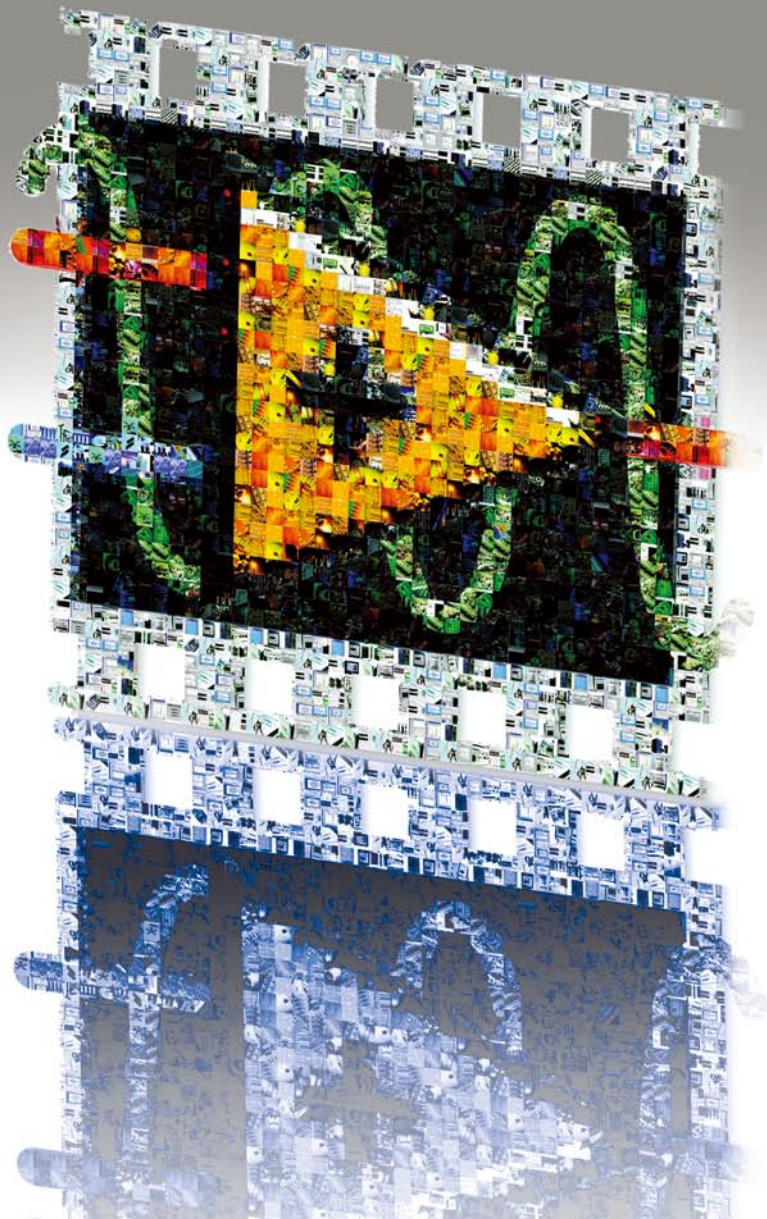


LabVIEW 学习札记——第三卷 上



目 录

第8章 虚拟仪器工程应用实例

第8.1节 绪论	1
第8.2节 应力测量应用	2
第8.3节 振动测量应用	19
第8.4节 温度测量应用	39
第8.5节 频率测量应用	47
第8.6节 测量误差拟合	54

第 8 章 虚拟仪器工程应用实例

第 8.1 节 绪论

可以说到目前为止，有关 LabVIEW 的基本概念、简单的虚拟仪器设计开发方法、基于 DAQmx 的虚拟仪器架构等等，依据我的视角和理解都已经基本上介绍完了。

学习的目的是为了应用，应用的目的是为了服务于大众的需求。报着这样的信念大家才可以看到网络版的《学习札记》，并且我向大家承诺：我在，网络版就会存在。且会不断地充实，不断地加深内容和技术含量。但是大家也要理解：有些技术目前是不可以公开的（职务成果知识产权归单位所有）这只是其一；其二，许多应用来自我单打独斗的工作实践，不可能是最佳或唯一的方法或最佳的实施方案，其中必定有许多瑕疵，甚至是错误的地方，希望大家一起来讨论、共同提高。

在“与非网”的论坛上，看到这样一个帖子：“教会了徒弟饿死师傅”。我不认同这样的观点，第一，当代的师徒关系并不十分明确，与过去那种师徒关系相比，在本质上已经发生很大的变化，没有理由要求徒弟从一而终，永远不背叛。第二，这样的师傅也不会有太大的技术能力，把技术看的死死的是自己信心不足的表现。

可以忠告年轻人的是：对师傅表现出一定的尊重是你个人美德的体现。

还可以看到这样的说法：现在的大学生水平下降，能力不足。我个人认为这是值得深入探讨和商榷的地方。如果说：现在的大学生水平下降，能力不足，这绝对不是大学生的过错，而是大学“扩招”的必然反映。我看到 NI 的 AE 无论从能力到知识面都是相当优秀的。回想起来，在他们那个年岁我连他们能力的十分之一都不如。

从另一方面看，现在的大学生他们所受到来自方方面面的压力远比我们当时所受到的压力大得多的多。比如：知识更新、技术进步、就业、婚姻、住房等一系列问题他们必须认真面对。在这样的状态下，要让他们全身心的投入到工作中几乎是不可能的。

《学习札记》网络版的推出就是希望能够为他们提供一些从书本上看不到的另一面的内容，尽我的可能帮助他们提高实际工程应用能力。

胡说八道的谈了这么多，也该言归正传了。

需要声明的一点是：自 82 年大学毕业到 2004 年这二十多年的时间内，我所从事的技术工作都是围绕着“工频电参量”的测试工作（工频下的电压、电流、功率、相位）。对于其它物理量的测量从未接触、涉及过。

2004 年学习 LabVIEW 后，这一切都发生了改变。我们知道，虚拟仪器——基于计算机的测量只是一种新的测量方法或新的测量技术，它最终还是要面对各种物理量的测量。

应用工程师与研究员、教授不同，应用工程师必须能够解决实际工程中所面临的多样化的具体问题。这有点像数学学习中的某种现象，所有公式都能够倒背如流，但遇到应用题就束手无策，不

会解了。

工程上的应用其实就是难者不会，会者不难。

当我第一次拿到应力测量项目的技术要求和传感器的使用说明时，我同许多初学的人一样，对其中的技术参数、专业术语都不是很明白、很清楚的，也是一头雾水。

如何应对？不要着急，看书或上网搜索，慢慢就会有一些深入的了解和专业上的认识。

下面就让我们开始进入第一个工程应用项目“应力测量”的旅途吧！

第 8.2 节 应力测量应用

第 8.2.1 节 项目的主要技术要求

用户提出的要求

首先用户向我们提出了项目具体的技术要求，并提供了传感器的型号和主要技术资料。

1、现场、便携式应力测量仪，测量范围：0 – 5000Kg，并可以实现测量单位 Kg 与 N（牛顿）的转换

附加：拉力测量，测量范围：0 – 1000Kg，准确度同应力测量要求一样。

2、体积要小、重量要轻。

3、无动力电源的情况下，可以工作 2 小时。

4、测量准确度：+、- 0.3%，分辨力：0.1Kg

附加：在 100Kg–500Kg 测量范围内，测量准确度：+、- 0.2%

5、自动纪录测量结果

6、具备去皮测量功能

红色字体是后来用户又追加的要求。

我们提出的解决方案

根据用户的要求提出了我们的解决方案：

1、计算机系统采用笔记本电脑

因为要求现场便携式和无动力电源工作，计算机只能选择使用笔记本电脑（配合 USB 数据采集卡使用）。

这里考虑到笔记本电脑的续航能力，笔记本电脑最终选择 MacBook。

2、数据采集单元

cDAQ+9237（还要设计辅助备用电源）

USB 9237（通过 USB 供电）

主要考虑的问题是：最好信号调理部分及供桥电源数据采集卡都能够提供，减少外围电路的设

计。而 9237 完全可以满足这样的要求。

在项目论证的当时 USB 9237 还没有正式发布，所以提出了 cDAQ+9237 的方案（软件编制和调试都是在 cDAQ + 9237 完成的）。后来项目快结束的时候，USB 9237 正式发布了，最终使用的是：USB 9237（通过 USB 供电）。

关于基于 USB 能够测量应力的数据采集卡不止是 USB 9237，还有 USB 9219。关于它们的区别或差异，请看 NI 网站上的一个官方解答：[在应变测试中使用 NI 9237 比使用 NI 9219 的优势在哪里？](#)

3、传感器由用户提供

对用户提供的传感器我们进行了多次测试，测试结果满足项目的使用要求。测试只针对“重复性”，也就是说：在不同的时间多次测量的结果重复性很好，对于非线性我们可以通过曲线拟和的方式进行处理，后面还会介绍到。

就方案双方再次探讨

根据我们给出的解决方案双方再次进行讨论，并非常肯定我们的方案，同时又附加几个技术要求，见《用户提出的要求》中的红色字体部分。我们考虑到附加部分并没有增加技术难度，也就欣然接受了。

双方最终确定的项目技术要求

- 1、现场、便携式应力、拉力测量仪
 - a)、应力测量范围：0 – 5000Kg，测量准确度：+、- 0.3%，分辨力：0.1Kg
在 100Kg–500Kg 测量范围内，测量准确度：+、- 0.2%
 - b)、拉力测量范围：0 – 1000Kg，测量准确度：+、- 0.3%，分辨力：0.1Kg
二者不可同时使用
- 2、体积要小、重量要轻。
- 3、无动力电源的情况下，可以工作 2 小时。
- 4、并可以实现测量单位 Kg 与 N（牛顿）的转换
- 5、自动纪录测量结果
- 6、具备去皮测量功能
- 7、由具备资质的检测机构出具检测报告
- 8、操作使用说明书（印刷品和电子版）
- 9、项目执行期为：3 个月

项目的采购计划

- 1、笔记本电脑一台（MacBook）

由于项目开发时不必使用，所以在项目发布时再购买（晚些买价格有可能会下降）。
- 2、USB 9237 数据采集卡（一块）及连接附件（四套）

合同签订后购买 NI 9237（应为当时 USB 9237 还没有正式发布）。
- 3、应力传感器和拉力传感器

用户提供 0 – 5000Kg 的应力传感器一个
用户提供 0 – 1000Kg 的拉力传感器一个

下面就要开始设计了，不过下一节还要先介绍一下应变传感器的相关知识。

8.2.2 力传感器基本常识（电阻应变片）

某型号力传感器主要技术指标

技术指标：

额定容量	t	0.5, 1, 2, 3		5	10	15, 20, 30
灵敏度	mV/V	2±0.002				
不重复性	%R.O.	≤0.01				
滞后	%R.O.	≤±0.02			±0.03	
非线性	%R.O.	≤±0.02			±0.03	
蠕变 (30分)	%R.O.	≤±0.02				
零点输出	%R.O.	≤±1				
温度补偿范围	℃	-10~-+40				
工作温度范围	℃	-20~-+60				
灵敏度温度系数	%load/℃	≤0.002				
零点温度系数	%R.O.℃	≤0.002				
输入阻抗	Ω	381±4				
输出阻抗	Ω	350±1				
绝缘电阻	mΩ (at 50VDC)	≥5000 (直流50V)				
建议激励电阻	V(DC/AC)	5~15				
最大激励电压	V(DC/AC)	20				
安全过载	%R.C.	150				
极限过载	%R.C.	300				
防护等级		IP67				
电缆长度	m	4	5	6	9.5	

通常我们看到的传感器主要技术指标如图所示：

下面根据我的理解，谈谈相关的含义（未经专业人士审核）。

额定容量：以吨为单位，传感器的标称满量程值，我们在项目中使用的为：5 吨

灵敏度 mV/V：满负荷下的桥路输出电压，该参数与供桥电源电压有关。当供桥电压为 1V 时，满负荷该参数为：2.002mV，供桥电压为 10V 时，满负荷该参数为：20.02mV。这个电压也就是数据采集卡的输入电压（信号），对于 USB 9237 最大输入信号为：+、- 25mV。可见提高供桥电压可以增加传感器的灵敏度。

不重复性 表示传感器每次重新施加载荷后，每次测量的一致程度。

滞后 传感器在施加载荷时，通常是从 0 – 5 吨，然后在将载荷从 5 – 0 吨降下来，通常要重复测量多次，每次在某一数值下（比如：3 吨时的多次测量值按规定计算出偏差，称为滞后）

非线性 我们希望传感器是线性的，这个参数给出了非线性的程度

蠕变 当施加的应力不变条件下，应变随时间延长而导致输出示值可能变化的程度

零点输出 这个值反映出桥路电阻的匹配性，该值虽然很大，但零点的温度系数很小所以对测量影响不大，通常可以通过“去皮”消除掉。

温度补偿范围 通常传感器在制作时加入了温度补偿，以保证传感器能够使用在更大的温度范围内。

工作温度范围 从这个参数可以看出，工作温度范围要比温度补偿的温度范围宽一些。这对于户外使用的传感器是非常重要的。

灵敏度温度系数 在较宽的温度范围内使用时，要注意参考该参数的影响，不同的载荷也是有一定影响的

零点温度系数 在较宽的温度范围内使用时，要注意参考该参数的影响

输入阻抗 桥路参数

输出阻抗 桥路参数

绝缘电阻 单位应该是：M

建议激励电压 （这里可能印刷有误）建议使用的供桥电压为 5 – 15V

最大激励电压 这应当是一个极限参数，供桥电压不要超过 20V，避免损坏内部的应变片

安全过载 对于 5 吨的传感器短时测量 7.5 吨也是可以的

极限过载 当 5 吨的传感器施加 15 吨的力时，可能会导致性能发生变化或者是损坏

其它（略）

传感器检定可参照相对应的国家计量检定规程

个人理解难免有误，欢迎指正。

力传感器外观



补充说明

- 1、这个传感器的技术指标在本项目中使用是没有任何问题的，即便是在很宽的温度范围下使用也是可以保证项目的技术要求。传感器的准确度最好优于测量系统技术指标要求的 3 – 5 倍。
- 2、拉力传感器的技术指标内容大致相同，这里就不列举了。
- 3、传感器的技术指标还要经过计量技术机构的标定，方可放心使用。
- 4、关于应变传感器的原理及其它内容请查阅相关书籍
- 5、传感器比较娇贵，最好避免过载荷使用。避免跌落和冲击。

下面就要结合项目要求、传感器技术指标来说 USB 9237 数据采集卡了。

8.2.3 数据采集卡 USB 9237 简介

USB-9237 主要特点



4 路同步采样模拟输入，采样速率最高 50KS/s
24 位分辨率具有 NIST 校准认证书（NIST 美国国家标准计量院）
半桥和全桥完整编程
1/4 桥电阻具有外部附件（单独出售）
内部激励可达 10 V
兼容智能传感器（TEDS）

NI USB-9237 具有四个模拟输入通道，其设计用于传感器，如：应变计、压力传感器、测压元件和其他基于电桥的测量。

无需外部电源或激励，因为 NI USB-9237 由总线供电，且可以为传感器提供高达 10 V 的内置激励。请查看手册了解有关激励的规格，因为不同载荷影响着可用激励。

USB-9237 上的标准 RJ50 连接器用于大规模终端。将 RJ50 连接器插至传感器上的方式类似于摺叠一条标准网络电缆，可将传感器快速连接至模块。

可购买 NI 9949 和一套 RJ50 电缆（共 4 条）。该设置可将各路通道的所有 10 个针脚作为螺栓端子，提供给用户。

补充说明



NI 9237 with RJ50 Cable and Screw-Terminal Accessories

USB-9237 是 NI C 系列模块产品之一，所以使用温度范围较宽，特别适合现场测试

1、基于 USB 总线供电，特别适合便携式、现场应变测量


- 2、四通道同步、高速采样，适合静态、动态应变测量
- 3、内置多量限供桥电源（2.5V，3.3V，5V，10V），使用灵活、方便
- 4、提供外部供桥电源接口，也可以使用外部供桥电源
- 5、满量程输入范围：+、- 25mV/V
- 6、适用于桥路阻抗：120、350 欧
- 7、RJ50 与 NI 9949 配合，使得传感器与数据采集卡连接方便

使用中的注意事项

- 1、尽可能的选择高的供桥电压和桥路电阻较大的传感器（方便的话可以使用外部供桥电源），以期获得最大测量分辨率。
- 2、USB-9237 是基于 USB 总线供电的，所以它的供桥功率被限定在 150mW。按照我们传感器的参数，仅使用单通道测量（在数据采集模块上只接一个传感器）可以选择 5V 供桥电压。有关计算方法参考 USB-9237 的使用手册。
- 3、当传感器型号确定后，再确定供桥电源的电压值。并且在传感器进行标定或校准时，也选择同样数值的供桥电压。
- 4、USB-9237 的校准周期为 1 年，校准必须在美国进行。

USB-9237 连接端口定义

一般的情况下，只需要连接 AI+、AI-、EX+、EX-四根电缆线既可

RJ50 (10p10c) Modular Plug and Receptacle Pin Numbers	RJ50 Pin	RJ45 Pin	Signal Name	Signal Description
	1	—	SC	Shunt calibration
	2	1	AI+	Positive input signal
	3	2	AI-	Negative input signal
	4	3	RS+	Positive remote sense signal
	5	4	RS-	Negative remote sense signal
	6	5	EX+	Positive excitation signal ¹
	7	6	EX-	Negative excitation signal ¹
	8	7	T+	TEDS DATA
	9	8	T-	TEDS Return ¹
	10	—	SC	Shunt calibration

相关文献连接

[NI USB-9237 User Guide and Specifications](#)
[为应用选择正确的传感器](#)

现在传感器有了，数据采集卡也有了，应该开始进行应用程序设计了。在实现这一步前，还应该查看 NI 的应力测量范例，通过范例来指导我们的程序设计。下一单元我们将着重探讨这一问题。

8.2.4 开始设计前的准备

设计开始之前还要准备什么？

1、重新审视项目合同中的要求

对于已签定的合同，尽管我们应该十分熟悉，但还是要认真、仔细地浏览一遍，再次领会全部技术要求的含义和相关解释说明。

2、对硬件进行测试或评估

对项目所涉及的硬件进行相应的测试和评估。比如：在本项目中，传感器是用户提供的，所以必须首先确定它是否适合在项目中使用。

3、建立完整的技术档案

建立完整的技术档案是十分必要的，这包括：合同文本、采购清单、采集卡使用手册、测试评估文档等等。

实施方案的准备

因为，可能是第一次涉及应力的测量，所以没有经验和现成的程序例子。我们必须先找到正确的应用实例来指导设计工作。幸好 NI 为用户提供了许多应用范例，这个可以通过 LabVIEW 的启动页面，找到：查找范例.....

在 NI 范例查找器，点击下面的【设置】按键，按下图选择：NI 9237（实施硬件过滤，找到适合该硬件的范例）。

选择数据采集卡支持的范例



点击该界面下的【确定】按键。



选择下方的“结果仅包含硬件”。

在图例的右边可以看到多个范例文件夹，选择：硬件输入输出》DAQmx》模拟测量》应变，可以看到支持 USB-9237 的四个范例。



通过打开这四个范例做比较，就会找到适合我们使用的程序（也可能要略加修改）。

最终我们选择：Cont Acq Strain Samples (with Calibration) - NI 9237 .vi 范例。

在：文件》另存为》创建不打开的磁盘副本，点击【继续】；只定一个存放地点，点击【确定】保存该 vi。

至此我们已经找到一个范例。并准备通过对该范例的修改来实现项目的应力测量功能。

还有一个问题，就是如果输入 NI 9219 会出现那些范例呢？如果你感兴趣就试试吧！能够进行相互对比、比较是学习提高很有效的好方法。

下一步，我们还要通过这些范例进行进一步的深入分析，期待找出更多的相同点和不同点。

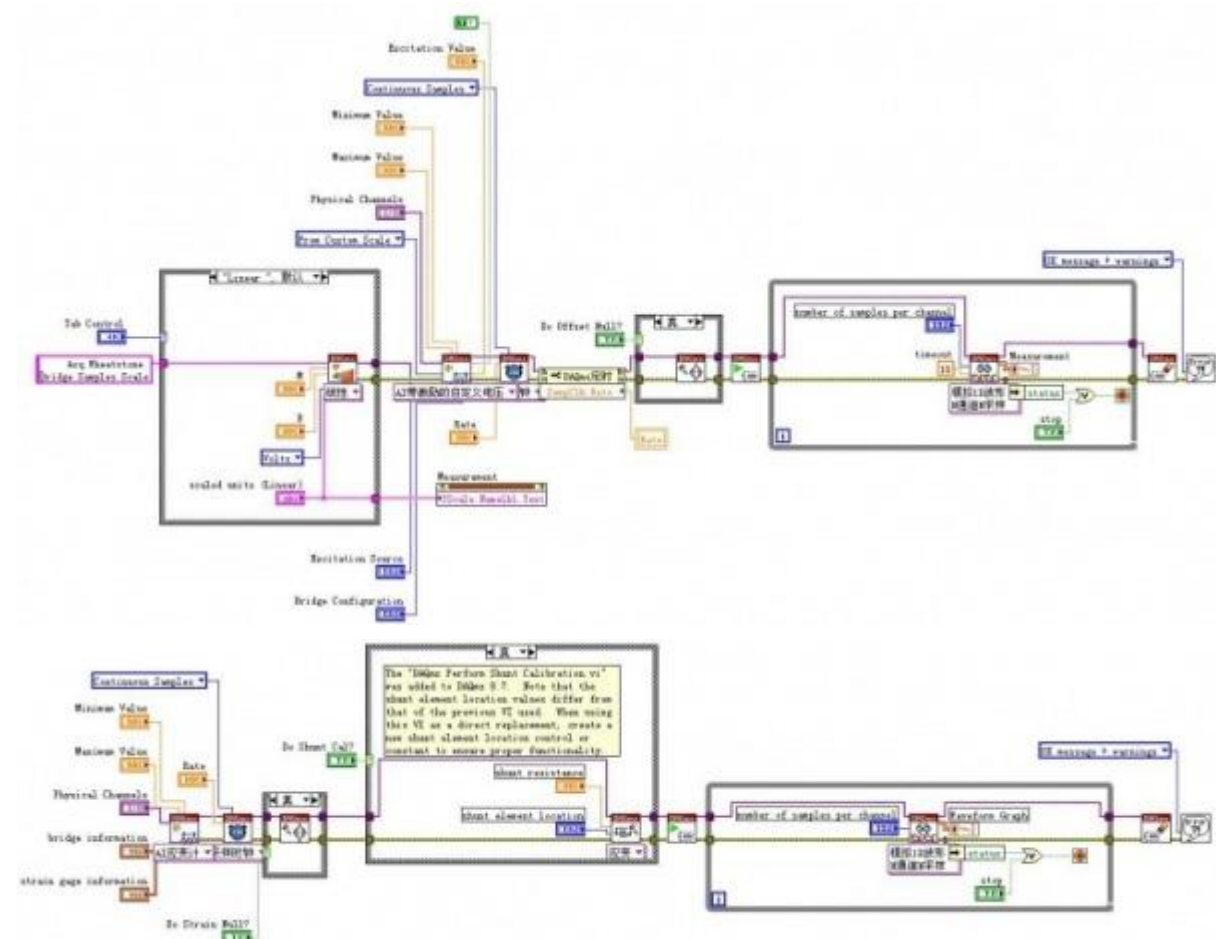
8.2.5 范例分析

我们已经查找到了四个支持 USB-9237 的应用范例，为什么会有四个范例？它们之间有什么相同之处？又会有什么不同之处呢？

下面我们通过范例分析来进一步理解我们过去谈到过的“DAQmx 数据采集定式”、“DAQmx 是基于任务的”“以及其它新接触到的一些概念。

“DAQmx 数据采集定式”

为了更清楚的了解这些，不妨将这四个范例的程序框图示出（不同的 DAQmx 有可能范例提供的不同）。
操作系统 WindowsXP LabVIEW8.6 MAX 4.5 DAQmx8.7.2f1



Strain Gage Parameters

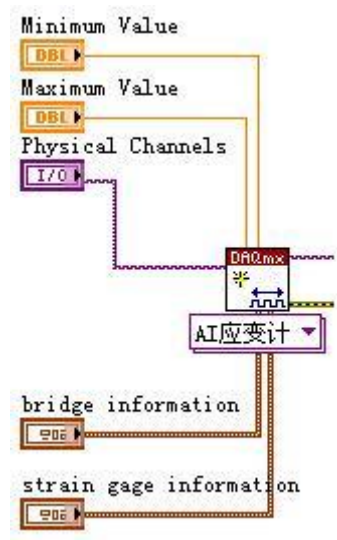
Gage Factor	Nominal Gage Resistance
2.00	350.00
Poisson Ratio	
0.30	

通过查询相关资料，才知道这些参数与传感器制作材料有关（金属材料）。通常可以选择这些参数使用，对于特殊材料制作的传感器，按厂家提供的参数配备。

Gage factor: 应变系数, 参考常数 2.00

Nominal Gage Resistance: 桥路阻抗, 传感器上标注

Poisson Ratio: 波松比, 参考常数 0.30



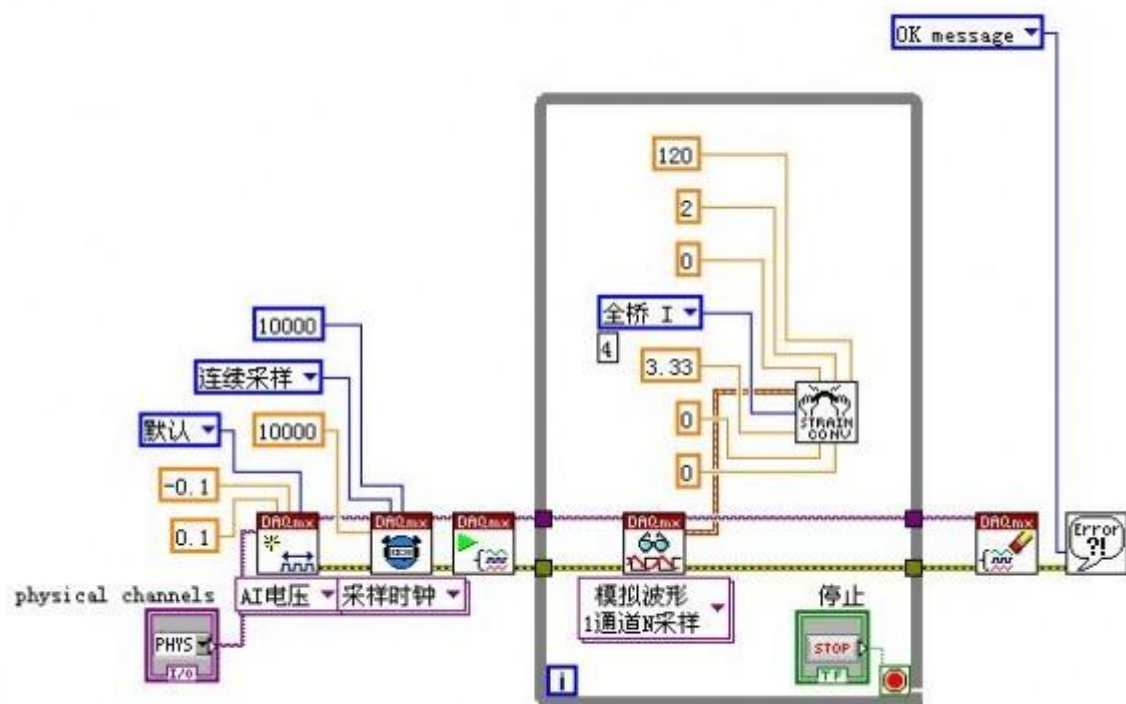
基于电压任务的测量方法

如果我们没有 NI-9219, NI-9237 这样可以专用的直接配置应变计的数据采集卡, 只有通用的 M 系列数据采集卡和桥路输出的电压, 那么还可以测量应变吗? LabVIEW 提供了这样的测量解决方法。

这时通道任务设定为：AI 电压，选择最小的电压量程（当然还可以进行信号调理，放大桥路的输出电压）。

下图是一个示意图（仅供参考，未经过实际验证）。

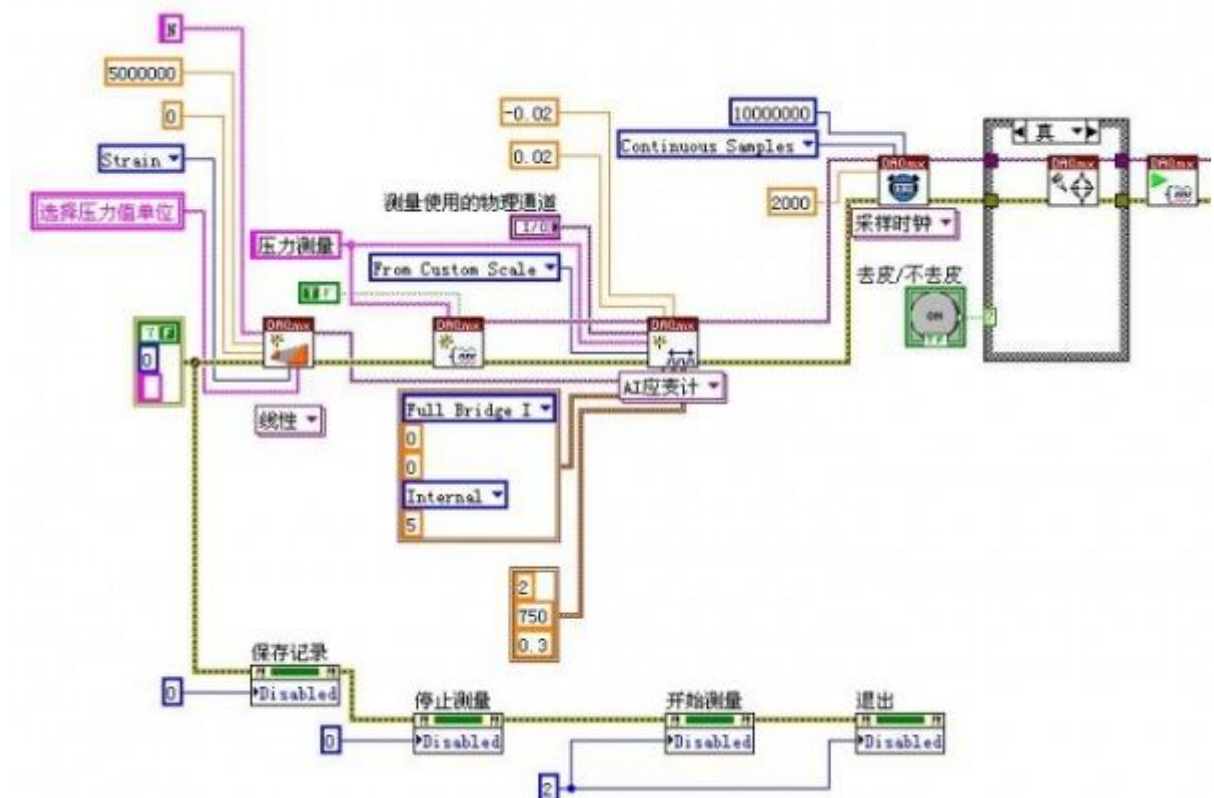
转换应变计读数.vi，可以在函数选板>数值>缩放>找到该vi。



到目前为止，涉及应变测量的一些基础知识已经介绍完了，可以设计简单的应变测量仪了。下一单元我们就通过修改范例来设计一个简单的应变计，完成我们项目的设计任务。

8.2.6 修改范例

对范例进行修改后的程序如下图所示：



实际应用程序的输入通道如上图所示。这里我们对范例作了一下改动：

1、添加了一个“DAQmx 创建换算” .vi

名称——确定要使用的自定义换算，这里用 N 表示，与虚拟通道有关，在这里并没有实质意义

斜率——是线性换算方程的斜率 m ，这里单位使用的是“应变”（Strain），用微应变 microstrain (me) 表示为：Strainx 10^{-6}

y 截距——是线性换算方程在 y 轴的截距 b

换算前的单位——是要换算的值的单位，这里取的是 Strain

换算后的单位——是换算后的值所使用的单位，因为换算后的单位有两种：N 和 Kg，所以这里将单位选择的字符串（本地变量）引入

这部分内容没有实例参考，是自己试出来的，仅供参考（程序运行没有任何问题）。

2、添加了一个“DAQmx 创建任务” .vi

新任务名称——是分配给任务的名称，这里命名为：压力测量

自动清除——指定应用程序执行结束后，LabVIEW 是否自动销毁任务，这里选择自动销毁。

3、对“DAQmx 创建通道（AI-应变-应变计）” .vi 进行改动

桥信息——指定桥配置和测量的配置的信息为常数。设定：全桥、内置激励、激励电压 5V

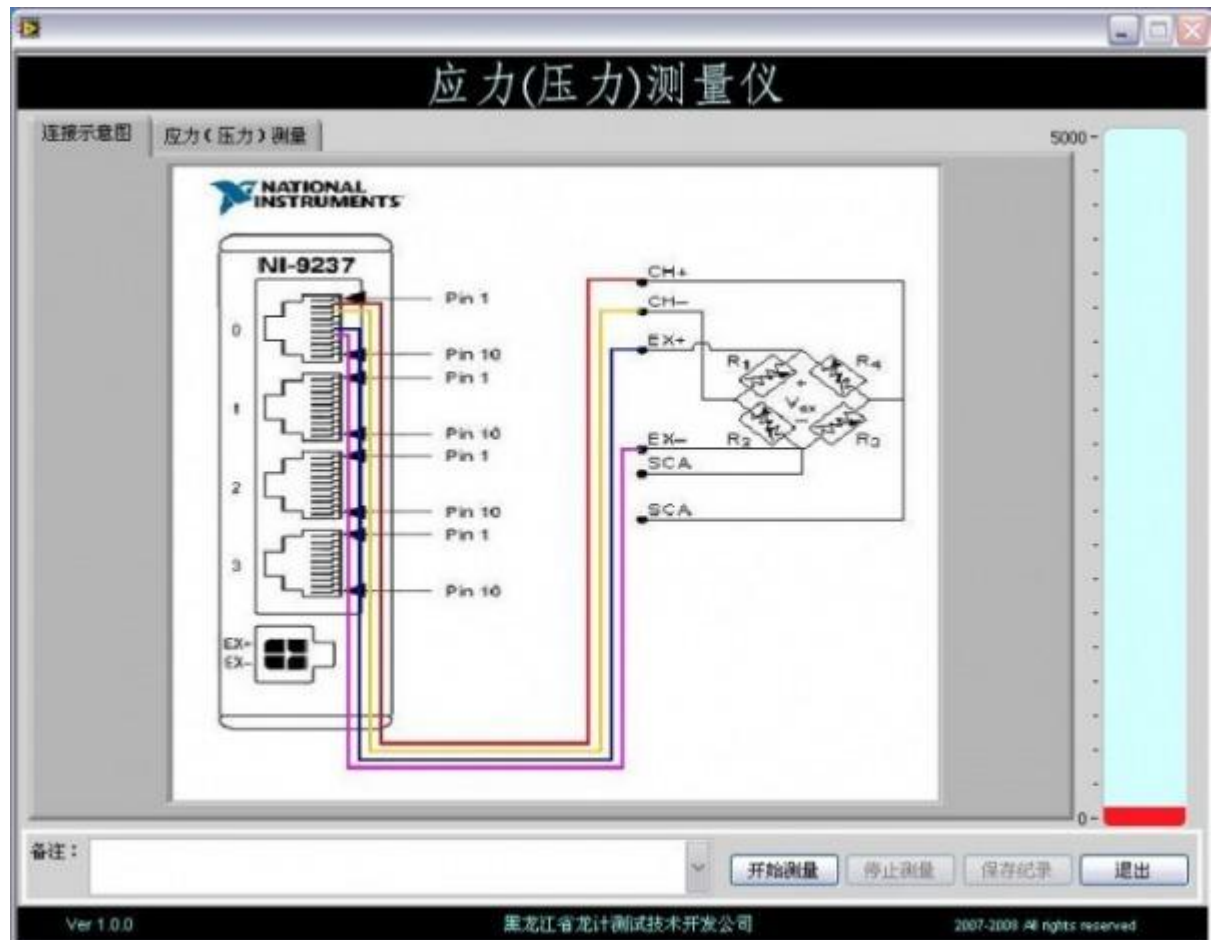
应变计信息——包含关于应变计和测量的信息均设为常数。设定：应变计因子为 2、额定应变计电阻为 750（实际使用的是 750 传感器）、波松比为 0.3

单位——指定返回的应变测量所使用的单位。这里选择使用“自定义换算”

4、将原来的桥路失调，设定“去皮”

后面的程序就是数据处理，这里不做介绍了。
整个程序设计按前面讲过的状态机设计实现。

压力测量前面板图





8.2.7 应用程序图片

引导程序



信息录入

用户信息

受检地区	哈尔滨市	受检单位	检测一站
仪器名称		仪器编号	
环境温度	25	环境湿度	65
检定员		核验员	
备注:			

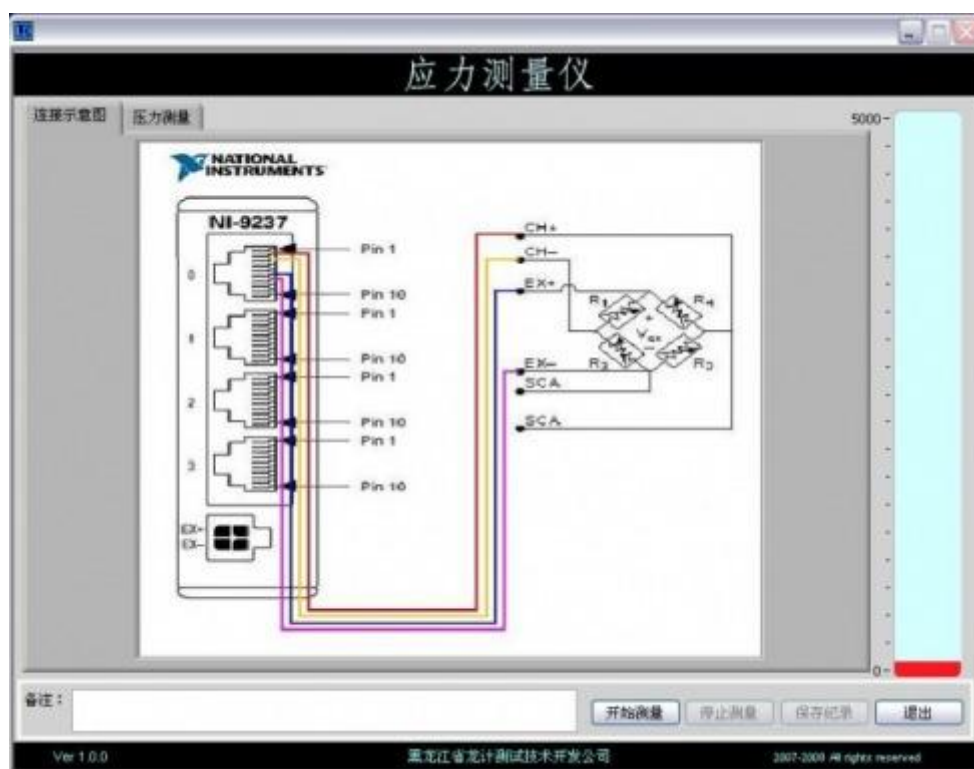
确定

Ver 1.0.0版 黑龙江省龙计测试技术开发公司 2007-2008 All

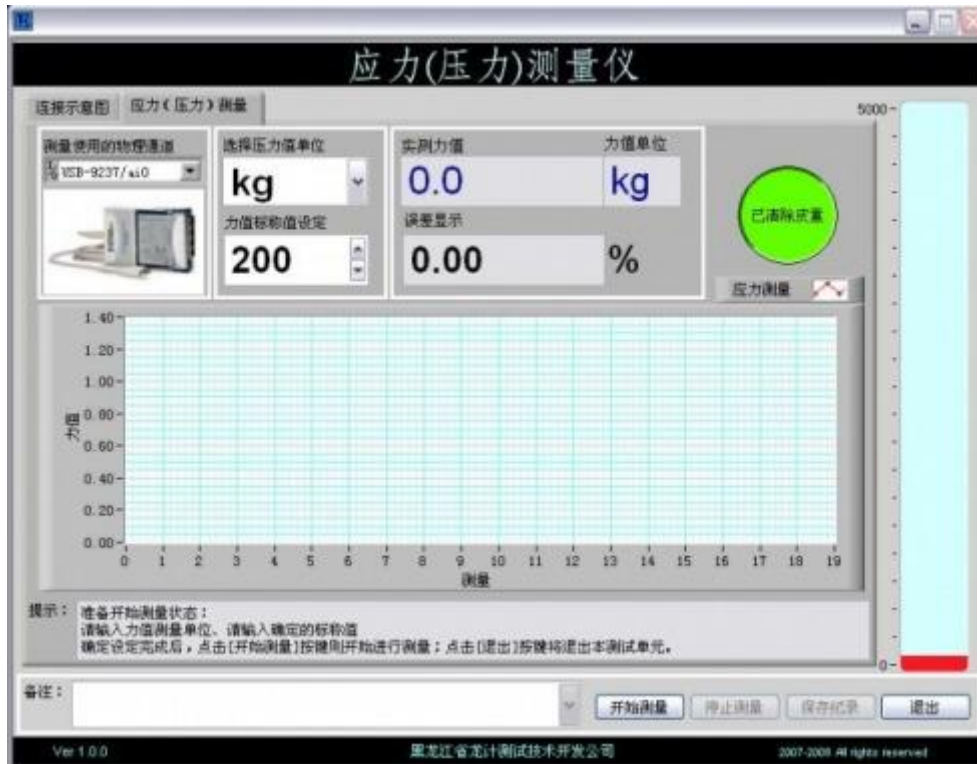
测量功能选择（压力、拉力）



连接示意图



应力测量



例图中，下部分“应力测量”的图形显示窗是用来显示“最近 20 次测量的应力值分布曲线”。在实际测量中，这是一个很好的功能。因为产生测量结果报告所纪录的是“当前测量值”，没有办法确定测量值的实际离散程度，使用这样一个图形显示器，就可以展示出最近 20 次测量值的分布情况，使我们一目了然的得出测量结果的可信度。当然也可以用直方图来显示，我觉得这种方法更直观、更迅捷。

小结

关于应变测量的实例介绍就到此为止了，这里实际上还包含了拉力测量环节，因为测量原理大致相同所以也就不多说了。通过这个实例可以看出：利用 NI 提供的例程可以引导、帮助我们快速实现应用程序的设计。这些图片都是引用程序发布后，在目标机上运行的图片。如何发布应用程序，将来会谈到。最后还要将所有资料存档，撰写“操作使用指南”等等工作。下节将要介绍“振动测量”的应用实例。

第 8.3 节 振动测量应用

8.3.1 项目的主要技术要求

用户提出的要求

首先用户向我们提出了项目具体的技术要求，并提供了传感器的型号和主要技术资料。

- 1、现场、便携式振动测量仪，符合 JJG-1997-xxx 对电动式振动台现场检定的基本要求，并可以实现加速度测量单位 g 与 m/s^2 （米 / 每秒 2 次方）的转换
- 2、体积要小、重量要轻。

- 3、附加谐波分析功能
 - 4、整套装置的测量准确度：+、- 3%以内
 - 5、自动纪录测量结果
 - 6、五通道同步测量（实际设计按四通道同步测量完成）
 - 7、频率范围：5 – 2000Hz
 - 8、传感器均为 IEPE 激励
 - 9、提供 4 只单轴向加速度传感器（IEPE 激励）和一个三轴向加速度传感器（IEPE 激励）
-

我们提出的解决方案

根据用户的要求提出了我们的解决方案：

1、计算机系统采用笔记本电脑

因为要求现场便携式测量工作，计算机只能选择使用笔记本电脑（配合 USB 数据采集卡使用）。这里考虑到装置的造价，笔记本电脑最终选择通用笔记本电脑（联想）。

2、数据采集单元

a、cDAQ+9234x2（辅助备用电源）

b、USB 9234（通过 USB 供电）

主要考虑的问题是：最好信号调理部分由采集卡都能够提供（IEPE 激励），减少外围电路的设计。而 9234 完全可以满足这样的要求。

3、传感器由用户提供

传感器采用进口四个单轴向，一个三轴向。传感器灵敏度：50mV / g。因为 USB 9233、USB 9234 输入范围都是：+、- 5V，所以选择传感器灵敏度：50mV / g，这样满量程可以测量到 100g。

双方最终协商确定的方案

- 1、现场、便携式振动台检定装置，符合 JJG-1997-xxx 对电动式振动台现场检定的基本要求。
 - 2、加速度测量范围：0 – 100g（频率范围：5 – 2000Hz），测量准确度：+、- 3%，分辨力：0.1g
 - 3、体积要小、重量要轻（USB 9234 + 笔记本电脑）。
 - 4、并可以实现测量单位 g 与 m/s² 的转换
 - 5、自动纪录测量结果
 - 6、配备传感器四个单轴向，一个三轴向。传感器灵敏度：50mV / g。
 - 7、谐波分析功能（5 – 2000Hz 基波，谐波 2 – 6 次）
 - 8、由具备资质的检测机构出具检测报告
 - 9、操作使用说明书（印刷品和电子版）
 - 10、项目执行期为：3 个月（包含采购期）
-

项目采购计划

- 1、笔记本电脑一台
- 2、NI USB-9234 一块

3、传感器及配套电缆，配备传感器四个单轴向，一个三轴向。传感器灵敏度：50mV / g。

IEPE 传感器介绍

IEPE 是指一种自带电量放大器或电压放大器的加速度传感器。IEPE 是压电集成电路的缩写。因为由加速度传感器产生的电量是很小的，因此传感器产生的电信号很容易受到噪声干扰，需要用灵敏的电子器件对其进行放大和信号调理。IEPE 中集成了灵敏的电子器件使其尽量靠近传感器以保证更好的抗噪声性并更容易封装。

IEPE 加速度传感器带有一个放大器和一个恒流源。电流源将电流引入加速度传感器。加速度传感器内部的电路使它对外表现的像一个电阻。传感器的加速度和它对外表现出的电阻成正比。因此传感器返回的信号电压和加速度也成正比。放大器允许你设置输入范围以充分利用输入信号。

目前市场上提供 IEPE 技术的有几个公认的品牌。尽管其他公司也生产 IEPE 加速度传感器，但这并不表明他们的产品兼容那些声称兼容压电集成电路的设备。各公司之间的一个重要区别是激励传感器所需的电流不同。一般情况下这些传感器所需的电流是 4mA，使用前确认设备提供的驱动电流是很必要的。

压电集成电路(ICP)已经被注册为公司商标(PCB Piezotronics Inc),特指他们生产的 IEPE 产品。他们的网站上提供了很多很好的有关压电式传感器的知识

8.3.2 IEPE 加速度传感器简介



Model 301A11

Product Type: Accelerometer, Vibration Sensor, Calibrator, Vibration Calibration ICP® accel., 100 mV/g, 50g, 0.5 to 10 kHz, 10-32 side conn., ◆ -28 Bottom, 10-32 Top

[View Spec Sheet \(PDF\)](#)

View [photo](#) and [drawing](#).

PERFORMANCE	ENGLISH	SI
Sensitivity(± 2.0 %)	100 mV/g	10.2 mV/(m/s ²)
Measurement Range	± 50 g pk	± 490 m/s ² pk
Frequency Range(± 5 %)	0.5 to 10,000 Hz	0.5 to 10,000 Hz
(± 10 %)	0.3 to 14,000 Hz	0.3 to 14,000 Hz
(± 3 dB)	0.2 to 20,000 Hz	0.2 to 20,000 Hz
Resonant Frequency	≥ 35 kHz	≥ 35 kHz
Broadband Resolution	0.004 g rms	0.039 m/s ² rms [1]
Non-Linearity	≤ 1 %	≤ 1 % [2]
Transverse Sensitivity	≤ 3 %	≤ 3 %
ENVIRONMENTAL		
Overload Limit	± 5000 g pk	± 49,050 m/s ² pk
Temperature Range	-65 to 250 °F	-54 to 121 °C
Temperature Response	See Graph	See Graph [1]
ELECTRICAL		
Excitation Voltage	23 to 30 VDC	23 to 30 VDC
Constant Current Excitation	2 to 20 mA	2 to 20 mA
Output Impedance	<100	<100
Output Bias Voltage	11 to 17 VDC	11 to 17 VDC
Discharge Time Constant	2.0 to 5.0 sec	2.0 to 5.0 sec
Settling Time(within 10% of bias)	<12.0 sec	<12.0 sec
Spectral Noise(10 Hz)	65 µg/√Hz	638 (µm/sec ²)/√Hz [1]
(100 Hz)	20 µg/√Hz	196 (µm/sec ²)/√Hz [1]
(1 kHz)	15 µg/√Hz	147 (µm/sec ²)/√Hz [1]

上一篇已经简要介绍了 IEPE 传感器的基本原理，其实振动测量使用的传感器种类很多，但 IEPE 传感器使用的比较广泛。同时,NI 的数据采集卡也支持 IEPE 传感器,所以我们的装置也选用 IEPE 传感器。

上面传感器资料不是我们选用传感器的技术资料，是我在网上找的，所有 IEPE 激励的传感器的主要技术指标也就这么几项，下面简要说明一下：

1、传感器灵敏度 (Sensitivity)

这是加速度传感器最重要的指标之一，购买传感器后它所提供的资料中，通常都给出一个出厂实测标准值。比如：50.1mV/g。值得注意的是该值通常给出的是在频率为：80Hz 或 160Hz 标定的数值。

由于传感器的灵敏度的频率特性并不是很平坦，所以最好在使用前，送有关部门进行标定，按实际标定值使用，特别是在低频段使用时更应该注意 (5 – 20Hz)。

2、测量范围 (Measurement Range)

尽可能选择与数据采集卡输入范围相一致的传感器。比如：本装置的最大测量范围是：100g，数据采集卡的输入范围是：+、- 5V，那么选择灵敏度为：50mV/g 就可以保证最大测量到 100g (5000mV/50mV/g=100g)。

3、频率范围 (Frequency Range)

传感器工作的频率范围 (5% 偏差)。由此可见传感器的频率响应的确是不平坦的。

4、谐振频率 (Resonant Frequency)

每个传感器都有自己的谐振频率，该谐振频率应远离工作频率。这里给的是：》 35KHz (远离最高工作频率 10KHz)。

5、带内分辨率 (Broadband Resolution)

工作频率范围内的加速度分辨率。

6、非线性 (Non-Linear)

传感器的非线性指标。1% 已经是非常好的指标了。

7、横向灵敏度 (Transverse Sensitivity)

横向灵敏度是指加速度计承受一个正交于灵敏轴方向的振动时,其输出与输入振动量值比.横向灵敏度与轴向灵敏度之比称为“横向灵敏度比”,它表征压电加速度计的质量优劣。

其它技术参数比较好理解就不做解释了。

传感器是比较精密的部件，使用时尽量避免过大的冲击和振动（跌落、敲打等等）。同时，安装时要正确的、紧密的安放在所需部位。

做精密测试前，进行必要的校准，以保证测量的可信和有效。

8.3.3 动态数据采集卡 (DSA) 简介

动态数据采集卡

多年来 NI 提供了多种动态数据采集卡 (DSA) 用于声音、振动方面的测量，下面简要的提示一下。

4451、4551 系列

这两个系列是 NI 早期的产品系列，目前可能都不生产了，取代它们的是 446x 系列。参考下文：

[Transitioning from 445x and 455x to 446x DSA devices](#)

4461、4462 (PCI、PXI)



2 个模拟输入 (24bits) , 2 个模拟输出 (24bits)

最高 204.8KHz 采样速率

软件可选择的 IEPE 调理和 AC/DC 耦合



4 个模拟输入 (24bits)

最高 204.8KHz 采样速率

软件可选择的 IEPE 调理和 AC/DC 耦合

4472、4472B



$\pm 10V$ 的电压范围

IEPE 调理 – 可通过软件配置

8 路同步采样模拟输入通道

24 位分辨率, 110dB 动态范围

最高采样速率达 102.4kS/s

45 kHz 无混叠带宽



45 kHz 无混叠带宽
 8 路同步采样的模拟输入通道，振动测量的最优化方案
 $\pm 10\text{V}$ 的电压范围
 24 位分辨率，110dB 动态范围
 IEPE 调理 – 可通过软件配置
 最高采样速率达 102.4kS/s

4496、4498



最高采样率达 204.8 kS/s 的 16 路同步采样模拟输入
 24 位分辨率 ADC 具有 113 dB 动态范围
 高达 +30 dB 的 4 种增益设置可以保证输入信号的范围从 $\pm 316\text{ mV}$ 至 10 V
 软件可配置的 4 mA IEPE 和 TEDS 用于麦克风和加速计
 可变抗混叠滤波器
 0.5 Hz 的交流耦合模拟输入



最高采样率达 204.8 kS/s 的 16 路同步采样模拟输入
 24 位分辨率 ADC 具有 113 dB 动态范围
 高达 +20 dB 的 2 种增益设置可以保证输入信号的范围为 $\pm 1\text{ V}$ 或 $\pm 10\text{ V}$
 软件可配置的 4 mA IEPE 和 TEDS 用于麦克风和加速计
 可变抗混叠滤波器

9233、9234(cRIO、USB、无线、网络)



4 路同步采样模拟输入， $\pm 5\text{ V}$ 输入范围

最高采样速率达 50kS/s

可变防混叠滤波器

USB 2.0 高速

24 位分辨率，102dB 动态范围

交流耦合与 IEPE 始终可用



每通道最高 51.2 kS/s 采样速率， $\pm 5\text{ V}$ 输入范围

24 位分辨率，102 dB 动态范围，抗混叠滤波器

软件可选的交流/直流耦合，交流耦合 (0.5 Hz)

软件可选的 IEPE 信号调理 (0 mA 或 2 mA)

兼容智能 TEDS 传感器

高速 USB 数据传输和 USB 总线供电

由于 9234 的性能比 9233 要好很多（前面已经比较过），而且二者的价格一致，所以今后 9234 将占据主要便携式应用场所。本装置也是选择 9234 为振动测量的动态数据采集卡。

我正在升级一个“声音、振动测量装置”（PXI）

机箱：PXI-1033 + Express 卡（马上到货，然后选择笔记本电脑）

控制器：笔记本电脑

DSA：PXI-4461 和 PXI-4462 各一块

这应该是 2009 年的工作了！



8.3.4 振动测量的基本概念

1、物理意义

在中学物理中，我们就知道了加速度的概念。比如：重力加速度、加速度等等。

这里我们谈的加速度（Acceleration）是指：速度变化量与发生这一变化所用时间的比值。是描述物体速度改变快慢的物理量，通常用 a 表示，单位是米每二次方秒（SI 国际单位制），加速度是速度变化的快慢的标志。

在振动测量中，与加速度有关的另外两个参数分别是：速度、位移。我们知道，对加速度积分一次，即可获得速度，对加速度积分两次，即可获得位移。所以知道这三个量的其中一个，通过数学方法就可获得另外两个。

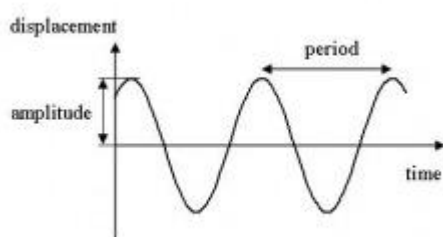
理想的振动是简谐振动，从信号的角度看就是纯正弦信号（仅有基波，不存在任何谐波）。实际上的振动可能要比这复杂，通常是一个简振动与多个谐振动的合成振动。从信号的角度看就可以看作一个基波信号和多个谐波信号的合成。

$$a = A \sin(\omega t)$$

$$v = -\frac{A}{\omega} \cos(\omega t) = \frac{A}{\omega} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

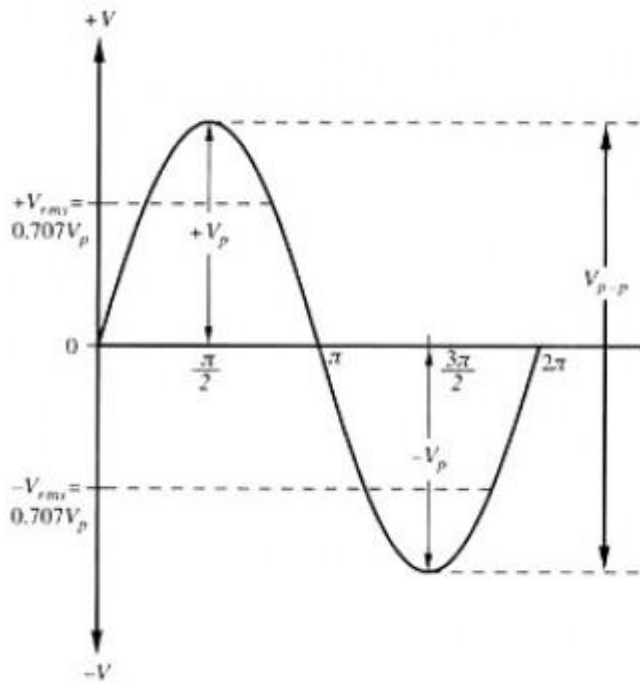
$$d = -\frac{A}{\omega^2} \sin(\omega t) = \frac{A}{\omega^2} \sin(\omega t - \pi)$$

加速度公式 速度公式 位移公式



振幅 (Amplitude) 的物理意义, 振幅描述了物体振动幅度的大小和振动的强弱。
振动频率(Frequency), 一秒钟内振动质点完成的全振动的次数叫振动的频率, 其单位为赫 (HZ) 。频率也是表示质点振动快慢的物理量, 频率越大, 振动越快。
振动周期 (Period) , 振动周期和振动频率互为倒数。

2、振动参数的表示方法

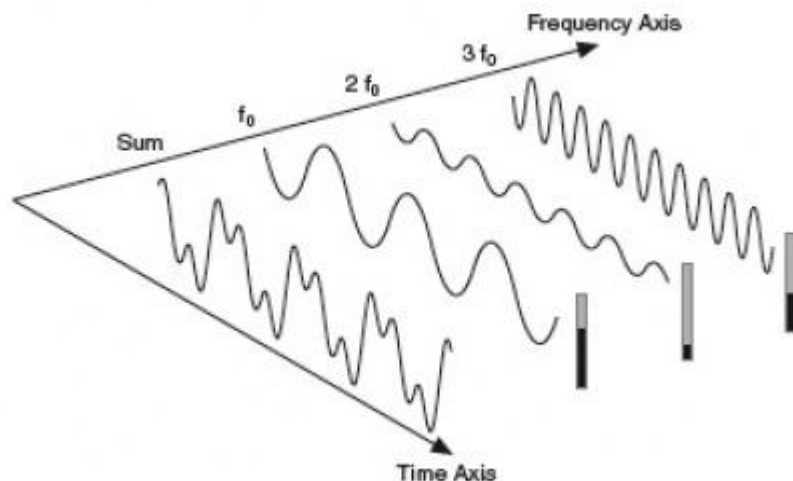


例图给出了信号的一个周期。
在不考虑振动频率的情况下, 振动信号可以用图例来表示。

对于某一个信号的幅度即可以用有效值表示: V_{rms} , 也可以用峰值表示: V_p 。还可以用峰峰值来表示: V_{p-p} 。

通常工程上习惯, 加速度用峰值表示, 速度用有效值表示, 位移用峰峰值表示。

3、振动测量中需要注意的地方



振动测量时，振动的仿真（模拟振动）信号通常来自于机械式或电动式振动台。由于种种原因振动台产生的振动信号往往是含有很强谐波分量的振动信号，见例图中的 Sum（略有夸张）。简振动与谐振动的合成振动信号（Sum）。

上面我们谈到过，加速度用峰值表示，可是在含有谐波的情况下，Sum 的峰值显然与 f_0 的峰值是不相等的。所以在加速度测量中，一定尽可能的测量的是基波信号的峰值，可以采用滤波的方法来接决。

而对于速度和位移的测量，可以忽略这个问题。原因是通常我们是先测量出加速度信号，然后对加速度信号积分一次获得速度信号，对加速度信号积分两次获得位移信号。我们知道。积分器相当于低通滤波器，所以当进行一次或两次积分后，相当于施加了很强的滤波作用。关于这点我曾经做过测试，的确经过积分后的速度和位移信号的谐波失真是非常的小，谐波的影响完全可以忽略不计。

LabVIEW 提供了先进的信号分析处理功能，同时还有“声音、振动工具包”做深层次的分析处理，所以实现上述测量是很方便的，特别是还包含了许多专用于声音、振动测量、分析的 Express.vi 或助手。

8.3.5 范例分析

关于如何作设计前的准备工作和查找范例，在上一单元都已经介绍过，可以参考上面的介绍，这里就不复述了。

从我们以前讨论过的 DAQmx 测量定式来看，测量目标不同，测量定式本身并没有根本的改变。只是通道参数略有变化。从 NI 提供的范例来看，加速度测量的测量结构上基本存在两种设计方法：

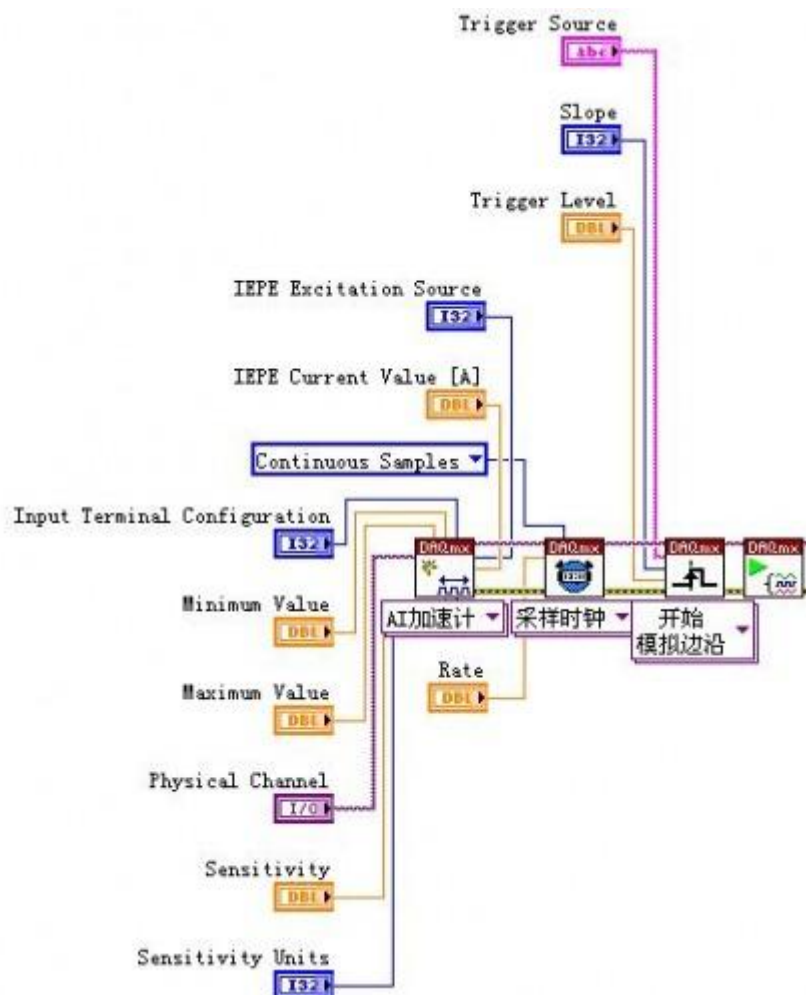
- 1、仅使用 DAQmx（没有声音、振动工具包也可以实现加速度测量）
- 2、使用 DAQmx 配合“声音、振动工具包”

下面就简要介绍这两种设计方法。

使用 DAQmx 实现加速度测量

这里需要强调的是：使用加速度传感器为 IEPE 激励的 DSA 板卡，如：NI USB-9233 或 NI USB-9234（NI PXI-4461、NI PXI-4462）。

Cont Acq Accel Samples-Int Clk-Analog Start.vi 的程序框图



这是 NI 提供的一个使用 DAQmx 测量加速度的范例。

由于“DAQmx 创建通道.vi”是一个多态 vi，（AI-加速度计-加速度计）所以可以实现加速度的测量通道配置（任务）。

其中包括了使用 DSA 器件的通道参数设定。

IEPE 激励源

IEPE 激励电流

传感器灵敏度

传感器灵敏度单位等等

Cont Acq Accel Samples-Int Clk-Analog Start.vi 的前面板图

Channel Parameters

Physical Channel
 Dev1/ai0

Minimum Value [g]
 -100.00

Maximum Value [g]
 100.00

IEPE Excitation Source
 Internal

Input Terminal Configuration
 Pseudodifferential

IEPE Current Value [A]
 0.004

Overload Detection*
☐

* Check this box if you are using a DSA device and want to check for Overloads.

Timing Parameters

Rate
 10000.00

Samples to Read
 1000

Trigger Parameters

Trigger Source

Slope
 Rising

Trigger Level [g]
 5.00

Accelerometer Parameters

Sensitivity
 50

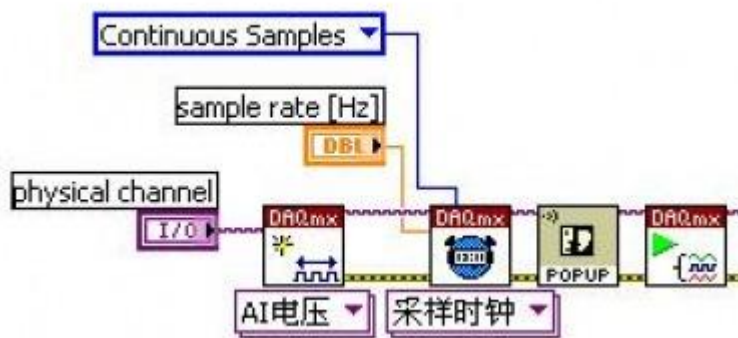
Sensitivity Units
 mVolts/g

从前面板图可以看出，加速度测量所需设定的通道参数和加速度参数都可以自由设定。这里不讨论触发参数的设定问题。

使用 DAQmx 配合“声音、振动工具包”实现加速度测量

同样，这里使用的也是 IEPE 激励的 DSA 板卡。

SVXMPL_Vibration Analysis(DAQmx).vi 程序框图



这里可以看出：“DAQmx 创建通道（AI-电压-基本）.vi”没有体现出加速度测量的通道参数。实现加速度测量通道参数的设定是通过“POPUP.vi”来实现的，这个 vi 是“声音、振动工具包”提供的。并以对话框的形式来选择设定加速度测量的通道参数。

SVXMPL_Vibration Analysis(DAQmx).vi 前面板图



这里看出前面板没有任何加速度测量通道参数的设定控件。因为设定是通过对话框来完成的。

数据分析前，通过“Scale Voltage to EU.vi 实现工程测量单位的转换。这个 vi 也是来自于”声音、振动工具包“。

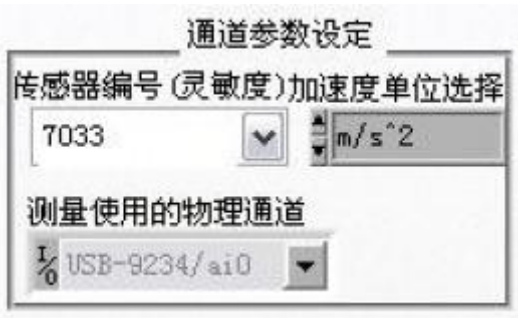
通过上面的分析、展示，说明实现加速度测量可以有不同的方式、方法。在实际测量中，根据现有条件自行决定测量方式。其实，根据范例进行有效的修改应该是最好的方法。

“声音、振动工具包”提供了更多、更专业的分析、处理方法。我目前使用的是“声音、振动套件”7.0 版。 下面将介绍实际测量应用程序的设计实例。

8.3.6 应用设计实例

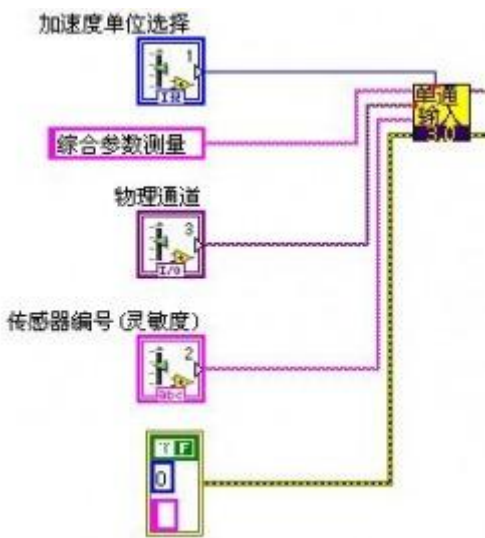
1、创建通道

其实从我们前面谈到的 DAQmx 测量架构上看，不同的测量功能，就是改变测量任务和测量通道（利用多态 vi）。由于在这个应用项目中，将多次使用到单通道加速度测量，所以将这部分设计成“单通道测量的子 vi”。也包括了许多自定义的控件。



这里是该子 vi 的前面板和程序框图。

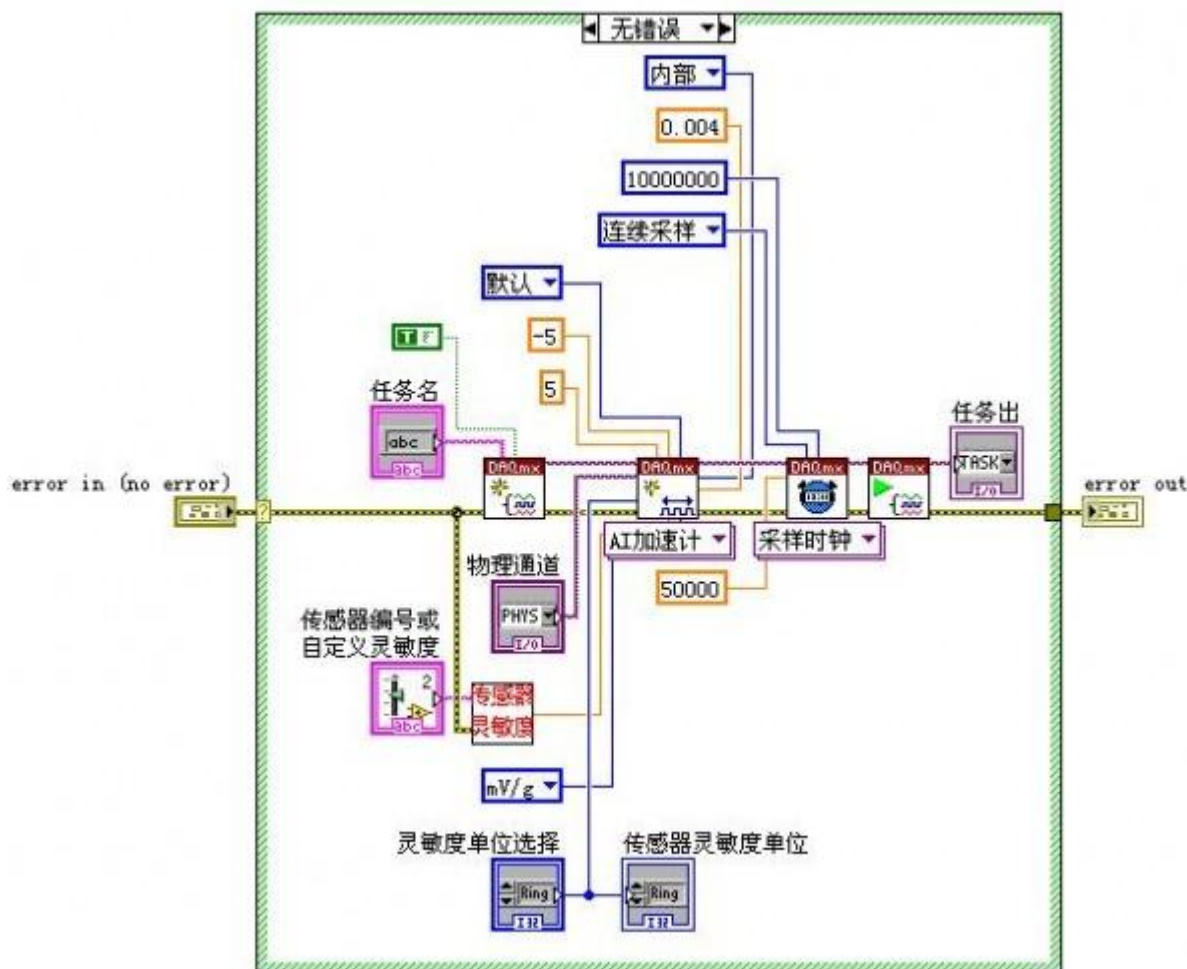
因为有多传感器可以使用，所以利用传感器的编号来区分它们。同时根据编号给出对应传感器的灵敏度（每个传感器的灵敏度是不一样的）。这样在使用中就不必要每次都填写传感器的灵敏度值。



2、单通道输入.vi

下面给出该 vi 的前面板图和程序框图





从程序框图上，还看到了一个子 vi,这个就是上面提到的，通过传感器编号来获得该传感器的灵敏度。因为下现场测试，通常需要携带多个传感器，这样随便拿一个使用就可以，最后可以通过编号设定来自动选择该传感器的灵敏度值。

3、单元整体面板

关于测试分析的程序框图这里就不给出了，因为每个项目的测试内容都不同。下面给出该单元的前面板图。在该单元可以同时完成加速度、速度、位移、加速度失真度、振动频率等参数的测量。



通过“即时帮助”按键，可以简要了解各控件的说明。

滤波器选择，提供操作者是否对采集的加速度信号进行滤波。

两个图形显示器，一个显示加速度的时域波形，一个显示当前 20 次测量范围内，加速度数值的离散程度。

这些在前面都介绍过。

8.3.7 应用程序图片

引导程序



用户信息录入

振动实验台检定装置

检定信息纪录

送检单位

产品型号

制造厂商

产品编号

记录编号

额定推力

额定推力大于10 kN

环境温度

25

环境湿度

80%

检定员

备注

确定

USB-9234

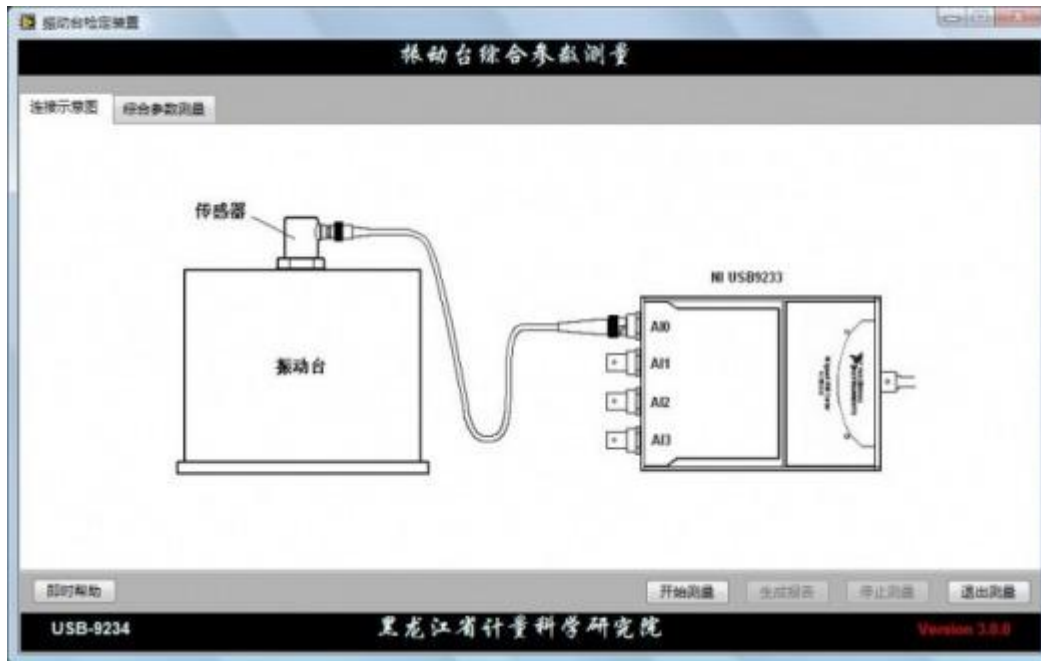
黑龙江省计量科学研究院

Version 3.0.0

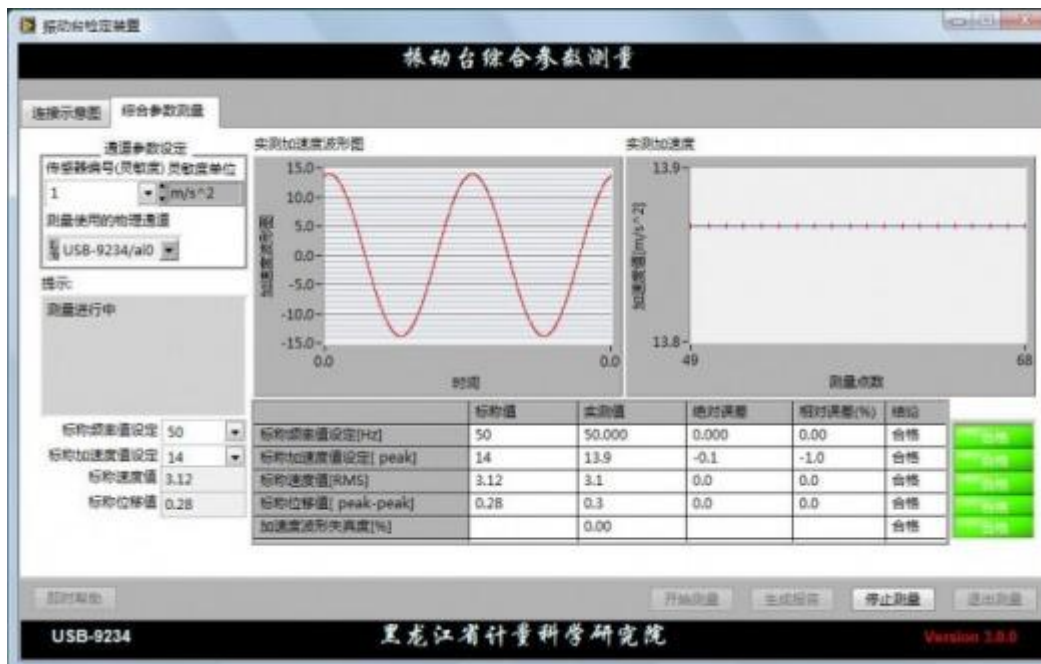
装置的主界面



测量单元的连接示意图



测量单元主界面



第 8.4 节 温度测量应用

8.4.1 基本概念

在人类的日常活动中，经常会碰到许多冷和热的现象。凭借我们自身的感觉可以分辨出物体的冷和热。比如：装有开水的开水杯很热，冰箱的冷冻室很冷，发烧的人体温较热等等。但是，仅凭感觉来判段物体的冷和热是不科学的。甚至有时候还会出现错误的判断。比如：在寒冷冬季的公共电车上，我们用手去触摸铁的扶手和木制的扶手就会感觉不一样，就会感到铁扶手比木制扶手冷些。这是因为铁散热快，迅速带走了我们手上的表面热量，导致我们感觉铁扶手凉些。其实在同样的环境下，它们的冷热程度是一样的，是我们的感觉出了问题。再比如：如果我们自己发烧了，在去摸别的发烧的人，可能就会认为都正常，同样也是我们的感觉出了问题。

要想科学、准确的表示出物体的冷、热程度，就要借助于“温度”这个物理量了。

温度的定义

处于同一热平衡状态的物体一定具有相同的温度。换句话说：温度是描述物体冷热程度的物理量。需要注意的几个问题：

- 1、这里强调的是“热平衡状态”。所以，当冷水和热水混合后，只有当热平衡完成时，所处的温度才是混合后的水温，平衡过程的温度是变化的、不确定的。也就是说：为什么我们在试体温时，要将体温计放在腋下几分钟后，才可以正确的测量出体温，就是基于这个基本道理。
- 2、这是一个定性的定义，所以说还是不完全的，完全的定义还应该包括：定量的定义（方法）。不仅要确定冷热的关系，还要定义出冷热的程度数值。

温标

为了定量表示物体的冷热程度，必须用数值将温度表示出来。用数值表示温度的方法称为温度标尺，简称温标。

实际上具备以下三点就可以建立温标。

- 1、测温仪器
- 2、固定温度点
- 3、温标方程

历史上，也存在过多种温标系统（经验温标）。其中现在还比较常用的：华氏温标和摄氏温标。

华氏温标

1714 年，德国人华伦海托（Fahrenheit）第一个制造了性能可靠的水银温度计，并于 1724 年公布了他的温标。该温标规定：在一个标准大气压下，氯化氢和冰的混合物为 0 度，水的沸点为 212 度，用来标定水银温度计。温度计两固定温度点之间的距离等分 212 份，每一份称为：华氏一度。这种标定温度的方法称为华氏温标，冰的融化温度相当于 32 华氏度。

摄氏温标

1740 年，瑞典人摄尔塞斯（Celsius）把冰的融化温度规定为 0 度，把水的沸腾温度规定为 100

度。用这两个固定温度点来标定玻璃水银温度计，将两固定温度点之间的距离等分为 100 份，每一等份称作摄氏一度，这种标定温度的方法称为摄氏温标。

温度作为一个基本物理量，采用经验温标还存在着一些不科学的缺点。比如：使用制作温度计的材料和工作物质（水银）受到一些限制，使得这些温标所能应用的温度范围非常有限。此外，它们的定义有很大的随意性。虽然，他们都选择冰融点和水沸点作为固定点，但是所定义的温度值却不一样。还有一点是：在上述温标中，温度之间是按等间隔划分的，实际上并非如此。事实正明，除了 0 度和 100 度两点外，其它点都不一致。

热力学温标

鉴于经验温标的局限性和任意性的缺点，人们期待建立一种超脱于任何特定工作物质，而由普遍使用的自然规律所定义的温标，使得温度测量更科学。

1848 年，开尔文提出了热力学温标，简称开氏温标（K）。水的三相点温度为：273.16K。

热力学温标是基于热力学定律所建立，使温度的复现即统一，又于工作物质无关，体现了真正的科学意义，所以热力学温标又称为绝对温标。

国际温标

由于热力学温标来自于热力学定律，而理想的热力学过程是不存在的，所以热力学温标也被称为是理想温标，直接实现热力学温标是极其困难的（可通过气体温度计来实现热力学温标）。为了真正能够解决这个问题，1927 年第七届国际计量大会决定采用第一个国际协定性温标来替代理想热力学温标，简称国际温标，代号（ITS-27）。它具有以下三个特点：

- 1、尽可能的与热力学温标一致。
- 2、复现精度高，各国都能够以很高的准确度来复现温标，以保证量值的统一。
- 3、规定的温度计使用起来方便。

后来，该温标又经过多次修改，我们现在使用的是：ITS-90。简称为：T90 温标。

总的看来，与直接测量热力学温度相比，T90 的测量要方便得多，并且更为精密和很高的复现性。

工程应用

上面简要介绍了温度的定义和温标的概念，这些是针对温度计量而表述的。实际上，在实际工程应用中，由于测量准确度要求不是很高，所以可以使用摄氏温标，除非你的测量需求要求准确度很高。因为摄氏温标在比较简单的条件下，就可以实现温度计的标定。

最主要的概念还是热平衡的概念，千万不要在热平衡过程中来测量温度，那样的测量结果会不准确。

8.4.2 温度测量数据采集卡

PXI-4351、PCI-4351



8 条 TTL 数字 I/O 线

自动调零和冷连接补偿

精确度 – J 型热电偶 0.42 ° C ， 热敏电阻 0.03 ° C ， RTD 0.12 ° C

16 路电压或 14 路热电偶输入；读取速度高达 60 次 / s

24 位 ADC 分辨率

NI PXI-4351 是一款基于计算机的精密测量仪器，专为温度测量（热电偶，RTD 和热敏电阻）、色谱测量以及 $\pm 15V$ 范围内的低频模拟信号的测量而设计。NI PXI-4351 卓越的测量质量，是传统计算机测量模式所无法企及的。

这也是比较传统的产品，在 NI 2004 年的产品目录中就已经包括该产品。

热电偶 NI-9211CompactRIO/CampactDAQ、USB-9211、ENET-9211、WLS-9211



可热插拔操作

24 位分辨率、50/60 Hz 去噪

-40-70 ° C 的操作温度范围

NIST 校准

4 个热电偶或 ± 80 mV 模拟输入

NI cRIO-9211 热电偶输入模块包含一个 24 位的 delta-sigma 模数转换器、防混叠滤波器、热电偶开路检测和冷端补偿，从而实现高精度热电偶测量。NI cRIO-9211 包含 NIST 校准，还具有通道-地面接地双重隔离屏障，实现了安全性、抗扰性和高共模电压范围。

铂电阻 NI-9217CompactcRIO/CampactDAQ



3 线和 4 线 RTD; 内置激励和自动探测
采样率高达 400 S/s
4 个 100 Ω RTD 模拟输入
24 位分辨率; 50/60 Hz 去噪
NIST 校准证书保证精确测量

NI 公司具有 4 通道、24 位分辨率的 NI 9217 RTD 模拟输入模块可进行 100 Ω RTD 测量。NI 9217 可配置成两种不同的采样率模式。借助高采样率模式，采样率可达 400 S/s（每通道 100 S/s）。在高分辨率模式下，采样率为 5 S/s（每通道 1.25 S/s）并配有 50/60 Hz 内置式去噪功能。采样率为 5 S/s（每通道 1.25 S/s）并具备 50/60 Hz 的噪声抑制。

NI 9217 可与 3 线和 4 线 RTD 测量兼容、自动探测与通道连接的 RTD 类型（3 线或者 4 线）并可自动把每条通道配置成恰当的模式。该模块可提供每通道 1 mA 的电流激励，其整个操作温度范围内的精度误差小于 1 $^{\circ}\text{C}$ 。NI 9217 包含 NIST 校准并具有通道-地面接地双重隔离屏障，实现了安全性、抗扰性和高共模电压范围。

多功能 NI-9219 CompactRIO/CampactDAQ、USB-9219、ENET-9219、WLS-9219



250 Vrms 通道间隔离
内置 1/4 桥、半桥式和全桥式可供选择
内置电压和电流激励
热电偶, RTD, 电阻, 电压和电流测量

每通道的 CJC 用于精确的热电偶测量

100 S/s/通道 同步输入

NI 9219 是一款 4 通道通用 C 系列模块，专为任意 NI CompactDAQ 或 CompactRIO 机箱中的多功能测试而设计。NI 9219 能够测量传感器中的多种信号，如压力计、RTD、热电偶、测压元件和其他接受供电的传感器。由于通道接受单独选择，4 条通道可以分别进行不同类型的测量。测量范围随测量类型而异，包括 $\pm 60\text{ V}$ 最大电压范围和 $\pm 25\text{ mA}$ 最大电流范围。请查看手册了解详细规格说明和测量范围。

借助驱动程序设计，当 NI 9219 和更高采样速率的模块配合使用时，不会对 NI CompactDAQ 系统的整体速度造成限制。

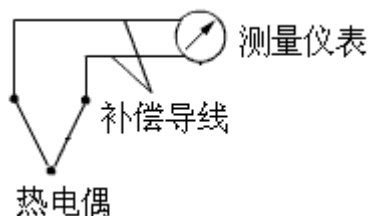
借助 250 Vrms 的通道间隔离，NI 9219 不仅保护了周围的模块、机箱和经连接的计算机系统，而且保护了相同模块内的其他通道。除提高安全性之外，通道间隔离还消除了与接地回路相关的问题。

其实这些都是测量温度专用的数据采集卡，9211 用于热电偶、9217 用于 RTD，而 9219 既可以使用热电偶，也可以使用 RTD。并且都包含了信号调理部分，真正使用起来很方便。

下一单元将介绍他们的具体应用。

8.4.3 常用的温度传感器

1、热电偶



热电偶是一种感温元件，它把温度信号转换成热电动势信号，通过电气仪表转换成被测介质的温度。

热电偶测温的基本原理是两种不同成份的均质导体组成闭合回路，当两端存在温度梯度时，回路中就会有电流通过，此时两端之间就存在 Seebeck 电动势——热电动势，这就是所谓的塞贝克效应。它是由接触电势和温差电势两部分组成。

两种不同成份的均质导体为热电极，温度较高的一端为工作端，温度较低的一端为自由端，自由端通常处于某个恒定的温度下。根据热电动势与温度的函数关系，制成热电偶分度表；分度表是自由端温度在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的条件下得到的，不同的热电偶具有不同的分度表。在热电偶回路中接入第三种金属材料时，只要该材料两个接点的温度相同，热电偶所产生的热电势将保持不变，即不受第三种金属接入回路中的影响。因此，在热电偶测温时，可接入测量仪表，测得热电动势后，即可知道被测介质的温度。

热电偶是工业中常用的温度测温元件，具有如下特点：

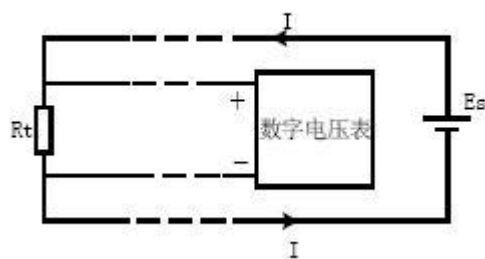
- ① 测量精度高：热电偶与被测对象直接接触，不受中间介质的影响。
- ② 热响应时间快：热电偶对温度变化反应灵敏。
- ③ 测量范围大：热电偶从 $-40\sim+1600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 均可连续测温。
- ④ 性能可靠，机械强度好。

⑤ 使用寿命长，安装方便。

NI 9211 带有防混叠滤波器、热电偶开路检测和冷端补偿，从而实现方便、灵活的温度测量。冷端补偿就是利用串接在热电偶测量线路中的一个直流电势来补偿测温结果。该直流信号的大小是随着参考端的温度而变化（在补偿范围内）。

因为有的热电偶本身没有作绝缘处理，所以在使用热电偶测量时，要注意绝缘的问题。

2、铂电阻



通过研究发现，金属铂(Pt)的电阻值随温度变化而变化,并且具有很好的重现性和稳定性，利用铂的此种物理特性制成的传感器称为铂电阻温度传感器,通常使用的铂电阻温度传感器零度阻值为 100Ω ，电阻变化率为 $0.3851\Omega/^{\circ}\text{C}$ ，称为：Pt100。

铂电阻温度传感器精度高，稳定性好，应用温度范围广，是中低温区（ $-200\sim 650^{\circ}\text{C}$ ）最常用的一种温度检测器，不仅广泛应用于工业测温，而且被制成各种标准温度计（涵盖国家和世界基准温度）供计量和校准使用。

铂电阻和温度变送器之间有三种接线方式：二线制、三线制、四线制。

NI-9217 仅支持三线制、四线制测量，并提供 1mA 的桥路激励电流。

3、热电阻



热敏电阻是由对温度非常敏感的半导体陶瓷质工作体构成的元件。与一般常用的金属电阻相比，它有大得多的电阻温度系数值。热敏电阻作为温度传感器具有用料省、成本低、体积小等优点，可以简便灵敏地测量微小温度的变化，在很多科学研究领域都有广泛的应用。

它的缺点是重复性不好，产品的一致性、互换性不好。所以，多用于比较简单的温度测量场合。NI 提供了一个“转换热敏电阻读数.vi”，可以实现热电阻测温。

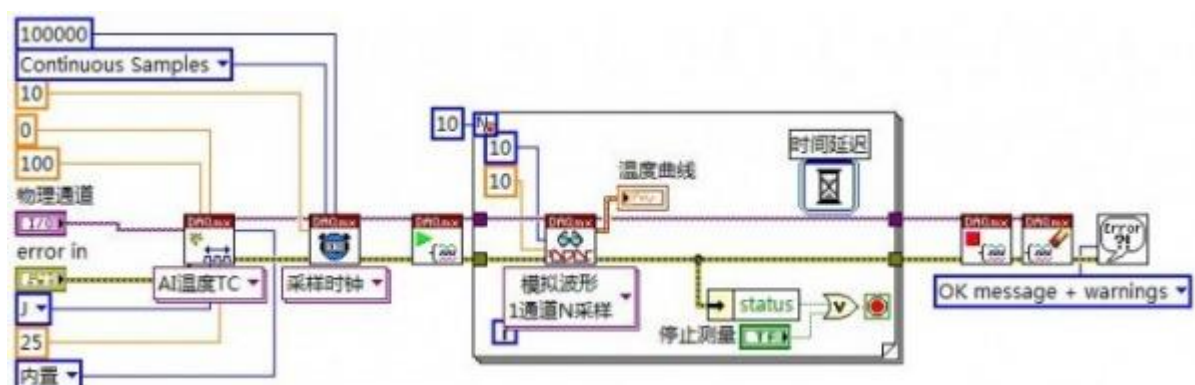
相关链接:[如何进行热敏电阻测量](#)

温度测量的相关知识在[“常规测量指南”](#)中都可以找到。

8.4.4 温度测量实例

NI USB-9211（热电偶）

通过范例查找可以找到许多应用范例，略加修改后就可以应用在自己的设计中，对于临时性和简单测量任务也可以使用 DAQ 助手。下面是一个使用 NI USB-9211 的简单应用例子。



热电偶测量温度还有许多要注意的地方，比如：补偿导线的使用、冷端补偿的问题、绝缘的问题等等，这里就不展开谈了。

NI 9217（铂电阻）

这个产品自带了信号调理部分（激励电流源、工频内置去噪）所以很容易实现四通道 3 线或 4 线 RTD 温度测量，特别适合现场使用。我们在便携式温度测量装置中（cDAQ）使用了四块该模块，构成 15 通道温度测量装置，并用其闲置的一个测量通道来考核该模块的长期稳定性。这里所说的长期稳定性是指：在环境温度为 20 度+、-5 度的条件下，考察半年或一年的测量数据的相对变化情况（模拟一个温度测量）。

1、选择一个精密电阻

精密电阻选用北京 718 厂生产的 RII-8 型 1/4W 金属膜电阻。电阻的标称值为：150 欧；温度系数为：5ppm/度。这样就可以忽略了环境温度变化对模拟温度测量的影响。

2、将这个电阻按 4 线制的方式接入 NI 9217 的测量通道，来模拟温度测量。

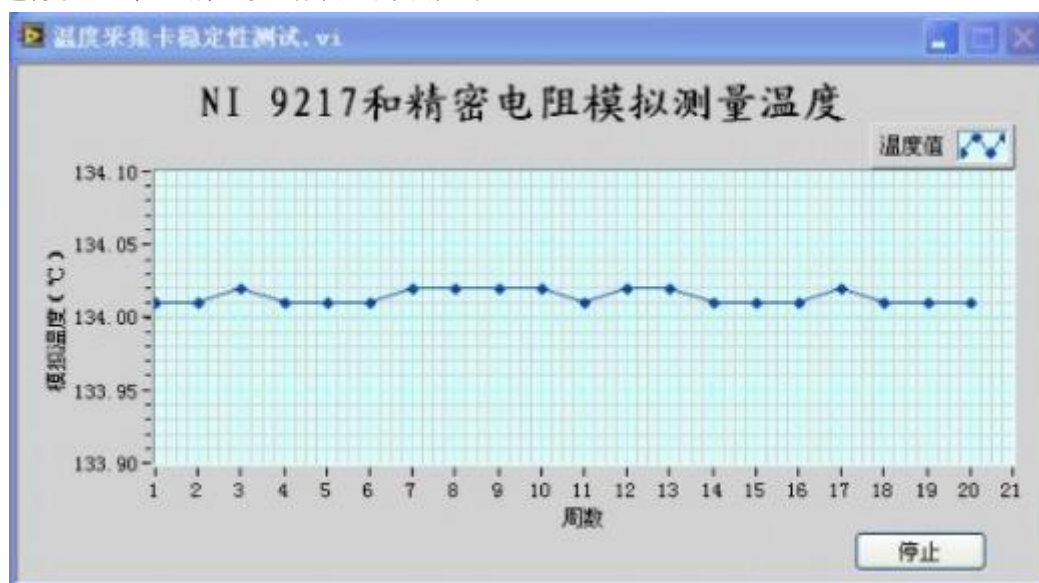
3、长期测量记录模拟温度的测量值，分析最后的结果。

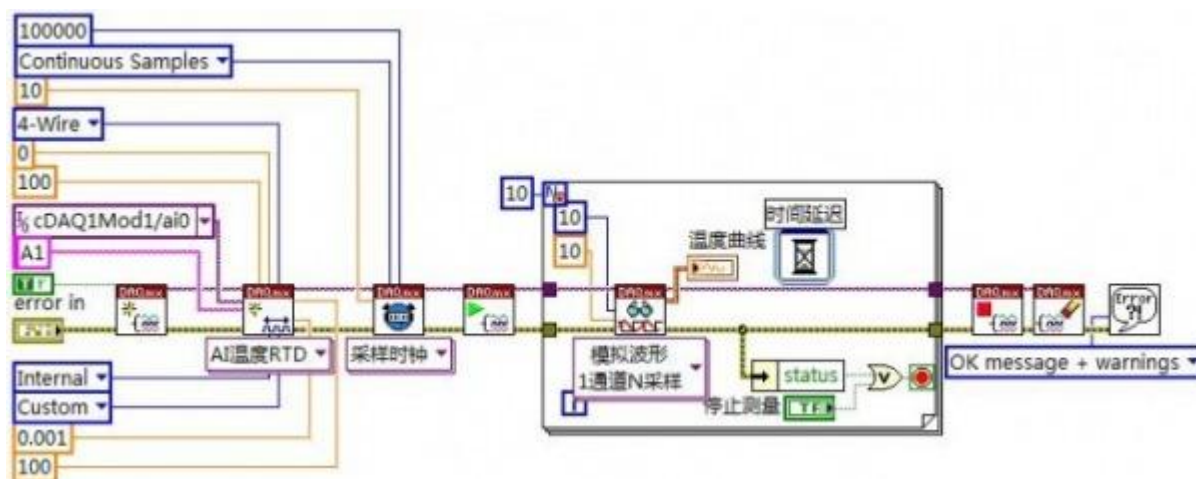
测量条件：

采样速率：10 次/每秒

没有采用去噪功能

用精密电阻模拟 4 线温度测量，基本上是每隔一、两天记录测量结果一次（节假日除外），测量进行了 20 个星期，测量结果如下图所示。





结论：

1、NI 9217 在环境温度为：20+、-5 度时的长期稳定性很好

测试期间经历了夏季和冬季供暖期室温的变化。从测量数据来看，板卡测量通道包括信号调理部分对环境的适应能力都是很理想的，0.01 度/20 星期的变化量。

2、有望提高温度的测量精度

NI 9217 技术手册给出的温度测量准确度是：0.15–0.20 度（环境温度：25+、-5 度），若对铂电阻进行温度误差修正，可以将温度测量精度提高到：0.1 度。在小温差测量方面更具价值。

3、不足

由于测量条件的限制，不能考核环境温度变化更大时的影响。

试验仅真对的是某个模块的某一通道。

由于电阻温度系数的影响，测量结果包含了这个影响在内。但是 0.03 度/20 个星期这个结论还是可信的。

简单的标定

在实验室条件下，可以进行简单的温度测量标定，标定通常选两个特殊温度点，0 度和 100 度。0 度的标定是将玻璃容器中放入冰，当冰融化到既有冰又有水的混合物时，可以将温度传感器放入冰水混合物中，待稳定后测量的就是 0 度温度值。对于 100 度，只要将水烧开到沸腾，基本上就可以认定是 100 度，将温度传感器放入开水中，稳定后测量的就是 100 度温度值。

这两个方法虽然不够科学（相对于精密测量而言），但在实验室条件下，也不失为简易、方便的方法。

第 8.5 节 频率测量应用

8.5.1 基本概念

频率



频率——周期性现象或事件在单位时间内出现的周期数，符号为： f 。所以这两个量知道一个就可以得到另一个。

在国际单位制中，频率的单位为 Hz。

频率与周期呈倒数关系，如周期的量纲为 $[T]$ ，则频率的量纲为 $[1/T]$ 。

频率是目前七个基本物理量中，最准的一个物理量，采用的是量子基准。1967 年第 13 届国际计量大会决定：铯原子 $\text{Cs}133$ 基态的两个超精细能级间跃迁辐射振荡 9192631770 个周期所持续的时间为 1 秒。它也被称为：原子秒，以区别于“世界时”。

世界时来自于地球的自转，由于自转逐渐变慢导致每隔几年就要对世界时进行修正(如加 1 秒)。这样的世界时又被称为协调世界时。

鉴于地球自转速度减慢，作为环球主要计时标准的英国格林威治时间(GMT)，将于今天多 1 闰秒，但在法国负责原子钟计时的专家认为，既然现代科技水平已明显提升，国际社会应考虑是否改用原子钟计时、舍弃不够精准的格林威治时间，引发一场英法争议。

据香港明报报道，位于经线零度的英国格林威治皇家天文台，实行“平均太阳时”，即太阳直照在该天文台子午仪中心子午在线的时间，计算一天的始终。惟自 1972 年以来，科学家留意到地球自转减慢，影响到太阳直照落点时间，天文台要三番四次添加“闰秒”，以保持国际公认的“标准时间”地位。

自网易的文章

目前喷泉钟的实验室水平其准确度已经进入 $E-15$ 的量级。



原子钟不仅仅是准确度高，更重要的是它基于量子理论，所以在各个国家的实验室都可以准确的复现出来（差别在一个数量级左右）。

便携式商品化的铯钟的准确度已进入 $E-12$ 的量级。

电子计数器内的准确度约在 $E-9$ 左右。

而通常使用的石英晶体振荡器在 $E-5$ 到 $E-6$ 之间。

例图是 HP-5071 便携式铯钟

时间



由于频率测量涉及到时间的概念，这里也顺便简要介绍一下。

时间是个多义词，时间可以指时刻，也可以指时间间隔。时间是物质存在的一种属性，哲学上可以指：过去、现在、将来，以至无限的光阴流逝。在国际单位制中，时间的基本单位是秒。

从上面的介绍我们知道“铯原子 $Cs133$ 基态的两个超精细能级间跃迁辐射振荡 9192631770 个周期所持续的时间为 1 秒”。这样就确定了秒的准确度，实际上在计量领域，时间和频率的准确度是一样的。

例图为国家守时钟组（确定时刻），由三台 HP-5071a 组成。

由于许多物理参数转换为电信号时都呈现出周期的特性，如振动信号、声音信号、所以说频率测量是比较常用的测量任务。

频率测量有两种基本测量方法，一种是时域测量方法，另一种是频域测量方法。下面我们来分别介绍。

8.5.2 频率的时域测量

频率时域测量的两种方法



我们所讨论频率的测量方法都是针对模拟信号的频率测量。因为时域模拟信号的频率测量包括了数字信号的频率测量的内容。

时域测量是指：被测对象在不同时间下的特征，即将被测信号视为一个时间的函数 $f(t)$ 来测量称为时域测量。比如：使用示波器显示并测量一个矩形脉冲信号的幅度、宽度、上升和下降时间等参数。它与频域测量相互间存在着唯一的对应关系，彼此可相互换算。

最常用的时域频率测量有测频率法和测周期法两种。绝大多数的数字频率计都具备这两种测量功能。

1、测频率法

测频率法是在确定的时间间隔 T_0 内，记录被测量信号完整周期的个数。其中， T_0 是来自内部石英振荡器的标准时间，通常为：0.1s、1s、10s，也就是通常我们所说的“闸门时间”。

测频率法通俗的讲就是：在已知的标准时间间隔内数被测信号的整周期个数。

$$F_x = N_x / T_0$$

F_x ——被测信号的频率

N_x —— T_0 时间内计得的完整周期的个数

T_0 ——标准闸门时间

2、测周期法

测周期法是在被测信号的一个周期内，记录频率为 F_0 的标准信号的整周期个数 N_x 。其中， F_0 来自内部石英振荡器的标准频率。通常为：100KHz、1MHz、10MHz，也就是我们通常所说的频标。

测周期法通俗的讲就是：在被测信号的一个完整周期内数标准频率的个数。

$$F_x = F_0 / N_x$$

F_x ——被测信号的频率

N_x ——被测信号一个周期内得的完整频标的个数

F_0 ——标准频率（频标）

频率时域测量方法存在的问题

我们知道电子计数器的原理误差为：正、负 1 误差，为了减小该项误差，通常在被测信号为高频时采用测频率法，当被测信号为低频时采用测周期法。

目前电子计数器都具备等精度测量功能，所以基本上可以无需切换测量电路，可以直接测量被测信号的频率。

在模拟信号的频率测量过程中，首先要进行波形的整形，也就是将正弦信号整形为方波信号，然

后进入数字电路测量处理。这样就存在一个问题,对于纯正弦电路整形不会产生很大的误差影响。当信号中含有谐波分量,且谐波分量影响到过零触发的整形电路时,会对频率测量产生影响。所以,很多频率计要求被测信号的谐波失真度要小于 0.3%,或者在输入回路加滤波电路。

这里要注意一个概念,不是信号中谐波含量很大影响测量,而是在整形的过零触发阶段谐波含量会影响过零触发电路的准确性。我们知道方波本身就是谐波含量非常丰富的波形之一。

有关这部分内容,我无法展开的讲,有兴趣者可以参阅有关电子测量技术方面的书籍。

关于数字信号的频率测量可以借助于 DAQ 板卡上的计数器来实现,通常 DAQ 板卡都提供 2 个 32Bits 的计数器。

注意此时最理想的测量准确度就是板载石英晶体振荡器的准确度。

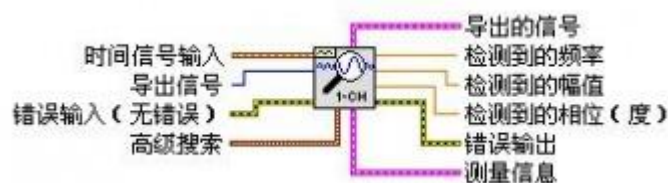
就虚拟仪器设计而言,为了避免上述影响,我通常采用的频率测量方法是基于频域的测量方法。具体请看下一节的介绍。

8.5.3 频率的频域测量

频域测量的基本概念

测量被测对象在不同频率时的特性,即把它看成是一个频率的函数 $S(w)$ 来测量称为频域测量。例如用频谱分析仪显示并测量信号在不同频率下的功率分布谱。它与时域测量相互之间有唯一的对应关系,彼此可互相换算。

LabVIEW 提供的频率测量函数



模拟信号的频率测量我就使用这个 vi。在函数面板 > 信号处理 > 波形测量 > 中可以找到这个 Extract single Tone Information.vi。该 vi 就是通过频域的测量分析直接获得被测信号的频率、幅值、相位信息。是一个非常好用的频率测量 vi。

这个 vi 是一个多态 vi。

关于这个 vi 的一些描述

在使用 LabVIEW7.1 版时,这个 vi 的程序框图还处于保密状态,需要输入密码才可以查看。后来在那个版本开始解禁也没太注意,反正现在是可以看到程序框图了。



那时可以看到的有关这个 vi 的表述除了帮助文件，也就是这本清华大学出版的《LabVIEW7.1 编程与虚拟仪器设计》这本书中较要提到过。

“LabVIEW 提供的函数 Extract single Tone Information，它可以用来测量信号频率、幅值和相位，使用效果非常好。”

“应该说，在相同的条件下，Extract single Tone Information 函数的计算误差比较小，而且它还能同时计算出幅值和相位，因此它是一个值得推荐的算法。遗憾的是 LabVIEW 对该函数进行了加密，Help 文件也没有对其算法做任何说明。”

摘自——《LabVIEW7.1 编程与虚拟仪器设计》P355

本书还给出了一些使用该函数进行频率测量的试验数据。另外，本书对频率测量也专门列为一章，并给出了多种频率测量的方法、测量方法的分析和试验数据，有兴趣的不妨找来看看。

在 NI 的论坛上看到这样的提问：

“labview 中的 extract single tone information 这个模块非常好用，但是因为不知道该模块是用什么算法实现的，所以不清楚输出的误差有多大。希望各位指点。”

解答者是这样说的：

“通常 tone detection 算法是通过 FFT 和峰值提取的办法实现的。但是 labview 的 tone detection 模块却不是用这么简单的办法做的，而是使用 NI 独创的算法计算的。NI 有好几个专利和这个算法有关。这一算法的计算精度非常高，尤其是对于接近于 DC 的频率和接近于 Nyquist 频率的频率。”



关于上面所提到的该 vi 的频率测量精度的问题，在北京大学出版的《LabVIEW 图形编程》一书中作者是这样讲述的：

“在 LabVIEW 分析库中有一个名字为 Extract single Tone Information 的 vi，可以实现大约优于 1ppm 高准确度的频率测量，但必须保证采样时钟也要具有同样的高精度。”

摘自——《LabVIEW 图形编程》

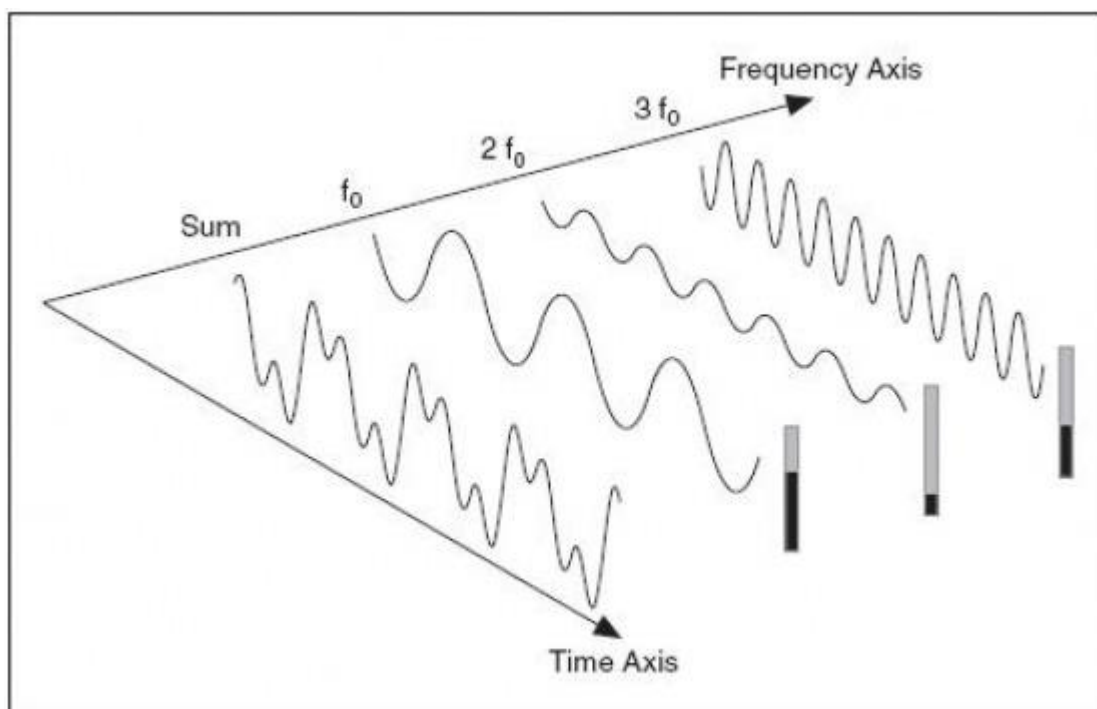
这段话的意思是：函数算法的准确度可以达到 1ppm，但是要想在测量中实现这个准确度还必须使采样时钟的准确度达到同样的水平或更高。

Frequency Generator

Number of channels 1
Base clocks 10 MHz, 100 kHz
Divisors 1 to 16
Base clock accuracy 50 ppm
Output can be available on any PFI or RTSI terminal.

NI 绝大多数板卡的时基准确度如例图所示，例图给出的是 6251 的参数指标。
所以在使用板载时钟时，该 vi 的频率测量准确度也就在 50ppm 左右。

如果想获得 1ppm 的测量准确度，那就必须使用外部的高准确度时钟作为采样时钟，这点是要注意的。



这个函数的确非常好用，上图是信号（信号包含三个频率分量）频域分析的基本图示。利用频域分析可以解决许多实际应用中所遇到的难题。

由于它是基于频域测量（FFT）所以不受信号中的谐波分量对测量的影响。我曾做过试验即使信号中含有高达 25% 的二次或三次谐波，其基波频率 f_0 的测量结果仍然是十分准确的。这是使用数字频率计测量频率所无法做到的。在振动测量中应用非常方便，因为振动信号中往往谐波分量是很大的。

它还可以用来测量同频率的两个信号间的相位差。

在其它方面，我们也做了许多新颖的应用，效果十分理想，鉴于职务成果技术保密的原因，这里就不多谈了。

关于它的具体使用方法，很简单随便找个例子一看就会，所以也就不介绍了。

第 8.6 节 测量误差拟合

我们在前面谈到过，传感器自身的变换关系可能会存在着非线性，信号调理电路本身也可能存在着非线性等等因素（桥路），这样将导致测量结果会存在一些固定的偏差（注意这里强调的是固定的偏差），与我们的期待值不相吻合，至少看起来很不舒服。

比如：M 系列数据采集卡在校准前可能就存在着一定的固定偏差。在相关文献中介绍了 M 系列采集卡采用的校准技术是多项式拟合，这种多项式拟合的校准方法较 E 系列采集卡的线性校准方式有了很大的改进和提高。这是因为 M 系列板卡在各个方面的性能很优越，测量结果的稳定性也非常好（也就是上面所说的固定偏差）所以完全可以通过这种多项式拟合的校准技术来提高

M 系列板卡的整体技术性能。

问题是我们是否可以也采用这种方法来提高测量结果的准确度呢？答案是可以的！下面我们就来介绍一种误差拟合的实用方法。

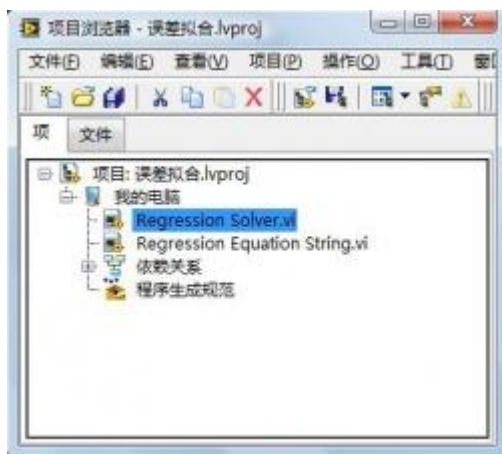
在介绍这种方法之前，我还要重申一下：对于测量结果一定是存在一些固定的偏差，并且这个偏差在多次重复测量或长期测量过程中都呈现出比较一致的结果（具有长期的稳定性，或者说是系统偏差存在）。只有满足这样的条件我们才可以进行误差拟合，也就是必须有一定的测量评估过程。否则，可能导致更大的测量偏差产生（越修正结果越混乱）。

这个 vi 来自 NI 的例程。我仅对界面做了汉化处理，经在应力测量单元实际使用效果非常理想。为了在下面的章节中能够继续使用，我将以项目的方式来介绍这个 vi。在下面可以下载这个项目（LabVIEW8.6 版）。



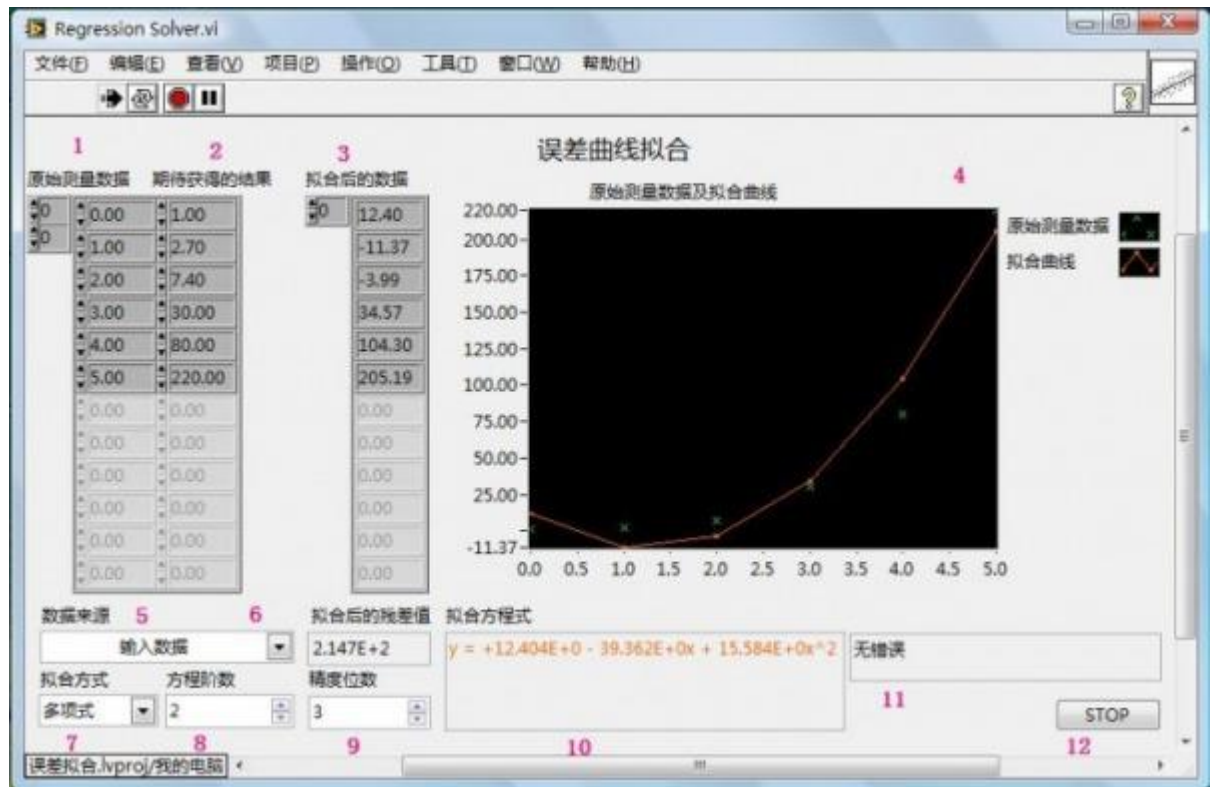
[Download File](#)

曲线拟合项目



下载后解压该文件，既可以获得曲线拟合的这个项目，在项目中运行“Regression Solver.vi”。如例图所示。

程序的前面版图如下图所示。



下面就根据例图上红色的标记来解释一下各个部件的功能和用法：

1、原始测量数据

这里放置我们已经获得的稳定的原始测量数据（5、选择输入数据方式下）这个数据尽可能的多些

2、期待获得的结果

这里放置我们所期待的最终的测量显示结果（5、选择输入数据方式下）

3、拟合后的数据

这里显示目前条件下的拟合结果

4、原始测量数据和拟合曲线

这里用图形显示方式给出原始测量数据及拟合结果

5、数据来源

这是一个选项控件，它有三个选择项：输入数据、从文件读数据和将数据写入文件

6、拟合后的残差值

这是一个数值指示器，用来显示当前参数下拟合的残差值，用于评估拟合结果

7、拟合方式

这是一个选项控件，它有三个选择项：线性、多项式和指数

8、方程的阶数

这是一个数值选择控件，用来选择多项式的阶数，阶数越高拟合效果越好

9、精度位数

这是一个数值选择控件，用来选择多项式系数的精度位数

10、拟合方程式

这是一个字符串显示器，用来显示当前参数下的多项式方程式

11、提示栏

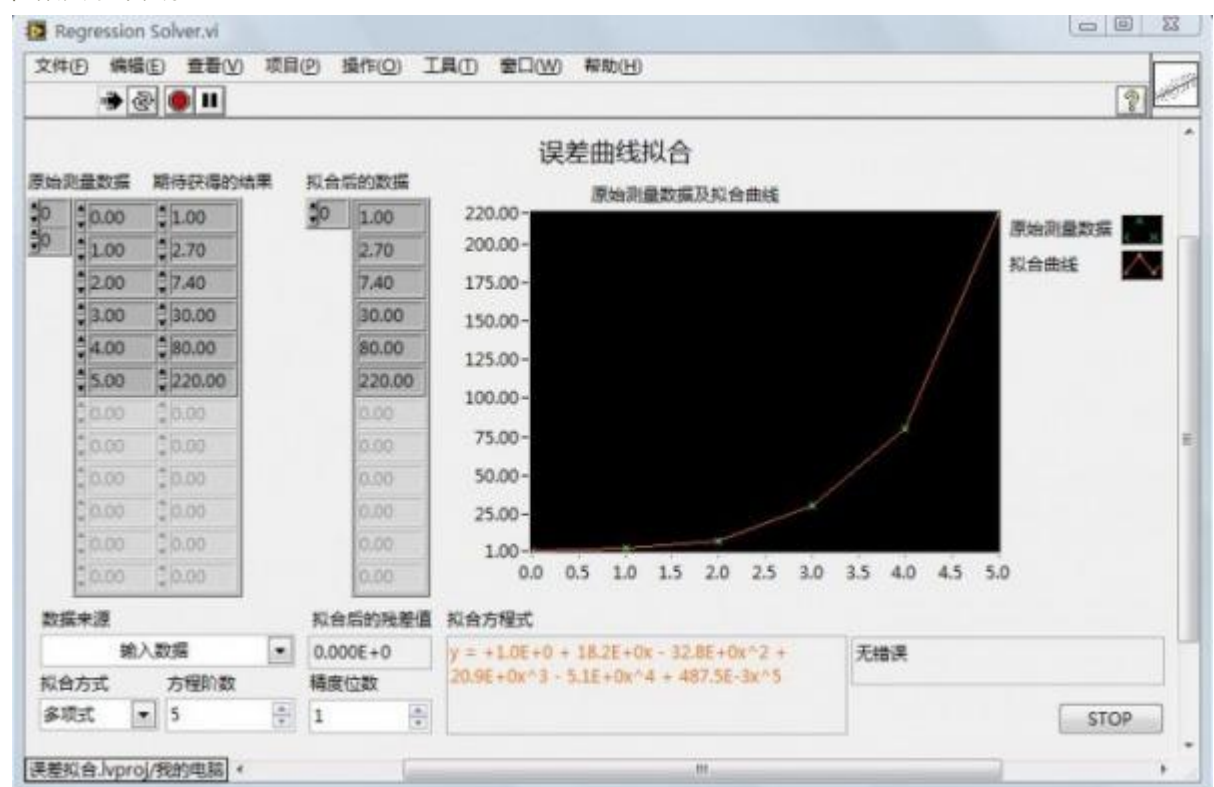
提示选择操作是否正确

12、STOP 开关

停止程序运行

上面例图的说明

上面的例图是在多项式为 2 阶时的拟合结果，你可以逐渐增加阶数，当阶数达到 5 阶时，拟合的结果与我们的期待值是一样的。此时，可以减少精度位数，你会发现拟合结果与多项式的精度位数关系不大。



如何使用方程式

当我们获得了拟合的多项式方程，如何使用它呢？很简单，在原来在你的应用程序中显示测量结果的显示器前面利用“公式”函数将修正前的数据连接到公式输入端，将公式的输出端接到测量结果显示器就可以了。

通俗的讲就是将输入数据做了个多项式运算，运算结果在输出到显示单元。

使用中的注意事项

- 1、原始数据一定要保证稳定多次测量结果不变（最重要的前提，我们多次强调）
- 2、原始测量数据点尽可能的多些
- 3、该程序也可以用于线性、指数特性的拟合
- 4、重新做拟合时，必须将原来的拟合公式删掉，否则将是公式串联公式
- 5、当应用程序按此方程式运行，打包后不能更改。如果要想更改还必须添加一些复杂的管理程序
- 6、数据文件格式可以通过先输出一个数据文件来查看

在实际使用中也可以作为板卡的校准拟合方法，特别是 RIO 模块的校准（否则要返美国 NI 完成校准）。保存好这个项目，下一单元将利用该项目讨论应用程序发布的问题。