

# LabVIEW RT 在高速控制系统中的应用

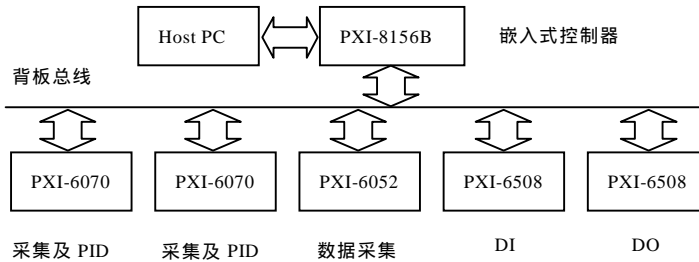
(苏海龙 沈阳东北大学国家重点实验室 110004)

**简介:** 在冶金行业中, 热连轧技术得到广泛地应用, 具体工作过程是将钢坯加热到 1200℃~1600℃, 然后进行保温, 经过规定时间后进行初轧、精轧, 再冷却或淬火等处理, 使钢材的组织性能达到特定的工艺要求, 如普碳钢、船板钢、超级钢等。但一种新钢种的生产工艺确定之前, 必须以小的试样在一种模拟机上做大量的实验, 以免造成浪费。以往这种实验机都是进口, 而且价格昂贵, 因为这种实验机对控制系统要求非常苛刻, 即有一个周期为 2ms 的 PID 控制闭环、一个周期为 10msPID 控制闭环, 同时在 2ms 的 PID 闭环运行的过程中, 大量的数据需要记录和存储, 以便实验后分析处理, 此外还有复杂的逻辑控制, 使用常规的控制手段和设备难以达到要求, 要选用一种既能高速、高精度 PID 控制, 又能高速、大量数据采集的软件和硬件, 因此我们选用了 NI 公司的软件和硬件, 即 LabVIEW RT 和 PXI 嵌入式控制器 因为该软件和硬件完美的结合在精度和速度上完全能达到上述要求。

## 控制系统的硬件结构及功能

### 1 系统结构

根据对被控对象的控制精度、速度、点数等要求来确定控制系统的硬件结构, HostPC 机主要完成编程器、人机交互界面、数据分析及处理等功能, PXI-8156B 通过 PXI 6052E 完成数据采集及数据存储, 用 PXI 6070E 完成 PID 控制, 利用两块 PXI-6508 实现逻辑控制, 该控制系统结构如图 1 示。



该系统的工作原理是, 利用两块 PXI 6070E 分别做温度控制和位移控制, 温度设定值与热电偶的反馈值的差经过 PID 计算后输出控制可控硅输出电压的高低, 使试样被加热到规定的温度并保温一定时间后, 等待变形。位移设定值与反馈值的差经 PID 计算后输出控制超高频响伺服阀的开口度, 使液压缸推动锤头高速打击试样, 使其发生形变, 利用 PXI 6052E 记录下变形过程中试样的横向应变、纵向应变、所受力的变化, 变形过程的温度, 液压缸的位移等参数, 以便分析材料的组织性能。两块 PXI 6508 板用于逻辑控制, 在手动时, 尽管逻辑控制循环周期较长, 为 100ms, 但被控量和检测点较多而且逻辑关系很复杂 (DI 56 点、DO 64 点), 控制加热变压器、液压站的油泵、油冷却泵、真空泵、真空阀、淬火阀、气泵、电磁阀、电控气动阀、面板指示灯、报警蜂鸣器等, 此时对数据采集率要求较低, 只是作为仪表显示功能, 作为操作者控制温度和液压缸的反馈, 因此控制速度较低。手动逻辑控制的部分程序见图 2。

**控制算法:** 控制算法为积分分离式 PID, 主要利用 LabVIEW RT 提供的 PID 算法控件, 引入逻辑判断功能来限制积分项起作用, 这样不仅可以减少超调量, 还可以取得积分校正的预期效果。即在  $T_i$  前乘一个系数  $K_L$ , 当  $E(i) \leq A$  时,  $K_L = 1$ ; 当  $E(i) > A$  时,  $K_L = 0$ ;  $A$  为预先设置的门限值。

温度偏差  $E(i) = SP(i) - PV(i)$ ;  $SP(i)$  为温度设定值 (set point);  $PV(i)$  为从热电偶检测到的温度反馈值。其中  $SP(i)$  的值也是利用 LabVIEW 提供的斜坡发生函数, 根据工艺要求产生的温度设定值数组。

在位移控制过程中, 分为位移模式、力模式和真应变等控制模式, 不同的控制模式就是以不同被测量为反馈值作 PID 控制。

$$\text{应力: } \sigma = 4Fl / (\pi t_0 D_0^2) ; \quad \text{消除机械偏差后的位移值 } \Delta X' = \Delta h + \Delta X + \frac{h_0 + \Delta X}{e^\varepsilon} - h_0$$

$$\text{真应变 } \varepsilon = 2Ln(d / d_0)$$

## 2 硬件连接问题

在进行系统硬件连接之前，一定要仔细阅读所使用的数采卡、I/O 卡的硬件手册，以免造成硬件损坏。如 PXI 6508 数字量 I/O 板，其输入/输出都是 TTL 电平，因此必须注意对电压和电流的限制。在 PXI 6508 板上有一个跳线，即“上拉/下拉”模式，默认为“下拉”模式，此时作为 DI 的外部提供 5V 电源必须串如一个 5.7k 的限流电阻，使外部提供逻辑高电平时的最大电流为 38 微安。PXI 6070E/ PXI 6052E 数采板采集数据时，如果差分输入信号源为移动源，且测信号为直流信号时，信号的负端串一个 10K-100K 的电阻再接到 AIGND，若被测信号为交流信号时，信号的正端/负端要分别串一个 10K-100K 的电阻再接到 AIGND，以消除较大的干扰。此外 PXI 的机壳必须接地，否则在插在 PXI 机箱中卡的接线端子上对地有较高的电位差。

## 3 控制系统的软件

软件部分分为工艺参数输入、PID 控制、数据采集及存储、逻辑控制、数据的回放及处理，故障报警，波形输出等几个部分，另外在逻辑控制还分为自动部分和手动部分。

本系统选择的是 LabVIEW RT 软件，在编程时要严格遵循实时系统的特殊要求，才能充分发挥控制系统响应的确定性、可靠性及嵌入式操作的特性。因此各个部分程序在结构、内存占用等方面必须合理优化，才能使软件达到真正的实时。在自动控制模式下，为了减少程序代码，保证快速 PID 闭环能充分利用 CUP 的资源，所以逻辑控制程序只监测少量的关键量，如“急停”、“系统故障”等，另外程序运行分为两种情况，情况一是在高速打击之前，逻辑控制程序和温度控制程序一起运行，当高速打击时，关掉上述程序，而让 2msPID 和数据记录程序运行，同时要将该子 VI 的执行属性设为“严格定时”的最高优先级，才能保证控制的实时性。在内存管理方面，为了使程序尽量减少使用内存管理器，如动态分配数组、强制数据类型转换等，而在 PID 控制程序的循环之外预先建立数组，在循环内使用相同的数据类型。

我们都知道，将大量的数据存入硬盘的操作很浪费时间，而且为保持控制的实时性，在实时系统中不使用 Cache，这就意味着，我们每次读写操作都要访问硬盘，如果将 2ms 的 PID 闭环控制与多通道数据采集并存储程序同时运行，那么 PID 无法完成，所以必须将它们的运行时刻错开，具体做法是利用 LabVIEW RT 提供的 FIFO 控件，在 PID 循环中，加入数据采集程序，但采集的数据不立刻存入硬盘而写入 FIFO 中，当控制循环结束后，在该循环外面的另一个循环里将 FIFO 中的数据存入硬盘，因为所要记录的数据就是在 PID 控制过程的一段时间内，即在快速打击过程发生的，所以不会遗漏数据，这样提高了文件 I/O 的速度又解决了 CPU 的瓶颈问题。尽管尽量避免跨扇区读写，而每次以 512 个字节为单位写入硬盘，可以提高文件 I/O 的速度，但在不要求频繁读写的情况下，减少文件 Open 和 Close 次数对于节省时间更有效。还有，在数据采集时采用硬件定时，定时准确且速度快。在 PXI 嵌入式控制器中将快速打击结束后，存入 FIFO 中的数据写入文件的子 VI 程序见图 3。

## 数据处理

数据处理程序是一个与控制软件完全独立的程序，在实验结束后，在 host PC 上运行该软件，将存储在硬盘中的数据取出绘制曲线，如温度—时间、位移—时间、真应变—时间、力—时间、力—位移、力—真应变、真应力—真应变等关系曲线，经过一系列的计算确定变形抗力模型等，并将有关的数据、曲线打印输出。

## RT 控制程序的调试

通常在 Windows 系统中，控制过程都比较慢，过程变量的变化可以在屏幕上看到，因此调试比较容易。而在 LabVIEW RT 系统中，由于它是嵌入式操作，即在保证最高优先级循环得到系统资源的前提下，才理会通讯和界面的刷新，如果具有最高优先级循环将系统的资源全部占用，则 LabVIEW RT 无法顾及通讯和界面刷新，我们看到的现象是界面无变化，稍后屏幕上出现“与 RT 系统失去联系”的对话框，但此时嵌入式控制器还在运行，想停止运行，只好关掉嵌入式控制器的电源。那么如何知道我的 PID 循环的控制周期是 2ms 呢？将循环内的 i 对 2 取余数，其输入连到 PID 的 Set Point 端，将 PID 的输出接到示波器上，则在示波器上出现一系列的幅值为 1 的方波，根据方波的周期就可以精确地知道 PID 的实际控制周期。

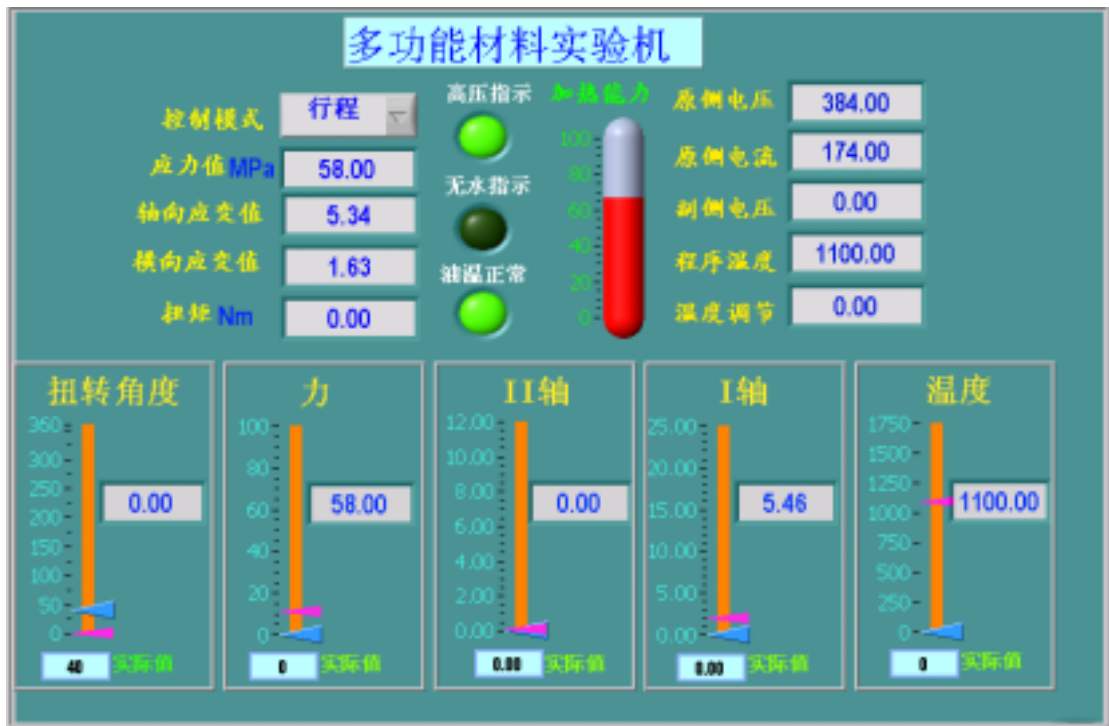


图 1 界面之一

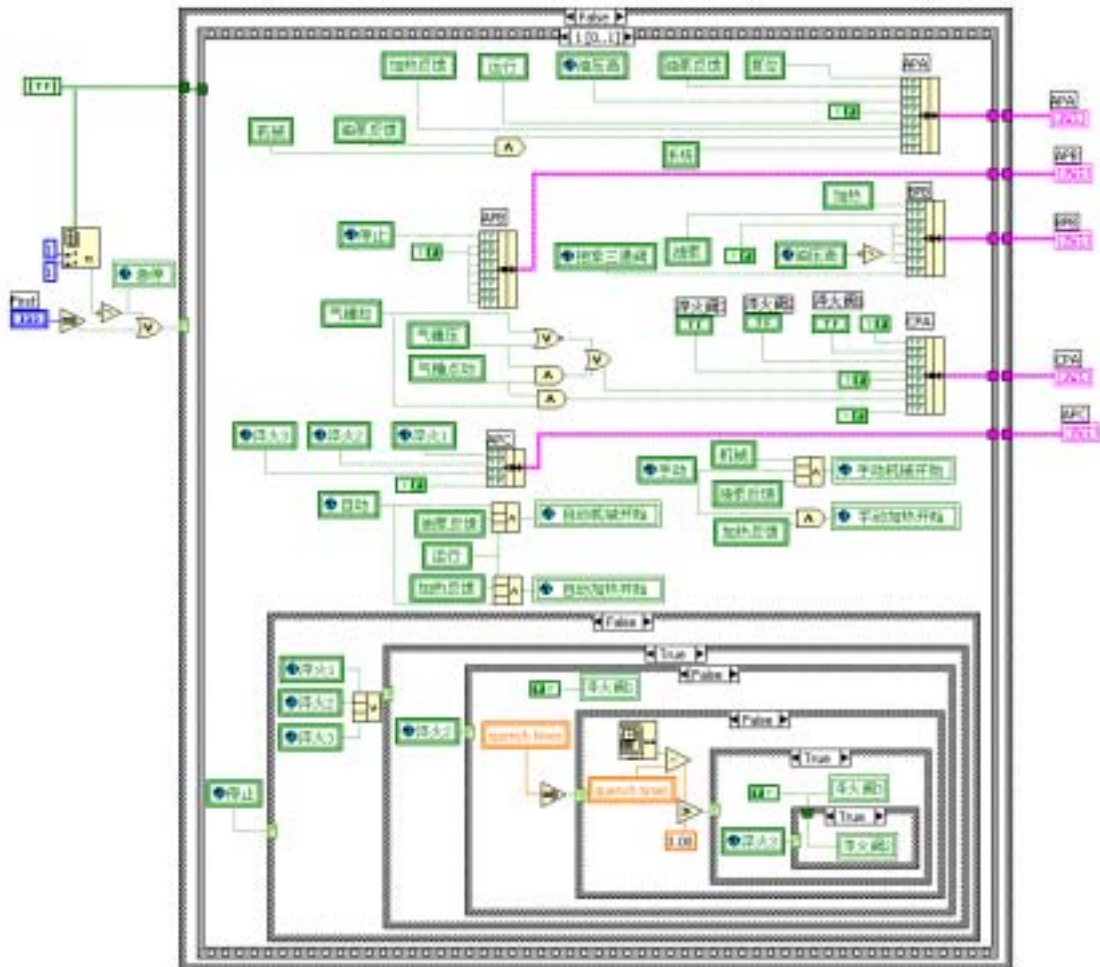


图 2. 部分手动逻辑控制程序

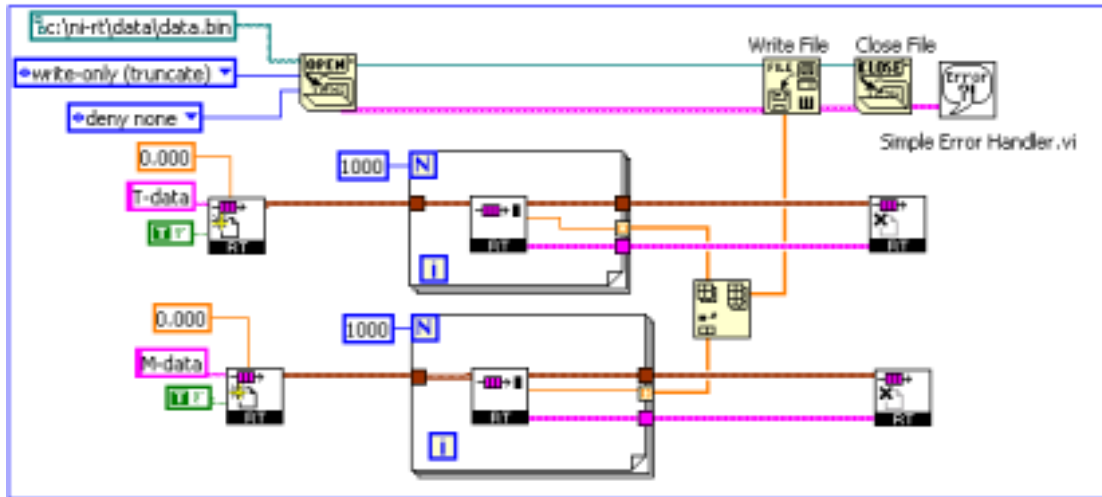


图 3. 将数据从 FIFO 写入文件 SubVI

#### 4. 系统性能评价

目前在自动控制领域中，可用于高速控制的控制器较多如大型工业计算机、DSP 等，但前者虽在高速控制上性能优越，但价格昂贵、而且在大量数据高速采集并存储方面的能力较弱，与之相配套的数据处理软件通常都是组态软件，速度慢而且数据分析、处理能力差。后者尽管价格低，但软件开发调试周期较长。因此综合考虑系统的性能和价格因素，而选用 NI 产品，其硬件和软件的结合既能完成高速实时任务，又具有完成大量、高速数据采集、存储、分析、处理等的功能。另外 LabVIEW 软件采用图形语言编程，软件开发周期短，代码执行速度快，而且 NI 完善的网站提供了强有力技术援助，因此本系统在控制精度、速度等方面达到或基本达到了设计要求。

**5. 总结：**这种实验机不仅应用于冶金行业，还被广泛地应用在军事、航空航天、新材料研制和开发领域等，由于控制采用了 NI 的实时控制系统，极大地缩短了研制开发的周期，另外设备的大部分采用国产部件，使实验机的总体成本大幅度降低，而价格只有国外同类产品价格的四分之一，因此具有广泛的前景和市场需求。