



# LabVIEW

## 高级编程与虚拟仪器 工程应用

雷振山 魏 丽 赵晨光 汤小娇 编著

♥ 基于主流的LabVIEW 8.2版本

实用的高级编程技术, 丰富的工程应用实例  
虚拟仪器与测控技术兼顾, 教学与工程设计并重



# LabVIEW 高级编程与虚拟仪器工程应用

雷振山 魏 丽 赵晨光 汤小娇 编著

中国铁道出版社  
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

---

## 内 容 简 介

本书为已经掌握了 LabVIEW 编程基础的读者讲述采用虚拟仪器技术开发测量与控制工程项目的办法。全书分为 16 章, 前 8 章介绍开发复杂测控系统所需要的 LabVIEW 高级编程技术, 包括测控项目管理、应用程序控制与内部数据传递、程序设计模式与程序性能、软件接口与外部数据通信、数据存储与调用、面向对象编程、传统 DAQ 的模拟信号采集、传统 DAQ 的数字信号与计数器输入/输出; 后 8 章提供作者自己开发的虚拟仪器成功案例, 包括机械设备状态监测与故障诊断、液压系统测试、锅炉供热自动控制、水煤浆制备过程测控、机器视觉、基于光纤布拉格光栅传感网络的测控系统、多点同步精确定时数据采集、电网谐波测试等, 同时提供了 NI 公司的高级信号处理、PID 控制、机器视觉和数据库链接等许多工具包的应用方法。

本书所附光盘不仅包含书中全部程序代码, 还提供了很多完整的工程实例。

本书适合作为本科生毕业设计的教学参考书, 也可作为研究生完成课题和工程技术人员开发测控项目的参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

LabVIEW 高级编程与虚拟仪器工程应用 / 雷振山等编著.  
北京: 中国铁道出版社, 2009. 4  
ISBN 978-7-113-09871-1

I. L… II. 雷… III. 软件工具, LabVIEW—程序设计  
IV. TP311. 56

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 052337 号

书 名: LabVIEW 高级编程与虚拟仪器工程应用  
作 者: 雷振山 魏 丽 赵晨光 汤小娇 编著

策划编辑: 严晓舟 荆 波

责任编辑: 杜 鹃

封面设计: 付 巍

责任印制: 李 佳

编辑部电话: (010) 63583215

封面制作: 李 路

出版发行: 中国铁道出版社 (北京市宣武区右安门西街 8 号 邮政编码: 100054)

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

版 次: 2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 20 字数: 465 千

印 数: 4 000 册

书 号: ISBN 978-7-113-09871-1/TP·3205

定 价: 42.00 元 (附赠光盘)

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 请与本社计算机图书批销部调换。

# 前言

2008年,《LabVIEW 8.2 基础教程》一书出版时,编者曾许诺“尽快为读者奉献它的姊妹篇——《LabVIEW 高级编程与虚拟仪器工程应用》”,以供本科生毕业设计、研究生完成课题以及工程技术人员开发测控项目进行参考。但是一年来市场上又出现了那么多高水平的虚拟仪器教材,曾一度使我们压力巨大。但是许多热心而又认真的读者对《LabVIEW 8.2 基础教程》的厚爱以及对《LabVIEW 高级编程与虚拟仪器工程应用》的催促,使我们决心完成这项任务。

在本书出版时,我们想从工程应用的角度再和读者朋友交流几个关于虚拟仪器的认识问题。

虚拟仪器诞生之初,其倡导者就强调“软件就是仪器(the software is the instrument)”的概念,软件在虚拟仪器系统中也确实起到了核心的作用,因此本书主要是从编程的角度介绍虚拟仪器的工程应用。但是我们也应该知道,如果没有硬件的支持,虚拟仪器就真的成了“虚拟”的,就像最初有些人对它的偏见那样。只有在数据采集、信号调理等丰富多彩的硬件支持下,虚拟仪器才能成为“实际”的仪器,从而在测控领域大显身手。所以本书也用相当多的篇幅介绍了与硬件相关的知识,甚至对于测控系统最基础的硬件——传感器也有所涉及。总体上说,本书是一本以 LabVIEW 高级编程为核心,全面介绍测控系统开发的参考书。

目前,业界基本认同的虚拟仪器定义是“基于通用计算机的测控系统”,这里并没有限定这个测控系统的程序开发语言,目前许多种语言都有开发成功的虚拟仪器案例,但是作者从“教、学、用”三个角度体会,从各方面综合考虑,LabVIEW 还是测控领域最优秀的图形语言开发环境。当然,如果不是进行测量与控制,也许就没有必要使用 LabVIEW。尽管美国国家仪器(National Instruments, NI)公司将 LabVIEW 定义为通用软件,尽管随着 LabVIEW 版本的不断升级,使这种通用化的倾向越来越明显,但作者还是认为它最适合做的就是测控系统。

我们的测控专业学生刚入学时大部分都会问:“测控是干什么的?”本书作为一本介绍测控系统开发的书,也需要回答同样的问题。对于大部分从事测控技术工作的人来说,测控技术的应用可以大体上归为三个方面:生产过程控制、产品质量检验和设备状态监测。本书对这三个方面都提供了一些工程实例。那么社会上哪些人在做这些工作呢?很多大中型企业有专门的机构、部门或人员从事这方面的工作;更多的是一些中小公司专业从事测控系统开发,为其他企业提供配套服务;还有相当一部分高校教师从事测控技术方面的理论研究和产品、技术开发。

本书侧重于从虚拟仪器编程方面讲述测控系统的开发,但是对于完整地开发一个测控系统,这些知识还是不够的。那么从事测控技术工作还需要哪些相关的专业知识呢?我们认为关系最密切的是传感器知识、信号处理知识和计算机知识(微机原理、操作系统、网络技术、数据库、软件工程),其次是电子技术、通信技术、数学和与被测对象相关的专业知识。一个人不可能成为所有这些方面的专家,但是至少对这些方面要有基本的了解才能胜任测控系统的开发。而且这些方面也是近年来知识更新最快的专业领域,我们选择了测

控专业就是选择了一种需要不断学习、不断迎接挑战的职业生涯。

LabVIEW 目前已经推出了 8.6 版,但是本书仍然立足于 8.2 版,因为这是 LabVIEW 的第一个中文版本,具有标志性的意义,而且大部分读者不可能那么快跟上软件开发系统更新的步伐。作者甚至考虑了使用更早的 LabVIEW 7.1 版的读者的需求:他们手里只有 7.1 版的正版软件,可是市场上已经不太好找 7.1 版教材了。因此我们告诉这部分读者,本书中除了项目浏览器、面向对象编程、共享变量等少部分内容外,关于编程的基本方法、测控系统开发的基本知识等内容是适合使用 LabVIEW 任何版本的。同时本书为了方便使用 LabVIEW 8.2 中文版以前版本的读者,在书末附上了 LabVIEW 词汇的中英文对照表。书中的 LabVIEW 中文词汇尽量与 NI 公司在 LabVIEW 界面和文档中使用的词汇一致。

全书分为 16 章:前 8 章介绍开发复杂测试系统所需要的 LabVIEW 高级编程技术,首先从工程实用的角度整体介绍了测控系统开发的项目管理方法,然后介绍了应用程序控制与内部数据传递、程序设计模式与程序性能、软件接口与外部数据通信、数据存储与调用、面向对象编程、传统 DAQ 的模拟信号采集、数字信号与计数器输入/输出;后 8 章提供作者自己开发的虚拟仪器成功案例,包括机械设备状态监测与故障诊断、液压系统测试、锅炉供热自动控制、水煤浆制备过程测控、机器视觉、基于光纤布拉格光栅传感网络的测控系统、多点同步精确定时数据采集、电网谐波测试等。这一部分同时结合实例进一步说明了采用虚拟仪器开发测控系统时的许多关键技术的应用,提供了 NI 公司的高级信号处理、数据库链接、PID 控制和机器视觉等一些工具包的功能和使用方法。

本书所附光盘不仅包含书中全部程序代码,还提供了很多完整的工程实例。

谨以此书再次表达对于美国国家仪器中国有限公司的衷心感谢!尤其是院校市场部多年来在虚拟仪器教学与应用方面给予我们的支持和鼓励,是我们不断地取得进步的动力。

本书也包含了我们的同事和历届学生的辛勤努力,本书由雷振山、魏丽、赵晨光、汤小娇编著,乔俐、孙伟涛、李倩、高然、焦亚芝等同学仔细校阅了全稿,参加了书中全部程序的测试工作,在此一并致谢!

由于时间和水平有限,书中难免有不妥之处,敬请读者指正,也欢迎读者与我们联系,电子邮箱:Leizs@163.com。

编 者

2009 年 3 月

# 目 录

第 1 章 测控项目管理 .....	1
1.1 测控项目的生命周期 .....	1
1.2 系统定义 .....	2
1.2.1 问题定义 .....	2
1.2.2 可行性研究 .....	2
1.2.3 需求分析 .....	4
1.2.4 软件原型 .....	4
1.2.5 文档管理 .....	5
1.3 总体设计 .....	6
1.3.1 硬件结构设计 .....	6
1.3.2 软件结构设计 .....	7
1.3.3 总体设计说明书 .....	7
1.4 详细设计 .....	8
1.5 程序编码 .....	8
1.5.1 编程风格 .....	8
1.5.2 说明信息 .....	10
1.5.3 VI 的保存 .....	14
1.5.4 手册编写 .....	16
1.6 系统测试 .....	17
1.6.1 硬件测试 .....	17
1.6.2 软件测试 .....	17
1.6.3 验收测试 .....	18
1.6.4 测试报告 .....	18
1.7 系统维护 .....	19
1.8 项目浏览器 .....	19
1.8.1 项目浏览器的用途 .....	19
1.8.2 项目库 .....	20
1.8.3 项目依赖关系 .....	21
1.8.4 程序生成规范 .....	22
第 2 章 应用程序控制与内部数据传递 .....	24
2.1 VI Server 技术简介 .....	24
2.2 动态加载 VI .....	25
2.2.1 监测内存中所有的 VI .....	25
2.2.2 动态加载 VI 的程序 .....	27
2.3 动态控制 VI 运行 .....	29

2.3.1	动态刷新被控 VI 前面板控件值 .....	29
2.3.2	选择性打开 VI 前面板 .....	30
2.3.3	子面板设计 .....	31
2.4	动态控制 VI 属性和前面板对象属性 .....	31
2.4.1	动态控制 VI 属性 .....	31
2.4.2	动态控制前面板对象属性 .....	32
2.5	动态注册事件 .....	33
2.5.1	动态注册用户接口事件 .....	34
2.5.2	处理用户事件 .....	36
2.6	运行菜单控制 .....	36
2.6.1	运行菜单的设置 .....	37
2.6.2	用程序代码进行运行菜单设置 .....	38
2.6.3	在程序中响应菜单选项 .....	39
2.7	通知器和队列 .....	40
2.7.1	通知器 .....	40
2.7.2	队列 .....	42
2.8	共享变量 .....	45
2.8.1	共享变量的创建 .....	45
2.8.2	单进程共享变量 .....	46
2.8.3	网络发布共享变量 .....	47
<b>第 3 章</b>	<b>程序设计模式与程序性能 .....</b>	<b>51</b>
3.1	程序的设计模式 .....	51
3.1.1	标准状态机 .....	51
3.1.2	主/从设计模式 .....	53
3.1.3	生产者/消费者设计模式 .....	54
3.1.4	队列消息处理器 .....	55
3.1.5	其他设计模式 .....	56
3.2	程序调试技巧 .....	57
3.3	多线程程序 .....	60
3.3.1	基本定义 .....	60
3.3.2	多线程应用程序的优势 .....	60
3.3.3	LabVIEW 实现多线程的方法 .....	61
3.4	程序性能优化 .....	64
3.4.1	程序运行速度 .....	64
3.4.2	内存使用 .....	65
3.5	程序性能分析 .....	68
<b>第 4 章</b>	<b>软件接口与外部数据通信 .....</b>	<b>70</b>
4.1	ActiveX 技术应用 .....	70
4.1.1	ActiveX 技术简介 .....	70

4.1.2	使用 ActiveX 控件.....	70
4.1.3	使用 ActiveX 自动化.....	72
4.1.4	LabVIEW 作为 ActiveX 服务器.....	73
4.2	.NET 技术应用.....	74
4.2.1	.NET 技术简介.....	74
4.2.2	.NET 技术应用.....	75
4.3	动态数据交换.....	77
4.3.1	LabVIEW 的 DDE 功能.....	78
4.3.2	向 Excel 文件写数据.....	78
4.3.3	由 Excel 文件读数据.....	79
4.4	C 代码调用.....	79
4.5	库函数调用.....	82
4.6	执行操作系统命令.....	84
4.7	计算机网络基础知识.....	85
4.7.1	计算机网络的功能与发展.....	85
4.7.2	计算机网络的结构.....	85
4.7.3	计算机网络模型.....	86
4.7.4	计算机网络协议.....	87
4.8	TCP 应用.....	88
4.8.1	发送数据编程.....	88
4.8.2	接收数据编程.....	89
4.8.3	程序的远程动态控制.....	89
4.9	UDP 应用.....	90
4.10	串口通信.....	92
<b>第 5 章</b>	<b>数据存储与调用.....</b>	<b>96</b>
5.1	数据存储的时机.....	96
5.2	打印报表.....	98
5.3	数据库链接.....	100
5.3.1	LabVIEW 与数据库的链接.....	101
5.3.2	LabVIEW 对 Access 数据库的操作.....	105
5.3.3	LabVIEW 对 SQL Server 数据库的操作.....	107
5.4	LabVIEW 与实时数据库链接.....	108
<b>第 6 章</b>	<b>面向对象编程.....</b>	<b>110</b>
6.1	面向对象编程的概念.....	110
6.2	LabVIEW 中面向对象编程的方法.....	111
6.2.1	LabVIEW 类.....	111
6.2.2	类的方法.....	113
6.2.3	继承.....	116
6.3	两种编程方法的比较.....	118



6.3.1	测试目的 .....	118
6.3.2	面向过程的方法 .....	119
6.3.3	面向对象的方法 .....	119
6.3.4	两种方法的比较 .....	120
<b>第 7 章</b>	<b>传统 DAQ 的模拟信号采集 .....</b>	<b>122</b>
7.1	硬件配置与测试 .....	122
7.1.1	传统 DAQ 安装 .....	122
7.1.2	传统 DAQ 设备配置与测试 .....	124
7.2	模拟输入 .....	127
7.2.1	传统 DAQ 的数据采集通道 .....	127
7.2.2	数据采集 VI .....	129
7.2.3	传统 DAQ 模拟输入常用的基本术语 .....	131
7.2.4	测量直流电压信号 .....	131
7.2.5	波形采集 .....	132
7.2.6	频率测量 .....	137
7.3	模拟输出 .....	137
7.3.1	输出直流信号 .....	137
7.3.2	输出波形信号 .....	138
7.3.3	模拟输入/输出控制回路 .....	142
7.4	信号调理 .....	145
7.4.1	信号调理设备配置 .....	145
7.4.2	应变测量 .....	147
7.4.3	温度测量 .....	150
<b>第 8 章</b>	<b>传统 DAQ 的数字信号与计数器输入/输出 .....</b>	<b>152</b>
8.1	数字信号输入/输出 .....	152
8.1.1	数字信号通道设置 .....	152
8.1.2	立即方式数字输入/输出 .....	152
8.1.3	握手方式数字输入/输出 .....	154
8.2	计数器输入/输出 .....	157
8.2.1	数据采集卡的计数器芯片 .....	157
8.2.2	用计数器输出脉冲信号 .....	157
8.2.3	测量脉冲宽度 .....	159
8.2.4	测量 TTL 信号频率和周期 .....	159
8.2.5	事件计数与计时 .....	160
<b>第 9 章</b>	<b>机械设备状态监测与故障诊断 .....</b>	<b>162</b>
9.1	项目的工程背景 .....	162
9.2	特征信号选择与检测方法 .....	163
9.2.1	轴承座振动信号检测 .....	163

9.2.2	转轴振动检测 .....	164
9.2.3	轴承温度检测 .....	164
9.2.4	轴向位移检测 .....	164
9.3	系统硬件结构 .....	164
9.3.1	采用 PCI 总线设备的系统硬件结构 .....	165
9.3.2	采用嵌入式远程终端装置的系统硬件结构 .....	165
9.4	系统软件结构及主要模块 .....	166
9.4.1	数据采集 .....	166
9.4.2	信号处理 .....	167
9.4.3	状态分析与故障诊断 .....	168
9.4.4	信息显示 .....	168
9.4.5	信息管理 .....	169
9.5	LabVIEW 环境下小波变换的实现 .....	169
9.6	位移振幅精确测量方法 .....	173
9.6.1	积分累计误差的产生与消除 .....	173
9.6.2	采样信号中噪声的影响与抑制 .....	175
9.7	关联维计算及其简便算法 .....	175
9.7.1	由时间序列重构相空间 .....	175
9.7.2	相空间中欧氏距离的简化计算 .....	176
9.7.3	关联维数计算 .....	177
9.8	生成应用程序和安装程序 .....	178
9.8.1	生成应用程序 .....	178
9.8.2	生成安装程序 .....	181
<b>第 10 章</b>	<b>液压系统测试 .....</b>	<b>185</b>
10.1	液压系统测试的特点与关键技术 .....	185
10.1.1	液压系统测试常用信号和传感器 .....	185
10.1.2	流量测量精度研究 .....	186
10.1.3	溢流阀动态特性测试 .....	190
10.2	液压教学实验台测试系统 .....	192
10.2.1	测试系统结构 .....	192
10.2.2	液压实验台操作训练系统 .....	193
10.2.3	液压泵性能测试 .....	194
10.2.4	节流调速性能测试 .....	194
10.3	汽车机油泵出厂测试台 .....	195
10.3.1	测试系统硬件方案 .....	195
10.3.2	测试系统软件结构 .....	196
10.4	汽车转向泵试验台 .....	198
10.4.1	转向泵试验台原理 .....	198
10.4.2	试验台测试系统软件层次结构 .....	199

10.4.3	试验台测试系统软件设计模式 .....	200
<b>第 11 章</b>	<b>锅炉供热自动控制 .....</b>	<b>202</b>
11.1	锅炉供热系统简介 .....	202
11.2	控制系统的功能要求 .....	203
11.3	控制系统结构 .....	205
11.3.1	硬件结构 .....	205
11.3.2	软件结构 .....	206
11.4	LabVIEW 中的 PID 控制工具包 .....	207
11.4.1	PID VI 简介 .....	208
11.4.2	PID VI 算法 .....	209
11.4.3	PID VI 应用范例 .....	210
11.5	PID 的积分饱和作用与抑制 .....	211
11.6	PID 参数整定 .....	212
11.7	声音报警 .....	213
11.7.1	录制声音文件 .....	213
11.7.2	播放声音文件 .....	214
<b>第 12 章</b>	<b>水煤浆制备过程测控 .....</b>	<b>216</b>
12.1	水煤浆制备过程简介 .....	216
12.2	超声强化制备精细水煤浆工艺及监控要求 .....	217
12.3	监控系统硬件结构 .....	217
12.4	监控系统软件结构 .....	218
12.5	虚拟仪器中的模糊逻辑控制 .....	219
12.5.1	模糊逻辑控制简介 .....	219
12.5.2	模糊逻辑控制器设计 .....	221
12.5.3	模糊逻辑控制器应用 .....	226
12.6	模糊逻辑控制在水煤浆制备过程监控中的应用 .....	227
<b>第 13 章</b>	<b>机器视觉 .....</b>	<b>229</b>
13.1	机器视觉基础知识 .....	229
13.1.1	机器视觉系统的组成 .....	229
13.1.2	数字图像的概念 .....	230
13.2	LabVIEW 的视觉 VI 及数字图像处理 .....	231
13.2.1	LabVIEW 的视觉 VI .....	231
13.2.2	采集并保存一幅图像 .....	232
13.2.3	读取图像文件并显示 .....	235
13.2.4	数字图像处理 .....	236
13.3	LabVIEW 的视觉助手 .....	242
13.4	齿轮测量 .....	243
13.4.1	机械零件测量的机器视觉系统 .....	243

---

13.4.2	齿轮外形基本参数测量 .....	244
13.4.3	齿形检验 .....	247
13.4.4	小波变换在齿轮测量中的应用 .....	248
13.4.5	齿轮测量结果 .....	250
13.5	螺纹测量 .....	250
13.6	刀具测量 .....	252
13.7	颜色识别 .....	254
<b>第 14 章</b>	<b>基于光纤布拉格光栅传感网络的测控系统 .....</b>	<b>256</b>
14.1	光纤布拉格光栅传感技术原理 .....	256
14.1.1	光纤布拉格光栅传感器原理 .....	256
14.1.2	光纤布拉格光栅传感器信号解调 .....	257
14.1.3	大规模光纤布拉格光栅传感网络组网技术 .....	258
14.2	光纤光栅与虚拟仪器的结合 .....	259
14.3	桥梁健康监测 .....	261
14.4	桥墩位移监测 .....	263
14.5	地质构造物理模拟监测 .....	265
14.6	金属切削过程监测 .....	268
14.7	帮助系统的制作 .....	270
14.8	监测信号的时间显示 .....	272
<b>第 15 章</b>	<b>多点同步精确定时数据采集 .....</b>	<b>274</b>
15.1	单元同步采样 .....	274
15.2	子网同步采样 .....	275
15.3	全网同步采样 .....	275
15.4	多点同步采样技术应用实例 .....	276
15.4.1	输油管道泄漏监测 .....	277
15.4.2	爆破振动监测 .....	280
15.5	计算机系统时间的校准 .....	281
<b>第 16 章</b>	<b>电网谐波测试 .....</b>	<b>284</b>
16.1	谐波测试系统原理 .....	284
16.2	测试系统结构 .....	285
16.3	测试结果分析 .....	288
<b>LabVIEW 常用中英文词汇对照表 .....</b>	<b>290</b>	
<b>参考文献 .....</b>	<b>305</b>	

# 第 1 章 测控项目管理

与本书介绍的测控项目从概念上吻合的关于项目的定义是：在一定资源约束下，创造一定产品和服务的临时性任务。采用虚拟仪器技术开发操控系统的核心任务是编写软件，所以引进软件工程学的方法对这类项目进行科学的管理对保证产品质量和提高工作效率具有重要意义。软件工程学结合管理科学、数学和计算机科学的理论，采用工程的概念、原理、技术和方法来开发与维护软件，把经过时间考验而证明正确的管理技术和当前能够得到的最好的技术方法结合起来，提供了系统性、规范化、可量化的开发和维护软件的过程化方法。但是测控系统的开发并不是纯软件的问题，而且 LabVIEW 是主要面向测试工程师的语言，本书也主要面向测试技术领域的读者，所以我们论述测控项目管理时，在遵循软件工程学的普遍规律和基本方法的前提下，也渗透了许多作者个人的体会和认识。

## 1.1 测控项目的生命周期

项目的生命周期是项目从开始到结束的过程。项目管理学从时间角度把项目生命周期划分成若干个阶段，每个阶段的任务相对独立、比较简单，一个阶段开始要有严密的计划，一个阶段的结束要按严格的标准审查。具体到测控项目而言，我们可以参考软件工程学的软件生命周期模型来规划项目开发的各个阶段。软件工程学的各种生存周期模型是软件工程学对软件开发各个阶段进行描述的工具。瀑布模型是提出最早的、最经典的软件生存周期模型，如图 1-1 所示。尽管瀑布模型存在着各种不足，以至于后来出现了递增模型、快速原型模型、演化模型、螺旋模型、喷泉模型、转换模型、智能模型等各种模型，甚至随着新的程序设计方法的成熟，生存周期模型对软件开发的指导意义正逐步被淡化，但是我们还是可以参考瀑布模型对于软件生命周期的阶段划分以及每个阶段主要的工作内容来开展工作，只是我们不会再把各个阶段的工作简单地按照时间进程孤立起来。

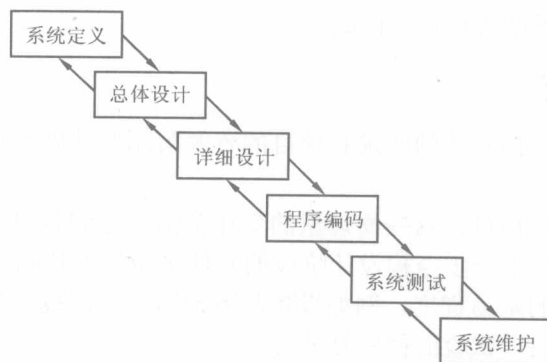


图 1-1 软件生存周期的瀑布模型

实际测控系统的复杂程度会有极大的差别，完全套用这些阶段是没有必要的。各个阶段的工作允许重叠，但是“提前跟进”的风险必须能够预见和控制，最后所有阶段的工作都要达到标准。

测控系统开发工作进展情况可见性差，难于评价和管理，应根据项目开发的总目标及完成期限，尽量明确地规定开发人员在各个阶段的责任和标准，使所得到的标准能清楚地审查。应坚持进行严格的阶段评审，以便尽早地发现错误。需求的改动往往是不可避免的，当需求有变动时，其他各个阶段的工作也要随之相应变动，以保证其一致性。

## 1.2 系统定义

测控系统定义阶段由系统开发方与需求方共同讨论，确定系统开发必须完成的总目标；分析项目的可行性；估算项目所需的资源和成本。这个时期的工作通常又称为系统分析。对于比较复杂的项目，可以将该阶段进一步划分成问题定义、可行性研究和需求分析3个阶段。

### 1.2.1 问题定义

系统定义阶段的输入文档应该是项目需求方提出的技术要求（或设计任务书），技术要求的基本内容包括测控系统应用的技术领域、要实现的目的、适用的标准、应具备的功能、应达到的技术参数、文档的要求、外观的要求和环境适应性要求等。

项目开发方需要认真解读技术要求，必要时向需求方进一步咨询，达到正确理解技术要求的各个条款，有时候甚至还要协助需求方对技术要求进行细化，从而明确项目要达到的目标和项目验收的依据。

为了圆满实现项目的目标，这一阶段开发人员最好能够访问系统的最终用户，实地了解系统使用现场情况，与使用者在系统功能和性能的要求上达成一致的理解。软件工程师一般都喜欢很快着手进行具体设计，但是一旦谈论程序设计的细节，就会脱离用户，使他们不能继续提出他们的要求和建议，因此不能急于着手进行具体设计。有些用户虽然了解他们需要解决的问题，但是不能完整、准确地表达出他们的要求，更不知道怎样利用计算机解决他们的问题；系统开发人员知道怎样使用软件实现人们的要求，但是对特定用户的具体要求并不完全清楚。因此，开发人员必须通过与用户充分的交流，对项目的工程背景和用户要求进行深入的了解，以得出经过用户确认的系统逻辑模型，这样可以在很大程度上减少以后各个阶段对系统进行反复修改。

### 1.2.2 可行性研究

在明确了用户对于测控系统的要求和项目的资源限制的基础上重点考虑以下几个方面的问题：

(1) 需要测试哪些物理量，这些物理量的变化范围，它们各自的测试精度要求、速度要求等，这个工作同时为下一步结构设计阶段的硬件选型打下基础。

(2) 实现系统目标的难易程度，例如设备故障诊断要远比设备状态监测困难，产品型式试验的程序要比产品出厂试验的程序复杂得多。

(3) 数据如何保存，是文件的形式还是数据库形式，这涉及外加系统工具的问题。

(4) 如果需要外部数据通信, 采用何种形式, 例如局域网、电话线、无线公用网络、数字电台等。

(5) 如果是带有控制功能的系统, 还包括控制目标、控制策略、控制精度等要求, 以及执行器的类型。

(6) 其他要求, 包括用户界面, 报表生成、打印等, 这部分属于一般功能, 不应该对系统规模造成大的影响。

这个过程实际上是在比较抽象的高层次上进行分析和设计的过程, 根据以上的分析提出一个可行性研究报告, 从现有技术以及项目组掌握的技术、人力资源、开发经费与成本、社会条件等方面分析项目可行性, 讨论项目的方案。可以参考以下内容编制可行性研究报告:

(1) 引言(编写目的、背景、定义、参考资料等)。

(2) 前提(要求、目标、条件、假定、限制、进行可行性研究的方法、评价尺度)。

(3) 现有系统分析(数据流程和处理流程、工作负荷、费用开支、人员、设备、局限性)。

(4) 建议的系统(对该系统的说明、数据流程和处理流程、改进之处、影响、局限性、技术条件方面的可行性)。

(5) 可选择的其他系统方案。

(6) 投资以及收益分析(支出、收益、收益/投资比、投资回收周期、敏感性分析)。

(7) 社会条件方面的可行性(法律方面的可行性、使用方面的可行性)以及结论。

可行性研究比较简短, 不需要深入探究具体技术细节, 而是研究问题的范围、解决问题的价值和可行的解决办法。完成这个阶段的工作主要依靠系统开发人员的经验和参考资料。

在确定系统开发可行的情况下, 要制定一个具体的项目开发计划, 包括时间安排、人员安排、资金安排、设备安排等。可以参考以下内容编制项目开发计划:

(1) 引言(编写目的、背景、定义、参考资料等)。

(2) 项目概述(工作内容、主要参加人员、产品成果、验收标准、完成项目的最迟日期)。

(3) 实施总计划(工作任务的分解、接口、人员、进度、预算、关键问题)。

(4) 支持条件(计算机系统的支持、用户承担的工作、外单位提供的条件)。

(5) 专题计划要点。

项目的人员安排是保证质量的前提, 在项目计划中必须认真考虑这点。一般在开发过程中, 需要有一位项目负责人, 负责分析、设计和协调工作。项目负责人必须随时监控各开发人员的工作, 包括内容是否与要求发生偏差, 进度是否滞后等, 同时必须给每个开发人员明确的任务书。

几个程序员完成不同层的代码(例如用户服务层、业务逻辑层、数据库服务层等), 每个开发人员必须明确自己的任务, 这些任务应该采用明确的文档来表示。同时, 需要有一个文档整理人员随时整理系统开发过程中相关的文档。

要配置一个测试工程师, 专门进行软件测试工作, 小的项目也可以由开发人员交叉测试。

### 1.2.3 需求分析

需求分析阶段要对测控系统需要实现的各个功能进行详细分析，这个阶段的任务仍然不是具体地解决问题，而是准确地确定目标系统必须具备哪些功能。系统需求说明书是这个阶段输出的最重要的文档。系统需求说明书的目的是使用户和系统开发者双方对系统的初始规定有一个共同的认识和理解，使之成为整个开发工作的基础。

可以参考以下内容编制系统需求说明书：

- (1) 引言（编写目的、背景、定义、参考资料等）。
- (2) 任务概述（目标、用户的特点、假定与约束）。
- (3) 需求规定（对功能的规定、对性能的规定、输入/输出要求、数据管理能力要求、故障处理要求、其他专门要求）。
- (4) 运行环境规定（设备、支撑系统、接口、控制、保密、安全）。
- (5) 验收规定（前提、依据、组织、环境）。

这一阶段可以暂时不要考虑如何实现的细节问题，而从项目的总体去考虑一个产品。

### 1.2.4 软件原型

软件项目可以大致分为专用软件和通用软件两大类。测控软件一般是专用软件，用户对于软件要完成哪些功能已经有了一个比较清楚的轮廓，而且往往在开发合同中已经大致地规定了。但是，开发合同上规定的只是一个大概的框架，在进入开发之前必须与用户进行比较具体的交流和讨论，了解清楚用户心目中的产品究竟是什么样子，这里最好就根据客户的需要在很短的时间内采用原型化的方法作出一个可以演示的产品给用户看，这个产品就是软件原型。软件原型只实现一部分最重要的的功能，它的主要目的是为了确定用户的真正需求，再根据用户的意见修改这个软件原型，直到清楚地勾勒出软件的轮廓，并依此划分软件的逻辑结构。因此，软件原型是程序设计者与用户交流的一个有效工具。

图形编程语言为创建软件原型提供了极大的便利，我们一般是从软件与用户的接口入手，创建未来程序的前面板，如图 1-2 所示。而软件中需要数据采集的模块可以用一定范围内的随机数代替。

现在我们用一个简单的例子说明创建软件原型的方法。

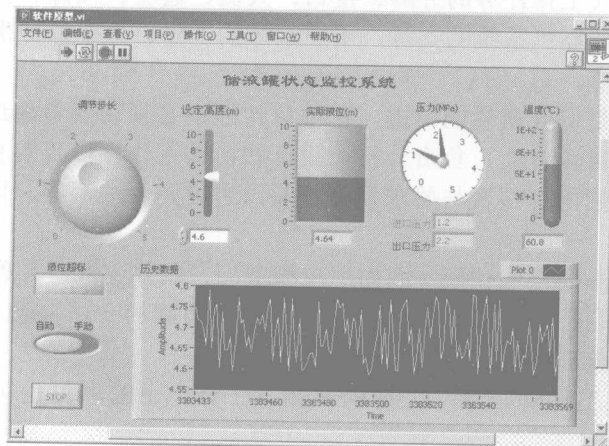


图 1-2 软件原型的前面板



我们新建一个名为“软件原型”的VI (Virtual Instrument), 按照图 1-2 创建它的前面板, 然后按照图 1-3 构造这个 VI 的程序框图。

在这个程序框图中, 把需要从被控制的对象上采集的温度和压力数据用随机数代替了, 这些随机数分别乘以一定的系数, 以接近实际可能的数据范围。

压力表的输入参数前用了一个“捆绑”函数, 这个函数来自“簇与变体”子选板, 作用是把压力表两个指针的值攒成一个簇, 这是数值型双显示控件对输入数据的要求。

自动控制时的液位值等于设定高度加上一个微小的变动范围; 手动控制时的液位值与调节步长有关, 步长越大, 实际液位接近设定数据越迅速。自动控制与手动控制的切换采用了“比较”函数子选板的“选择”函数。这个函数的 3 个输入端口中, 中间一个是选择参数  $s$ , 要求一个布尔型输入数据。 $s$  参数为 TRUE 时输出端口输出上面一个输入参数  $t$  的值; 否则输出下面一个输入参数  $f$  的值。

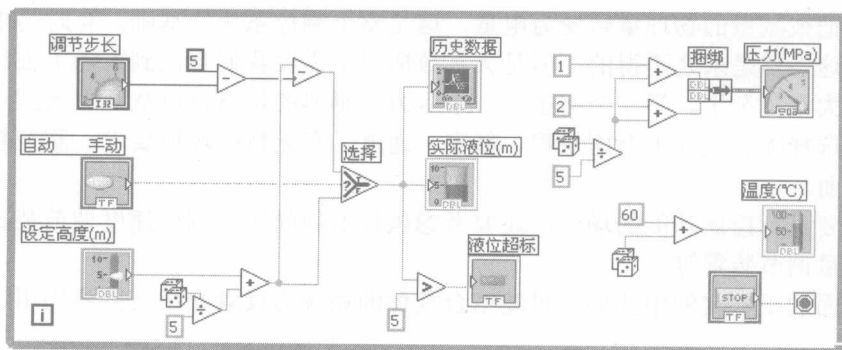


图 1-3 软件原型的程序框图

创建了程序框图以后, 前面板的显示控件都被激活了, 输入控件的功能也能够简单地体现出来, 软件开发人员可以用这个工具向用户说明未来软件的指标, 用户也可以通过这个原型生动直观地看到未来软件的界面, 使双方的交流非常顺畅。在这个过程中, 用户界面控件的数量、类型和要求得以明确。

## 1.2.5 文档管理

测控系统质量评审的一个主要标准就是每个阶段都应该交出和所开发的系统完全一致的高质量的文档资料, 从而保证在工程结束时有一套完整准确的文档交付使用。精心编制的项目文档对于提高程序开发效率, 便于系统维护和方便用户操作都有重要意义。在系统开发阶段, 以文档作为通信的工具和备忘录, 利用它们可以清楚、准确地说明一项工程各个阶段工作的要求和完成情况, 同时确立下一步工作的基础。在系统运行阶段, 文档是系统操作的指南和系统维护的向导。

很多软件开发人员不愿意按照规定的格式认真、仔细地撰写文档, 但是承担系统开发的管理者应该负起监督检查的责任, 否则会给软件的维护带来极大的困难, 而且一次人员流动可能会造成一个系统的死亡。所以在系统定义阶段就要高度重视文档的管理。需要建立若干文档编写模板, 以便开发人员按照这些模板编写规范的技术和说明文档。

文件的格式和内容的详细程度取决于项目的用途, 一个单位内部使用的程序可能只需