

**普通本科毕业设计开题报告**

课题名称 基于脑机接口控制的电动轮椅设计

学 院 自动化学院

专 业 自动化

班 级 191班

学 号 201900318006

姓 名 李 涛

指导教师 高 远 岳汶华

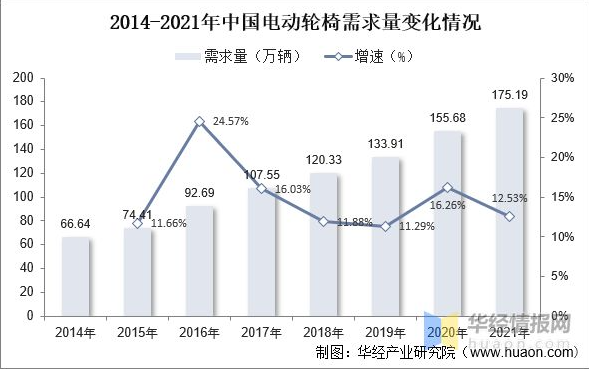
2023 年 3 月 02 日

1. **毕业设计（论文）选题的目的和意义**

现今，数据显示我国社会面临人口老龄化日趋严重、残障人士数量较大的问题。据2022年末数据统计，我国65周岁及以上老年人口达到20978万人，占总人口的14.9%，其中部分老年人随着年龄的增长，各项生理功能逐渐减退，主要表现在降低四肢的灵活程度、降低个人自理能力等；同时，据中国残疾人联合会的统计数据显示，截止2020年2月，中国有8,500万残疾人约占我们总人口比例的6.2%，其中因肢体残疾导致行动不便的人口数量已经达到2472万。因此，现实反映出这些特殊人群在不同程度上均面临着行走的障碍问题。

电动轮椅是在传统手动轮椅的基础上，增加了动力驱动装置、操纵装置、电池等部件，具有方便、安全、环保、可增强自理能力、受众广等优点[1]。在现今医疗康复水平无法彻底解决老年人行动机能下降和伤残人士康复的条件下，电动轮椅已逐渐成为伤残人士和行动困难老人有用的辅助代步工具[2]。

随着科技的发展和人们对高品质生活的追求，轮椅行业市场发展对电动轮椅的智能化水平提出了更高要求，以提高满足不同种类（行动困难的老年人、伤残人士等）的适用需求。在中国人口老龄化的逐渐加剧和国家政策的扶持作用双重影响下，中国电动轮椅行业得到了快速发展，电动轮椅需求量也随之上涨。根据数据显示，中国电动轮椅需求逐年上涨，2021年中国电动轮椅需求量为175.19万台，同比2020年上涨12.53%。



相较于海外发达国家，我国电动轮椅行业发展起步较晚，但随着中国加入世贸组织以来，我国电动轮椅行业发展得到了快速发展。然而，从国内外市场现有的主流产品看，电动轮椅普遍采用人工手动操作方式，这无疑较大地限制了肢体操作障碍人群的应用。因此，结合行动困难人群的代步实际情况，研制一款适用特殊人群广、操控简单可行、具有智能化特点的电动轮椅，很有必要[3]。

自20世纪末始，人们对脑机接口（Brain Computer Interface，BCI）技术进行研究，迄今在脑电波信号采集、分析和处理方面，逐渐形成一定的理论体系，并结合计算机控制技术等，逐渐向工程领域的具体应用发展[4]。鉴于基于脑机接口的操控方式，具有非肢体式或非接触式的特点[5]；同时，可用于脑电信号检测采集的新型传感器已获面世和市场应用，这为本课题研制开发基于脑机接口的电动轮椅提供技术可能。

自二十世纪末，美国、欧洲、中国和日本等国开始均涉足BCI技术领域，并取得系列的理论和技术应用成果。目前，美国的Wadsorth研究中心在脑-机接口技术研究领域处于领先地位，利用脑电机接口（BCI）系统将通过诱发电位（P300诱发电位、视觉诱发电位、自发α波mu节律等）方法采集到的脑电信号进行识别，帮助残障人群通过脑电信号来控制外部设备[6]；德国的Bribauber研究团队通过脑电机接口系统采集运动想象脑电信号，使人们能够利用脑电信号控制游戏中人物的移动，这为BCI应用到更复杂的环境提供了可能[7]；奥地利Grazhi实验室，对运动想象脑电信号号产生事件相关同步/去同步现象（ERS/ERD现象）进行了大量的研究，通过想象左右手运动产生的脑电信号控制光标移动或字符输入[8]；美国的伊利诺伊大学Farwell和Donchin在设计脑-机接口系统时，将P300诱发电位作为系统的信号输入，通过受试者对显示屏上闪烁频率为10Hz的字母的特点选择，计算受试者对闪烁字母的平均反映，同时计算测量出P300诱发电位的幅值大小[8]。

脑电机接口系统在国内作为前沿研究的一个热点，很多高校和研究机构成立课题组进行研究。清华大学高上凯的BCI研究小组是国内最早研究BCI技术的团队，利用想象左右手运动产生的脑电信号控制机器人的运动，并在三次的国际BCI数据竞赛中取得优异成绩[9]；上海交通大学的张丽清的研究小组，将运动想象产生的ERS/ERD现象应用到BCI系统，实现机器人导航[10]；山东科技大学Sun等实现了基于运动想象脑电信号在线控制机器人上肢运动，通过多种运动想象任务控制假肢完成放小球、肘关节外旋、内旋等任务[11]；北京理工大学研究团队开发了基于稳态视觉诱发电位（SSVEP）和P300的混合脑-机接口，并分析了P300视觉刺激对SSVEP-BCI系统的分类精度的影响[12]。此外，中科院自动化所、华中科技大学和交通大学等高校在脑电信号分析方面也取得了较好的理论成果。最近几年，随着对脑电信号α波、β波和θ波，以及这些信号波与人的行为动作间的特征关系的深入研究，学者尝试将脑电接口技术应用于运动装置的控制系统，如杭州电子科技大学利用闭眼可以产生α波的特点，尝试设计出的-脑机接口系统应用在机电设备控制系统，并取得较好的实验测试结果[13][14]。目前，脑波检测技术的产品一般围绕教育、卫生、娱乐和竞技体育等领域展开[15]。

因此，为实现方便肢体操控障碍的老年人和残障人士的出行，本项目在传统电动轮椅的基础上，将结合先进的脑电信号传感技术、脑电信号分析与处理技术、微处理器控制技术等，研制一款具有脑机接口控制功能、较好符合轮椅运动工况的电动轮椅，具有较好的工程应用现实意义。

本课题来源于自治区级大学生创新训练项目“基于脑机接口控制的电动轮椅(项目编号202110594109 ) ”。

**二、设计或研究主要内容和重点，预期达到的目标及拟解决的主要问题和技术关键，有何创新之处**

**设计目标：**

课题以传统手控操作的电动轮椅为平台基础，研制出一款识别度较高、基于脑电接口控制的电动轮椅，以提高行走困难老人和肢体残疾人群的代步出行的便性和适用性。①设计出精度高的脑电信号检测采集电路；②制定出有效的脑电信号频谱滤波分析、特征提取和波形识别算法，实现对脑电α波、β波、θ波以及δ波的较高准确识别**；** ③制定出脑电信号与轮椅驱动轮间的控制规则和双电机的调速控制策略，实现意念控制轮椅的直行、后退、转弯等运行；④制作出基于脑机接口控制的电动轮椅原型，进行原型测试与调试。

**主要内容：**

①制定系统总体设计方案，设计轮椅的电机驱动、位置定位和无线通信等功能的接口电路；

②研究用于电动轮椅运动控制的脑电信号提取、分析与处理算法；

③制定基于脑电信号的轮椅驱动控制规则；

④研究制定电动椅后驱动轮的速度控制策略；

⑤对传统电动轮椅进行改装，开展脑电信号采集穿戴设备的外观设计，制作实验原型，开展系统调试与测试。

**关键问题：**

1.制定电动轮椅后驱动轮的速度控制策略，实现轮椅能直行、后退，转弯等运动的稳定控制；

2.制定有效的对脑电信号信号的采集、处理和提取，并实现对脑电信号的较高精度的检测，对脑电信号的和轮椅控制规则能过进行正确判别。

3.如何稳定实现脑电波数据与主控芯片之间的通信问题，并保证信号传输的快速性、稳定性、实时性。

**创新点：**

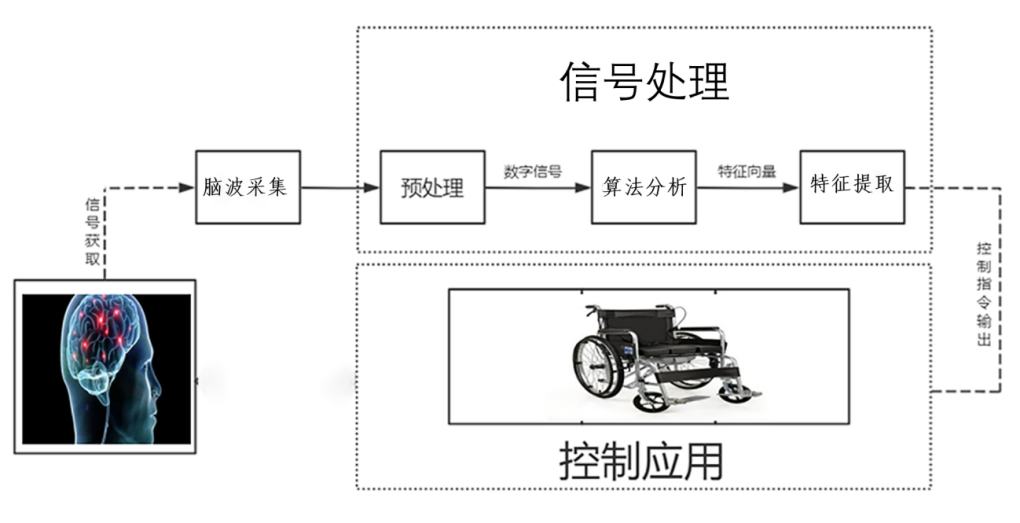
①利用脑电接口控制技术实现意念控制轮椅运动，它是一种肢体非接触式的操控方式，有利于动作障碍老人和肢体残障人士等人群的自我代步出行；

②在硬件和软件设计方面，充分考虑保障特殊人群脑电控制轮椅行驶的安全性；制定电动轮椅运动的脑电控制规则，简单有效，利于特殊人群的脑电操控。

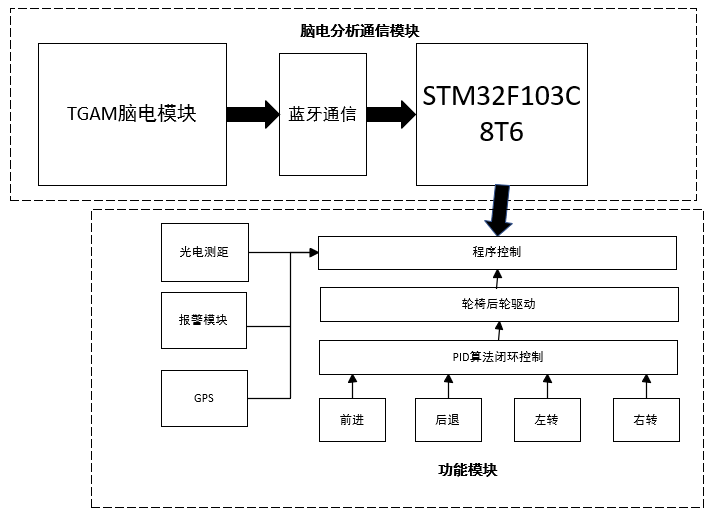
③设计采用脑电信号检测的穿戴装置和改装传统电动轮椅，以及脑电信号与主控间采用蓝牙通信方案，提高用户的使用舒适性和实用性。

**三、研究方案**

系统设计主要包含两部分：第一部分为头戴式脑波采集模块，通过无线通信传输实现检测装置与处理装置之间的通信。从而构成了基于脑-机接口控制的电动轮椅原理结构框图如图1。第二部分为主控芯片通过无线通信接收到蓝牙信号后通过相应的算法，获取并处理接收到的脑电波信号，识别出控制轮椅所需要的信号，从而可以进行轮椅的运动控制；同时还采用了光电测距模块实现对障碍物的距离判断，如果距离过近，会进行报警提醒使用者；在此基础上还增加了GPS模块，对轮椅进行实时定位，确保使用者的家属对其进行准确定位，从而提高了使用的安全性。系统总体设计方案结构图如图2。



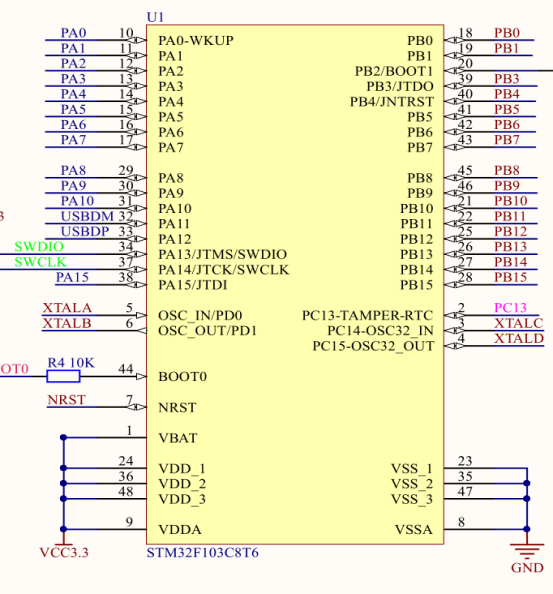
**图1 基于脑-机接口控制的电动轮椅原理结构框图**

**图2 系统总体设计方案结构图**

**3.1 模块（芯片）的选型**

**1、主控芯片**

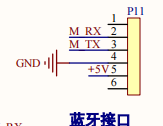
主控单元是小车的核心部件，此处采用的是STM32F103CT86芯片作为控制元件。这是一款基于Cortex-M3内核的32位微控制器，拥有64K的flash存储容量，最高可在72MHZ的频率下运行。该芯片可在2V~3.6V的电压范围以及-40℃~85℃的温度范围内工作，能够满足多数情况下的工作设计需求。其硬件结构图如图3所示：



**图3 STM32F103C8T6硬件结构图**

**2、脑电信号检测采集传输**

脑电采集电路主要采用的是TGAM脑电采集模块，该模块是NeuroSky 神念公司开发的面向大众的应用型脑电采集模块，目前被广泛应用于 BCI 领域的各类研究中。采集电路包含传感器检测电路、信号放大电路、无线通信发送电路，在本设计中采用了可靠的蓝牙通信。



**图4 蓝牙接口电路**

TGAM脑电采集模块可以无线采集传输双通道脑波数据，采用干电极设计方案，并将五个电极全部集成在头戴上，佩戴方便。由于本设计只需要采集相应的波形即可，因此，此模块在能满足设计要求的同时，还能减少硬件的数量。

![5WI0N%BMU](DKF(CF6E${]I](data:image/png;base64,)

**图5 TGAM脑电采集模块**

**3、研究用于电动轮椅运动控制的脑电信号提取、分析与处理算法**

人类的脑电波时时刻刻都在不停的产生、变化，无论人体做什么，睡觉时也会不停地产生脑电波。人类的脑电波波形可分为α波、β波、θ波以及δ波，通过这些波形的变化来反映一个人目前状态下大脑的工作状态，比如是否紧张、注意力是否集中等。脑电波在正常情况下的波动范围是2.8~45.9Hz，α波和β波是使用比较多的波形。表1为脑波种类、频率及特性图。

**表1 脑波种类、频率及特性表**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **波形** | **频率/Hz** | **检测项** |
| α波 | 8~14 | 轻松而注意力集中 |
| β波 | 14以上 | 放松程度 |
| θ波 | 4~8 | 深层思考程度 |
| δ波 | 0.4~4 | 疲劳程度/深睡程度 |

采用的干电极采集到的脑电信号将送入 TGAM 模块进行预处理，模拟信号经过滤波、放大、A/D 转换后由UART 串口输出至蓝牙接口。

脑波信号的主要分析方法为傅里叶变换（FFT）算法。使用傅里叶变换将脑波信号由时域转换到频域，获得脑电波信号的频率、功率等参数。并且后续通过统计分析、小波变换、Mallat算法等方法处理脑波。

连续小波变换的积分区间是无限大的，而采集的脑电信号是有限的离散的数据，由于使用连续小波变换对信号进行预处理会产生较大误差以及冗余，为消除冗余，须对小波变换的分解尺度以及时间平移进行离散化。假设采集的脑电信号定义为φ（t），其离散小波变换及逆变换为，

 （3.1.1）

 （3.1.2）

式（3.1.1）、（3.1.2）中是采集的脑电信号，为经过小波变换后产生的小波系数，为母小波，i为变换尺度，j为时间平移。在最大变换尺度范围内，能顾在不同分辨率下对信号的时域和频域进行分析并得到在不同分辨率下的低频信号和高频信号。

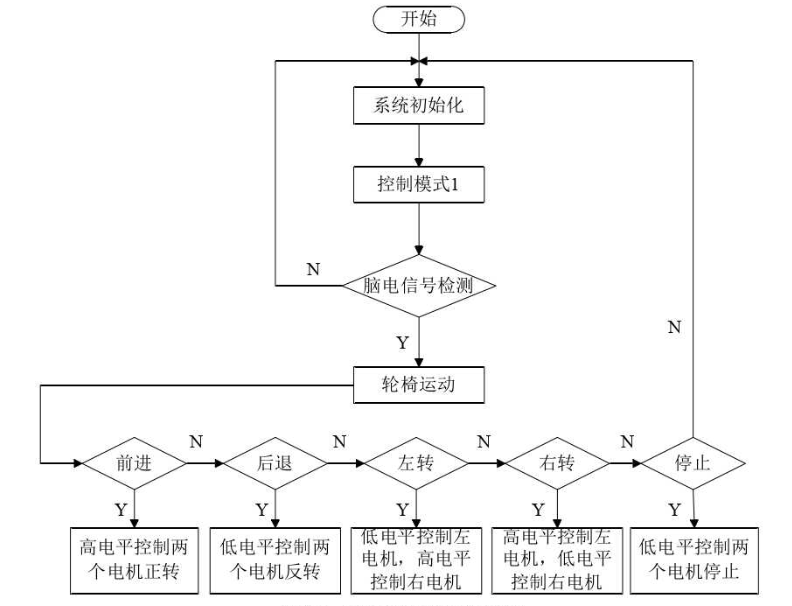
由于每个波形出现在特点频段，利用离散小波变换选取bd4作为小波函数并通过Mallat算法分别对每个通道脑电信号数据进行三层分解，会得到四个频段，第三层细节系数所代表的时原始脑电信号8-16Hz频段，包含了α波和mu节律。将每一组数据提取频段的平均能量作为时频域的特征信息。将所得的数据进行提取。

**4、制定基于脑电信号的轮椅驱动控制规则**

将蓝牙输出的指令设置为A、B、C、D，对应的动作分别为前进、左转、右转、停止。轮椅在控制模式下行驶时，专注度越高，（即α波和β波的能量值上升时）轮椅的速度将会增加，直至到达设定的最佳的适宜速度后，轮椅将会匀速前进；通过想象右手动或者左手动来引起θ波的变换，进而让轮椅达到转向的目的，（在精神集中状态下眨眼α波的能量值会上升）再次连续眨眼可继续向前移动，精神越集中轮椅旋转的转速也越快；当δ波上升时，轮椅将会强制停止。在三秒内连续眨眼两次将会让轮椅停止。波形控制运动方式如表2.

**表2 波形控制运动方式**

|  |  |
| --- | --- |
| **波形变化** | **运动方式** |
| α波上升 | 轮椅前进 |
| α波和β波上升 | 轮椅速度增加 |
| θ波变化 | 轮椅左右转向 |
| δ波上升 | 轮椅强制停止 |
| α波连续变换两次 | 轮椅人为停止 |
| α波连续变换四次 | 切换后退模式 |



**图6 电机驱动流程图**

**5、研究制定驱动轮的速度控制策略**

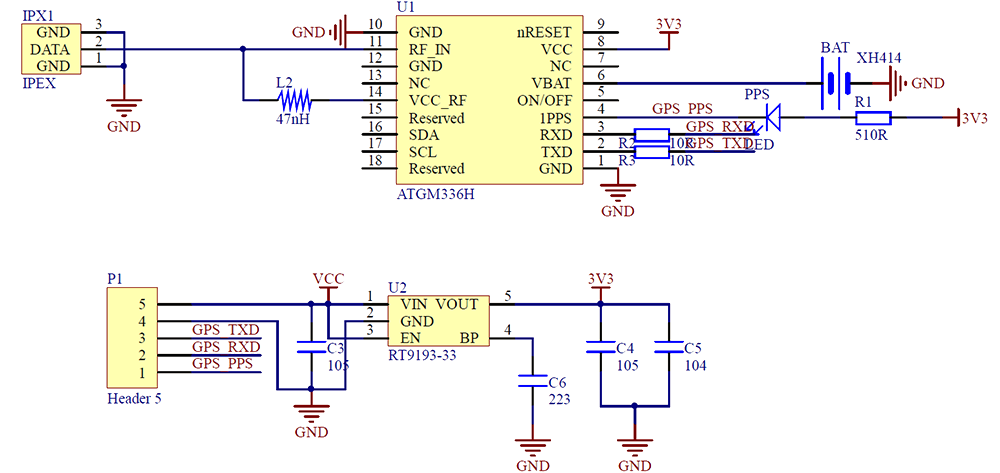
通过PWM调试可以使得电机左右的转速一致，并且可以通过程序控制电机的正反转，从而实现轮椅的前进后退；通过程序控制电机实现转速差，可以实现轮椅的左转、右转。

通过程序控制电机正转反转，从而做到基本的前进和后退方向策略。通过设置两边电机的转速差实现轮椅的左转右转。通过配置正反90°可以实现旋转功能。通过对速度的调控，分为低速和中速。并设有低速阈值和中速阈值。本项目设定以低速启动，达到低速阈值再由单片机的数据判断是否提升至中速，为了使用者的安全，设置了中速阈值，达到阈值时，轮椅的速度将不会继续增加，将保持匀速运动。

**6、GPS定位模块**

本课题所设计的轮椅存在需要在户外使用的情况，需要使用定位功能实时知道具体位置方，GPS是当前应用最为广泛的导航定位系统，使用方便、成本低廉。该模块连接一个双极放大陶瓷天线，搜索卫星能力强，能够把各种参数经由串口进行设定，而且同时能够存在 EEPROM 中，便于用户使用。通过GPS传感器获得轮椅当前的位置信息，同时将这些信息传达到主控制器，主控制器再发送位置信息给用户。

本项目选用正点原子公司的ATK1218-BD，该模块自带 MAXIM 公司生产的 20.5dB LNA 高增益芯片与高性能陶瓷天线结合，组成接收天线。



**图7 GPS定位模块电路图**

**7、对传统电动轮椅进行改装，制作实验原型，开展系统调试与测试**

传统电动轮椅车是以[蓄电池](https://baike.baidu.com/item/%E8%93%84%E7%94%B5%E6%B1%A0" \t "https://baike.baidu.com/item/%E7%94%B5%E5%8A%A8%E8%BD%AE%E6%A4%85%E8%BD%A6/_blank)为能源、电子装置控制驱动的动力轮椅车。通常由电机、蓄电池、控制系统、车轮、座椅、扶手、脚踏板等组成。由一个或多个电机驱动，有座椅支撑。分为手动转向和动力转向。使用者可通过控制装置自行驱动轮椅车行进。

本项目基于脑机接口技术，对传统电动轮椅进行改装，STM32为电动轮椅的主控芯片，将电机模块通过驱动模块连至STM32主控芯片，当主控芯片接收到来自蓝牙模块的信号时，对信号进行分析处理，将得出的结果传输至驱动模块，进而控制轮椅的运动。

为尽量完善此脑机接口控制的电动轮椅，后续还需对此轮椅的信号传输进行优化改进，在优化改进的同时并在轮椅上附加其他功能，做到集多种功能于一体的电动轮椅。

**四、主要参考文献目录**

[1]李瑛达,周海波,杨易青.脑波控制的智能医疗轮椅系统[J].物联网技术,2019,9(05):63-66.

[2]慕涵. 基于脑电的智能轮椅控制研究[D].曲阜师范大学,2020.

[3]罗飞. 基于运动想象的脑电控制方法研究及实现[D].重庆邮电大学,2020.

[4]郭倩,冯奇,屈萍鸽,刘记.轮椅脑控算法研究与实验验证[J].计算机测量与控制,2021,29(02):229-233+255.

[5]党珂,邓浩,薛争争,赵松杰,邢博.脑电波传感器的应用与研究[J].电脑知识与技术,2020,16(20):177-178.

[6]陈锐。运动想象脑电波数据分析[D].贵州师范大学,2020.

[7]李瑛达,周海波,杨易青.脑波控制的智能医疗轮椅系统[J].物联网技 术,2019,9(05):63-66.

[8]缪文南,陈雪娇.基于TGAM脑波模块的小车控制系统[J].自动化技术与应 用,2018,37(08):112-115.

[9]孙星. 基于运动想象脑电与头姿交互的机器人轮椅控制系统[D].南京邮电大学,2021.DOI:10.27251/d.cnki.gnjdc.2021.001562.

[10]常宇,杨风,郝骞.基于脑电波控制的智能轮椅系统[J].微特电 机,2019,47(03):82-86.

[11]王加粉. 基于脑机接口的轮椅式下肢康复机器人研究[D].曲阜师范大学,2022.DOI:10.27267/d.cnki.gqfsu.2022.001246.

[12]许未晴,陈磊,隋秀峰等.脑机接口——脑信息读取与脑活动调控技术[J].科学通报,2023,68(08):927-943.

[13]Chinchani Abhijit M. et al. Tracking momentary fluctuations in human attention with a cognitive brain-machine interface[J]. Communications Biology, 2022, 5(1) : 1346-1346.

[14]Huggins Jane E. and Karlsson Petra and Warschausky Seth A.. Challenges of brain-computer interface facilitated cognitive assessment for children with cerebral palsy&#13;[J]. Frontiers in Human Neuroscience, 2022, 16 : 977042-977042.

[15]付丽,蒋硕,陈甜甜等.基于脑电信号反馈的康复医疗器械的安全性及有效性评价要点分析[J].医疗装备,2023,36(01):34-36.

**五、毕业设计（论文）工作进度计划**

2022.12.01-2022.12.31，查阅资料，完成外文文献翻译；硬件选型，确定轮椅控制系统的总体设计方案；设计脑机与轮椅控制芯片之间的连接电路；

2023.01.01-2023.02.28, 系统各功能模块电路的硬件设计与实现，研究脑电信号提取、分析与处理算法，并完成开题报告；

2023.03.01-2023.03.20，研究制定基于脑电信号的轮椅驱动控制规则，以及轮椅驱动轮运动的控制策略；

2023.03.21-2023.04.10, 系统软件编程设计，包含轮椅的运动、制定网络通信方案、主流程和各功能模块子程序的设计与编程；

2023.04.11-2023.04.30，系统原型制作，系统的硬件与软件的调试与测试；

2022.05.01-2022.05.25，完成毕业论文、准备答辩。

**六、指导教师审查意见**

本项目存在项目重点确定不明确，缺少重点的讲解，侧重点应着重于轮椅部分，并且可以在轮椅上继续扩展功能。

指导教师签字：

年 月 日