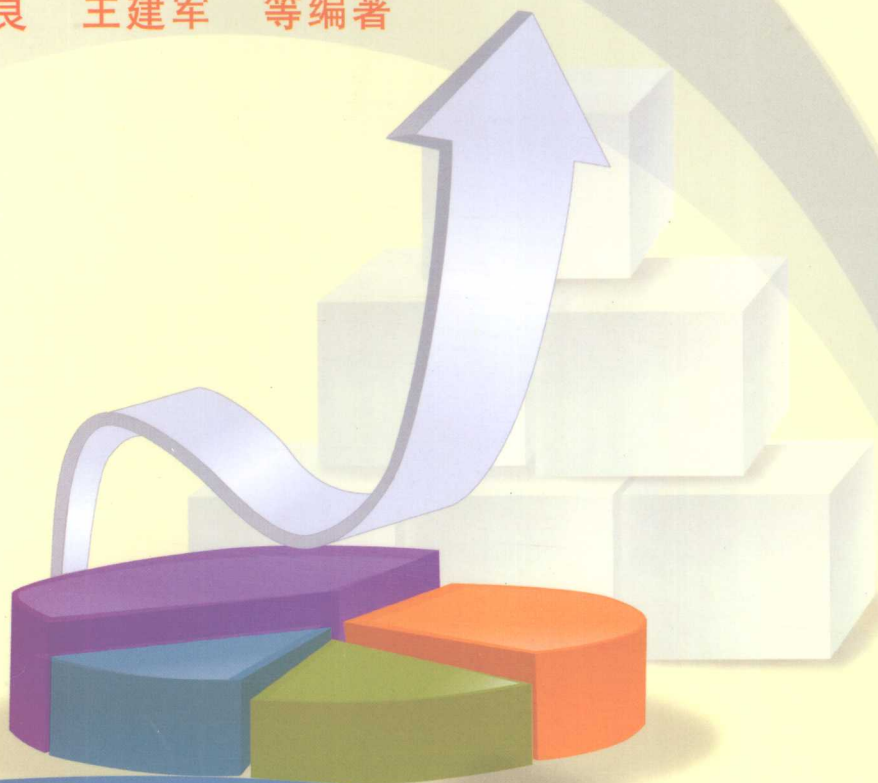


# 智能仪表开发技术

## 实例解析

张元良 王建军 等编著



# 智能仪表开发技术实例解析

张元良 王建军 等编著

机械工业出版社

本书详细介绍了智能仪表的研制开发步骤,并通过实例介绍了智能仪表开发技术中的微控制器的选型、MC9S12DG256 和 FPGA 芯片的应用、输入通道设计、输出通道设计、人机通道设计、电源规划、通信接口设计、基于  $\mu\text{C}/\text{OS-II}$  的嵌入式软件开发、抗干扰设计和试验调试等内容。之后又给出了若干系统设计实例,帮助读者消理解,融会贯通。

本书结构严谨,条理清晰,内容由浅入深,循序渐进。借助于具体实际项目提出问题,分析问题,解决问题,实例与原理结合,硬件和软件结合,形象地阐述了智能仪表开发技术。书中附有大量的智能仪表设计开发实例、接口电路、硬件和软件实例,帮助读者解决智能仪表开发过程中所遇到的实际问题,具有很高的实用价值。

本书可作为科研工程技术人员、大学高年级本科生、研究生及智能仪表设计开发者的自学用书和设计参考用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

智能仪表开发技术实例解析/张元良,王建军等编著. —北京:机械工业出版社, 2009. 8

ISBN 978-7-111-27812-2

I. 智… II. ①张…②王… III. 智能仪器 IV. TP216

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 124368 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:徐明煜 责任编辑:徐明煜 任 鑫 版式设计:张世琴

责任校对:张晓蓉 封面设计:陈 沛 责任印制:杨 曦

北京鑫海金澳胶印有限公司印刷

2009 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·20.75 印张·510 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-27812-2

定价:47.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者服务部:(010)68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前言

## PREFACE

随着微电子技术和计算机技术的飞速发展,测控仪器仪表的智能化、微型化、网络化、数字化已成为整个行业发展的主要趋势,同时也日益成为工程界和科技界人士所关注的重要问题之一。因此,了解和熟悉智能仪器仪表的工作原理、研制开发流程、设计思想和设计方法是十分重要和必要的。

鉴于目前国内专门介绍智能仪表研制开发设计的书籍较少,而且所介绍的内容涉及面较窄,往往难以联系到具体实例,难以构成一个完整的系统,而广大读者又迫切需要掌握该领域的新技术,希望结合具体实例来学习掌握智能仪表的开发设计方法。为此,我们基于具体实例,将近年来从事科研和教学工作中积累的经验及部分科研成果加以系统总结,并参考国内外厂家提供的最新资料后撰成本书。

为了使读者能够将各方面知识系统化,有一个系统工程的概念,并树立智能仪器仪表开发整体概念,本书从一开始就引出一个智能仪器仪表设计开发实例,并将其分解成几个相对独立的功能模块,通过对这几个功能模块的开发介绍,来阐述智能仪器仪表的设计思想和开发方法。在此之后又介绍了几个工程实例的开发技术,便于读者融会贯通。

本书最主要的特点之一是实用性强、实例丰富。全书共 14 章。第 1 章概述智能仪表的基本组成、设计思想和研制开发步骤,引出一个智能仪表的实际项目开发方案,分析了其选题背景、开发规划和总体方案等内容,作为以后几章的阐述对象。第 2 章简单介绍了几种常用微控制器的功能特点以及微控制器在选择时要考虑的因素,以帮助读者根据系统功能要求选择合适的微控制器。此外还重点介绍了实例选用的 MC9S12DG256 微控制器。第 3~4 章分别通过数据采集单元和主控单元的硬件设计方法来介绍智能仪表的输入通道接口技术、输出通道接口技术、人机接口技术和电源规划等的开发技术,这其中包括运算放大器、A/D 及 D/A 转换器、开关量输入输出接口电路、常用的信号调理电路、电源技术等。第 5 章给出了一种智能仪表显示管理电路的设计方法,介绍了 FPGA、VHDL 在智能仪表设计中的应用技术。第 6 章通过实例中的通信设计介绍了智能仪表中的串行通信技术及其实现方法。第 7 章通过项目中的软件设计介绍了智能仪表中的实时嵌入式软件开发及底层硬件接口程序的设计,同时介绍了远程 PC 监控软件和底层智能仪表的通信开发技术。第 8 章阐述了智能仪表常用的抗干扰技术。第 9 章通过实例阐述了智能仪表的试验调试方法和步骤。第 10~14 章介绍了 5 个设计实例,每个实例都比较全面地介绍了项目的总体方案设计、软硬件的设计过程和开发技术。

本书主要由张元良、王建军编写,参加本书编写工作的还有郎庆阳、杨小乐、董健、崔世界、徐海洋、王君明、周志民、冯旭、孙鹏宇、李松、丁兴国、闫广鹏、张野等。本书为与实际产品图纸保持一致,书中部分电路符号未按国家标准进行统一,敬请读者在阅读时注意。

由于作者的水平和经验有限,书中难免存在错误和不足之处,欢迎广大读者批评指正。

作者

# 目录

## CONTENTS

### 前言

### 第1章 智能仪表项目开发方案实例 ..... 1

- 1.1 智能仪表的组成原理 ..... 1
  - 1.1.1 智能仪表的概念 ..... 1
  - 1.1.2 智能仪表的硬件组成 ..... 2
  - 1.1.3 智能仪表的软件组成 ..... 3
- 1.2 智能仪表的研制开发步骤 ..... 4
  - 1.2.1 制订总体方案 ..... 4
  - 1.2.2 工程设计与实现 ..... 6
  - 1.2.3 系统的调试 ..... 7
- 1.3 选题调研实例 ..... 7
  - 1.3.1 选题背景 ..... 7
  - 1.3.2 国内外技术状态和发展趋势 ..... 9
- 1.4 开发流程规划 ..... 10
- 1.5 总体方案设计实例 ..... 11
  - 1.5.1 总体方案设计原则 ..... 11
  - 1.5.2 系统总体结构 ..... 11
  - 1.5.3 系统各组成单元总体方案 ..... 13
  - 1.5.4 技术途径 ..... 15

### 第2章 微控制器选型实例 ..... 17

- 2.1 微控制器 ..... 17
  - 2.1.1 微控制器简介 ..... 17
  - 2.1.2 常用16位单片机简介 ..... 18
- 2.2 嵌入式微处理器 ..... 20
- 2.3 数字信号处理器 ..... 21
- 2.4 可编程逻辑器件 ..... 22
  - 2.4.1 可编程逻辑器件简介 ..... 22
  - 2.4.2 Cyclone II 简介 ..... 25
- 2.5 微控制器选择考虑因素 ..... 26
- 2.6 MC9S12DG256 微控制器 ..... 29
  - 2.6.1 MC9S12DG256 微控制器简介 ..... 30
  - 2.6.2 MC9S12DG256 微控制器功能模块介绍 ..... 31
  - 2.6.3 mc9s12dg256.h 文件定义 ..... 39

### 2.7 MC9S12DG256 开发调试工具 ..... 44

- 2.7.1 开发调试工具介绍 ..... 44
- 2.7.2 调试工具使用 ..... 44

### 第3章 数据采集单元开发实例 ..... 53

- 3.1 数据采集单元输入通道 ..... 53
  - 3.1.1 压力变送器开发 ..... 53
  - 3.1.2 电压电流转换电路 ..... 56
  - 3.1.3 开关量隔离输入接口 ..... 57
  - 3.1.4 A/D 转换及 TLC1543 A/D 转换器 ..... 58
  - 3.1.5 模拟量输入保护电路 ..... 61
- 3.2 数据采集单元输出通道 ..... 62
  - 3.2.1 D/A 转换及 TLC5617 D/A 转换器 ..... 62
  - 3.2.2 模拟量隔离输出接口 ..... 65
  - 3.2.3 开关量控制输出接口 ..... 70
- 3.3 数据采集单元电源规划 ..... 71
- 3.4 数据采集单元电路原理图 ..... 72

### 第4章 主控单元开发实例 ..... 77

- 4.1 主控单元输入通道 ..... 77
- 4.2 主控单元人机通道 ..... 78
  - 4.2.1 显示面板 ..... 78
  - 4.2.2 拨码开关密码保护接口 ..... 78
  - 4.2.3 键盘接口 ..... 79
  - 4.2.4 与 FPGA 压力显示模块的接口 ..... 80
  - 4.2.5 工作状态显示接口 ..... 81
  - 4.2.6 系统报警输出接口 ..... 83
- 4.3 主控单元电源规划 ..... 84
- 4.4 主控单元电路原理图 ..... 84

### 第5章 基于FPGA的压力显示模块开发实例 ..... 88

- 5.1 基于FPGA的硬件设计 ..... 88
  - 5.1.1 数码管动态扫描 ..... 88
  - 5.1.2 EP2C5Q208C8 简介 ..... 89

|                                                                  |     |                                           |     |
|------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------|-----|
| 5.1.3 模块硬件整体结构 .....                                             | 89  | 7.5.1 功能需求分析 .....                        | 174 |
| 5.1.4 配置电路设计 .....                                               | 90  | 7.5.2 串行通信 .....                          | 174 |
| 5.1.5 模块电源电路设计 .....                                             | 91  | 7.5.3 界面设计 .....                          | 175 |
| 5.2 基于 VHDL 的软件设计 .....                                          | 91  | <b>第 8 章 抗干扰设计</b> .....                  | 177 |
| 5.3 FPGA 开发调试工具 .....                                            | 94  | 8.1 硬件抗干扰 .....                           | 177 |
| 5.4 压力显示模块电路原理图 .....                                            | 103 | 8.1.1 接地技术 .....                          | 177 |
| <b>第 6 章 通信接口设计实例</b> .....                                      | 107 | 8.1.2 隔离技术 .....                          | 180 |
| 6.1 常用串行通信协议 .....                                               | 107 | 8.1.3 去耦电路 .....                          | 182 |
| 6.2 系统通信接口设计 .....                                               | 111 | 8.1.4 稳压电路 .....                          | 182 |
| 6.3 通信协议及程序开发 .....                                              | 113 | 8.1.5 晶体振荡器 .....                         | 183 |
| 6.3.1 主控单元和数据采集单元的通信<br>协议 .....                                 | 114 | 8.1.6 其他措施 .....                          | 183 |
| 6.3.2 主控单元和数据采集单元的通信<br>程序 .....                                 | 116 | 8.2 软件抗干扰 .....                           | 183 |
| 6.3.3 远程 PC 和主控单元的通信<br>协议 .....                                 | 122 | 8.2.1 数字滤波 .....                          | 184 |
| 6.3.4 远程 PC 和主控单元的通信<br>程序 .....                                 | 123 | 8.2.2 看门狗技术 .....                         | 184 |
| <b>第 7 章 软件开发实例</b> .....                                        | 127 | 8.2.3 参数冗余检错 .....                        | 185 |
| 7.1 底层硬件接口程序 .....                                               | 127 | 8.2.4 开关量输入输出软件抗干扰<br>措施 .....            | 185 |
| 7.1.1 EETS4K 模块读写驱动程序 .....                                      | 127 | 8.3 RS-485 总线的抗干扰 .....                   | 186 |
| 7.1.2 串行接口驱动程序 .....                                             | 129 | <b>第 9 章 试验调试</b> .....                   | 188 |
| 7.1.3 实时时钟 RTI 驱动程序 .....                                        | 129 | 9.1 试验调试主要内容 .....                        | 188 |
| 7.1.4 ATD_10B8C 模块驱动程序 .....                                     | 130 | 9.2 实例项目的实验室调试 .....                      | 189 |
| 7.1.5 74HC164 驱动 3 位 8 段数码管的<br>驱动程序 .....                       | 130 | 9.3 实例项目的现场试验调试 .....                     | 190 |
| 7.1.6 74HC165 驱动 8 位微型拨码开关<br>的驱动程序 .....                        | 132 | <b>第 10 章 50m 跑自动计时器设计实例<br/>解析</b> ..... | 193 |
| 7.1.7 与 FPGA 接口驱动程序 .....                                        | 134 | 10.1 设计要求 .....                           | 193 |
| 7.1.8 按键扫描驱动检测程序 .....                                           | 137 | 10.2 总体方案的设计 .....                        | 193 |
| 7.1.9 TLC1543 驱动程序 .....                                         | 140 | 10.3 硬件设计 .....                           | 194 |
| 7.1.10 模拟量数据采集驱动程序 .....                                         | 143 | 10.3.1 单片机的选择 .....                       | 194 |
| 7.1.11 TLC5617 驱动程序 .....                                        | 144 | 10.3.2 电源设计 .....                         | 194 |
| 7.2 $\mu\text{C}/\text{OS- II}$ 嵌入式实时操作系统 .....                  | 146 | 10.3.3 起点电路 .....                         | 195 |
| 7.3 $\mu\text{C}/\text{OS- II}$ 在 MC9S12DG256 微控制器<br>上的移植 ..... | 148 | 10.3.4 终点电路 .....                         | 198 |
| 7.3.1 $\mu\text{C}/\text{OS- II}$ 的移植条件 .....                    | 148 | 10.3.5 LCD 电路 .....                       | 200 |
| 7.3.2 为内核编写与硬件相关的代码 .....                                        | 149 | 10.3.6 通信接口电路 .....                       | 201 |
| 7.3.3 重新定义内核的大小和功能 .....                                         | 151 | 10.4 软件设计 .....                           | 201 |
| 7.4 软件系统任务划分及管理 .....                                            | 155 | 10.4.1 起点程序设计 .....                       | 201 |
| 7.4.1 数据采集单元任务划分及管理 .....                                        | 155 | 10.4.2 终点程序设计 .....                       | 203 |
| 7.4.2 主控单元任务划分及管理 .....                                          | 161 | <b>第 11 章 电机车防撞仪实例解析</b> .....            | 213 |
| 7.5 远程 PC 软件 .....                                               | 174 | 11.1 设计要求 .....                           | 213 |
|                                                                  |     | 11.2 总体方案的设计 .....                        | 213 |
|                                                                  |     | 11.2.1 碰撞危险度的判定 .....                     | 213 |
|                                                                  |     | 11.2.2 电机车防撞仪的工作原理 .....                  | 214 |
|                                                                  |     | 11.2.3 系统总体方案 .....                       | 214 |

|                                          |     |                                          |     |
|------------------------------------------|-----|------------------------------------------|-----|
| 11.3 硬件设计 .....                          | 215 | 12.3.6 通信接口的设计 .....                     | 256 |
| 11.3.1 微控制器的选择 .....                     | 215 | 12.3.7 液晶显示接口 .....                      | 256 |
| 11.3.2 激光测距系统电路的设计 .....                 | 215 | 12.3.8 按键电路设计 .....                      | 256 |
| 11.3.3 速度测定系统电路设计 .....                  | 216 | 12.3.9 电源电路设计 .....                      | 256 |
| 11.3.4 通信接口设计 .....                      | 216 | 12.4 软件设计 .....                          | 257 |
| 11.3.5 LED 工作指示电路设计 .....                | 217 | <b>第 13 章 体重秤设计实例解析</b> .....            | 268 |
| 11.3.6 复位电路设计 .....                      | 217 | 13.1 设计要求 .....                          | 268 |
| 11.3.7 信号输出电路设计 .....                    | 218 | 13.2 总体方案设计 .....                        | 268 |
| 11.4 无线语音通信系统设计 .....                    | 219 | 13.3 硬件设计 .....                          | 269 |
| 11.4.1 无线语音通信的建立 .....                   | 219 | 13.3.1 单片机的选择 .....                      | 269 |
| 11.4.2 语音压缩编解码 .....                     | 219 | 13.3.2 看门狗电路设计 .....                     | 269 |
| 11.4.3 nRF401 无线收发模块 .....               | 219 | 13.3.3 传感器的选择 .....                      | 269 |
| 11.5 软件设计 .....                          | 220 | 13.3.4 电源设计 .....                        | 269 |
| 11.5.1 主程序 .....                         | 220 | 13.3.5 变压器的选择 .....                      | 270 |
| 11.5.2 报警、按键扫描和显示子<br>程序 .....           | 223 | 13.3.6 5V 及 6V 电源设计 .....                | 270 |
| 11.5.3 开关扫描子程序 .....                     | 227 | 13.3.7 参考电源设计 .....                      | 270 |
| 11.5.4 激光测距通信控制子程序 .....                 | 230 | 13.3.8 信号放大电路 .....                      | 270 |
| 11.5.5 测速控制子程序 .....                     | 243 | 13.3.9 TLC2543 A/D 转换芯片 .....            | 271 |
| <b>第 12 章 闭眼单脚站立测试仪设计<br/>实例解析</b> ..... | 247 | 13.3.10 RS-232 通信接口的设计 .....             | 273 |
| 12.1 设计要求 .....                          | 247 | 13.3.11 数码管显示电路的设计 .....                 | 273 |
| 12.2 总体方案的设计 .....                       | 247 | 13.4 软件设计 .....                          | 276 |
| 12.2.1 测量方法的选择 .....                     | 247 | <b>第 14 章 多功能数字电子时钟设计<br/>实例解析</b> ..... | 300 |
| 12.2.2 系统解决方案 .....                      | 248 | 14.1 设计要求 .....                          | 300 |
| 12.2.3 系统各部分组成功能介绍 .....                 | 249 | 14.2 硬件设计 .....                          | 300 |
| 12.3 硬件设计 .....                          | 249 | 14.2.1 单片机的选择 .....                      | 300 |
| 12.3.1 微控制器的选择 .....                     | 249 | 14.2.2 时钟电路设计 .....                      | 301 |
| 12.3.2 光电测量电路的设计 .....                   | 253 | 14.2.3 温度测量电路设计 .....                    | 301 |
| 12.3.3 光电接收电路 .....                      | 253 | 14.2.4 按键与显示电路设计 .....                   | 302 |
| 12.3.4 脉冲发生电路及信号接收处理<br>电路 .....         | 254 | 14.3 软件设计 .....                          | 303 |
| 12.3.5 多通道光电测量系统 .....                   | 254 | <b>参考文献</b> .....                        | 325 |

# 第 1 章

## 智能仪表项目开发方案实例

本章首先介绍智能仪表的组成原理和研制开发步骤，之后介绍了一个智能仪表项目实例的开发方案。同时还提出了一个需要解决的设计方案，为后面几章智能仪表详细研制开发技术的描述提供了一个项目范例蓝本和描述对象。

### 1.1 智能仪表的组成原理

#### 1.1.1 智能仪表的概念

微电子技术和计算机技术的飞速发展，引起了仪表结构的根本性变革。以微控制器为核心，以计算机控制理论为基础，将计算机技术、电子技术和测量控制技术等相关技术有机结合，产生了新的智能化测量控制系统，即“智能仪表”。智能仪表是计算机科学、电子学、数字信号处理、人工智能、大规模集成电路等信息技术与传统的仪器仪表技术的结合。

智能仪表可以采集数字信号或者通过 A/D 转换器采集模拟信号，将采集到的信号送入控制器进行信号处理（控制器具有对数据、命令进行存储、运算、逻辑判断及自动化操作等功能），并将处理后的控制信号通过数字信号接口输出或者通过 D/A 转换器输出模拟信号，最后通过网络接口实现仪表与仪表或者仪表与计算机的通信。此外，可以采用一些先进的控制理论和控制方法，可使智能仪表具备更为智能的人机交互接口。与传统仪表相比，智能仪表在测量过程自动化、测量数据处理及功能多样化方面具有更大的优势。智能仪表还具有结构简洁、精度高、操作简单、扩展性强，更容易实现高精度测量、可靠性高、功能多等特点。

智能仪表大多具有以下特点：

1) 自动化程度高。由于智能仪表采用了微控制器为控制核心，具备良好的可编程能力，可以轻松完成数据自动采集、过程自动控制、故障自动诊断、数据自动处理等功能。这不仅提高了工作效率，节省了劳动力，而且使自动化程度得到了提高。

2) 接口丰富。智能仪表往往都具备强大的系统功能接口，且接口种类多，数量多，功能强。如模拟量输入和输出、开关量输入和输出、人机接口和通信接口等。

3) 具备通信能力。智能仪表几乎都具备通信接口，如 RS-232C 接口、RS-485 接口、USB 接口和以太网接口等，使得仪表本身与外界实现良好的信息交互。

4) 多功能化、小型化和高可靠性。科学技术的进步使得微控制器芯片、外围电路芯片等器件集成度逐渐提高，芯片功能越来越强，少数几个芯片就可以实现强大的功能。另外，软件编程可以替代很多复杂的硬件功能。这些都使得智能仪表的体积越来越小，功能越来越强，结构越来越简单，可靠性越来越高。

由于将微控制器引入到了测量控制仪表中,使得智能仪表不仅能够解决传统仪表不能解决或不易解决的问题,而且能够实现诸如记忆存储、四则运算、逻辑判断、数字滤波及数据处理、命令识别、自诊断、自校正、自适应、自学习等智能化工作。

近年来,智能仪表在向更高层次发展,突出表现在以下几个方面:

1) 综合化。智能仪表将计算机技术、电子测量仪器、自动化技术、数据采集技术和控制系统理论相互结合,综合发展。

2) 智能化。智能仪表的发展含有更多的人工智能因素,无需人工干预即可完成更多的智能控制。

3) 数字化。智能仪表采用更多的数字化技术来取代传统的模拟仪表和机械仪表,实现数据采集、信息处理和控制输出的数字化。

4) 网络化。随着总线技术的发展,传统通信总线、现场总线和以太网技术等智能仪表中得到越来越广泛的使用,使得智能仪表能按照一定的总线通信协议进行彼此之间的网络通信,避免信息孤岛的存在。

5) 微型化。微电子技术、微机械技术、信息技术等的综合应用使得智能仪表体积更加小巧,功能更加齐全,接口更加丰富。

随着微控制器(包括单片机、DSP、ARM、可编程逻辑器件等)技术的不断进步和普及,智能化仪表得到了迅猛的发展。目前在研制高精度、高性能、多功能的测量控制仪表时,几乎都会采用微控制器。随着科学技术的进一步发展,智能仪表将获得更加深远的发展。

### 1.1.2 智能仪表的硬件组成

硬件部分包括控制器及其接口电路、模拟量输入通道、开关量输入通道、模拟量输出通道、开关量输出通道、数据通信接口电路、人机通道(如键盘、显示器接口电路等)以及其他外围设备(如打印机等)接口电路。智能仪表系统组成如图1-1所示。

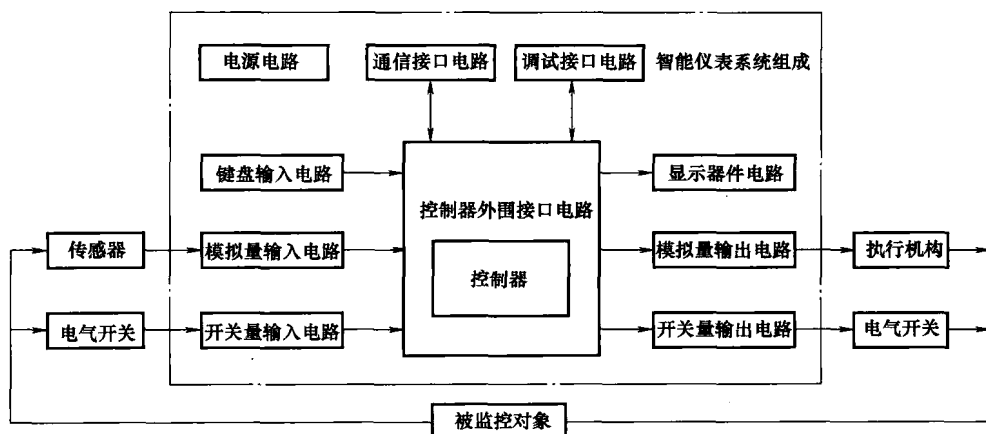


图 1-1 智能仪表系统组成框图

#### 1. 控制器及其接口电路

控制器及其接口电路包括控制器、程序存储器、数据存储器、输入输出接口电路及扩展电路,它可以进行必要的数值计算、逻辑判断、数据处理等。

## 2. 输入输出通道

输入输出通道是智能仪表控制器和被测量监控系统之间设置的信号传递和变换的连接通道。它包括模拟量输入通道、开关量（数字量）输入通道、模拟量输出通道、开关量（数字量）输出通道等。输入输出通道的作用是将被测量监控系统的信号变换成控制器可以接收和识别的代码；将控制器输出的控制命令和数据转换后作为执行机构或电气开关的控制信号，从而控制被测量监控系统进行期望的动作。

在计算机监控系统中，需要处理一些基本的开关量输入输出信号，例如开关的闭合与断开、继电器的接通与断开、指示灯的点亮与熄灭、阀门的开启与关闭等，这些信号都是以二进制的“0”和“1”出现的。计算机系统中对应的二进制位的变化就表征了相应器件的特性。开关量输入输出通道就是要实现外部的开关量信号和计算机系统的联系，包括输入信号处理电路及输出功放电路。

模拟量输入输出通道由数据处理电路、A/D 转换器、D/A 转换器等构成，用来输入输出模拟量信号。其中，模拟量输入通道的任务是把传感器，如压力变送器、温度传感器、液位传感器、流量传感器等监测到的模拟信号转变为二进制数字信号，送给计算机处理。模拟量输出通道的任务是把计算机输出的数字量信号转换成模拟电压或者电流信号，驱动相应的执行机构动作，达到控制目的。

## 3. 通信接口

通信接口则用来实现仪表与外界其他计算机或智能外设交换数据。

## 4. 人机通道

人机通道是人和智能仪表之间建立联系、交流信息的输入输出通路，包括人机接口和人机交互设备两层含义。人机接口是智能仪表的微控制器和人机交互设备之间实现信息传输的控制电路。人机交互设备是智能仪表系统中最基本的设备之一，是人和智能仪表之间建立联系、交换信息的外部设备。常见的人机交互设备可分为输入设备和输出设备两类。其中，输入设备是人向智能仪表系统输入信息，如输入键盘、开关按钮等；输出设备是智能仪表系统直接向人提供系统运行结果，如显示装置、打印机等。通过智能仪表的人机通道，可以向智能仪表输入命令和数据，了解智能仪表运行的状态和显示相关的工作参数。

智能仪表的工作过程如下：输入信号要经过开关量输入通道电路或模拟量输入通道电路进行变换、放大、整形、补偿等处理。对于模拟量信号，需经 A/D 转换器转换成数字信号，再通过接口送入微控制器。由微控制器对输入数据进行加工处理、计算分析等一系列工作，通过接口送至显示器或打印机，也可输出开关量信号或经模拟量通道的 D/A 转换器转换成模拟量信号，还可通过串行接口（例如 RS-232C 等）实现数据通信，完成更复杂的测量、控制任务。

### 1.1.3 智能仪表的软件组成

硬件只是为智能仪表系统提供底层物质基础，要想使得智能仪表正常工作运行，必须提供或研制开发相应的软件。如图 1-2 所示，智能仪表软

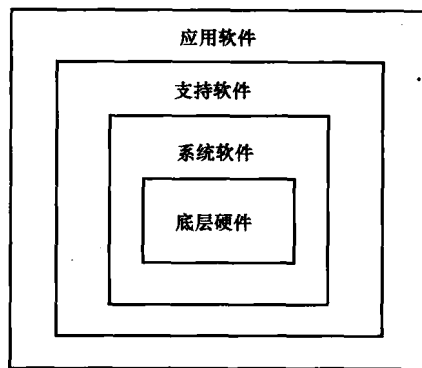


图 1-2 智能仪表的软件结构

件可以分为系统软件、支持软件和应用软件。

系统软件包括实时操作系统、引导程序等。

支持软件包括汇编语言、编译程序、高级语言等。

应用软件是系统设计人员针对某个测控系统而编制的控制和管理程序。智能仪表的应用软件包括监控程序、中断服务程序以及实现各种算法的功能模块。监控程序是仪表软件的中心环节，它接收和分析各种命令，并管理和协调整个程序的执行；中断服务程序是在人机接口或其他外围设备提出中断申请，并为微控制器响应后直接转去执行，以便及时完成实时处理任务；功能模块用来实现仪表的数据处理和控制在功能，包括各种测量算法（例如数字滤波、标度变换、非线性修正等）和控制算法（例如 PID 控制、前馈控制、模糊控制等）。

只有软件和硬件相互配合，才能发挥计算机控制系统的优势，研制出具有更高性能的智能仪表系统。

## 1.2 智能仪表的研制开发步骤

智能仪表系统是一个比较复杂的信息处理系统，其研制开发过程同样是一个复杂的系统工程。这一过程包括市场调查（过去的市场、现在的市场、将来的市场等）、资料检索查询、可行性分析（经济性、技术先进性、客观条件、社会效益等）、组建研制小组、系统总体方案设计、方案论证和评审、硬件和软件的细化设计、硬件和软件的调试、系统组装、实验室仿真调试、烤机运行、现场试验调试、验收等。

由于这是一个复杂的系统工程，在这里不能逐一详细介绍，只能简单介绍一下系统总体方案设计、硬件和软件的细化设计和调试等内容。这一过程包括分析仪表的功能要求和制订总体设计方案、确定硬件结构和软件算法、研制逻辑电路和编制程序以及仪表的调试和性能的测试等。为保证仪表质量和提高研制效率，设计人员应在正确的设计思想指导下进行仪表研制的各项工作。

依据仪表的功能要求和技术经济指标，按仪表功能层次把硬件和软件分成若干个模块分别进行设计和调试，然后把它们连接起来，进行总调，这就是设计仪表的基本思想。

如前所述，通常把硬件部分分成微控制器、输入输出通道、人机通道、通信接口及电源等几个模块；而把软件分成监控程序（包括初始化、键盘、显示管理、中断管理、时钟管理、自诊断等）、中断服务程序以及各种测量和控制算法等功能模块。这些硬件、软件模块还可继续细分，由下一层次的更为具体的模块来支持和实现。模块化设计的优点是，无论是硬件还是软件，每一个模块相对独立，故能独立地进行设计、研制、调试和修改，从而使复杂的工作得以简化。模块间的相对独立也有助于研制任务的分解和设计人员之间的分工合作，这样可以提高工作效率。

设计、研制一台智能仪表大致上可以分为三个阶段：确定任务、拟定设计方案阶段；硬件、软件研制及仪表结构设计阶段；系统试验调试、性能测定阶段。

### 1.2.1 制订总体方案

对于智能仪器仪表系统的研制，应该充分注意与实际问题相结合，以解决实际问题为出发点。通过研制小组对实际问题的仔细调研和分析，对用户需求的正确理解，才能确定项目

的研制任务,提出切实可行的系统总体方案。系统总体方案包括硬件总体方案和软件总体方案。硬件和软件是相互结合的有机整体,既有联系又有区别。在系统总体设计的时候,两者要相互协调,形成最终的统一方案。

### 1. 确定设计任务和仪表功能

首先确定仪表所要完成的任务和应具备的功能,如仪表是用于过程控制还是数据处理,要具备哪些功能;确定经济技术指标,如仪表要求的精度如何、仪表的开发成本和生产成本应控制在多大范围之内;仪表输入信号的类型、范围和处理方法如何;过程通道为何种结构形式,通道数是多少,是否需要隔离;仪表的显示格式如何,是否需要打印输出;仪表是否具有通信功能。以此作为仪表软、硬件的设计依据。另外,对仪表的使用环境情况及维修的方便性也要给予充分的注意。设计人员在对仪表的功能、可维护性、可靠性及性能价格比综合考虑的基础上,提出仪表设计的初步方案,并形成书面文件。

### 2. 硬件总体方案

硬件总体设计方案制定的时候,尽量采用功能框图的方法,明确系统的结构,确定各个功能模块之间的信号输入输出关系,不必拘泥到具体细节。硬件总体方案设计需要考虑以下内容:

1) 确定系统的结构类型和构成方式。确定是采用分散控制系统、分级型控制系统还是直接数字控制系统;确定是采用工业控制计算机、PLC 模块还是微控制器。

2) 外围设备的选择。包括各类传感器、变送器和执行器等。

3) 另外还要考虑人机关系、系统机械电气结构、抗干扰等。

### 3. 软件总体方案

软件总体方案的设计思想和硬件总体方案的设计思想类似,自顶而下,尽量采用功能框图的方法,确定各个功能模块之间接口的输入输出关系,明确系统的软件结构。另外还需要考虑数学模型、控制策略和控制算法等。

### 4. 系统总体方案

当硬件总体设计方案和软件总体方案通过反复研究,最终确定之后,将两者合二为一,构成系统总体方案,形成文档。通过进一步的方案论证和评审,完成总体方案可行性报告和总体方案设计报告,产生具体的研制任务书和产品保证要求,明确产品研制技术流程和进度安排等环节。

通过调查研究对方案进行论证,完成智能仪表的总体方案设计工作。在此期间应绘制仪表系统总图和软件总框图,拟订详细的工作计划。

### 5. 开发方案主要内容

在经历了市场调查、资料检索查询、可行性分析之后,就可以拟定一个开发方案。开发方案要结合项目实际情况,根据当前人员配置、技术储备、财务储备等条件,总结完善出书面文件。开发方案主要内容如下:

- 1) 研制开发课题的背景,包括课题研究内容和目的等;
- 2) 国内外技术状态和发展趋势;
- 3) 项目开发可行性分析;
- 4) 预期功能指标、性能指标及成果;
- 5) 总体方案;

- 6) 技术途径;
- 7) 开发流程规划;
- 8) 开发物资保障条件;
- 9) 技术力量和分工。

### 1.2.2 工程设计与实现

#### 1. 硬件工程设计与实现

设计硬件电路时, 尽可能采用典型的线路, 力求标准化; 电路中的相关元器件性能应匹配; 扩展元器件较多时应设置线路驱动器; 为确保仪表能长期可靠运行, 还应采取相应的抗干扰措施, 包括去耦滤波、合理的布线、通道隔离等。

完成电路设计、绘制好布线图后, 应反复核对, 确认线路无差错, 才可加工印制电路板。制成电路板后仍应仔细校核, 以免发生差错, 损坏元器件。

硬件工程设计与实现要尽量遵循模块化、通用化和系列化的思想, 力求使硬件设计简洁可靠。

1) 控制元器件的选择。良好的控制元器件可以简化系统设计, 使系统具备优秀的处理核心, 加快开发流程, 提高产品的可靠性。微控制器及其接口电路是智能仪表的核心, 为确保仪表的性能指标, 在选择微控制器(如单片机)时, 需考虑内部存储器容量的大小、I/O接口是否足够、硬件配套是否齐全以及芯片的价格等。在内存容量要求不大, 外部设备要求不多、速度要求不高的智能仪表中, 可采用8位或16位微控制器; 若要求仪表运算功能强、处理精度高、运行速度快, 则可选用16位或32位微控制器。

2) 总线的选择。包括内部总线、外部总线和系统级总线等。良好的总线方式可以简化硬件设计、提高可扩展性和可更新性。

3) 输入输出通道。输入输出通道是控制器和外部元器件的接口通道, 也是产品和外界的接口通道。其选用和设计方法必须考虑各种性能指标和因素, 如分辨率、采样速率、量程、可靠性、输入输出通道数、串行操作还是并行操作等, 使其满足实际需要。

4) 由于微控制器是通过各种接口与键盘、显示器、打印机等部件相连接的, 并通过输入输出通道, 经测量元器件和执行器直接连接至被测和被控对象。因此, 人机交互接口电路和输入输出通道的设计是研制仪表的重要环节, 力求可靠实用。

5) 变送器和执行机构。变送器用来实现对被测量的数据采集(如压力、温度、流量、液位等), 其输出接口有电压型、电流型、数字型、总线型等类型。执行机构用于接收计算机的控制信息, 控制动作执行, 如电磁阀、加热器、电动机等。要根据实际情况和被控制对象的特性选取合适的元器件。

#### 2. 软件工程设计与实现

通常, 应用系统软件需要自行开发。在开发过程中, 应该先绘制程序总体流程图和各个功能模块的流程图, 选择合适的编程语言, 编写各个模块的软件程序, 然后将各个功能模块组合成一个整体, 完成预期功能。

1) 数据接口和数据结构。因为各个功能模块之间有着一定的联系, 相互之间要进行参数信息传递, 为了避免接口混乱, 程序调用错误, 必须明确各个功能模块之间的数据接口以及数据结构。

2) 资源分配。软件程序都要占用一定的硬件资源,例如程序存储器、数据存储器、定时器、通信接口、I/O 接口、中断源等,必须做好详细的分配,避免资源浪费和资源紧张的现象出现。

3) 控制软件设计。这部分内容包括数据采集和数据处理程序、控制算法程序、控制输出程序、实时时钟程序、中断处理程序、数据管理程序、数据通信程序等诸多内容,这些都直接影响系统软件代码的质量和最终软件的性能。

4) 编程语言的选择。编写程序可以用机器语言、汇编语言或各种高级语言。究竟采用何种语言则由程序长度、仪表的实时性要求及所具备的研制工具而定。对于规模不大的应用软件,大多采用汇编语言来编写。这样可减少存储容量,降低元器件成本,节省机器时间。研制较复杂的软件且运算任务较重时,可考虑使用高级语言来编程。采用 C 语言编写源程序,编程方便,软件可读性强,易于修改和扩充。且 C 语言功能强大,编译效率高,有助于开发大规模、性能更完善的应用软件。编写完程序后,经汇编或编译生成目标码。

在进行软件设计时,要注意结构清晰,存储区规划合理,编程规范,以便于调试和移植。同时,为提高仪表的可靠性,应实施软件抗干扰措施。在程序编制过程中,还必须进行优化工作,即仔细推敲、合理安排,利用各种程序设计技巧,使编写出的程序所占内存空间较小,执行时间较短。

### 1.2.3 系统的调试

研制阶段只是对硬件和软件进行了初步调试和模拟试验。样机装配好后,还必须进行联机试验,来查找和排除样机中硬件和软件两方面的故障。待工作正常后,便可投入现场试用,使系统处于实际应用环境中,以检测其可靠性。在调试中还必须对设计所要求的全部功能进行测试和评价,以确定仪表是否符合预定性能指标,并写出性能测试报告。若发现某一项功能或指标达不到要求时,则应变动硬件或修改软件,重新调试,直至满足要求为止。

系统的调试分为两个阶段,即实验室试验调试和现场试验调试,这两部分内容又分别包含硬件调试和软件调试两方面内容。试验调试是一个综合的过程,需要相关人员相互配合完成。

## 1.3 选题调研实例

本节对一个智能仪表项目的选题背景、国内外技术状态和发展趋势进行介绍,便于读者在智能仪表项目开发前期参考。

### 1.3.1 选题背景

橡胶行业是一个非常重要且产量非常巨大的行业。据不完全统计,目前世界上橡胶制品的品种与规格都已超过了 10 万种,橡胶用量和橡胶工业的总产值还在逐年增加。橡胶制品已经扩展到汽车轮胎、建筑、化工、电子、信息、宇航、医疗卫生及人们的衣食住行等领域。

橡胶机械行业是为橡胶制品提供加工装备的。随着世界橡胶产业,尤其是轮胎工业不断向现代制造业的方向发展,橡胶机械工业出现了不少新的气象。目前,全球橡胶机械的销售

额已超过 28 亿美元, 年均增长达到 14% 以上。预计未来几年, 由于橡胶产业相继进入新一轮设备更新和技术创新时期, 橡胶工业鼎盛期有可能延长一段时间并将会继续呈现同步向前的发展势态。我国已经成为世界最大的橡胶消费国, 也是世界最大橡胶机械产销市场之一, 同时还是全球橡胶机械的重要制造中心。我国的橡胶工业正以高于世界橡胶工业两倍的速度向前发展。

密炼机已成为当前世界橡胶工业的主要炼胶设备。密炼机是橡胶生产中的一种关键设备, 主要完成橡胶的混炼。在橡胶加工的过程中, 第一道工序是混炼。它是指将各种配合剂混入生胶中, 以制成质量均匀的混炼胶的过程, 也就是橡胶与各种配方剂的混合与分散过程。混炼是非常重要的一道工序。它决定着后面诸多工序的功效, 并对产品性能具有很大的影响。根据原材料的形状和生产规模, 要使用不同的混炼设备。在整个橡胶行业中, 大、中型规模的橡胶厂一般使用的混炼设备都以密炼机为主。

密炼机转子端面润滑密封问题是密炼机炼胶生产中的一个关键问题。密炼机转子被称作“密炼机的心脏”, 密炼机转子端面润滑密封性能的好坏将影响炼胶配方的精确性及所生产胶料质量的稳定性。转子端面润滑密封装置, 结构如图 1-3 所示。密炼机炼胶过程中, 密炼室与转子端面间隙处可能产生胶料堆积或硬化, 在长时间内会造成胶料的污染或分解。此时通过软化剂孔注入对胶料有软化性能的高压软化剂。这样一方面可软化密封圈外的橡胶颗粒, 使胶料被搅拌成糨糊状, 防止橡胶颗粒进入轴承, 起第一道密封作用; 另一方面可降低炼胶过程密封圈的发热量, 当转子以高速率旋转时, 对热极其敏感的物料不至于形成硫化的颗粒; 再者可以使转子和耐磨板的磨损减缓。高压润滑油注入到动圈和定圈接触处, 在动圈和定圈之间形成油膜保护, 减少接触面的摩擦, 起到润滑作用, 其次具有第二道密封的作用, 同时还可以降低接触面温度。

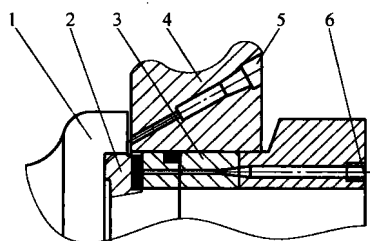


图 1-3 转子端面结构示意图

1—转子 2—动圈 3—定圈 4—耐磨挡板 5—软化剂孔 6—润滑油孔

密炼机转子端面润滑密封的好坏直接影响着密炼机的工作性能。如果润滑油或软化剂注入过多, 胶料中的含油率升高, 影响炼胶质量。在由于油路泄漏或堵塞等情况下, 如果润滑油过少, 在动圈和定圈之间形成不了油膜, 密封面便会严重磨损、咬合, 影响动、定圈的使用寿命, 甚至引起定圈掉落, 还会造成漏胶料现象; 如果软化剂过少, 达不到对局部胶料软化的效果, 形成不了糊状物, 会出现漏炭黑现象。

密炼机转子端面高压润滑油孔和高压软化剂孔分布如图 1-4 所示。其中, 标号为 7、8、9、10、11、12 的孔为高压润滑油孔, 标号 17、18、19、20 的孔为高压软化剂孔。每个转子的每个端面有 3 个高压润滑油孔, 2 个高压软化剂孔。整个密炼机共有 2 个转子, 共 12 个高压润滑油孔, 8 个高压软化剂孔。采用 2 台出油头数分别为 12 和 8 的柱塞泵, 分别完成高压润滑油和高压软化剂的注入。每台密炼机的高压润滑油和高压软化剂分别具有各自的油路, 按照一定的工作方式协同工作。橡胶混炼车间通常有 2~4 台密炼机, 具有各自的转子端面润滑密封系统, 且彼此独立工作。

随着企业内部管理的加强, 管理矛盾加剧, 即设备管理理想使油量大些, 以防密封圈研磨损坏, 成本管理则希望使用的油越少越好, 而工艺管理则希望流入混炼室的油量一定要便于

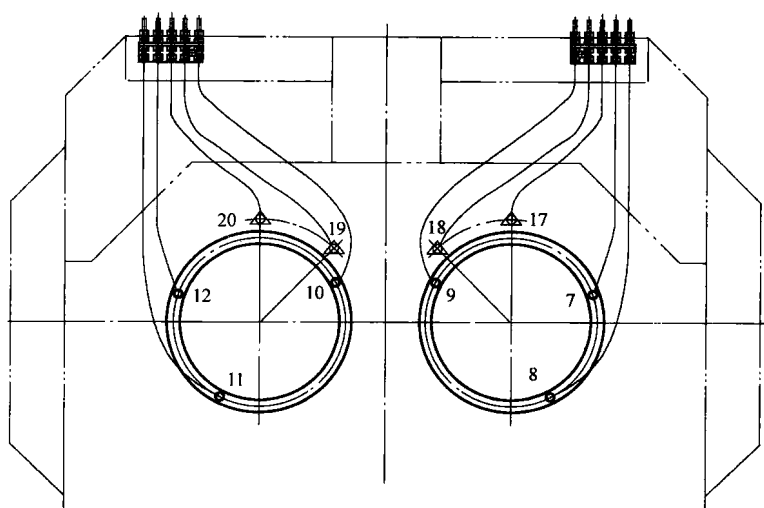


图 1-4 油孔分布示意图

测量，现场操作人员希望监控功能完善，操作方便，界面友好。

密炼机转子端面润滑密封系统对于提高密炼机的工作性能，提高炼胶质量，改善工人劳动强度，提高企业的管理监控水平，有着重要的影响。有必要对企业密炼机转子端面润滑密封系统进行准确、高效的监测控制。

### 1.3.2 国内外技术状态和发展趋势

多年来，人们一直将密炼机的高性能化、精密化和效率化列为重要的研发课题。长期以来，国外的一些著名液压润滑系统厂商在密炼机转子端面润滑密封系统上投入了大量的人力和物力，同时得益于微机控制技术、通信技术和微电子技术的发展，相关研究取得了一定的成果，实现了密炼机转子端面润滑密封系统的自动化和智能化控制。这些产品品质卓越、外形美观、操作方便，大多具有以下特点：

1) 采用计算机或者 PLC 作为现场控制单元。将需要控制的高压润滑油和高压软化剂的数据采集到控制器内部，按照工艺的流程和参数进行现场控制。

2) 具有良好的通信功能，实现了局域网络集散控制。现场仪表进行数据采集，实现各自的控制功能，同时将控制信息通过现场总线传送给主控单元，在主控单元进行工作监视以及参数设置，同时通过网络实现企业的统一管理。

3) 具有智能故障诊断功能。在控制过程中，发现问题立即执行指定的程序，实施补救措施，同时报警。并且将一些重要的压力、液位和温度等数据进行存储、远程传送，便于对生产过程进行数据分析，及时发现生产过程中的问题。

4) 元器件的数字化。如部分传感器采用数字式输出接口，便于系统设计。

目前国内橡胶工业生产中密炼机转子端面润滑密封系统的监控措施相对比较简陋，监控管理水平相对落后，大多停留在 20 世纪 80 年代的水平。传统的产品在日益激烈的市场竞争中已经渐渐显示出了许多劣势，制约着密炼机的工作性能，影响到了企业的生产管理水平。这主要表现在：

1) 机械式仪表。采用陈旧的机械式仪表进行参数的检测，显示效果差，精度低，容易

产生误报警，不便于管理。

2) 功能单一。大多数只有润滑油和软化剂的注入功能，少数设备具有多油路压力界限监视功能。

3) 网络设施差。控制设备彼此独立，不便于信息交流；没有组成车间网络，不便于企业管理。

4) 显示界面不友好，不便于操作者监控。

5) 系统结构繁琐，不便监控。

6) 故障的指示。没有故障指示功能，发生故障后，不便检查故障原因，不便于维修。

7) 造价。仪表数量过多，布线复杂、造价过高。

根据市场现状，计划抓住市场需求，填补国内市场空白，给出一套密炼机转子端面润滑密封监控方案，并研制出相关产品，要求该产品集数据采集、实时显示、故障指示、声光报警、参数设置和网络传输等功能于一身，可以灵活地进行系统的移植和扩充，实现密炼机转子端面润滑密封监控的自动化和智能化。

## 1.4 开发流程规划

本项目是要解决橡胶生产过程中出现的实际问题：密炼机转子端面润滑密封系统监控问题。根据实际情况，本项目开发流程规划如下：

1) 总体方案设计。包括系统总体框架的构建和硬件总体结构规划。在生产车间实际考察的基础上，针对实际情况和需要实现的功能，基于总线技术构建系统总体框架结构，实现车间中各个分散地和分散设备之间的良好信息交互，统一调度，综合管理，避免信息孤岛的存在。设计系统硬件总体结构，对系统功能进行划分，区分不同的硬件功能模块，为下一步的详细设计打下基础。

2) 硬件的开发。选取先进的微控制器芯片及 FPGA 芯片，选择合适的外围扩展设备，设计具有良好性能的硬件电路，搭建底层硬件平台各个模块，为产品开发打下坚实的硬件平台基础。其中主要控制芯片的选择（如微控制器芯片和 FPGA 芯片）影响到了硬件系统设计和产品性能的各方面，需要多方面的调研和综合考虑。

3) 软件的开发。包括基于嵌入式实时操作系统进行控制系统的软件、基于 VHDL 语言编写 FPGA 显示电路的驱动显示程序和顶层远程 PC 监控软件等。软件的开发是在硬件的基础上进行的，开发出的软件要力求简洁、鲁棒性强、完成任务功能、满足用户需要。

4) 系统调试。项目开发离不开系统的调试。系统调试包括硬件电路调试、软件程序调试、实验室综合调试、车间现场调试等环节，其中的一个环节或几个环节往往穿插进行，直到开发出满足需要的产品。

5) 另外，还要根据用户需求进行产品测试，包括温度试验、力学试验、可靠性试验等环节，在此不作叙述。

经过以上步骤，开发出满足实际需要的产品，并做到精度高、操作方便、功能齐全、移植性好等特点，还要达到同类产品的国内先进水平。