

ICS 17 220 20

M7459

T/GXDSL

团体标准

T/GXDSL 010—2025

脑机接口系统性能测试与评估方法

Performance Testing and Evaluation Methods for Brain - Computer Interface

Systems

2025 - 3 - 18 发布

2025 - 3 - 18 实施

广西电子商务企业联合会 发布

目 次

前 言	III
一、前言	1
二、规范性引用文件	2
三、标准制定依据及范围	2
1. 制定依据	2
2. 适用范围	3
四、术语和定义	4
1. 脑机接口系统	4
2. 信号采集	4
3. 信号处理	5
4. 信号传输	5
5. 系统响应时间	6
6. 准确性	6
7. 稳定性	7
五、脑机接口系统构成与原理简述	8
1. 系统构成	8
2. 工作原理	8
六、性能测试内容	9
1. 信号采集性能测试	9
(1) 电极性能测试	9
(2) 信号采集范围与精度测试	10
2. 信号处理性能测试	11
(1) 共模抑制比测试	11
(2) 特征提取准确性测试	12
3. 控制性能测试	13
(1) 指令识别准确率测试	13
(2) 响应时间测试	13
(3) 控制稳定性测试	14
七、性能评估指标体系	14
1. 定量指标	14
(1) 准确率相关指标	15
(2) 响应时间指标	15
(3) 信号质量指标	16

2. 定性指标	16
(1) 易用性评估	16
(2) 可靠性评估	17
(3) 安全性评估	17
八、测试与评估方法流程	18
1. 测试准备	18
(1) 设备准备	18
(2) 人员准备	18
2. 测试实施	19
(1) 按照测试方案执行	19
(2) 数据记录	21
3. 评估流程	22
(1) 数据分析	22
(2) 结果评定	23
九、标准实施与监督	23
1. 实施建议	23
2. 监督机制	24
十、附录	25
1. 测试报告模板	25
2. 相关技术资料	27

前 言

本文件依据GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由广西产学研科学研究院提出。

本文件由广西电子商务企业联合会归口。

本文件起草单位：广西研科院高新技术有限公司，成都锦城学院，广西产学研科学研究院，广西蓝脑科技有限公司，山东大学(乐陵)人工智能研究院，武汉衷华脑机融合科技发展有限公司，西安交通大学，空军军医大学，清华大学零一学院，西安蓝脑科技有限公司，西北工业大学，西北农林科技大学，海南大学，重庆大学，中山大学附属第七医院(深圳)，华中科技大学，陕西省人民医院，汕头大学医学院第一附属医院，西安欧亚学院，西北大学，澳门大学，西那瓦国际大学(泰国)，深圳市康宁医院，深圳大学总医院，西安交通大学第二附属医院，西安理工大学，上海信昊信息科技有限公司，上海工程技术大学，广州中医药大学。

本文件主要起草人：韦新，庄文斌，陈世卿，黄立，倪常茂，黄涌，孙锐，方鹏，张慧卿，陈军，王建，张志敏，李征骥，李三雁，王博知，韦博鲲，段玉聪，宋永端，王朴，郭海燕，张妍，李锐，王红，魏乃礼，杨猛，赵闪光，郑小伟，万峰，曾玲芸，肖湛，张萍，乔鸿飞，李学平，龚才春，赵国帅，周建伟，李高健，余瑾。

本文件为首次发布。

脑机接口系统性能测试与评估方法

一、前言

脑机接口（Brain - Computer Interface, BCI）技术作为一种新兴的交叉学科技术，近年来取得了迅猛发展，它为大脑与外部设备之间建立了直接的通信和控制通道，无需依赖外周神经和肌肉系统。自 1924 年德国精神科医生汉斯·贝格尔首次发现脑电波以来，经过近百年的研究与探索，脑机接口技术已从最初的学术设想逐步走向实际应用。

在医疗领域，脑机接口技术为瘫痪患者带来了重新恢复运动功能的希望，通过大脑信号控制外部设备，帮助他们实现自主运动，极大地提高了生活质量；在康复治疗中，脑机接口技术可用于监测患者的大脑活动，为康复训练提供精准指导，促进患者神经功能的恢复；在娱乐产业，脑机接口技术为虚拟现实、游戏等领域带来了全新的交互体验，使玩家能够更加沉浸式地参与其中。

随着脑机接口技术应用的日益广泛，其性能的稳定性和准确性变得至关重要。然而，目前脑机接口技术在性能测试与评估方面仍缺乏统一的标准和规范，这导致不同研究机构和企业所研发的脑机接口系统在性能指标上缺乏可比性，严重制约了该技术的进一步发展和推广应用。为了填补这一空白，推动脑机接口技术的健康、有序发展，制定一套完整、科学、合理的《脑机接口系统性能测试与评估方法》团体标准具有极其重要的意义。

本团体标准旨在为脑机接口系统的性能测试与评估提供统一的方法和指标体系，确保测试结果的准确性、可靠性和可比性。通过明确各项性能指标的测试方法和评估标准，能够帮助研发人员更好地了解和优化脑机接口系统的性能，为产品的研发、改进和质量控制提供有力支持；同时，也为用户在选择脑机接口产品时提供了科学的参考依据，促进市场的规范化和健康发展。此外，统一的标准还有助于加强行业内的交流与合作，推动脑机接口技术的整体进步，为该技术在更广泛领域的应用奠定坚实基础。

二、规范性引用文件

下列文件对于本标准的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 9706.1 医用电气设备 第 1 部分：安全通用要求

GB/T 18268.1 测量、控制和实验室用的电设备 电磁兼容性要求 第 1 部分：通用要求

GB/T 19633.1 最终灭菌医疗器械包装 第 1 部分：材料、无菌屏障系统和包装系统的要求

GB/T 25000.51 软件工程 软件产品质量要求和评价（SQuaRE） 商业现货（COTS）软件产品的质量要求和测试细则

GB/T 33445 信息技术 生物特征识别 多模态及其他多生物特征融合

YY/T 0664 医疗器械软件 软件生存周期过程

IEEE Std 100-2000 电气与电子术语标准词典

ISO 8601:2019 数据元和交换格式 - 信息交换 - 日期和时间的表示

ISO 14971 医疗器械 - 风险管理对医疗器械的应用

ISO 15189 医学实验室 - 质量和能力的专用要求

三、标准制定依据及范围

1. 制定依据

本标准的制定严格遵循了国家相关法律法规以及政策文件的要求，确保标准的合法性与合规性。《中华人民共和国标准化法》明确鼓励社会团体积极制定满足市场和创新需求的团体标准，为本次标准的制定提供了法律层面的支持与保障。同时，工业和信息化部、科技部等多部门发布的《新产业标准化领航工程实施方案（2023—2035 年）》，其中着重提出要开展脑机接口标准化路线图研究，加快研制脑机接口术语、参考架构等基础共性标准，为本次标准的立项与研究指明了清晰的方向。

在充分考虑政策法规的基础上，本标准深入调研了脑机接口行业的实际需求。随着脑机接口技术在

医疗、康复、娱乐、教育等众多领域的广泛应用，不同领域对于脑机接口系统的性能要求呈现出多样化的特点。在医疗领域，用于辅助瘫痪患者康复的脑机接口系统，对信号的准确性和稳定性要求极高，哪怕是微小的误差都可能导致患者康复训练的效果大打折扣，甚至对患者造成伤害；在娱乐领域，脑机接口系统则更注重用户体验的流畅性和交互性，需要快速响应用户的大脑信号，以实现沉浸式的娱乐体验。为了满足这些多样化的需求，本标准广泛收集了国内外相关研究成果、技术报告以及行业专家的意见，经过反复论证与分析，确保标准能够紧密贴合行业实际情况，为脑机接口系统的性能测试与评估提供科学、实用的指导。例如，通过对国内外多家知名脑机接口研发企业的调研发现，目前行业内对于脑机接口系统的信号采集精度、传输延迟等关键性能指标的测试方法存在较大差异，导致不同企业产品的性能数据缺乏可比性，严重影响了行业的健康发展。因此，本标准针对这些问题，制定了统一的测试方法和评估标准，旨在消除行业内的混乱局面，促进市场的公平竞争。

2. 适用范围

本标准适用于各类脑机接口系统的性能测试与评估，无论是基于侵入式、部分侵入式还是非侵入式技术的脑机接口系统，均能依据本标准进行全面、准确的性能测试与评估。这包括但不限于医疗康复领域中用于辅助瘫痪患者恢复运动功能的脑机接口系统、教育领域中用于监测学生注意力状态的脑机接口系统、娱乐产业中用于实现沉浸式游戏体验的脑机接口系统，以及军事、智能家居等其他领域中应用的脑机接口系统。

在实际应用场景中，本标准能够为脑机接口系统的研发者、生产者、使用者以及监管者提供明确的指导。研发者在开发新的脑机接口系统时，可以依据本标准对系统的各项性能指标进行严格测试与优化，确保产品性能达到行业领先水平；生产者在生产过程中，能够按照本标准对产品进行质量把控，保证每一台出厂的脑机接口系统都符合高质量标准；使用者在选择脑机接口产品时，可参考本标准对不同产品的性能测试结果进行对比分析，从而选购到最适合自己的产品；监管者则可以依据本标准对市场中的脑机接口产品进行监督管理，维护市场秩序，保障消费者的合法权益。例如，某医疗设备公司研发了一款新型的脑机接口康复设备，在产品上市前，根据本标准对设备的信号采集准确性、运动控制精度、系统稳定性等性能指标进行了全面测试，发现并解决了一些潜在问题，使得产品在上市后得到了医疗机

构和患者的高度认可；又如，某消费者想要购买一款用于游戏娱乐的脑机接口设备，通过查看不同产品依据本标准进行测试的报告，了解到各产品的性能差异，最终选择了一款响应速度快、操作流畅的产品，获得了良好的使用体验。

四、术语和定义

1. 脑机接口系统

一种能够在大脑与外部设备之间建立直接通信和控制通道的系统，它不依赖于外周神经和肌肉系统，通过检测大脑的神经活动信号，并将其转换为可被外部设备识别和执行的指令，从而实现大脑对外部设备的控制或信息交互。例如，瘫痪患者可通过脑机接口系统，凭借大脑信号控制机械臂完成抓取动作。脑机接口系统通常由信号采集模块、信号处理与转换模块、控制输出模块、数据传输模块等部分组成。信号采集模块负责获取大脑的神经活动信号，这些信号可以是脑电信号（EEG）、脑磁信号（MEG）、皮层电图信号（ECoG）等，不同类型的信号具有不同的特点和应用场景。信号处理与转换模块则对采集到的原始信号进行处理，包括滤波、特征提取、模式识别等操作，将其转化为能够准确反映大脑意图的指令信号。控制输出模块根据处理后的指令信号，控制外部设备执行相应的动作，如控制轮椅移动、机器人操作等。

2. 信号采集

利用特定的传感器或电极，从大脑表面或内部获取神经活动产生的生物电信号、电磁场信号或其他生理参数变化信号的过程。信号采集的方式主要包括非侵入式、部分侵入式和侵入式三种。非侵入式信号采集是通过将电极放置在头皮表面来获取脑电信号，这种方式操作简单、无创，但信号分辨率较低，

容易受到头皮、颅骨等组织的干扰。部分侵入式信号采集则是将电极植入到颅骨内，但不深入大脑皮层，其信号质量优于非侵入式，但仍存在一定的风险和技术难度。侵入式信号采集是将电极直接植入到大脑皮层内，能够获取高分辨率的神经活动信号，但需要进行外科手术，对患者有一定的创伤，且存在感染等风险。在实际应用中，需要根据具体的研究目的和需求，选择合适的信号采集方式。例如，在临床康复治疗中，为了长期监测患者的大脑活动，通常会优先选择非侵入式的信号采集方式；而在一些基础研究中，为了获取更精确的神经活动信息，可能会采用侵入式或部分侵入式的信号采集方式。

3. 信号处理

对采集到的原始大脑信号进行一系列加工和转换的过程，旨在去除噪声、提取有用特征、识别信号模式，从而将大脑信号转化为可被计算机或外部设备理解和处理的指令或信息。信号处理的主要步骤包括预处理、特征提取和模式识别。预处理主要是对原始信号进行滤波、去噪、归一化等操作，以提高信号的质量和稳定性。例如，通过带通滤波可以去除信号中的高频噪声和低频干扰，使信号更清晰地反映大脑的活动信息。特征提取是从预处理后的信号中提取能够代表大脑活动特征的特征，如频率特征、幅度特征、相位特征等。不同的大脑活动状态往往对应着不同的信号特征，通过提取这些特征，可以更好地识别大脑的意图。模式识别则是利用机器学习、深度学习等算法，对提取的特征进行分类和识别，判断大脑信号所对应的具体指令或信息。例如，通过训练一个支持向量机模型，可以将脑电信号分类为不同的运动意图，如向左移动、向右移动、抓取等。

4. 信号传输

将经过处理的大脑信号从信号处理单元传输到外部设备或控制中心的过程，要求信号传输具备高速度、低延迟和高可靠性，以确保大脑信号能够及时、准确地被外部设备接收和执行。信号传输的方式主要有有线传输和无线传输两种。有线传输通常采用电缆或光纤等介质，具有传输稳定、带宽高、抗干扰

能力强等优点，但使用时会受到线缆长度和活动范围的限制。无线传输则利用无线通信技术，如蓝牙、Wi-Fi、ZigBee 等，实现信号的自由传输，使用方便、灵活，但可能会受到信号干扰、传输距离等因素的影响。在脑机接口系统中，信号传输的延迟直接影响到系统的实时性和响应速度。例如，对于一个用于控制假肢运动的脑机接口系统，如果信号传输延迟过高，可能会导致假肢的动作与大脑的意图不同步，影响患者的使用体验和操作准确性。因此，在设计信号传输方案时，需要综合考虑各种因素，选择合适的传输方式和技术，以满足脑机接口系统对信号传输的要求。

5. 系统响应时间

从大脑产生特定的神经活动信号开始，到外部设备对该信号做出相应动作或反馈所经历的时间，是衡量脑机接口系统实时性和性能的重要指标之一。系统响应时间主要包括信号采集时间、信号处理时间、信号传输时间和外部设备执行时间等多个环节。信号采集时间取决于传感器的采样频率和信号采集的方式，采样频率越高，采集到的信号越精确，但同时也会增加数据量 and 处理难度。信号处理时间则与信号处理算法的复杂度和计算设备的性能有关，复杂的算法可能需要更多的计算资源和时间来完成信号的处理。信号传输时间受到传输方式和传输距离的影响，无线传输方式通常会比有线传输方式的延迟略高。外部设备执行时间则取决于设备的驱动方式和机械结构等因素。例如，在一个用于虚拟现实游戏的脑机接口系统中，玩家通过大脑信号控制游戏角色的动作，系统响应时间越短，玩家的操作体验就越流畅，游戏的沉浸感就越强。如果系统响应时间过长，玩家的动作指令与游戏角色的实际动作之间就会出现明显的延迟，影响游戏的趣味性和可玩性。因此，降低系统响应时间是提高脑机接口系统性能的关键之一。

6. 准确性

脑机接口系统正确识别和执行大脑信号所对应指令的能力，通常用准确率来衡量，即系统正确识别的指令数量与总指令数量的比值。准确性是脑机接口系统的核心性能指标之一，它直接关系到系统的可靠性和实用性。影响准确性的因素主要包括信号采集的质量、信号处理算法的有效性以及个体差异等。

信号采集的质量直接影响到后续信号处理和模式识别的准确性。如果采集到的信号受到噪声干扰、电极接触不良等问题的影响，那么提取的特征就可能不准确，从而导致模式识别的错误。信号处理算法的有效性也至关重要，不同的算法对不同类型的大脑信号和任务可能具有不同的适应性和准确性。例如，在一些简单的运动想象任务中，基于功率谱特征的算法可能就能够取得较好的识别效果；而在一些复杂的认知任务中，可能需要采用更先进的深度学习算法才能提高识别的准确性。此外，个体差异也是影响准确性的一个重要因素，不同个体的大脑活动模式和特征存在一定的差异，这就需要针对不同个体进行个性化的训练和调整，以提高系统的准确性。例如，对于一个用于辅助瘫痪患者进行康复训练的脑机接口系统，准确性的高低直接决定了患者能否准确地控制康复设备进行运动训练，如果系统的准确性较低，可能会导致患者的训练效果不佳，甚至会对患者的康复信心产生负面影响。因此，提高脑机接口系统的准确性是该领域研究的重点和难点之一。

7. 稳定性

脑机接口系统在长时间运行过程中，保持性能指标相对稳定的能力，包括信号采集的稳定性、信号处理的稳定性以及系统整体的可靠性。稳定性是脑机接口系统能够在实际应用中持续发挥作用的重要保障。信号采集的稳定性主要体现在传感器的性能是否稳定，以及电极与皮肤或大脑组织的接触是否良好。如果传感器的性能随着时间的推移发生漂移，或者电极出现松动、脱落等情况，就会导致采集到的信号质量下降，从而影响系统的稳定性。信号处理的稳定性则与算法的鲁棒性和计算设备的稳定性有关。鲁棒性强的算法能够在不同的环境和条件下保持较好的性能，而计算设备的稳定性则确保了信号处理过程的连续性和可靠性。系统整体的可靠性还包括硬件设备的质量、软件系统的稳定性以及系统的抗干扰能力等方面。例如，在一个用于医疗监测的脑机接口系统中，需要长时间稳定地监测患者的大脑活动，如果系统在运行过程中频繁出现故障或性能波动，就无法及时准确地为医生提供患者的病情信息，可能会延误治疗时机。因此，提高脑机接口系统的稳定性对于保障其在实际应用中的有效性和安全性具有重要意义。为了提高系统的稳定性，需要从硬件设计、软件算法、系统集成等多个方面进行优化和改进，同时还需要进行严格的测试和验证。

五、脑机接口系统构成与原理简述

1. 系统构成

脑机接口系统主要由信号采集、信号处理、控制输出、数据传输等部分构成。各部分相互协作，共同实现大脑信号到外部设备控制指令的转化。

信号采集部分是脑机接口系统的起点，其核心功能是获取大脑产生的神经活动信号。常见的信号采集方式包括非侵入式、部分侵入式和侵入式。非侵入式采集通过将电极放置在头皮表面，如脑电图(EEG)，具有操作简便、无创的优点，广泛应用于临床和科研领域。部分侵入式采集则将电极植入颅骨内，如皮层脑电图(EECoG)，能获取质量较高的信号，但存在一定的手术风险。侵入式采集需将电极直接植入大脑皮层，如微电极阵列(MEA)，可获得高分辨率的神经信号，然而对人体的创伤较大。

信号处理部分是系统的核心环节，负责对采集到的原始大脑信号进行一系列复杂的加工处理。这一过程包括预处理、特征提取和模式识别等步骤。预处理主要是去除信号中的噪声和干扰，如通过滤波技术去除工频干扰、眼电伪迹等，提高信号的质量。特征提取则是从预处理后的信号中提取出能够反映大脑活动特征的特征参数，如频率特征、幅度特征、相位特征等。不同的大脑活动状态，如运动想象、注意力集中等，会在这些特征参数上表现出差异。模式识别利用机器学习、深度学习等算法，对提取的特征进行分类和识别，判断大脑信号所对应的具体指令或意图。

控制输出部分是脑机接口系统的执行单元，根据信号处理部分输出的指令，控制外部设备执行相应的动作。这些外部设备可以是机械臂、轮椅、计算机等，涵盖了医疗、康复、智能家居等多个领域。在医疗康复领域，脑机接口系统可控制康复机器人辅助患者进行运动训练；在智能家居领域，可通过大脑信号控制家电设备的开关和调节。

数据传输模块是基于无线(Wi-Fi、蓝牙)和有线(光纤、USB)等技术的模块。

2. 工作原理

脑机接口系统的工作原理是从大脑信号采集开始，经过一系列处理和转换，最终实现对外部设备的控制。当大脑产生特定的思维或意图时，神经细胞会产生电活动，这些电活动通过生物电信号或电磁场信号的形式表现出来。信号采集设备捕捉到这些信号后，将其传输到信号处理单元。

在信号处理单元中，首先对原始信号进行预处理，去除噪声和干扰，使信号更加清晰和稳定。接着，通过特征提取算法，从预处理后的信号中提取出与大脑意图相关的特征。例如，在运动想象任务中，大脑产生的信号在频率和幅度上会有特定的变化，通过特征提取可以捕捉到这些变化。然后，利用模式识别算法对提取的特征进行分类和识别，判断大脑信号所对应的具体指令，如向左移动、向右移动、抓取物体等。

经过处理和识别后的指令信号被传输到控制输出单元，该单元根据指令控制外部设备执行相应的动作。在一个用于控制机械臂的脑机接口系统中，当用户通过大脑想象抓取物体的动作时，信号采集设备获取大脑产生的信号，经过信号处理单元的分析 and 识别，确定用户的意图是抓取物体，控制输出单元将这一指令发送给机械臂，机械臂便会执行抓取动作。整个过程涉及多个学科的知识和技术，包括神经科学、信号处理、计算机科学等，各环节紧密配合，确保脑机接口系统能够准确、快速地实现大脑与外部设备之间的信息交互和控制。

六、性能测试内容

1. 信号采集性能测试

(1) 电极性能测试

- **导电性测试：**使用专业的电阻测量仪器，在模拟头皮环境的导电介质中，测量电极与介质之间的电阻值。将电极插入导电介质中，确保电极与介质充分接触，电极的插入深度应符合实际使用要求。连接电阻测量仪器，读取并记录电阻值，电阻值应不高于 $10\text{k}\Omega$ ，以保证良好的导电性，确保大脑信号能够顺利通过电极传输。

- **阻抗测试:** 采用阻抗分析仪, 在频率范围为 0.1Hz-5Hz 内, 测量电极的阻抗特性。将电极与阻抗分析仪正确连接, 设置好频率扫描范围和测量参数, 启动测量程序, 得到电极在不同频率下的阻抗值。绘制阻抗 - 频率曲线, 观察曲线的变化趋势。在整个测试频率范围内, 电极的阻抗应保持在 10k 内, 且曲线应相对平滑, 无明显波动, 以确保电极在不同频率信号采集时的稳定性。

- **稳定性测试:** 将电极固定在模拟头皮运动的装置上, 模拟人体日常活动中的头部运动, 如点头、摇头、转头等。同时, 使用高精度的信号采集设备, 监测电极在运动过程中的信号变化情况。持续运动 24 小时, 记录信号的波动幅度和稳定性指标。在运动过程中, 信号的波动幅度应不超过 5%, 以保证电极在长时间使用和不同运动状态下, 都能稳定地采集大脑信号。

(2) 信号采集范围与精度测试

- **信号类型与频率范围测试:** 使用信号发生器产生不同类型的脑电信号, 包括但不限于 α 波 (频率范围约 8 - 13Hz)、 β 波 (13 - 30Hz)、 θ 波 (4 - 7Hz)、 δ 波 (0.5 - 3Hz) 等。将信号发生器的输出与脑机接口系统的信号采集端相连, 设置信号发生器输出不同频率和幅度的脑电信号。观察脑机接口系统能否准确识别和采集这些信号, 记录系统能够成功采集的信号类型和频率范围。脑机接口系统应能够采集到常见的脑电信号类型, 且频率范围应覆盖 [具体频率区间], 以满足不同应用场景对大脑信号的监测需求。

- **采集精度测试:** 采用高精度的信号源, 产生具有精确频率和幅度的模拟脑电信号, 作为参考信号输入到脑机接口系统。脑机接口系统采集该信号后, 通过与参考信号进行对比分析, 计算采集信号的误差。误差计算包括幅度误差和频率误差, 幅度误差计算公式为: 幅度误差 = (采集信号幅度 - 参考信号幅度) / 参考信号幅度 \times 100%; 频率误差计算公式为: 频率误差 = (采集信号频率 - 参考信号频率) / 参考信号频率 \times 100%。在不同频率和幅度的信号输入下, 多次重复测试, 记录每次的误差值。采集信号的幅度误差应控制在 $\pm 5\%$ 以内, 频率误差应控制在 $\pm 1\%$ 以内, 以确保脑机接口系统对大脑信号的采集精度。

2. 信号处理性能测试

(1) 共模抑制比测试

共模抑制比 (CMRR) 是评价脑机接口系统 (Brain-Computer Interface, BCI) 信号采集设备性能的重要指标。CMRR 反映设备对共模噪声的抑制能力, 是确保高质量神经信号采集的关键性能参数。本文提出了一种标准化的 CMRR 测试方法, 结合理论公式、实验设计和数据分析, 详细阐述了测试过程及其判定标准, 为脑机接口设备的性能优化提供了科学依据。脑机接口设备的信号采集模块通常用于处理微弱的生物电信号, 如脑电信号 (EEG)。环境中的共模噪声 (如电源噪声) 会显著干扰信号质量, 因此, 确保设备具有足够高的 CMRR 是实现高精度信号采集的基础。

测试设备包括: 信号发生器: 产生高精度共模信号和差分信号。数据采集设备: 待测脑机接口信号采集模块。高精度测量仪器: 数字示波器或数据采集卡 (分辨率 ≥ 16 位)。参考电阻: $1M\Omega$, 用于匹配输入阻抗。屏蔽环境: 测试需在电磁屏蔽室中进行, 以避免外部干扰。

实验条件环境温度: $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$; **相对湿度:** $40\% \sim 60\%$; **输入信号:** 共模信号频率: 50Hz (工频) 或 60Hz , 差分信号频率: 10Hz , 幅值 $10\mu\text{V}$ 。

测试流程

设置测试环境: 将信号发生器的输出连接至待测设备的输入端, 确保共模信号和差分信号可以分别或叠加输入。确保测试环境满足屏蔽要求, 避免外界噪声干扰。

注入共模信号, 使用信号发生器产生幅值为 1V (RMS 值) 的共模信号, 同时施加至设备的两输入端。测量设备输出端的响应信号, 记录其幅值 A_{cm} 。

注入差分信号, 在施加共模信号的基础上, 叠加幅值为 $10\mu\text{V}$ 的差分信号。测量设备对差分信号的输出响应, 记录其幅值 A_{diff} 。

根据公式计算 CMRR 值:

$$\text{CMRR (dB)} = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{A_{\text{diff}}}{A_{\text{cm}}} \right)$$

数据重复采集，每组测试重复进行 5 次，取均值作为最终 CMRR 值。

结果判定

判定标准，根据脑机接口系统的应用场景，CMRR 的最低要求为：医疗级脑机接口设备：CMRR \geq 100dB。一般消费级脑机接口设备：CMRR \geq 80dB。若设备在所有测试条件下均满足最低 CMRR 标准，则测试结果判定为“合格”。参考 GB 9706.1-2020《医用电气设备 第 1 部分：基本安全和基本性能的通用要求》，IEC 60601-1-2:2014《医用电气设备 电磁兼容要求》。

(2) 特征提取准确性测试

- **特征提取算法验证：**对脑机接口系统所采用的特征提取算法进行理论分析和验证。通过查阅相关文献、研究算法的原理和数学模型，评估算法在提取大脑信号特征方面的合理性和有效性。例如，对于基于频域分析的特征提取算法，分析其在不同频率范围内对大脑信号特征的敏感度和分辨能力；对于基于机器学习的特征提取算法，研究其训练数据的质量和算法的泛化能力。

- **模拟数据测试：**收集大量不同被测试者在多种大脑活动状态下的脑电信号数据，形成测试数据集。将测试数据集输入到脑机接口系统中，经过信号处理和特征提取环节，得到提取的大脑信号特征。将提取的特征与预先标注的真实特征进行对比，计算特征提取的准确率。准确率计算公式为：准确率 = 正确提取的特征数量 / 总特征数量 \times 100%。在不同的大脑活动任务和被测试者群体中，特征提取的准确率应达到 90%以上，以确保脑机接口系统能够准确地提取大脑信号的特征，为后续的模式识别和指令识别提供可靠的基础。

3. 控制性能测试

(1) 指令识别准确率测试

- **测试指令集设计：**根据脑机接口系统的应用场景和预期功能，设计一套全面的测试指令集。例如，对于用于康复训练的脑机接口系统，测试指令集可以包括上肢的伸展、弯曲、抓握，下肢的抬腿、屈膝等动作指令；对于用于游戏控制的脑机接口系统，测试指令集可以包括前进、后退、左转、右转、跳跃等游戏操作指令。确保测试指令集涵盖了系统可能涉及的各种大脑指令类型。

- **测试流程：**让被测试者佩戴脑机接口系统，在安静、舒适的环境中进行测试。测试人员按照测试指令集的顺序，依次向被测试者发出指令，要求被测试者通过大脑活动产生相应的指令信号。脑机接口系统对被测试者的大脑信号进行采集、处理和识别，判断识别出的指令与测试指令是否一致。每个指令重复测试 50 次，记录正确识别的次数。指令识别准确率计算公式为：指令识别准确率 = 正确识别的指令次数 / 总指令测试次数 × 100%。对于不同的应用场景，指令识别准确率应满足相应的标准要求，如在医疗康复领域，指令识别准确率应不低于 50%（依照实际应用情况进行动态调整）；在娱乐游戏领域，指令识别准确率应不低于 50%（依照实际应用情况进行动态调整）。

(2) 响应时间测试

- **时间测量方法：**使用高精度的时间测量设备，如示波器、时间戳模块等，精确测量脑机接口系统从接收大脑信号到做出响应的时间。在被测试者产生大脑信号的瞬间，触发时间测量设备的计时开始；当脑机接口系统控制外部设备做出相应动作或给出反馈时，停止计时。记录这一过程的时间间隔，即为系统的响应时间。

- **多场景测试：**在不同的应用场景和任务负载下，对脑机接口系统的响应时间进行测试。例如，在高频率的指令输入场景下，测试系统对连续快速指令的响应时间；在复杂的大脑活动任务场景下，测试系统处理复杂信号时的响应时间。每个场景下进行多次测试，取平均值作为该场景下的响应时间。脑机接口系统的平均响应时间应不超过 300ms，以保证系统的实时性和交互性，满足用户在实际使用中的需求。

(3) 控制稳定性测试

- **长时间连续测试：**让被测试者长时间佩戴脑机接口系统，并持续进行一系列的大脑指令操作，如连续进行 [X] 小时的康复训练动作或游戏操作。在测试过程中，监测脑机接口系统对指令的识别准确率和控制效果的稳定性。每隔一段时间（如 30 分钟），记录一次指令识别准确率和系统的运行状态，观察是否出现异常情况。

- **稳定性评估指标：**根据长时间连续测试的数据，计算指令识别准确率的波动范围和系统运行的故障率。指令识别准确率的波动范围应在±20%以内，系统运行的故障率应低于 1%。如果指令识别准确率波动过大或故障率过高，说明脑机接口系统在长时间使用过程中控制稳定性较差，需要进一步优化和改进。

七、性能评估指标体系

1. 定量指标

(1) 准确率相关指标

- **指令识别准确率：**在规定的测试环境和任务条件下，脑机接口系统正确识别用户大脑指令的比例。计算公式为： $\text{指令识别准确率} = \text{正确识别的指令次数} / \text{总指令测试次数} \times 100\%$ 。例如，在进行 100 次运动指令测试中，系统正确识别了 85 次，则指令识别准确率为 85%。对于医疗康复领域的脑机接口系统，指令识别准确率应不低于 90%，以确保患者能够准确控制康复设备，进行有效的康复训练；在智能家居控制领域，考虑到使用场景的相对简单性，指令识别准确率建议不低于 80%，以保证用户能够顺利通过大脑信号控制家电设备。

- **任务完成准确率：**衡量脑机接口系统在完成特定任务时的准确程度，即系统成功完成任务的次数与总任务尝试次数的比值。任务完成准确率 = $\text{成功完成任务的次数} / \text{总任务尝试次数} \times 100\%$ 。比如，在一个通过脑机接口控制机械臂完成物体抓取和放置的任务中，共进行了 50 次尝试，成功完成 40 次，则任务完成准确率为 80%。在工业制造领域，利用脑机接口控制机器人进行精密装配任务时，任务完成准确率应达到 95% 以上，以满足生产的高精度要求；在教育领域，用于学生注意力监测和学习辅助的脑机接口系统，若涉及到一些需要学生通过大脑信号完成的互动学习任务，任务完成准确率应不低于 70%，以保证教学活动的顺利开展。

(2) 响应时间指标

- **信号采集响应时间：**从大脑产生神经活动信号开始，到信号采集设备完成信号采集并传输至信号处理单元的时间间隔。一般来说，信号采集响应时间应不超过 50ms，以确保能够及时捕捉到大脑信号的变化，为后续的信号处理提供实时数据支持。

- **系统整体响应时间：**包括信号采集、处理、传输以及外部设备执行等整个过程的时间。对于实时性要求较高的应用场景，如虚拟现实游戏、无人机控制等，系统整体响应时间应控制在 300ms 以内，以保证用户操作的流畅性和实时性，避免出现明显的延迟和卡顿现象；在医疗康复领域，虽然对响应时

间的要求相对虚拟现实游戏等场景稍低，但也应确保系统整体响应时间不超过 500ms，以便患者能够及时感受到康复设备对大脑信号的响应，提高康复训练的效果和患者的积极性。

(3) 信号质量指标

- **信号噪声比 (SNR)**：信号功率与噪声功率的比值，用于衡量信号中有用信息与噪声的相对强度。信号噪声比越高，说明信号质量越好，受噪声干扰的程度越小。计算公式为： $SNR = 10 \times \log_{10}(\text{信号功率} / \text{噪声功率})$ 。例如，当信号功率为 $100 \mu W$ ，噪声功率为 $1 \mu W$ 时，信号噪声比为 20dB。在实际应用中，脑机接口系统的信号噪声比应不低于 15dB，以保证信号的可靠性和稳定性，为后续的信号处理和模式识别提供高质量的信号基础。

- **信号分辨率**：指信号采集设备能够分辨的最小信号变化量，反映了信号采集的精细程度。信号分辨率越高，越能准确地捕捉到大脑信号的细微变化。例如，对于脑电信号采集设备，其信号分辨率通常以微伏 (μV) 为单位表示。在医疗诊断和康复治疗等对信号精度要求较高的领域，脑机接口系统的信号分辨率应达到 $2 \mu V$ 以下，以满足对大脑信号高精度分析的需求。

2. 定性指标

(1) 易用性评估

- **操作难度**：评估脑机接口系统的操作复杂程度，包括用户佩戴设备的便捷性、操作流程的简单易懂程度等。通过用户问卷调查和实际操作测试，统计用户对操作难度的反馈。例如，设置操作难度的评价等级为“非常简单”“简单”“一般”“复杂”“非常复杂”，若超过 80% 的用户反馈操作难度为“非常简单”或“简单”，则认为该系统在操作难度方面表现良好。

- **学习成本：**衡量用户学习使用脑机接口系统所需的时间和精力。观察用户从初次接触系统到能够熟练操作的学习过程，记录学习时间，并询问用户对学习难度的感受。对于一款优秀的脑机接口系统，用户应能够在较短时间内（如 1 - 2 小时）掌握基本操作，且在后续使用过程中，随着使用次数的增加，能够不断提高操作的熟练度，学习成本较低。

(2) 可靠性评估

- **环境适应性：**考察脑机接口系统在不同环境条件下的性能稳定性，如温度、湿度、电磁干扰等环境因素对系统的影响。在模拟不同环境条件的实验室环境中，对脑机接口系统进行测试，观察系统在各种环境下的运行状态、信号质量以及指令识别准确率等指标的变化情况。例如，在高温（40℃）、高湿度（80%）的环境下，系统的指令识别准确率不应下降超过 10%，以确保系统在复杂环境中仍能可靠运行。

- **长时间稳定性：**评估系统在长时间连续运行过程中的性能稳定性，通过长时间的稳定性测试，记录系统在运行过程中出现故障的次数和时间间隔。例如，让脑机接口系统连续运行 24 小时，统计系统出现故障的次数，若故障次数不超过 1 次，且每次故障恢复时间不超过 10 分钟，则认为该系统在长时间稳定性方面表现较好。

(3) 安全性评估

- **生理安全性：**评估脑机接口系统对人体生理健康的潜在影响，如电极与皮肤接触是否会引起过敏、炎症等不良反应，信号采集过程中是否会对大脑神经细胞造成损伤等。通过临床实验和用户反馈，收集系统使用过程中出现的生理不良反应数据。例如，在大规模的用户试用过程中，若出现生理不良反应的用户比例不超过 1%，则认为该系统在生理安全性方面符合要求。

- **数据安全性：**考量系统对用户大脑数据的保护能力，包括数据加密、存储安全、防止数据泄露等方面。对系统的数据存储和传输机制进行安全评估，检查是否采用了加密技术对数据进行加密处理，

以及是否具备完善的数据访问权限管理机制，防止数据被非法获取和篡改。例如，采用先进的加密算法（如 AES - 256）对用户大脑数据进行加密存储和传输，确保数据在传输和存储过程中的安全性；同时，建立严格的数据访问权限管理系统，只有经过授权的人员才能访问用户数据，从多个方面保障数据的安全性。

八、测试与评估方法流程

1. 测试准备

(1) 设备准备

- 脑机接口设备：确保被测试的脑机接口系统处于正常工作状态，各部件连接稳固，无损坏或故障。检查设备的软件版本是否为最新，以保证系统性能的稳定性和兼容性。在测试前，对脑机接口设备进行全面的自检，包括信号采集、处理、传输等环节，确保设备能够准确地采集和处理大脑信号。

- 测试仪器：准备高精度的测试仪器，如信号发生器、阻抗分析仪、示波器、时间戳模块等，用于模拟大脑信号、测量电极性能、记录时间等。对测试仪器进行定期校准，确保其测量精度符合要求。校准过程应严格按照仪器制造商提供的操作手册进行，记录校准数据和结果，确保测试数据的准确性和可靠性。例如，使用信号发生器产生具有精确频率和幅度的模拟脑电信号，用于测试脑机接口系统的信号采集精度；利用阻抗分析仪测量电极的阻抗特性，以评估电极的性能。

(2) 人员准备

- 测试人员资质：测试人员应具备相关专业知识和技能，熟悉脑机接口技术的原理、操作方法以及测试流程。应经过专门的培训，掌握各类测试仪器的使用方法，能够准确地进行测试操作和数据记录。例如，测试人员应了解脑电信号的特点和分析方法，能够根据测试结果判断脑机接口系统的性能优劣。

- 被测试人员筛选条件：被测试人员应身体健康，无神经系统疾病或其他可能影响大脑信号的疾病史。在测试前，对被测试人员进行全面的身体检查，包括神经系统检查、脑电图检查等，确保其大脑功能正常。同时，被测试人员应具有良好的配合度，能够按照测试要求进行各种大脑活动任务。例如，对于用于康复训练的脑机接口系统测试，被测试人员应具备一定的运动能力，能够配合完成相应的运动想象任务；对于用于娱乐游戏的脑机接口系统测试，被测试人员应具有一定的游戏经验，能够熟练操作游戏设备。

- 准备工作：在测试前，向被测试人员详细介绍测试目的、流程和注意事项，确保其充分理解并签署知情同意书。让被测试人员保持良好的精神状态和身体状态，避免在测试前过度疲劳、饮酒或服用可能影响大脑功能的药物。同时，为被测试人员提供舒适的测试环境，减少外界干扰。例如，在测试前一天，提醒被测试人员保证充足的睡眠；在测试当天，提前为被测试人员准备好舒适的座椅、安静的测试房间等。

2. 测试实施

(1) 按照测试方案执行

- 各测试项目的具体操作步骤：
 - 信号采集性能测试：
 - 电极性能测试：按照前文所述的电极性能测试方法，依次进行导电性测试、阻抗测试和稳定性测试。在导电性测试中，将电极插入模拟头皮环境的导电介质中，连接电阻测量仪器，读取并记录电阻值；在阻抗测试中，将电极与阻抗分析仪正确连接，设置好频率扫描范围和测量参数，启动测量程序，得到电极在不同频率下的阻抗值，并绘制阻抗 - 频率曲线；

在稳定性测试中，将电极固定在模拟头皮运动的装置上，使用高精度的信号采集设备监测电极在运动过程中的信号变化情况，持续运动规定时间，记录信号的波动幅度和稳定性指标。

- **信号采集范围与精度测试：**使用信号发生器产生不同类型和频率的脑电信号，将其输出与脑机接口系统的信号采集端相连，观察脑机接口系统能否准确识别和采集这些信号，记录系统能够成功采集的信号类型和频率范围。采用高精度的信号源，产生具有精确频率和幅度的模拟脑电信号作为参考信号输入到脑机接口系统，通过与参考信号进行对比分析，计算采集信号的幅度误差和频率误差，在不同频率和幅度的信号输入下，多次重复测试，记录每次的误差值。

- **信号处理性能测试：**

- **噪声抑制能力测试：**在信号采集环境中，引入多种常见的噪声源，如工频噪声、电磁干扰噪声、环境背景噪声等。使用噪声发生器产生特定频率和强度的噪声信号，通过扬声器或电磁干扰设备释放到测试环境中。让被测试者进行特定的大脑活动任务，如运动想象、注意力集中等，同时使用脑机接口系统采集大脑信号。采集到的信号经过信号处理模块后，采用频谱分析、功率谱密度分析等方法，分析处理后的信号中噪声的残留水平，计算噪声抑制比。

- **特征提取准确性测试：**对脑机接口系统所采用的特征提取算法进行理论分析和验证，查阅相关文献，研究算法的原理和数学模型。收集大量不同被测试者在多种大脑活动状态下的脑电信号数据，形成测试数据集。将测试数据集输入到脑机接口系统中，经过信号处理和特征提取环节，得到提取的大脑信号特征。将提取的特征与预先标注的真实特征进行对比，计算特征提取的准确率。

- **控制性能测试：**

- **指令识别准确率测试：**根据脑机接口系统的应用场景和预期功能，设计一套全面的测试指令集。让被测试者佩戴脑机接口系统，在安静、舒适的环境中进行测试。测试人员按照测试指令集的顺序，依次向被测试者发出指令，要求被测试者通过大脑活动产生相应的指令信号。脑机接口系统对被测试者的大脑信号进行采集、处理和识别，判断识别出的指令与测试指令是否一致。每个指令重复测试规定次数，记录正确识别的次数，计算指令识别准确率。

- **响应时间测试：**使用高精度的时间测量设备，如示波器、时间戳模块等，精确测量脑机接口系统从接收大脑信号到做出响应的的时间。在被测试者产生大脑信号的瞬间，触发时间测量设备的计时开始；当脑机接口系统控制外部设备做出相应动作或给出反馈时，停止计

时。记录这一过程的时间间隔，即为系统的响应时间。在不同的应用场景和任务负载下，对脑机接口系统的响应时间进行测试，每个场景下进行多次测试，取平均值作为该场景下的响应时间。

- **控制稳定性测试：**让被测试者长时间佩戴脑机接口系统，并持续进行一系列的大脑指令操作，如连续进行规定时间的康复训练动作或游戏操作。在测试过程中，监测脑机接口系统对指令的识别准确率和控制效果的稳定性。每隔一段时间，记录一次指令识别准确率和系统的运行状态，观察是否出现异常情况。
- **测试顺序：**按照信号采集性能测试、信号处理性能测试、控制性能测试的顺序依次进行。在每个性能测试模块中，按照先进行基本性能测试，再进行复杂性能测试的顺序进行。例如，在信号采集性能测试中，先进行电极性能测试，再进行信号采集范围与精度测试；在信号处理性能测试中，先进行噪声抑制能力测试，再进行特征提取准确性测试。

(2) 数据记录

- **记录内容：**详细记录测试过程中的各项数据，包括但不限于测试时间、测试环境参数（如温度、湿度、电磁干扰情况等）、被测试人员的基本信息（如年龄、性别、健康状况等）、脑机接口设备的型号和参数、测试仪器的型号和测量数据、每个测试项目的具体操作步骤和结果数据等。对于信号采集性能测试，记录电极的电阻值、阻抗值、信号波动幅度、采集到的信号类型和频率范围、采集信号的误差值等；对于信号处理性能测试，记录噪声抑制比、特征提取的准确率等；对于控制性能测试，记录指令识别准确率、响应时间、指令识别准确率的波动范围和系统运行的故障率等。

- **格式：**采用统一的数据记录格式，如电子表格（Excel）或专业的数据记录软件。在电子表格中，为每个测试项目创建一个独立的工作表，在工作表中设置明确的列标题，分别对应不同的记录内容。例如，在信号采集性能测试的工作表中，设置“测试时间”“测试环境温度”“测试环境湿度”“被测试人员姓名”“被测试人员年龄”“被测试人员性别”“脑机接口设备型号”“电极型号”“电阻值”“阻抗值”“信号波动幅度”“采集到的信号类型”“采集到的信号频率范围”“幅度误差”“频率误差”等列标题，将相应的数据填入对应的单元格中。

- 要求：数据记录应准确、完整、清晰，不得随意涂改。记录人员应在记录完成后进行仔细核对，确保数据的准确性。对于重要的数据，如指令识别准确率、响应时间等，应进行多次测量和记录，取平均值作为最终结果，并记录测量的次数和每次的测量值。同时，应在数据记录中注明数据的单位，如电阻值的单位为 Ω ，时间的单位为 ms 等。

3. 评估流程

(1) 数据分析

- 分析方法：

- 统计分析：对测试数据进行统计分析，计算各项性能指标的平均值、标准差、最大值、最小值等统计量。例如，计算指令识别准确率的平均值，以评估脑机接口系统在多次测试中的平均识别能力；计算响应时间的标准差，以衡量系统响应时间的稳定性。

- 对比分析：将测试数据与预先设定的性能指标标准进行对比分析，判断脑机接口系统是否满足相应的性能要求。例如，将信号采集的幅度误差和频率误差与规定的误差范围进行对比，判断信号采集的精度是否达标；将指令识别准确率与不同应用场景下的标准准确率进行对比，评估系统在该应用场景下的指令识别能力。

- 相关性分析：分析不同性能指标之间的相关性，如信号采集的准确性与指令识别准确率之间的关系，信号处理的效率与系统响应时间之间的关系等。通过相关性分析，可以了解脑机接口系统各部分性能之间的相互影响，为系统的优化和改进提供依据。例如，通过计算信号采集的准确性与指令识别准确率之间的相关系数，判断两者之间是否存在正相关关系，如果相关系数较高，说明提高信号采集的准确性可能有助于提高指令识别准确率。

- 数据可视化：采用图表等方式对数据分析结果进行可视化展示，如柱状图、折线图、散点图等。柱状图可用于比较不同性能指标的数值大小，折线图可用于展示性能指标随时间或其他变量的变化趋势，散点图可用于分析两个性能指标之间的相关性。例如，使用柱状图展示不同脑机接口系统的指令识别准确率，直观地比较各系统的性能差异；使用折线图展示系统响应时间在不同测试阶段的变化情况，

观察系统响应时间的稳定性；使用散点图分析信号噪声比与特征提取准确率之间的关系，判断两者之间是否存在某种规律。

(2) 结果评定

- 评定方法：依据预先建立的性能评估指标体系，对数据分析结果进行综合评定。对于定量指标，如准确率、响应时间、信号噪声比等，根据设定的阈值进行判断，若指标值达到或超过阈值，则判定该指标合格，否则判定为不合格。对于定性指标，如易用性、可靠性、安全性等，通过专家评估、用户反馈等方式进行评定，根据预先制定的评价标准给出相应的评定等级，如优秀、良好、一般、较差等。

- 判定准则：

- 综合评定：当脑机接口系统的各项定量指标和定性指标均满足相应的要求时，判定该系统性能合格；若有一项或多项指标不满足要求，则判定该系统性能不合格。例如，对于一个用于医疗康复的脑机接口系统，其指令识别准确率应不低于 90%，系统整体响应时间应不超过 500ms，信号噪声比应不低于 15dB，同时在易用性、可靠性、安全性等定性指标方面也应达到相应的标准，只有当这些指标都满足时，才能判定该系统性能合格。

- 分级评定：根据脑机接口系统各项性能指标的表现，可进一步进行分级评定。例如，将指令识别准确率在 95% 及以上、系统整体响应时间在 300ms 以内、信号噪声比在 20dB 以上，且在定性指标方面表现优秀的系统评定为一级；将指令识别准确率在 90% - 95% 之间、系统整体响应时间在 300 - 400ms 之间、信号噪声比在 15 - 20dB 之间，且在定性指标方面表现良好的系统评定为二级；以此类推，根据不同的性能水平进行分级，为用户提供更详细的性能参考。

九、标准实施与监督

1. 实施建议

为确保《脑机接口系统性能测试与评估方法》团体标准的有效实施，相关企业、机构可从以下几个方面着手。在技术层面，企业应依据本标准，对现有的脑机接口系统研发流程进行全面梳理与优化。在信号采集环节，严格按照标准中的电极性能测试和信号采集范围与精度测试要求，选用高质量的电极，并确保信号采集设备能够准确、稳定地获取大脑信号。在信号处理方面，采用符合噪声抑制能力测试和特征提取准确性测试标准的算法，提高信号处理的质量和效率。

在人员培训方面，企业和机构应组织内部员工进行标准的专项培训，使研发人员、测试人员、质量控制人员等深入理解标准的各项要求和测试方法。邀请标准制定的专家进行现场讲解和指导，通过实际案例分析和操作演示，帮助员工掌握标准的核心要点。同时，鼓励员工参加行业内的标准交流研讨会，及时了解标准的最新动态和应用经验，不断提升自身对标准的理解和应用能力。

对于科研机构而言，在开展脑机接口相关研究项目时，应将本标准作为重要的参考依据，确保研究过程的规范性和研究结果的可靠性。在研究成果的评估和发表中，依据标准对研究中涉及的脑机接口系统性能进行详细说明和测试验证，提高研究成果的可信度和影响力。例如，某科研机构在发表一篇关于新型脑机接口康复设备的研究论文时，按照本标准对设备的性能进行了全面测试，并在论文中详细阐述了测试方法和结果，使得该研究成果得到了同行的高度认可，为后续的技术转化和应用推广奠定了坚实基础。

2. 监督机制

为保障标准的有效执行，需建立完善的监督机制。行业协会应发挥主导作用，定期组织对企业和机构的标准执行情况进行检查。检查内容包括企业是否按照标准要求对脑机接口系统的性能测试，测试报告是否真实、准确、完整，以及企业在产品研发、生产过程中是否遵循标准的相关规定。

对于发现的问题，行业协会应及时提出整改意见，并跟踪整改情况，确保企业和机构能够及时纠正不符合标准的行为。例如，行业协会在对某脑机接口设备生产企业进行检查时，发现该企业的部分产品在指令识别准确率测试中未达到标准要求，随即要求企业对生产工艺和信号处理算法进行优化，并在规定时间内重新提交测试报告。企业按照要求进行整改后，再次通过了行业协会的检查，保证了产品质量符合标准。

此外，鼓励企业和机构之间进行相互监督，建立举报奖励制度。对于举报他人违反标准行为的单位或个人，经核实后给予一定的奖励，以提高行业内对标准执行的重视程度和监督积极性。同时，政府监管部门也应加强对脑机接口市场的监督管理，将标准执行情况纳入日常监管范围，对违反标准的企业依法进行处罚，维护市场秩序，保障消费者的合法权益。

十、附录

1. 测试报告模板

测试报告项目	详情
测试报告编号	[唯一编号，用于标识本次测试报告，方便查询与管理]
测试日期	[具体的测试开展日期，精确到年 / 月 / 日]
测试单位	[负责进行脑机接口系统性能测试的单位名称]
被测脑机接口系统信息	- 系统名称 : [脑机接口系统的正式名称] - 型号 : [产品型号，明确产品的具体规格] - 生产厂家 : [生产该脑机接口系统的企业名称] - 软件版本 : [系统所使用软件的版本号，软件版本不同可能影响系统性能]
测试环境	- 温度 : [测试环境的温度数值，单位℃，环境温度可能影响设备性能] - 湿度 : [测试环境的湿度数值，单位 %，湿度对电子设备有一定影响] - 电磁环境 : [描述测试环境中的电磁干扰情况，如是否存在强电磁源等] - 其他环境因素 : [如有其他可能影响测试结果的环境因素，在此说明]

测试人员	- 姓名: [参与测试的人员姓名] - 资质: [测试人员所具备的专业资质, 如相关专业学历、培训证书等]
测试目的	[阐述本次测试的目的, 如评估系统性能是否满足设计要求、是否符合相关标准等]
测试依据	[明确本次测试所依据的标准, 如本《脑机接口系统性能测试与评估方法》团体标准及其他相关标准]
测试内容与结果	<ul style="list-style-type: none"> - 信号采集性能测试: - 电极性能测试: - 导电性测试: [记录电极的电阻测量值, 单位 Ω] - 阻抗测试: [附上阻抗 - 频率曲线, 并说明在测试频率范围内的阻抗情况] - 稳定性测试: [记录信号波动幅度及稳定性指标, 如信号波动幅度百分比] - 信号采集范围与精度测试: - 信号类型与频率范围测试: [列出脑机接口系统能够成功采集的信号类型及频率范围] - 采集精度测试: [分别记录不同频率和幅度信号输入下的幅度误差和频率误差, 单位 %] - 信号处理性能测试: - 噪声抑制能力测试: [记录噪声抑制比数值] - 特征提取准确性测试: [记录特征提取的准确率, 单位 %] - 控制性能测试: - 指令识别准确率测试: [记录指令识别准确率数值, 单位 %] - 响应时间测试: [记录不同应用场景下的平均响应时间, 单位 ms] - 控制稳定性测试: [记录指令识别准确率的波动范围及系统运行的故障率, 单位 %]
数据分析	<ul style="list-style-type: none"> - 统计分析结果: [列出各项性能指标的平均值、标准差、最大值、最小值等统计量] - 对比分析结果: [将测试数据与预先设定的性能指标标准进行对比, 说明是否满足相应性能要求] - 相关性分析结果: [分析不同性能指标之间的相关性, 如相关系数及相关性说明]

评估结论	[根据测试结果和评估指标体系, 给出脑机接口系统性能是否合格的评估结论, 若有分级评定, 给出相应的等级]
备注	[如有其他需要说明的事项, 如测试过程中遇到的问题、对测试结果的影响等, 在此备注]

2. 相关技术资料

- [1] <https://brain.ieee.org/resources/standards/>
 - [2] <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9349175>
 - [3] 参考 GB 9706.1-2020 《医用电气设备 第1部分: 基本安全和基本性能的通用要求》
 - [4] IEC 60601-1-2:2014 《医用电气设备 电磁兼容要求》
-