

加热罐体过程控制系统

TANK-CTRL-A02 · 工程落地与完整配件选型

100L常压清水 / 230V单相 / 3kW / 工艺最高85°C

版本日期：2026-10-04。已确认的设备基准用于本次所有选型、尺寸与参数。

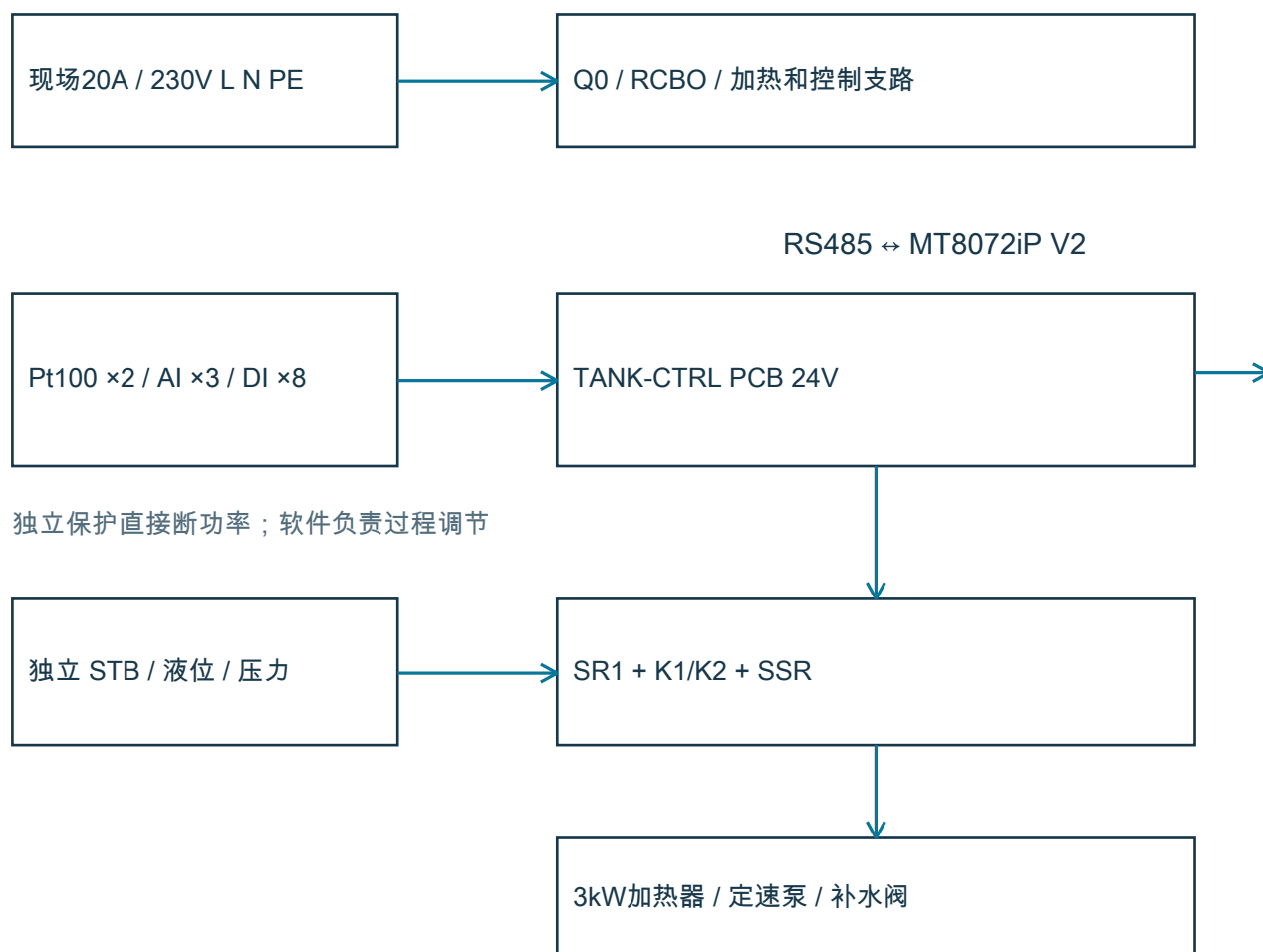
已交付：原生KiCad板级工程、197个电气器件及59组采购MPN、71行整机配件与11行工厂工装、148段逐线接线、机械接口图、STM32固件、出厂参数脚本、HMI标签与布局、38项验收模板。

配件选型完成不等于供货成交。厂家配置项和定制件已给订货基准，仍需厂家确认订货码/制造图/样件。全部报价、交期及实测结果均留空。

本资料属于工程候选；没有完成实板、整罐、EMC及小批验证，未签署量产放行。HMI尚未在Windows EBPro编译为原生工程，必须完成下载联调。

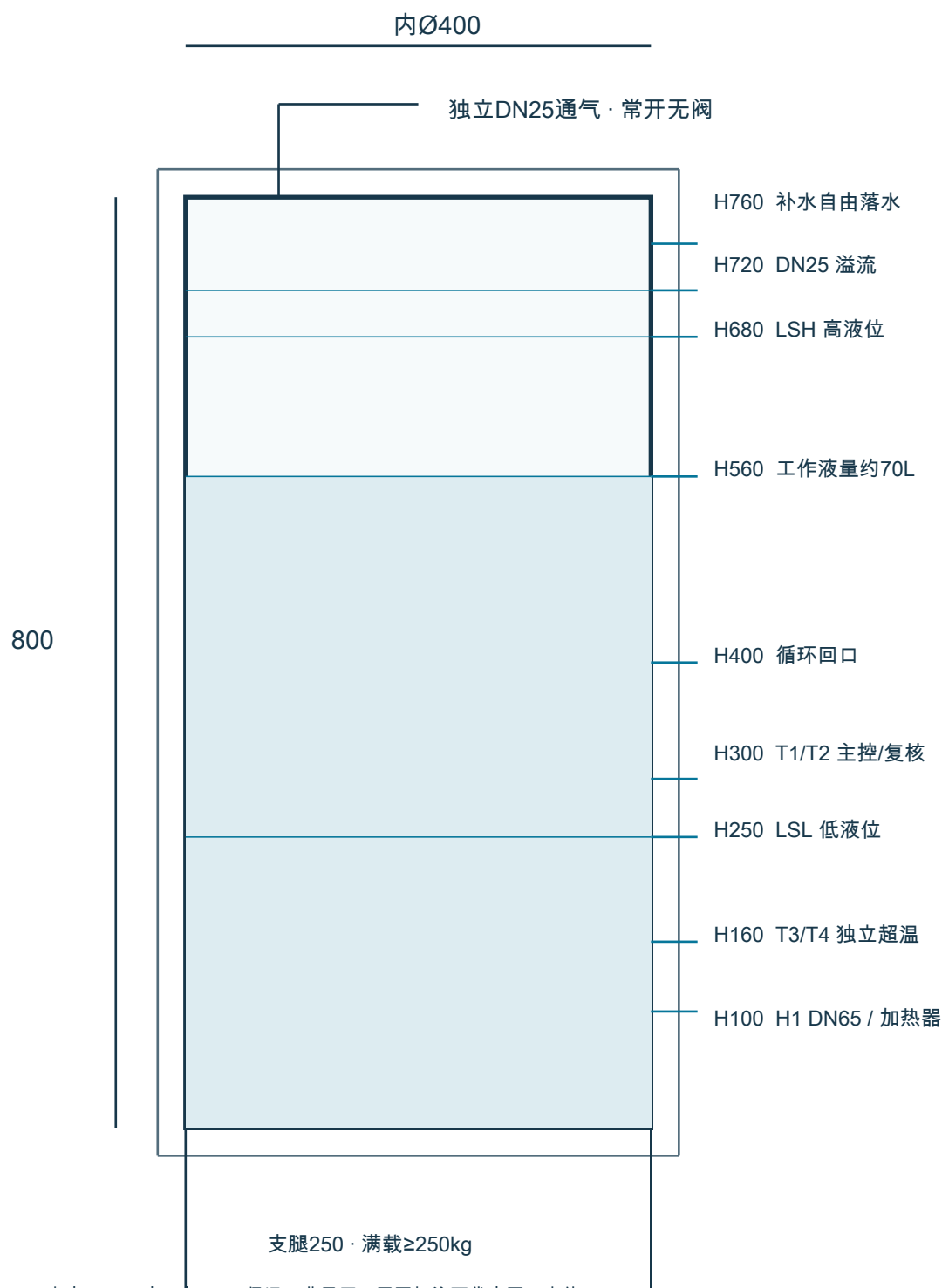
使用方法：工程师先读本册及system/安全链与配电.md；采购按完整选型与采购.xlsx逐行询价；装配按系统逐线接线表.csv；测试按factory/验收记录模板.csv填写真实结果。

01 · 系统结构与接口



PCB全部现场24V接口采用既定型号端子；230V只进入电柜器件。Pt100三线及4–20mA校准后进入温度/液位/流量/压力闭环。AO和脉冲作为扩展接口，本基准不驱动。

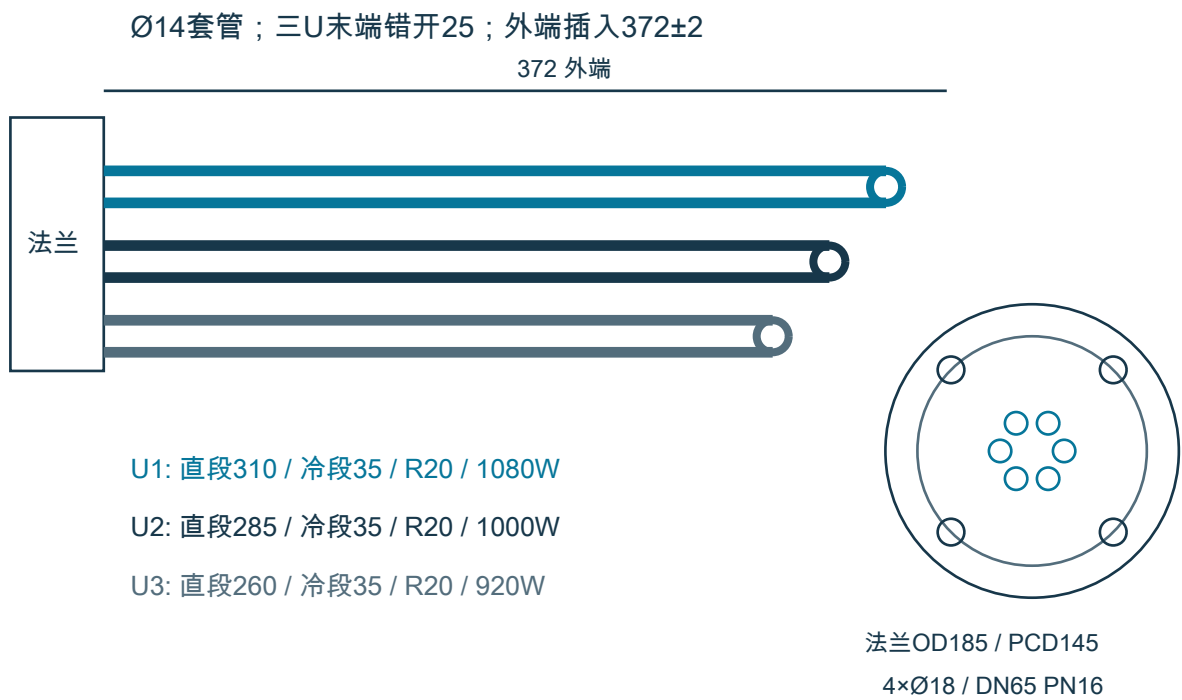
02 · 罐体尺寸及探头位置



H0=内底；316L壳2/底3；25保温；非承压；展开标注不代表同一方位

端口方位及拆装空间见制造规格与端口表.md。低液位高于加热束顶点约122mm；低于许可即断硬件。正常70%对应H560，溢流H720。不得封闭罐盖或装通气切断阀。

03 · 定制加热器与法兰接口

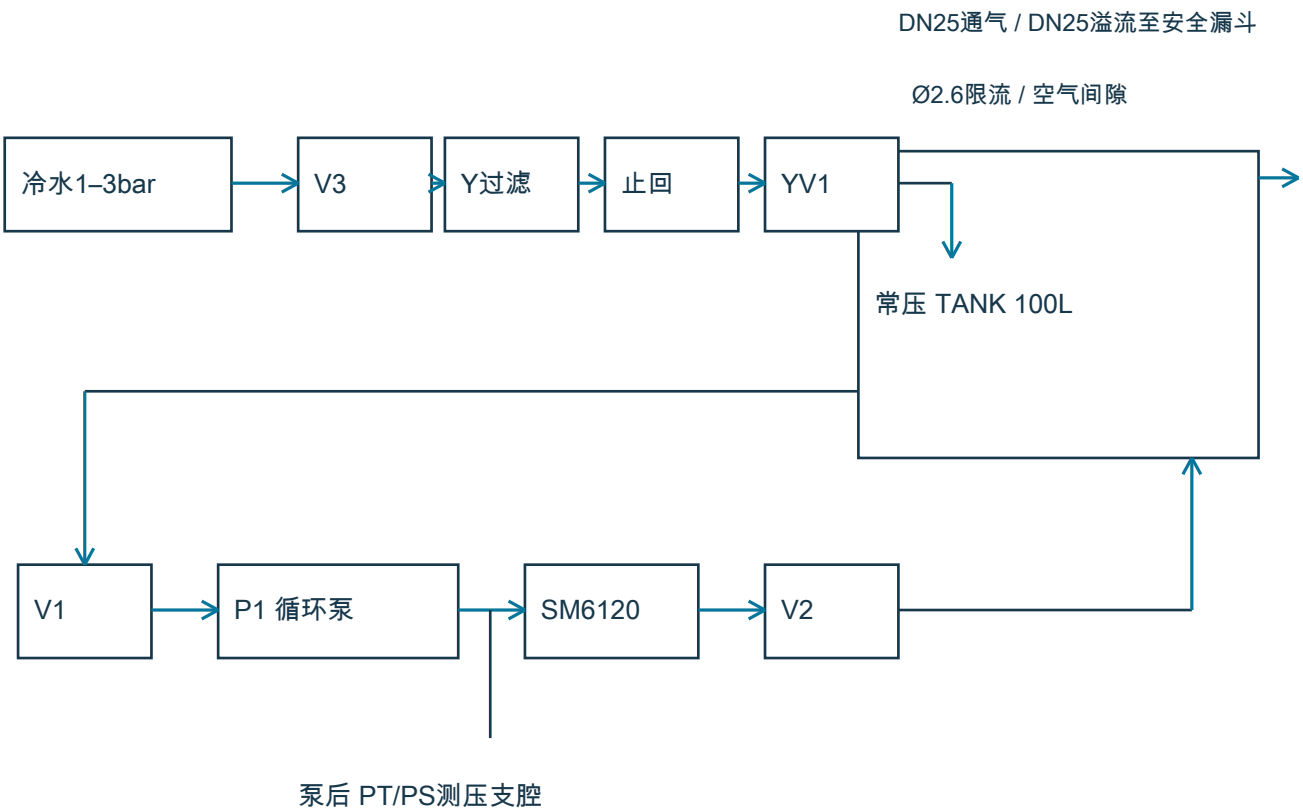


六腿中心环R20，束外径≤56；三U对径配对；内部接线并联L/N

几何及相邻间隙须由厂家3D制造图确认；本图为订货接口示意

总有效加热长度1898.5mm，面积835.0cm²；1080/1000/920W按长度分配，230V名义面负荷约3.60W/cm²。253V与功率上偏3%时约4.50W/cm²，厂家需确认材料和寿命。IP65接线盒独立PE螺柱，出厂耐压/漏电及热试记录。

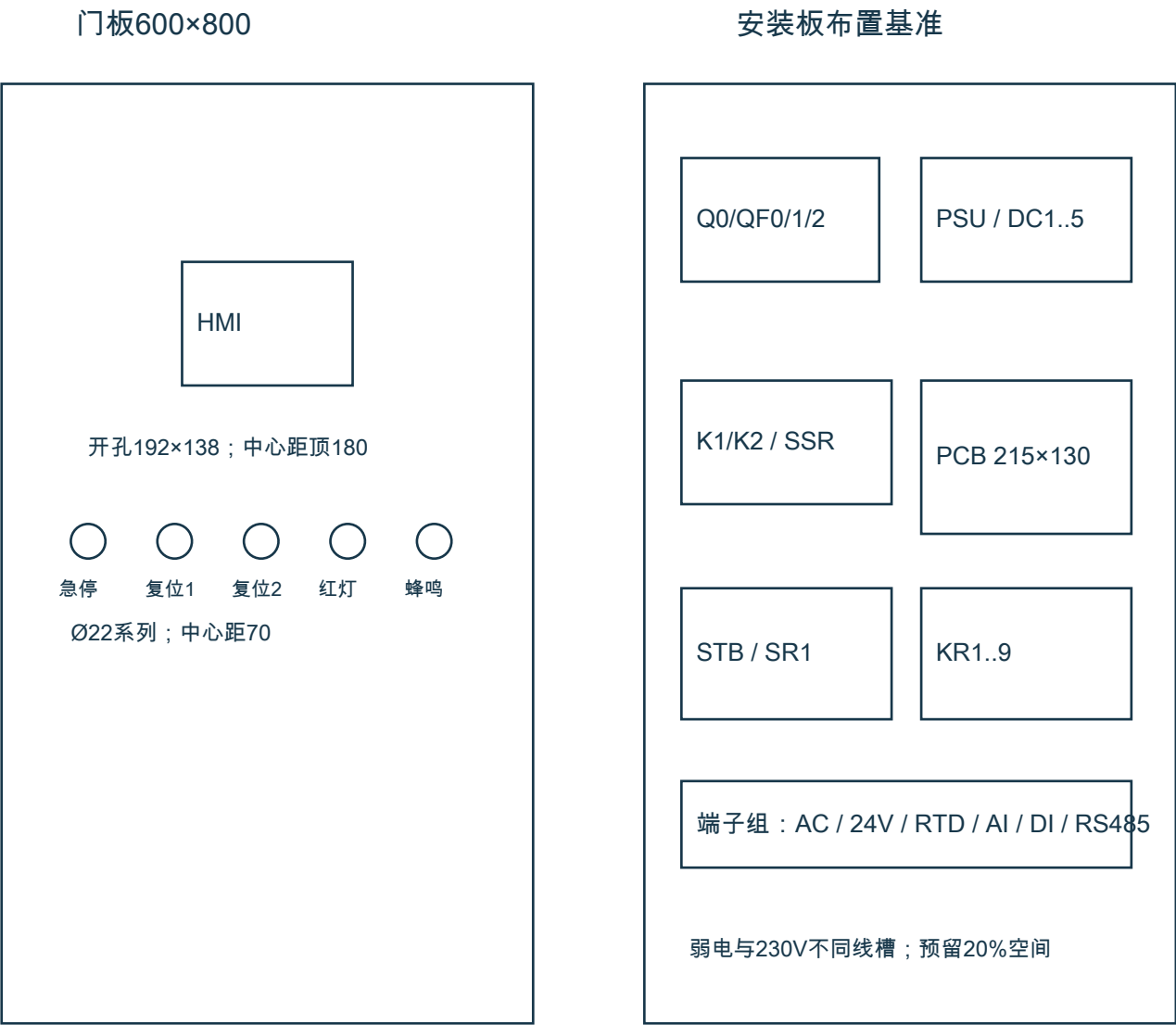
04 · 管路 P&ID



循环≤2m / ≤4弯 / 前5D后2D / 不在循环装过滤或止回

额定最小流量3L/min。COMFORT泵功率小，需短回路；整罐不达3L/min即不得启用加热。补水孔理论2.79-4.83L/min，实际压降以冷水实测调整；最低1bar70L补水≤28min，超时30min。

05 · 电柜布置与门板接口



风扇下进上出，35℃开启；最高环境30℃时柜内目标≤40℃。原箱IP66，HMI/过滤风扇开孔后整柜目标IP54须试验。导轨与线槽裁切按到货安装板图，不凭此缩略示意开孔。

06 · 控制及电气规格

已确认：100L常压清水罐，230V单相、3kW电加热，工艺20~85℃，带定速循环泵。额定工作液量70L，默认65℃。清水电导率 $\geq 20\mu\text{S}/\text{cm}$ ；不适用纯水、易燃液体、腐蚀介质或压力容器。环境10~30℃，无凝露；电柜内部目标 $\leq 40^\circ\text{C}$ 。硬接现场20A专用回路。

控制板：24V，215×130mm，四层1.6mm FR4，外层1oz、内层1oz工程目标；2路三线Pt100，4路4~20mA，2路0~10V，8路24V PNP DI，6路低侧DO，2路脉冲及隔离RS485。首机使用AI1压力、AI2液位、AI3流量，DO1 SSR、DO2加热许可、DO3泵、DO4补水、DO6报警；AI4/AO1/AO2/DO5/脉冲暂不接。DO仅驱动已选SSR/9mA继电器，禁止直接接230V负载。

电气闭环由双Pt100、4~20mA与开关许可组成。温控PI默认 $K_p=5$ 、 $K_i=0.02$ ，SSR周期2s；实际水浴再整定。液位低于工作目标时补水；达到70%后，空罐首次补水需人工复位硬件许可并重新启动。循环流量 $\geq 3\text{L}/\text{min}$ 且流量开关证明连续1s，接触器反馈正常后才加热。任何许可掉线、过温、压力异常、流量丢失、数据过期或硬件自检异常均锁定故障，人工排除后复位、重新启动。

软件温度限值90℃，独立JUMO STB限制95℃（低于90℃人工复位）；压力0.30bar停机；低液位H250、高液位H680。罐体必须具有独立DN25常开通气与溢流，盖不密封。此压力阈值针对短循环支路，不构成罐体承压设计。

输入增加TPS26600 eFuse；4~20mA及AO增加TMUX7412F源侧保护。目标误接 $\pm 24\text{V}$ ；先行实板验证。不得把芯片 $\pm 60\text{V}$ 耐受解释为整板全部端口耐受；AI保险丝为32V。隔离RS485布局保留5mm禁布区及3mm跨域铜间距，器件隔离电压不等于整板认证。

本包属于工程候选。完成原理图/PCB数字检查、主机测试、ARM编译之后，仍需工程评审→EVT实板→整罐联锁和电柜热试→DVT EMC/环境/精度→PVT小批试产→签署制造版本。没有实物测试记录就不放行量产。

07 · 安全链与端子实施

逐线实施以系统逐线接线表.csv为准；PCB接线与引脚.csv只定义板上插座。PT2.5各电位用独立端子组，禁止N和0V跨接。每个导线两端印W编号；接触器按实物1L1/2T1、3L2/4T2接线，其余主极不使用。所有230V触点安装防触罩。

主回路：现场L/N→Q0(A9S60232,32A)→QF0(C20,Type A,30mA)→QF1(C16)→K1→K2→H1；SSR串联在K2之后的L线上。两只接触器同时断开L/N，PE直达加热器独立接地螺柱。QF2 C4给电源、泵和过滤风扇供电。Q0为柜内锁定维护隔离点；现场入口另有可隔离上游回路。

24V分支DC1板1A、DC2屏1A、DC3传感器1A、DC4安全链2A、DC5阀/报警1A。PTCB出厂通常4A，装配必须重新设定和记录。IN-仅给保护器自身供电，各负载回流到独立0V母排。HDR-100-24是Class II，未设FG，勿虚构FG接点；柜体/罐/加热器/泵的PE仍必需。24V峰值预算≤3.1A (74.4W)，3.83A电源余量约19%；以最终阀线圈功率及实测峰值校核。

SR1 A1供电链：DC4→STB健康触点14/16→KR5低液位健康NO11/14→KR7压力健康NO11/14→SR1 A1；A2=0V。STB永久由DC4供电，三线Pt100接1/2/3、6/7/8；两只探头必须与058批准配置及厂家订货确认匹配。该组合校验是采购关闭项。

急停NC1串SR1 S11/S12、NC2串S21/S22。SR1选双NC且人工监控启动，Y1→K1镜像NC21/22→K2镜像NC21/22→S1瞬时NO→Y2。复位只恢复硬件许可，不直接发出加热启动命令。低液位或STB/压力掉线使SR1失电；恢复后必须实测不能自行重启。按钮粘连、通道差异、接触器焊接模拟均列入DVT。

PCB DO2驱动KR1，加热命令P_CMD经KR1 NO送SR1安全输出13/14和23/24，再分别驱动K1/K2。SR1 33/34干接点送DI8，同时并接KR9 9mA线圈，使输出负载总电流高于厂商最小10mA。Z1是PWM诊断输出，禁止接DI8。K1/K2 NO13/14串联送DI4；NC21/22是厂家确认的镜像触点，安装只用本体触点。

急停附加第三NC由DC5提供P_ES，直接切断补水阀供电；P_ES同时驱动DI7和KR8。泵L经KR8 NO及KR2泵命令NO，急停直接断泵。补水24V经P_ES→KR6高液位干态许可NO→KR3补水命令NO→常闭YV1。高液位或急停断开补水，阀失电关。DO6经KR4驱动红灯/蜂鸣器，故障消除前持续报警；当前固件无静音输出。

现场仪表从DC3供电，AI插座J6/J7/J8的pin1留空绝缘；AI信号接pin2、0V接pin3。DO用PCB J14.1内部V24给SSR及KR1..4正端，DO返回负端；禁止从外部24V反向给DO钳位供电。J12.1也留空，J12.2接0V。盖开关只接NO13/14软件许可，不构成整机安全防护等级认证。

采购的是具有相关认证的器件，但LMT/PI及普通中间继电器链不等于完整PL/SIL安全功能。整机风险评估、保护结构、重启实测和接地/漏电试验是投产前必须关闭的工程项。

依据：JUMO701150手册第27、29、98页；Schneider XPSUAF数据表接线页；LC1D镜像触点FAQ <https://www.se.com/uk/en/faqs/FA142116/>；其余型号逐行来源见配件表。

08 · 制造订货规格

尺寸单位mm，以罐内底基准H0；内径400±1、有效直高800±1，几何100.53L。工作液量70L，高度约557mm；显示“70%”基于800mm满量程，约70.37L。316L壳厚2、底3；非承压、耐水热循环、焊后酸洗钝化并漂洗。25厚保温层外加0.8厚304护壳；保温材料需湿热稳定、难燃，禁止遮挡探头拆装。三腿高度250，水平调节脚，满载承载≥250kg。底部局部排空坡度≥1:100；LT底部齐平处定义实际零位，在成品上标定。盖铰链可开启、不设承压密封；防烫把手和固定热表面标签。

端口：H1=H100、DN65 PN16，水平侧插，朝向0°；T3/T4=H160、G1/2压紧套，方位60°/120°靠近加热器；LSL=H250 E43300方位180°；T1/T2=H300 G1/2，方位90°/270°，插入100；LSH=H680 E43300方位180°；LT=底部E30122；循环吸口H180/回口H400，均Rp1/2，方位210°/240°。顶部补水喷口H760，经空气间隙自由落水；溢流H720 DN25，通气H800 DN25独立无阀。底排Rp1/2阀柄可锁。各传感器至少留150轴向拆装和80周向扳手空间。

加热器项目订货码TANK-H1-230-3000-A02：230V、3000W±3%，接线标L/N/PE；三根U形316L套管 $\varnothing 14 \pm 0.1$ ；各自两直有效段310/285/260、弯曲中心R20、冷端35，外端总插入372±2。六腿按60°布置，中心环R20、腿外包络 $\varnothing 54$ （验收≤56），三U配对为对径腿，末端错开25，避免三弯相交。有效长度 $2 \times (310 + 285 + 260) + 3\pi \times 20 = 1898.5$ ，面积835.0cm²，功率1080/1000/920W按长度分配并联，名义各段面负荷约3.60W/cm²。供货图必须证明冷端/有效段边界、端封防潮、六腿不互碰、接线盒IP65及PE独立螺柱；253V、功率上偏时面负荷约4.50W/cm²，需厂家明确最高工作电压及热试。

DN65法兰：项目接口要求OD185、PCD145、4孔 $\varnothing 18$ 均布，孔跨中心线，316L，厚度及焊颈按厂家GB/T9124.1配合图确认。法兰配套EPDM全平垫、M16紧固，插入口净通径≥62，罐方/加热器方首件互配。这里给出接口基准，不替代法兰标准和焊接制造图。加热器外端插入372与内径400之间预留28；轴线中心H100及束径56顶点128，低液位H250留出122水覆盖。

循环：316L $\varnothing 21.3 \times 2$ DN15，总长≤2m，≤4只长半径90°弯、4套活接；V1→COMFORT泵→流量计→V2→回罐。泵水平轴、接线盒上方，SM6120前5D/后2D直段至少87/35。PT/PS位于泵后支管，采用2个316L $\varnothing 60$ 传感器小腔与E30122焊口，不缩窄循环主通径；腔内排气、无死封液。泵扬程1.4m级，要求装配实测3~5L/min；不达3须调整回路并重新审核泵型，禁止绕过流量联锁。

补水：冷水1~3bar、5~30°C→隔离V3→Y过滤→止回→6213常闭阀→ $\varnothing 2.6 \pm 0.05$ 可拆限流孔→顶部空气间隙。薄孔Cd0.62估算2.79~4.83L/min，验收≤5L/min；30min超时，首次70L在最低入口压力应≤28min。限流计算是预测，阀/滤/止回压降须实测。DN25溢流必须在最大补水量时不淹没补水空气间隙；每批确认通气/溢流无堵塞。

电柜800×600×300，安装板实际孔位随NSYS3D8630P厂家图。门上HMI开孔192×138，四角按厂家半径；急停、2复位、红灯、蜂鸣器 $\varnothing 22$ 孔（实际安装孔按XB5图）。HMI中心约门宽中线/距上缘180，按钮中心距70，距上缘350。内部PCB护盖225×140×35；M3孔网206×121；两条端子轨各长250，主回路左侧，控制板右侧，230V/弱电线槽分离≥50。导轨总切长≤3m，预留20%空间；风扇下进上出，距离热罐至少500，格兰在底板单线单孔。

70L水从20到85°C理想升温约105.8min，100L约151.2min；候选整机70L验收≤140min。温度均匀性、局部过温、保温损耗、85°C长期循环、空罐禁止加热、满液溢流和防烫结构须在首件测试。

09 · 固件和出厂配置

已提供 stm32/ 原生 GCC 工程，采用官方 CMSIS、STM32G4 HAL 和启动文件，来源提交固定在 stm32/vendor/sources.json，授权文件随源码保存。可在安装 Arm GNU Toolchain 后执行 make -C stm32；工具链不随交付包分发。电脑测试仍使用上一级 make test。

2026-10-04 已用 Arm GNU Toolchain 15.2.Rel1、GCC 15.2.1 交叉编译通过，启用 -Wall -Wextra -Werror。生成 ELF、BIN、HEX 和链接 MAP，保存在 images/。它们是 EVT 候选镜像，尚未烧入实板，不能作为生产烧录文件。

已接入的板上功能

STM32G474RE，Flash 起始 0x08000000、物理 512KiB、应用 508KiB（尾部 4KiB 参数双页），使用 0x20000000 起始的 96KiB SRAM；32KiB CCM 不用于本版链接。采用复位默认 HSI 16MHz，不使用外部晶体或 PLL；SWD PA13/PA14、NRST PG10 保留。入口向量和初始栈已从 BIN 核查，运行仍须上板确认。

- SPI1 PA5/PA6/PA7，模式 1、约 1MHz；PA4/PB0 分别选择两颗 MAX31865。配置三线、50Hz、连续采集；读取 RTD 与故障寄存器，故障不刷新有效时间戳。- I2C1 PB6/PB7，标准速率候选时序；ADS1115 地址 0x48，±4.096V、128SPS、逐路单次转换，等待 OS 完成并核对配置。AI1/2/3 默认换算 0-0.1MPa、经实罐标定 0-100%、0-35L/min；AI4 采集接口保留。- MCP4728 地址 0x60：AO_ENABLE 保持低，逐通道设置内部 2.048V 参考、增益 1、正常模式和零值，读取寄存器确认后允许更新。上电不重复写 EEPROM。运行快速写入四通道，C/D 固定为零；A/B 全量程理论码限于 4065，输出仍需实测校准。I2C 输出失败锁存故障并钳位，需重启恢复 DAC 初始化。- PC0-PC7 为低有效 DI；许可接通需连续三次采样，许可移除在下一采样生效。采样周期与阻塞采集造成的实际响应时间需要实测。DI8 同时在硬件门控 DO1。- PB10-PB15 为六路 DO，PC8 为 AO_ENABLE；复位后首先置低。停止、故障或 DAC 失败时关闭执行负载；故障报警单独置位。主循环每 100ms 运行，完成采集、控制和安全输出处理后喂独立看门狗，未在中断中无条件喂狗。- USART2 PA2/PA3，PB1 控制 RS485 方向；固定站号 1、19200bps、8E1。字符完成时间由 TIM2 1MHz 计时，t3.5 约 2006μs；字符间隔判定考虑一个字符本身的 11 位时间，错误帧丢弃。具体帧间隔、UART 错误恢复、方向与波形需用主站和逻辑分析仪测试。- PA0/PA1 为 TIM2 CH1/CH2，负边沿捕获对应两个 PNP 脉冲。32 位计数及过捕获计数供调试检查；K 系数、流量累计、掉电累计和协议映射尚未完成。当前工艺闭环仍使用 AI3。

USART2 的 8E1 选择及帧间隔依据 [Modbus 串行实施指南 V1.02](<https://www.modbus.org/file/secure/modbusoverserial.pdf>)。MCP4728 寄存器初始化及读回依据 [厂商 DS22187E](<https://www1.microchip.com/downloads/aemDocuments/documents/OTH/ProductDocuments/DataSheets/22187E.pdf>)。上述资料支持实现选择，编译不证明板上时序正确。

寄存器 (PDU 零起始地址)

功能码 03 读取 0-11：状态、故障位、T1×100、T2×100、压力 MPa×10000、液位%×100、流量 L/min×100、设定温度×100、加热输出%×100、请求 DO 位图、DI 位图、核心协议版本 0x0200。无效/过期测量返回 0x8000。DO 位图表示控制请求，实际输出应通过电测和执行器反馈确认。

功能码 06：0x0100 写设定温度×100，范围 2000-8500；0x0101 写命令（1=启动、2=停止、3=故障复位）。CRC 错误无响应，非法地址异常 02，参数/条件不符合异常 03。不支持广播写入；不提供在线站号/串口配置。

烧录及运行验证

首先在与功率加热回路断开的电气模拟工装上，用 SWD 将 EVT HEX/ELF 下载至 0x08000000；核查 MCU 型号、Flash 容量、复位与选项字节。测试 GPIO 初态、DAC EEPROM 非零、掉电/欠压、I2C 卡住、SPI 故障、UART 错误及看门狗复位，再接入实际设备验证。不能通过本项目远程证明上述实物测试已完成。

A02已实现参数与校准双页持久化、CRC32、版本和最后写入提交标记。主机测试覆盖32个断电边界及2048个单比特损坏，真实Flash擦写/DBANK/掉电仍须MCU验证。0x0200..0x0239为116字节IEEE754/uint32小端载荷，低16位字先传，每次03/06只操作1寄存器。STOPPED/FAULT才允许06写，0x02FF写0x5AA5校验并提交；无效参数异常03、保存失败04，提交不启动。首次无有效记录锁F_STORAGE，必须工厂校准、保存和回读。factory/commission.py只有明确--commit才写设备。

已接入温度/AI/AO gain及offset校准，液位满量程16.30146176mA是p980kg/m³、800mm计算值，实罐再标定。默认Ki0.02、补水1800000ms。DI7为急停许可，PB2检测TMUX共享故障。AO扩展接口基准保持零；脉冲仅调试计数，不参与闭环或累计。基准没有实现板上UART服务、自动排料和事件历史。

10 · 操作屏集成

目标EBPro 6.10.02.421，800×480；选择MODBUS RTU (Zero-based Addressing)，设备站1，COM2二线RS485，19200/8E1。DB9 pin2 D+接PCB J15.1 A；pin1 D-接J15.2 B；pin5参考接J15.3 GND_ISO。两端120Ω；屏蔽只在柜侧壳PE单点。HMI24V/0V来自DC2，与隔离通讯参考不可随意短接。先在STB禁止加热时验证站1寄存器11回读0x0200及温度量程。

逻辑地址见标签CSV，PDU0对应零基4x0，不能错加1。工况只用03读/06写；当前固件不支持16，写命令要强制单寄存器06。保持寄存器0~11可合并一次读12个；厂参0x0200~0x0239只能每次读/写1个，不在普通HMI页开放。屏刷新500ms；连续3次通信超时显示红色“通信中断”，测量冻结后标记为过期，禁用启动/写设定。HMI没有承担独立安全功能。

运行页：温度大字、复核温度、压力/液位/流量、设定20~85°C、加热百分比、8个许可灯。底部启动/停止/故障复位；停止始终可见；上电不发启动。故障页解码F_SENSOR1、F_PERMIT2、F_OVERTEMP4、F_LOW_LEVEL8、F_FLOW16、F_PRESSURE32、F_FILL_TIMEOUT64、F_CONTACTOR128、F_TIMING256、F_STORAGE512；同时多位逐条显示，故障复位不自动启动。

状态0停止、1补水、2循环证明、3加热、4恒温、5故障。DI bit0低位/1高位干态/2流量证明/3双接触器/4压力/5盖/6急停/7硬件许可。DO bit0 SSR/1接触器命令/2泵/3补水/4保留排水/5报警。壁温字段在A02定义为第二液温复核，不当罐壁实际温度。

设定写入0100为RAM操作参数，掉电恢复厂参中的设定值65°C。若需持久设定，停机后维护人员用factory脚本写校验完整58字并提交；不允许操作页任意改安全上限。默认无蜂鸣静音控制，屏不能宣称静音按钮已实现。

交付的离线布局预览.html和标签/布局规格可由EBPro工程师复现。当前环境macOS未运行Windows EBPro，原生.cmtpl.exob工程及屏下载联调仍待完成；HTML不是可烧录HMI固件。

驱动依据：https://dl.weintek.com/public/PLC_Connect_Guide/MODBUS_RTU_Zero_based_Addresssing.pdf

11 · 工厂验证与追溯

38个验收项目见factory/验收记录模板.csv，实测栏全部空白。现有通过项仅为软件主机测试与ARM构建；不得将模板当测试报告。

工位1收料和AOI/X-ray；工位2限流24V轨及烧录；工位3模拟Pt100/电流/DI/低侧DO及RS485；工位4配置校准和Flash掉电；工位5电柜逐线/PE/电气检验；工位6冷水联锁、热水温升、整机记录。先用假负载完成控制与安全链核查，再连接230V加热器。

烧录STLINK-V3MINIE：J2 pin1=3.3V参考、2=SWDIO、3=SWCLK、4=GND、5=NRST；板本身24V供电。验证STM32G474RET6识别及DBANK=1/BFB2=0；应用Flash508KB，0807F000/0807F800保留为两个2KB参数页。烧录后初次启动因无有效出厂参数锁定F_STORAGE，必须校准、提交和回读，再人工复位及启动。不能擦除参数后直接交货。

每台序列号关联PCB版本、BOM版本、固件SHA256、58字配置、传感器配置文件、校准工具证书、工位日志、最终签署。首批建议10台EVT、30台PVT，以良率/不良分析/再测记录关闭工艺；批量规模由实际风险评审决定。

12 · 量产放行条件

1. 当前CAD以最终validation报告为准；人工电源/RTD测量路径审查、PCB DFM/铜厚/回流工艺/测试点覆盖未实物闭合。U25隔离模块及U28/U29 TMUX封装没有对应3D实体，不可把缺模型当缺焊盘。2. Murata MEJ1S0509SC及Vishay P0805Y4000LNT需厂家/授权渠道明确MOQ、供货周期、完整订货码。其他MPN填入BOM亦未等同供货确认；被动件替代必须满足精度/温漂/电压/封装/寿命条件。3. JUMO 058批准主机00564208与两只902006配置探头组合、探头引线颜色、STB限制器模式及人工复位行为需要厂家书面和成品确认。4. Grundfos短回路实际流量、阀实物线圈功率与动作、低液位/高液位/压力传感器配置文件、接触器同步、SR1失电恢复禁止自启动和全部焊接模拟尚未做。5. HMI已给寄存器/画面布局和离线预览，EBPro原生工程、下载运行、通信中断显示以及实际门板开孔互配尚未完成。当前macOS环境未运行Windows EBPro，不伪造exob/cmt产物。6. 24V反接/浪涌、AI/AO±24V误接、热插拔/短路、RS485隔离供电、MCU真机掉电Flash回退和看门狗故障注入未做；软件测试仅覆盖逻辑和记录格式。7. 整机230V接地/绝缘/漏电保护、SSR短路断热、90/95℃限制、253V满负载、最高环境温度、风扇堵转、EMC及连续运行未做。8. 销售地区/整机分类尚未确定，因此适用法规/认证、铭牌和最终检验条款由法规工程评审确定，不宣称CE/CCC/UL或PL/SIL整机认证。

以上采用工程验收关闭，不再重复询问已确认基准。所有价格和交期留空，没有下单或联系供应商。

13 · 主要选型及采购执行

对象	订货型号	单台数量
主控/复核液温探头	TM4431	2支
独立超温用温度探头	902006/10-402-1003-1-9-100-104/000	2支
连续液位变送器	PM1789	1只
循环回路压力变送器	PM1707	1只
独立压力许可开关	PI2799	1只
低/高液位开关	LMT100	2只
流量计	SM6120	1只
定速循环泵	98485504 / COMFORT 15-14 B PM	1台
常闭补水电磁阀	20056292 / Type 6213	1只
24V DIN电源	HDR-100-24	1台
交流加热SSR带散热器	G3PE-225B DC12-24	1只
串联加热接触器	LC1D25BD	2只
急停/重启监控继电器	XPSUAF13AP	1只
独立超温限制器	00564208 / 701150/8-01-0253-2001-25/005,058	1台
7英寸操作屏	MT8072iP V2	1台
浸入式加热器	TANK-H1-230-3000-A02	1套

完整71行配件、11行工装和59组PCB物料的规格、配套附件、安装约束及厂家URL均在XLSX中逐行提供；BOM CSV及JSON也在交付目录。价格为未询价空白，不以网页价代替商业报价。