

ICS 35 240 80

I6550

T/GXDSL

团体标准

T/GXDSL 008—2025

脑机接口数据采集与存储规范

Specifications for Brain - Computer Interface Data Acquisition and Storage

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、范围 1

二、规范性引用文件 2

三、术语和定义 2

 1. 脑机接口 Brain-Computer Interface (BCI) 2

 2. 数据采集 Data Acquisition 3

 3. 数据存储 Data Storage 3

 4. 脑电信号 Electroencephalogram (EEG) 3

 5. 采样频率 Sampling Frequency 4

 6. 数据格式 Data Format 4

 7. 数据完整性 Data Integrity 4

 8. 数据保密性 Data Confidentiality 4

四、数据采集规范 5

 1. 采集设备要求 5

 2. 采集环境要求 7

 3. 数据采集流程 8

 (1) 被试筛选 8

 (2) 设备安装与校准 9

 (3) 采集过程中的操作步骤 10

 (4) 采集结束 11

五、数据存储规范 12

 1. 存储格式 12

 2. 存储介质 13

 (1) 硬盘存储 13

 (2) 云端存储 13

 (3) 存储介质的安全性和可靠性要求 14

 3. 数据存储架构 15

 (1) 分层存储架构 15

 (2) 数据组织方式 16

 (3) 索引与目录结构 16

 4. 数据备份与恢复 17

 (1) 备份策略 17

 (2) 数据恢复流程和要求 18

六、数据的安全与隐私保护 19

 1. 数据加密 20

 2. 访问控制 21

 3. 隐私保护措施 22

七、数据管理与维护 23

 1. 数据目录管理 23

 2. 数据更新与维护 25

 (1) 数据更新条件 25

 (2) 数据更新流程 25

 (3) 数据定期维护要求 26

 3. 数据生命周期管理 27

八、标准的实施与监督 28

 1. 实施建议 28

 2. 监督机制 29

 (1) 监督主体 30

 (2) 监督方式 30

 (3) 监督频率 31

九、附录 31

 附录 A: 脑机接口数据采集设备清单示例 31

 附录 B: 数据存储介质性能对比表 33

 附录 C: 数据加密算法示例代码 (Python) 35

 附录 D: 数据目录结构示意图 36

 附录 E: 数据更新申请表模板 37

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，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。

脑机接口数据采集与存储规范

脑机接口技术作为连接大脑与外部设备的核心桥梁，正推动医疗、教育、工业、娱乐等领域的变革。然而，脑机接口技术的广泛应用面临着数据采集和存储标准化不足的问题。本规范的制定旨在明确脑机接口数据采集和存储的统一要求，解决数据质量参差不齐、存储技术缺乏一致性问题，为脑机接口技术的规范化发展提供有力支持。

一、范围

本规范适用于脑机接口领域的数据采集与存储，包括：

数据类型：脑电信号、神经影像数据、事件标记、被试信息等。

采集设备：湿电极、干电极、半干式电极及其相关数据采集系统。

存储方式：本地存储、云存储及分布式存储架构。

适用场景：医疗康复、科学研究、教育应用及人机交互系统。

不同的研究机构和企业在进行数据采集时，往往采用各自独立的方法和标准，导致采集到的数据在格式、质量、采样频率等方面存在巨大差异，数据之间缺乏兼容性和互操作性，难以进行有效的整合与分析。这种数据的碎片化状态，使得大规模的跨机构研究合作困难重重，限制了科研成果的快速产出与广泛应用。

数据存储方面，由于缺乏统一的规范和标准，存储方式和技术五花八门。一些低质量的存储方案不仅无法保证数据的长期完整性和安全性，还可能在数据的存储、读取和传输过程中出现数据丢失、损坏或泄露等严重问题，给用户的隐私和权益带来极大的威胁。

国家相关规定对于脑机接口技术的规范发展起着至关重要的指导作用。在数据采集环节，严格遵循国家关于人体受试者保护的法规，确保在采集脑机接口数据时，充分尊重受试者的知情权、隐私权和自主决定权，保障其合法权益不受侵害。同时，符合数据安全相关法律要求，从源头上确保数据的安全性

和可靠性。在数据存储方面，依据国家对于信息存储安全的标准，采用先进的技术手段和管理措施，防止数据被非法获取、篡改或滥用，维护数据的保密性、完整性和可用性。

本标准的制定正是基于这样的背景，旨在为脑机接口数据的采集与存储提供一套全面、系统、科学且符合国家相关规定的规范。通过明确数据采集的方法、流程、设备要求以及存储的格式、介质、安全防护等关键要素，统一行业内的数据管理标准，有效解决当前存在的问题，推动脑机接口技术朝着更加规范、健康、可持续发展的方向发展。这不仅有助于提高脑机接口数据的质量和可用性，降低数据管理成本，促进科研成果的高效转化与应用，还将进一步增强我国在脑机接口技术领域的国际竞争力，为全球脑机接口产业的发展贡献中国智慧和方案。

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/T 22239-2019 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求

GB/T 35273-2020 信息安全技术 个人信息安全规范

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

三、术语和定义

1. 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起的一种实时通讯与控制系统，实现大脑与外部设备的直接交互。该技术通过信号采集设备从大脑皮质采集脑电信号，经过放大、滤波、转化等处理过程，转化为计算机可识别的信号，再经预处理、特征提取和模式识别等步骤，最终转化为控制外部设备的指令。例如，瘫痪患者可通过脑机接口，将大脑意图转化为指令，控制机械手臂完成抓握动作。

2. 数据采集 Data Acquisition

从传感器和其它待测设备等模拟和数字被测单元中自动采集非电量或者电量信号，并将其传输到上位机进行分析和处理的过程。在脑机接口领域，数据采集主要针对大脑产生的各类电信号、生理信号等。如利用电极帽采集大脑头皮表面的脑电信号，通过功能磁共振成像（fMRI）设备获取大脑的血氧水平依赖信号（BOLD），这些信号反映了大脑的活动状态和功能信息。

3. 数据存储 Data Storage

将采集到的数据以某种格式记录在计算机内部或外部存储介质上的过程。存储的数据应能在需要时进行访问、检索和使用，以满足后续分析、研究和应用的需求。在脑机接口数据存储中，会涉及到多种存储介质和方式，如硬盘、固态硬盘、云存储等。例如，研究机构将大量的脑电数据存储在本地的数据中心硬盘阵列中，以便随时调用分析。

4. 脑电信号 Electroencephalogram (EEG)

大脑神经元活动时产生的生物电信号，通过在头皮表面放置电极可采集到这种微弱的电信号。EEG信号包含了丰富的大脑活动信息，如不同频率的脑电波（ δ 波、 θ 波、 α 波、 β 波、 γ 波）与人体的不同状态（睡眠、清醒、专注等）密切相关，常用于脑机接口系统中对用户意图的识别和分析。

5. 采样频率 Sampling Frequency

在数据采集过程中，每秒对信号进行采样的次数，单位为赫兹（Hz）。较高的采样频率能够更精确地捕捉信号的变化细节，但同时也会产生更大的数据量。例如，对于脑电信号采集，常见的采样频率为 500Hz、1000Hz 等，这意味着每秒分别对脑电信号进行 500 次和 1000 次的采样。

6. 数据格式 Data Format

数据在存储和传输过程中所采用的特定编码和组织形式。不同类型的数据可能有不同的格式，如脑电数据常见的格式有 EDF（European Data Format）、BDF（BioSemi Data Format）等，这些格式规定了数据的存储结构、数据类型、通道信息等内容，确保数据的正确存储和读取。

7. 数据完整性 Data Integrity

数据在采集、存储、传输和处理过程中保持准确、一致和不被未经授权修改的特性。对于脑机接口数据，完整性至关重要，因为任何数据的丢失、损坏或篡改都可能导致对大脑活动的错误解读，影响后续的研究和应用。例如，在数据存储过程中采用冗余存储、校验码等技术来保证数据的完整性。

8. 数据保密性 Data Confidentiality

确保数据仅被授权的个人或实体访问，防止数据泄露给未授权的第三方。脑机接口数据涉及个人隐私信息，如大脑活动模式可能反映出个人的思维、情绪等敏感信息，因此需要采取严格的保密措施，如加密存储、访问控制等，以保护数据的保密性。

四、数据采集规范

1. 采集设备要求

- (1) **电极类型：**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%。根据不同的应用场景和采集需求，可选用湿电极、干电极或半干式电极。湿电极通常采用银/氯化银（Ag-AgCl）材质，具有阻抗低、信号质量高、信噪比高和信号稳定可靠的特点，适用于对信号精度要求较高的科研、临床诊断等场景，如癫痫病灶定位的脑电监测。使用湿电极时，需在电极与头皮间涂抹液态或糊状的导电介质（如导电膏或导电液），以降低电极与头皮之间的阻抗。干电极由惰性导电材料组成，无需涂抹导电膏，具有佩戴方便、舒适性较高的优势，适合用于日常监测、可穿戴设备等对便捷性要求较高的场景，如消费者级别的脑电监测头环。但干电极的电极阻抗相对较高，信号稳定性可能稍逊一筹。半干式电极结合了湿电极和干电极的部分优点，其性能和适用场景介于两者之间。
- (2) **信号采样率：**采样率应根据所采集信号的频率特性来确定。对于脑电信号，常见的采样频率为 500Hz–2000Hz。较高的采样频率能够更精确地捕捉信号的快速变化细节，对于研究大脑的瞬态活动（如事件相关电位）至关重要。例如，在研究视觉刺激引发的脑电响应时，较高的采样率可以准确记录到极短时间内脑电信号的变化。但过高的采样率会产生大量的数据，增加数据存储和处理的负担。因此，在实际应用中，需综合考虑研究目的、信号特点以及设备性能等因素，合理选择采样率。建议 $\geq 500\text{Hz}$ ，可根据研究需求扩展至 2000Hz。
- (3) **分辨率：**分辨率决定了采集设备能够分辨的信号最小变化幅度。一般要求脑电信号采集设备的分辨率达到微伏（ μV ）级别，常见的分辨率为 16 位或 24 位。更高的分辨率可以更精确地测量微弱的脑电信号，减少量化误差，提高信号的质量和准确性。在对大脑深部电信号进行采集时，由于信号

强度较弱，高分辨率的采集设备能够更好地捕捉到这些细微信号，为深入研究大脑功能提供更可靠的数据支持。

- (4) **通道数：**通道数的选择取决于对大脑活动监测范围的需求。对于全面监测大脑各区域的活动，通常需要使用 64 通道、128 通道甚至更高通道数的采集设备，如在全脑癫痫监测、认知神经科学研究等领域。多通道采集可以获取更丰富的大脑空间信息，有助于分析大脑不同区域之间的功能连接和协同活动。而对于一些特定脑区或功能的研究，如仅关注运动皮层的活动，可使用较少通道数的设备，如 8 通道、16 通道等，以降低成本和数据处理复杂度。
- (5) **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 $\geq 10\text{M}\Omega$ 。
- (6) **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。
- (7) **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。

2. 采集环境要求

- (1) **温度**：采集环境的温度应保持在人体感觉舒适的范围内，一般建议为 20℃–25℃。温度过高可能导致被试出汗，使电极与头皮之间的接触阻抗发生变化，影响信号质量，同时被试也会感到不适，可能影响其注意力和配合度。例如，在炎热的夏季，如果实验环境没有空调制冷，被试可能会因出汗而导致脑电信号出现波动和噪声。温度过低则可能使被试身体紧张，同样会对大脑的电活动产生影响，干扰采集数据的准确性。在寒冷的冬天，若实验室内温度过低，被试可能会不自觉地颤抖，这种身体活动会产生肌电信号，混入脑电信号中，影响数据的分析。
- (2) **湿度**：相对湿度应控制在 40%–60%。湿度过高可能导致电子设备受潮，影响其性能和稳定性，甚至损坏设备。同时，高湿度环境下被试也容易感到闷热，影响其舒适度和实验状态。在潮湿的南方地区，如果实验环境没有有效的除湿措施，设备可能会因受潮而出现故障，影响实验的正常进行。湿度过低则可能产生静电，对脑电信号产生干扰，并且使被试的皮肤和头发变得干燥，增加电极与头皮之间的接触难度。在干燥的北方冬季，若不注意增加环境湿度，静电可能会频繁产生，干扰脑电信号的采集。
- (3) **电磁干扰**：采集环境应尽量避免强电磁干扰源，如大型电机、变压器、无线通信基站等。强电磁干扰可能会耦合到脑电信号中，产生噪声，严重影响信号的质量和准确性。例如，在靠近变电站的房间内进行脑电采集实验，变电站产生的强大电磁场可能会使采集到的脑电信号充满噪声，无法用于后续的分析。为减少电磁干扰，可采取以下措施：一是选择远离电磁干扰源的场所进行数据采集；二是对采集环境进行电磁屏蔽，如使用电磁屏蔽室，其墙壁采用能够有效屏蔽电磁辐射的特殊材料构建，可极大程度地阻挡外界电磁场的侵入。同时，对实验设备本身采取电磁屏蔽措施，比如使用带有屏蔽外壳的脑电采集仪器，将连接线采用屏蔽线，并且确保屏蔽层良好接地，防止外界电磁信号耦合到脑电信号传输线路中。满足 GB/T17626.2-2018 的电磁兼容要求。
- (4) **声学噪声**：环境噪声应控制在较低水平，一般不超过 40dB(A)。过于嘈杂的环境声音可能会使被试产生紧张情绪，进而影响脑电信号。例如，在施工场地附近进行脑电采集实验，施工产生的高强度噪声会使被试难以集中注意力，导致大脑电活动发生变化，影响采集数据的真实性。为降低声学噪声，可选择安静的环境，如专门的实验室或隔音室进行数据采集。如有条件，可以对实验房间进行

声学隔音处理，安装隔音材料，如吸音板等，降低外界声音传入室内的强度。同时，在实验过程中，应尽量减少不必要的人员走动和交谈，保持环境的安静。

- (5) **光照条件：**适宜的光照条件有助于被试保持良好的状态，从而提高采集数据的质量。光照强度控制在 300-500 勒克斯为宜，避免过强或过暗的光线。过强的光线可能会刺激被试的眼睛，使其产生不适感，影响大脑的电活动。过暗的光线则可能使被试感到压抑，同样对脑电信号产生影响。光照颜色建议采用 4000K-5000K 的自然白色或暖白色光，营造舒适氛围，减少干扰。避免蓝、冷白色光的过度兴奋影响或黄、暖黄色光的困倦影响。光照稳定性也很重要，应选用稳定照明设备，定期维护，避免闪烁或颜色变化。同时注意遮光，避免外界自然光线干扰，例如使用窗帘遮挡阳光直射。
- (6) **空间布局：**采集环境的空间布局应合理，确保被试在采集过程中能够保持舒适、放松的姿势，且不会受到周围物体的干扰。实验设备应摆放整齐，便于操作和维护。被试周围应留出足够的空间，避免人员频繁走动对其造成干扰。例如，在进行脑机接口控制轮椅的实验中，被试需要在一定的空间内自由活动，因此实验场地应足够宽敞，且周围没有障碍物，以保证被试能够安全、舒适地进行实验。同时，实验设备的摆放应考虑到被试的视线和操作便利性，避免被试因长时间保持不舒适的姿势而影响脑电信号的采集。

3. 数据采集流程

(1) 被试筛选

① **健康状况评估：**对被试进行全面的健康状况评估，包括但不限于神经系统疾病史、精神疾病史、药物使用情况等。有癫痫、脑肿瘤等神经系统疾病的被试可能会产生异常的脑电信号，影响数据的正常分析和研究结果的准确性。正在服用可能影响神经系统功能的药物（如抗抑郁药、抗癫痫药等）的被试，也需要谨慎考虑是否适合参与实验。例如，抗抑郁药物可能会改变大脑的神经递质水平，从而影响脑电信号的特征。通过详细的问诊和必要的医学检查（如神经系统体格检查、脑电图检查等），排除可能影响数据质量的被试。

② **年龄和性别**：根据研究目的和实验需求，确定合适的被试年龄范围和性别比例。不同年龄段的人群大脑发育程度和功能状态存在差异，可能会导致脑电信号的特征有所不同。例如，儿童的大脑处于发育阶段，其脑电信号的频率和波幅与成年人有明显区别。性别因素也可能对脑电信号产生一定影响，如在某些认知任务中，男性和女性的大脑激活模式可能存在差异。因此，在设计实验和筛选被试时，需充分考虑年龄和性别因素，确保被试群体具有代表性。

③ **视力和听力**：对于涉及视觉或听觉刺激的脑机接口实验，被试的视力和听力应符合要求。视力或听力障碍可能会影响被试对刺激的感知和反应，进而影响脑电信号的采集结果。例如，在基于视觉诱发电位的脑机接口实验中，视力不佳的被试可能无法清晰地看到视觉刺激，导致诱发电位信号减弱或无法检测到。通过视力检查（如视力表检查）和听力测试（如纯音听力测试），筛选出视力和听力正常或矫正后正常的被试。

④ **心理状态评估**：评估被试的心理状态，包括焦虑、抑郁、注意力等方面。心理状态不稳定的被试可能在实验过程中出现情绪波动，影响大脑的电活动，从而干扰数据的采集。例如，焦虑情绪可能导致大脑的交感神经系统兴奋，使脑电信号中的 β 波活动增加。可采用标准化的心理测评量表（如焦虑自评量表、抑郁自评量表等）对被试进行心理状态评估，选择心理状态稳定、能够配合实验的被试。

⑤ **签署知情同意书**：在被试参与实验前，向其详细介绍实验的目的、流程、可能的风险和受益等信息，确保被试充分理解并自愿参与实验。知情同意书应使用通俗易懂的语言撰写，避免使用专业术语。被试在阅读并理解知情同意书的内容后，需签署本人姓名和日期，表明其同意参与实验。这不仅是对被试权益的保护，也是科学研究的伦理要求。

(2) 设备安装与校准

校准电极阻抗、信号增益和零点偏移。

① **电极安装**：根据所选的电极类型，按照正确的方法进行安装。对于湿电极，首先需清洁被试的头皮，去除油脂、污垢和头皮屑等杂质，以降低电极与头皮之间的接触阻抗。通常使用医用酒精棉球轻

轻擦拭头皮相关部位。然后将适量的导电膏涂抹在电极上，并按照国际标准的 10-20 系统或其他预定的电极布局，将电极准确放置在头皮上的相应位置。在放置电极过程中，需确保电极与头皮紧密接触，避免出现气泡或松动。对于干电极，直接将其按照预定位置放置在头皮上，并通过适当的固定装置（如头带、帽子等）确保电极稳定。安装过程中，要注意避免电极之间相互短路，影响信号采集。例如，在安装 64 通道的湿电极帽时，需仔细检查每个电极的位置和接触情况，确保所有电极都能正常工作。

② **设备连接与调试：**将电极与放大器进行正确连接，确保连接牢固，无松动或接触不良现象。检查放大器与数据采集设备（如计算机）之间的连接，确保数据传输正常。开启放大器和数据采集设备，进行设备的初始化和参数设置。根据实验要求，设置合适的采样率、分辨率、滤波参数等。在设置参数后，进行设备的调试和校准，包括电极阻抗检测、信号增益校准、零点校准等。电极阻抗应在合适的范围内，一般要求湿电极的阻抗低于 $5k\Omega$ 。若阻抗过高，需重新调整电极位置或添加导电膏，以确保电极与头皮之间的良好接触。校准过程应严格按照设备制造商提供的操作手册进行，并做好记录，以保证设备的准确性和可靠性。例如，在使用某品牌的脑电采集设备时，按照设备说明书的步骤进行电极阻抗检测和校准，确保设备能够准确采集脑电信号。

(3) 采集过程中的操作步骤

① **被试准备：**让被试在舒适的位置上坐好或躺好，调整姿势，使其保持放松状态。在实验开始前，给予被试足够的时间适应环境，缓解紧张情绪。可以通过与被试进行简单的交流，介绍实验的大致流程和注意事项，让被试有心理准备。同时，提醒被试在实验过程中尽量保持安静，避免大幅度的身体动作和眨眼、咬牙等可能产生干扰信号的行为。例如，在进行基于运动想象的脑机接口实验前，告知被试在想象运动过程中要保持身体静止，集中注意力在想象的动作上。

② **刺激呈现（如有）：**如果实验涉及外部刺激（如视觉、听觉、触觉刺激等），需按照预定的实验范式准确呈现刺激。刺激的参数（如强度、频率、持续时间、间隔时间等）应根据实验目的和设计进行精确设置。例如，在基于视觉诱发电位的脑机接口实验中，通过计算机屏幕向被试呈现不同频率闪烁的视觉刺激，刺激的频率和持续时间等参数需严格按照实验方案进行设置。刺激呈现设备应确保正常工

作，避免出现故障或异常情况影响实验结果。在刺激呈现过程中，要密切观察被试的反应，确保被试能够正确感知和响应刺激。

③ **数据采集：**启动数据采集程序，开始记录被试的脑电信号。在采集过程中，实时监测数据的质量，观察信号的波形、幅度、噪声水平等指标。如果发现数据质量不佳，如出现明显的噪声干扰、信号丢失或异常波动等情况，应及时暂停采集，查找原因并进行相应处理。可能的原因包括电极松动、接触不良、外界干扰等。例如，若发现某个电极通道的信号出现大幅波动，可能是该电极松动，需重新固定电极后再次进行采集。确保采集到的数据完整、准确，满足后续分析的要求。

④ **数据标记：**在数据采集过程中，对重要的事件或被试的特定行为进行标记。例如，在进行运动想象实验时，当被试开始想象运动动作时，通过手动或自动的方式在数据中标记相应的时间点。这些标记将有助于后续对数据进行分析 and 处理，准确识别与特定事件或行为相关的脑电信号特征。数据标记应准确、清晰，便于后续的数据解读。可以采用不同的标记方式，如在数据文件中添加注释、设置特定的标记位等。

⑤ **采集过程中的沟通与观察：**在数据采集过程中，实验人员要与被试保持良好的沟通，及时了解被试的感受和状态。如果被试出现不适或疲劳等情况，应暂停采集，给予被试适当的休息时间。同时，密切观察被试的行为表现，如是否有异常的身体动作、表情变化等，这些信息可能有助于解释采集到的数据。例如，若发现被试在实验过程中频繁皱眉，可能表示其对实验任务存在困惑或压力，这可能会影响脑电信号的特征。通过及时的沟通和观察，确保被试能够顺利完成实验，提高数据的质量和可靠性。

(4) 采集结束

① **停止采集：**当完成预定的采集任务后，停止数据采集程序，确保所有数据都已完整保存到存储设备中。在停止采集前，再次检查数据的完整性和质量，避免因数据丢失或损坏而影响后续分析。

② **设备拆除：**小心拆除被试身上的电极和其他设备，注意避免对被试造成不适或伤害。对于湿电极，需使用适当的溶剂（如生理盐水）清洗被试头皮上残留的。

五、数据存储规范

1. 存储格式

- (1) **推荐格式:** EDF (European Data Format) 或 HDF5 格式, 确保数据的跨平台兼容性。脑机接口数据推荐采用 HDF5 (Hierarchical Data Format 5) 格式进行存储。HDF5 是一种灵活、高效的二进制数据格式, 专为存储和管理大规模科学数据而设计。其具有强大的分层数据组织能力, 能够以树形结构存储复杂的数据集合, 适用于脑机接口数据中多种类型数据 (如脑电信号、事件标记、被试信息等) 的整合存储。例如, 可以将不同实验条件下采集的脑电数据存储在不同的组 (group) 中, 每个组内再包含信号数据、采样率、通道信息等数据集 (dataset)。
- (2) **兼容性优势:** HDF5 格式具有广泛的兼容性, 几乎支持所有主流的操作系统和编程语言, 如 Python、MATLAB、C++ 等。在 Python 中, 有丰富的库 (如 h5py) 可以方便地对 HDF5 文件进行读写操作, 这使得研究人员能够轻松地在不同的研究环境和项目中使用和共享脑机接口数据。众多的数据分析和处理工具也对 HDF5 格式提供了良好的支持, 便于进行数据的后续处理和分析。
- (3) **数据压缩性:** HDF5 支持多种数据压缩算法, 如 gzip、szip 等。通过合理选择压缩算法, 可以在不损失数据精度的前提下, 显著减小数据的存储体积。对于大规模的脑机接口数据, 这不仅可以降低存储成本, 还能提高数据的传输速度和存储效率。例如, 对于长时间连续采集的脑电数据, 使用 gzip 压缩算法可能将数据文件大小减小数倍, 同时在读取数据时, 解压过程对计算资源的消耗也相对较小, 不会明显影响数据分析的效率。
- (4) **元数据存储能力:** HDF5 格式能够很好地存储元数据, 即关于数据的数据。在脑机接口数据中, 元数据包括实验设计信息 (如刺激类型、刺激频率等)、被试的生理和心理特征 (如年龄、性别、健康状况等)、采集设备的参数 (如电极位置、采样率、分辨率等)。这些元数据对于准确理解和分析脑机接口数据至关重要。HDF5 可以将元数据与实际数据存储在同一个文件中, 方便数据的管理和追溯。例如, 可以将被试的年龄、性别等信息以属性 (attribute) 的形式存储在包含该被试脑电数据的数据集上, 使得在查看数据时能够同时获取相关的元数据信息。

2. 存储介质

(1) 硬盘存储

① **内部硬盘**：对于数据量相对较小且对数据访问速度要求较高的场景，如小型科研实验室的日常数据处理，可优先考虑使用高性能的内部硬盘，如固态硬盘（SSD）。SSD 具有读写速度快、可靠性高的特点，能够快速存储和读取脑机接口数据，提高数据分析的效率。例如，在进行实时脑机接口数据分析时，使用 SSD 可以快速存储采集到的脑电数据，并迅速读取数据进行实时的信号处理和分析，及时反馈结果。内部硬盘的优点还包括数据传输稳定，不易受到外部环境干扰。然而，其存储容量相对有限，且一旦硬盘出现故障，可能导致数据丢失。因此，需要定期对内部硬盘上的数据进行备份。

② **外部硬盘阵列**：对于存储大量脑机接口数据的研究机构或企业，外部硬盘阵列是一种可靠的选择。硬盘阵列通常采用多个硬盘组成冗余阵列（如 RAID），通过数据冗余技术提高数据的可靠性和容错性。例如，RAID 5 阵列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，当其中一个硬盘出现故障时，仍能通过其他硬盘上的数据和校验信息恢复出丢失的数据。外部硬盘阵列的存储容量可以根据需求进行扩展，能够满足大规模数据存储的需求。但需要注意的是，硬盘阵列的性能和可靠性受到硬盘质量、阵列控制器性能等因素的影响，需要选择质量可靠的产品，并定期进行维护和检查。

(2) 云端存储

① **公有云存储**：公有云存储服务提供商（如阿里云、腾讯云、亚马逊云等）提供了便捷的存储解决方案。使用公有云存储，用户无需自行购买和维护硬件设备，只需通过网络将脑机接口数据上传到云端即可。公有云存储具有高度的可扩展性，用户可以根据实际数据存储需求灵活调整存储容量。同时，公有云提供商通常采用了多重数据备份和冗余技术，确保数据的安全性和可靠性。例如，数据可能会在多个不同的地理位置进行备份，以防止因自然灾害、设备故障等原因导致的数据丢失。公有云存储还提

供了丰富的功能，如数据加密、访问控制、数据生命周期管理等。数据加密可以确保数据在传输和存储过程中的保密性，访问控制可以限制只有授权用户能够访问数据，数据生命周期管理则可以根据用户设定的规则自动对数据进行归档、删除等操作。然而，使用公有云存储需要考虑网络带宽和数据传输成本的问题。如果数据量较大，上传和下载数据可能需要较长的时间，并且可能会产生较高的网络费用。此外，用户还需要关注数据的隐私和合规性问题，确保在使用公有云存储服务时符合相关法律法规的要求。符合 GB/T 22239-2019《网络安全等级保护基本要求》。

② **私有云存储**：对于对数据安全性和隐私性要求极高的场景，如涉及敏感医疗数据的脑机接口研究，私有云存储是更好的选择。私有云存储是企业或机构在自己的机房内搭建的云存储环境，由用户自行管理和维护。私有云存储可以提供与公有云类似的功能和性能，同时具有更高的安全性和可控性。用户可以根据自身的安全策略对私有云进行定制化配置，确保数据的保密性、完整性和可用性。例如，可以在私有云内部设置严格的访问控制策略，只有特定的人员或部门能够访问特定的数据。私有云存储还可以与企业或机构内部的其他信息系统进行集成，方便数据的共享和协同工作。但私有云存储的建设和维护成本较高，需要投入大量的资金用于硬件设备采购、软件授权、人员培训等方面。同时，私有云的可扩展性相对有限，需要在建设初期对存储需求进行较为准确的预估。

(3) 存储介质的安全性和可靠性要求

① **数据备份与恢复**：无论采用何种存储介质，都应建立完善的数据备份与恢复机制。定期对存储的脑机接口数据进行备份，备份频率可以根据数据的重要性和更新频率来确定，一般建议每周或每月进行一次全量备份，每天进行增量备份。备份的数据应存储在不同的物理位置，以防止因单一存储介质故障或自然灾害等原因导致数据丢失。例如，可以将备份数据存储在海外的存储设备或云端。同时，要定期进行数据恢复测试，确保在需要时能够成功恢复数据。

② **数据加密**：为了保护脑机接口数据的隐私和安全性，应对存储在存储介质上的数据进行加密。可以采用对称加密算法（如 AES）或非对称加密算法（如 RSA）对数据进行加密。在数据传输过程中，也应采用加密协议（如 SSL/TLS）确保数据的安全传输。加密密钥的管理至关重要，应采用安全的密钥管理系统，确保密钥的生成、存储、分发和使用过程的安全性。

③ **存储介质的维护与监控**：定期对存储介质进行维护和监控，确保其正常运行。对于硬盘存储，要定期检查硬盘的健康状态，及时更换出现故障或即将出现故障的硬盘。对于云端存储，要关注云服务提供商的服务状态和安全公告，及时了解可能影响数据存储的问题。同时，要对存储介质的性能进行监控，如存储容量、读写速度等，以便及时发现性能瓶颈并进行优化。

3. 数据存储架构

(1) 分层存储架构

采用分层存储架构可以提高脑机接口数据的存储和访问效率。一般可以将数据存储分为三个层次：高速缓存层、在线存储层和离线存储层。

① **高速缓存层**：高速缓存层通常采用内存或高速固态硬盘（SSD）作为存储介质。其主要作用是存储近期频繁访问的脑机接口数据，如正在进行分析的实验数据或实时采集的脑电信号。由于高速缓存层的存储介质具有极高的读写速度，可以快速响应用户对数据的访问请求，大大提高数据处理的效率。例如，在进行实时脑机接口信号处理时，将最新采集到的脑电数据存储于高速缓存层，信号处理算法可以快速从缓存中读取数据进行处理，减少数据读取的延迟。高速缓存层的存储容量相对较小，因此需要采用合理的缓存替换策略，如最近最少使用（LRU）算法，确保缓存中始终存储着最常用的数据。

② **在线存储层**：在线存储层是脑机接口数据的主要存储层，通常采用高性能的硬盘或硬盘阵列进行存储。这一层存储的数据是需要经常访问和处理的，如研究项目中的历史实验数据、经过初步处理的数据等。在线存储层需要具备较高的存储容量和读写性能，以满足日常的数据处理需求。例如，在进行长期的脑机接口研究项目时，将不同阶段采集到的大量脑电数据存储于在线存储层，研究人员可以随时从这一层读取数据进行分析和比较。为了提高在线存储层的性能和可靠性，可以采用冗余存储技术（如 RAID）、数据条带化技术等。

③ **离线存储层**：离线存储层用于存储不经常访问的历史数据或备份数据，如早期的实验数据、已经完成分析的项目数据等。这一层通常采用成本较低的存储介质，如磁带库、大容量硬盘等。离线存储层的主要特点是存储容量大、成本低，但读写速度相对较慢。例如，将过去几年积累的脑机接口实验数

据存储在离线存储层，当需要回顾这些数据时，可以通过一定的流程将数据从离线存储层恢复到在线存储层进行访问。离线存储层的数据可以定期进行归档和清理，以释放存储空间。

(2) 数据组织方式

① **基于实验项目的组织：**将脑机接口数据按照实验项目进行分组存储，每个实验项目作为一个独立的目录或数据集。在每个实验项目目录下，再按照数据类型（如脑电信号、行为数据、刺激参数等）、采集时间等进一步细分存储。例如，对于一个关于运动想象脑机接口的研究项目，可以在项目目录下创建“EEG_data”子目录用于存储脑电信号数据，“behavior_data”子目录用于存储被试的行为数据（如运动反应时间、运动轨迹等），“stimulus_parameters”子目录用于存储实验中的刺激参数（如刺激类型、刺激强度等）。每个子目录下的数据文件可以按照采集时间进行命名，以便于查找和管理。这种组织方式有利于对单个实验项目的数据进行集中管理和分析，方便研究人员快速定位和获取所需的数据。

② **基于被试的组织：**以被试为单位进行数据组织，将每个被试的所有相关数据存储在一个独立的文件夹或数据集内。在被试文件夹下，再按照实验次数、数据类型等进行细分。例如，对于每个参与脑机接口实验的被试，创建一个以被试 ID 命名的文件夹，在该文件夹内，根据不同的实验次数创建子文件夹（如“experiment_1”、“experiment_2”等），每个实验次数子文件夹下再分别存储该次实验中采集到的脑电信号、生理指标、行为数据等。这种组织方式便于对单个被试的数据进行纵向分析，研究被试个体在不同时间点或不同实验条件下的大脑活动变化。

(3) 索引与目录结构

① **建立数据索引：**为了提高数据的检索效率，需要为脑机接口数据建立索引。索引可以基于数据的关键属性，如实验项目名称、被试 ID、采集时间、数据类型等。例如，建立一个以被试 ID 为索引

关键字的数据库表，表中记录每个被试数据的存储路径、数据类型、数据大小等信息。当需要查找某个被试的数据时，通过查询该索引表，可以快速定位到数据的存储位置。索引可以采用数据库索引、文件系统索引或专门的索引工具来实现。

② **优化目录结构：**设计合理的目录结构对于数据的管理和访问也非常重要。目录结构应具有清晰的层次和逻辑关系，便于用户理解和操作。例如，可以采用根目录下包含实验项目目录，实验项目目录下包含被试目录，被试目录下再细分数据类型目录的结构。在命名目录和文件时，应遵循统一的命名规则，使用有意义的名称，避免使用模糊或随意的命名方式。同时，要注意目录和文件的命名长度不宜过长，以免在某些操作系统或文件系统中出现兼容性问题。

4. 数据备份与恢复

(1) 备份策略

① **备份频率：**

根据脑机接口数据的重要性和更新频率，制定合理的备份频率。对于实时采集的脑机接口数据，如临床监测数据或正在进行的关键实验数据，建议每天进行一次增量备份，每周进行一次全量备份。增量备份只备份自上次备份以来发生变化的数据，能够有效减少备份时间和存储空间。全量备份则是对所有数据进行完整的备份，用于在发生严重数据丢失或损坏时进行全面恢复。对于更新频率较低的历史数据或已经完成分析的数据，可以每月或每季度进行一次全量备份。

② **备份方式：**

- 1) **本地备份：**在本地存储设备上数据进行备份，如使用外部硬盘、网络附加存储（NAS）等。本地备份的优点是备份速度快，数据恢复方便，且不受网络状况的影响。例如，将脑机接口数据定期备份

到连接在实验室内部网络的 NAS 设备上，当需要恢复数据时，可以直接从 NAS 设备中快速读取备份数据。但本地备份存在一定的风险，如存储设备损坏、火灾、盗窃等可能导致备份数据丢失。因此，本地备份应与异地备份相结合。

- 2) **异地备份：**将数据备份到远程的存储设备或云端，以防止因本地灾难（如自然灾害、设备故障等）导致数据丢失。异地备份可以选择专业的云存储服务提供商或异地的数据中心。例如，将脑机接口数据备份到位于不同城市的云存储平台上，即使本地发生灾难，也可以通过网络从异地备份中恢复数据。异地备份需要考虑网络带宽和数据传输成本的问题，在选择备份方式时，应根据数据量和备份频率合理选择网络带宽，并与云服务提供商协商合适的价格方案。
- 3) **冗余存储备份：**采用冗余存储技术进行数据备份，如使用 RAID 阵列。RAID 阵列通过将数据分散存储在多个硬盘上，并采用冗余校验信息，当其中一个或多个硬盘出现故障时，仍能通过其他硬盘上的数据和校验信息恢复出丢失的数据。除了硬件层面的 RAID，还可以在软件层面采用分布式存储技术实现数据的冗余备份。例如，使用 Ceph 等分布式存储系统，将脑机接口数据以冗余的方式存储在多个存储节点上，提高数据的可靠性。

(2) 数据恢复流程和要求

①恢复流程

- 1) **评估数据丢失情况：**在需要恢复数据时，首先要对数据丢失的情况进行全面评估，确定丢失的数据范围、类型和可能的原因。例如，如果是由于硬盘故障导致数据丢失，需要确定故障硬盘所在的存储设备或阵列，以及受影响的数据文件。
- 2) **选择恢复源：**根据数据丢失情况和备份策略，选择合适的恢复源。如果是部分数据丢失且有近期的增量备份，可以优先从增量备份中恢复数据。如果是大量数据丢失或需要恢复到某个特定时间点的状态，则需要从全量备份中进行恢复。对于异地备份，要确保能够正常连接到异地存储设备或云服务，并获取备份数据。

- 3) **执行恢复操作：**根据选择的恢复源，执行相应的恢复操作。如果是从本地备份设备恢复数据，可以直接将备份数据复制到原存储位置或指定的恢复位置。如果是从异地备份恢复数据，需要通过网络下载备份数据，并按照原数据的存储结构进行恢复。在恢复过程中，要密切关注恢复进度和数据完整性，确保恢复的数据准确无误。
- 4) **验证恢复结果：**数据恢复完成后，要对恢复结果进行严格验证。可以通过对比恢复数据与原始数据的校验和（如 MD5、SHA - 1 等）、检查数据的完整性和一致性、对恢复的数据进行抽样分析等方式，确保恢复的数据与原始数据一致。如果发现恢复的数据存在问题，要及时排查原因并重新进行恢复操作。

②恢复要求

- 1) **数据完整性：**恢复的数据必须保证完整性，即恢复的数据应与原始数据完全一致，没有数据丢失、损坏或篡改。在恢复过程中，要采取措施确保数据在传输和存储过程中的完整性，如使用校验和验证数据的准确性，对恢复的数据进行多次校验等。
- 2) **恢复时间：**根据数据的重要性和应用场景，设定合理的恢复时间目标。对于实时性要求较高的脑机接口应用，如临床治疗中的脑机接口监测，数据恢复时间应尽可能短，以减少对患者治疗的影响。一般来说，对于关键数据的恢复，应在数小时内完成，对于非关键数据的恢复，可以在一天内完成。
- 3) **恢复操作的可重复性：**数据恢复操作应具有可重复性，即在相同的恢复条件下，能够多次执行恢复操作并得到相同的结果。这要求在恢复过程中，记录详细的恢复操作步骤和参数，以便在需要进行重现和验证。同时，恢复操作应经过充分的测试和验证，确保其稳定性和可靠性。

六、数据安全与隐私保护

1. 数据加密

- (1) **加密算法选择：**在脑机接口数据的存储和传输过程中，为确保数据的安全性，应选用先进且成熟的加密算法。推荐使用高级加密标准（AES）算法，该算法具有较高的安全性和效率，能够有效抵御各种常见的密码攻击手段。AES 算法支持 128 位、192 位和 256 位的密钥长度，根据脑机接口数据的敏感程度和安全需求，可合理选择密钥长度。对于涉及个人隐私和重要科研成果的关键数据，建议采用 256 位密钥长度的 AES 算法，以提供更高的加密强度。
- (2) **数据传输加密：**当脑机接口数据在不同设备之间传输（如从采集设备传输至上位机，或在网络中进行远程传输）时，必须采用加密传输协议。目前，广泛应用的 SSL/TLS（Secure Sockets Layer/Transport Layer Security）协议是保障数据传输安全的有效手段。SSL/TLS 协议通过在传输层对数据进行加密，确保数据在传输过程中不被窃取、篡改或监听。例如，在通过网络将脑机接口数据上传至云端存储时，使用 SSL/TLS 协议可以保证数据在互联网传输过程中的安全性。
- (3) **存储数据加密：**存储在各类存储介质（如硬盘、云端等）上的脑机接口数据也应进行加密处理。可在数据存储前，使用选定的加密算法对数据进行加密，然后将加密后的数据存储于存储介质中。这样，即使存储介质被非法获取，攻击者在没有解密密钥的情况下，也无法读取和理解数据内容。例如，在将脑电数据存储到本地硬盘时，先使用 AES 算法对数据进行加密，再将加密后的数据写入硬盘。同时，对于加密密钥的管理至关重要，应采用安全可靠的密钥管理系统，确保密钥的生成、存储、分发和使用过程的安全性。
- (4) **加密算法的更新与维护：**随着技术的不断发展和安全威胁的变化，加密算法的安全性也可能受到挑战。因此，应定期对使用的加密算法进行评估和更新，确保其能够持续有效地保护脑机接口数据的安全。关注加密算法领域的最新研究成果和安全漏洞信息，及时升级到更安全、更高效的加密算法版本。例如，当出现针对现有加密算法的新攻击方法时，及时研究并采用新的加密算法或加密策略，以保障数据的安全性。同时，对加密算法的更新过程应进行严格的测试和验证，确保不会对脑机接口数据的正常存储、传输和使用产生负面影响。

2. 访问控制

- (1) **用户角色划分：**为了实现对脑机接口数据的精细化管理和访问控制，需要对用户进行明确的角色划分。常见的用户角色包括数据采集人员、数据分析人员、研究负责人、系统管理员等。数据采集人员主要负责在实验或临床场景中进行脑机接口数据的采集工作，他们需要具备对采集设备的操作权限，以及对采集到的数据进行初步查看和整理的权限。数据分析人员则专注于对脑机接口数据进行深入的分析研究，他们需要有读取和处理数据的权限，但一般不具备修改原始数据的权限。研究负责人对整个研究项目的数据拥有全面的管理权限，包括查看、分析、共享数据等，同时还负责审批其他用户的权限申请。系统管理员负责管理数据存储系统和访问控制机制，他们拥有最高级别的系统管理权限，如配置用户权限、维护系统安全等。
- (2) **权限分配原则：**根据用户角色的不同职责和需求，遵循最小权限原则进行权限分配。最小权限原则是指每个用户仅被授予其完成工作任务所必需的最小权限集合，以最大限度地减少因权限滥用或权限泄露而导致的数据安全风险。例如，数据采集人员只需要具备对采集设备和采集数据的操作权限，而无需拥有对数据分析工具和其他敏感数据的访问权限。数据分析人员仅被赋予读取和分析数据的权限，不能随意修改原始数据，以确保数据的完整性和可靠性。研究负责人虽然拥有较广泛的权限，但也应受到一定的限制，如在共享数据时需要遵循严格的审批流程和数据安全规定。系统管理员的权限应严格控制在系统管理范围内，避免其对用户数据进行不必要的访问。
- (3) **访问控制机制实现：**可以采用多种技术手段来实现访问控制机制，如基于角色的访问控制（RBAC）模型、访问控制列表（ACL）等。基于角色的访问控制模型通过将用户分配到不同的角色，并为每个角色定义相应的权限集合，实现对用户访问权限的管理。例如，在一个脑机接口研究项目中，创建“数据采集员”“分析师”“项目负责人”等角色，并为每个角色分配相应的权限，如数据采集员可以访问采集设备和原始数据，但不能进行数据分析；分析师可以读取和分析数据，但不能修改原始数据；项目负责人可以对所有数据进行查看、分析和共享等操作。访问控制列表则是通过在系统中为每个资源（如数据文件、数据库表等）定义一个访问控制列表，列出允许访问该资源的用户或用户组及其相应的权限。例如，对于一个存储脑机接口数据的数据库表，可以设置访问控制列表，只允许特定的用户或用户组（如数据分析团队）具有读取和写入权限，其他用户则没有访问权

限。同时，结合身份认证技术（如用户名 / 密码、生物识别等），确保只有合法用户能够登录系统并获取相应的权限。

- (4) **权限审批与监控：**建立严格的权限审批流程，当用户需要申请特定的权限时，应向相关负责人提交详细的权限申请说明，包括申请权限的原因、所需权限的具体内容和使用期限等。相关负责人在收到申请后，应根据用户的角色、工作需求以及数据安全风险等因素进行综合评估，审批通过后方可为用户分配相应的权限。例如，一名新加入的数据分析人员需要访问特定的脑机接口数据集进行研究，他需要向研究负责人提交权限申请，说明研究目的和所需的数据范围。研究负责人在审核后，根据其研究需求和数据敏感性，决定是否授予相应的权限。此外，还应建立权限监控机制，实时监测用户的访问行为，及时发现异常的访问请求或权限滥用行为。可以通过日志记录、行为分析等技术手段，对用户的登录时间、访问的资源、操作类型等信息进行记录和分析。如果发现某个用户的访问行为与他所拥有的权限不匹配，或者出现频繁尝试访问未授权资源的情况，系统应及时发出警报，并采取相应的措施，如暂停该用户的访问权限、进行进一步的调查等。

3. 隐私保护措施

- (1) **数据匿名化处理：**删除或加密个人敏感信息，确保数据无法直接追溯到个体。在脑机接口数据的处理和使用过程中，为了保护被试的隐私，应对数据进行匿名化处理。数据匿名化是指通过对数据中能够识别被试身份的信息（如姓名、身份证号、出生日期、联系方式等）进行删除、替换或加密等操作，使数据无法直接关联到特定的个体。例如，在采集脑机接口数据时，将被试的姓名替换为唯一的匿名标识符（如随机生成的一串数字或字母组合），并将被试的其他个人身份信息从数据集中删除。同时，对可能间接识别被试身份的信息（如被试的特殊疾病特征、特定的行为习惯等）也应进行适当的处理，以降低数据被重新识别的风险。可以采用哈希函数对敏感信息进行加密处理，将其转换为不可逆的哈希值，确保即使数据被泄露，也无法通过哈希值还原出原始的个人身份信息。
- (2) **遵守相关隐私法规：**严格遵守国内外相关的隐私法规和伦理准则，是保障脑机接口数据隐私的重要基础。在我国，《中华人民共和国个人信息保护法》明确规定了个人信息的收集、存储、使用、加工、传输、提供、公开等各个环节的规范和要求，脑机接口数据的处理必须严格遵循该法律的规定。

例如，在收集被试的脑机接口数据前，必须向被试充分告知数据的收集目的、收集方式、使用范围、存储期限等信息，并获得被试的明确同意。在数据存储和使用过程中，要采取必要的安全措施，防止数据泄露、篡改或丢失。此外，国际上也有许多相关的隐私法规和准则，如欧盟的《通用数据保护条例》（GDPR）等。如果涉及跨国的数据合作或研究，还需要同时遵守相关国家和地区的隐私法规，确保数据处理的合法性和合规性。

- (3) **隐私影响评估：**在开展脑机接口研究项目或应用之前，应进行全面的隐私影响评估。隐私影响评估是对项目或应用中涉及的个人数据处理活动可能对个人隐私造成的影响进行识别、分析和评估的过程。通过隐私影响评估，可以提前发现潜在的隐私风险，并制定相应的风险缓解措施。评估内容包括数据的收集方式、存储位置、访问控制、数据共享等方面。例如，评估数据采集过程中是否存在过度收集个人信息的情况；数据存储在本地还是云端，以及云端存储的安全性和隐私保护措施是否到位；访问控制机制是否能够有效防止未经授权的访问；在数据共享时，是否明确告知数据接收方数据的使用目的和隐私保护要求等。根据评估结果，对项目或应用进行优化和改进，以降低隐私风险。同时，定期对隐私影响评估进行更新，以适应项目或应用的变化以及法律法规的更新。
- (4) **被试权益保护：**充分保障被试在数据采集、存储和使用过程中的合法权益。被试有权了解其数据的使用情况，包括数据将被用于哪些研究目的、是否会被共享给第三方以及共享的范围和方式等。在数据采集前，向被试提供详细的知情同意书，明确告知被试其享有的权利和数据处理的相关信息。被试有权随时撤回其对数据使用的同意，一旦被试提出撤回同意的请求，应立即停止对该被试数据的使用，并妥善处理相关数据。例如，可以将该被试的数据进行单独存储，不再用于后续的研究或分析。同时，要确保被试的数据不会被用于任何可能对其造成伤害或歧视的目的。在数据分析和研究过程中，应避免根据脑机接口数据对被试进行不合理的评价或判断，保护被试的名誉和尊严。此外，建立被试投诉和反馈机制，当被试对数据处理过程有任何疑问或不满时，能够方便快捷地进行投诉和反馈，并及时得到回应和解决。

七、数据管理与维护

1. 数据目录管理

- (1) **建立数据目录结构：**根据脑机接口数据的特点和应用需求，构建清晰、合理的数据目录结构。数据目录应包含不同实验项目、被试信息、数据类型（如脑电信号、行为数据、刺激参数等）以及采集时间等维度的分类。例如，在根目录下创建“实验项目”文件夹，在该文件夹内再按照不同的实验项目名称创建子文件夹，每个实验项目子文件夹下分别建立“被试数据”“原始数据”“处理后数据”等子文件夹。在“被试数据”文件夹中，以被试的唯一标识符（如被试 ID）命名子文件夹，存放该被试的所有相关数据。
- (2) **数据编目：**对存储在各个目录下的数据进行详细编目，为每个数据文件或数据集分配唯一的标识符，并记录相关的元数据信息。元数据包括数据的名称、描述、数据格式、采集时间、采集设备、数据大小等。例如，对于一个脑电数据文件，编目信息可能包括文件名“EEG_20240101_subject01.edf”，描述为“2024 年 1 月 1 日被试 01 的脑电数据”，数据格式为 EDF，采集时间为 2024 年 1 月 1 日 09:00 - 10:00，采集设备为某品牌 64 通道脑电采集仪，数据大小为 500MB 等。通过建立这样详细的编目信息，方便后续的数据查找和管理。
- (3) **目录更新与维护：**随着新数据的采集和存储，以及数据的处理和更新，及时对数据目录进行相应的更新和维护。确保目录结构能够准确反映数据的实际存储情况，避免出现数据丢失或无法找到的情况。例如，当新增一个实验项目的数据时，在“实验项目”文件夹下创建对应的子文件夹，并按照编目规则对新数据进行编目和添加到目录中。定期对数据目录进行清理，删除已不再使用或过期的数据目录项，保持目录的简洁和高效。
- (4) **数据目录的可视化展示：**为了方便用户直观地查看和使用数据目录，提供数据目录的可视化展示界面。可以采用图形化的方式呈现目录结构，使用户能够通过点击操作快速浏览和定位到所需的数据。例如，开发一个基于 Web 的目录浏览工具，用户在浏览器中输入网址，即可进入数据目录界面，通过树形结构展示的目录层次，轻松找到自己需要的数据。同时，在可视化界面中提供搜索功能，用户可以通过输入关键词（如被试 ID、实验项目名称、数据类型等）快速定位到相关的数据目录项。

2. 数据更新与维护

(1) 数据更新条件

① **新数据采集**：当进行新的脑机接口实验或数据采集活动时，将新采集到的数据按照既定的数据存储规范和目录结构进行存储，并更新相应的数据目录。例如，在进行一项新的脑机接口认知实验时，采集到了新的脑电数据和被试的行为数据，将这些数据按照实验项目和被试的分类方式存储到对应的文件夹中，并在数据目录中添加新的数据条目，记录数据的相关信息。

② **数据修正**：如果发现已存储的数据存在错误（如数据采集过程中的设备故障导致部分数据丢失或错误，或数据分析过程中发现数据标注错误等），应及时对数据进行修正，并更新存储的数据。在修正数据时，要详细记录数据修正的原因、时间和操作过程，以便后续追溯。例如，在对脑电数据进行分析时，发现某个电极通道的数据在某段时间内出现异常，经过检查确定是电极接触不良导致的，重新采集该时间段的数据并替换原有的错误数据，同时在数据文件的元数据中记录数据修正的情况。

③ **数据补充**：随着研究的深入或应用需求的变化，可能需要对已有的数据进行补充。例如，在后续的研究中发现需要对某些被试增加新的测试任务或采集额外的生理指标数据，将补充的数据与原有的数据进行整合存储，并更新数据目录和相关元数据。

④ **数据格式转换**：当数据格式发生变化或需要将数据转换为更适合特定分析工具或应用的格式时，进行数据格式转换，并更新存储的数据。在转换过程中，要确保数据的完整性和准确性，同时记录格式转换的相关信息。例如，为了便于使用某款新的数据分析软件对脑机接口数据进行处理，将原有的EDF格式数据转换为HDF5格式数据，在转换完成后，更新数据目录中关于该数据文件的格式信息。

(2) 数据更新流程

① **更新申请**：数据更新的发起者（如研究人员、数据管理员等）填写数据更新申请表，详细说明数据更新的原因、更新的内容、涉及的数据范围等信息。例如，研究人员在发现脑电数据标注错误后，填写数据更新申请表，说明错误的具体情况，如错误的标注时间范围、涉及的被试和实验项目等。

② **审批流程**：数据更新申请表提交给相关负责人（如项目负责人、数据管理委员会等）进行审批。审批过程中，相关负责人根据数据更新的必要性、对现有研究和应用的影响等因素进行综合评估。例如，项目负责人在收到数据更新申请后，与研究团队成员进行讨论，评估数据更新对当前研究进度和结果的影响，决定是否批准更新申请。

③ **数据更新操作**：获得审批通过后，数据更新人员按照既定的数据存储规范和更新要求进行数据更新操作。在更新过程中，要严格遵循数据安全和隐私保护的原则，确保数据的完整性和准确性。例如，数据更新人员在对数据进行修正或补充时，先备份原始数据，然后进行更新操作，更新完成后，对更新后的数据进行验证，确保数据的正确性。

④ **更新记录与通知**：数据更新完成后，记录数据更新的详细信息，包括更新时间、更新内容、操作人等，并通知相关的数据使用者。例如，数据管理员在数据更新后，在数据目录的元数据中记录更新信息，并通过邮件或系统通知的方式告知研究团队成员数据已更新，提醒他们注意使用最新的数据。

(3) 数据定期维护要求

① **数据完整性检查**：定期（如每周、每月）对存储的脑机接口数据进行完整性检查，确保数据没有丢失、损坏或出现不一致的情况。可以通过计算数据的校验和（如 MD5、SHA - 1 等）、检查数据文件的大小和格式是否正确等方式进行完整性检查。例如，每月初对存储在硬盘阵列中的所有脑机接口数据进行校验和计算，并与之前记录的校验和进行对比，若发现校验和不一致，进一步检查数据是否存在问题。

② **存储介质检查**：对存储数据的介质（如硬盘、云端等）进行定期检查，确保存储介质的正常运行和性能。对于硬盘存储，检查硬盘的健康状态，查看是否有坏道、磁盘空间是否充足等。对于云端存储，关注云服务提供商的服务状态和安全公告，确保数据存储的安全性和可靠性。例如，每季度对本地硬盘进行一次全面的健康检查，使用硬盘检测工具检测硬盘的物理状态，及时发现并处理可能出现的问题。

③ **数据一致性维护**：确保不同存储位置或不同版本的数据之间保持一致性。例如，在进行数据备份和恢复操作后，对比备份数据和恢复数据与原始数据的一致性。对于分布式存储的脑机接口数据，定期检查各个存储节点上的数据是否一致。若发现数据不一致，及时进行数据同步和修复操作。

④ **数据清理与归档**：定期清理过期或不再使用的数据，释放存储空间。对于已完成分析且不再需要频繁访问的数据，可以进行归档处理，将其存储到成本较低的离线存储介质中。在清理和归档数据时，要遵循相关的数据管理规定和隐私保护要求，确保数据的安全和合规处理。例如，每年对存储的脑机接口数据进行一次清理，删除已超过保存期限且不再需要的数据，将历史实验数据归档到磁带库中，并在数据目录中记录数据的归档位置和相关信息。

3. 数据生命周期管理

- (1) **数据采集阶段管理**：在数据采集阶段，严格按照本标准规定的数据采集规范进行操作，确保采集到的数据质量可靠、符合要求。对采集设备进行定期校准和维护，保证设备的正常运行和数据采集的准确性。同时，详细记录数据采集的相关信息，如采集时间、地点、被试信息、采集设备参数等，为后续的数据管理和分析提供完整的元数据支持。例如，在每次脑机接口数据采集前，对采集设备进行全面的校准和检查，确保设备的采样率、分辨率等参数设置正确。在采集过程中，实时记录被试的生理状态、实验任务执行情况等信息，与脑电信号等数据一起存储，为后续的数据解读提供丰富的背景信息。
- (2) **数据存储阶段管理**：根据数据的特点和应用需求，选择合适的存储格式、存储介质和存储架构进行数据存储。建立完善的数据备份与恢复机制，确保数据的安全性和可靠性。对存储的数据进行加密处理，保护数据的隐私和保密性。按照数据目录管理的要求，对存储的数据进行分类和编目，方便数据的查找和管理。例如，对于实时采集的脑机接口数据，选择高性能的固态硬盘进行存储，确保数据的快速读写。同时，每天对数据进行增量备份，每周进行一次全量备份，将备份数据存储到异地的云端存储平台上，以防止本地数据丢失。对存储在硬盘和云端的数据均采用 AES 加密算法进行加密，确保数据的安全性。
- (3) **数据使用阶段管理**：在数据使用过程中，严格遵循访问控制机制，确保只有授权用户能够访问和使用数据。对数据的使用情况进行详细记录，包括数据的访问时间、访问用户、使用目的、使用方式等信息，以便进行数据使用的追溯和审计。在进行数据分析和研究时，要保证数据的完整性和准确性，不得随意篡改数据。对于涉及数据共享的情况，要遵循相关的隐私法规和数据管理规定，确保数据的合法共享和使用。例如，数据分析人员在使用脑机接口数据进行研究时，通过身份认证登录

数据管理系统，系统自动记录其访问时间和访问的数据文件。在分析过程中，若需要对数据进行处理和转换，详细记录处理步骤和参数设置，确保数据的可追溯性。如果需要将数据共享给其他研究机构或合作伙伴，经过严格的审批流程，签订数据共享协议，明确数据的使用范围、隐私保护要求等内容。

(4) **数据归档阶段管理：**当数据完成其当前的使用价值，且不再需要频繁访问时，将数据进行归档处理。

选择合适的归档存储介质，如磁带库、大容量硬盘等，将数据存储到归档存储设备中。在归档过程中，要确保数据的完整性和可读性，对归档数据进行加密和校验，防止数据损坏或丢失。同时，更新数据目录和相关元数据，记录数据的归档位置和归档时间等信息，以便在需要时能够快速检索和恢复数据。例如，将过去五年完成的脑机接口研究项目数据进行归档，将数据存储到磁带库中，并对磁带进行加密处理。在数据目录中，将这些数据的状态标记为“归档”，并记录归档的磁带编号和存储位置。

(5) **数据销毁阶段管理：**当数据达到其保存期限或不再具有任何价值时，按照相关规定和程序对数据进行销毁处理。

在销毁数据前，要进行充分的确认和审批，确保数据确实需要销毁。对于存储在硬盘等存储介质上的数据，可以采用多次覆盖写入、物理破坏等方式进行销毁，确保数据无法被恢复。对于云端存储的数据，要按照云服务提供商的规定和流程进行数据删除操作，并确保数据已被彻底删除。在销毁数据后，更新数据目录和相关元数据，标记数据已被销毁。例如，对于超过保存期限且无任何研究或应用价值的脑机接口数据，经过项目负责人和数据管理委员会的审批后，使用专业的数据销毁工具对硬盘上的数据进行多次覆盖写入操作，然后对硬盘进行物理破坏。在数据目录中，删除该数据的相关条目，并记录数据销毁的时间和操作人。通过对脑机接口数据从采集到销毁的整个生命周期进行科学、规范的管理，可以合理利用资源，避免数据冗余和过期数据的积累，确保数据的安全性、完整性和可用性，为脑机接口技术的研究和应用提供有力的数据支持。

八、标准的实施与监督

1. 实施建议

- (1) **培训与教育**: 针对涉及脑机接口数据采集与存储的相关组织和企业,开展定期的标准培训活动。培训内容不仅要涵盖本标准的具体条款和要求,还应包括标准制定的背景、目的和意义,使相关人员充分理解标准的重要性和必要性。例如,组织专业的培训团队,深入到科研机构、企业等进行现场培训,通过理论讲解、实际案例分析、操作演示等多种方式,帮助技术人员、管理人员等掌握标准的要点和实施方法。同时,开发线上培训课程,方便相关人员随时随地进行学习,提高培训的覆盖面和灵活性。
- (2) **技术支持与指导**: 建立专门的技术支持团队,为实施本标准的组织和企业提供技术咨询和指导服务。当遇到标准实施过程中的技术难题时,技术支持团队能够及时给予解答和帮助,确保标准的顺利实施。例如,设立技术支持热线或在线服务平台,接受用户的咨询和反馈,及时解决用户在数据采集设备选型、存储架构设计、数据安全防护等方面的问题。此外,还可以组织专家团队进行实地调研和指导,针对不同组织和企业的实际情况,提供个性化的解决方案。
- (3) **试点示范**: 选取具有代表性的科研机构、企业等作为试点单位,率先开展本标准的实施工作。通过试点示范,总结经验教训,发现标准实施过程中存在的问题和不足,并及时进行调整和完善。同时,将试点单位的成功经验进行推广和宣传,为其他组织和企业提供参考和借鉴。例如,选择在脑机接口领域具有较高研究水平和应用经验的科研机构和企业,作为标准实施的试点单位,给予一定的政策支持和技术指导,帮助其顺利实施标准。定期组织试点单位的经验交流会议,分享实施过程中的成功案例和创新做法,促进整个行业对标准的理解和应用。
- (4) **标准宣传与推广**: 通过多种渠道和方式,加强对本标准的宣传与推广,提高标准的知名度和影响力。例如,利用行业会议、学术研讨会、专业期刊、网络媒体等平台,发布标准的相关信息和解读文章,介绍标准的主要内容和实施要点。制作标准宣传手册、海报等宣传资料,发放给相关组织和企业,提高标准的普及程度。此外,还可以组织标准宣传活动,邀请行业专家、企业代表等参与,共同推动标准的实施和应用。

2. 监督机制

(1) 监督主体

① **行业协会：**由脑机接口相关的行业协会承担主要的监督职责，行业协会具有对行业内企业和机构的广泛联系和了解，能够有效组织和协调监督工作。例如，中国生物医学工程学会脑机接口分会，可以制定针对会员单位的监督细则，定期收集会员单位的标准实施情况报告，并对其进行评估和指导。

② **政府监管部门：**政府相关的市场监管部门、科技管理部门等对标准的实施情况进行宏观监管。政府部门可以通过制定相关政策和法规，规范行业行为，确保标准的实施符合国家的整体利益和法律法规要求。例如，国家市场监督管理总局可以对涉及脑机接口产品和服务的数据采集与存储情况进行监督检查，对违反标准的行为进行处罚。

③ **第三方认证机构：**引入具有专业资质的第三方认证机构，对组织和企业实施标准的情况进行独立评估和认证。第三方认证机构具有专业性和公正性，其认证结果具有较高的公信力。例如，一些专业的信息技术认证机构，可以对企业的数据存储安全、数据管理流程等方面进行评估，颁发相应的认证证书。

(2) 监督方式

① **定期检查：**监督主体定期对组织和企业进行实地检查，检查内容包括数据采集设备的运行情况、数据存储设施的安全性、数据管理流程的合规性等。例如，行业协会每年组织一次对会员单位的实地检查，检查人员根据本标准的要求，对数据采集设备的校准记录、存储介质的备份情况、数据访问控制措施等进行详细检查，并形成检查报告。

② **随机抽查：**采用随机抽查的方式，对组织和企业标准实施情况进行不定期检查，以确保标准的持续有效执行。例如，政府监管部门每季度从行业内企业名单中随机抽取一定比例的企业进行抽查，重点检查企业在数据安全、隐私保护等方面的落实情况，对发现的问题及时责令整改。

③ **数据监测：**利用技术手段对组织和企业的数据采集与存储过程进行实时监测，及时发现异常情况。例如，通过建立数据监测平台，对企业的数据传输、存储操作等进行实时监控，一旦发现数据泄露风险、数据异常修改等情况，立即发出警报并通知相关监督主体进行调查处理。

④ **投诉举报处理：**建立投诉举报渠道，鼓励公众对违反本标准的行为进行监督和举报。监督主体在收到投诉举报后，应及时进行调查核实，并对违规行为进行处理。例如，设立专门的投诉举报电话和

邮箱，接受公众对脑机接口数据采集与存储过程中存在的问题的举报。对于查证属实的举报，给予举报人一定的奖励，同时对违规企业或机构进行严肃处理。

(3) 监督频率

- ① 对于新进入脑机接口领域的组织和企业：在其开展业务的前两年内，建议每半年进行一次定期检查，同时增加随机抽查的频率，每月至少进行一次随机抽查，以确保其尽快熟悉和严格遵守标准。
- ② 对于已经具有一定经验且规模较大的组织和企业：每年度进行一次全面的定期检查，每季度进行一次随机抽查，重点关注其标准实施的持续改进情况和新业务场景下的标准适应性。
- ③ 对于涉及高风险应用（如医疗领域）的组织和企业：除了按照上述频率进行检查外，还应根据实际情况增加数据监测的力度和实时性，确保数据的安全性和可靠性。同时，对于接到投诉举报的组织和企业，无论其规模和业务类型，应立即启动调查程序，及时处理违规行为。通过建立健全的标准实施与监督机制，能够确保本标准在脑机接口数据采集与存储领域得到有效执行，提高数据的质量和安全性，促进脑机接口技术的健康、可持续发展。
- ④ 违规处理：数据泄露或不符合标准要求的行为，将根据《网络安全法》和《数据安全法》追责。

九、附录

附录 A：脑机接口数据采集设备清单示例

设备名称	品牌	型号	电极类型	采样率	分辨率	通道数	放大器性能（输入阻抗、噪声、CMRR）	数据传输方式	校准功能

脑电采集系统	NeuroScan	SynAmps RT	湿电极	1000Hz	24位	64通道	输入阻抗： $>10G\Omega$ ， 噪声： $<1nV/\sqrt{Hz}$ ， CMRR： $>110dB$	USB 3.0	自动校准，包含电极阻抗检测、信号增益校准、零点校准
便携式脑电监测设备	Emotiv	EPIC+	干电极	128Hz	16位	16通道	输入阻抗： $>5G\Omega$ ， 噪声： $<5nV/\sqrt{Hz}$ ， CMRR： $>100dB$	蓝牙	手动校准，电极阻抗检测需手动操作，信号增益校准、零点校准通过软件设置
高分辨率脑电采集仪	Brain Products	BrainAmp DC	湿电极	2000Hz	24位	128通道	输入阻抗： $>10G\Omega$ ， 噪声： $<0.5nV/\sqrt{Hz}$ ， CMRR： $>120dB$	以太网	定期校准，校准周期建议为每周一次，包含电极阻抗检测、信号增益校准、零

									点校准
--	--	--	--	--	--	--	--	--	-----

附录 B：数据存储介质性能对比表

存储 介质类型	示例产 品	存 储容量	读写速 度	可靠性	成本	数 据备份 方式	数据加 密支持
内部 固态硬盘 (SSD)	三星 980 PRO	1TB – 4TB	顺序读 取：高达 7000MB/s， 顺序写入： 高达 5000MB/s	高，一般 具备掉电保护 等技术	较 高，每 GB 成本相对 较高	可 使用系 统自带 备份工 具或第 三方备 份软件 进行本 地备份	支持硬 件加密(如三 星的加密技 术)和软件加 密（如 BitLocker）
外部 硬盘阵列 (RAID 5)	戴尔 PowerVault MD1220	可 扩展，根 据硬盘 数量和 容量确 定	读写速 度取决于阵 列配置和硬 盘性能，一 般读取速度 在数百 MB/s – 数 GB/s	高，通过 冗余校验提高 容错能力	适 中，考虑 硬盘数量 和阵列控 制器成本	阵 列内部 通过冗 余技术 实现数 据备 份，可 结合外	支持多 种加密方式， 如硬件加密 卡或软件加 密工具

						部存储 设备进行 异地 备份	
公有 云存储(以 阿里云 OSS 为例)	阿里云 对象存储服 务	按 需扩展, 理论上 无上限	上传速 度: 取决于 网络带宽, 下载速度: 根据地域和 配置不同有 所差异, 一 般可达数 MB/s - 数 十 MB/s	高, 多数 数据中心备份, 数据持久性达 99.99999999%	根据 存储容量 和流量收 费, 成本 相对灵活	自 动备 份, 数 据在多 个可用 区进行 冗余存 储	支持 SSL/TLS 加 密传输, 存储 数据可通过 用户密钥加 密
私有 云存储(自 建 OpenStack 云平台)	自行搭 建	根 据服务 器配置 确定	读写速 度受服务器 性能和网络 环境影响, 一般可满足 企业内部需 求	较高, 可 通过配置冗余 存储和备份策 略提高可靠性	高, 需投入硬 件、软件、 人力等成 本	自 行制定 备份策 略, 如 定期全 量备份 和增量 备份, 可存储 在本地 或异地 存储设	支持多 种加密算法, 如 AES, 可在 存储和传输 过程中加密

						备	
--	--	--	--	--	--	---	--

附录 C：数据加密算法示例代码（Python）

```
import hashlib

from Crypto.Cipher import AES

from Crypto.Util.Padding import pad, unpad

# AES 加密示例

def encrypt_aes(data, key):

    cipher = AES.new(key.encode('utf - 8'), AES.MODE_CBC)

    padded_data = pad(data.encode('utf - 8'), AES.block_size)

    encrypted_data = cipher.encrypt(padded_data)

    return cipher.iv + encrypted_data

# AES 解密示例

def decrypt_aes(encrypted_data, key):

    iv = encrypted_data[:AES.block_size]

    cipher = AES.new(key.encode('utf - 8'), AES.MODE_CBC, iv)

    decrypted_data = cipher.decrypt(encrypted_data[AES.block_size:])

    return unpad(decrypted_data, AES.block_size).decode('utf - 8')

# 示例数据和密钥

data = "这是需要加密的脑机接口数据"

key = "1234567890123456"

encrypted = encrypt_aes(data, key)

decrypted = decrypt_aes(encrypted, key)

print(f"加密后的数据: {encrypted.hex()}")

print(f"解密后的数据: {decrypted}")
```

```
# MD5 哈希示例

def hash_md5(data):

    md5_hash = hashlib.md5()

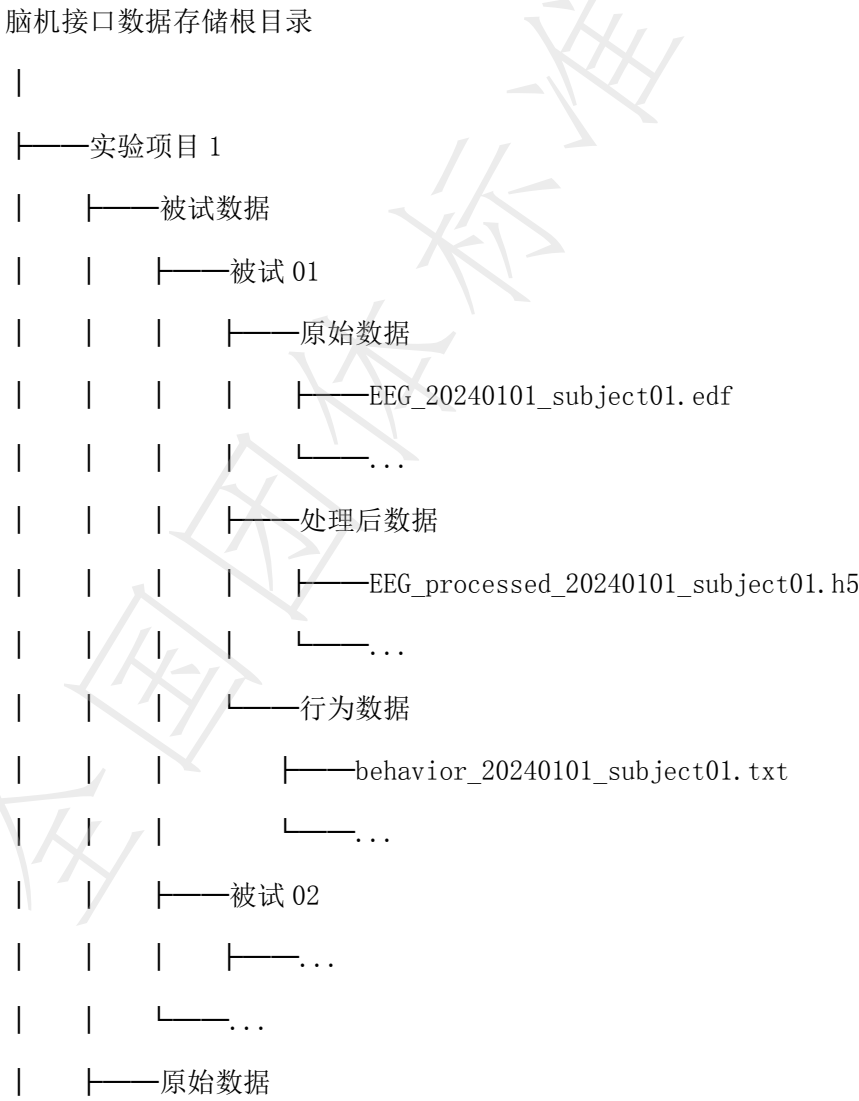
    md5_hash.update(data.encode('utf - 8'))

    return md5_hash.hexdigest()

md5_result = hash_md5(data)

print(f"MD5 哈希结果: {md5_result}")
```

附录 D：数据目录结构示意图



| | |——EEG_20240101_expl.edf
| | |——...
| |——处理后数据
| | |——EEG_processed_20240101_expl.h5
| | |——...
| |——刺激参数
| |——stimulus_parameters_20240101_expl.txt
| |——...
|——实验项目 2
| |——...
|——...

附录 E：数据更新申请表模板

申请编号	申请日期	申请人	联系电话	申请部门
数据更新原因	详细说明数据更新的具体原因，如数据采集错误、新数据补充、格式转换等			
_____	_____			
更新内容描述	1. 列出需要			

	更新的数据文件或数据集名称及路径。2. 说明更新的具体内容，如修改的数据值、补充的数据字段等。			
---	---			
涉及数据范围	1. 明确涉及的实验项目、被试范围。2. 若为部分数据更新，详细说明数据的时间范围或其他限定条件。			
---	---			
更新计划	1. 预计开始更新时间和完成时间。2. 简述更新操作的步骤和方法。			
---	---			
审批意见	审批人签字： 审批日期：是否批准：是 / 否（若不批准，请注明原因）			

---	---			
-----	-----	--	--	--

全国团体标准信息平台