

精密滴定管理系统硬件设计文档

版本: V1.23

日期: 2026 年 1 月 29 日

编制单位: 硬件设计部

一、文档说明

1.1 文档目的

本文档旨在定义精密滴定管理系统的硬件设计方案，明确各模块的功能、接口、电气特性及测试标准，作为硬件开发、测试与维护的依据。

1.2 适用范围

适用于硬件开发、测试、生产及维护相关人员。

1.3 术语与缩写

术语	说明
NFC	近场通信
ADC	模数转换器
DAC	数模转换器
Pt1000	铂电阻温度传感器
ESP32-S3	乐鑫无线通信微控制器

术语

说明

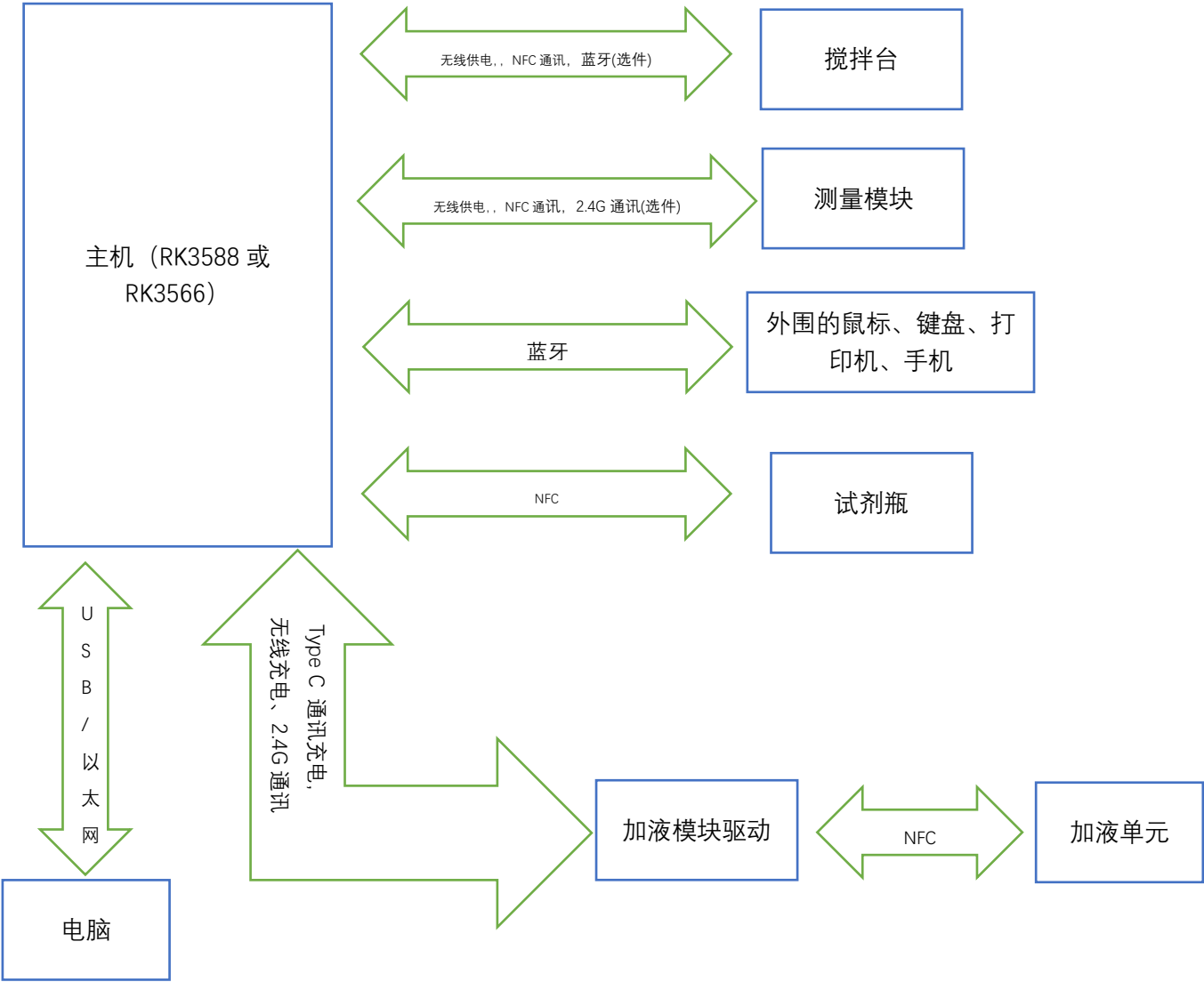
RK3588/RK3566

瑞星微处理器

二、系统整体架构

2.1 系统框图

1. 硬件框架：



2.2 系统接口总览

接口类型	用途	连接对象
无线供电	模块供电	测量模块、搅拌模块
NFC	模块识别、试剂瓶信息读写	各模块、试剂瓶
蓝牙	外设连接、数据传输	手机、打印机、键盘
2.4G	加液器专用控制	加液模块
USB 2.0	数据通信、调试、外设扩展	PC、U 盘、打印机
以太网	有线通信、远程控制	局域网设备
Type-C	加液器有线通信与充电	加液模块

三、主机硬件详细设计

3.1 电源系统

3.1.1 输入规格

- 输入电压：AC 220V ± 10%，50/60Hz
- 输入功率：≤ 50W

3.1.2 输出规格

输出通道	电压	电流	用途
数字电源	3.3V	3A	微处理器、数字逻辑
模拟正电源	+5V	1A	模拟前端、ADC/DAC
模拟负电源	-5V	1A	模拟前端、ADC/DAC
电机驱动电源	+12V	2A	电机驱动电路
电机驱动电源	-12V	0.5A	电机驱动电路

3.1.3 保护功能

- 过流保护
- 过压保护
- 短路保护
- 过热保护

3.2 微处理器子系统

3.2.1 主控选型（三选一）

型号	核心架构	主频	内存	优势
STM32MP157	Cortex-A7 + Cortex-M4	650MHz + 209MHz	512MB DDR3	实时性高，工业级
RK3566	4×Cortex-A55	1.8GHz - 2.0GHz	通常 1-8GB LPDDR4/LPDDR4X (典型 2GB/4GB)	性价比高，通用性强，集成 0.8T NPU。
RK3588	4×Cortex-A76 + 4×Cortex-A55	2.4GHz	4-8GB LPDDR4	高性能，多媒体能力强

3.2.2 外设接口分配

接口	数量	用途
USB 2.0 Host	2	U 盘、打印机、USB Hub
USB 2.0 OTG	1	上位机通信
以太网	1	10/100/1000Mbps
Wi-Fi	1	802.11a/b/g/n/ac
蓝牙	1	5.0 BLE
NFC	1	PN7150 或等效芯片
GPIO	预留 20 个	扩展控制
I ² C	2	触摸屏、传感器
SPI	2	显示屏、外设
UART	3	调试、模块通信

3.3 无线供电与 NFC 识别模块

3.3.1 无线供电发射端

- 工作频率：110-205kHz
- 输出功率：15W/每通道
- 传输距离：3-5cm
- 通道数量：3 个独立通道
- 效率：> 70%

3.3.2 NFC 读写器

- 芯片型号：NXP PN7150
- 工作频率：13.56MHz
- 读写距离：3-5cm
- 支持协议：ISO14443A/B, ISO15693

- **3.3.3 2.4G 通讯**

- 芯片型号：Nordic nRF24L01+
- 工作频率：2.400 - 2.525GHz
- 读写距离：10 - 100 米 (视具体环境与功率设置而定)
- 支持协议：专有 2.4G 协议, Gazell (GZLL)

3.4 显示屏与触摸屏

3.4.1 显示屏规格

- 尺寸选择：4.3", 7", 10.1", 15.6", 21.5", 67" (可选)
- 分辨率：最低 800×480, 最高 3840×2160
- 接口：LVDS 或 MIPI-DSI
- 亮度：≥ 300 cd/m²
- 对比度：≥ 800:1

3.4.2 触摸屏规格

- 类型：电容式 (投射式电容)
- 触点：10 点触控

- 接口: I²C
- 响应时间: < 10ms

3.5 调试与测试接口

3.5.1 USB 调试接口（与电脑连接）

- 类型: Micro-USB 或 Type-C
 - 协议: USB 2.0
 - 功能: AT 指令调试、数据导出、固件升级
-

四、测量模块硬件设计

4.1 电源管理

- 输入: 无线受电, 3W
- LDO 输出: 3.3V（数字）, ±5V（模拟）
- 纹波: < 10mV

4.2 微控制器

- 型号: ESP32-S3
- 工作频率: 240MHz
- 内存: 512KB SRAM, 384KB ROM

- 无线: Wi-Fi 4, 蓝牙 5.0
- **NFC**

4.3 模拟前端电路

4.3.1 高阻抗运算放大器

- 型号: ADA4530-1 或等效
- 输入阻抗: $> 1 \times 10^{13} \Omega$
- 偏置电流: $< 20 \text{fA}$
- 增益带宽积: 2MHz

4.3.2 ADC 电路

- 型号: ADS1256 或等效 (24 位 Δ - Σ)
- 通道数: 8 路测量
 - 2 路用于 IND_Ref,
 - 2 路用于极化测量,
 - 2 路用于温度测量
 - 2 路备用
- 采样率: 30kSPS
- **INL**: $\pm 5 \text{ppm}$

4.3.3 DAC 电路 (极化控制)

- 型号: DAC8564 或等效 (16 位)

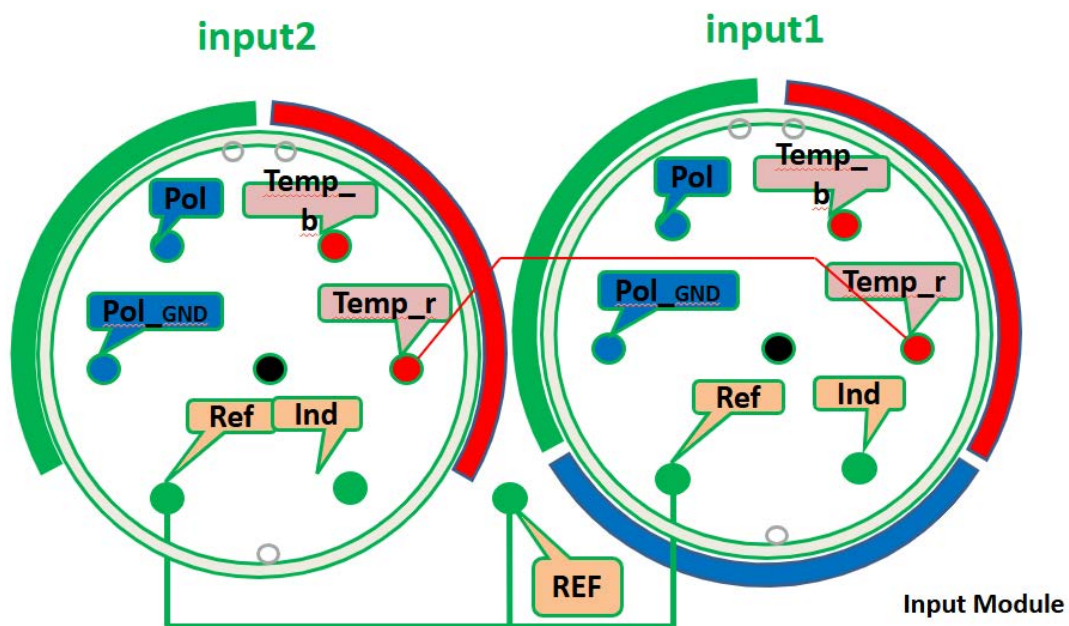
- 通道数：2 路激励源
- 输出范围：±5V
- 建立时间：10μs

4.4 温度测量电路

- 传感器：Pt1000（2 线制）
- 激励电流：1mA 恒流源
- 测量电路：2 路 24 位 ADC 差分测量
- 测量精度：±0.5℃（0-100℃）
- 分辨率：0.1℃

4.5 信号输入输出端口接口定义（7 芯端口）莫雷插座

引脚	功能	说明
1	Ind+	指示电极正极，高阻输入阻抗电压输入（ $1*10^{13}\Omega$ ）
2	ref	指示电极负极与信号地相通
3	Pol+	极化电极正极
4	Pol-	极化电极负极
5	Temp+	温度传感器正极
6	Temp-	温度传感器负极
7	GND	信号地中心点



五、加液模块硬件设计

5.1 电源管理

- 电池：锂电池，3.7V，1000-1500mAh
- 充电电路：Type-C 接口，支持 5V/2A 充电、以及无线充电。
- 电源路径管理：支持边充边用
- 电量监测：库仑计（MAX17048 或等效）

5.2 微控制器

- 型号：ESP32-S3
- 功能：蓝牙通信、电机控制、电池管理

5.3 电机驱动电路

5.3.1 步进电机驱动

- 型号：DRV8825 或等效
- 微步进：支持 1/32 步
- 电流：最大 2.5A/相
- 保护：过流、过热、欠压

5.3.2 盘阀电机驱动

- 型号：L293D 或等效
- 类型：直流电机驱动
- 电流：最大 1A

5.4 机械结构参数

- 驱动杆行程：50mm
- 最小步进：0.25mm（对应 200 步/转，导程 5mm）
- 重复精度：±0.05mm
- 最大推力：20N

5.5 ID 识别电路

- 读卡芯片：MFRC522 或等效
 - 通信协议：ISO14443A
 - 存储内容：体积、序列号、校正参数
-

六、搅拌模块硬件设计

6.1 电源管理

- 输入：无线受电，10W
- 输出：3.3V（控制），12V（电机）
- 效率：> 80%

6.2 微控制器

- 型号：ESP32-S3
- 功能：速度控制、启停控制、无线通信

6.3 电机驱动

- 电机类型：直流无刷电机
- 驱动芯片：DRV8313 或等效
- 速度范围：100-1500 RPM
- 控制方式：PWM 调速
- 保护功能：过流、堵转、过热

6.4 控制面板

- 旋钮：数字编码器（EC11）
- 按键：轻触开关×2（启停、滴定）
- 显示：3 位数码管（显示转速）

七、试剂瓶读卡器设计

7.1 NFC 读卡电路

- 芯片：PN7150 或等效
- 天线：PCB 天线，尺寸 40×40mm
- 读卡距离：2-3cm
- 支持标签：NTAG213/215/216

7.2 标签信息格式

数据块	内容	大小	说明
0-1	试剂名称	32 字节	UTF-8 编码
2-3	浓度	8 字节	浮点数
4	批号	16 字节	字符串
5	生产日期	8 字节	UNIX 时间戳
6	有效期	8 字节	天数
7-9	预留	48 字节	扩展用

八、可靠性设计

8.1 电气隔离

隔离区域	隔离方式	耐压等级
数字与模拟	磁耦隔离	1000Vrms
电源与信号	光耦隔离	1500Vrms
电机驱动	隔离驱动	2500Vrms

8.2 EMC 设计

- 静电防护：±15kV（空气），±8kV（接触）
- 群脉冲：±2kV（电源），±1kV（信号）
- 浪涌：±2kV（线-线），±4kV（线-地）
- 辐射发射：符合 EN55032 Class A

8.3 热设计

- 主机温升：< 20°C（环境 25°C）
- 模块温升：< 15°C（满载）
- 散热方式：自然对流（无风扇设计）

8.4 机械设计

- 防护等级：IP20（室内使用）

- 工作温度：0-40°C
 - 存储温度：-20-60°C
 - 湿度范围：20-80% RH（非凝结）
-

九、测试与验证

9.1 电气测试项目

测试项	方法	标准
电源输出精度	数字万用表测量	±2%
无线充电效率	功率分析仪	> 70%
ADC 测量精度	标准电压源	±0.1mV
DAC 输出精度	高精度万用表	±0.1%
温度测量精度	恒温槽+标准温度计	±0.1°C
极化电流精度	高精度电流表	±0.1μA
加液分辨率	激光位移传感器	±0.05mm
搅拌速度精度	光电转速计	±2%

9.2 通信测试项目

测试项	方法	标准
NFC 识别距离	标准标签测试	3-5cm
蓝牙连接稳定性	连续传输测试	无断连（1 小时）
2.4G 通信距离	无阻挡环境测试	> 10m
USB 数据传输	大文件传输测试	速度 > 5MB/s
以太网通信	Ping 测试	丢包率 < 0.1%

9.3 耐久性测试

测试项	条件	标准
加液模块循环	10 万次加液循环	精度保持 $\pm 1\%$
搅拌模块连续运行	72 小时连续运行	无故障
触摸屏点击	100 万次点击	无失效
接口插拔	1 万次插拔	接触良好

十、物料清单（关键器件，供参考）

类别	器件	型号	数量	备注
主控	微处理器	RK3566	1	或 RK3588/ STM32MP157CAC3
无线充电	发射芯片	BQ500212A	3	TI 方案
NFC	读卡芯片	PN7150	2	NXP
蓝牙/Wi-Fi	模块	ESP32-S3-WROOM-1	4	乐鑫
ADC	24 位 Σ - Δ	ADS1256	2	TI
DAC	16 位	DAC8564	1	TI
运放	高阻抗	ADA4530-1	8	ADI
电机驱动	步进驱动	DRV8825	2	TI
电源管理	DC-DC	TPS5430	6	TI
温度测量	Pt1000 传感器	PTF1000	2	国产

十一、附录

11.1 原理图存放位置

- 主机主板:
- 测量模块:
- 加液模块:
- 搅拌模块:

• 11.2 PCB 布局要求

- 模拟与数字分区布局
- 电源路径宽度 $\geq 2\text{mm}$ (1A 电流)
- 高频信号线阻抗控制 (50 Ω 单端, 100 Ω 差分)
- 热敏感器件远离发热源

11.3 设计审查要点

1. 电源完整性: 所有电源网络纹波 < 50mV
2. 信号完整性: 关键信号眼图张开度 > 80%
3. 热仿真: 最高温度 < 85 $^{\circ}\text{C}$
4. EMC 预测试: 辐射发射余量 > 6dB

十二、版本历史

版本	日期	作者	说明
V1.0	2025-12-10		
V1.1	2026-01-15		
V1.2	2026-01-29		

文档审批:

硬件经理: _____

质量经理: _____

项目总监: _____