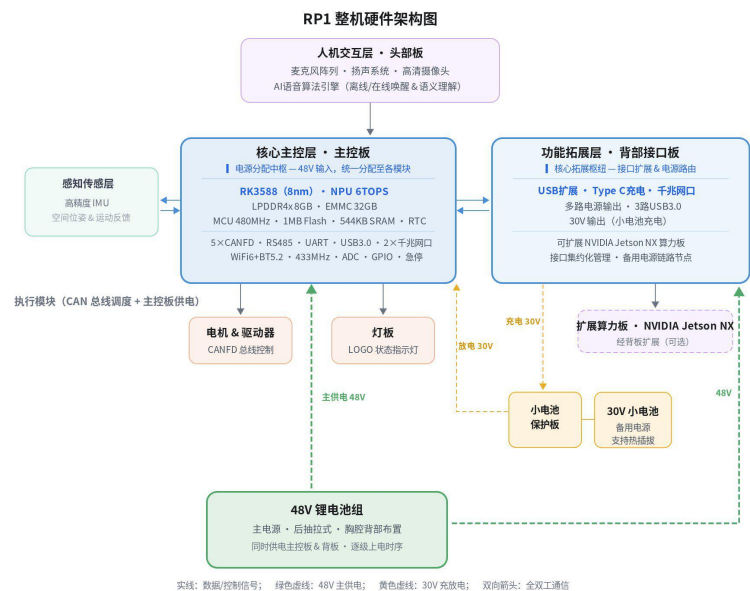


RP1 硬件系统架构

1. 系统架构总览

RP1 硬件按功能划分为：电源系统（48V 锂电池组 + 30V 小电池组）、核心主控层（主控板）、功能拓展层（背部接口板）、人机交互层（头部板）、感知传感层（IMU）、执行模块（电机与驱动器、灯板）。各层之间通过 CANFD 总线、USB3.0、千兆以太网、48V/30V 电源母线连接。整体架构如下图：



2. 各组成部分说明

2.1 电源系统

RP1 采用双电源架构：

- 48V 锂电池组**：主电源，后抽拉式安装于胸腔背部。48V 同时直供主控板与背部接口板，由主控板按逐级上电时序统一分配至各模块；
- 30V 小电池 + 小电池保护板（RBE-PWR-HOTSWAP）**：备用电源，支持热插拔。背部接口板在主电正常时以 30V 给小电池充电；主电瞬时断开时，小电池经保护板以 30V 反向放电至背部接口板，短时维持关键控制回路；
- 充电器板（RBE-PWR-140WCHG）**：48V 主电池 140W 充电管理，自研充电

仓。

2.2 核心主控层

对应板卡：**RBE-MAIN-RK3588S** 主控板，是整机的电源分配中枢与计算核心：

- **应用处理器**：RK3588 (8nm) ， NPU 6 TOPS，板载 LPDDR4x 8GB、eMMC 32GB，负责 AI 推理、视觉、语音与人机交互；
- **实时 MCU**：480MHz，1MB Flash、544KB SRAM、内置 RTC，负责运动调度、硬件急停与电源时序；
- **对外接口**：5×CANFD、RS485、UART、USB3.0、2×千兆网口、WiFi6+BT5.2、433MHz、ADC、GPIO、急停输入。

5 路 CANFD 分别连接不同部位的执行器网段，单网段故障不影响整机运动；急停信号直接关断执行器输出，不经过操作系统。

2.3 功能拓展层（PCB 板卡）

除主控板外，整机板卡按功能分布如下：

- **背部接口板（RBE-PWR-BACKHUB）**：核心拓展枢纽，负责接口扩展与电源路由。提供 USB 扩展、Type-C 充电、千兆网口、多路电源输出、3 路 USB3.0、30V 小电池充放电管理；预留 NVIDIA Jetson NX 算力板扩展位，做接口集约化管理与备用电源链路节点；
- **电机电容板（RBE-PWR-MCAP，×2）**：就近安装于电机端，通过大容量电容做本地储能，吸收电机换向尖峰、稳定母线电压、抑制传导干扰；
- **手转接板（RBE-PWR-HANDPlusPro，×2）**：手部关节线束与主控之间的接口转换；
- **风扇电源板（RBE-PWR-FAN）**：髋部散热风扇供电与调速；
- **USB3.0 FPC 柔性板**：主控板与背部接口板之间的高速差分连接；
- **灯板**：LOGO 状态指示灯，由主控板直接供电与控制；
- **背部电源指示灯**：对外可见的电源/充电状态指示。

2.4 人机交互层

- **头部板（RBE-PWR-HEAD）**：人机交互入口，集成麦克风阵列、扬声系统、高清摄像头、MIPI 屏幕，板载 AI 语音算法引擎（离线/在线唤醒与语义理解）；

2.5 执行模块

执行模块由主控板经 CAN 总线调度并直接供电，包括：

- **电机与驱动器：**分布式无刷伺服关节，每关节内置驱动器，本地完成 FOC 电流环、速度环、位置环闭环。主控通过 CANFD 下发目标位置/力矩，位置、温度、故障码经总线回传；
- **灯板：**LOGO 状态指示。

2.6 感知传感层

- **高精度 IMU (RBE-SENS-IMU)：**独立布置，远离电机功率回路，提供空间位姿与运动反馈，用于双足平衡控制；
- **高清摄像头：**位于头部板；
- **麦克风阵列：**位于头部板，板载语音算法预处理；
- **关节位置/电流检测：**内置于每个电机驱动器，属于执行模块的本地闭环反馈。

3. 连接关系

各部分之间的信号与电源通路如下（实线：数据/控制信号；绿色虚线：48V 主供电；黄色虚线：30V 充放电）：

连接	介质	内容
48V 电池 → 主控板	48V 主供电	主电源输入，主控做逐级上电时序分配
48V 电池 → 背部接口板	48V 主供电	背部板同时直供 48V，不经过主控中转
背部板 ↔ 小电池保护板	30V 充放电	主电正常：背部板 30V 给小电池充电；主电断开：小电池 30V 放电至背部板
头部板 → 主控板	高速数据链路	摄像头视频、语音预处理结果上传
主控板 ↔ 背部接口板	USB3.0 FPC、千兆网	接口扩展、Jetson NX 算力扩展通信
背部板 ↔ Jetson NX	PCIe/USB（经背	可选算力扩展板

	板)	
主控板 ↔ IMU	高速串行总线	空间位姿与运动反馈数据
主控板 → 电机驱动器	5×CANFD + 主控供电	运动指令下发，状态与故障回传
主控板 → 灯板	GPIO/PWM	LOGO 灯效控制
急停 → MCU	硬线 / 433MHz	直接切断电机使能，不经过操作系统

4. 关键设计约束

1. **实时性与 AI 隔离：**RK3588 处理非实时任务，480MHz MCU 处理运动与安全，互不抢占；
2. **48V 双路直供：**48V 电池同时供主控板与背部接口板，背部板不依赖主控做电源中转；
3. **30V 热插拔：**小电池经背部板充放电管理，支持不断电更换，主电瞬断时短时维持关键回路；
4. **总线故障隔离：**5 路 CANFD 网段独立，单网段故障不致整机瘫痪；
5. **电磁兼容：**IMU 独立布置远离电机功率回路，电机端就近布置电容板抑制换向尖峰；
6. **算力可扩展：**背部板预留 Jetson NX 座，按需提升 AI 算力。