

ICS 11 040 55

16550

T/GXDSL

团体标准

T/GXDSL 006—2025

脑机接口脑电信号采集技术规范

Technical Specifications for Electroencephalogram Signal Acquisition in Brain -
Computer Interface

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、范围	1
1. 背景与目的	1
2. 范围与适用性	2
3. 定义与缩略语	2
三、规范性引用文件	4
四、基本要求	5
1. 安全要求	5
2. 可靠性要求	6
3. 兼容性要求	6
五、脑电信号采集技术规范	7
1. 电极类型与选择	7
2. 电极放置位置与方法	8
3. 信号放大与调理	10
4. 采样与数字化	11
六、脑电信号预处理技术规范	13
1. 去噪处理	13
2. 伪影去除	13
3. 基线校正	14
七、数据存储与传输规范	15
1. 数据存储格式	15
2. 数据传输协议	15
3. 数据存储与备份要求	16
八、设备性能与质量要求	16
1. 设备硬件性能指标	16
2. 设备软件功能要求	17
3. 设备可靠性与稳定性测试	18
九、人员资质与操作规范	19
1. 操作人员资质要求	19
2. 操作流程规范	19

十、测试与验证	20
1. 测试方法与指标	20
2. 验证流程与标准	21
十一、附录	22
1. 术语解释附录	22
2. 操作指南示例附录	23

全国团体标准信息平台

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，西安交通大学，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，空军军医大学，清华大学零一学院，西安蓝脑科技有限公司，成都锦城学院，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，李征骥，李三雁，张志敏，王博知，韦博鲲，段玉聪，宋永端，王朴，张妍，郭海燕，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。

脑机接口脑电信号采集技术规范

一、前言

脑机接口技术作为连接大脑与外部设备的重要桥梁，在医疗、康复、智能控制等领域展现出巨大的潜力。为了规范脑机接口临床应用监测系统的设计、制造、测试及使用，提升系统的安全性、可靠性及通用性，本标准对脑电信号采集、预处理、数据存储与传输等关键技术环节提出具体要求，为从业人员提供科学的技术指南，推动脑机接口技术的产业化应用和跨领域融合。

二、范围

1. 背景与目的

近年来，脑机接口技术作为一种极具潜力的前沿科技，发展势头迅猛，在医疗康复、智能家居、娱乐游戏、军事国防等多个领域展现出了广阔的应用前景。通过对大脑产生的电信号进行采集、分析与解读，脑机接口技术能够实现大脑与外部设备之间的直接交互，为人类的生活和工作方式带来了前所未有的变革。

在脑机接口系统中，脑电信号采集是至关重要的起始环节，其采集的信号质量直接决定了后续信号处理、分析以及最终控制指令输出的准确性和可靠性。然而，当前脑电信号采集技术在实际应用中面临着诸多挑战。不同的研究机构、企业在进行脑电信号采集时，采用的方法、设备、操作流程等存在较大差异，这导致采集到的脑电信号在质量、特征表达等方面缺乏一致性和可比性。这种不一致性不仅给科研工作的深入开展带来了困难，使得研究成果难以进行有效的对比和整合，也严重阻碍了脑机接口技术从实验室走向实际应用的产业化进程。

为了有效解决上述问题，进一步推动脑机接口技术的健康、快速发展，制定一套统一、规范且科学合理的脑电信号采集技术标准显得尤为迫切。本团体标准旨在通过对脑电信号采集过程中的各个环节进行明确规定和详细规范，为相关从业者提供具有权威性和指导性的操作指南，从而确保脑电信号采集的质量和可靠性，促进脑机接口技术在不同领域的广泛应用和深度发展。

本标准适用于脑机接口临床应用监测系统的设计、制造和应用，明确系统性能与测试方法，保障脑电信号采集及处理的标准化。

主要覆盖医疗康复、神经科学研究及脑控技术的实际应用场景。

2. 范围与适用性

本标准明确适用于脑机接口中脑电信号采集相关的设备、技术以及操作流程。具体而言，无论是用于科研目的的脑电信号采集实验，还是应用于临床医疗的脑机接口辅助诊断与治疗设备，亦或是在智能家居、娱乐游戏等消费级产品中涉及的脑电信号采集部分，均需遵循本标准的相关规定。同时，本标准不仅对脑电信号采集设备的硬件性能、技术参数等提出了具体要求，还对从电极选择与安装、信号采集环境设置、信号采集过程中的操作规范，到采集后信号的初步处理与存储等一系列操作流程进行了全面规范。包括但不限于以下设备和系统：非侵入式脑机接口设备、半侵入式及全侵入式脑机接口设备、临床监测及康复辅助脑机接口系统。

3. 定义与缩略语

为了确保本标准在表述和理解上的准确性与一致性，对以下关键术语进行明确定义：

- **脑机接口 (Brain - Computer Interface, BCI)**：在生物大脑与外部设备或环境之间建立的一种实时通讯与控制系统，能够实现大脑与外部设备的直接交互，用户可通过大脑活动控制特殊计算机设备，从而完成特定任务。
- **脑电信号 (Electroencephalogram, EEG)**：大脑神经元活动时产生的生物电信号，通过头皮电极或颅内电极进行采集，能够反映大脑的功能状态和活动变化。

- **电极 (Electrode)**：用于采集脑电信号的装置，常见的有头皮电极、皮层电极、深部电极等，其材质、形状、尺寸等因素会影响信号采集的质量和效果。[来源：GB 9706.226—2021，201.3.203，有修改]

- **脑电采集器 (EEG collector)**：用来测量脑电的生物电信号放大器。

- **共模抑制比 (Common - Mode Rejection Ratio, CMRR)**：衡量脑电信号采集设备对共模信号（如环境噪声）抑制能力的指标，CMRR 越高，说明设备对共模信号的抑制效果越好，采集到的脑电信号质量越高。差分放大器抑制共模电压的能力。[来源：YY/T 0903—2013，3.3 有修改]

- **输入阻抗 (input impedance)**：加载到放大器输入端的任意频率信号的电压与电流相量之比。[来源：YY/T 0903—2013，3.5，有修改]

- **噪声 (noise)**：出现在脑电信号上无用的任意频率信号。[来源：GB 9706.225—2021，201.3.214，有修改]

- **采样率 (Sampling Rate)**：在单位时间内对脑电信号进行采样的次数，通常以赫兹 (Hz) 为单位，较高的采样率能够更准确地捕捉脑电信号的细节变化。

- **带宽 (Bandwidth)**：脑电信号采集设备能够有效采集和处理的信号频率范围，不同的脑电活动频率分布在不同的频段，合适的带宽设置对于准确获取脑电信号至关重要。

- **共模抑制比 (Common - Mode Rejection Ratio, CMRR)**：衡量脑电信号采集设备对共模信号（如环境噪声）抑制能力的指标，CMRR 越高，说明设备对共模信号的抑制效果越好，采集到的脑电信号质量越高。

常用缩略语如下：

- EEG：脑电信号 (Electroencephalogram)
- BCI：脑机接口 (Brain - Computer Interface)
- SNR：信噪比 (Signal - to - Noise Ratio)
- ADC：模数转换器 (Analog - to - Digital Converter)
- DAC：数模转换器 (Digital - to - Analog Converter)
- EMG：肌电信号 (Electromyogram)
- EOG：眼电信号 (Electrooculogram)

三、规范性引用文件

在制定本标准的过程中，为确保其科学性、准确性与权威性，充分参考并引用了一系列国内外相关的现行有效标准。这些标准涵盖了基础的电气安全、电磁兼容、信号处理以及生物医学测量等多个领域，为本标准的制定提供了坚实的理论与实践依据。具体引用的标准如下：

- **GB/T 14710-2009 《医用电器环境要求及试验方法》**：该标准规定了医用电器设备在不同环境条件下的适应性要求以及相应的试验方法，确保脑电信号采集设备在各种复杂的使用环境中能够稳定、可靠地运行，保证其性能不受环境因素的显著影响。例如，在高温、高湿、振动等环境条件下，设备应能正常采集脑电信号，且信号质量符合相关要求。

- **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》**：作为医用电气设备安全的基础性标准，对脑电信号采集设备的电气安全性能提出了严格要求，包括防电击保护、机械安全、热安全等多个方面，旨在保障使用者和患者的人身安全。例如，设备应具备良好的绝缘性能，防止在使用过程中发生触电事故。

- **GB/T 19711-2005 《信息技术 安全技术 公钥基础设施 证书管理》**：在脑机接口系统中，涉及到数据的传输与存储，该标准为保障数据的安全性和完整性，提供了基于公钥基础设施的证书管理规范，确保信息在传输过程中不被窃取、篡改。

- **YY 0505-2012 《医用电气设备 第 1-2 部分：安全通用要求 并列标准：电磁兼容 要求和试验》**：针对医用电气设备的电磁兼容性，该标准明确了设备在正常工作时对周围电磁环境的抗干扰能力以及自身产生的电磁辐射对其他设备的影响限制，避免脑电信号采集设备受到外界电磁干扰而导致信号失真，同时防止其对其他医疗设备或电子设备造成不良影响。

- **IEC 60601-1-2:2014 《Medical electrical equipment - Part 1 - 2: General requirements for basic safety and essential performance - Collateral standard: Electromagnetic compatibility - Requirements and tests》**：这是国际电工委员会（IEC）发布的关于医用电气设备电磁兼容性的标准，与国内的 YY 0505-2012 标准相互呼应，从国际层面为脑电信号采集设备的电磁兼容性能提供了统一的规范和要求。

- **ISO 10993-1:2018 《Biological evaluation of medical devices - Part 1: Evaluation and testing within a risk - management process》**：在脑电信号采集过程中，若涉及与人体直接接触

的电极等部件，该国际标准对医疗器械与人体接触部分的生物安全性评价和测试方法进行了详细规定，确保设备不会对人体组织和生理功能产生不良影响，如过敏、炎症等。

- GB/T 16886 系列：医疗器械生物学评价标准。

四、基本要求

1. 安全要求

在脑电信号采集过程中，受试者的安全始终是首要考虑的因素。采集设备必须具备完善的电气安全防护设计，以防止在使用过程中发生电击、漏电等危险情况。设备的外壳应采用绝缘性能良好的材料制作，确保使用者不会因接触设备而受到电击伤害。所有的电气连接部位应进行严格的绝缘处理，避免出现漏电现象。同时，设备应配备过流保护、过压保护等电路保护装置，当电流或电压超过安全阈值时，能够迅速切断电源，保护设备和受试者的安全。

对于可能与人体直接接触的电极等部件，其生物安全性必须得到严格保障。这些部件应选用符合生物相容性标准的材料，确保在与人体接触过程中，不会引起过敏、炎症、组织损伤等不良反应。在使用前，电极等部件应进行严格的消毒处理，防止交叉感染的发生。例如，可采用高温高压消毒、化学消毒等方法，确保电极表面的微生物数量符合卫生标准。

在采集过程中，需对受试者的生理状态进行实时监测，一旦发现异常情况，如心率、血压等生理指标出现明显波动，或者受试者出现不适症状，应立即停止采集，并采取相应的急救措施。同时，实验操作人员应经过专业培训，熟悉急救知识和技能，能够在紧急情况下迅速做出正确的反应。

符合电气安全标准（GB 9706.1-2020），包括防触电、过流、过压保护。

所有与人体接触的组件应符合 ISO 10993 生物相容性要求，确保无毒性、无致敏性。

2. 可靠性要求

采集设备的可靠性是保证脑电信号质量的关键。设备应具备稳定的性能，能够在长时间连续工作的情况下，保持信号采集的准确性和一致性。为了实现这一目标，设备的硬件设计应采用高品质的电子元器件，这些元器件应具有良好的稳定性和可靠性，能够在各种环境条件下正常工作。对元器件进行严格的筛选和测试，确保其性能符合要求。

设备的采样率应满足脑电信号采集的需求，能够准确捕捉到脑电信号的细微变化。根据脑电信号的频率特性，一般要求采样率不低于信号最高频率的 2 倍，以避免出现混叠现象。较高的采样率能够更精确地还原脑电信号的波形，为后续的信号分析提供更准确的数据基础。同时，设备的分辨率也应足够高，能够分辨出脑电信号的微弱变化，一般要求分辨率达到 16 位以上。

采集系统的抗干扰能力也是可靠性的重要体现。脑电信号非常微弱，容易受到外界电磁干扰、环境噪声等因素的影响。因此，设备应采取有效的抗干扰措施，如采用屏蔽技术减少外界电磁场的干扰，通过滤波技术去除信号中的噪声成分。在设备的外壳设计上，应采用电磁屏蔽材料，有效阻挡外界电磁信号的侵入。在信号传输线路上，应采用屏蔽线，并确保屏蔽层良好接地，减少信号传输过程中的干扰。同时，通过设计合理的滤波器，能够有效去除 50Hz 或 60Hz 的工频干扰以及其他高频噪声，提高脑电信号的信噪比。

信号采集准确率 $\geq 98\%$ 。

设备工作环境： $0^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $\leq 85\%$ 。

3. 兼容性要求

随着脑机接口技术的不断发展，脑电信号采集设备需要与越来越多的其他系统和软件进行集成和交互。因此，设备应具备良好的兼容性，能够与不同类型的电极、放大器、数据采集卡、计算机系统以及数据分析软件等进行无缝对接。

在电极兼容性方面，设备应支持多种类型的电极，包括常见的银 - 氯化银电极、干电极、湿电极等，以满足不同应用场景和用户的需求。不同类型的电极具有各自的特点和适用范围，例如银 - 氯化

银电极具有较低的噪声水平和较好的导电性，适合高精度的脑电信号采集；干电极使用方便，无需涂抹导电膏，适合于一些对便捷性要求较高的场景。设备应能够适应这些不同类型电极的电气特性，确保信号采集的质量不受影响。

对于放大器和数据采集卡，设备应具备良好的接口兼容性，能够与市场上主流的产品进行连接和通信。这包括物理接口的兼容性，如 USB 接口、串口、网口等，以及通信协议的兼容性。设备应支持通用的通信协议，如 SPI、I2C、TCP/IP 等，以便能够与不同厂家生产的放大器和数据采集卡进行稳定的数据传输。

在软件兼容性方面，采集设备应能够与常见的操作系统，如 Windows、Linux、Mac OS 等兼容，确保在不同的计算机平台上都能够正常运行。设备应提供与常用数据分析软件的接口，如 MATLAB、Python 等，方便用户对采集到的脑电信号进行后续的处理和分析。通过提供相应的软件开发工具包（SDK）或应用程序接口（API），用户可以方便地将采集设备集成到自己的研究或应用系统中，实现更灵活的功能扩展。数据文件格式应符合国际标准（如 EDF、CSV、TXT）。

五、脑电信号采集技术规范

1. 电极类型与选择

在脑电信号采集中，电极类型多样，各有特点与适用场景。应符合 ISO10993 标准的生物相容性要求，湿电极阻抗 $<5k\Omega$ ，干电极信号稳定性优于 95%。银/氯化银电极凭借出色的导电性与稳定性，能有效降低接触电阻，减少信号干扰，是当前最常用的电极类型，尤其适用于对信号质量要求极高的临床诊断与科研实验场景。比如在癫痫病灶的精准定位诊断中，银 / 氯化银电极能提供清晰、稳定的脑电信号，为医生的诊断提供有力依据。电极材质应选用具有良好导电性、生物相容性和化学稳定性的材料。推荐使用银/氯化银（Ag/AgCl）材质电极，其在脑电信号采集领域具有广泛应用和成熟的性能表现，能有效减少信号失真和极化现象。也有厂家使用特定的纳米涂层增加导电性能。

干电极的突出优势在于使用便捷，无需涂抹导电膏，大大缩短了准备时间，且不会给受试者带来因导电膏引起的不适，非常适合在对便捷性和舒适性要求较高的可穿戴设备、日常监测场景中应用。例如，在消费者日常使用的脑电监测头环中，干电极能让用户轻松实现随时随地的脑电信号监测。

而针状电极，由于其能够直接插入头皮，更接近大脑皮层，能够获取更为清晰和准确的脑电信号，常用于需要高分辨率脑电信号的特定研究，如对大脑深部神经活动的研究。不过，其有创的特性决定了它只能在特定的医疗或科研条件下，由专业人员谨慎操作使用。

在实际选择电极时，需综合考虑多种因素。采集目的是首要考虑因素，若是用于临床诊断，必须保证信号的高精度和稳定性，银 / 氯化银电极通常是首选；若是为了日常健康监测，干电极的便捷性则更为重要。受试者的舒适度也不容忽视，长时间的监测中，干电极能显著提升受试者的接受度。使用场景方面，可穿戴设备需小巧轻便、易于佩戴的电极，而实验室环境则可根据研究需求灵活选择。成本因素同样关键，大规模的研究或应用中，成本较低的电极可能更具优势。同时，还需考虑电极与采集设备的兼容性，确保两者能够协同工作，实现最佳的信号采集效果。

- **湿电极（匹配导电膏使用）**：适用于对信号质量要求较高的科研、临床诊断等场景。应具备良好的导电性和低噪声特性，电极与皮肤接触需使用导电膏辅助，以降低接触电阻。

- **湿电极（匹配氯化钠溶液使用）**：适用于科研、临床诊断等场景。应具备良好的导电性和低噪声特性，电极与皮肤接触需使用氯化钠溶液浸泡过的克林棉电极，以降低接触电阻。

- **干电极（被动）**：常用于可穿戴式脑机接口设备和科研、临床诊断等场景，方便用户日常使用。要求电极材料具有良好的生物相容性和一定的柔韧性，能在不使用导电膏的情况下直接与头皮保持稳定接触并获取信号。

- **干电极（主动）**：常用于可穿戴式脑机接口设备和科研、临床诊断等场景，方便用户日常使用。要求电极材料具有良好的生物相容性和一定的柔韧性，电极和 SoC 电路组成一级放大单元，通过指示灯显示接触电阻的优劣，能在不使用导电膏的情况下直接与头皮保持稳定接触并获取信号。

2. 电极放置位置与方法

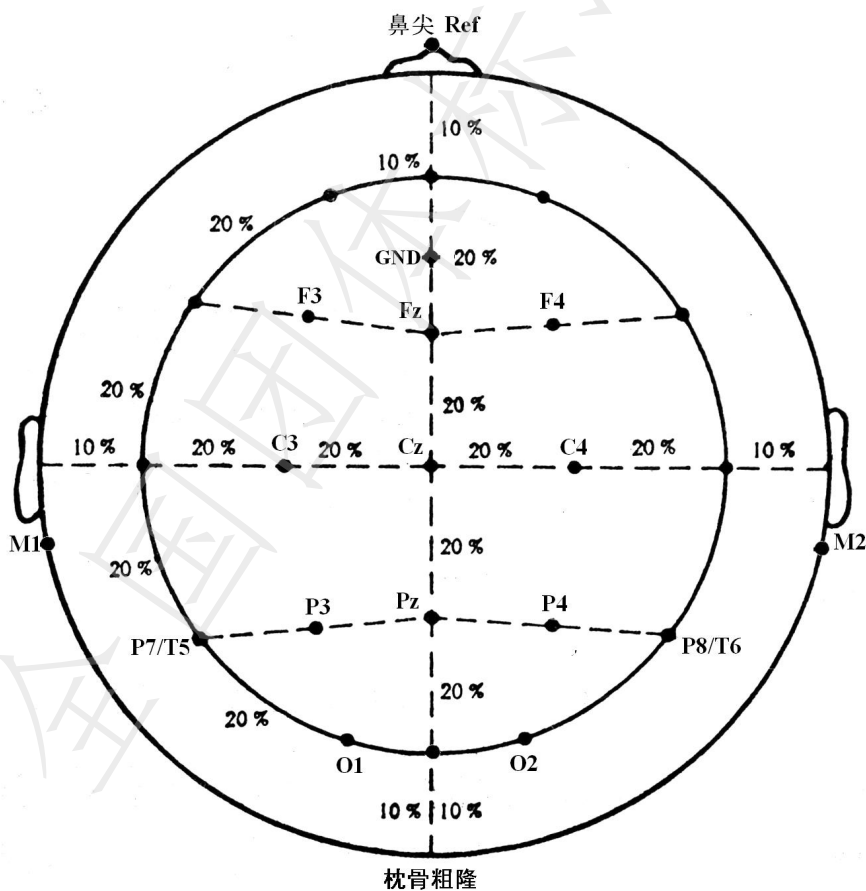
电极放置位置遵循国际 10 - 20 标准系统，这一系统以颅骨标志点为基准，通过精确测量确定电极位置。具体而言，从前额的鼻根到枕部的枕外粗隆作前后连线，从左耳前点（耳屏前颧弓根凹陷处）

经头顶到右耳前点作左右连线，将这两条连线的长度分别等分为若干段，依据 10% 和 20% 的比例关系确定各个电极的位置。例如，在前后连线上，额极中点 (Fpz) 位于距鼻根 10% 处，之后每隔 20% 依次设置额中点 (Fz)、中央点 (Cz)、顶点 (Pz)、枕点 (Oz) 等电极。在左右连线上，从左耳前点开始，10% 处为左颞中 (T3) 电极位置，随后每 20% 设置一个电极，如左中央 (C3)、中央点 (Cz)、右中央 (C4)、右颞中 (T4) 等。

在实际操作中，准备工作至关重要。首先要对受试者的头皮进行清洁，去除油脂、污垢和皮屑等杂质，以降低头皮电阻，提高电极与头皮之间的导电性。可使用酒精棉球轻轻擦拭头皮，待酒精完全挥发后再进行下一步操作。接着，准确标记颅骨标志点，这需要操作人员具备扎实的解剖学知识和丰富的经验。使用软尺或专用的测量工具，按照 10 - 20 标准系统的要求，精确测量各电极位置，并使用不易褪色的记号笔进行标记。

• 定位系统

采用国际 10 - 20 系统作为电极安置的标准定位方法。通过测量鼻根、枕外隆凸、双耳前点等头颅特定解剖标志，精确划分头皮区域，确定电极位置。



• 电极数量与位置

按照国际 10 - 20 系统，使用专用的测量工具（如软尺、量角器等）准确测量头颅的解剖标志，根据被试的头围尺寸，选择对应的脑电帽型号，确定电极的安置位置。根据不同应用目的和研究需求，确定电极数量与具体位置。

例如：

- 简单运动想象类脑机接口应用，可采用 32 导电极系统，重点分布于感觉运动皮层区域，如 C3、C4、Cz 等位置。
- 复杂认知功能研究或临床多导联脑电监测，建议使用 64 导或 128 导电极系统，更全面覆盖大脑皮层区域，包括额叶、颞叶、顶叶、枕叶等相关脑区对应位置。

在安置湿电极时，需先清洁头皮，涂抹适量的导电膏，确保电极与头皮紧密接触，接触电阻小于规定值（如 $5k\Omega$ ）；安置干电极时，需保证电极与头皮贴合良好，无松动。

安装电极时，对于需要使用导电膏的电极，如银 / 氯化银电极，应在电极与头皮接触部位均匀涂抹适量导电膏，确保电极与头皮充分接触，形成良好的导电通路。轻轻按压电极，使其稳固地贴合在头皮上，避免出现松动或移位。对于干电极，要确保其与头皮紧密接触，可通过调整电极的固定装置或佩戴方式来实现。安装完成后，需再次检查电极位置是否准确，有无松动、短路等异常情况，确保整个电极系统处于良好的工作状态。

3. 信号放大与调理

脑电信号极其微弱，其幅值通常在微伏（ μV ）级别，极易受到各种噪声和干扰的影响。因此，对采集到的脑电信号进行放大和调理是至关重要的环节，这能够有效提高信号质量，为后续的分析 and 处理提供可靠的数据基础。

信号放大倍数需根据实际需求和信号特点进行精确调整。一般来说，脑电信号的幅值范围在 $5 - 200 \mu V$ 之间，为了将其放大到适合后续处理的电平范围，通常需要将信号放大数千倍甚至数万倍。例如，在临床诊断中，为了清晰地观察脑电信号的细微变化，可能需要将信号放大 $10000 - 50000$ 倍。在调

整放大倍数时，要充分考虑信号的动态范围，避免出现信号饱和或失真的情况。若放大倍数过大，可能导致强信号部分超出采集设备的量程，从而产生削波失真；若放大倍数过小，则无法有效提升信号的幅值，难以满足后续处理的需求。

滤波技术是去除噪声和干扰的关键手段。常见的滤波方式包括低通滤波、高通滤波和带通滤波等。低通滤波用于去除高频噪声，如电气设备产生的高频干扰信号，其截止频率通常设置在 30 - 100Hz 之间，具体数值根据实际情况确定。高通滤波则用于去除低频漂移和噪声，如受试者身体运动产生的低频干扰，截止频率一般设置在 0.1 - 1Hz 左右。带通滤波结合了低通和高通滤波的特点，能够保留特定频率范围内的信号，如在研究脑电信号的 α 波（8 - 13Hz）、 β 波（13 - 30Hz）等特定频段时，可设置相应的带通滤波器，只允许这些频段的信号通过。此外，50Hz 或 60Hz 的工频干扰是脑电信号采集中常见的噪声源，可采用陷波滤波器进行针对性的去除。陷波滤波器的中心频率设置在 50Hz 或 60Hz，带宽通常设置在 1 - 3Hz 左右，以有效抑制工频干扰，同时尽量减少对其他频率成分的影响。

除了放大和滤波，还可采取其他信号调理措施来进一步提高信号质量。例如，通过调节放大器的输入阻抗，使其与电极的输出阻抗相匹配，以减少信号传输过程中的损耗和失真。可采用屏蔽技术，对采集设备和传输线路进行屏蔽，防止外界电磁场的干扰。在采集设备的外壳设计上，采用金属屏蔽材料，能够有效阻挡外界电磁信号的侵入。在信号传输线路上，使用屏蔽双绞线，并确保屏蔽层良好接地，减少信号传输过程中的电磁干扰。同时，合理的接地设计也至关重要，能够有效降低接地电阻，减少地电位差引起的干扰。

采样频率： $\geq 256\text{Hz}$ ，支持高采样模式（ $\geq 1000\text{Hz}$ ）。

信号带宽：0.1Hz~100Hz，支持更高频段扩展。

4. 采样与数字化

采样频率的选择对于准确捕捉脑电信号的特征至关重要。根据奈奎斯特采样定理，为了避免信号混叠，采样频率应至少为信号最高频率的 2 倍。脑电信号的频率范围较宽，一般认为其最高频率可达 100Hz 甚至更高。因此，在实际应用中，为了确保能够完整地采集到脑电信号的所有信息，采样频率通常设置在 200Hz 以上。在一些对信号精度要求较高的研究中，如对脑电信号的高频成分进行分析时，

采样频率可能会设置在 1000Hz 甚至更高。较高的采样频率能够更精确地还原脑电信号的波形，为后续的信号分析提供更丰富的数据细节。

建议 $\geq 200\text{Hz}$ ，可根据研究需求扩展至 2000Hz。

分辨率是衡量数字化信号精度的重要指标，它决定了能够分辨的最小信号变化。在脑电信号采集中，常用的分辨率为 16 位或 24 位。16 位分辨率意味着能够将信号幅值范围划分为 $2^{16} = 65536$ 个等级，而 24 位分辨率则能将其划分为 $2^{24} = 16777216$ 个等级。显然，更高的分辨率能够更精确地表示脑电信号的幅值变化，对于检测微弱的脑电信号变化具有重要意义。在临床诊断中，高分辨率的脑电信号采集能够帮助医生更准确地发现脑部的异常电活动，提高诊断的准确性。

模数转换器 (ADC)是实现信号数字化的关键设备，其性能直接影响数字化信号的质量。在选择 ADC 时，除了考虑分辨率和采样频率外，还需关注其转换精度、线性度、噪声水平等参数。转换精度高的 ADC 能够更准确地将模拟信号转换为数字信号，减少量化误差。线性度良好的 ADC 能够保证在整个输入信号范围内，输出的数字信号与输入的模拟信号之间保持良好的线性关系，避免信号失真。低噪声水平的 ADC 能够减少自身产生的噪声对信号的影响，提高信号的信噪比。同时，还需考虑 ADC 与采集设备其他部件的兼容性和协同工作能力，确保整个采集系统的稳定运行。

放大器性能：放大器应具备高输入阻抗、低噪声、高共模抑制比 (CMRR) 等特性。高输入阻抗能够减少信号在传输过程中的衰减，确保电极采集到的微弱脑电信号能够有效地传输到放大器进行放大处理。低噪声的放大器可以避免自身产生的噪声混入脑电信号中，提高信号的纯净度。高共模抑制比则能有效抑制共模干扰，即同时出现在信号输入端和参考端的干扰信号，使放大器能够更准确地放大差分信号，提高信号的质量和可靠性。例如，在医院的脑电监测环境中，周围存在各种电气设备产生的电磁干扰，高共模抑制比的放大器能够显著提高脑电信号的采集质量，减少干扰对诊断结果的影响。共模抑制比 (CMRR) $\geq 100\text{dB}$ ，输入阻抗 $\geq 10\text{M}\Omega$ 。

数据传输稳定性：采集设备与上位机之间的数据传输应具备高稳定性和低延迟。推荐采用有线传输方式，如 USB 接口，以确保数据传输的可靠性和稳定性。在一些特殊场景下，如被试需要进行较大范围活动时，可采用无线传输技术，但需保证无线传输的带宽足够，能够满足实时、高速的数据传输需求，并且具备良好的抗干扰能力，以防止信号丢失或数据错误。例如，在户外进行脑机接口控制无人机的实验中，无线传输设备需在复杂的电磁环境下稳定传输脑电数据，确保无人机能够准确响应被试的大脑指令。

设备校准功能：采集设备应具备定期校准的功能，以保证采集数据的准确性和一致性。校准过程应包括电极阻抗检测、信号增益校准、零点校准等。电极阻抗检测用于确保电极与头皮之间的接触良好，阻抗过高可能导致信号衰减或丢失，需及时调整电极位置或更换电极。信号增益校准可保证放大器对信号的放大倍数准确无误，使采集到的信号幅度能够真实反映大脑的电活动强度。零点校准则用于消除系统的直流偏移，确保采集到的信号以零电位为基准，提高信号的准确性。校准过程应严格按照设备制造商提供的操作手册进行，并做好校准记录，以便追溯和查询。

六、脑电信号预处理技术规范

1. 去噪处理

在脑电信号采集中，噪声干扰严重影响信号质量与后续分析。常见噪声包括工频、肌电、环境及电极接触噪声等。针对不同噪声，有多种去噪方法。

小波变换去噪利用小波函数对信号进行多尺度分解，将信号分解为不同频率子带。脑电信号主要集中在低频段，噪声多分布于高频段。通过设置合适阈值对高频子带系数进行处理，去除噪声成分，再经逆变换重构纯净脑电信号。如在分析 α 波（8 - 13Hz）时，利用小波变换可有效去除高频噪声，突出 α 波信号特征。

独立成分分析（ICA）将脑电信号视为多个独立源信号的线性组合，通过算法分离出相互独立的成分。ICA 能有效分离出脑电信号中的肌电、眼电等伪影成分。在研究大脑认知活动时，ICA 可去除由受试者肌肉紧张产生的肌电干扰，获取更纯净的脑电信号。

自适应滤波去噪通过不断调整滤波器参数，使滤波器输出与期望信号尽可能接近。该方法能实时跟踪信号变化，有效去除噪声。在采集过程中，若环境噪声发生变化，自适应滤波器可自动调整参数，持续降低噪声影响。

2. 伪影去除

脑电信号中常存在多种伪影，严重干扰信号分析。眼电伪影由眼球运动和眨眼产生，在脑电信号中表现为高频、大幅度波动。可通过设置阈值，检测信号中超过阈值的波动部分，判断为眼电伪影并去除。如在对注意力相关脑电信号研究中，去除眼电伪影可避免其对注意力相关脑电特征的干扰。

肌电伪影源于肌肉活动，频率较高、幅度较大。可采用带通滤波，去除脑电信号中肌电信号所在的高频频段，如设置高通滤波器截止频率为 30Hz，低通滤波器截止频率为 100Hz，去除 30 - 100Hz 频段的肌电伪影。

运动伪影由受试者身体运动导致电极与头皮相对位移产生，表现为信号基线漂移、幅度变化不规则。可通过重新调整电极位置、固定电极，减少运动伪影。在长期监测中，使用更稳固的电极固定装置，降低运动伪影产生概率。

为评估伪影去除效果，可对比去除前后信号的信噪比、功率谱密度等指标。信噪比提高、功率谱中伪影相关频率成分减弱，表明去除效果良好。同时，可通过人工观察信号波形，判断伪影是否已被有效去除。

3. 基线校正

使用均值法或中值法，校正信号基线漂移。

基线校正用于消除信号中的直流漂移，使信号基线稳定在零电位附近。常见方法有均值法，计算脑电信号在一段时间内的均值，将该均值作为基线值，从原始信号中减去，实现基线校正。在分析事件相关电位（ERP）时，对刺激前一段时间的脑电信号求均值，以此均值校正 ERP 信号基线。

中值法选取脑电信号中的中值作为基线值，减去该中值完成校正。对于存在个别异常值的脑电信号，中值法能避免异常值对基线的影响，比均值法更稳健。

校正效果评估可通过观察信号波形，看基线是否平稳，是否仍存在明显漂移。计算信号的标准差，标准差越小，表明信号稳定性越好，基线校正效果更佳。

在脑电信号采集前后，需进行基线校正操作。选择一段稳定的、无任务诱发的脑电信号作为基线，通常时长为 1 - 5 秒。将采集的全部脑电信号减去该基线信号，以消除因电极漂移、受试者生理状态缓慢变化等因素导致的基线波动，使信号更准确反映大脑活动状态。

七、数据存储与传输规范

1. 数据存储格式

脑电信号数据存储应采用标准化格式，以确保数据的通用性和可交换性。推荐使用欧洲数据格式（EDF, European Data Format）或其扩展格式 EDF+。EDF 格式由文件头信息和数据存储区域两部分组成。文件头信息包含采集时间、患者信息、导联参数等关键信息，数据存储区域则以采集持续时间为单位，按导联顺序存储脑电信号的数字化数值。EDF + 在 EDF 基础上，增加了对中断录制、注释、刺激和事件等信息的存储支持，能够更全面地记录脑电信号采集过程中的各种情况。

对于一些特定的应用场景或研究需求，也可采用其他被广泛认可的格式，如美国国家标准与技术研究院（NIST）开发的 SEEG 格式等，但需在数据存储时明确标注所使用的格式，以及相关格式的技术说明文档，以便后续的数据读取和分析。文件格式：支持 EDF、CSV 等标准格式。

2. 数据传输协议

为保证数据传输的安全与高效，推荐采用基于 TCP/IP 协议栈的传输方式。TCP（传输控制协议）能够提供可靠的、面向连接的数据传输服务，确保脑电信号数据在传输过程中不丢失、不损坏，且能够按顺序准确到达接收端。在实际应用中，可结合 SSL/TLS（安全套接层 / 传输层安全）协议对数据进行加密传输，防止数据在传输过程中被窃取或篡改。例如，在医疗场景中，患者的脑电信号数据属于敏感信息，通过 SSL/TLS 加密传输，能够有效保护患者的隐私和数据安全。

对于一些对实时性要求极高的脑机接口应用，如实时控制假肢运动等，可采用 UDP（用户数据报协议）进行数据传输。UDP 具有传输速度快、延迟低的特点，虽然不保证数据的可靠性，但在特定的应用场景下，通过合理的设计和优化，如增加数据校验和重传机制等，可以满足实时性的需求。同时，在无线传输环境中，可选用蓝牙、Wi-Fi 等无线通信技术。蓝牙技术适用于短距离、低功耗的数据传输，如

可穿戴式脑电信号采集设备与移动终端之间的连接；Wi-Fi 技术则适用于中距离、高速率的数据传输，如在实验室环境中，脑电信号采集设备与计算机之间的数据传输。

3. 数据存储与备份要求

数据存储设备应具备高可靠性和稳定性，以确保脑电信号数据的长期安全保存。推荐使用企业级的硬盘阵列（RAID）、固态硬盘（SSD）等存储设备。RAID 技术通过将多个硬盘组合成一个逻辑单元，提供数据冗余和容错能力，即使部分硬盘出现故障，也能保证数据的完整性和可用性。例如，RAID 5 通过分布式奇偶校验的方式，在多个硬盘上存储数据和校验信息，当其中一个硬盘发生故障时，可通过其他硬盘上的校验信息恢复出故障硬盘上的数据。SSD 则具有读写速度快、抗震性强等优点，能够提高数据的存储和读取效率。

为防止数据丢失，必须建立定期的数据备份机制。备份频率应根据数据的重要性和更新频率来确定，一般建议每天进行一次全量备份，每周进行一次异地备份。异地备份可以将数据存储在不同地理位置的存储设备上，以防止因自然灾害、火灾等不可抗力因素导致本地数据丢失。备份的数据应存储在与原始数据存储设备不同的介质上，如将原始数据存储于硬盘阵列中，备份数据可存储于磁带库或云端存储服务中。同时，要定期对备份数据进行完整性和可用性检查，确保在需要时能够成功恢复数据。

八、设备性能与质量要求

1. 设备硬件性能指标

采集设备的硬件性能直接关系到脑电信号的采集质量，因此需对关键性能指标进行严格规定。采样率应具备高度灵活性，能够在 200Hz 至 10000Hz 的宽广范围内进行自由调节。在进行常规的脑电信号分析时，200Hz 的采样率足以满足需求；而当需要对脑电信号的高频成分进行精细研究，如癫痫发作时

的高频棘波检测，较高的采样率如 10000Hz 能够更精准地捕捉信号细节，为后续的分析提供更丰富的数据支持。

分辨率需达到 16 位及以上，这能够确保对脑电信号幅值的精确测量。16 位分辨率意味着能够将信号幅值范围划分为 $2^{16} = 65536$ 个等级，从而能够分辨出极其微弱的信号变化。对于脑电信号中一些微小的电位波动，高分辨率的采集设备能够准确地进行量化和记录，提高信号的准确性和可靠性。

输入阻抗应不低于 $10M\Omega$ ，较高的输入阻抗能够有效减少信号在传输过程中的衰减和失真。当输入阻抗与电极的输出阻抗相匹配时，能够实现信号的高效传输，保证采集到的脑电信号能够真实地反映大脑的电活动情况。

共模抑制比 (CMRR) 需大于 100dB，这是衡量采集设备对共模信号（如环境噪声）抑制能力的重要指标。CMRR 越高，说明设备对共模信号的抑制效果越好，采集到的脑电信号受环境噪声的干扰越小。在实际的采集环境中，存在着各种电磁干扰，如工频干扰、电子设备的辐射干扰等，高 CMRR 的采集设备能够有效抑制这些干扰，提高脑电信号的信噪比。工作时长：支持长时间连续采集。

2. 设备软件功能要求

设备软件应具备强大的实时数据显示功能，能够以直观、清晰的方式将采集到的脑电信号实时展示在用户界面上。信号波形应能够以不同的颜色、线条粗细等方式进行区分，方便用户同时观察多个导联的信号变化。软件应提供灵活的缩放、平移等操作功能，使用户能够根据需要对信号波形进行局部放大或整体浏览，以便更细致地观察信号特征。例如，在研究特定的脑电事件相关电位时，用户可以通过缩放功能精确测量电位变化的幅值和潜伏期。

数据存储功能应支持多种格式，如前文所述的 EDF、EDF+ 等标准格式，同时也应具备良好的兼容性，能够与常见的数据分析软件进行无缝对接。存储的数据应包含完整的采集信息，如采集时间、采样率、电极位置等，以便后续的数据分析和处理。软件应具备高效的数据存储机制，能够快速、稳定地将大量的脑电信号数据存储到本地硬盘或其他存储设备中，避免数据丢失或存储中断的情况发生。

信号处理功能应涵盖多种常见的算法，如滤波、去噪、伪影去除等。滤波器应具备多种类型，如低通滤波器、高通滤波器、带通滤波器和陷波滤波器等，用户可以根据实际需求灵活设置滤波器的参数，以去除不同频率范围的噪声和干扰。去噪算法应能够有效地去除脑电信号中的各种噪声成分，如工频噪

声、肌电噪声、环境噪声等，提高信号的纯净度。伪影去除功能应能够准确识别并去除眼电伪影、肌电伪影、运动伪影等常见的伪影，确保采集到的脑电信号能够真实地反映大脑的活动情况。同时，软件应具备良好的用户交互界面，用户可以通过简单的操作步骤完成各种信号处理任务，无需具备复杂的编程知识。实时信号显示：支持波形、频谱、地形图多种可视化。算法灵活性：用户可自定义滤波器和分析流程。

3. 设备可靠性与稳定性测试

为确保设备在实际使用中的可靠性和稳定性，需进行一系列严格的测试。长时间连续运行测试是必不可少的环节，设备应能够在连续工作 48 小时以上的情况下，保持信号采集的准确性和稳定性。在测试过程中，实时监测设备的各项性能指标，如采样率的稳定性、信号幅值的准确性、噪声水平的变化等。每隔一定时间对采集到的脑电信号进行分析，检查信号是否存在失真、漂移等异常情况。若发现设备在运行过程中出现性能下降或故障，及时记录并分析原因，采取相应的改进措施。

温度适应性测试也是重要的测试内容之一。设备应在不同的温度环境下进行测试，包括高温环境（如 40℃）和低温环境（如 -10℃）。在高温环境下，检查设备是否会因过热而导致性能下降，如元器件的老化加速、信号噪声增加等；在低温环境下，测试设备是否能够正常启动和运行，信号采集是否稳定。通过模拟不同的温度环境，评估设备在各种实际使用场景中的温度适应性，确保设备在不同的气候条件下都能可靠地工作。

湿度适应性：相对湿度 $\leq 90\%$ ，无冷凝。

湿度适应性测试同样不容忽视。将设备放置在不同湿度环境中，如高湿度环境（如 80% RH），测试设备是否会因湿度影响而出现短路、腐蚀等问题。在高湿度环境下，水分可能会侵入设备内部，导致电子元器件的性能下降甚至损坏。通过湿度适应性测试，检查设备的防潮性能，确保设备在潮湿的环境中能够正常运行。

震动测试用于评估设备在运输或使用过程中受到震动时的性能稳定性。将设备放置在震动台上，模拟不同的震动条件，如不同的震动频率和振幅。在震动过程中，观察设备的信号采集是否受到影响，是否出现信号中断、失真等情况。通过震动测试，确保设备在受到一定程度的震动时，仍能保持良好的性能，保证脑电信号的采集质量。

通过上一系列严格的测试，能够全面评估设备的可靠性和稳定性，确保设备在各种复杂的实际使用环境中都能稳定、可靠地运行，为脑电信号的采集提供坚实的保障。

九、人员资质与操作规范

1. 操作人员资质要求

操作脑电信号采集设备的人员需具备扎实的专业知识与丰富的实践经验。应拥有生物医学工程、神经科学、电子信息工程等相关专业的本科及以上学历，系统学习过生理学、神经生物学、信号处理、电子电路等专业课程，对大脑的生理结构和功能、脑电信号的产生机制和特性有深入理解。

操作人员需经过专业的脑电信号采集技术培训，熟练掌握各类脑电信号采集设备的操作方法、参数设置、故障排除等技能。培训内容应涵盖理论知识讲解、实际操作演示、模拟实验练习以及案例分析等环节，培训时间不少于 [X] 小时。培训结束后，需通过严格的考核评估，包括理论考试和实际操作考核，成绩合格后方可获得操作资质证书。

此外，操作人员应具备良好的沟通能力和责任心，能够与受试者进行有效的沟通，了解其身体状况和心理状态，确保采集过程的顺利进行。在采集过程中，能够密切关注受试者的反应，及时发现并处理异常情况，保障受试者的安全和权益。

2. 操作流程规范

操作前，需进行全面且细致的准备工作。仔细检查采集设备的各个部件，包括电极、放大器、数据采集卡、传输线路等，确保其完好无损且连接正常。对设备进行通电测试，检查设备是否能够正常启动，各项功能是否正常运行。

根据采集目的和受试者的具体情况，选择合适的电极类型和型号，并按照规定的方法进行电极的安装和固定。安装前，务必对受试者的头皮进行清洁处理，使用酒精棉球或专用的头皮清洁剂擦拭头皮，去除油脂、污垢和皮屑，以降低头皮电阻，提高电极与头皮之间的导电性。安装过程中，要严格按照国

际 10 - 20 标准系统确定电极位置，并使用导电膏或其他导电介质确保电极与头皮充分接触，电极安装完成后，需检查电极的阻抗，确保其在规定的范围内。

合理设置采集设备的各项参数，如采样率、分辨率、放大倍数、滤波参数等。参数设置应根据采集目的、信号特点以及后续的分析需求进行调整，确保采集到的脑电信号具有较高的质量和准确性。在设置参数时，需参考设备的使用说明书和相关的技术标准，同时结合实际经验进行优化。

采集过程中，要求受试者保持安静、放松的状态，避免身体运动、情绪波动等因素对脑电信号的干扰。可通过与受试者进行沟通，指导其采取舒适的体位，并在采集过程中保持安静不动。为受试者创造一个安静、舒适的环境，减少外界噪声和干扰。

操作人员应密切关注采集设备的运行状态和信号质量，实时观察信号波形，检查是否存在噪声干扰、信号失真等异常情况。一旦发现异常，应及时采取相应的措施进行处理，如调整电极位置、检查设备连接、重新设置参数等。在采集过程中，需按照规定的时间间隔对信号进行记录和存储，确保数据的完整性和连续性。

采集结束后，首先要关闭采集设备的电源，按照正确的顺序拆卸电极和其他设备部件，并对设备进行清洁和保养。对电极进行清洗和消毒处理，以备下次使用。将采集到的数据进行整理和备份，按照规定的格式和存储要求将数据存储到指定的存储设备中。同时，对数据进行初步的检查和初步的分析，确保数据的质量和完整性。在整个操作过程中，操作人员应严格遵守相关的安全规定和操作规程，确保自身和受试者的安全。

十、测试与验证

1. 测试方法与指标

对脑电信号采集系统的测试涵盖多个关键方面，以全面评估其性能。在信号质量测试中，通过模拟大脑产生的标准脑电信号，输入至采集系统。该标准信号包含不同频率、幅值的成分，如 α 波（8 - 13Hz）、 β 波（13 - 30Hz）、 θ 波（4 - 7Hz）、 δ 波（0.5 - 3Hz）等典型频段，且幅值在脑电信号正常范围（5 - 200 μ V）内。采集系统对这些信号进行采集后，对比采集到的信号与原始标准信号，计算幅值误差和频率误差。幅值误差应控制在极小范围内，例如不超过 $\pm 5\%$ ，以确保采集系统对信号

幅值的准确测量；频率误差同样需严格限制，一般要求不超过 $\pm 0.5\text{Hz}$ ，保证对信号频率成分的精确捕捉。

噪声水平测试在特定的屏蔽环境中进行，以排除外界电磁干扰。测量采集系统在无输入信号时的输出噪声，通常用均方根（RMS）值表示。理想情况下，噪声水平应极低，一般要求不超过 $1\ \mu\text{V RMS}$ ，以保证采集到的脑电信号不会被过多噪声淹没，从而提高信号的清晰度和可靠性。

抗干扰能力测试模拟多种常见的干扰源，如工频干扰（ 50Hz 或 60Hz ）、高频电子设备干扰（如手机信号频段 $800 - 2500\text{MHz}$ ）、低频环境噪声（如 $10 - 100\text{Hz}$ 的机械振动噪声）等。在这些干扰源存在的情况下，采集系统对标准脑电信号进行采集，然后分析采集到的信号，计算信噪比（SNR）。较高的信噪比表明采集系统在复杂电磁环境下能够有效抑制干扰，保证脑电信号的质量。一般要求在强干扰环境下，信噪比仍能保持在 10dB 以上。

2. 验证流程与标准

验证采集技术是否符合标准，需遵循严谨的流程。在设备选型阶段，需详细评估设备的技术参数，确保其满足本标准中对采样率、分辨率、输入阻抗、共模抑制比等关键性能指标的要求。如选择的采集设备采样率应能在 200Hz 至 10000Hz 范围内灵活调节，分辨率不低于 16 位，输入阻抗不低于 $10\text{M}\ \Omega$ ，共模抑制比大于 100dB 等。

电极安装与信号采集过程严格按照本标准规定的操作流程进行。在电极安装时，依据国际 $10 - 20$ 标准系统准确确定电极位置，确保电极与头皮接触良好，阻抗在合适范围内。信号采集过程中，保持环境稳定，避免外界干扰。对采集到的数据进行初步分析，检查是否存在明显的噪声、伪影等异常情况。

数据分析与结果验证阶段，采用专业的数据分析软件对采集到的脑电信号进行处理和分析。通过计算信号的功率谱密度、频率成分、幅值分布等参数，与已知的正常脑电信号特征进行对比。若信号的各项参数在正常范围内，且无明显的异常波动或干扰成分，则可初步判定采集技术符合标准。同时，邀请专业的神经科学专家对采集到的脑电信号进行人工评估，结合临床经验和专业知识，判断信号是否真实反映大脑的电活动情况。只有在经过严格的设备选型、规范的电极安装与信号采集、深入的数据分析与结果验证等一系列流程后，且各项指标均符合本标准规定的要求，才能最终确认采集技术符合标准。

十一、附录

1. 术语解释附录

- **脑机接口 (Brain - Computer Interface, BCI)**：在大脑与外部设备之间构建的直接信息交互与控制通道，通过检测和解读大脑产生的电生理信号，实现大脑对外部设备的精准控制，或者外部设备向大脑反馈信息，从而拓展人类与外界的交互方式。

- **脑电信号 (Electroencephalogram, EEG)**：大脑神经元活动时产生的微弱生物电信号，这些信号通过头皮或颅内电极被采集，其包含了大脑在不同状态下的丰富信息，如清醒、睡眠、思考、情绪变化等，是脑机接口系统中最常用的信号源之一。

- **电极 (Electrode)**：用于采集脑电信号的物理装置，其材质、形状、尺寸和接触方式等都会显著影响信号采集的质量和效果。常见的电极类型有银 - 氯化银电极、干电极、针状电极等，每种电极都有其独特的优缺点和适用场景。

- **采样率 (Sampling Rate)**：单位时间内对脑电信号进行采样的次数，单位为赫兹 (Hz)。采样率的高低直接决定了采集到的信号对原始脑电信号细节的还原程度，较高的采样率能够捕捉到更细微的信号变化，但同时也会产生更大的数据量。

- **带宽 (Bandwidth)**：脑电信号采集设备能够有效采集和处理的信号频率范围。不同频段的脑电信号对应着不同的大脑活动，例如 δ 波 (0.5 - 3Hz) 与深度睡眠相关， α 波 (8 - 13Hz) 常出现在放松且清醒的状态，合理设置带宽对于准确获取感兴趣的脑电信号至关重要。

- **共模抑制比 (Common - Mode Rejection Ratio, CMRR)**：衡量脑电信号采集设备抑制共模信号（如环境噪声、电源干扰等在所有输入通道上同时出现的信号）能力的关键指标。CMRR 越高，表明设备对共模信号的抑制效果越好，采集到的脑电信号受外界干扰的影响就越小，信号质量也就越高。

- **信噪比 (Signal - to - Noise Ratio, SNR)**：信号功率与噪声功率的比值，用于量化脑电信号中有用信号与噪声的相对强度。较高的信噪比意味着信号清晰，更容易被准确分析和解读，是评估脑电信号质量的重要参数之一。

- **小波变换 (Wavelet Transform)**：一种时频分析方法，它将信号分解成不同频率和时间尺度的小波系数，能够有效地提取信号的时频特征，在脑电信号的去噪、特征提取等方面具有广泛应用。通过

小波变换，可以将脑电信号中的噪声和有用信号在不同的时频尺度上进行分离，从而实现对噪声的去除和对信号特征的增强。

- **独立成分分析 (Independent Component Analysis, ICA)**：一种盲源分离技术，它假设脑电信号是由多个相互独立的源信号线性混合而成，通过算法将这些独立成分分离出来，从而去除脑电信号中的各种伪影和干扰成分，如肌电信号、眼电信号等，提高脑电信号的纯度。

- **事件相关电位 (Event - Related Potentials, ERP)**：当大脑对特定的外部刺激或事件做出反应时，在头皮上记录到的与该事件相关的电位变化。ERP 包含了丰富的认知和神经信息，常用于研究大脑的认知加工过程、心理活动以及神经系统疾病的诊断等领域，其波形中的各个成分（如 P300、N400 等）与不同的认知功能密切相关。

2. 操作指南示例附录

- **准备阶段：**

- 仔细检查采集设备的各个部件，包括电极、电极帽、放大器、数据采集卡、传输线缆等，确保设备无损坏、连接正常。对电极进行清洁和消毒处理，保证其性能良好。

- 根据受试者的头部尺寸，选择合适的电极帽，并准备好导电膏（若使用湿电极）。

- 向受试者详细解释采集过程和注意事项，消除其紧张情绪，确保受试者在采集过程中能够积极配合。要求受试者在采集前保持安静、避免剧烈运动、不饮用含有咖啡因或酒精的饮料等，以减少对脑电信号的干扰。

- **电极安装阶段：**

- 帮助受试者调整至舒适的坐姿或躺姿，使其能够在采集过程中保持放松和安静。

- 使用酒精棉球或专用的头皮清洁剂仔细擦拭受试者的头皮，特别是电极放置的位置，去除油脂、污垢和皮屑，以降低头皮电阻，提高电极与头皮之间的导电性。擦拭后，等待头皮自然干燥。

- 根据国际 10 - 20 标准系统，使用软尺或专用的测量工具准确测量并标记出各个电极的位置。在标记过程中，要确保位置的准确性，可参考颅骨的解剖标志点，如鼻根、枕外粗隆、耳前点等。

- 将电极依次安装到电极帽的对应位置上。对于湿电极，在电极与头皮接触的部位均匀涂抹适量的导电膏，确保电极与头皮充分接触，形成良好的导电通路。涂抹导电膏时，要注意避免导电膏过多导

致电极之间短路。对于干电极，要确保其与头皮紧密贴合，可通过调整电极的固定装置或佩戴方式来实现。安装完成后，轻轻按压电极，检查其是否牢固，有无松动或移位的情况。

- 连接电极与放大器，确保连接可靠。检查整个电极系统的阻抗，一般要求电极阻抗在一定范围内（如小于 $5k\Omega$ ），若阻抗过高，需重新检查电极与头皮的接触情况，必要时重新涂抹导电膏或调整电极位置。

- **设备设置阶段：**

- 打开采集设备的电源，启动相关的采集软件。在软件界面中，设置采集参数，包括采样率、分辨率、放大倍数、滤波参数等。根据采集目的和后续分析需求，合理设置这些参数。例如，若主要关注脑电信号的低频成分，可适当降低采样率；若需要检测微弱的脑电信号变化，则应提高分辨率和放大倍数。滤波参数的设置要根据常见的噪声频率范围和感兴趣的脑电信号频段进行调整，如设置 50Hz 的陷波滤波器去除工频干扰，设置合适的带通滤波器提取特定频段的脑电信号。

- 进行设备的校准和测试，确保设备能够正常采集信号。可以通过输入一个已知的标准信号，检查采集设备的输出是否准确，以验证设备的性能是否符合要求。

- **信号采集阶段：**

- 让受试者保持安静、放松的状态，避免身体运动、眨眼、吞咽等动作，同时避免外界的强光、强声等干扰。可在采集环境中播放一些舒缓的音乐或营造安静的氛围，帮助受试者放松。

- 在采集软件中点击开始采集按钮，开始记录脑电信号。操作人员要密切关注采集软件的界面，实时观察脑电信号的波形，检查是否存在噪声干扰、信号失真等异常情况。若发现异常，应及时暂停采集，检查设备连接、电极位置、参数设置等，排除故障后重新开始采集。

- 根据采集需求，确定采集的时间长度。在采集过程中，要确保数据的连续性和完整性，避免数据丢失或中断。

- **采集结束阶段：**

- 采集完成后，在采集软件中点击停止采集按钮，保存采集到的数据。按照规定的数据存储格式和命名规则，将数据保存到指定的存储设备中，并做好数据的备份工作，以防数据丢失。

- 小心地拆卸电极帽和电极，对电极进行清洗和消毒处理，以备下次使用。关闭采集设备的电源，整理好设备和相关配件。

- 对采集到的数据进行初步的检查和初步分析，查看信号的质量、是否存在明显的伪影等。可通过绘制信号的时域波形、频域谱图等方式进行初步分析，若发现数据存在问题，可考虑重新进行采集。