

1.1 控制系统设计

上位软件架构设计：上位软件采用分层架构设计，分为界面层、业务逻辑层和数据访问层，各层相互独立又紧密协作，提高软件的可维护性和可扩展性。

界面层：基于 WPF (Windows Presentation Foundation) 技术开发，遵循用户体验设计原则，采用模块化布局。将设备控制、参数设置、数据显示、报表打印等功能模块合理分区。使用图表控件（如 LiveCharts）实时显示设备运行状态和采集数据，以折线图、柱状图等形式展示电压、电流变化趋势，方便用户直观了解调试过程。提供丰富的交互功能，如鼠标拖拽、缩放等操作，支持多语言切换，满足不同用户使用需求。界面设置报表打印按钮，用户可一键生成并打印调试报表。

业务逻辑层：作为软件核心，采用面向对象编程思想，将设备控制、数据处理、调试流程控制、报表生成等功能封装成独立类和方法。根据界面层操作指令，生成 SCPI 协议指令，通过数据访问层发送至硬件设备；对接收到的采集数据进行滤波、校准、分析等处理，采用数字滤波算法（如 FIR 滤波、IIR 滤波）去除噪声干扰，通过校准算法补偿传感器非线性误差；按照预设调试方案，自动控制 IT6513D 直流可调电源和 IT8006-300-75 直流电子负载工作状态，协调各设备工作顺序；根据数据处理结果，生成相应的调试报表数据。

数据访问层：负责与硬件设备数据通信，实现设备控制和数据采集。采用 Socket 编程技术，基于 TCP/IP 协议与 IT6513D 直流可调电源、IT8006-300-75 直流电子负载通信，发送 SCPI 协议指令并接收设备返回数据。对于电压采集板卡，调用板卡厂商提供的驱动程序接口，实现对板卡控制和数据读取。将采集数据存储到 MySQL 数据库中，设计合理数据库表结构，对设备信息、调试参数、采集数据、报表数据等分类存储，方便后续查询和分析。

1.1.1 软件板块功能实现

第一板块：设备单独控制：通过 SCPI 协议实现对 4 台 IT6513D 直流可调电源和 2 台 IT8006-300-75 直流电子负载的控制。软件界面为每台设备设计独立控制面板，用户可直观设置设备输出/断开状态、电流电压值、工作模式等参数。如设置 IT6513D 直流可调电源电压为 65V、电流限制为 1A，点击“设置”按钮，软件生成“:VOLT65;:CURR 1”指令并发送至电源设备。实时采集设备电压、电

流等数据，每隔 100ms 刷新显示在界面上，同时提供设备状态指示灯，绿色表示正常运行，红色表示故障。该板块还支持设备参数的保存和加载功能，方便用户快速调用常用参数设置。

第二板块：DC/DC 电源模块调试：针对 DC/DC 电源模块调试需求设计，用户在软件界面设置调试参数，如起始电压 65V、终止电压 120V、电压步进值 5V、每个电压点稳定时间 2s 等，点击“开始调试”按钮，软件通过协议一键控制 IT6513D 直流可调电源按预设电压序列自动调整输出电压，并控制 2 台 IT8006-300-75 直流电子负载进入相应工作模式。以 1kHz 采样频率实时采集 2 路负载器电压、电流值，自动生成详细测试记录表，包含调试时间、电源输出电压、各负载电压电流值、采集时间戳等信息，存储到 MySQL 数据库。用户可通过筛选条件查询历史数据，对记录表进行查看、导出和打印操作。软件提供数据统计功能，计算各电压点下负载电压、电流平均值、标准差等统计参数，以图表展示数据分布情况。同时，支持调试过程的暂停、继续和停止操作，方便用户在调试过程中进行干预。

第三板块：电流采集板调试：实现对电流采集板的自动化调试。用户在软件界面设置 IT6513D 直流可调电源输出参数后，点击“开始调试”按钮，软件控制电源为采集板供电，并控制电压采集板卡对采集板引出的 4 根线（2 路输出电压）进行实时测量采集。以 500Hz 采样频率采集电压数据，实时显示在界面电压监测区域，自动生成测试记录表并存储到数据库。具备数据对比分析功能，用户可选择历史数据对比，软件计算当前数据与历史数据差值、百分比变化等指标，以图表和数据列表展示对比结果，帮助用户判断电流采集板性能。当电压数据超出预设阈值范围时，软件发出声光报警提示。该板块同样支持报表的生成和打印功能，用户可根据需求打印电流采集板调试报表。

1.1.2 软件功能拓展

数据管理功能：上位软件具备强大数据管理功能，采用 MySQL 数据库结合分表和分区技术存储数据。用户可通过关键词、时间范围、设备编号等多种条件组合查询历史数据，支持数据批量导出为 Excel、CSV、PDF 等格式。提供多维度统计分析工具，计算不同电压下 DC/DC 电源模块输出电流平均值、最大值、最小值，以及电流采集板输出电压标准差等统计参数，通过数据可视化技术以多种图表形式展示统计结果。支持自定义报表功能，用户可根据自己的需求，选择需要

展示的数据字段和统计指标，设计个性化的数据报表。

1.2 操作与使用设计

1.2.1 操作流程设计

DC/DC 电源模块调试操作流程：操作人员登录上位软件，进入 DC/DC 电源模块调试板块。在参数设置区域，根据调试需求依次设置起始电压（如 65V）、终止电压（如 120V）、电压步进值（如 5V）、每个电压点的稳定时间（如 2s）以及其他相关参数（如电子负载的工作模式等）。设置完成后，点击“开始调试”按钮，软件将自动按照预设参数控制 IT6513D 直流可调电源输出电压从起始值开始，以设定的步进值逐步递增至终止值，同时控制 2 台 IT8006-300-75 直流电子负载进入相应工作模式。在调试过程中，软件以 1kHz 的采样频率实时采集 2 路负载器的电压、电流值，并在数据显示区域以图表和数值的形式实时展示，方便操作人员直观了解调试进展和数据变化情况。若在调试过程中需要暂停或停止调试，操作人员可点击相应的操作按钮。调试完成后，软件自动生成详细的测试记录表，操作人员可根据需要对记录表进行查看、导出和打印操作，用于后续的数据分析和报告编制。

电流采集板调试操作流程：操作人员登录上位软件，切换至电流采集板调试板块。在该板块中，首先设置 IT6513D 直流可调电源的输出参数，如输出电压值、电流限制值等，以满足电流采集板的供电需求。设置完成后，点击“开始调试”按钮，软件将控制 IT6513D 直流可调电源输出设定电压为电流采集板供电，同时启动电压采集板卡，对电流采集板 XP1 接口引出的 4 根线（2 路输出电压）进行实时测量采集。软件以 500Hz 的采样频率采集电压数据，并在界面的电压监测区域实时显示采集到的电压值。在调试过程中，操作人员可随时点击“暂停”或“停止”按钮，中断调试过程。调试结束后，软件自动生成测试记录表，记录每次测量的时间和电压数据，操作人员可对记录表进行查看、分析、导出和打印操作。此外，操作人员还可以利用软件的数据对比分析功能，选择历史数据进行对比，快速判断电流采集板的性能是否正常，当电压数据超出预设的阈值范围时，软件会立即发出声光报警提示，提醒操作人员注意。

设备单独控制操作流程：当需要对 IT6513D 直流可调电源或 IT8006-300-75 直流电子负载进行单独控制时，操作人员进入上位软件的设备单独控制板块。在

该板块中，每个设备都有独立的控制面板，操作人员可以通过控制面板直观地设置设备的输出/断开状态、电流电压值、工作模式等参数。例如，对于 IT6513D 直流可调电源，操作人员在电压设置文本框中输入目标电压值，在电流限制文本框中输入相应的电流值，点击“设置”按钮，软件将自动生成对应的 SCPI 指令并发送至电源设备，实现电压和电流的调整；对于直流电子负载，操作人员可通过下拉菜单选择所需的工作模式，并在相应的参数设置区域输入工作参数，完成设置后点击确认按钮，软件将指令发送至负载设备，使其进入指定工作模式。在操作过程中，软件实时采集设备的电压、电流等数据，并每隔 100ms 在界面上进行刷新显示，同时通过设备状态指示灯直观展示设备的运行状态（绿色表示正常运行，红色表示故障），方便操作人员及时掌握设备工作情况，进行相应的操作和调整。

1.2.2 用户界面优化

可视化设计：上位软件的用户界面采用简洁、直观的可视化设计风格，以提高操作人员的使用体验和工作效率。在数据显示区域，广泛运用图表控件（如折线图、柱状图、仪表盘等）对设备运行状态和采集数据进行可视化展示。例如，在 DC/DC 电源模块调试过程中，使用折线图实时展示电源输出电压和负载电压、电流随时间的变化趋势，操作人员可以通过观察折线的走势，快速了解调试过程中数据的动态变化情况；对于关键的参数指标（如当前电源输出电压值、负载的电流值等），采用仪表盘的形式进行突出显示，使操作人员能够一目了然地获取重要信息。同时，界面元素的布局遵循人体工程学和用户操作习惯，将常用的操作按钮（如开始调试、暂停、停止、报表打印等）放置在显眼且易于操作的位置，减少操作人员的操作步骤和操作难度。

交互设计：为了增强用户与软件之间的交互性，软件提供丰富的交互功能。支持鼠标拖拽、缩放等操作，操作人员可以通过拖拽图表的坐标轴或使用鼠标滚轮进行缩放，方便地查看数据的细节部分；在参数设置区域，采用自动完成和提示功能，当操作人员输入参数时，软件根据已有的数据和设置规则，自动提示可能的参数值，减少输入错误；同时，软件具备良好的反馈机制，对于操作人员的每一个操作，系统都会及时给予相应的反馈提示，如操作成功提示、操作失败原因提示等，让操作人员清楚了解操作结果。此外，软件还支持多语言切换功能，用户可以根据自身需求选择中文、英文等不同语言界面，满足不同地区和用户群

体的使用需求。