评估,量化科研人员的跨学科思维整合度、理论建构能力和实验设计创新性,建立“基础研究-应用研究”双轨制培养框架,强化原始创新思维和科研成果转化能力。②个性化培养方案制定:根据评估结果,针对不同个体制定量身定制培养计划。在企业环境中,这一培养计划将着重于提升员工的跨学科协作能力和技术创新能力;在高校科研中,则侧重于培养科研人员的独立研究能力与探索精神。

个性化培养方案不仅关注个体的长处,也会针对其短板进行提升。③动态调整与实时反馈:培养过程中持续收集个体行为数据与认知表现,实时调整策略,以适应创新需求变化。在企业创新中,员工创新能力达标后,转向强化管理或跨部门沟通能力;在高校科研中,科研人员取得突破后,聚焦提升学术领导力。④实践验证与应用提升:在生产实践与科研实验中,持续检验创新人才培养成果,并将结果反馈至培养体系。在企业创新中,通过创新成果、项目落地和团队合作效能衡量;在高校科研中,通过科研成果质量和学术影响力评估。这一机制推动理论与技术再发展,优化培养方案。通过多层次、动态调整的培养路径,结合理论创新与实践需求,为提升创新人才能力提供理论与实践支持。

随着全球科技和经济的快速发展,新质生产力成为提升我国经济竞争力的关键。在此背景下,神经创新学结合神经科学与创新研究,为创新型人才培养提供了新方法 with 框架。未来研究需深化其理论基础与实践应用,探索在不同场景中的实施方法,以应对实际应用中的挑战。近年来,神经成像技术、数据分析方法和计算模型等新兴技术的快速发展,为捕捉创新能力的动态变化提供了更多可能性。如何将这些技术应用于创新能力测量与提升,并与个性化教育模式、任务设计有机结合,将成为未来研究的重要方向,这不仅涉及技术与教育实践的整合,还关系到创新人才培养体系的持续优化和科学化发展。个性化学习也将会是未来教育发展的重要趋势。神经创新学可以通过神经反馈技术为个性化学习提供更科学的支持。未来的研究可以进一步探索如何将神经反馈与个性化学习相结合,通过实时监测个体的认知状态辅助教育者调整教学内容和方法,最终实现学习效果的优化。此外,未来的研究还可以探索如何通过神经反馈技术帮助个体在学习过程中克服焦虑、压力等负面情绪,从而更好地发挥其创造力。随着大数据和人工智能技术的快速发展,未来的研究将进一步依赖于多模态数据融合和复杂系统分析。神经创新学可以通过整合来自不同数据源的生理、行为、认知数据,为个体创新能力的评估和提升提供更全面的视角。此外,还需要进一步探索如何利用这些多模态数据揭示创新过程中大脑的动态变化。例如,通过网络分析和图论方法,研究人员可以识别创新过程中关键的脑网络和行为模式,从而为优化教育和培训策略提供科学依据^[69]。除此之外,脑-机接口(BCI)技术作为一种新兴的神经技术,已经在医学康复和人机交互领域展现出了巨大的潜力。未来的研究可以探索如何将BCI技术应用于教育和人才培养中,特别是在创新能力的提升方面。然而BCI技术的教育应用仍然面临多重挑战。一是,如何确保BCI系统的准确性和稳定性以便在教育场景中实现可靠的应用仍然是一个亟待解决的问题。二是,如何降低BCI技术的成本使其能够在普通学校中推广应用也是一个重要的研究方向。此外,BCI技术的伦理问题和隐私保护问题也需要得到进一步重视和解决。

尽管神经创新学在理论研究中展现出了巨大的潜力,但将这些研究成果转化为实际的培训工具,仍然面临着多重挑战。首先,如何将前沿的神经科学技术和方法应用于大规模的培训实践中仍然是一个重要的课题。例如,尽管个性化学习和神经反馈技术在实验室环境中取得了显著效果,但在实际场景中的应用仍然需要进一步的验证和优化。其次,科技转化过程中还需要考虑技术的普及性和适用性。高端的神经技术和设备通常价格昂贵,如何降低这些技术的应用成本,使其能够得到广泛应用也是未来研究的重要课题。此外,如何确保个体及组织能够有效地使用这些新技术并从中受益,也是科技转化过程中的一个关键问题。最后,科技转化过程中的伦理和隐私问题也不容忽视。在利用神经技术收集和分析学生的生理和认知数据时,需要确保这些数据的隐私安全。同时,还需要制定相应的伦理规范以指导这些技术的合理使用,防止数据的滥用。

参考文献

- [1] 习近平在中共中央政治局第十一次集体学习时强调 加快发展新质生产力 扎实推进高质量发展[N]. 人民日报, 2024-02-02.
- [2] 习近平. 发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点[EB/OL]. 求是网, 2024-05-31. http://www.qstheory.cn/dukan/qs/2024-05/31/c_1130154174.htm.
- [3] RUTHERFORD S, KIA S M, WOLFERS T, et al. The normative modeling framework for computational psychiatry[J]. Nature Protocols, 2022, 17(7): 1711-1734.
- [4] 于慧, 张丽莉. 新质生产力条件下高校拔尖创新人才培养研究[J]. 教育理论与实践, 2024, 44(27): 3-8.
- [5] 王文浩, 徐梦瑶. 为培育壮大新质生产力夯实人才根基: 理念与进路[J]. 决策与信息, 2024(8): 14-22.
- [6] 毛泽东. 实践论[M]. 毛泽东选集: 第1卷. 北京: 人民出版社, 1991.

- [7] HAAR P. Measuring innovation: A state of the science review of existing approaches[J]. *Intangible Capital*, 2018, 14(3): 409-428.
- [8] 马庆国. 神经经济管理研究系列专著总序[M]//沈强, 金佳, 胡林枫. 管理决策: 脑科学视角下的新解读. 北京: 科学出版社, 2022.
- [9] 李亚员, 王瑞雪, 李娜. 创新人才研究: 三十多年学术史的梳理与前瞻[J]. *高校教育管理*, 2018, 12(3): 9.
- [10] 汪大海, 莫雪杨. 新质生产力赋能教育治理的行动逻辑与路径探索[J]. *现代教育管理*, 2024(7): 25-33.
- [11] 傅进军, 赵祖地, 吴小英, 等. 创新人才培养的教育环境建设研究[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
- [12] 苏强, 罗佳音, 邱晓雅, 等. 新质生产力与科技人才培养的耦合逻辑及实践进路[J]. *现代情报*, 2024, 44(11): 9-15, 138.
- [13] 施一公. 立足教育、科技、人才“三位一体”探索拔尖创新人才自主培养之路[J]. *国家教育行政学院学报*, 2023(10): 3-10.
- [14] 赵腾, 严俊, 林成城, 等. 数据要素视角下新质人才培养的机理与路径[J]. *情报理论与实践*, 2024, 47(10): 10-19.
- [15] 刘嘉. 多元教育评价助力创新人才培养[J]. *人民教育*, 2020(21): 8.
- [16] 陈劲, 唐孝威. 脑与创新 神经创新学研究评述 [M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [17] 刘昌乾. 适应新质生产力要求加快培养拔尖创新人才[N]. *光明日报*, 2023-03-27.
- [18] 张志杰, 马岚. 教育促进新质生产力发展的理论逻辑与路径[J]. *河北师范大学学报(教育科学版)*, 2024, 26(3): 32-40.
- [19] 李晓华. 制造业发展趋势与中国制造业升级方向[J]. *学术前沿*, 2023(5): 51-58.
- [20] 许子明, 牛一帆, 温旭云, 等. 基于脑电信号的认知负荷评估综述[J]. *航天医学与医学工程*, 2021, 34(4): 10.
- [21] 王程, 朱明星, 汪鑫, 等. 基于脑电波时频分析方法的认知决策任务研究[J]. *集成技术*, 2020, 9(4): 14.
- [22] 胡心约, 张恬路, 李英武. 基于 AI 的情绪识别在组织中的实践: 现状、未来和挑战[J]. *中国人力资源开发*, 2022, 39(1): 57-70.
- [23] 王仙雅. 科技人员情绪智力对创新绩效的影响—任务复杂性和情绪氛围的调节作用[J]. *商业研究*, 2015(8): 7.
- [24] 陈梓俊. 脑神经反馈综述[J]. *心理学进展*, 2020, 10(4): 12.
- [25] 杨雅琳. 数字化转型背景下开展混合学习的机遇、挑战及对策——基于高校学生学习心理发展视角[J]. *心理学进展*, 2024, 14(10): 414-421.
- [26] 王求真, 马达, 杨梦茹, 等. 神经隐私: 用户信息隐私行为研究的新视角[J]. *浙江大学学报: 人文社会科学版*, 2022, 52(9): 114-132.
- [27] CAO Z. A review of artificial intelligence for EEG-based brain computer interfaces and applications[J]. *Brain Science Advances*, 2020, 6(3): 162-170.
- [28] ROUSSEAU F. Big data and data-driven intelligent predictive algorithms to support creativity in industrial engineering [J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2017, 112: 459-465.
- [29] AHAD M T, HARTOG T, ALHASHIM A G, et al. Electroencephalogram experimentation to understand creativity of mechanical engineering students[J]. *ASME Open Journal of Engineering*, 2023, 2: 021005.
- [30] CHAI X, CAO T, HE Q, et al. Brain-computer interface digital prescription for neurological disorders[J]. *CNS Neuroscience & Therapeutics*, 2024, 30(2): e14615.
- [31] DONG J, XU S, ZHANG W, et al. Connectome-based predictive modeling: A new approach of predicting individual critical thinking ability[J]. *Thinking Skills and Creativity*, 2023, 49: 101378.
- [32] CHHADE F, TABBAL J, PABAN V, et al. Predicting creative behavior using resting-state electroencephalography[J]. *Communications Biology*, 2024, 7(1): 790.
- [33] EYMANN V, LACHMANN T, BECK A K, et al. EEG oscillatory evidence for the temporal dynamics of divergent and convergent thinking in the verbal knowledge domain[J]. *Intelligence*, 2024, 104: 101828.
- [34] PRENT N, SMIT D J A. The dynamics of resting-state alpha oscillations predict individual differences in creativity[J]. *Neuropsychologia*, 2020, 142: 107456.
- [35] KRAUS B, CADLE C, SIMON-DACK S. EEG alpha activity is moderated by the serial order effect during divergent thinking[J]. *Biological Psychology*, 2019, 145: 84-95.
- [36] SHEMYAKINA N V, NAGORNOVA Z V. Event related potentials' characteristics in the different models of verbal creative thinking[J]. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 2024, 60(2): 453-465.
- [37] STOLTE M, KROESBERGEN E H, VAN LUIT J E H, et al. Two sides of the same coin? How are neural mechanisms of cognitive control, attentional difficulties and creativity related? [J]. *Thinking Skills and Creativity*, 2024, 52: 101533.
- [38] TANG S, JIA L, REN J, et al. Reactive control in evaluating appropriately or inappropriately novel ideas: Evidence from electrophysiological measures[J]. *Psychophysiology*, 2022, 59(7): e14010.
- [39] 李婷婷, 张浩, 王银婷. 新颖性观点产生的脑机制[J]. *心理学进展*, 2017, 7(2): 7.
- [40] 林郁泓, 叶超群, 刘春雷. 创造性思维的认知神经机制: 基于 EEG 和 fMRI 研究证据[J]. *心理研究*, 2021, 14(2): 11.
- [41] STEVENS JR C E, ZABELINA D L. Creativity comes in waves: An EEG-focused exploration of the creative brain[J]. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 2019, 27: 154-162.
- [42] ROSEN A, REINER M. Right frontal gamma and beta band enhancement while solving a spatial puzzle with insight[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2017, 122: 50-55.

- [43] JIA N, LUO X, FANG Z, et al. When and how artificial intelligence augments employee creativity[J]. *Academy of Management Journal*, 2024, 67(1): 5-32.
- [44] KIM W B, CHOO H J. How virtual reality shopping experience enhances consumer creativity: The mediating role of perceptual curiosity[J]. *Journal of Business Research*, 2023, 154: 113378.
- [45] SMITH B W, DECRUZ-DIXON N, ERICKSON K, et al. The effects of an online positive psychology course on happiness, health, and well-being [J]. *Journal of Happiness Studies*, 2023, 24(3): 1145-1167.
- [46] ARSLAN G. Psychological maltreatment predicts decreases in social wellbeing through resilience in college students: A conditional process approach of positive emotions[J]. *Current Psychology*, 2023, 42(3): 2110-2120.
- [47] HARP N R, NETA M. Tendency to share positive emotions buffers loneliness-related negativity in the context of shared adversity[J]. *Journal of Research in Personality*, 2023, 102: 104333.
- [48] ROUHANI N, NIV Y, FRANK M J, et al. Multiple routes to enhanced memory for emotionally relevant events[J]. *Trends in Cognitive Sciences*, 2023, 27(9): 867-882.
- [49] TEBOUL J, DAMIER P. A very emotional brain[M]//*Neuroleadership: Creative Leadership with A Focus on the Brain*. Singapore: Springer, 2023: 35-48.
- [50] LIU X, JIAO G, ZHOU F, et al. A neural signature for the subjective experience of threat anticipation under uncertainty [J]. *Nature Communications*, 2024, 15(1): 1544.
- [51] NGUYEN T L, WALTERS K N, D'AMATO A L, et al. Target personification influences the positive emotional link between generating and implementing malevolently creative ideas[J]. *Creativity Research Journal*, 2024, 36(1): 42-57.
- [52] AGOLI S, FRANCHIN L, RUBALTELLI E, et al. The emotionally intelligent use of attention and affective arousal under creative frustration and creative success[J]. *Personality and Individual Differences*, 2019, 142: 242-248.
- [53] GUSTAFSSON E. How can contextual variables influence creative thinking? Contributions from the optimal-level of arousal model[J]. *The Journal of Creative Behavior*, 2023, 57(1): 96-108.
- [54] ALLUHAIDAN A S, SAIDANI O, JAHANGIR R, et al. Speech emotion recognition through hybrid features and convolutional neural network[J]. *Applied Sciences*, 2023, 13(8): 4750.
- [55] LEONG S C, TANG Y M, LAI C H, et al. Facial expression and body gesture emotion recognition: A systematic review on the use of visual data in affective computing[J]. *Computer Science Review*, 2023, 48: 100545.
- [56] PAN B, HIROTA K, JIA Z, et al. A review of multimodal emotion recognition from datasets, preprocessing, features, and fusion methods[J]. *Neurocomputing*, 2023, 561: 126866.
- [57] CAN Y S, MAHESH B, ANDRÉ E. Approaches, applications, and challenges in physiological emotion recognition—A tutorial overview[J]. *Proceedings of the IEEE*, 2023, 111(10): 1287-1313.
- [58] BOUCHARD JR T J, MCGUE M. Genetic and environmental influences on human psychological differences[J]. *Journal of Neurobiology*, 2003, 54(1): 4-45.
- [59] MCCRAE R R, JOHN O P. An introduction to the five-factor model and its applications[J]. *Journal of Personality*, 1992, 60(2): 175-215.
- [60] BEATY R E, BENEDEK M, BARRY KAUFMAN S, et al. Default and executive network coupling supports creative idea production[J]. *Scientific reports*, 2015, 5(1): 10964.
- [61] CERVONE D, PERVIN L A. *Personality: Theory and research*[M]. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2022.
- [62] MCPHERSON M J, BARRETT F S, LOPEZ-GONZALEZ M, et al. Emotional intent modulates the neural substrates of creativity: An fMRI study of emotionally targeted improvisation in jazz musicians[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6(1): 18460.
- [63] MARTINDALE C, HASENFUS N. EEG differences as a function of creativity, stage of the creative process, and effort to be original[J]. *Biological Psychology*, 1978, 6(3): 157-167.
- [64] CANESSA N, CRESPI C, BAUD-BOVY G, et al. Neural markers of loss aversion in resting-state brain activity[J]. *NeuroImage*, 2017, 146: 257-265.
- [65] TIAN T, YOUNG C B, ZHU Y, et al. Socioeconomic disparities affect children's amygdala-prefrontal circuitry via stress hormone response[J]. *Biological Psychiatry*, 2021, 90(3): 173-181.
- [66] LI W, LI X, HUANG L, et al. Brain structure links trait creativity to openness to experience[J]. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2015, 10(2): 191-198.
- [67] SADANA D, GUPTA R K, KUMARAN S S, et al. Structural brain correlates of creative personality: A voxel-based morphometric study[J]. *Gifted and Talented International*, 2024, 39(2): 1-11.
- [68] 赵峰, 季雷. 正确把握新质生产力的科学内涵和发展规律[N]. *中国社会科学网-中国社会科学报*, 2024-04-10.
- [69] YAN C G, WANG X D, LU B, et al. DPABINet: A toolbox for brain network and graph theoretical analyses[J]. *Science Bulletin*, 2024, 69(11): 1628-1631.

The Mechanisms and Methods for Innovation Talent Cultivation Empowering through Neuro-innovation

Cheng Lu¹, Ma Qingguo^{2,3}, Wang Lin¹

(1. Chinese Academy of Science and Education Evaluation, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China;

2. School of Management, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China;

3. School of Management, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China)

Abstract: The rapid transition of new-quality productive forces from “factor-driven” to “innovation-driven” is accelerating. The core demands of this transformation were focused on, and the intrinsic mechanisms and practical approaches of neuro-innovation in enhancing individual innovative capabilities were explored. Grounded in the theory of the three elements of productivity, it positions innovative talent as the central factor and explores, at a micro level, the impact of neuro-innovation on individual innovation capacity. By integrating insights from neuroscience and innovation studies, the critical roles of physiological indicators, emotion-cognition interactions, and personality traits in shaping and enhancing innovation ability were systematically revealed. It also discusses the unique advantages of neuro-innovation tools in dynamically measuring, precisely analyzing, and effectively intervening in individual cognitive behavior. Furthermore, an interactive mechanism and developmental model based on the “practice-talent-technology” cycle and the “practice-theory-practice” reinvention cycle are proposed. A novel theoretical framework and practical pathway for cultivating innovative talent are constructed, and new perspectives for advancing new-quality productive forces are revealed.

Keywords: neuro-innovation; innovative talent; new quality productive forces; neurofeedback; neural mechanisms