摘要

本设计以 STM32F103C6 单片机为核心控制器，构建了一套冰箱冷藏室温控闭环系统，通过 DS18B20 单总线数字温度传感器实现冷藏环境温度的实时采集与高精度测量。系统采用 LCD1602 液晶显示屏作为人机交互界面，直观展示当前温度值与预设的高低温阈值，同时通过串口模块将温度数据上传至上位机，便于开发调试与数据记录；三个独立按键分别承担模式切换、阈值增加与减少功能，支持用户灵活调整温控参数。

当实时温度高于设定高温阈值时，系统点亮红色高温告警 LED，驱动风扇与压缩机继电器执行制冷操作，并控制模拟电磁阀调节制冷通路；当温度低于设定低温阈值时，绿色低温告警 LED 亮起，系统停止制冷动作以避免过度冷却，从而将冷藏室温度稳定维持在目标区间。该设计集成了温度采集、人机交互、告警提示与执行机构驱动等功能模块，具备响应迅速、控制精准、操作便捷等特点，可有效满足冰箱冷藏室对温度稳定性的需求。

关键词：STM32F103C6；DS18B20 温度传感器；LCD1602 显示；温控系统；按键输入；继电器驱动；串口通信；PWM 电机控制

Abstract

This design takes STM32F103C6 single-chip microcomputer as the core controller to construct a closed-loop temperature control system for refrigerator cold storage rooms. The real-time collection and high-precision measurement of the ambient temperature in the cold storage are realized through the DS18B20 1-wire digital temperature sensor. The system adopts an LCD1602 liquid crystal display as the human-computer interaction interface to intuitively display the current temperature value and the preset high and low temperature thresholds. Meanwhile, it uploads the temperature data to the upper computer through the serial port module, which is convenient for development, debugging and data recording. Three independent buttons are responsible for mode switching, threshold value increase and decrease respectively, supporting users to flexibly adjust temperature control parameters.

When the real-time temperature is higher than the set high temperature threshold, the system lights up the red high temperature alarm LED, drives the fan and compressor relay to perform cooling operations, and controls the analog solenoid valve to adjust the cooling path. When the temperature is lower than the set low temperature threshold, the green low temperature alarm LED lights up, and the system stops the cooling action to avoid overcooling, so as to stably maintain the temperature of the cold storage room within the target range. This design integrates functional modules such as temperature collection, human-computer interaction, alarm prompt and actuator drive, featuring fast response, precise control and convenient operation, which can effectively meet the demand for temperature stability in refrigerator cold storage rooms.

Keywords： STM32F103C6; DS18B20 temperature sensor; LCD1602 display; temperature control system; key input; relay drive; serial communication; PWM motor control

目录

摘要 1
Abstract 2
第 1 章 绪论 7
1.1 研究背景与意义 7
1.1.1 电冰箱与冷藏保鲜发展现状 7
1.1.2 温控需求与嵌入式控制意义 8
1.2 国内外研究现状与技术分析 8
1.2.1 国外家电温控与嵌入式应用概况 8
1.2.2 国内单片机温控装置研究进展 9
1.2.3 现有方案的不足与改进方向 9
1.3 本课题研究内容、技术路线与论文结构 9
1.3.1 课题主要研究内容 9
1.3.2 技术路线与实现思路 10
1.3.3 论文结构安排 11
第 2 章 冷藏室热过程与温控需求分析 13
2.1 冷藏室热过程与温控对象特性 13
2.1.1 常见保鲜温区与传感器选择 13
2.1.2 温度波动对食品品质的影响与“过冲”问题 14
2.1.3 对控制策略的基本要求 15
2.2 温控过程及运行风险分析 15
2.2.1 典型制冷与风道工作场景 15
2.2.2 对温控系统的功能需求 16
2.3 系统指标与设计原则 16
2.3.1 性能指标与测控实时性要求 16
2.3.2 安全性与可靠性设计原则 16
2.3.3 仿真验证与经济性分析 17
第 3 章 系统总体方案设计 18
3.1 系统总体结构 18

3.1.1 硬件总体结构 18
3.1.2 主要功能模块与引脚映射 19
3.1.3 软件总体结构与工程分层 19
3.1.4 方案可行性简述 19
3.2 控制策略与工作模式 19
3.2.1 温控工作模式划分 19
3.2.2 主程序流程与中断分工 20
3.2.3 保护与自检策略总体设计 20
3.3 关键器件与平台选型 20
3.3.1 STM32F103 单片机选型论证 20
3.3.2 检测与执行器件选型 20
3.3.3 显示与人机交互模块选型 20
3.3.4 可靠性、可维护性与可扩展性设计要点 21
第 4 章 硬件电路设计 22
4.1 STM32 最小系统与供电电路 22
4.1.1 时钟与复位电路设计 22
4.1.2 电源及稳压模块设计 23
4.1.3 调试与下载接口设计 23
4.2 温度检测电路 24
4.2.1 上拉电阻与拓扑 24
4.2.2 时序与 MCU 的关系 24
4.2.3 单总线常见故障模式与排障要点 24
4.3 LCD1602、按键与 USART 人机接口 25
4.3.1 LCD1602 并行总线与控制线 25
4.3.2 按键与串口资源冲突提示 26
4.3.3 电平匹配、背光与显示可靠性 27
4.4 执行机构、驱动与指示电路 27
4.4.1 ULN2003A 与风扇驱动 27
4.4.2 继电器与压缩机仿真 27

4.4.3 主要外设引脚分配与网络标号 28
4.5 电源功耗与抗干扰设计要点 29
4.5.1 静态与动态电流的估算方法 29
4.5.2 供电拓扑与余量选取原则 29
4.5.3 EMC、布线抗干扰与接地策略 29
第 5 章 软件设计 31
5.1 Keil 工程与 HAL 总体结构 31
5.1.1 HAL 库分层思想与工程组织 31
5.1.2 引脚资源与驱动层映射 31
5.1.3 模块划分与文件职责 32
5.2 主程序流程与任务调度 33
5.2.1 初始化序列与时序依赖 33
5.2.2 主循环与任务划分 34
5.2.3 定时中断服务与软件 PWM 机理 34
5.3 信号采集与数据处理 34
5.3.1 单总线时序与驱动实现 34
5.3.2 温度转换与读取流程 35
5.3.3 异常读数过滤策略 35
5.4 温控逻辑、软件 PWM 与参数设置 35
5.4.1 阈值判断与执行输出映射 35
5.4.2 设置模式与越界约束 35
5.5 显示与键盘交互程序 35
5.5.1 显示缓冲区与刷新策略 35
5.5.2 设置界面与防误触策略 36
5.6 典型调试问题与排错流程 36
5.6.1 上电无显示或花屏 36
5.6.2 串口全为乱码 36
5.6.3 DS18B20 读数乱跳或固定异常温标 36
5.6.4 风扇脉宽调制无波形或不变 36

5.6.5 开发环境器件未注册或无法下载 37
第 6 章 Proteus 联合仿真与测试结果 38
6.1 仿真环境与模型搭建 38
6.1.1 Proteus 工程建立与网络命名 38
6.1.2 HEX 绑定与 MCU 时钟配置 38
6.1.3 Keil 程序与 Proteus 联调方法 38
6.2 正常工况仿真结果 38
6.2.1 维持区运行与 LCD 刷新 38
6.2.2 串口监视与示波器观测 38
6.2.3 阈值边界与回差现象 38
6.3 异常工况与保护性能测试 39
6.3.1 高温区工况 39
6.3.2 低温区工况 39
6.3.3 读数异常与通信失败 39
6.4 性能评价与误差分析 39
6.4.1 模型理想化与测量误差来源 39
6.4.2 系统响应与稳定性 39
6.4.3 实验记录、观测指标与任务书符合性 39
第 7 章 结论与展望 41
7.1 本课题工作总结 41
7.2 后续研究展望 41
参考文献 42
致谢 44

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 电冰箱与冷藏保鲜发展现状

电冰箱作为家用制冷设备，其基本功能是在封闭箱体内维持低于环境温度的热力学状态，从而抑制微生物繁殖、减缓酶促反应与氧化过程，实现食品的短期保鲜。冷藏室通常设定在 0℃～10℃ 左右的温区（具体因产品等级、气候类型与用户习惯而异），与冷冻室形成分工：冷藏室强调“保鲜不冻结”，冷冻室强调“长期保存”。随着城镇化推进与冷链意识提升，用户对冰箱的需求已从“能制冷”升级为“控温稳、能耗低、噪音小、交互友好”，部分中高端产品进一步引入变频压缩机、风道优化、多传感器融合与联网管理等功能。

从产业技术路线观察，冰箱控制器经历了机械温控、电子温控到全数字控制的演进。机械温控器结构简单、成本低，但存在触点磨损、精度有限、无法软件升级等问题；电子温控以模拟比较器、专用 ASIC 为主，性能优于机械方案，但可编程性与扩展性仍受限；数字控制以 MCU 为核心，可将控制律、人机界面、通信与自诊断统一在软件中实现，并通过参数标定适应不同机型。对高校教学与工程训练而言，采用通用 MCU（如 STM32）完成一个“可仿真、可下载、可扩展”的冷藏温控原型，有助于学生把模拟电路、数字电路、传感器、总线时序、嵌入式 C 语言与调试工具链串联成完整知识链条。



图 1-1 家用电冰箱与冷藏保鲜应用场景

1.1.2 温控需求与嵌入式控制意义

冷藏室温度并非越低越好：温度过低可能导致某些果蔬冷害，过高则细菌繁殖加快。工程上更关注“稳定在规定区间”与“避免执行机构频繁抖动”。嵌入式数字温控的意义在于：其一，以数字传感器获得可校准、可滤波的温度量测，减少模拟漂移；其二，以软件实现阈值、滞环、延时、故障判断等逻辑，使系统行为可复现、可记录；其三，以显示与串口提供人机交互与远程监视通道，便于实验数据采集与故障定位；其四，为后续扩展（PID、自适应、网络远控）保留接口。相比纯硬件比较器方案，MCU 方案的开发成本更多体现在软件设计与验证流程上，但其迭代效率与功能上限显著更高。

1.2 国内外研究现状与技术分析

1.2.1 国外家电温控与嵌入式应用概况

国外大型家电企业长期投入于能效标准（如欧盟能效标签体系）、变频驱动与系统辨识等领域。高端冰箱常见技术包括：多路温度传感、湿度传感、风门步进控制、压缩机变频 PWM、化霜策略优化等。MCU 平台从 8/16 位逐步过渡到 32 位 ARM 平台，软件上引入 RTOS、模型预测控制与远程 OTA。对教学型小型系统而言，国外开源社区提供了丰富的 STM32 示例与 CMSIS/HAL 文档，降低了入门门槛。需要指出的是，完整商用冰箱控制涉及安规、EMC、可靠性认证，与本课题的仿真验证型原型在目标上并不等同，但控制思想与模块化方法具有相通性。



图 1-2 智能冰箱控制示意图

1.2.2 国内单片机温控装置研究进展

国内高校在单片机课程设计中广泛采用温度测控类题目，常见组合包括：51+DS18B20+LCD1602、STC+热敏电阻+数码管、STM32+多种传感器+OLED 等。研究文献与课程报告中，针对 DS18B20 的时序误差、LCD 忙等待、串口中断与主循环协同等问题讨论较多。近年来，STM32 系列因外设丰富、生态完善，逐渐成为主流平台。部分作品进一步引入 ESP8266/蓝牙模块实现手机监控，或引入 FreeRTOS 进行任务拆分，但核心温度闭环仍多采用阈值控制或简易 PID。总体而言，国内研究呈现“硬件方案成熟、软件工程化程度参差不齐”的特点：规范化使用 CubeMX/HAL、模块化驱动与仿真验证的能力仍需在教学环节强化。

1.2.3 现有方案的不足与改进方向

综合工程经验，常见不足包括：1）引脚分配缺乏全局视角，导致 USART 与按键、调试口冲突；2）DS18B20 延时函数与系统时钟不一致，出现随机 85℃、85.0 等异常值；3）主循环读温过快，未等待转换完成；4）LCD 写指令未判忙，显示花屏；5）继电器驱动缺少续流保护或电流能力不足；6）缺少异常读数过滤与阈值合法性检查。本文在方案层面通过“先定资源表、再定 CubeMX”的顺序降低冲突概率；在软件层面对延时、滤波与设置约束进行补强；在仿真层面强调 HEX 路径、晶振网络与虚拟仪器观测方法，以提升可复现性。

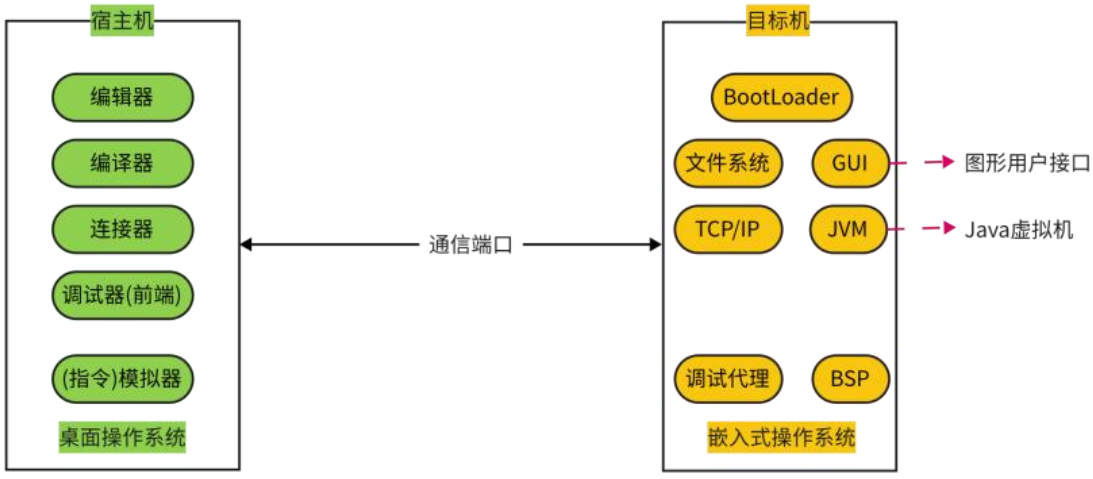


图 1-3 嵌入式开发常见问题与调试手段图

1.3 本课题研究内容、技术路线与论文结构

1.3.1 课题主要研究内容

本文主要工作包括：1）从食品保鲜与热过程角度阐述冷藏室温控需求，明

确双阈值与分档 PWM 的功能边界；2）给出引脚分配一致的总体硬件模块划分、与 JSMCU_DS18B20 工程一致的软件分层及控制流程，并完成关键器件选型（；3）分章论述最小系统、DS18B20、LCD/按键/串口、执行与驱动及抗干扰等硬件电路；4）基于 STM32 HAL 与 CubeMX 组织工程，分述 Keil 工程结构、主程序与定时中断软件 PWM、单总线与液晶驱动、温控逻辑与人机交互及典型调试问题；5）在 Proteus 中联仿，给出正常与异常工况记录、性能评价与误差分析；6）总结全文并展望改进。工程整合层面的特点包括：引脚资源先表后图、软件 PWM 与串口监视及双阈值分区在同一 HAL 工程内协同实现；对 DS18B20 异常读数过滤与阈值合法性约束作系统化描述；强调 Proteus 与 Keil 联合调试与示波器/LCD/串口互证的证据链。

1.3.2 技术路线与实现思路

技术路线：需求分析 → 指标分配 → 总体方案（硬件模块与表 4-1 引脚、软件分层）→ 原理图与 CubeMX 初始化 → 驱动层与应用层（主循环 + 定时中断软 PWM）→ Proteus 与 Keil 联仿及测试 → 结论与展望。实现上先完成“可测可显”（传感器与 LCD），再完成“可控可报”（PB8 风扇软件 PWM、继电器与阀类仿真、LED），最后联调 USART 与示波器观测，避免一次性耦合导致定位困难。

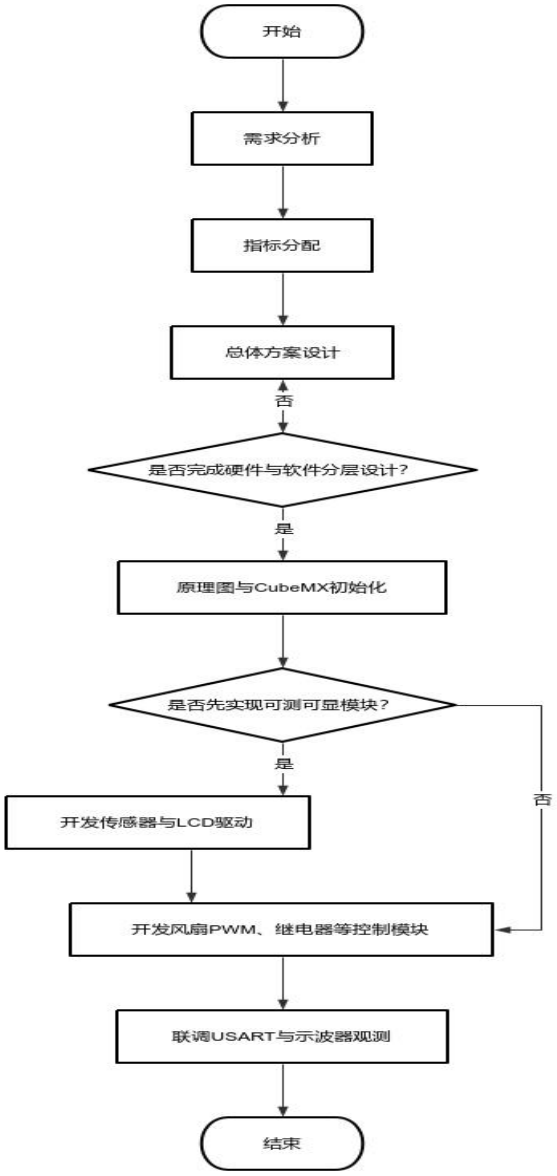


图 1-4 技术路线流程图

1.3.3 论文结构安排

本文共分七章：第一章介绍研究背景、国内外研究现状以及本文的主要内容与技术路线；第二章对冷藏室热过程与温控需求进行分析，提出系统设计指标；第三章在总体上给出与第四章表 4-1 引脚分配一致的硬件模块划分、与第五章 Keil HAL 工程一致的软件分层及控制流程，并完成关键器件与平台选型；第四章详述硬件电路设计；第五章介绍软件设计，包括工程结构、主程序与定时中断软件 PWM、数据处理与显示交互；第六章基于 Proteus 联合仿真，给出测试结果与误差分析；第七章给出工作总结和后续研究展望。附录 A 给出缩略语与符

号说明。常用符号约定：T 为测量温度；TL、TH 为设定上下限；Hot/Low 为界面提示状态；“冷藏室/箱内”在课程语境下等价于 DS18B20 探头所在位置的局部温度。

第 2 章 冷藏室热过程与温控需求分析

2.1 冷藏室热过程与温控对象特性

2.1.1 常见保鲜温区与传感器选择

课程设计任务书通常将冷藏室目标温区设定在约 2℃～10℃，并给出默认上限 10℃、下限 2℃。该区间覆盖了多数果蔬与乳制品的短期保存需求，同时避免过度接近 0℃导致的冷害风险（对某些热带水果尤甚）。从测量角度，传感器应具备足够量程与分辨率：DS18B20 标称 -55℃～+125℃，在 -10℃～+85℃ 范围内典型精度较好，适合本课题；其数字输出避免片外 ADC，减少标定工作量。需要强调的是，单总线传感器对布线长度、上拉电阻与干扰敏感，实际产品中可能同时使用 NTC 与数字探头进行冗余，但教学仿真系统以单点测量为主。

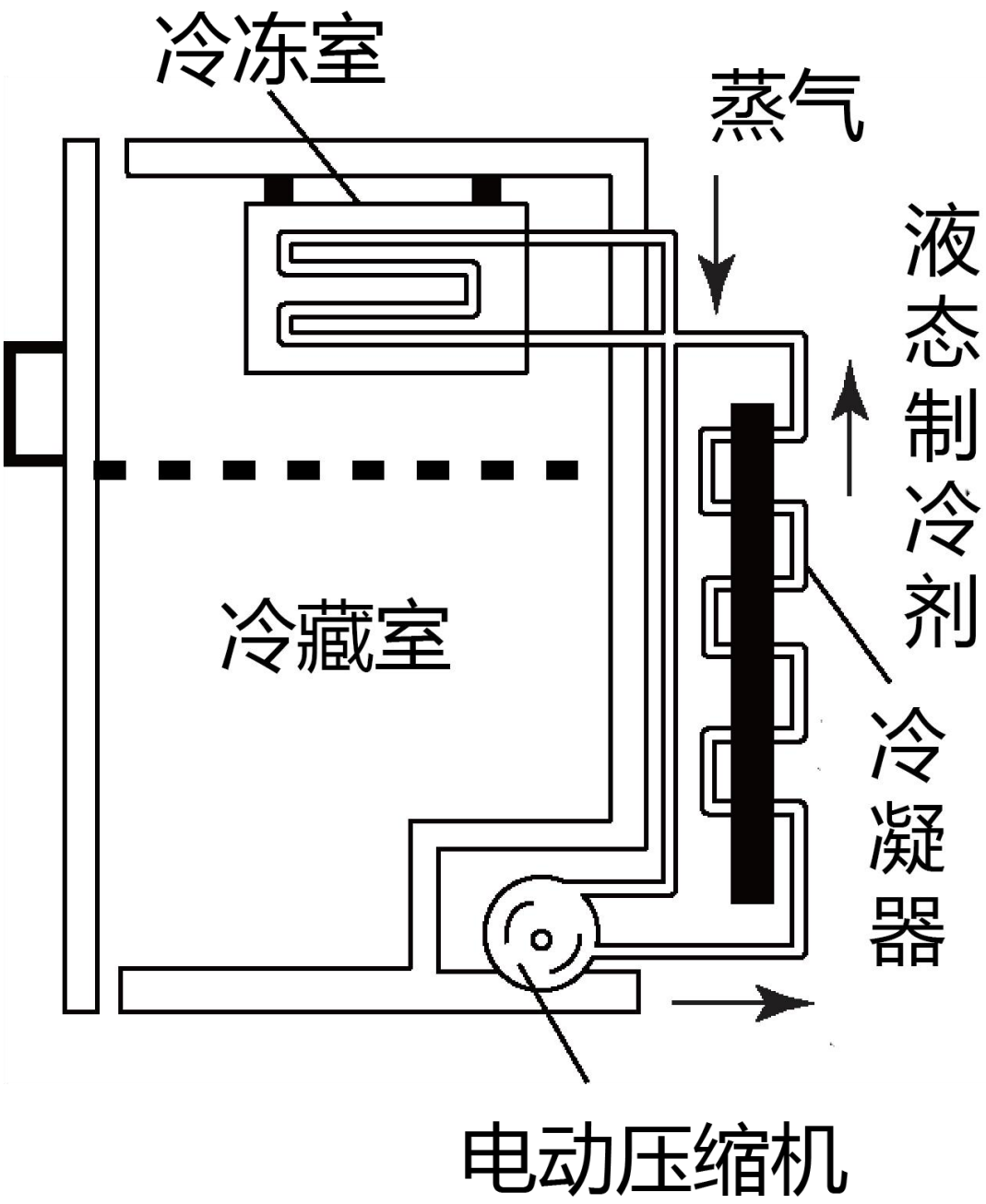


图 2-1 食品冷藏与温区

2.1.2 温度波动对食品品质的影响与“过冲”问题

温度波动会同时影响微生物生长速率与食品理化性质。对于工程控制而言，更重要的现象是执行机构动作带来的“过冲”与“频繁启停”：压缩机启动瞬间电流大，频繁启停降低寿命并增加能耗；风扇转速突变可能带来噪声与振动。双阈值滞环策略通过“高于上限才进入强冷”“低于下限才停机”的方式，在简单逻辑下获得相对稳定的分区行为。若阈值设置过近，系统可能在边界附近来回切换；任务书要求上下限至少相差约 5℃，即从交互层面降低边界振荡风险。

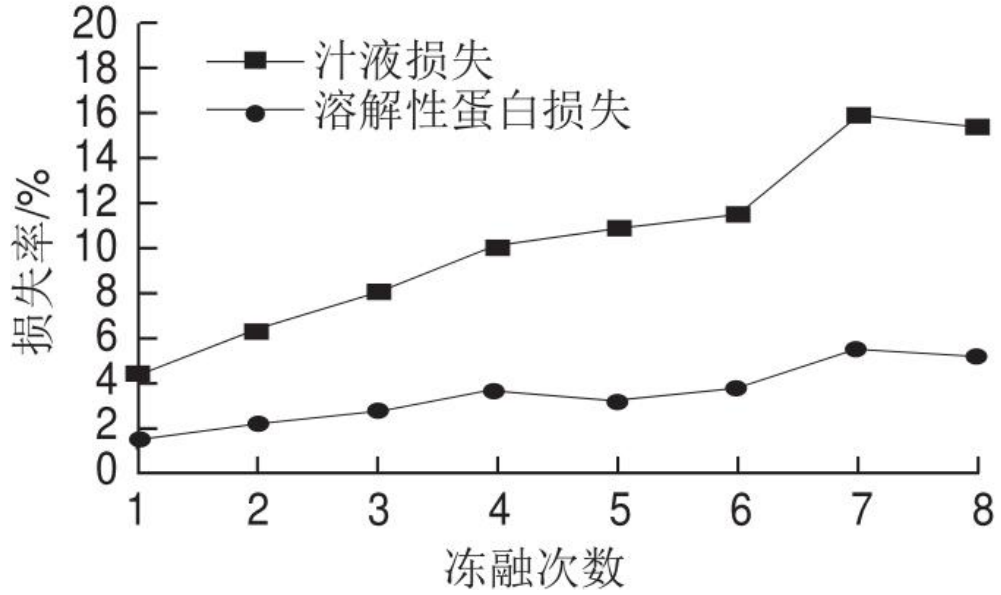


图 2-2 温度波动对食品品质的影响

2.1.3 对控制策略的基本要求

控制策略需实现以下可读、可测、可控行为：实时测温与显示；可修改上下限；温度高于上限提示 Hot 并提高风扇 PWM；介于上下限之间以中等 PWM 维持；低于下限提示 Low 并停止风扇，同时停止压缩机与电磁阀（仿真中以继电器与电机状态表示）；串口上传温度；可用示波器观察 PWM。上述人机与执行资源在总体方案与硬件设计中落实为统一引脚分配（见第四章表 4-1：如 USART1 占用 PA9/PA10、按键占用 PA12～PA14，二者分离），软件中由主循环与定时中断协同完成采样与控制输出（见第五章）。该策略属于规则控制（Rule-based），优点是参数直观；若需更高品质控温，可在保留阈值分区的同时在内环引入 PID 对 PWM 进行细调，本文不展开。

2.2 温控过程及运行风险分析

2.2.1 典型制冷与风道工作场景

家用冰箱制冷系统可抽象为：压缩机驱动制冷剂循环，冷凝器放热，蒸发器吸热，风道风扇促进箱内空气对流，使温度场趋于均匀。教学仿真中，压缩机与电磁阀常以继电器+电机或舵机角度表示：继电器吸合代表压缩机运行；舵机角度代表阀口开度。需要指出，真实系统存在非线性、时滞与耦合，本课题以“温度—阈值—执行输出”的准静态映射为主，重在验证嵌入式控制链路。

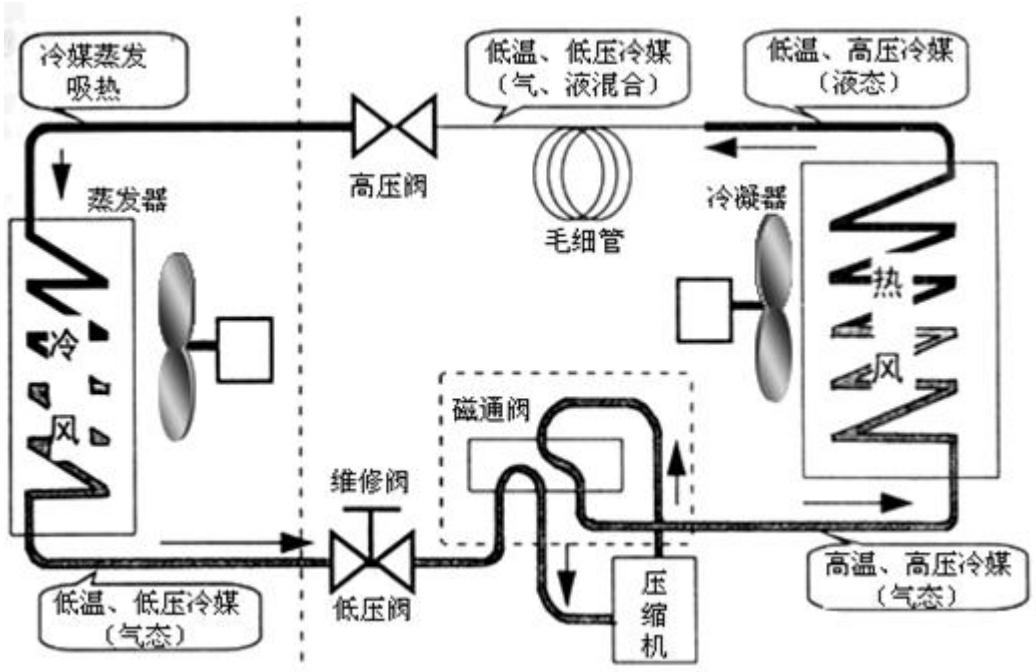


图 2-3 蒸气压缩制冷循环原理

2.2.2 对温控系统的功能需求

将需求分解为可验证条目：（R1）测温误差在仿真允许范围内可读；（R2）LCD 第一行显示温度与状态，第二行显示阈值或状态（与任务书及第五章显示策略一致）；（R3）三键完成设置与加减；（R4）串口连续输出温度或格式化字符串；（R5）风扇 PWM 随温度分区变化（示波器观测 PB8 MOTOR_IN 等网络）；（R6）继电器/阀/压缩机逻辑满足任务书；（R7）示波器可捕获 PWM 波形并与温度区间对照。第六章将据此搭建仿真步骤并记录现象，第七章再归纳结论。

2.3 系统指标与设计原则

2.3.1 性能指标与测控实时性要求

显示分辨率达到 0.1℃（由字符串格式化输出与传感器分辨率共同决定）；主循环周期建议百毫秒级，以平衡 DS18B20 转换时间（默认可达约 750ms 量级，具体与分辨率配置有关）与界面刷新体验。若读温过快，可能读到未完成转换的数据，导致跳变。

2.3.2 安全性与可靠性设计原则

阈值设置必须满足下限低于上限至少约 5℃；软件对 128.0、85.0、-0.0 等异常值过滤；继电器驱动应具备足够灌电流能力并注意感性负载续流避免 5V

与 3.3V 混接造成 MCU 引脚过压。

2.3.3 仿真验证与经济性分析

Proteus 仿真无需大量硬件投入，适合教学；但仿真模型与真实器件仍存在差异，例如电机负载、继电器吸合时间、DS18B20 模型理想化等。本文以仿真验证为主，并对实物化移植时的差异在第四章 4.5 节、第六章 6.4 节等处以“面向实物化”方式提示。从课程组织角度看，本章把“任务书文字需求”转写为“可测试条目 + 可量化指标 + 可解释的设计原则”，为第三章总体方案（模块、表 4-1 引脚、软件分层）提供约束边界：哪些状态必须区分、哪些执行输出必须联动、哪些接口必须在引脚层面提前避免冲突。换言之，第 2 章回答“为什么这样控”，第 3 章回答“用哪些模块与何种资源表去实现”，第 4～5 章分别落到电路与程序，第 6～7 章给出联仿证据与总结展望。

第 3 章 系统总体方案设计

3.1 系统总体结构

3.1.1 硬件总体结构

从硬件角度，本系统可划分为五类功能模块：①电源与 STM32 最小系统（晶振、复位、去耦与时钟）；②温度采集（DS18B20 单总线，经 DQ 与 MCU 相连并上拉）；③人机交互（LCD1602 八位并行数据线与三根控制线、三枚独立按键）；④通信与调试（USART1 异步串口，用于虚拟终端或串口助手）；⑤执行与指示（ULN2003 驱动风扇、继电器驱动压缩机回路、电磁阀或舵机仿真、红绿 LED 状态指示）。信息关系可概括为：探头测得箱内温度经单总线送入 MCU；MCU 依据双阈值策略更新风扇有效转速、继电器与阀类输出，并在液晶与串口呈现；用户通过按键修改上下限。该划分与第四章各小节标题一一对应：4.1 最小系统、4.2 DS18B20、4.3 LCD/按键/串口、4.4 执行与指示、4.5 电源与抗干扰要点。

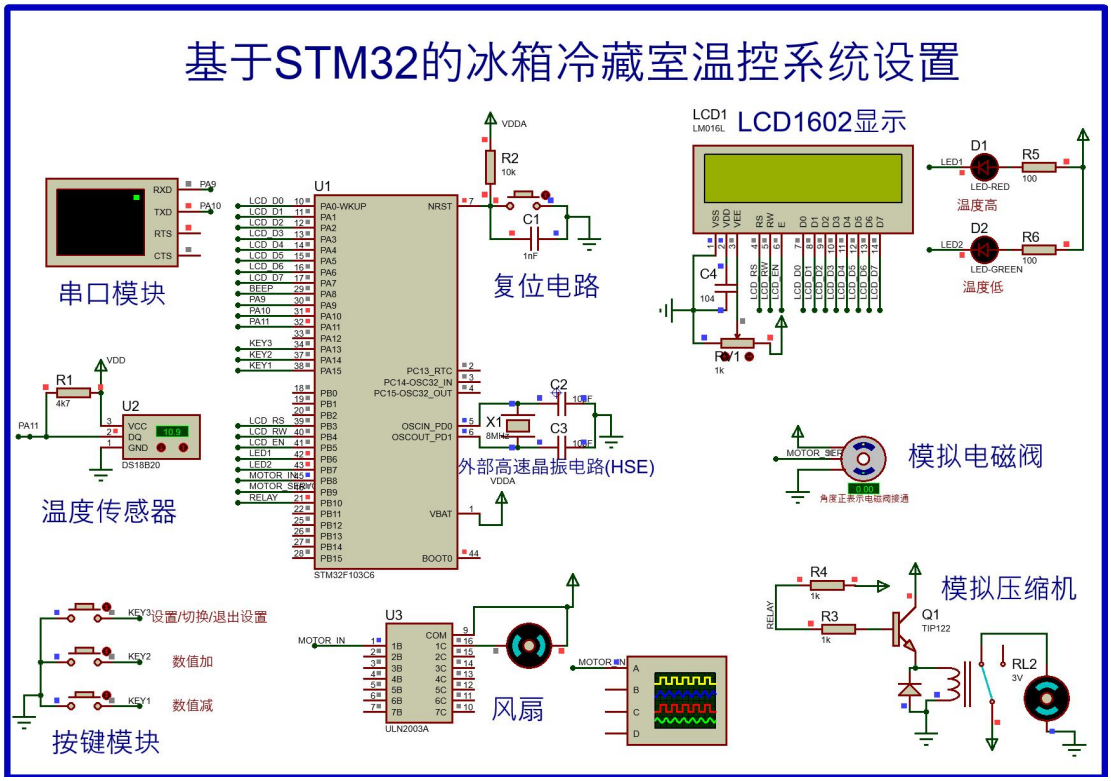


图 3-1 系统总体硬件结构框图

3.1.2 主要功能模块与引脚映射

本设计采用：PA0～PA7 作为 LCD 八位并行数据线（LCD_D0～D7）；PB3、PB4、PB5 作为 LCD_RS、LCD_RW、LCD_EN；PA11 作为 DS18B20 的 DQ（单总线，外接上拉）；PA12、PA13、PA14 作为三键 KEY3、KEY2、KEY1（低有效）；PA9、PA10 作为 USART1 的 TX、RX（与串口模块交叉连接）；PB6、PB7 作为高温/低温 LED；PB8 作为风扇驱动 MOTOR_IN（经 ULN2003）；PB9 作为电磁阀或舵机仿真 MOTOR_SERV；PB10 作为继电器前级 RELAY。该分配保证按键不再占用 PA9/PA10，从方案阶段就消除“串口与按键争脚”类常见错误。

3.1.3 软件总体结构与工程分层

软件侧采用 STM32CubeMX 生成初始化代码，在 Keil MDK 中以工程名 JSMCU_DS18B20 组织。逻辑上分为：应用层（main 中主循环：采样、滤波、阈值判断、显示刷新、按键解析、串口上报）；器件驱动层（DS18B20 单总线协议、LCD1602 八位并行读写与总线方向切换）；STM32 HAL 与芯片支持包（gpio、tim、usart 等外设初始化，stm32f1xx_hal_msp 完成引脚复用；定时器周期中断中实现风扇软件 PWM，；启动与中断向量（startup、stm32f1xx_it）。

3.1.4 方案可行性简述

从资源与实时性看，STM32F103C6 的 GPIO、USART、定时器可满足并行液晶、单总线与毫秒级定时中断软 PWM；从工程风险看，主要难点在单总线微秒时序与电源去耦，均可通过第四章电路与第五章延时封装缓解。若 Keil 提示目标器件未注册，属开发环境器件包问题，安装 STM32F1xx DFP 或按实验室已装器件微调，不改变总体方案。技术路线与第一章所述“需求→硬件→软件→仿真”一致，若答辩需要可另附技术路线流程图于附录，不占本章图号。

3.2 控制策略与工作模式

3.2.1 温控工作模式划分

定义测量温度为 T，用户设定下限 TL、上限 TH。与第二章、第五章一致：T 高于 TH 时判定偏热，界面提示 Hot，风扇占空比提高，制冷相关输出有效；T 介于 TL 与 TH 之间为维持区，风扇中等占空比；T 低于 TL 时判定偏冷，提示 Low，风扇停转并释放继电器等。该规则控制便于映射为程序中的多分支

结构，并可配合“设置状态”扩展阈值编辑界面，

3.2.2 主程序流程与中断分工

主循环承担：温度采样与异常值处理、串口组包发送、根据当前温度区间与设置状态更新风扇占空比变量与继电器等输出、刷新 LCD、扫描按键。定时器以约毫秒级周期溢出，在中断服务程序中依据占空比变量更新 PB8（MOTOR_IN）电平，多周期平均即等效软件 PWM，与第四章 ULN2003 风扇驱动及第五章 5.2.3 一致。按键可在主循环轮询，亦可用外部中断置标志，本设计以简单可靠为主。

3.2.3 保护与自检策略总体设计

在阈值编辑模式下，对 TL、TH 的合法范围及最小温差进行约束；对传感器返回的明显异常读数予以剔除；实物化时可对继电器增加最小吸合间隔。上电后可对液晶与 DS18B20 做简易自检：通信失败时在串口或液晶给出提示，避免无显示误判为正常。

3.3 关键器件与平台选型

3.3.1 STM32F103 单片机选型论证

选用 STM32F103C6：Flash 32KB、SRAM 10KB、主频可达 72MHz（取决于时钟树配置），片内集成 USART、TIM、GPIO，满足本课题。若改用 STM32F103C8，Flash 更大、封装兼容时可平滑替换。开发环境为 Keil MDK，若提示找不到 C6 器件，需安装 STM32F1 系列器件支持包或按实验室环境选择已注册器件并匹配下载算法，与第五章 5.1.4、5.6.5 一致。

3.3.2 检测与执行器件选型

DS18B20 提供数字温度量，省去片外 ADC；ULN2003A 提供多路达林顿灌电流驱动，适合风扇与继电器线圈前级；继电器与 TIP122 等功率器件构成压缩机回路开关；仿真中用电机、舵机角度表征阀位与负载，

3.3.3 显示与人机交互模块选型

LCD1602 为字符型液晶，八位并行模式与第五章 lcd1602 驱动相匹配；三枚独立按键实现设置与加减，低有效配置与第四章一致。串口调试可采用 CH340 转 USB 或 ProteusVIRTUAL TERMINAL，波特率须与工程 USART 配置及第四章晶振设定一致。

3.3.4 可靠性、可维护性与可扩展性设计要点

硬件上通过去耦、复位、限流与驱动裕量提高可靠性；软件上通过异常读数过滤、阈值合法性检查、避免在中断服务中执行长延时单总线操作等降低逻辑风险。

第 4 章 硬件电路设计

4.1 STM32 最小系统与供电电路

4.1.1 时钟与复位电路设计

STM32F103 通常使用外部高速晶振 HSE（常见 8MHz）作为时钟源，经 PLL 倍频得到系统时钟。晶振两侧需负载电容（常见 10pF～22pF，以数据手册与晶振厂商推荐为准），布线应靠近 MCU，减少寄生参数导致起振失败。复位电路采用 NRST 上拉电阻与按键对地，上拉电阻典型 10kΩ，可并联小电容抑制抖动。仿真中若时钟模型缺失，可能导致串口波特率偏差，需在 Proteus 中核对 MCU 时钟属性与工程 SystemClock_Config 一致。

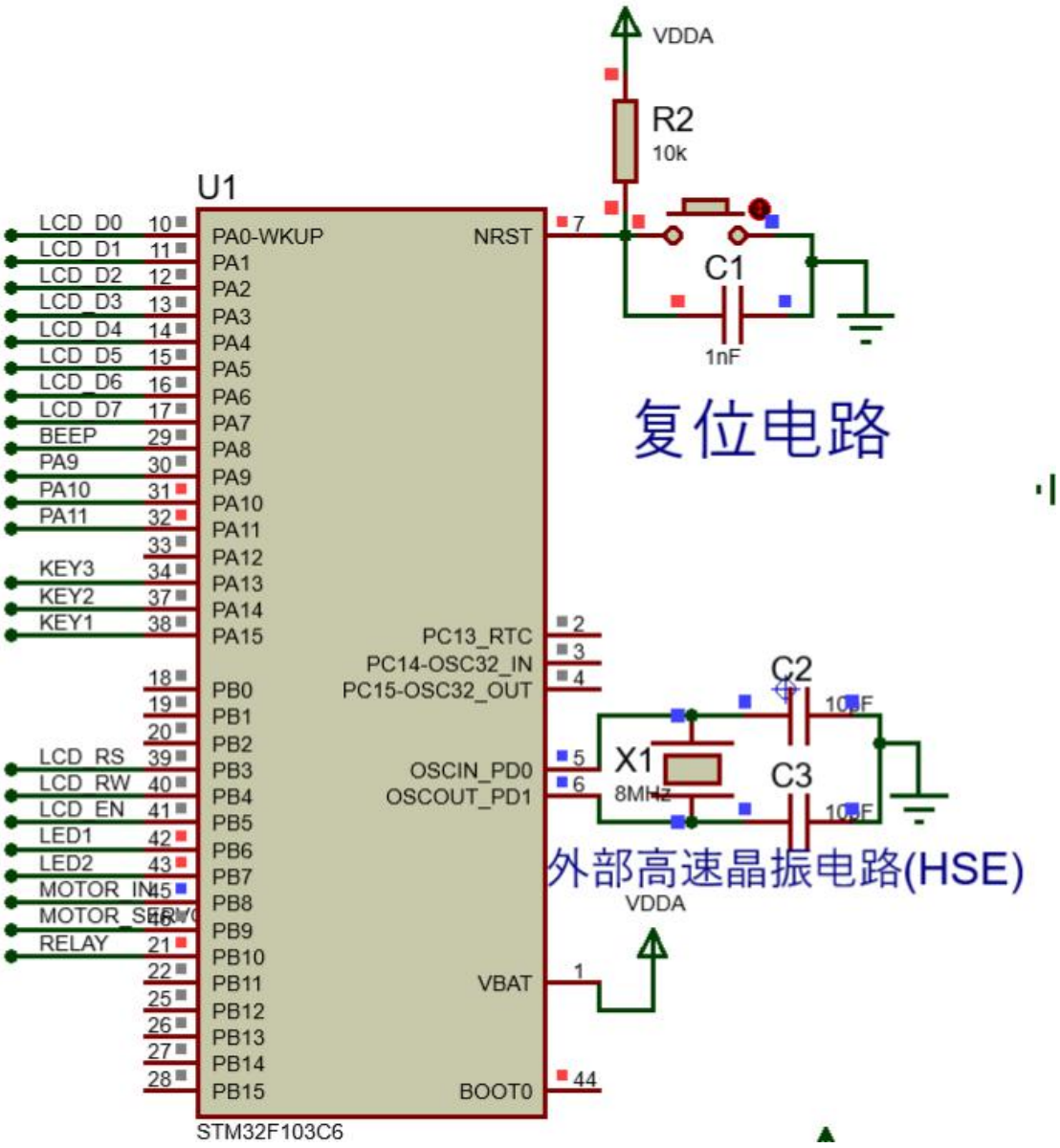


图 3-2 主要功能模块与 MCU 引脚关系图

4.1.2 电源及稳压模块设计

MCU 与外设多为 3.3V 供电。常见做法为 USB 5V 或适配器 12V 经 LDO（如 AMS1117-3.3）降压。每个 VDD 引脚附近布置 100nF 瓷片电容去耦，必要时在电源入口增加 10μF 电解或钽电容。模拟电源 VDDA 建议通过磁珠或 RC 与数字电源隔离，并就近去耦。注意：5V 容忍引脚与纯 3.3V 引脚混用时，禁止直接把 5V 逻辑直接灌入非容忍脚。

4.1.3 调试与下载接口设计

SWD 使用 SWDIO、SWCLK、GND，连接 ST-Link。教学现场常遇到“能下载不能调试”或反之，多与复位线、BOOT0 电平、驱动安装有关。Proteus 仿

真不依赖物理下载器，但需在 MCU 属性里绑定 HEX 文件路径并保证与工程编译输出一致。

4.2 温度检测电路

4.2.1 上拉电阻与拓扑

DS18B20 的 DQ 为开漏结构，必须上拉。典型上拉 4.7kΩ～10kΩ。单总线拓扑建议短距离、菊花链慎用；长距离需考虑电缆电容对上升沿的影响。供电模式包括寄生供电与外部供电，教学工程多采用外部 3.3V 供电以提高稳定性。

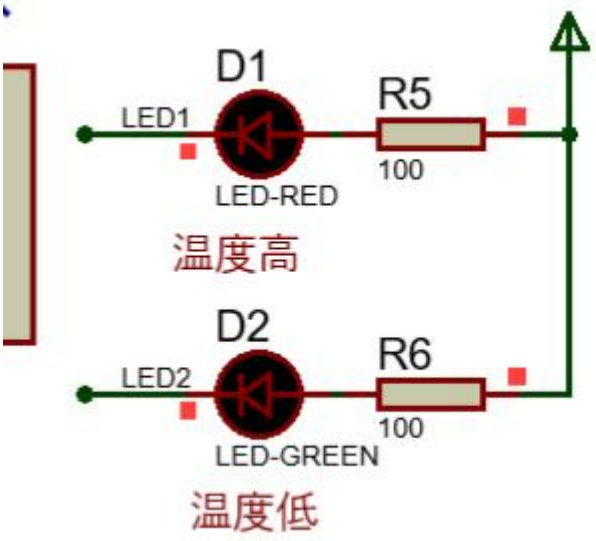


图 4-1 温度传感器

4.2.2 时序与 MCU 的关系

单总线协议依赖复位脉冲、存在脉冲、读写时隙等微秒级操作。若 delay_us 使用 SysTick 实现，必须保证 SysTick 已正确初始化且 CPU_FREQUENCY_MHZ 宏与真实主频一致，否则将出现偶发读数错误。温度转换命令发出后，应等待足够时间再读取暂存器。

4.2.3 单总线常见故障模式与排障要点

教学实验中 DS18B20 常见问题可归纳为三类：第一类为“时序类”，表现为读数固定为 85.0℃、出现 128.0℃ 等明显异常，通常与 delay_us 基准错误、主频宏未随工程同步、或在转换未完成时读暂存器有关；第二类为“电气类”，表现为通信不稳定，多与上拉电阻缺失/过大、DQ 线过长、电源纹波过大或地弹噪声有关；第三类为“引脚配置类”，表现为完全无响应，常与 GPIO 模式（推挽/开漏）与方向切换不一致有关。排障建议遵循“先示波器看 DQ 波形→再核对延

时→再核对等待时间→最后加读数滤波”的顺序，可显著缩短定位时间。

4.3 LCD1602、按键与 USART 人机接口

4.3.1 LCD1602 并行总线与控制线

LCD1602 支持 8 位或 4 位模式，本设计采用 8 位并行以提高代码直观性。RS 选择指令/数据寄存器，RW 控制读写，E 为使能。写指令流程：RS=0，RW=0，数据线输出指令，E 产生高到低脉冲锁存。写数据类似但 RS=1。读忙标志需要数据线切换为输入模式，因此驱动中常实现 DataDir() 切换输入输出方向。

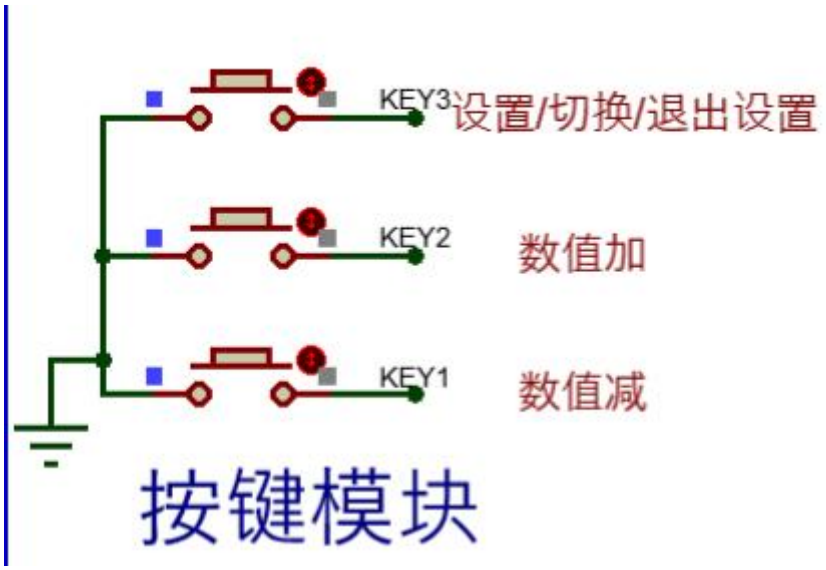


图 4-2 按键模块

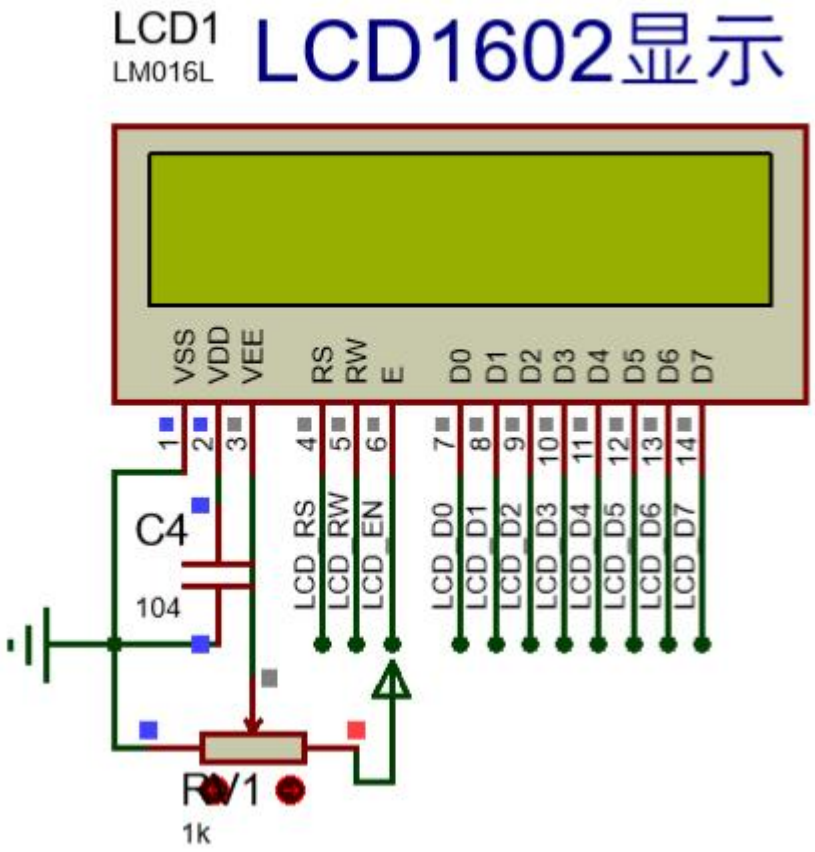


图 4-3 LCD1602 显示模块

4.3.2 按键与串口资源冲突提示

USART1 默认引脚 PA9/TX、PA10/RX。若按键也占用 PA9/PA10，将导致串口不可用。解决思路：按键改到其他 GPIO；或重映射 USART 到其他引脚；或在仿真阶段牺牲其一功能。本文强调“先画资源表再布线”的原因即在于此。



图 4-4 串口模块

4.3.3 电平匹配、背光与显示可靠性

LCD1602 模块常见为 5V 逻辑电平，而 STM32 GPIO 多为 3.3V CMOS 输出。实际工程中存在两类做法：其一，确认 LCD 输入高电平阈值在 3.3V 输出下仍被判为逻辑 1（多数 1602 模块可工作，但需在样机上验证）；其二，使用电平转换电路或选用 3.3V 兼容显示模块。背光若为独立 LED 供电引脚，应串联限流电阻并注意与 MCU 供电共地。对比度引脚 VEE 外接电位器调节时，应避免调节端开路导致对比度失控；建议在电源侧增加 100nF 去耦以降低显示闪烁与串扰。

4.4 执行机构、驱动与指示电路

4.4.1 ULN2003A 与风扇驱动

ULN2003 内部为达林顿结构，输出为开集电极，适合灌电流驱动继电器、步进电机与 LED 阵列等。风扇作为感性负载，必要时并联续流二极管（视驱动拓扑而定）。软件 PWM 通过 GPIO 翻转实现平均电压控制，从而改变风扇有效转速（简化模型）。

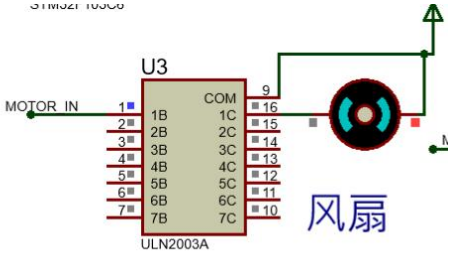


图 4-5 ULN2003A 驱动风扇

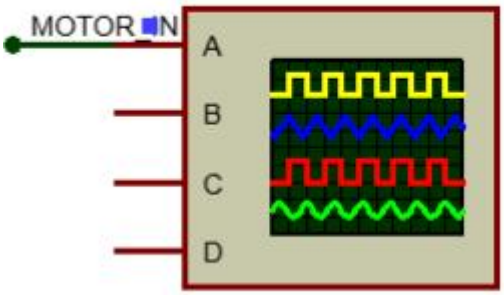


图 4-6 波器观测 MOTOR_IN

4.4.2 继电器与压缩机仿真

继电器线圈侧需考虑三极管驱动与基极限流电阻；触点侧接电机或指示灯模拟压缩机功率回路。仿真重点观察线圈侧 GPIO 逻辑是否与温度区间一致。



图 4-7　模拟电磁阀

4.4.3　主要外设引脚分配与网络标号

为便于读者将论文描述与 Proteus 网络标号一一对应，表 4-1 给出本设计采用的一组典型分配

表 4-1 主要外设引脚分配与功能说明

序号	STM32 引脚	连接网络 / 器件	方向	功能说明
1	PA0～PA7	LCD_D0～D7	输出	LCD1602 8 位并行数据总线
2	PB3/PB4/PB5	LCD_RS/RW/EN	输出	LCD 控制线
3	PA11	DS18B20 DQ	双向	单总线数据线
4	PA12/PA13/PA14	KEY3/KEY2/KEY1	输入	低有效独立按键
5	PA9/PA10	USART1 TX/RX	输出 / 输入	串口调试
6	PB6/PB7	LED1/LED2	输出	高温 / 低温指示
7	PB8	MOTOR_IN	输出	风扇驱动（经 ULN2003）
8	PB9	MOTOR_SERV	输出	模拟电磁阀 / 舵机
9	PB10	RELAY	输出	继电器线圈驱动

4.5 电源功耗与抗干扰设计要点

4.5.1 静态与动态电流的估算方法

虽然本课题以仿真为主，但从工程训练角度仍建议进行数量级估算：STM32 在 72MHz 全速运行且外设开启时电流可达数十毫安量级；LCD1602 背光若使用 LED 背光模块，电流可能达到数十毫安；继电器吸合电流视线圈电阻而定，可能超过百毫安，必须由 ULN2003 或三极管驱动而不能直接由 GPIO 承载。估算时可将系统分为“MCU+显示”“传感器”“执行机构驱动”三类分别累加，并考虑继电器吸合瞬间的浪涌电流对电源的冲击。

4.5.2 供电拓扑与余量选取原则

电源适配器或 LDO 选型应保留至少 30%～50% 余量，避免温升过大导致输出跌落；若存在多个 5V/12V 负载与 3.3V MCU 共存，应明确参考地单点连接方式，避免地环路引入测量误差。对于电池供电演示场景，应优先降低主频、关闭无用外设、使用睡眠模式，并将采样周期与显示刷新频率控制在必要最小值。

4.5.3 EMC、布线抗干扰与接地策略

冰箱与工业现场类似，存在压缩机启停带来的传导干扰与空间辐射。继电器线圈与电机属于典型感性负载，开关瞬间会产生尖峰电压，若耦合到单总线将导致通信错误；除续流二极管外，必要时可在触点侧并联 RC 吸收或 TVS。实物 PCB 应模拟地与数字地单点连接，晶振下方少走线，大电流回路远离传感器输入。教学仿真无法完整体现 EMC，“仿真通过”主要验证数字逻辑，“实物通过”还需电源、接地与结构协同达标。

硬件层对软件实现的约束包括：单总线微秒延时正确性、LCD 数据线方向切换、串口波特率与系统时钟一致、继电器/风扇控制脚复位安全态（硬件下拉或尽早初始化输出）。

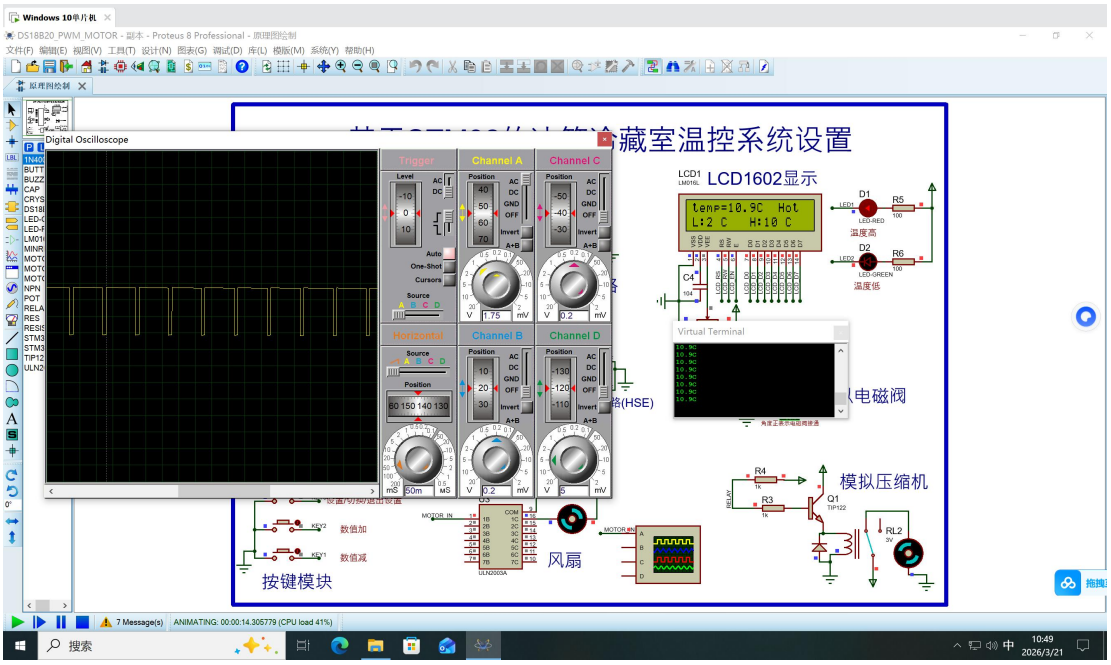


图 4-8 Proteus 仿真运行界面

第 5 章 软件设计

5.1 Keil 工程与 HAL 总体结构

5.1.1 HAL 库分层思想与工程组织

STM32 硬件抽象层将片上外设封装为统一的初始化流程与句柄式接口，便于在更换器件型号时保持应用层代码结构稳定。工程由 STM32CubeMX 生成主程序、通用输入输出、定时器、串口及中断向量等基础文件，用户业务代码宜集中在工具标注的可编辑区域内，避免再次生成工程时被覆盖。整体可分为三层：应用层负责温控策略与人机交互；器件驱动层负责单总线温度探头与液晶并行总线等专用协议；芯片支持包与启动文件负责上电向量、时钟与中断入口。本课题 Keil 工程名为 JSMCU_DS18B20，目标器件为 STM32F103C6 系列；若本机未安装对应器件支持包，编译时可能出现器件未找到类提示，安装意法半导体 STM32F1 系列器件包后即可正常选择芯片与下载算法。

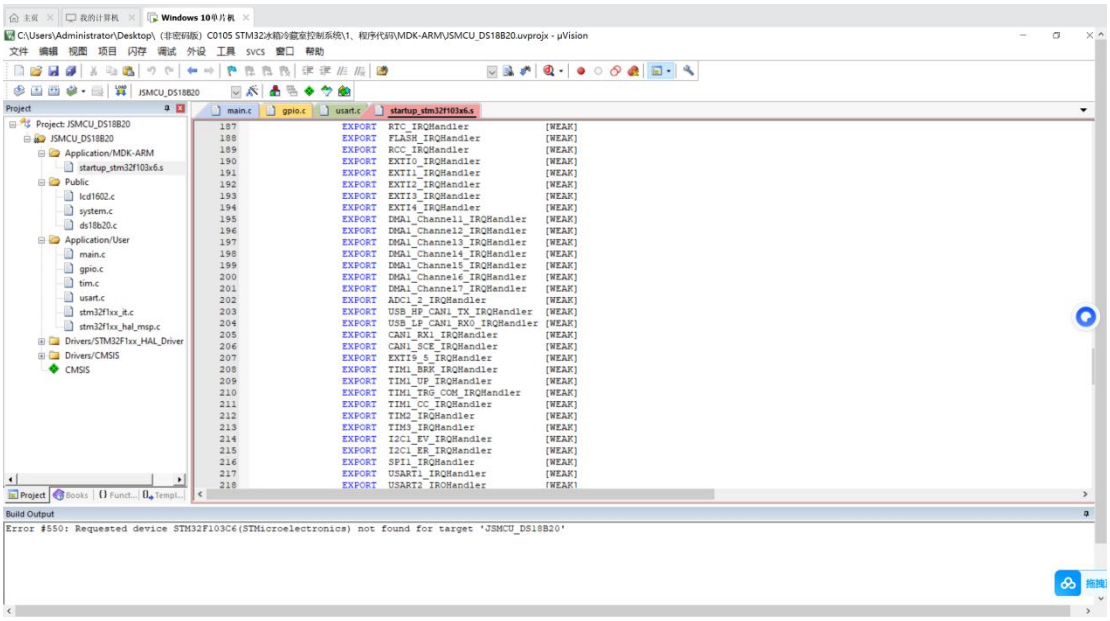


图 5-1 Keil MDK 工程目录与启动文件

5.1.2 引脚资源与驱动层映射

软件中的引脚宏与图形化配置工具中的命名应与 Proteus 网络标号一致，否则易出现仿真与文档脱节。本设计在逻辑上作如下对应：温度探头数据线接在第十一号口线，采用单总线协议，由温度驱动模块完成复位、读写与转换等待；液

晶八根数据线接在端口 A 的低八位，三根控制线接在端口 B 的三条口线，由液晶驱动模块完成命令与数据写入及必要时的总线方向切换；三枚按键分别接在第十二至第十四号口线，低电平为按下，配合设置状态变量完成阈值编辑；异步串口收发脚为第九与第十号口线，与上位机或虚拟终端交叉相连；两路状态指示灯接在端口 B 的第六、七号脚，若硬件为共阳接法则低电平点亮；风扇调速信号接第八号口线，由定时中断驱动的软件脉宽调制输出；电磁阀仿真信号接第九号口线；压缩机继电器前级接第十号口线。串口两脚不得再分配给按键，否则调试串口失效。

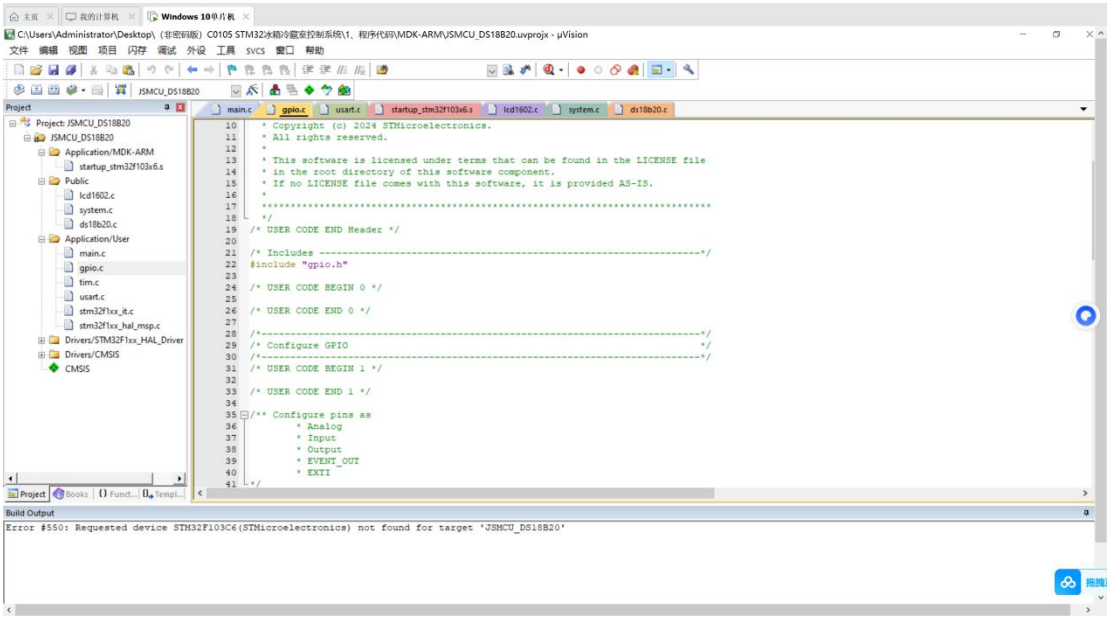


图 5-2 通用输入输出初始化文件

5.1.3 模块划分与文件职责

应用层主文件完成时钟与外设初始化、全局阈值与调速变量赋初值、主循环中温度采样、显示刷新、按键解析与执行机构输出更新。通用输入输出文件负责将表 4-1 所列口线配置为输入或推挽输出等模式。定时器文件建立约毫秒级节拍，供软件脉宽调制或周期任务使用。串口文件配置波特率、数据位与停止位，便于打印温度。中断服务文件集中登记定时器溢出等事件并转交库函数处理。温度探头驱动实现单总线电气层与读温流程。液晶驱动实现八位并行写命令与写字符、忙检测及数据线方向切换。系统时钟与底层引脚复用在芯片支持包相关文件中完成，使串口等外设的收发脚工作于复用推挽模式。

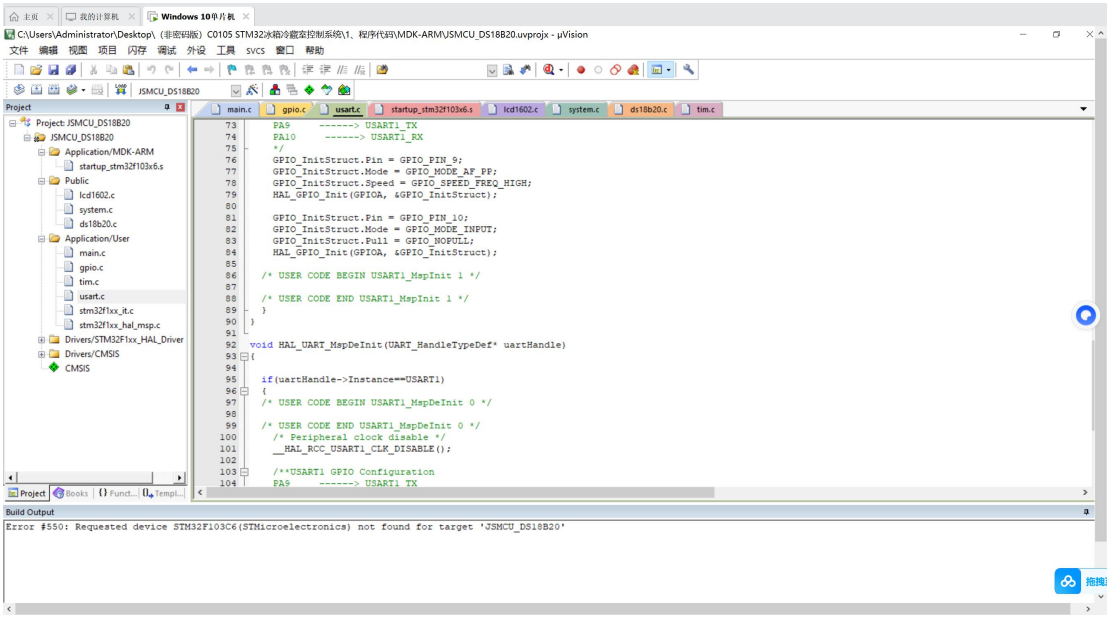
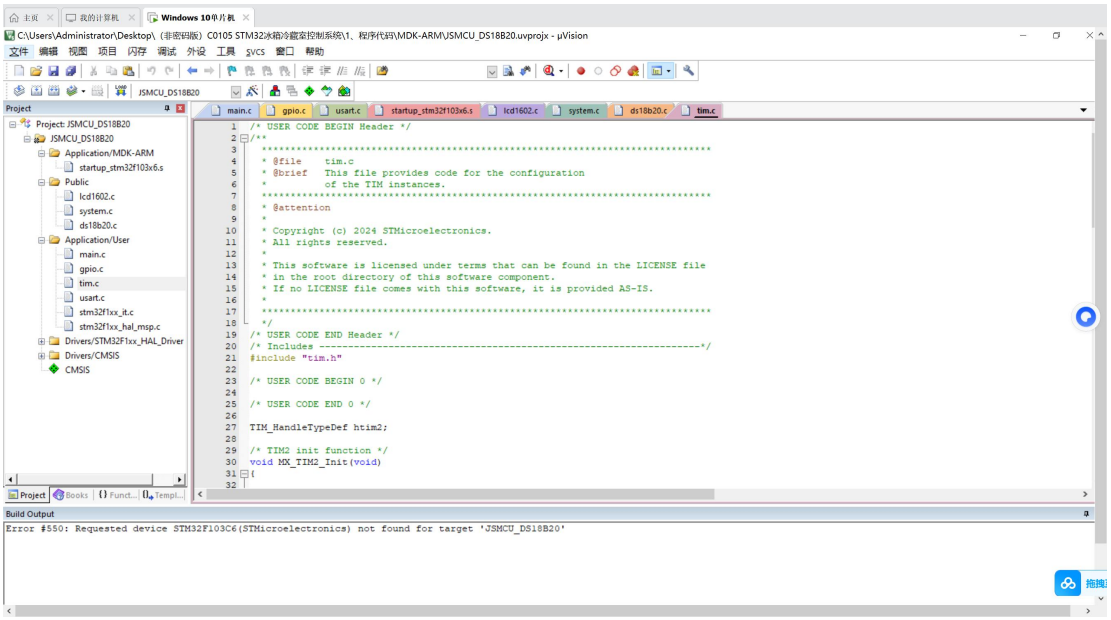


图 5-3 串口底层与引脚复用



5.2 主程序流程与任务调度

5.2.1 初始化序列与时序依赖

上电后依次完成库初始化、系统时钟配置、通用口线初始化、串口初始化、定时器初始化，再调用液晶初始化函数，最后启动定时器周期中断。时钟树必须与仿真中晶体频率及串口波特率设置一致，否则延时与通信全部偏离。口线模式配置完成后，数据口、控制口、探头线、按键线等与第 4 章表 4-1 一致方可进入业务逻辑。温度探头可在进入主循环前做一次在线检测，失败时可在液晶或串口给出提示。

5.2.2 主循环与任务划分

主循环中可采用固定间隔阻塞延时作为采样节拍，在每一节拍内顺序完成温度读取、异常值剔除、串口上报、根据当前设置状态刷新液晶与更新风扇占空比及继电器等输出。该结构实现简单，便于课程设计排错；若后续扩展多任务，可再引入实时操作系统或时间片调度。

5.2.3 定时中断服务与软件 PWM 机理

定时器以约毫秒级周期溢出，在中断服务中根据占空比变量决定本周期内风扇控制脚为高或低，多周期平均后即等效为脉宽调制。计数满百毫秒量级为一个调制周期时，占空比约等于变量取值。

5.3 信号采集与数据处理

5.3.1 单总线时序与驱动实现

温度探头驱动源文件中实现单总线复位、在线检测、位读写与字节读写；数据线按硬件接在第十一号口线，微秒级延时须与内核主频配置一致。通信以主机拉低总线足够长时间再释放为起始，从机在时间窗内拉低表示应答；读位与写位在更短的时间片内完成采样或驱动。线型在输出与输入之间切换时需与电气层上拉相匹配。

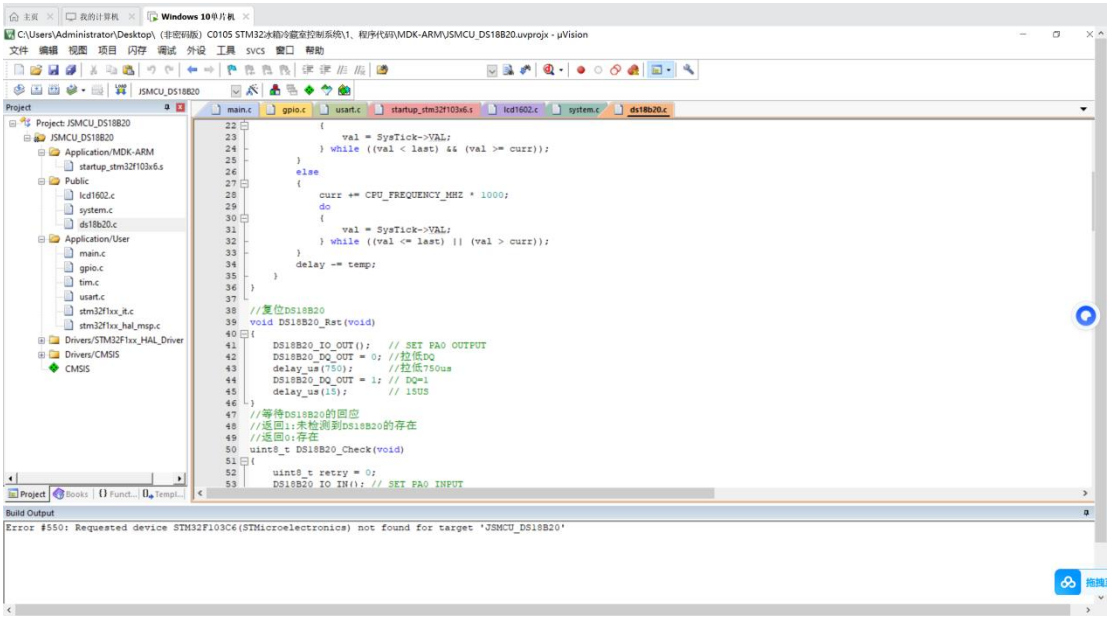


图 5-4 DS18B20 温度驱动源程序

5.3.2 温度转换与读取流程

单探头应用可发跳过寻址命令后直接启动温度转换，等待转换时间到后再读暂存器九字节，将温度寄存器拼成带符号数并按器件分辨率换算为摄氏度。多探头总线则需寻址算法，本设计仅一颗传感器，流程从简。

5.3.3 异常读数过滤策略

上电瞬间可能出现固定异常温标、未完成转换即读旧值、通信干扰导致全一等现象，可在应用层对明显不可能读数做丢弃或限幅，也可做滑动平均；滤波过强会拖慢对阶跃温度的响应，需折中。

5.4 温控逻辑、软件 PWM 与参数设置

5.4.1 阈值判断与执行输出映射

在非设置状态下，测量温度高于上限时进入偏热提示，风扇占空比调高，高温指示灯按极性点亮，继电器与电磁阀等输出按任务书逻辑置为制冷相关有效状态；温度介于上下限之间时维持中等占空比与界面提示；低于下限时进入偏冷提示，风扇停转、低温指示灯按极性点亮，继电器释放。各输出口线与第 4 章表 4-1 一致，有效电平须与共阳发光二极管、三极管驱动电路相匹配。

5.4.2 设置模式与越界约束

通过设置状态变量区分正常显示、修改上限、修改下限等界面；加减键仅在对应编辑态下改变阈值。上下限之差应满足任务书最小间隔，非法输入应拒绝或自动纠正，防止边界抖动。

5.5 显示与键盘交互程序

5.5.1 显示缓冲区与刷新策略

液晶驱动源文件中将八根数据线接在端口 A 低八位，读写命令与数据时切换寄存器选择与读写选择脚，使能脚产生锁存边沿；读忙时须将数据口置为输入。显示刷新可将浮点温度格式化为字符串再写入字符行，每行十六字符为宜，避免频繁全屏清屏以减少闪烁。

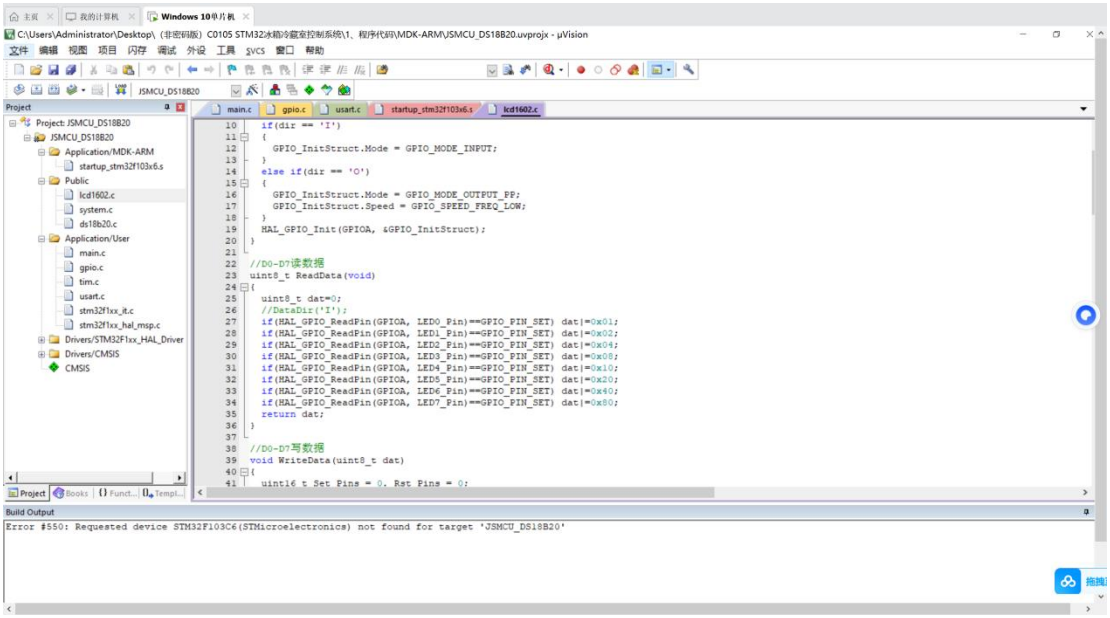


图 5-5 液晶驱动程序

5.5.2 设置界面与防误触策略

建议采用进入设置、选择编辑项、加减、确认或退出的清晰步骤；每次变更后校验上下限关系与最小温差；可用符号标出当前编辑行，降低误操作。

5.6 典型调试问题与排错流程

5.6.1 上电无显示或花屏

先查液晶供电与对比度；再核对控制线与数据口与表 4-1 及驱动中口线定义是否一致；初始化命令序列与显示开关类命令须完整；读忙前务必将数据口设为输入。仿真模型与工程引脚不一致时常表现为固定乱码。

5.6.2 串口全为乱码

核对波特率与晶体频率、串口收发是否交叉连接、按键是否误占串口脚。上电瞬间短暂乱码可忽略或延时后再发首帧。

5.6.3 DS18B20 读数乱跳或固定异常温标

检查上拉电阻与数据线口模式、微秒延时与主频是否一致、是否在转换完成前读数。对明显越界值可在应用层剔除。

5.6.4 风扇脉宽调制无波形或不变

确认定时器中断已使能、中断服务是否执行、第八号口线为推挽输出且占空比变量在主循环被更新；示波器接风扇驱动网络。占空比长期为零可能处于低温区判断分支。

5.6.5 开发环境器件未注册或无法下载

安装或更新意法半导体 STM32F1 系列器件支持包，或在工程目标中选择本机已支持的同封装相近型号并匹配下载算法；实验室可离线预置支持包安装文件。

第 6 章　Proteus 联合仿真与测试结果

6.1 仿真环境与模型搭建

6.1.1 Proteus 工程建立与网络命名

在 Proteus ISIS 中选取 STM32 模型（与课程库版本相关），放置 DS18B20、LCD1602、按键、上拉电阻、电源、地、虚拟示波器、虚拟终端等。建议使用网络标号清晰连接，避免大量交叉线导致误连。检查 VCC/GND 是否完整，尤其是 LCD 对比度引脚与背光引脚。

6.1.2 HEX 绑定与 MCU 时钟配置

双击 MCU 打开属性，在 Program File 栏选择 Keil 工程输出目录下的 HEX。CrystalFrequency 应与软件 HSE 配置一致。运行仿真后观察 LCD 是否初始化出字符。若全白或全黑，检查对比度电位器、RS/RW/E 接线、数据线方向。

6.1.3 Keil 程序与 Proteus 联调方法

部分版本支持 Proteus 与 Keil 联调，可在断点处暂停仿真。若不具备联调条件，可采用串口打印与 GPIO 翻转作为运行轨迹；修改程序后重新编译生成 HEX，再在 Proteus 中加载新版本迭代测试。

6.2 正常工况仿真结果

6.2.1 维持区运行与 LCD 刷新

将 DS18B20 模型温度调节到介于 TL 与 TH 之间，观察风扇 PWM 是否约为中等占空比，LCD 是否无 Hot/Low 提示，继电器是否按任务书逻辑保持吸合；界面应能稳定刷新温度与阈值行。

6.2.2 串口监视与示波器观测

虚拟终端应周期性打印温度；示波器探头接 **PB8（MOTOR_IN）** 风扇驱动网络，应看到占空比与工况一致（与第 5 章 5.2.3、图 4-8 对应）。若串口乱码，检查波特率、时钟、终端 RX 是否接 MCU TX（PA9）。

6.2.3　阈值边界与回差现象

在仿真中缓慢调节温度使其多次穿越 TL 与 TH，观察 LCD 状态字、LED 与执行机构是否抖动切换。若抖动，应检查第 3 章阈值最小间隔是否落实及采样周期是否过短。建议保存高温区与维持区两组示波器截图作为对照。

6.3 异常工况与保护性能测试

6.3.1 高温区工况

提高温度模型至超过 TH，观察 Hot 字样、红灯、PWM 是否升高，制冷回路是否动作。

6.3.2 低温区工况

降低温度至低于 TL，观察 Low 字样、绿灯、风扇停转、继电器释放。

6.3.3 读数异常与通信失败

可人为制造 DQ 断开或延时错误，观察是否出现 85℃、乱跳等异常；软件应通过滤波与重试降低误判；该用例用于验证鲁棒性而非任务书必选项。

6.4 性能评价与误差分析

6.4.1 模型理想化与测量误差来源

Proteus 中电机、继电器、温度传感器均为简化模型，与实物存在差异；仿真通过不代表实物一定通过，但逻辑链正确是必要条件。delay_us 与主频不一致、DS18B20 等待不足、LCD 忙标志未处理、栈太小等均可导致异常，应统一时钟配置、增加读数重试、合理设置堆栈。

6.4.2 系统响应与稳定性

保护或模式切换的响应时间主要由采样周期与主循环耗时决定；示波器观测 PWM 周期应稳定，若占空比偏离设定，优先检查定时器中断是否被长任务阻塞。

6.4.3 实验记录、观测指标与任务书符合性

建议记录：日期、HEX 版本、晶体频率、波特率、TL/TH、测试用例编号、LCD/LED/继电器现象、示波器与串口截图编号。对风扇 PWM 记录 Ton、T、占空比 D；对串口记录格式是否符合 “xx.xC”。逐条对照任务书：测温与显示、串口、三键、风扇调速、阀/压缩机逻辑、默认阈值与最小间隔、示波器观测。答辩时可把“第 3 章控制表—第 4 章引脚表—第 5 章主流程—第 6 章测试记录”串成证据链。面向实物化可扩展：看门狗、EEPROM 存阈值、门开关、压缩机最小启停间隔等。

第 7 章 结论与展望

7.1 本课题工作总结

本文围绕 STM32 单片机完成了冰箱冷藏室温控系统的方案论证、硬件划分、软件设计与仿真验证。系统实现了 DS18B20 测温、LCD1602 显示、三键阈值设置、USART 监视、软件 PWM 风扇调速与继电器/电机抽象制冷执行机构，并采用双阈值分区策略实现 Hot/Low 提示；基于 HAL 的工程组织提高了可读性与可移植性，对引脚冲突、单总线时序与异常读数等工程问题进行了讨论。Proteus 仿真可对控制逻辑进行快速验证。归纳而言：双阈值分区便于教学演示；软件 PWM 以定时器中断为基准；单总线驱动须与系统时钟一致；人机接口应先排资源表避免 USART 与按键冲突；验证应同时利用 LCD、串口与示波器形成可复现证据链。

7.2 后续研究展望

未来可在控制算法上引入 PID 或模糊控制以连续调节风扇 PWM；在系统结构上引入 RTC、EEPROM 与菜单化界面；在互联方面引入无线模块与云平台告警。实物化阶段需完善电源 EMC、继电器安规与传感器布置。教学上可沉淀标准 CubeMX 模板与测试记录表；工程上可扩展门开关、化霜与压缩机保护逻辑，并明确区分教学验证范围与产品化范围。

参考文献

[1]王鹏,李威,付麒瑞,等. 六维力传感器实时解耦方法及系统实现[J/OL].电子测量与仪器学报,1-11[2026-03-21].

[2]杨鹏,田坤,张继军. 基于 STM32 的煤矿激光瓦斯遥测系统设计[J].煤矿机械,2026,47(03):38-42.DOI:10.13436/j.mkjx.202603008.

[3]董孟豪,张华嵛,唐彬. 基于 STM32 与 MFC 的发电厂巡检机器人系统设计[J].电力与能源,2026,47(01):73-79.

[4]程远航,陈炤. 基于 STM32 的移动降温器设计[J].南方农机,2026,57(04):125-128.

[5]李水明. 基于 ZigBee 无线通信的转辙机检测系统研究[J].南方农机,2026,57(04):116-119.

[6]黄佳,石琦,高素. 基于 LoRa 的机房环境监测系统设计[J].电脑编程技巧与维护,2026,(02):12-15.

[7]周荧,刘叶丹,雷皓. 基于改进 DBSCAN 算法和 STM32 单片机的智能拐杖设计[J].科技与创新,2026,(04):27-30+34.

[8]刘新源. 产教融合背景下弱势职业院校课程教学改革[J].科技与创新,2026,(04):201-203.DOI:10.15913/j.cnki.kjycx.2026.04.060.

[9]李海涛. 料仓称重监控系统设计与试验[J/OL].农机化研究,1-9[2026-03-21].

[10]刘峰,赵彦普,刘宗琛,等. 基于单神经元的无刷直流电机无感矢量控制研究[J].微特电机,2026,54(02):76-82+88.DOI:10.20026/j.cnki.ssemj.2026.0028.

[11]张超. 基于 STM32 的智能 AGV 小车设计[J].科技创新与应用,2026,16(06):35-38.DOI:10.19981/j.CN23-1581/G3.2026.06.009.

[12]王玲慧,姚爱琴,孙运强. 基于 Bsdiff 的冷链物流 OTA 升级技术研究[J].现代电子技术,2026,49(05):157-161.DOI:10.16652/j.issn.1004-373x.2026.05.024.

[13]曾好. 基于 STM32F334C8T6 设计的可调恒压恒流开关电源[J].价值工程,2026,45(07):94-96.

[14]彭霞,黄灵敏,黄秀梅. 基于 STM32 单片机的智能浇花系统设计[J].价值工程,2026,45(07):109-111.

[15]付韬,赵麒. 基于 SERMA 方法的阳极单点电压信号采集系统设计[J].自动化与仪表,2026,41(02):61-67.

[16]陈崇辉,邓筠,纪银炼. 基于 STM32 的电机功率检测模块的设计[J].自动化与仪表,2026,41(02):86-90.

[17]梁玉婷,倪钊龙. 基于 STM32 单片机的充电桩数字电源设计[J].工业控制计算机,2026,39(02):157-158+161.

[18]陈国庆,霍李德,李福儒. 一种适合复杂多环境的智能分类机器人设计[J].工业控制计算机,2026,39(02):159-161.

[19]郭岩,盘书宝,唐洪贶,等. 基于 STM32 的电容测试系统的设计[J].工业控制计算机,2026,39(02):162-163.

[20]李林蔚,卢洪义,吴文勇,等. 基于 CAN 总线航空发动机参数检测系统研究[J].中国设备工程,2026,(04):121-125.

致谢

本论文从最初的选题构思、框架搭建，到中期的实验设计、数据采集，再到后期的文稿撰写、反复修改，每一个环节都凝聚着众多师长与同窗的心血与智慧。首先，我要向我的毕业论文指导教师致以最崇高的敬意与最诚挚的感谢。在整个研究过程中，导师以其严谨的治学态度、深厚的专业学识和精益求精的科研精神，为我指明了研究方向，在我遇到学术困惑与技术难题时，总能给予耐心的点拨与悉心的指导，让我不仅顺利完成了论文写作，更学会了科学的思维方法与务实的研究态度。同时，感谢学院所有授课老师，在大学四年的学习生涯中，他们传道授业解惑，为我打下了坚实的专业理论基础。此外，还要感谢身边的同窗好友，在学习与科研的道路上，我们相互探讨、彼此鼓励、携手共进，在交流中碰撞思想，在互助中共同成长，这段珍贵的同窗情谊，将成为我人生中难以忘怀的美好记忆。

其次，我要由衷地感谢我的家人，他们是我求学路上最温暖、最坚实的后盾。多年来，他们始终给予我无私的关爱、无条件的理解与默默的支持，在我迷茫懈怠时给予鼓励，在我取得进步时为之欣慰，正是这份深沉的亲情，让我能够抛开后顾之忧，心无旁骛地投入到学习与研究之中。同时，我也要感谢一路坚持、不曾放弃的自己，在面对困难与挑战时始终保持初心，脚踏实地完成每一项任务。最后，向所有在本研究过程中给予过帮助与支持的师长、亲友和同学，再次致以最衷心的感谢。这段宝贵的求学经历将成为我人生的重要财富，激励我在未来的工作与生活中继续秉持求知之心，砥砺前行，不负韶华，以更积极的姿态迎接新的挑战。