

基于 NI 数采模块的测井数据采集控制系统设计

作者：贾宏宇
职务：项目经理
公司：大庆油田测试技术服务分公司

应用领域：研究和开发
使用的产品：PCI-6070E；PCI-6024E；PCI-6534；PCI-6533；PCI-6602；PCI-6601；Measurement Studio 6.0；

挑战：使用标准工业数据采集产品设计并开发石油测井行业特有的以等深度（位移）间隔触发和控制为核心的对直流信号、脉冲信号、数字信号等多种信号进行同步、高速和实时数据采集与控制的测井数据采集和控制系统的。

应用方案：深度开发 NI PCI-6602，产生控制系统采集的等距和定时触发信号，并实现系统深度的高精度测量；充分开发和利用 NI 数据采集卡的 RTSI 功能并结合其 DMA 传输模式，实现 Windows 环境下的直流、脉冲、数字信号的高速、实时、同步采集和处理。

介绍：
测井数据采集控制系统是用于对各种置于地层中的井下仪器产生的信号进行采集、处理并对井下仪器进行控制的油田基础测控设备。由于专业性极强，以往系统中的数据采集及控制单元通常是以自我设计为主，因此导致系统的开发周期长、成本高、稳定性较差。现在，我们硬件使用 National Instruments 公司的数据采集卡，软件使用 VC++ 结合 Measurement Studio 软件包，实现了测井数据采集和控制单元的基于标准工业数据采集产品的设计与开发，大幅度的降低了系统的开发和维护成本，缩短了系统的开发周期，提高了系统的稳定性和可靠性。目前这套系统已制造 20 余套，成功应用于全国各大油田，取得了可观的经济效益。

系统原理

测井数据采集控制系统主要由工控机、NI 通用数据采集卡、信号调理模块、绘图仪、综合控制箱、直流电源、交流电源、UPS 电源、示波器等构成。系统原理框图如图 1。

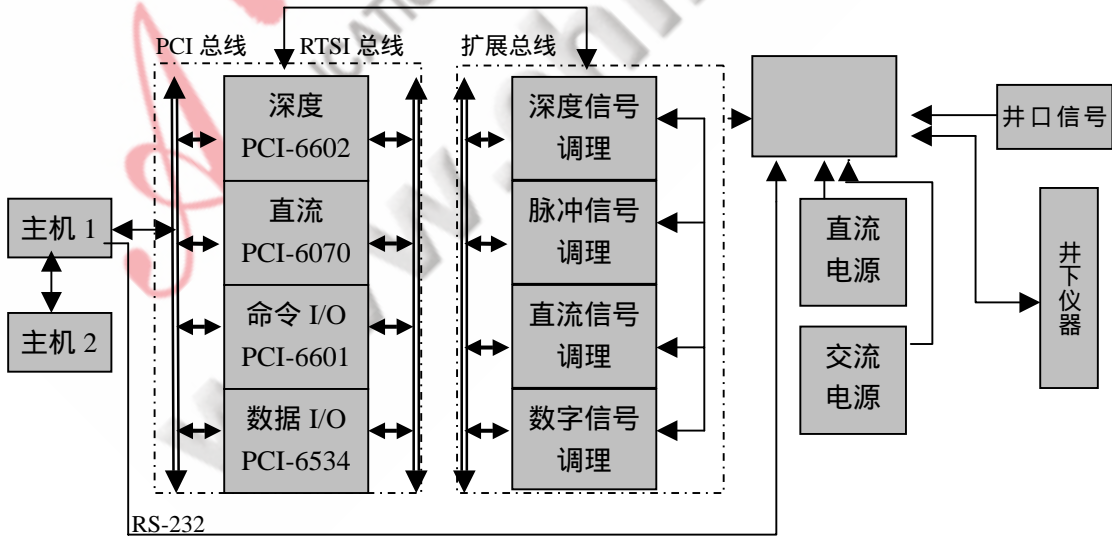


图 1 系统原理图

主机 1 主要用于系统的数据采集、处理和控制在。绘图仪用于测井曲线实时出图。深度信号调理模块对光电编码器信号及其它井口信号进行调理，并控制深度显示；数字信号调理模块用于配接各类编码（例

如，曼彻斯特编码）传输的井下仪器，如双源距 C/O 能谱测井仪、脉冲中子氧化化测井仪等；脉冲信号调理模块主要配接采用脉冲、周期信号传输的井下仪器以及各种脉冲编码类型的仪器。如：井壁超声成像测井仪等；直流信号调理模块主要配接采用直流量、低频模拟信号传输的井下仪器。直流电源为井下仪器提供直流供电、交流电源为井下仪器提供交流、泵、阀、继电器和释放器的供电。综合控制箱负责完成缆芯切换、供电控制。UPS 电源用以保证在停电或外部供电不正常时，维持一段时间的供电，以免测井数据因得不到及时存储而丢失。以上各单元统一安装到两组 19 英寸标准机柜中。关于信号的流程，从图 1 中可以看出。我们把进入数据采集控制系统的信号归结为两类：井口信号和井下信号。井口信号来自井口和电缆绞车，它包括电缆张力信号、电缆磁记号和深度系统的光电编码信号。井下信号是指来自井下仪器的信号。来自井下仪器的感应型或脉冲型信号、深度系统的两路光电编码信号、井口的张力信号及电缆磁记号，通过电缆线进入采集箱内的深度调理模块、脉冲信号调理模块或直流信号调理模块，经过调理后，输出到 NI 数据采集卡。井下仪器编码信号经过综合控制电路的分离及预处理后通过电缆线进入到数字信号调理模块，进行信号调理、解码。解码后的信号同样输出到 NI 数据采集卡。NI 数据采集卡控制数据采集的方式、采样的间隔，同时实现对脉冲信号、直流信号和数字信号的实时采集，采集到的数据以 DMA 方式传给主机内的数据缓冲区，由系统软件按不同的采样方式控制数据的显示、处理、打印和存盘。

数据采集方案设计

测井数据采集控制系统设计的核心是其数据采集方案设计。数据采集方案设计主要由系统深度数据采集和深度中断管理方案设计；多路复合信号实时同步采集方案设计；复杂编码格式数字信号高速传输与采集模式设计；直流信号高精度采集方案设计；系统状态及井下仪器控制方案设计等构成。由于专业性极强，以往系统中的数据采集及控制单元通常是以自我设计为主，因此系统的开发周期长、成本高、而且稳定性较差，并经常导致使用过程中，系统死机、深度测量不准等问题的出现，使系统的维护成本成倍增长，同时由于技术水平的限制，自己开发的系统只能配接一些信号类型简单和传输速率低的井下仪器，不具备多路信号实时同步采集以及高速传输的数字信号采集和处理能力。为了克服现有系统的缺陷，我们在充分调研和试用各大公司的数据采集产品的基础上，选择了 NI 公司生产的系列数据采集卡和 Measurement Studio 软件开发包，经过对 NI 各个采集卡的仔细研究和深度开发，我们仅用了 3 个月的时间就完成了过去需要 2 年以上的系统核心设计，并在业界首次实现了全部基于标准工业数据采集产品的测井数据采集控制系统设计，同时使系统在采样精度，深度控制，采集速度等主要技术指标上得到了全面的大幅度的提升。

（1）系统深度数据采集和深度中断管理方案设计：

系统深度模块是该系统中行业性最强的一个模块，它需要对正交光电编码器信号进行测量，得到系统当前的深度数据，同时它还要根据当前的深度数据生成用于同步各信号采集的深度等距触发信号。例如，在光电编码器顺时针转动时，每隔固定位移间隔（例如 5 cm）产生一个触发信号，这个触发信号通知系统对所有测量信号进行采集，如果系统光电编码器突然反方向转动，则不产生触发信号，系统不做任何采集，从而使系统只按照单方向等位移的状态采集数据。此外，该模块还要具备对正交光电编码

信号防抖动，防滑动处理的功能。在系统开发过程中，我们发现 NI PCI-660X 系列产品的用户手册上没有实现该工作模式的基本功能。为了实现该功能，我们经过深入研究和开发，通过利用 PCI-6602 处理光电编码器信号的计数器通道所能生成的某种特殊状态信号，同时结合其它计数器通道的脉冲生成功能，最终生成了我们所需要的连续的深度等距触发信号。在最终的产品设计中我们利用 PCI-6602 的 5 个计数器通道通过程序初始化控制实现了这个功能。这是我们首次通过使用标准工业数据采集卡实现深度数据的精确读取和触发信号的定距输出，它为整个系统得成功研制奠定了坚实的基础。

(2) 多路复合信号实时同步采集方案设计：

测井数据采集系统通常需要根据定距或定时触发信号对多路直流信号、脉冲信号和数字信号进行实时同步测量。这就需要系统保证对多个采集卡间以及同一采集卡内部的多个测量通道间的数据采集的同一性和实时性，否则得到的数据就不能反映井下仪器在地层中真实状况。我们采用具有 RTSI (实时同步接口) 总线的 NI 6070E 或 NI6024E 用于直流信号的测量，PCI-6602 或 PCI-6601 用于脉冲信号和深度信号的测量，PCI-6534 或 PCI-6533 用于数字信号的测量。系统中任何一块卡都可以根据工作模式的不同作为主卡来生成同步触发信号或用作从卡来接收同步触发信号。我们把主卡产生的同步触发信号加载到 RTSI 总线上，由 RTSI 来同步其它从卡上的各个测量通道的数据采集，各块采集卡采集到的数据都以 DMA 方式传给主机内各自的数据缓冲区。由于整个触发和采集过程都是由系统硬件独立控制完成的，使得各个测量通道的采集延时可以控制在纳秒级。所有采集卡都采用 DMA 模式传输数据，这与以往系统多采用中断模式相比，极大的提高了系统工作效率。

通过 RTSI 总线我们把原来需要通过系统软件轮询依次读取各通道数据的工作方式转变成通过初始化各个采集卡的工作状态，然后由各采集卡 (即系统硬件) 的 RTSI 来控制采集的同步。这种工作方式的转变，不但降低了系统负荷，而且使系统测量的同步性和实时性得到了显著提高。这也是我们选用 NI 公司数据采集卡来实现系统数据采集的一个重要原因。

(3) 复杂编码格式数字信号高速传输与采集模式设计：

由于测井仪器种类繁多，一个设计合理的测井系统，必须考虑能与不同编码格式的井下仪器配接使用。由于 PCI-6534 通常情况下具有 40MS/s 的采样率，我们在系统设计中，充分开发 PCI-6534 的 Pattern I/O 功能，实现了复杂高速传输的的数字的采集和解码，同时根据井下仪器的特点，可以把调理模块触发 PCI-6534 的信号加载到 RTSI 总线上，以同步系统深度和其它数据的采集，也可以通过 RTSI 总线把定距或定时触发信号加载到 PCI-6534 上，以控制数字信号的采集模式。PCI-6534 与系统前端数字信号调理模块配合使用，使系统具备了配接各种传输速率高、编码协议复杂的测井井下仪器的能力。

(4) 直流信号高精度采集方案设计：

有些测井仪器上传的信号中，既有直流量也有脉冲量还有数字量，而且其直流量的采样频率一般要求达到 1MS/s。采集系统除了要完成井下仪器直流信号的高速采集外还要以定时或定距的模式和较低的采样率采集其它直流信号和脉冲信号。我们在设计中，通过对 NI 6070E、PCI-6024E、PCI-6602、PCI-6534 这四块卡综合编程控制，采用多通道多次复合同步触发技术，同时充分开发 PCI-6534 的数字信号模式触

发控制技术，实现了定时或定距触发条件下以高采样率采集井下仪器的直流信号，同时以低采样率采集井下仪器的脉冲信号、井口的直流信号和数字信号的工作模式。这是整个测井数据采集系统设计的难点。

(5) 系统状态及井下仪器控制方案设计：

在系统调理模块和井下仪器状态控制设计中，我们选用 PCI-6601，利用它的 Digital I/O 功能，建立起了一套控制能力强大的 32 位命令输出体系。选用 PCI-6601,主要是为了降低系统的总成本，根据需要也可以选择专门的数字 I/O 卡，或其它多功能卡。

系统软件设计

测井数据采集控制系统软件主要由现场测控及数据采集软件和测后数据分析处理软件构成，在软件开发上，我们选择使用 VC++ 与 NI 公司 Measurement Studio 软件包相结合的开发方式，用 VC++ 开发与操作系统底层相关的程序和曲线打印输出程序，使用 Measurement Studio 和 CVI 提供的类库开发与数据实时采集和曲线显示相关的程序。这种开发方案不但可以对操作系统进行灵活的控制而且充分利用了 NI 公司提供的开发工具，从而极大的缩短了系统软件的开发时间。我们仅用了三个月的时间就完成了系统软件的设计，开发和测试工作。图 2 为系统软件中的脉冲中子氧活化测井及解释软件界面。图 3 为系统软件总体框图。

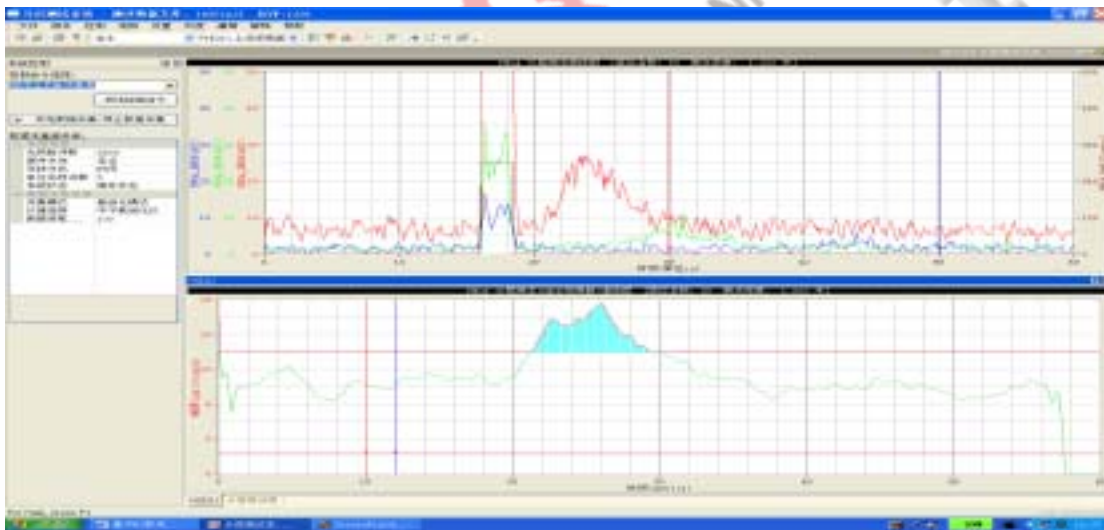


图 2：脉冲中子氧活化测井及解释软件界面

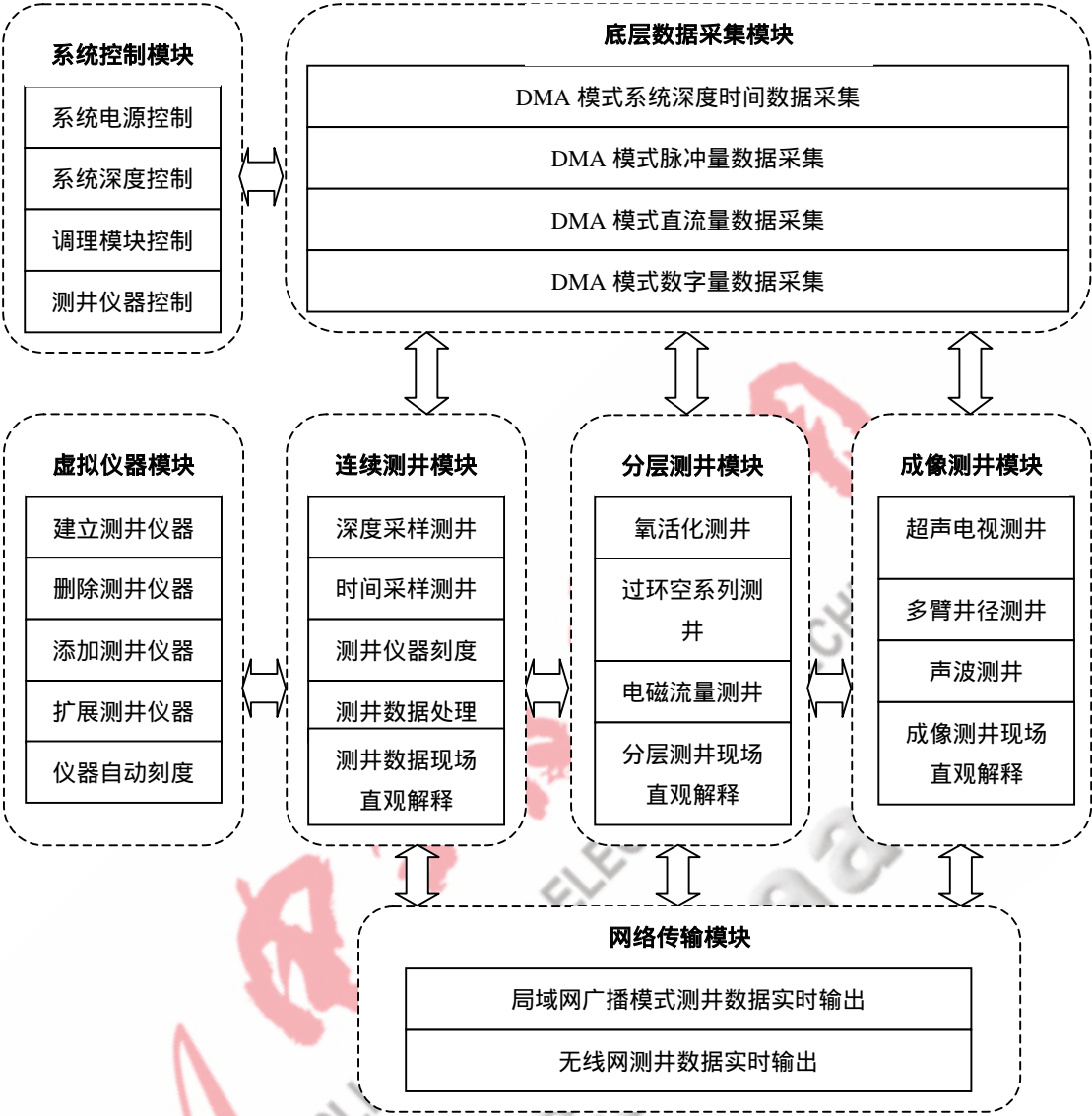


图3 系统软件总体框图

结论

我们使用 NI 公司的数据采集卡和软件开发工具实现了测井数据采集控制系统的基于标准工业数据采集产品的设计与开发。大幅度地降低了系统的开发和维护成本，缩短了系统的开发周期，提高了系统的稳定性和可靠性。此外，我们可以根据用户的需要对系统数据采集卡进行多种组合或把系统更新为 PXI 总线系统，实现功能各有侧重的测井数据采集控制系统。目前这套系统已生产 20 余套，成功应用于大庆油田和全国其它油田，取得了可观的经济效益，具有相当广阔的应用前景。