|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | | | | |  | |  |
|  | **文件号：** | | | | | **MS-003.20W001** | |  |
|  |  | | |  | | | | |
| **MS-003** | | | | | | | | |
|  | |  |  |  |  | |  | |
| **嵌入式硬件概要设计说明书** | | | | | | | | |
|  | |  |  |  |  | |  | |
|  | |  |  |  |  | |  | |
| 编制人： | |  |  | 日期： |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  | |  | |
| 审核人： | |  |  | 日期： |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  | |  | |
| 批准人： | |  |  | 日期： |  | |  | |
|  |  | | |  | | | | |

文档更改履历

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 版本号 | 发布/实施日期 | 更改内容概述 | 更改者 |
| V1.0 |  | 文件新编 |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**保密条款**

文档仅限产品（项目）组内流转，违者负相应法律责任。

**目录**

[1. 引言 4](#_Toc29527)

[1.1. 编写目的 4](#_Toc28246)

[1.2. 项目背景 4](#_Toc15906)

[1.3. 术语及缩写词 4](#_Toc10709)

[1.4. 参考资料 4](#_Toc15656)

[1.5. 系统设计原则 5](#_Toc2262)

[1.6. 开发环境 5](#_Toc14855)

[2. 任务概述 5](#_Toc14905)

[2.1. 目标 5](#_Toc19717)

[2.2. 功能需求与实现 5](#_Toc11876)

[3. 总体设计 12](#_Toc302)

[3.1. 控制板概述 13](#_Toc6031)

[3.1.1. 台车控制板 13](#_Toc3553)

[3.1.2. 升降控制板 14](#_Toc3446)

[4. 接口设计 15](#_Toc31303)

[4.1. 外部接口定义 15](#_Toc30615)

[4.1.1. 台车控制板 15](#_Toc24846)

[4.1.2. 升降控制板 15](#_Toc14950)

[5. 功能说明 16](#_Toc32596)

[5.1.1. 台车控制板 16](#_Toc18206)

[5.1.2. 升降控制板 16](#_Toc20401)

[6. 法规标准 17](#_Toc27415)

# 引言

## 编写目的

为了规范及保证MS-003项目工作合理有序地开展，作一个任务目标的阐述和总体系统框架结构的设计，明确系统处理流程、各个模块及模块之间的关联、也包括系统的内外部接口、以及其他各种主要问题的解决方案。本文档是针对硬件系统进行概要设计，将系统设计成可模块化的方案。

本项目概要设计说明书用于MS-003，并面向项目组全体成员。

## 项目背景

髋关节置换手术机器人能够实现手术的微创化、精准化、标准化，是髋关节置换手术的发展方向。本项目是一款适用于国内临床需求的髋关节置换手术机器人，具有实用性强、操作便捷、培训学习周期短的特点。

## 术语及缩写词

本项目开发硬件中文全称：台车控制板、升降控制板。

台车控制板：实现机械臂开关机自由拖动定位、状态指示灯光控制、升降立柱控制、UPS通讯关机等功能的线路板。

升降控制板：实现多个立柱电源控制，以实现台车在升降时保持水平状态的控制电路板。

UPS：不间断电源(Uninterruptible Power Supply)，是一种含有储能装置的不间断电源。主要用于给部分对电源稳定性要求较高的设备，提供不间断的电源。

串口通信(Serial Communication):是指外设和单片机间，通过数据信号线、地线、控制线等，按位进行传输数据的一种通讯方式。这种通信方式使用的数据线少，在远距离通信中可以节约通信成本，但其传输速度比并行传输低。

USB：英文Universal Serial Bus（通用串行总线）的缩写，是一个[外部总线](https://baike.baidu.com/item/%E5%A4%96%E9%83%A8%E6%80%BB%E7%BA%BF" \t "https://baike.baidu.com/item/USB/_blank)标准，用于规范[电脑](https://baike.baidu.com/item/%E7%94%B5%E8%84%91/124859" \t "https://baike.baidu.com/item/USB/_blank)与[外部设备](https://baike.baidu.com/item/%E5%A4%96%E9%83%A8%E8%AE%BE%E5%A4%87" \t "https://baike.baidu.com/item/USB/_blank)的连接和[通讯](https://baike.baidu.com/item/%E9%80%9A%E8%AE%AF/396194" \t "https://baike.baidu.com/item/USB/_blank)，是应用在[PC](https://baike.baidu.com/item/PC/107" \t "https://baike.baidu.com/item/USB/_blank)领域的接口技术。

## 参考资料

《技术需求规格书》

《STM32F103xC数据手册》

《TPS54202数据表》

《RZ7899数据手册》

## 系统设计原则

硬件系统设计要遵循安全性、合理性、经济性、实用性和规范性等原则。

## 开发环境

表1.6-1 开发环境

|  |  |
| --- | --- |
| 操作系统 | Windows10 64位 |
| 硬件设计工具 | 立创EDA V1.5.32 |
| 调试工具 | 电烙铁，直流稳压电源，万用表，示波器 |

# 任务概述

## 目标

开发本硬件系统的预期目标：旨在规范及保证MS-003项目工作合理有序的开展，作一个任务目标的阐述和总体系统框架结构的设计，明确系统处理流程、各个模块及模块之间的关联、也包括系统的内外部接口、以及其他各种主要问题的解决方案。

## 功能需求与实现

表2.3－1 功能模块说明

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **产品性能需求** | | | |
| **输入需**  **求序号** | **功能需求** | **硬件实现方式** | **功能说明** |
| PR0103 | UPS供电持续工作≥5分钟 | 根据电池安时=[（功率×功率因素）÷（直流电压×效率）]×供电时间；按预估1000VA输出功率计算，UPS选择容量应在0.356AH以上，可预留一些设计余量 |  |
| PR0201 | 机械臂自由度≥7自由度 | 选择机械臂需要大于7个自由度 |  |
| PR0202 | 机械臂有效功能半径≥800mm | 选择机械臂有效功能半径≥800mm |  |
| PR0203 | 绝对定位≤0.8mm | 选择机械臂绝对定位≤0.8mm |  |
| PR0204 | 重复定位精度≤0.15mm | 选择机械臂重复定位精度≤0.15mm |  |
| PR0301 | 髋臼钻功率≥100W | 选择髋臼钻功率≥100W |  |
| PR0302 | 髋臼钻转速≥250r/min | 选择髋臼钻转速≥250r/min |  |
| PR0303 | 髋臼钻扭矩≥10Nm | 选择髋臼钻扭矩≥10Nm |  |
| PR0401 | 精度≤0.25mm | 选择相应双目相机实现 |  |
| PR0402 | 定位激光功率≤5mW | 选择相应双目相机实现 |  |
| PR0403 | 最大刷新频率≥60Hz | 选择相应双目相机实现 |  |
| PR0404 | 光学跟踪相机重量≤1.7Kg | 选择相应双目相机实现 |  |
| PR0405 | 视场范围纵向范围950mm至3000mm，  横向范围480mm\*448mm 至1856mm\*1470mm | 选择相应双目相机实现 |  |
| PR0501 | 内存容量≥16GB | 选择相应主站机器 |  |
| PR0502 | 硬盘容量≥1TB | 选择相应主站机器 |  |
| PR0503 | CPU主频≥3.6GHz | 选择相应主站机器 |  |
| PR0504 | GPU内存≥8GB | 选择相应主站机器 |  |
| PR0505 | 显存频率≥14Gbps | 选择相应主站机器 |  |
| **导航台车功能需求** | | | |
| **输入需**  **求序号** | **功能需求** | **硬件实现方式说明** | **功能说明** |
| TR140001 | 使用环境：手术室 | 采用符合GB/T 14710-2009环境要求的元器件，同时进行优化设计 |  |
| TR140003 | 供电方式：AC 220V 50/60Hz 2A | 选用AC 220V 50/60Hz 2A电源配套器件 |  |
| TR140101 | 接口：HDMI接口1个 | 工作站选择应具有HDMI输出功能 |  |
| TR140102 | 接口：千兆网口1个 | 使用交换机扩展网口 |  |
| TR140103 | 接口：电源接口1个（防脱落设计） | 电源接口选用带防脱落装置的接口 |  |
| TR140201 | 开关按钮：电源总开关1个 | 电源部分外置一个开关 |  |
| TR140301 | 灯光：电源指示灯1个，设备上电后立即亮起 | 电源开关并联一个指示灯 |  |
| TR140302 | 灯光：电源指示灯颜色为蓝色 | 选择蓝色电源指示灯 |  |
| TR140401 | 提示音：NDI设备连接时发出提示音 | 选择相应NDI型号 |  |
| TR140501 | 显示方式：27寸显示器，分辨率1920\*1080 | 选择27寸显示器，分辨率1920\*1080的显示器 |  |
| TR140702 | 台车组成：电源（开关电源、滤波开关） | 电源开关应具有滤波功能 |  |
| TR140703 | 台车组成：显示器 | 台车安装有显示器 |  |
| TR140705 | 台车组成：电源线一根 | 配备一根电源线 |  |
| TR140706 | 台车组成：网线一根 | 配备两根网线 |  |
| TR140707 | 台车组成：HDMI线一根 | 配备HDMI线一根 |  |
| **执行台车功能需求** | | | |
| **输入需**  **求序号** | **功能需求** | **硬件实现方式说明** | **功能说明** |
| TR150001 | 使用环境：手术室 | 采用符合GB/T 14710-2009环境要求的元器件，同时进行优化设计 |  |
| TR150003 | 电源：AC 220V 50/60Hz 10A | 选用AC 220V 50/60Hz 10A电源配套关键器件 |  |
| TR150101 | 接口：USB接口4个，用于连接机械臂控制箱。 | 外置4个USB接口与机械臂控制箱连接 |  |
| TR150102 | 接口：网口2个 | 使用交换机进行网口扩展 |  |
| TR150103 | 接口：电源接口1个（防脱落设计） | 电源接口选用带防脱落装置的接口 |  |
| TR150104 | 接口：HDMI接口2个 | 外置2个HDMI接口 |  |
| TR150105 | 接口：髋臼钻供电接口（防呆设计） | 髋臼钻供电接口选用防呆设计 |  |
| TR150106 | 接口：脚踏接口1个。 | 外置1个脚踏接口 |  |
| TR150201 | 开关按钮：急停开关1个 | 急停开关直接控制机械臂紧急停止接口 |  |
| TR150202 | 开关按钮：台车升、降按钮各1个（包含指示灯） | 设计控制板，实现台车升降和灯光，见5.1.2升降控制板 |  |
| TR150203 | 开关按钮：电源开关按钮1个 | 电源部分外置一个开关 |  |
| TR150204 | 开关按钮：系统开机按钮1个（包含指示灯） | 设计台车控制板外接一个带灯按钮实现机械臂开关机，见5.1.1台车控制板 |  |
| TR150301 | 灯光：电源指示灯1个，设备上电后立即亮起 | 电源开关并联一个指示灯 |  |
| TR150302 | 灯光：系统指示灯1个，系统启动后立即亮起蓝色灯光 | 设计台车控制板进行系统启动灯光指示，见5.1.1台车控制板 |  |
| TR150303 | 灯光：台车升、降按钮指示灯各1个，按住对应按钮时，对应指示灯立即亮起蓝色灯光。释放时，对应指示灯立即熄灭灯光 | 设计控制板，实现台车升降和灯光，见5.1.2升降控制板 |  |
| TR150304 | 灯光：UPS充电状态指示灯1个。充电时显示蓝色。不充电时熄灭。 | 设计台车控制板进行UPS充电状态灯光指示，见5.1.1台车控制板 |  |
| TR150305 | 灯光：系统供电状态指示灯1个，未上电灯灭。电源供电时显示蓝色，UPS供电时显示黄色。 | 设计台车控制板进行系统供电状态灯光指示，见5.1.1台车控制板 |  |
| TR150401 | 提示音：UPS独立供电时设备发出提示音 | 选择具有外电掉电提示功能的UPS |  |
| TR150601 | 台车组成：机械臂及控制箱 | 设计控制板，与机械臂和机械臂控制箱协同工作,见3.1.1台车控制板 |  |
| TR150602 | 工作站主机（PC） | 系统包含工作站主机（PC） |  |
| TR150603 | 台车组成：UPS（UPS供电时，需要提示声音） | 系统包含UPS系统，同时设计UPS控制板，与UPS协同工作,见3.1.1台车控制板 |  |
| TR150604 | 台车组成：交换机 | 系统包含交换机 |  |
| TR150605 | 视频信号发射器 | 系统包含视频信号发射器 |  |
| TR150606 | 台车组成：升降脚撑 | 系统包含升降立柱，同时设计控制板，控制升降脚撑工作,见3.1.2升降控制板 |  |
| TR150607 | 台车组成：电源（滤波开关、髋臼钻开关电源、通用开关电源、工作站电源） | 系统开关电源为控制板等设备供电，网电源入口加装滤波器 |  |
| TR150608 | 隔离变压器 | 内置符合GB9706.1绝缘要求的隔离变压器 |  |
| TR150609 | 台车组成：静音轮（带扫线器、刹车） | 系统包含扫线器、刹车功能的静音轮 |  |
| TR150610 | 台车组成：双脚踏 | 系统包含双脚踏的开关，同时设计控制板 |  |
| TR150612 | 髋臼钻 | 系统配置髋臼钻 |  |
| TR150613 | 台车组成：电源线一根 | 配置一根电源线 |  |
| TR150711 | 设备断电后可以单独启动UPS，控制台车升降。 | 升降控制板电源由UPS间接提供 |  |
| TR150801 | 台车的升降由“台车升”和“台车降”按钮控制，行程不少于6cm。  升降按钮的信号接升降控制板和机械臂控制箱，台车升降时，机械臂不可运动或拖动。机械臂运动过程中，控制箱有信号发送给升降控制板，台车不可升降。 | 设计升降控制器，实现此功能,见3.1.2升降控制板 |  |
| TR150901 | 髋臼钻电源的供给受开关量控制。 | 设计台车控制板输出端可控制髋臼钻电源，见4.1.1台车控制板 |  |
| TR151501 | 其他：设备非正常断电启动UPS供电。 | 设计台车控制板与UPS通讯，能控制UPS供电方式，见5.1.1台车控制板 |  |
| **操作台车功能需求** | | | |
| **输入需**  **求序号** | **功能需求** | **硬件实现方式** | **功能说明** |
| TR160001 | 使用环境：手术室 | 采用符合GB/T 14710-2009环境要求的元器件，同时进行优化设计 |  |
| TR160003 | 电源：AC 220V 50/60Hz 2A | 选用AC 220V 50/60Hz 2A电源配套关键器件 |  |
| TR160101 | 接口：电源接口1个（防脱落设计） | 电源接口选用带防脱落装置的接口 |  |
| TR160102 | 接口：HDMI接口1个 | 系统外置一个HDMI接口 |  |
| TR160201 | 开关按钮：电源开关按钮1个 | 电源部分外置一个开关 |  |
| TR160301 | 灯光：电源指示灯1个，设备上电后立即亮起 | 电源开关并联一个指示灯 |  |
| TR160302 | 电源指示灯颜色为蓝色 | 选择电源指示灯颜色为蓝色 |  |
| TR160401 | 无提示音 | 选择内部设备无需提示音功能 |  |
| TR160501 | 显示器 | 系统应具有显示器 |  |
| TR160701 | 显示方式：24寸显示器，分辨率1920\*1080 | 选择24寸显示器，分辨率1920\*1080的显示器 |  |
| TR160702 | 台车组成：电源(滤波开关)+显示器电源+键鼠适配器电源+视频信号接收器电源 | 内置电源(滤波开关)+显示器电源+键鼠适配器电源+视频信号接收器电源 |  |
| TR160703 | 静音轮（带刹车） | 系统包含刹车功能的静音轮 |  |
| TR160704 | 键盘、鼠标 | 系统包含键盘鼠标 |  |
| TR160705 | 电源线一根 | 配置电源线一根 |  |
| TR160706 | HDMI线一根 | 配置HDMI线一根 |  |
| TR160707 | 视频信号接收器 | 配置视频信号接收器 |  |
| **其他功能需求** | | | |
| **输入需**  **求序号** | **功能需求** | **硬件实现方式** | **功能说明** |
| TR170101 | 操作设备为鼠标、键盘 | 设备配置鼠标、键盘 |  |
| TR170802 | 硬件设备性能优良，不易损坏，不易出现故障 | 硬件选择性能优越的器件：带有行业认证或者测试报告 |  |
| TR180102 | 设备或设备部件的外部标记 | 与电源的连接需标明相关信息：  额定电压。  电源类别，如相数和电流类型。  额定功率或额定功率范围、额定频率。 |  |
| TR180103 | 内部标记 | 对熔断器，温度保护开关和热流保护开关等做相应标识 |  |
| TR180104 | 导线的颜色 | 电源线使用三芯电缆：绿/黄色、浅蓝色、棕色 |  |
| TR180105 | 供电状态指示灯 | 电源关闭：灯光不亮；正常供电：蓝灯常亮；UPS供电：黄灯常亮，设计台车控制板实现 |  |
| TR180201 | 接地电阻 | 按照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》进行系统设计 |  |
| TR180202 | 漏电流 | 按照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》进行系统设计 |  |
| TR180203 | 绝缘 | 按照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》进行系统设计 |  |
| TR180204 | 爬电距离和电气间隙 | 按照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》进行系统设计 |  |
| TR180701 | 电磁兼容要求 | 按照YY 9706.102-2021 《医用电气设备 第1-2部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：电磁兼容 要求和试验》的要求进行系统设计和选型 |  |
| TR181001 | 环境要求 | 按照GB/T 14710-2009《医用电器环境要求及试验方法》的要求进行系统设计和测试验证 |  |
| TR181201 | 产品验证 | 按照产品相应国家标准要求进行测试验证 |  |

# 总体设计

MS-003系统在形态上可划分为导航台车01、执行台车02、操作台车03和联合配套工具包及耗材包04。

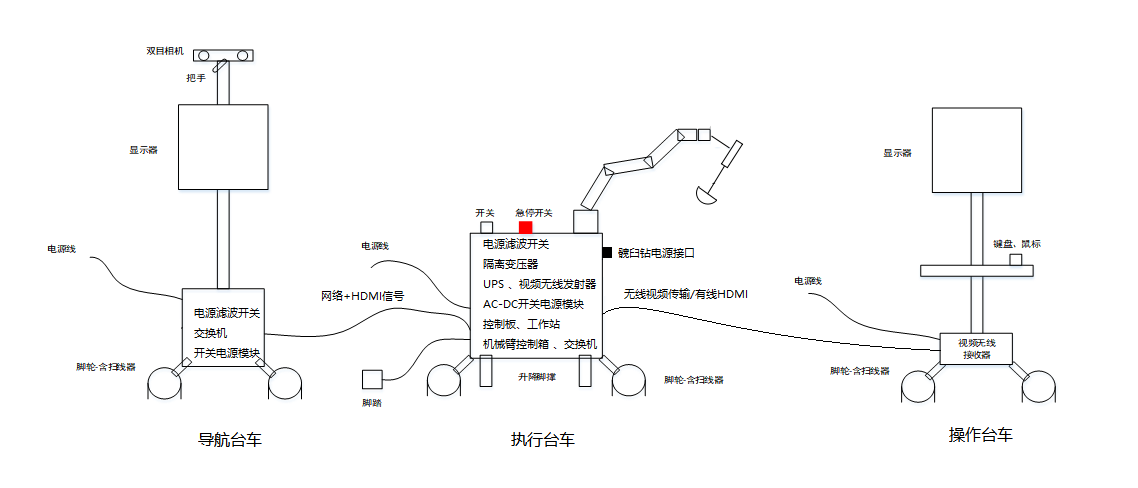


图3-1 MS-003总体框图

## 控制板概述

### 台车控制板

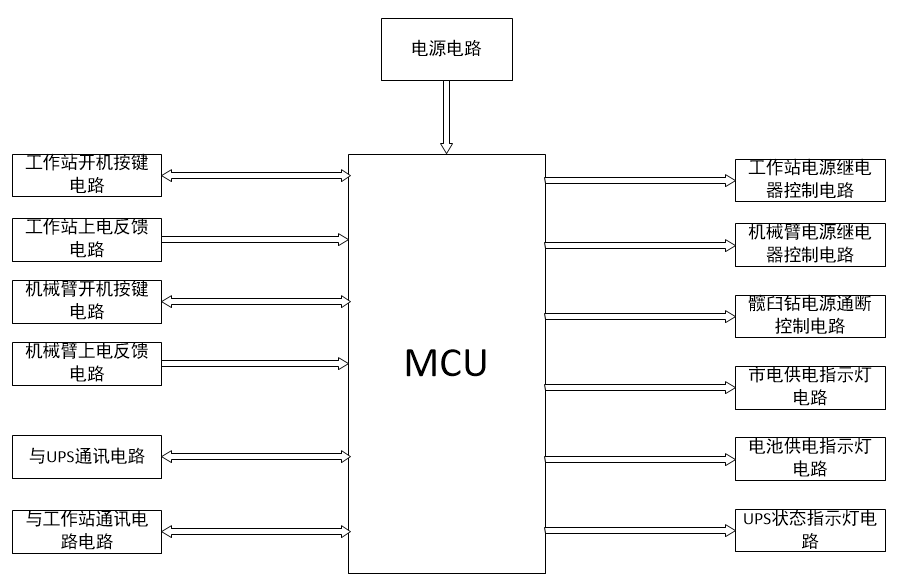


图3.1.1-1 台车控制板功能框图

表3.1.1-1 台车控制板功能说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 电路功能名称 | 功能说明 |
|  | 工作站开机按键 | 工作站开关机按钮（包含指示灯）1个，检测按键状态，执行工作站开关机功能 |
|  | 工作站工作状态检测 | 检测工作站工作状态，确定UPS关机模式 |
|  | 机械臂开机按键 | 机械臂开关机按钮（包含指示灯）1个，检测按键状态，执行机械臂开关机功能 |
|  | 机械臂上电反馈 | 检测机械臂工作状态，控制机械臂开关机 |
|  | UPS通信 | 获取UPS状态，控制UPS关机 |
|  | 工作站通信 | 获取工作站指令，控制髋臼钻电源 |
|  | 工作站电源控制 | MCU通过光耦控制工作站电源的控制继电器进行开断 |
|  | 机械臂电源控制 | MCU通过光耦控制机械臂电源的控制继电器进行开断 |
|  | 髋臼钻电源控制 | MCU通过光耦控制髋臼钻开关电源的开断 |
|  | 市电供电指示灯 | 当UPS为市电供电时，控制市电供电指示灯点亮 |
|  | 电池供电指示灯 | 当UPS为内部电池供电时，控制电池供电指示灯点亮 |
|  | UPS状态指示光控制 | 市电供电点亮蓝灯，UPS供电点亮黄灯  UPS电池充电时点亮充电指示灯 |

### 升降控制板

图 3.1.2-1 升降控制板系统框图

表3.1.2-1 升降控制板功能说明

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 电路功能名称 | 功能说明 |
| 1 | 电源电路 | 为各个功能块进行供电 |
| 2 | 加速度传感器电路 | 检测台车是否水平 |
| 3 | 串口转USB电路 | 与上位机交换信息 |
| 4 | 按键输入检测电路 | 检测按键控制以台车立柱升降 |
| 5 | 立柱驱动电路 | 台车立柱电源输出控制 |
| 6 | 电流传感器电路 | 检测对应立柱驱动电路的电流 |

# 接口设计

## 外部接口定义

### 台车控制板

表4.1.1-1 台车控制板外部接口定义

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 接口名称 | 功能说明 |
|  | 24V电源接口 | 为整板提供电源 |
|  | 机械臂启停按钮 | 控制机械臂开启和关闭 |
|  | 工作站启停按钮 | 控制工作站开启和关闭 |
|  | USB口１ | 与机械臂连接，检测机械臂工作状态 |
|  | USB口２ | 与工作站连接，检测工作站工作状态 |
|  | 控制口１ | 控制髋臼钻电源 |
|  | 控制口２ | 控制机械臂电源 |
|  | 控制口３ | 控制工作站电源 |
|  | USB口通信１ | 与工作站连接，进行通讯 |
|  | USB口通信２ | 与UPS连接，进行通讯 |
|  | 灯光1 | 连接市电供电指示灯（蓝色） |
|  | 灯光2 | 连接UPS供电指示灯（黄色） |
|  | 灯光3 | 连接UPS充电指示灯 |
|  | STM32F103烧录口 | 用于烧写程序和调试 |

### 升降控制板

表4.1.2-1 升降控制板外部接口定义

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 接口名称 | 功能说明 |
| 1 | 24V电源接口 | 为整板提供电源 |
| 2 | 立柱1 | 连接升降立柱1电源 |
| 3 | 立柱2 | 连接升降立柱2电源 |
| 4 | 立柱3 | 连接升降立柱3电源 |
| 5 | 立柱4 | 连接升降立柱4电源 |
| 6 | 台车上升按钮 | 长按控制台车上升 |
| 7 | 信号输入 | 机械臂运动状态信号输出 |
| 8 | 台车下降按钮 | 长按控制台车下降 |
| 9 | 信号输出 | 立柱升降状态信号输出 |
| 10 | USB串口通信 | 用于USB口更新程序，预留与PC连接，进行数据收发功能 |
| 11 | STM32F103烧录口 | 用于烧写程序和调试 |

# 功能说明

### 台车控制板

电源电路：输入24V，输出5V和3.3V的电压供给各个芯片。

机械臂上下电电路：按钮按下后信号传输到单片机，单片机接收到按键信号后再发出给机械臂电源控制继电器，电源控制继电器对机械臂进行上下电控制，机械臂启动或停止后机械臂控制箱会通过USB口反馈给单片机信号确保机械臂正常上下电。

工作站上下电电路工作原理与机械臂相似。

USB口通信电路：UPS口通信接口获取当前UPS的状态，点亮相应的指示灯；依据当前负载情况，控制UPS是否关闭或是否需要延时关闭。工作站USB通信接口与工作站进行通信，获取工作站开关髋臼钻电源开关指令。

工作站工作状态检测电路：台车控制板检测工作站工作状态，从而控制UPS是否关闭或是否需要延时关闭。

灯光电路：依据当前工作状态，点亮对应指示灯。

控制口：依据工作状态决策，输出对应控制信号。

### 升降控制板

电源电路输入直流24V，经过稳压后输出5V和3.3V的直流电压供给各个芯片。

加速度传感器电路用于检测台车是否处于水平状态。

串口转USB电路将台车相关信息通过微控制器发送给上位机，也可接受上位机发送的控制指令对台车进行平衡调节。

按键输入检测电路将外部按钮信息传输至微控制器，并由微控制器控制台车的升降。

数字量信号输入和输出电路实现与机械臂功能互钳，台车升降时，机械臂不可运动或拖动。机械臂运动过程中，控制箱有信号发送给升降控制板，台车不可升降。

立柱驱动电路由按键控制台车立柱的升降，按钮按下后信号传输到微控制器，微控制器接收到按钮信号后控制立柱进行升降操作。

电流传感器电路用于检测对应立柱驱动电路的电流，以便判断立柱能否进行正常的升降。

脉冲反馈电路用于检测对应立柱升降动作高度，以此来确定立柱是否工作正常。

# 法规标准

* 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》
* GB/T 14710-2009 《医用电器环境要求及试验方法》
* YY 9706.102-2021 《医用电气设备 第1-2部分：基本安全和基本性能的通用要求 并列标准：电磁兼容 要求和试验》的要求（2023.5.1实施）
* 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》
* YY 1057-2016 《医用脚踏开关通用技术条件》
* YY/T 1712-2021 《采用机器人技术的辅助手术设备和辅助手术系统》