

4.2.3 文化活动空间的设置

文化体验区内设置了龟兹商业街等文化活动空间，定期举办民俗表演、传统手工艺展示等活动。人们参与这些活动，能够深入体验当地文化，增强人与人之间的交流与互动，丰富精神生活，产生愉悦、满足的情绪。

4.3 空间布局与游线设计对情绪的影响

4.3.1 动静分区与情绪调节

景观带进行了合理的动静分区。安静区设置在远离城市道路的区域，以大片绿地、静谧的水体为主，为人们提供冥想、休憩的空间，帮助人们放松身心，缓解压力。活动区则设置了广场、游乐场等设施，满足人们娱乐、社交的需求，激发活力，提升愉悦感。

4.3.2 游线设计与情绪体验

游线设计遵循起承转合的原则，通过曲折的路径、开合有致的空间序列，引导人们的游览节奏。从入口的开阔广场，逐渐过渡到幽静的林间小道，再到视野开阔的观景平台，最后回到热闹的活动区域，让人们在游览过程中体验到不同的情绪变化，增加游览的趣味性与吸引力。

5 以调节情绪为主导的园林意境营造路径总结

5.1 基于自然元素的营造路径

5.1.1 多样化的水体设计策略

结合场地地形，设计多样化的水体形式。注重水体的声音、光影效果，以及与周边环境的融合。设置亲水平台、水上步道等设施，增强人与水的互动，充分发挥水体在舒缓情绪、放松身心方面的作用。

5.1.2 自然生态的水岸处理手法

利用古朴优美的块石与卵石搭配组团植物打造亲水驳岸，拉结绿地与水面营造自然、柔美的生态空间，利用简洁而流畅的线条营造出宁静、开敞的碧水蓝天，给人以舒缓、放松的愉悦感。

5.1.3 打造细腻生动的亲水空间

选择视线开阔，人流聚集的区域设置亲水空间，以简洁大气兼顾安全防护的休憩设施布置场地，同时考虑亲水功能，设置浅水区供游人戏水、亲水，放松身心。

5.2 基于文化元素的营造路径

5.2.1 深入挖掘与提炼地域文化

对当地的历史文化、民俗文化、艺术文化等进行深入研究，挖掘具有代表性的文化元素，将这些文化元素进行提炼、抽象，转化为可应用于园林景观设计的符号、图案、色彩等。

5.2.2 多样化的文化元素表达形式

通过雕塑、景墙、桥堰、铺装等景观设施，将文化元素直观地展示出来（图3）。通过主题园区、文化广场等形式，集中展示地域文化特色。利用现代科技手段如多媒体展示、互动装置等，增强文化元素的表现力与吸引力，引发游客的情感共鸣。



图2 桥堰（李金路摄）

5.2.3 文化活动与体验的融入

在园林中设置文化活动空间定期举办各类文化活动。设计参与式的文化体验项目，让游客亲身参与到文化活动中，深入感受地域文化魅力，提升文化认同感与归属感。

5.3 基于空间布局与游线设计的营造路径

5.3.1 合理的动静分区规划

根据园林的功能定位与使用人群的需求，明确划分动静区域。静谧区远离城市主干道与噪音源，营造宁静、私密的空间氛围，适合人们进行休息、冥想、阅读等活动。活动区兼顾交通便利性与开阔视野，提供多样化的娱乐、健身及社交设施，满足人群活力释放与社交互动的核心需求。

5.3.2 富有节奏的游线设计

游线设计要考虑游客的游览心理与情绪变化，遵循起承转合的原则。通过设置入口广场、引导性道路、过渡空间、高潮景点、休息节点等，营造出有节奏、有变化的游览体验。利用曲折的路径、开合有致的空间序列，增加游览的趣味性与探索性，避免单调乏味。

6 结论

喀普斯浪河东岸滨河景观在边疆地区以调节情绪为主导的园林意境营造方面进行了成功实践，通过合理运用自然元素、深入融合文化元素以及科学的空间布局与游线设计，为人们打造了一个能够有效调节情绪、舒缓压力的园林空间。本研究总结出的基于自然元素、文化元素以及空间布局与游线设计的园林意境营造路径，具有一定的普适性与借鉴意义，可为其他园林景观设计提供参考。经济形势严峻之际，园林设计肩负着更重的人文责任：须精研意境营造对情绪健康的调节机制，突破传统营造手法，显著增强景观作为“心灵绿洲”的心理健康支持功能。

参考文献

- [1] 王作鹏.新疆拜城县喀普斯浪河东岸滨河景观设计[J].风景园林, 2015.9
- [2] 李树华,张文英.(2010).园艺疗法在园林中的应用与实践.中国园林,26(7),1-5
- [3] 王向荣,林箐.(2012).风景园林与人的心理健康.中国园林,28(3),5-9.
- [4] 刘滨滨,张德顺.(2014).城市绿地景观对居民心理健康的影响研究.风景园林,30(5),34-39.

Research and Application of Integrated Control System for Building Robot Chassis

Shuai Wang¹ Rui Wu² Yuquan Shen² Yilong Cui¹ Jianqing Zhang³

1. Wuhan Construction Group Co., Ltd., Wuhan, Hubei, 430056, China

2. Wuhan University of Science and Technology, Wuhan, Hubei, 430065, China

3. Wuchang Institute of Technology, Wuhan, Hubei, 430223, China

Abstract

The chassis control system of construction robots is the core technology for their effective operation. This paper addresses the challenges faced by construction robots under various working conditions and designs a chassis fusion control system specifically. This system includes not only lightweight chassis design but also the actuation system and its fusion control system. Through this design, construction robots can perform a variety of functions, such as wireless remote control, remote video monitoring, magnetic track following technology, automated operation processes, and autonomous task planning. The implementation of the control system's functions provides a solid technical foundation for construction robots in labor operations, enabling them to efficiently and safely complete tasks in various complex environments.

Keywords

control system; chassis structure; chassis debugging; performance optimization

建筑机器人底盘融合控制系统研究与应用

王帅¹ 吴瑞² 沈钰泉² 崔义龙¹ 张建清³

1. 武汉建工集团股份有限公司, 中国·湖北 武汉 430056

2. 武汉科技大学, 中国·湖北 武汉 430065

3. 武昌理工学院, 中国·湖北 武汉 430223

摘要

建筑机器人底盘控制系统是其进行有效作业的核心技术。本文针对建筑机器人在不同工况条件下作业时面临的挑战, 特别设计了一套底盘融合控制系统。这套系统不仅包括轻量化底盘设计, 还涵盖了作业系统及其融合控制系统。通过这种设计, 建筑机器人能够实现多种功能, 如无线遥控操作、远程视频监控、磁导循迹技术、自动化作业流程以及自主规划任务等。控制系统功能的实现, 为建筑机器人在劳动作业中提供了坚实的基础支撑和技术基础, 使其能够在各种复杂环境中高效、安全地完成作业。

关键词

控制系统; 底盘结构; 底盘调试; 性能优化

1 引言

建筑业是国民经济的重要支柱^[1], 传统建造方式较为粗放, 工程建设作业高度依赖人工, 效率低、质量差、风险高^[2,3]。随着中国社会经济结构的调整、新兴产业的出现, 建筑从业群体呈现老龄化加重、用工成本上升等趋势^[4]。建筑机器人具备高度自动化、智能化等特性, 可替代重复性、高强度人工劳动, 提升工程建设效率^[5]。底盘控制系统对建筑机器人的可控性、安全性和智能化至关重要, 但传统系统已无法满足现代施工需求。因此, 开发一种集成的先进控制

技术与底盘结合变得必要。本文提出了一种轻量级建筑机器人底盘设计, 以增强其在复杂环境中的稳定性, 并探讨了融合控制系统的关键技术, 包括遥控、远程控制和 PLC 控制系统的实现与调试。本文旨在为建筑机器人的操作提供理论和实践上的指导与支持。

2 轻量化

运用 SolidWorks 对底盘结构进行受力分析和优化计算, 优化底盘结构力学特性, 实现底盘结构轻量化设计。底盘由型材车架(图 1)、前后轴、轮胎、电机与控制系统组成, 如图 2 所示。车架为底盘主体支撑结构。前后轴分别负责转向与驱动; 悬挂系统通过弹簧与减震器抵御路面冲击、保持车身稳定; 刹车系统利用刹车盘、刹车片、刹车卡钳实现底盘制动。

【作者简介】王帅(1989-), 男, 中国湖北随州人, 博士, 高级工程师, 从事智能建造研究。

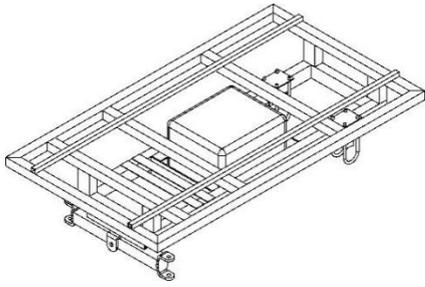


图 1 轻量化底盘车架结构

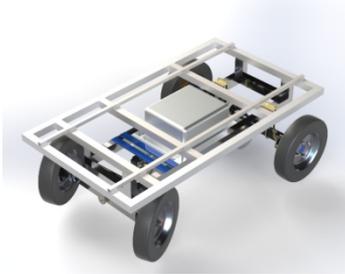


图 2 底盘总装效果示意

3 底盘作动系统原理

步进电机通过舵机控制器实现精确转向，无刷电机控制移动方向。刹车系统由电推杆和鼓刹组成，负责底盘制动。三个电机均配有独立控制器，无线遥控系统协调它们的工作。信号模块让无刷电机和电推杆控制器通讯，执行联动指令。可调模块允许调整转向幅度、速度和伸缩长度，以适应不同工况。综合调试确保模块协同，提升机器人运行效率和稳定性。

表 1 底盘主要作动元件

| | | 无刷电机 | 步进电机 | 电推杆 |
|-------|---------------------|---------|------|---------|
| 初状态 | | | | 推出 (刹车) |
| 遥控器信号 | 前进 (后退) | 前进 (后退) | | 收缩 (松刹) |
| | 左转 (右转) | | 转向回中 | 推出 (刹车) |
| | 注：前进和转向信号可同时进行，互不干涉 | | | |

4 融合控制系统

控制系统负责接收遥控信号，处理传感器和编码器的数据信息，同时向各个电机驱动器发送指令，实现底盘的精确控制。本系统具备多种控制方式于一体，具体如下表

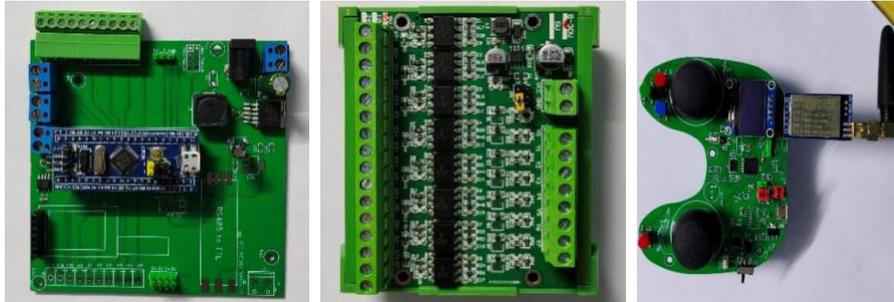


图 3 控制模块

表 2 控制方式

| 序号 | 控制方式 | 适用特点 |
|----|----------|--------------------------------|
| 1 | 遥控方式 | 适用于短距离、实时要求高、延迟率低的场景。如混凝土施工作业。 |
| 2 | 远程控制 | 适用于长距离作业的场景，如智能道路巡检机器人。 |
| 3 | PLC 作业方式 | 适用于机械重复性工作，如定点钻孔作业，土方路线压实。 |
| 4 | 磁导循迹 | 适用于既定线路的作业，如地面开槽作业。 |
| 5 | 自主导航 | 适用于需要自助决策的场景，如喷涂、自主搬运等作业。 |

4.1 遥控系统

4.1.1 线控转向系统

线控转向系统包括伺服电机、驱动器、光电编码器和万向节。系统启动时，光电编码器记录电机位置，数值 50000 表示中立位置。控制单元接收转向信号后，驱动器使电机旋转，数值相应变化。信号消失时，电机停止转向。控制单元程序使电机反向旋转，直到编码器数值回到 50000，完成回中。若转向信号持续，编码器数值超出阈值，系统将限位。

4.1.2 线控驱动系统

永磁同步电机、控制器组成线控驱动系统，当前进或

后退信号输入至控制单元时，控制单元随即驱动控制器，永磁同步电机旋转，实现前进后退功能。

4.1.3 线控制动系统

刹车盘、刹车片和刹车卡钳组成线控制动系统，当制动信号输入至控制单元时，推杆作动并带动刹车连杆，驱动刹车卡钳对刹车片施加压力，实现刹车功能。

4.1.4 遥控系统

遥控手柄为遥控系统主体，包含左右两摇杆、OLED 以及 Lora ATK 01，遥控系统布有多种类型接口，便捷了调试工作。遥控系统的工作原理图如图 5 所示。



图 4 光电编码器输出图

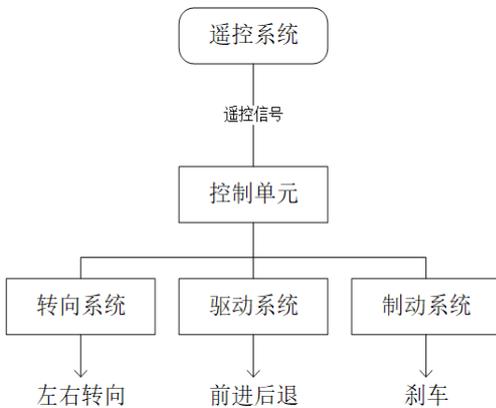


图 5 遥控系统原理图

4.1.5 底盘遥控调试原理

重载线控底盘控制系统程序基于 C 语言编写，依赖 Keil 仿真模式检验代码合理性，如图 6 所示，使用 STLinkV2 烧录代码。通过 M Servo Suite 精确配置伺服参数，选用 Position(I/O Controlled) 为主控模式，如图 7 所示。使用 Lora ATK 01 发送与接收信号，如图 8 所示。利用 STM32F10 系列工业控制板进行数据处理工作。使用 CH340E 串口模块实现伺服位置的可视化。

4.1.6 底盘调试过程

重载线控底盘的调试过程需结合实际使用场景合理调整参数数值。表 3 提供基本底盘调试用例，实现底盘移动精细调控。经实验验证本研究的重载线控底盘控制系统测试结果均符合预期，运行效果优秀。

4.2 远程控制系统

4.2.1 远程控制系统原理

远程控制通过手机 App 发送指令，经由网络和服务器传输至接收模块，转换为 PWM 信号驱动电机。高清摄像头实时传输视频，确保低延迟和高可靠性。接收模块与驱动系统直接连接，提高响应速度和稳定性。

4.2.2 远程控制系统工作流程

远程控制系统利用网络通信，让用户通过手机 App 发送指令至云端服务器，服务器再将指令转发至目标小车，控制其电机实现移动或停止。

同时，摄像头模块将实时画面压缩后上传，用户通过 App 实时接收视频流，形成可视化界面。系统采用双通道传输控制指令和视频流，确保互不干扰，并通过心跳检测机制监测网络连接，保障安全。

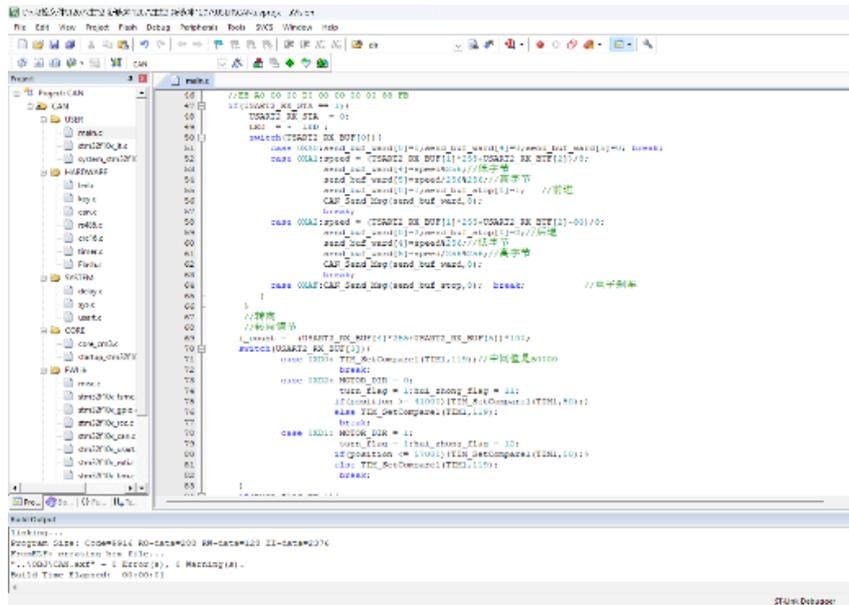


图 6 代码合理性检验图

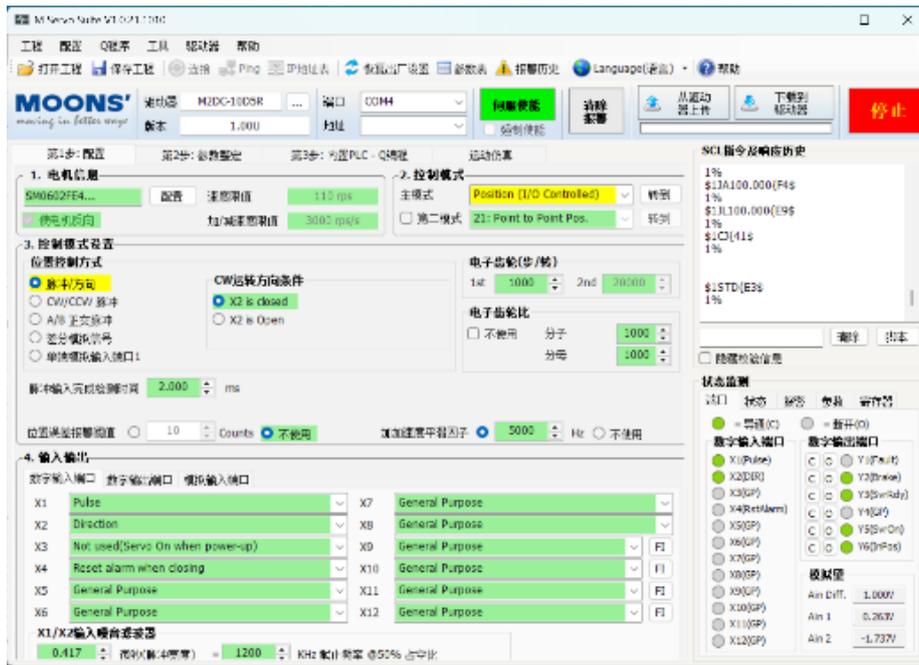


图 7 伺服参数配置图

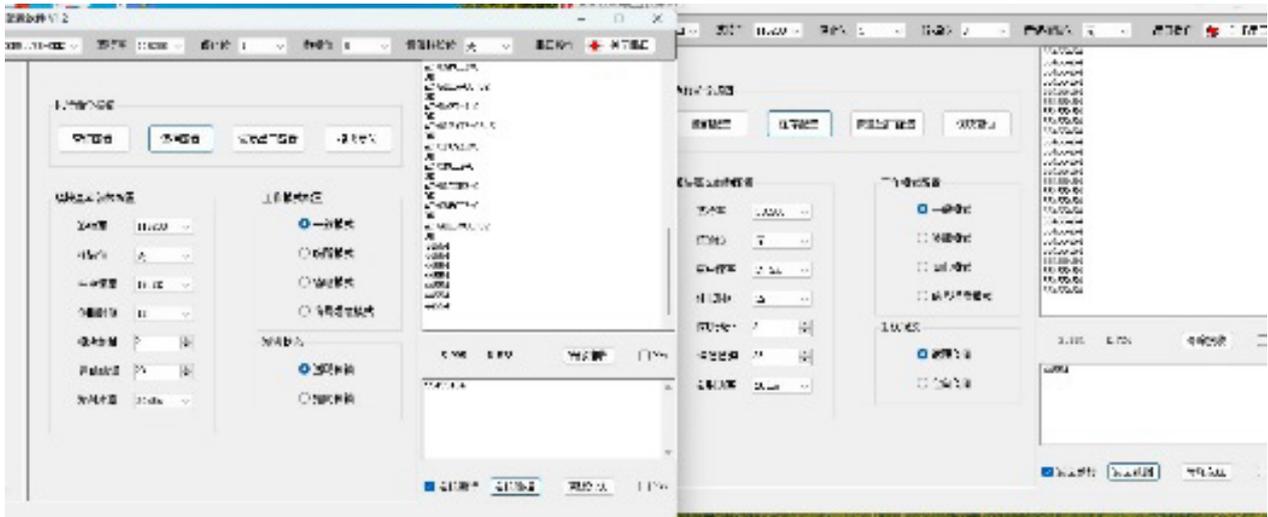


图 8 Lora 配置图

表 3 底盘调试用例表

| 调试用例 | 用例名称 | 调试步骤 | 预期结果 |
|-------|------------|-------------------|------------------|
| TC001 | 启动底盘 | 底盘上电, 观察底盘状态 | 底盘正常上电, 无异常 |
| TC002 | 转向测试 | 短时遥控转向, 观察转向轮 | 转向正常 |
| TC003 | 转向限位测试 | 持续遥控同一方向转向, 观察转向轮 | 转向到预设偏转角度时, 转向停止 |
| TC004 | 转向回中测试 | 遥控转向 5s 后停止遥控 | 停止遥控后, 转向轮可自动回中 |
| TC005 | 前进测试 | 持续遥控前进 | 驱动轮加速至速度最大值并保持不变 |
| TC006 | 后退测试 | 持续遥控后退 | 驱动轮加速至速度最大值并保持不变 |
| TC007 | 转向驱动同时操作测试 | 同时遥控转向与前进或后退 | 转向与前进或后退均可流畅运作 |
| TC008 | 制动测试 | 驱动遥控后执行制动操作 | 驱动轮立即制动 |
| TC009 | 异常断电测试 | 遥控操作底盘过程中予以断电 | 驱动轮立即制动, 转向轮回中 |



图 9 网络发射机



图 10 4G 接收机



图 11 PWM 通道模块



图 12 摄像头



图 13 摄像画面

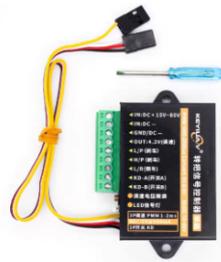


图 14 信号控制器



图 15 驱动器

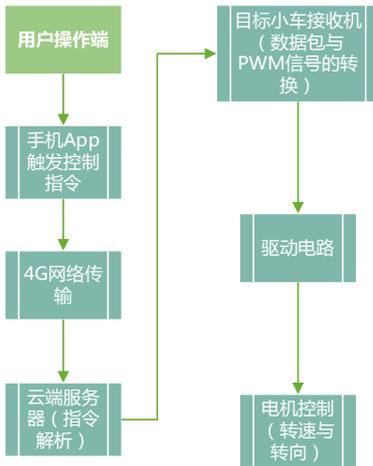


图 16 用户操作端流程图

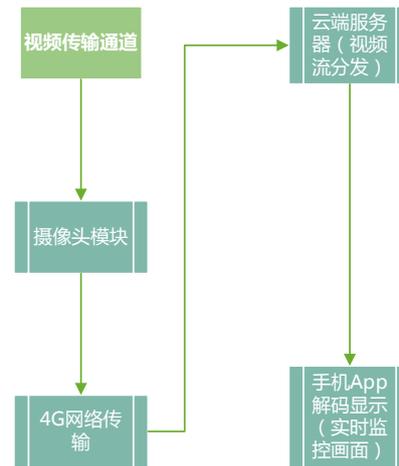


图 17 视频传输流程图

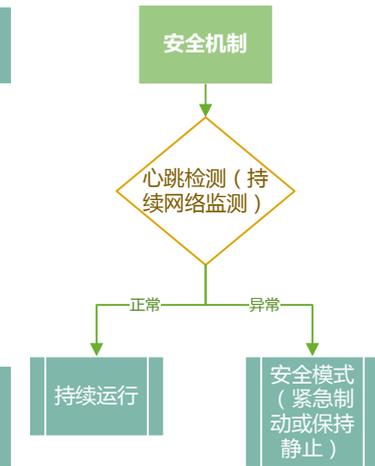


图 18 安全机制流程图

4.2.3 远程控制系统操作方法

用户通过手机 App 登录并保存小车信息后，与目标小车建立连接。连接后，App 显示实时视频和控制面板，用户通过操作控制发送指令至云端服务器，服务器再将指令传给小车接收机，接收机生成 PWM 信号驱动电机，完成控制。

用户可实时监控底盘小车运行和环境，调整路径或速度。通过 App 选择功能，切换控制模式，并发送停车指令使小车停止并待机。系统记录操作日志和异常报警，方便故障排查。本远程控制系统实现了跨地域精确操控底盘小车，满足复杂施工场景的智能化需求。



图 19 虚拟操纵摇杆界面

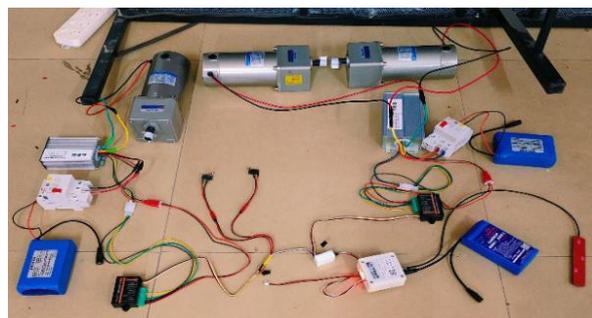


图 20 底盘系统实物图