

双电机升降桌控制系统产品需求文档 (PRD)

版本 V3.0 - 两板集成方案

日期: 2026-03-21

编辑: ETHAN

一、项目目标

开发一套双电机升降控制系统，用于精准控制两台独立电机，实现桌面与显示器的同步/独立升降，满足办公场景便捷、安全、稳定的使用需求，具体功能如下：

- 电机控制：电机 1（桌面升降）、电机 2（显示器升降），支持独立控制、同步记忆，运行平稳无卡顿、无异响；
- 控制方式：电容触控控制（4 键，穿透式）、433MHz 无线遥控控制，两种方式独立工作、互不干扰；
- 记忆功能：支持站姿、坐姿两个记忆档位，可覆盖多数用户使用场景，支持档位更新与覆盖；
- 行程管理：自动行程学习功能，可自动识别电机行程极限，规避机械卡顿、损坏风险；
- 安全保障：具备完整安全保护机制（重点补充常规必备项），确保使用过程安全可靠；
- 运行稳定性：支持长期连续运行，具备休眠/唤醒节能功能，降低待机功耗。

二、系统架构（强制要求）

2.1 整体架构（两板方案）

主控板 (MCB)	
- 双电机驱动 (H 桥+PWM)	
- 霍尔信号处理 (双路 AB 相, 精准测速/定位)	
- 主逻辑控制与安全保护 (核心逻辑中枢)	
- 电源转换 (24~29V → 5V, 供 HMI 板及霍尔元件)	
- UART 通信接口 (与 HMI 板双向通信)	

↑ UART 通信线 (≤2m)

(5V / TX / RX / GND, 建议屏蔽)

HMI+无线合并板	
- 电容触控区 (4 弹簧, 中心灯珠, 对应 4 个控制按键)	
- 天线区 (433MHz, 独立净空设计)	
- 本地 MCU (处理触控、背光、无线接收、UART 通信)	
- 集成 433 无线接收模块 (独立电源滤波)	
- UART 通信接口 (与主控板双向通信)	

2.2 架构设计原则（不可更改）

1. 安装位置：主控板（MCB）位于底部金属结构内，负责电机驱动、主逻辑及安全保护；HMI+无线合并板安装在桌面内部（非金属环境），集成触控与无线功能，避免金属干扰。
2. 通信要求：主控与HMI之间采用UART通信，线缆长度≤2m，需具备抗干扰设计（如屏蔽线），确保通信稳定无丢包。
3. 无线模块：必须集成在HMI板上，远离金属结构，与触控弹簧保持≥15mm间距，避免信号干扰；天线区域需严格遵循净空要求。
4. 触控处理：电容触控原始信号需在HMI板上本地处理（本地MCU负责），禁止通过长线传输，避免信号衰减、误触发；HMI板需独立MCU，不得依赖主控进行触控扫描。
5. 接地要求：HMI板需分区布局，模拟地与数字地单点汇合，避免大面积混用，降低干扰。

三、硬件系统要求

3.1 主控板（MCB）

3.1.1 核心功能（补充常规必备细节）：

- 双电机驱动：支持双路独立正反转控制，采用H桥+PWM调速，确保电机运行平稳，无明显顿挫；
- 霍尔信号处理：双路AB相霍尔信号采集，用于电机转速、位置检测，需做RC滤波及施密特触发处理，避免信号抖动；
- 主逻辑控制：执行HMI板/遥控器指令，实现电机升降、记忆、行程学习等功能，具备指令校验机制；
- 安全保护：集成过流、过压、过载、遇阻回弹等保护功能（核心补充，升降桌常规必备）；
- 通信功能：与HMI板通过UART双向通信，支持指令校验和超时重发机制；
- 休眠/唤醒：支持休眠模式，降低待机功耗，可通过触控、遥控器唤醒。

3.1.2 电气要求（明确参数，补充细节）：

项目	具体要求	补充说明（常规适配）
输入电压	24~29V DC	适配办公升降桌常规电源，支持±10%电压波动
输出	5V DC	供HMI板、霍尔元件使用，输出稳定无纹波
电机驱动	双路独立H桥	不接受继电器切换方向，避免触点磨损、信号延迟
持续电流	≥2A/路	适配常规桌面/显示器电机功率，预留10%余量
峰值电流	≥3A/路	应对电机启动、负载突变场景，避免驱动芯片损坏
待机功耗	≤0.5W（休眠状态下）	正常工作状态功耗≤5W，符合节能要求

3.1.3 驱动要求（强化细节，适配常规电机）：

- 必须支持正反转（H桥或等效方案），不接受继电器切换方向，避免切换延迟、触点氧化；
- PWM频率≥20kHz，避免电机运行产生可闻噪音（人耳可闻频率≤20kHz）；
- Hall信号需做RC滤波（建议10kΩ电阻+100nF电容）及施密特触发处理，消除信号抖动，确保位置检测精准；
- 电机转速可调（通过PWM占空比调节），默认转速适配常规办公场景，避免升降过快/过慢。

3.1.4 5V 电源方案（补充可靠性要求）：

24V→5V 降压建议采用同步降压 DC-DC（如 MP2307 或同类），效率≥85%，输出电流≥500mA（含 HMI 板+霍尔供电余量，建议预留 20%余量）；输出端需加滤波电容（100nF+10μF），确保电源稳定，避免干扰触控、无线信号。

3.1.5 硬件急停（强化安全，补充常规设计）：

硬件急停通过切断 24V 主供电链路实现（串联急停开关或继电器），MCU 软件急停为辅助手段，不可替代硬件断电；急停触发后，所有电机立即停止运行，需手动复位才能恢复正常，同时 LED 背光闪烁提示故障。

3.1.6 电机接口线序（明确规范，便于量产）：

电机线序建议按捷昌标准 6 芯：MOTOR+、MOTOR-、HALL_B、HALL_A、HALL_GND、HALL_5V；若使用其他线序，需提前与甲方沟通确认，提供线序对照表，确保与甲方机械装置兼容；接口采用防呆设计，避免插反损坏设备。

3.2 HMI+无线合并板（补充常规适配细节，优化模糊项）

3.2.1 功能组成（明确对应关系）：

- 电容触控：4 个独立按键，对应 4 个触控弹簧，每个按键中心配备 1 颗 LED 背光；
- LED 背光：4 个 LED，支持 PWM 调光（亮度可调，默认 3 档亮度），与触控动作联动；
- 本地 MCU：独立处理触控信号、LED 背光控制、无线信号接收、UART 通信，不依赖主控；
- 433MHz 无线接收模块：集成在板上，独立电源滤波，避免干扰；
- 状态指示：LED 背光除了触控反馈，还需支持故障指示（如通信异常、急停触发时闪烁）。

3.2.2 触控要求（不可妥协，补充稳定性细节）：

- 电容弹簧：直径≥12mm，高度 8~10mm，材质为导电弹簧，接触可靠；
- 面板适配：木板，感应距离 3~5mm（局部薄区约 1mm），适配常规办公桌面厚度；
- 触控芯片：需具备上电自动基准校准和自适应环境基准跟踪功能，能稳定穿透木板厚度，不受环境温度、湿度影响（工作温度-10℃~60℃，湿度 20%~80%无冷凝）；
- 抗干扰：触控区域需加 Guard Ring（地线包围），避免无线模块、电机运行产生的干扰，杜绝误触发；
- 信号处理：触控信号在本地处理，不得通过长线传输，处理延迟≤500ms，触控响应灵敏无卡顿。

3.2.3 LED 要求（补充用户体验细节）：

- 每键 1 颗 LED，支持 PWM 调光（默认亮度、低亮度、高亮度三档），可通过组合键调节；
- 背光反馈：触碰按键时，对应 LED 点亮，10 秒无操作自动熄灭（休眠）；电机运行时，对应按键 LED 闪烁，停止运行后常亮 3 秒再熄灭；
- 故障指示：通信异常、急停触发时，所有 LED 闪烁（频率 1Hz），直至故障排除。

3.2.4 无线模块要求（强化稳定性，补充常规适配）：

- 频率：433MHz（学习码，EV1527 协议），与市售常规遥控器兼容；
- 通信距离：室内≥5 米，无遮挡环境下≥10 米，信号稳定无丢包；
- 布局要求：模块集成在 HMI 板上，远离金属结构，与触控弹簧保持≥15mm 间距；天线区域（后部约 53×17mm）正反面禁止铺铜，天线走线做阻抗匹配（50Ω），确保信号接收稳定；
- 电源滤波：无线模块电源需独立滤波（100nF+10μF），不与触控芯片共用电源，避免干扰；
- 抗干扰：无线模块与触控区域物理分隔，避免触控信号干扰无线接收，确保同时操作时互不影响。

3.2.5 遥控器配套（明确规范，便于采购）：

配套遥控器由厂家推荐或采购市售 433MHz EV1527 学习码遥控器（4 键），需与接收方案兼容，按键功能与触控按键一一对应；厂家需提供配对测试说明、配对重置方法，支持多遥控器配对（最多 5 个），便于多人使用。

3.2.6 布局建议（补充量产适配细节）：

- 板卡尺寸：约 53×70mm（具体以附图为准），触控区与天线区物理分隔，避免相互干扰；

- 走线要求：触控感应走线建议加 Guard Ring（地线包围），减少干扰；无线天线走线尽量短，避免弯折；
- 接地要求：触控 IC 的模拟地与无线模块的数字地单点汇合，避免大面积混用，降低地干扰；
- 接口位置：UART 接口（5V/TX/RX/GND）放置于板侧边，采用防呆接口，方便与主控板连接，便于量产装配；
- 散热设计：板上功率器件（如 MCU）需预留散热空间，避免长期工作过热损坏。

3.3 通信接口（补充抗干扰、可靠性细节）

3.3.1 主控 ↔ HMI:

- 通信方式：UART，线长≤2m，建议使用屏蔽线或双绞线，远离电机动力线（间距≥10cm），避免电磁干扰；
- 电平：5V 逻辑，建议上拉 4.7kΩ电阻，增强抗干扰能力；
- 校验机制：支持 CRC 校验（如 CRC8）和超时机制（超时时间建议 100ms），超时后自动重发指令，确保通信无丢包、无错发；
- 通信速率：建议 9600bps，兼顾速率与稳定性，可根据实际需求调整（需双方确认）。

3.3.2 HMI ↔ 无线模块:

由模块接口决定（UART/GPIO），直接连接至本地 MCU，通信速率与模块匹配，需具备信号滤波功能，避免干扰导致的指令误判。

四、功能逻辑（补充遗漏项，优化模糊指令，与常规升降桌功能对齐）

详细功能逻辑按以下补充后的指令执行，原《功能逻辑表》与本部分不一致的，以本部分为准；厂家需完整实现所有指令，确保操作便捷、逻辑严谨。

4.1 基础唤醒/休眠指令:

- 触碰任意按键：唤醒系统，LED 背光灯点亮（默认亮度），不执行电机动作；
- 10 秒无任何操作（触控、遥控）：系统进入休眠状态，LED 灯熄灭，待机功耗≤0.5W；
- 休眠唤醒：触碰任意按键或按下遥控器任意键，均可唤醒系统，LED 点亮。

4.2 电机独立控制指令（长按触发，松手停止）:

- 按键 1 长按 1 秒后：1 号电机（桌面）持续上升，手指离开按键，电机立即停止；
- 按键 2 长按 1 秒后：1 号电机（桌面）持续下降，手指离开按键，电机立即停止；
- 按键 3 长按 1 秒后：2 号电机（显示器）持续上升，手指离开按键，电机立即停止；
- 按键 4 长按 1 秒后：2 号电机（显示器）持续下降，手指离开按键，电机立即停止；
- 补充：电机运行时，对应按键 LED 闪烁（频率 2Hz），停止后常亮 3 秒再恢复正常状态。

4.3 老化测试指令（补充退出机制，避免误触发）:

- 按键 1 连击三下（1 秒内）：1 号电机进入老化测试模式（持续上下运行），按任意按键（触控/遥控）立即退出老化测试，电机停止；
- 按键 3 连击三下（1 秒内）：2 号电机进入老化测试模式（持续上下运行），按任意按键（触控/遥控）立即退出老化测试，电机停止；
- 补充：老化测试模式下，所有 LED 常亮，退出后恢复正常背光逻辑。

4.4 行程学习指令（补充细节，规避机械损坏）:

- 同时长按按键 1 和按键 2（5 秒，LED 闪烁提示）：1 号电机运行至最高点（遇阻/行程槽限制），停顿 1 秒后转而向下运行，直至最低点（遇阻/行程槽限制），再向上运行 5mm 后停止；系统自动学习行程总长度，上下极限分别减去 5mm，设置为出厂默认起点/终点，完成后 LED 常亮 3 秒提示；
- 同时长按按键 3 和按键 4（5 秒，LED 闪烁提示）：2 号电机运行至最高点（遇阻/行程槽限制），停顿 1 秒后转而向下运行，直至最低点（遇阻/行程槽限制），再向上运行 5mm 后停止；系统自动学习行程总长度，上下极限分别减去 5mm，设置为出厂默认起点/终点，完成后 LED 常亮 3 秒提示；

- 补充：行程学习过程中，按任意按键可中断学习，需重新触发学习指令；学习完成后，电机运行时不会超出设定的上下极限。

4.5 记忆档位设置指令（补充覆盖逻辑，明确同步/独立）：

- 同时长按按键 1 和按键 4（5 秒，LED 闪烁提示）：当前 1 号、2 号电机的高度同时保存为记忆高档（站姿），覆盖之前设置的站姿档位，保存完成后 LED 常亮 3 秒提示；

- 同时长按按键 2 和按键 3（5 秒，LED 闪烁提示）：当前 1 号、2 号电机的高度同时保存为记忆底档（坐姿），覆盖之前设置的坐姿档位，保存完成后 LED 常亮 3 秒提示；

- 补充：记忆档位断电后不丢失（MCU 内置 EEPROM 存储），支持多次更新覆盖。

4.6 记忆档位调用指令（修正模糊表述，明确操作逻辑）：

- 同时长按按键 1 和按键 3（1 秒以上）：1 号电机（桌面）运行至记忆高档（站姿），运行过程中对应 LED 闪烁，到达后常亮 3 秒；若已在站姿档位，电机不动作，LED 闪烁提示；

- 同时长按按键 2 和按键 4（1 秒以上）：1 号电机（桌面）运行至记忆底档（坐姿），运行过程中对应 LED 闪烁，到达后常亮 3 秒；若已在坐姿档位，电机不动作，LED 闪烁提示；

- 补充：遥控器对应组合键（与触控按键功能一致），可同步调用记忆档位；调用过程中，按任意按键可停止电机运行。

4.7 补充常规必备功能（升降桌核心安全/便捷功能，原 PRD 遗漏）：

- 遇阻保护：电机运行过程中，遇到障碍物（阻力 \geq 设定阈值，建议 50N），立即停止运行，并反向运行 5mm（规避卡死），同时 LED 闪烁提示（频率 1Hz），需重新触发按键才能继续运行；

- 同步升降：长按遥控器“同步”键（若遥控器支持），1 号、2 号电机同步上升/下降，速度一致，松手停止；

- 故障复位：系统出现通信异常、电机卡顿等，长按任意按键 5 秒，系统复位，恢复出厂默认设置（记忆档位保留）；

- 遥控器配对：长按 HMI 板任意按键 10 秒，进入遥控器配对模式（LED 快速闪烁），按下遥控器任意键，配对成功（LED 常亮 3 秒）；最多配对 5 个遥控器，配对满后，新遥控器配对将覆盖最早配对的遥控器。

五、抗干扰要求（必须满足，补充常规场景）

系统在电机运行、LED PWM 调光、长线通信、无线接收等所有工作场景下，必须稳定运行，不得出现误触发、死机、无线失效、电机卡顿等问题，具体要求如下：

1. 布局要求：HMI 板严格分区（触控区、无线区、MCU 区），单点接地，避免地干扰；
2. 电源滤波：无线模块、触控芯片、MCU 各自独立电源滤波，避免电源干扰；
3. 通信抗干扰：UART 通信线建议使用屏蔽线或双绞线，远离电机动力线（间距 \geq 10cm），接口加下拉电阻，增强抗干扰能力；
4. 触控抗干扰：触控区域加 Guard Ring，无线模块与触控弹簧保持 \geq 15mm 间距，避免无线信号干扰触控；
5. 电机干扰：电机动力线加磁环滤波，避免电机运行产生的电磁干扰影响主控、HMI 板工作；
6. 环境抗干扰：系统在工作温度 $-10^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 、湿度 20%~80%无冷凝环境下，抗干扰性能稳定，无异常。

六、交付要求（量产级，补充细节，确保可直接移交生产）

厂家必须交付以下全部文件及物品，确保可直接移交生产，无任何遗漏，文件格式符合甲方生产要求：

类别	具体内容	补充要求（量产适配）
硬件	原理图（源文件+PDF）、PCB（源文件+Gerber）、BOM（含替代料）、贴片坐标文件、装配图	1. 源文件格式兼容主流设计软件（如 Altium Designer）；2. BOM 表标注元器件型号、规格、品牌、单价、供应商、替代料（至少 1 种）；3. Gerber 文件符合量产标准，可直接用于 PCB 打样；4. 装配图标注安装尺寸、接口位置、防呆设计细节

固件	完整源码（C 语言，注释清晰）、烧录文件（hex/bin）、烧录工具及说明	1. 源码注释率≥50%，逻辑清晰，可直接编译生成目标 Hex 文件，无加密、无缺失；2. 烧录工具兼容 Windows 系统，说明文档详细（含操作步骤、常见问题排查）；3. 提供固件升级方法，支持后续功能迭代
测试	功能测试规范、老化测试方案（≥48 小时）	1. 功能测试规范对应本 PRD 所有功能，逐项列出测试方法、判定标准；2. 老化测试方案明确测试环境、测试时长、测试指标（如连续运行 48 小时无异常）、故障判定及处理方法
其他	线束图纸、接口定义、装配说明	1. 线束图纸标注线长、线径、接口定义、屏蔽要求；2. 接口定义详细（含引脚功能、电压、电流）；3. 装配说明标注安装步骤、注意事项、工具要求，便于工厂批量装配

七、验收标准（补充量化指标，确保可落地验收）

- 7.1 功能验收：按本 PRD“四、功能逻辑”及补充条款逐项验证，所有指令执行准确、无异常，无功能缺失；
- 7.2 无线验收：遥控器室内 5 米内稳定控制（无遮挡），按键响应延迟≤500ms，配对可靠，无丢包、误触发；无遮挡环境下通信距离≥10 米；
- 7.3 稳定性验收：系统连续运行 48 小时无异常（含休眠/唤醒、电机升降、无线控制），无死机、无重启、无功能失效；待机功耗≤0.5W，工作功耗≤5W；
- 7.4 触控验收：3~5mm 实木板穿透触控灵敏，无漏触、误触发，响应延迟≤500ms；环境温度-10℃~60℃、湿度 20%~80%无冷凝时，触控性能稳定；
- 7.5 安全验收：遇阻保护、急停功能正常，电机运行遇阻后立即停止并反向，急停触发后切断主供电；过流、过压保护功能正常；
- 7.6 量产文件验收：所有交付文件齐全、规范，可支持工厂直接生产、测试、装配，无遗漏、无错误；
- 7.7 样机验收：6 套工程样机外观无损坏，接口无松动，装配规范；所有功能测试通过，符合本 PRD 要求。

八、厂家评估要求（补充量化指标，便于甲方评估）

厂家需在合同签订后 3 个工作日内，向甲方提供以下评估资料，确保方案可行、周期可控、成本合理：

- 8.1 方案说明：明确是否基于现有平台开发，简要说明技术路线（如 MCU 选型、驱动方案、触控方案、无线方案），说明方案优势及风险点（如布局难度、触控稳定性）；
- 8.2 样品周期：明确从合同签订、收到首付款之日起，到提供 2 套完整样机（可正常测试功能）的具体时间（精确到自然日）；
- 8.3 报价：NRE（研发费）与 BOM 成本（按 1000 套批量）分开列出，BOM 成本需明细到每个元器件（含替代料），标注品牌、单价、用量，确保透明可核查；
- 8.4 重点评估（必须提供详细说明，附示意图）：
- (1) 53×70mm 空间内集成触控、LED、MCU、433 模块及天线的布局可行性，提供初步 PCB 布局示意图，标注各模块位置、间距，说明如何规避干扰；
 - (2) 3~5mm 实木板穿透的触控灵敏度稳定性，说明选用的触控 IC 型号、测试方法，提供触控测试数据（如不同木板厚度的响应率、误触发率）；
 - (3) 天线区净空及抗干扰措施的实现，说明天线设计方案、净空尺寸、阻抗匹配方法，提供无线接收测试数据（如通信距离、丢包率）；

(4) 电机驱动稳定性评估, 说明驱动芯片选型、过流/过载保护实现方式, 确保电机运行平稳、无噪音。

附：推荐器件参考清单

(厂家可替换同等性能器件, 需提前与甲方沟通确认, 确保兼容性、稳定性及成本可控)

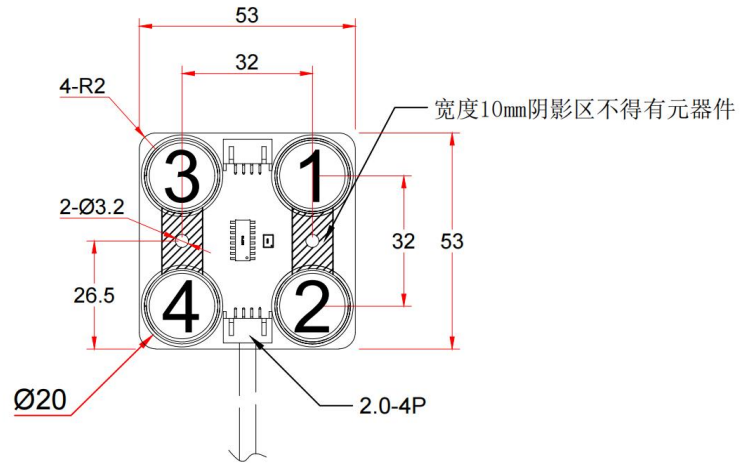
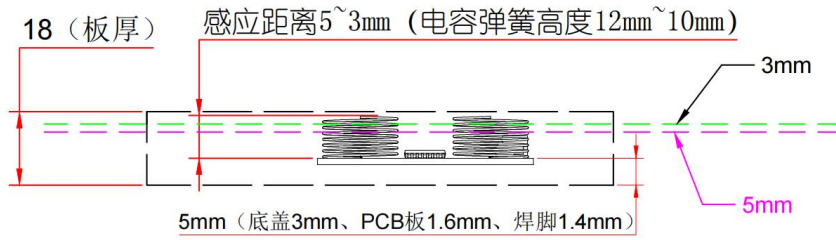
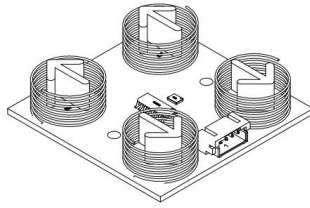
器件类别	推荐型号	封装	参考单价	备注 (适配要求)
主控 MCU	STC8H8K64U	LQFP-32	~2 元	需支持双路 PWM、UART 通信、霍尔信号处理, 运算速度满足主逻辑需求
HMI MCU	STC8G1K08	SOP-16	~0.8 元	需支持 UART 通信、触控信号处理、LED PWM 调光, 功耗低
P-MOS 高边	AP40P100K	TO-252	~0.6 元	耐压≥30V, 持续电流≥2A, 适配电机驱动
N-MOS 低边	HYG180N10LS1P	TO-220FB	~0.6 元	耐压≥100V, 持续电流≥18A, 适配电机驱动
电容触控 IC	BS86C04A (合泰)	SOP-16	~1.5 元	支持 4 路触控, 具备自动校准、环境自适应功能, 可穿透 3~5mm 木板
433 接收 IC	SYN480R (杰盛微)	SOP-8	~0.7 元	支持 EV1527 学习码, 接收灵敏度高, 抗干扰能力强
5V 电源	MP2307/MP1584 类	SOT-23	~0.5 元	同步降压, 效率≥85%, 输出电流≥500mA, 输出稳定无纹波

说明: 以上器件仅为参考, 厂家可根据自身供应链选用同等性能、封装兼容、成本相当的替代料, 需提前与甲方沟通确认, 提供替代料型号、参数对比表, 确保不影响系统功能及稳定性。

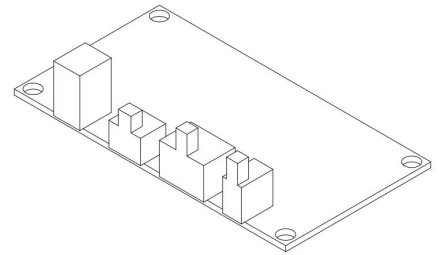
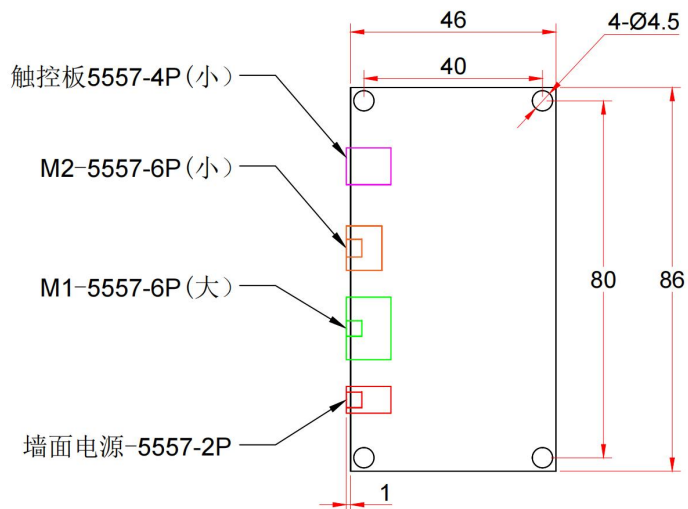
附件一 板框 (附图: HMI 板、主控板板框尺寸图, 标注关键尺寸、接口位置、天线区净空范围)

附件二 功能逻辑表 (与本 PRD“四、功能逻辑”一致, 详细列出所有指令、触发条件、执行结果)

附件一 板框



功能逻辑表 (附后)



双电机 4 按键控制板交互指令

指令：触碰任意按键：唤醒控制，LED 背光灯点亮，不执行动作，10 秒无操作，LED 灯熄灭。

指令：按键 1 长按 1 秒后：1 号电机持续上，手指离开：停止

指令：连击按键 1 三下按键 1（1 秒内）1 号电机老化测试模式（按任意键退出老化测试）

指令：按键 2 长接触 1 秒后：1 号电机持续下手指离开：停止

指令：按键 3 长接触 1 秒后：2 号电机持续上，手指离开：停止

指令：按键 3 连击三下按键 3（1 秒内）2 号电机老化测试模式（按任意键退出老化测试）

指令：按键 4 长接触 1 秒后：2 号电机持续下手指离开：停止

指令：同时长按：按键 1 和按键 2（5 秒）：1 号电机运行至最高点遇阻（行程槽限制）转而向下运行到最低点向上 5mm 后，自动学习行程总长度上下分别减去 5mm，此处设置为出厂设置起点。

指令：同时长触：按键 3、按键 4（5 秒）：2 号电机运行至最高点遇阻（行程槽限制）转而向下运行到最低点向上 5mm 后，自动学习行程总长度上下分别减去 5mm，此处设置为出厂设置起点。

指令：同时长触：按键 1、按键 4（5 秒）：当前高度保存为（1 号和 2 号电机）记忆高档（站姿）

之前设置高度自动更新

指令：同时长触：按键 2、按键 3，（5 秒）：当前高度保存为（1 号和 2 号电机）记忆底档（坐姿）

之前设置高度自动更新

指令：同时长触按键 1、按键 3，1 秒以上：（不需要触摸）（1 号电机）运行至记忆高档（站姿）

指令：同时长触按键 2、按键 4，1 秒以上：（不需要长触）（1 号电机）运行至记忆底档（坐姿）