

# 脑机接口技术在指挥控制系统中应用的现状与启示

孙一鹏 查显松

江南机电设计研究所 贵州 贵阳 550009

**【摘要】**：本文将探讨脑-机接口（BCI）技术在指挥控制系统中的应用前景。脑-机接口技术提出以来一直在探索生物技术与网络技术的融合意义，以及如何为这一新兴领域引发的技术变化做好准备。BCI技术使大脑和计算机之间的双向通信成为可能。该技术在临床应用非常重要，可治疗癫痫、痴呆、神经系统紊乱、创伤后应激障碍、创伤性脑损伤，以及先进的假肢。因此在未来战场中，指挥控制系统的人为决策量值激增及需要学习的基础技术知识会越来越多，BCI技术将在未来战场的指挥控制系统中占有关键一席。

**【关键词】**：脑机接口技术；人工智能；指挥控制系统；决策

DOI:10.12417/3041-0630.26.07.033

## 1 引言

近年来，由于多个技术领域的并驾齐驱和多学科的相互影响，使得脑-机接口（Brain-Computer Interface, BCI）<sup>[1-3]</sup>技术的发展进入了快车道。其他技术领域包括计算能力的进步、电子测序、医学传感器技术等等。BCI技术是一种在大脑和外部设备之间建立直接交流和控制通道的一种全新的信息交换和控制方式，具有直接采用脑信号控制外部设备，脑信号融合云接口进行大数据计算等优点，在指控系统人为参与的多传感器数据融合、威胁评估排序、作战态势评估等方面应用前景广阔。

目前，世界各国和地区都在加快脑机接口的产业布局。脑机接口技术被称为人与人工智能交互的终极手段，同时是连接数字虚拟世界和现实物理世界的核心基础支撑技术之一。美国等发达国家军方正在逐步发展提高脑机接口技术结合云计算、大数据等通信技术加强指挥控制决策中人为参与的能力。减少在态势评估、目标威胁排序等方面的失误差。

## 2 理论基础与文献综述

根据美国空军研究实验室《脑机接口技术的发展与机遇》等论文显示，未来美国空军体系在未来20年将会大力发展脑机接口技术用以提高军队作战能力，尤其是高负载决策的领域。2022年，美国空军指出将脑机接口技术与现有信息技术如云计算、大数据、机器学习等进行融合，并在接下来的时间内完成融合实验和多并发高、风险任务处理实验。近两年，美国空军推动脑机接口技术研制进程持续加快，取得显著进展。

（1）脑机接口技术在美国空军发展的三阶段。第一阶段，短期五年内规划：脑机接口技术及相关技术概念的持续上线，实现空军作战员个体的作战能力提高。在2018年美国空军开始招收志愿者进行试验，通过无植入的方式进行高并发任务试验，尤其是飞行器控制方面。并对其中试验收集数据进行量化分析，提升该项技术在试验中产生的各项难点；第二阶段，中

期二十年规划：进行生物传感器技术和神经调节技术的快速发展。其中包括微生物晶片，带目标的神经调节等。实验阶段包含飞行器控制，飞行器技术脑机接口技术智能化学习等方面；第三阶段，长期二十年后，进行多领域技术融合，包含AI、大数据分析、遗传基因序列修改、3-D打印技术等。并同时提高微型计算机系统和微型生物传感器设计和发展等。

（2）脑机接口技术在美国空军的实战化运用。在BQ-58A“Valkyrie”飞行器在西北海军基地着陆实验中，一位刚毕业三周的还未完成飞行训练的飞行员，在接入脑机接口系统，采用移植光纤技术连接飞行员大脑与飞行器控制系统，实现处理大量复杂传感器数据接入大脑神经网络进行融合处理。并通过AI技术实现利用该飞行员大脑中的意图识别功能控制僚机的各种任务指令，而非是通过控制塔的指挥调度和机载控制键的方式进行指令控制。通过采用脑机接口技术实现了将大量的知识和经验采用大数据的方式传输进飞行员大脑进而替代了常年的飞行训练学习。

脑机技术可在众多武器装备中投入使用，极大程度上提高武器的打击性能，引领武器装备的一场革命。在2013年3月，英国研究人员开发了第一种用于控制飞船模拟器的脑机接口装置，戴在头上便可通过意念控制飞船飞行。同年，美国开发了DARPA项目，是全球在脑机接口技术领域的杰出代表。不同于已经研制成功并投入应用的侵入式脑机接口与非侵入脑机接口，DARPA正在尝试通过下一代非手术神经技术项目，研制出不再依赖于电极的脑机接口。这种脑机接口寻求通过声学信号、电磁波、纳米技术等实现对神经元的控制，可以极大地改善甚至增强患有神经损伤或创伤后应激障碍的退伍军人的身体功能，也可让一名士兵用大脑控制一群人工智能无人机。

## 3 问题与挑战

首先脑机接口技术会与身体神经大脑进行直接交互，因此

身体的免疫系统在受到外来物体的影响时作出反应,如何克服身体的排斥反应将会成为一项重要问题。这对于位于皮下的侵袭性 BCI 技术尤为重要。侵袭性 BCI 技术通常使用微电极阵列与大脑中的特定神经元直接接触。一旦身体识别出电极是异物,免疫系统就会像处理碎片一样工作。其结果是一个被称为组织包膜的过程,在这个过程中,电极被一个称为胶质瘢痕的组织纤维包膜所包围。

第二个挑战是克服工程障碍,实现高信号分辨率,同时利用侵入式方法确保安全性。任何脑机接口的目标都是产生与大脑的双向通信。这通常是通过与神经元直接连接的电极来完成的。目标是通过测量获得高的空间和时间分辨率。这意味着知道测量在何时何地发生。与神经元连接的电极越多,研究人员接收到的数据量就越高。

第三个挑战为伦理问题,BCI 技术大体上分为嵌入式和非嵌入式,嵌入式需要进行手术移植芯片接口与外部设备相连,这种方式需要社会认同与伦理挑战。上述的这些问题障碍可能会使这项技术变慢、停止或转向与预期完全不同的东西。这些障碍也导致了未来五年、十年或二十年这种技术的发展前景的预测不确定。

#### 4 技术发展预测与展望

脑机接口技术融入指挥作战体系,可实现指挥系统控制中人为参与的高效性和准确性。传统指挥控制系统中人为参与的

部分涉及到方方面面,从多传感器数据融合到态势评估,从对敌目标分析到威胁评估等都有人为参与的部分。针对以上场景下的人为参与部分采用脑机接口技术可实现人体大脑与指挥控制系统外部接口的连接,实现数据融合的高速性,对敌目标分析和威胁评估决策的准确性,提高多任务处理的并行性。

脑机接口技术在培训长期经验积累指挥员方面效能和效率比方面具有显著优势。在随着新型武器装备的不断更新、指挥控制系统复杂度增加、作战场景和态势不确定性扩增,有经验积累的指挥作战员越来越少,新进的指挥作战员需要花费大量的时间进行学习适应。而脑机接口技术可以直接将大脑与云数据平台外部接口进行双向互联同时也能互联模拟指挥平台和作战指挥控制平台,通过脑机的机器与强化学习快速进行经验积累提高作战能力。因此脑机接口在指挥员学习积累知识的快速积累上具备天然优势。

#### 5 结语

脑机接口技术在指挥控制系统中的应用探索本质是打破“人机交互物理边界”的前沿技术尝试,其绕过了传统指令输入的生理限制,通过思维信号直接驱动指挥流程,为未来高对抗强节奏的作战场景下的决策效率提升开辟了新路径。尽管当前应用仍面临信号解码精度不足、侵入设备风险、战场环境适应性差等技术瓶颈,但不可否认的是脑机接口技术将成为智能指控系统体系演进的关键技术方向之一。

#### 参考文献:

[1] Anne-Marie Brouwer<sup>1</sup>, Clara Scholl<sup>2</sup>. BCI Innovation at the Intersection of Restoration, Augmentation, and Intelligent Systems. NATO OTAN, 2022, STO-MP-HFM-334(1-8).

[2] Chen X, Wang R, Khalilian-Gourtani A, et al. A neural speech decoding framework leveraging deep learning and speech synthesis. Nat Mach Intell, 2024, 6:467-80.

[3] 中国科学院上海生命科学信息中心. 脑机接口领域发展态势. 生命科学, 2025, No.1(57-66).