

数字式液压伺服材料试验机

虞吉林

(中国科学技术大学力学和机械工程系)

一、引言

材料试验机已在科研和工程部门大量应用,成为测量材料常规力学性质的基本设备。

随着科学技术的发展,材料试验机的性能也在不断改进,从 50 年代的主要是机电传动材料试验机发展到现在已普遍采用的电液伺服材料试验机。特别是 80 年代后期,由于电子技术的发展,数字技术应用于试验机的控制系统,取代了以前采用的模拟控制系统,试验机的控制性能和测量精度大大提高。

材料试验机多种多样,按试验类型分,大致可分为两类:通用材料试验机和专用材料试验机。

通用材料试验机的应用范围较广,一般都可以进行拉伸、压缩、弯曲、疲劳、蠕变等试验。根据其动作器(actuator)的个数和可以施加的载荷类型,又可分为单轴试验机、双轴试验机和三轴试验机。双轴试验机可以进行双向拉伸/压缩或拉扭复合试验,如纯剪切等。三轴试验机更可以提供三向载荷。

专用试验机是为了某一类型的试验专门设计的。虽然它们可进行的试验种类少,但其工作性能要比通用试验机好。例如,专用的疲劳试验机由于结构紧凑,动态性能好,可以实现更高的加载频率。

由于材料的力学性质通常与温度相关,一些材料试验机还配有环境箱以测量材料在高温或低温时的性能。

本文以 MTS810 材料试验系统为例介绍数字式电液伺服材料试验机。

二、MTS810 材料试验系统的硬件结构

MTS810 材料试验系统的外形见图 1。它属于单轴试验机,其硬件主要包括以下 6 个部分。

1. 加载系统 (Load Unit)

这是试验机的主体部分,包括带有可移动横梁的机架,作动器,伺服阀,各种夹具等以及为提高动态性能而安装在作动器旁的储油器(Accumulator),见图 2。

2. 液压源 (Hydraulic Power Supply)

它为系统提供高压油作为驱动介质，包括高压油泵、油箱和油管等。高压油泵的外型照片见图 3。

3. 传感器 (Sensor)

包括安装在机架上的载荷传感器、位移传感器，用于测量应变的各种引伸仪，用户直接使用的测量用应变片或其它传感器，以及安装在各处用于监视系统工作状态的各种传感器。

4. 数字控制器 (TestStarII Digital Controller)

数字控制器是系统的“心脏”，是计算机和系统其余部分的界面，其中装有一系列对系统各部分进行控制的硬件，包括：

- (1) 管理所有的数字控制功能及数字控制器与试验机的通讯的由多个 CPU 组成的数字处理器 (Processor)。
- (2) 液压动力单元和液压控制板 (Hydraulic Power Unit 和 Hydraulic Service Manifold)。
- (3) 用于控制伺服阀工作的伺服阀驱动模块 (Valve Driver)。
- (4) 用于对位移传感器、力传感器以及引伸仪等其他传感器测得的信号进行处理的多个调节器 (Conditioner)。
- (5) 装有各种输入/输出转换器的转换器架 (I/O Carrier)。
- (6) 用于温度控制和其他远程控制的串行传输和控制器包 (GRES Package)。

5. 加载控制板 (Load Unit Control Panel, LUCP)

加载控制板也称 Pod，可对液压系统直接进行一些简单的操作，用于夹持试件等。

6. 计算机

计算机是系统与用户的主要工作界面，其上运行系统控制软件。用户通过计算机对系统进行操作和控制；同时，它也为用户提供机器运行、测量、报警信息。

此外，根据用户需要，还可配置环境箱，进行不同温度的试验。环境箱采用液氮作为低温的冷却剂，高温则采用电炉加热。

三、MTS810 材料试验系统的软件

MTS810 材料试验系统的基本软件包括 Station Builder 和 Station Manager 两个应用程序，在 Windows2000 操作系统下运行。用户可通过 Station Builder 设定系统工作时硬件资源的基本配置，如，控制通道和控制方式、使用的传感器及对应的调节器、外部输入信号、计算输入信号、模拟量输出信号等，为各类试验建立不同的试验站配置文件(Station Configuration File)。在进行具体试验时，用户通过 Station Manager 调入适当的试验站配置文件，并根据需要建立或调整试验站参数。具体试验均通过 Station Manager 应用程序进行管理。

MTS810 材料试验系统的试验软件主要有 BasicTastWare (BTW) 和 MultiPurpose TestWare (MPT) 两个应用程序。应用 BasicTastWare 可完成不需要复杂的信号管理和模式转换的简单的

试验程序，如单调加载、循环加载等基本操作命令和试验数据获取。用户可以用 MultiPurpose TestWare 编程进行一些复杂的试验程序，包括控制命令、数据采集、事件探测、外部控制指令等。BTW 和 MPT 这两个应用程序的执行均通过 Station Manager 管理。除此以外，厂商还提供多种专用软件，如材料断裂韧性测量、岩石力学试验软件等。

试验站配置文件一般由试验系统管理人员预先建立供用户选用。因此，Station Builder 应用程序不再在此进一步介绍，有兴趣的读者可直接阅读系统软件用户参考手册“Model 793.00 System Software.PDF”的相关章节。这里仅介绍 Station Manager, BasicTastWare 和 MultiPurpose TestWare 三个应用程序。前两个应用程序的详细资料也在系统软件用户参考手册“Model 793.00 System Software.PDF”中，MultiPurpose TestWare 应用程序的详细资料可见 MPT 软件用户参考手册“Model 793.10 MultiPurpose TestWare.PDF”。

由 Station Builder 建立的试验站配置文件的扩展名为“.cfg”。在 Station Manager 应用程序中，用户根据需建立一组试验站参数。系统允许每一试验站配置文件储存最多 15 组试验站参数供以后调用。在 BasicTastWare 应用程序中用户建立的试验程序可以以扩展名“.tst”保存，试验数据文件可存在用户指定的文件中。在 MultiPurpose TestWare 应用程序中，用户可以以试验模板（存于“default.000”文件）为基础，建立具体的试验程序 (Test Procedure)，试验程序文件默认以“.000”为文件扩展名保存。执行一个特定的试验程序进行具体试验时，用户需建立一个“MPT 试件”目录，试验所产生的各种文件（包括数据文件、试验日志文件、所用程序名文件以及恢复文件等）将保存在用户所指定的这个目录中。

1. Station Manager

Station Manager 软件用于对具体试验进行管理。在 Station Manager 应用程序中，用户可根据需建立或调整试验站参数，进行一些基本的操作如开机、安装试件、监视系统运行等，或应用其内置的函数发生器运行简单的试验程序，应用程序 BTW 和 MPT 的执行也要通过 Station Manager 管理。

用户调入试验站配置文件（.cfg）后，可根据试验需要设定或调整试验站参数。

Station Manager 的主窗口见图 4。该程序可完成下列任务：

- (1) 系统标定和调节
- (2) 设定极限和偏差探测器
- (3) 定义和应用一代数式产生计算信号
- (4) 设定信号补偿和稳定性
- (5) 控制液压系统
- (6) 用内置的函数发生器建立简单的试验程序
- (7) 管理应用程序 BTW 和 MPT 的执行
- (8) 用内置的“示波器”(Scope) 和“仪表板”(Meter) 监视信号

1.1 Station Manager 的菜单结构

Station Manager 的菜单结构见图 5。

File Menu

用于建立、打开、保存和打印参数设置,也可用于保存当前的窗口设置供以后恢复。在 **Station Manager** 中设定的试验站参数可保存在相应的试验站配置文件下。当前的系统参数配置可用 **Print Preview** 窗口显示。

Display Menu

用于显示和设定试验站配置(**Station Setup**)和各种监视系统的窗口如“仪表盘”和“示波器”。

试验站配置窗口如图 6 所示,这一窗口定义试验站配置参数组中的基本参数。窗口的左上方是一个导航框,以树状结构显示试验站配置。根据用户在导航框中的选择,在右边显示相应的表格,如:控制通道的状态和参数值,包括输入信号(传感器、调节器、标定文件、量程、偏移、极限等),伺服阀的平衡、颤振信号频率和幅度,调节器和波形补偿器的参数等;试验站信号的状态(数值、连接情况、全量程、标定);数字输入/输出的状态以及状态变化时系统的响应;极限和偏差探测器的状态、设定值和相应的保护动作;等等。

“仪表盘”和“示波器”窗口用于分别显示和设定“仪表盘”和“示波器”的参数。系统允许显示最多 2 块“仪表盘”(至多 16 个试验站信号)和一个“示波器”(至多 2 个 y 轴信号)。

Applications Menu

用于打开 *BasicTastWare* (BTW) 和 *MultiPurpose TestWare* (MPT) 等应用程序。

Tools Menu

用于打开各种工具窗口以增强 **Station Manager** 的效能。包括试验站选项(试验站配置文件和单位规定集(**Unit Assignment Sets**)文件所在目录、主窗口选项等),控制通道选项,传感器文件编辑窗口(用于建立和编辑传感器标定文件),事件-动作编辑窗口(提供用户自定义对极限探测器、偏差探测器等系统事件的响应动作),计算编辑窗口(定义用于计算信号的公式,计算得到的信号可用于驱动伺服阀、作为控制信号或作为数据保存),单位规定集编辑窗口(建立和修改用于试验数据文件以及 BTW 和 MPT 应用程序中的单位规定集(UAS))。

Help Menu

用于访问电子帮助文档和显示版本信息。

1.2 应用程序控制板

应用程序控制板用于对试验站正在运行的应用程序的控制。这些程序包括函数发生器,外部命令,PIDF参数自动调整,BTW和MPT。图7为各应用控制板的按钮和函数发生器窗口。

Function Generator

函数发生器是一个应用程序,它提供一个输出波形来控制伺服阀。程序提供三类命令:周期(Cyclic),扫描(Sweep),随机(Random)。周期命令控制被控量以指定的振幅和频率变化,扫描命令控制被控量以指定的振幅在指定的频率范围内以一定的速率变化,随机命令控制被控量以指定的均方根振幅(RMS Amplitude)在指定的频率范围内随机地变化。可供选择的波形包括正弦波(Sine)、方波(Square)、三角波(Ramp)、渐变正弦波(Sine Tapered)、渐变方波(Square Tapered)、

渐变三角波(Ramp Tapered), 如图8所示。此外, 用户还可选择是否采用波形补偿器(compensator)。

External Command Control Panel

外部命令控制板供用户选择和调整由外部程序提供的命令。用户可指定系统与外部命令振幅中点对应的状态点以及是否在启动和停止时渐变(Soft Start/Stop)。

Auto-Tuning Control Panel

用户可通过自动调整控制板由系统自动选择各调节器的PIDF参数。关于闭环控制、调节器、PIDF控制模式等概念, 将在第四章介绍。

BTW和MPT应用程序将在后面专门介绍。

1.3 试验站控制板

试验站控制板如图 9 所示, 用于对试验站应用程序的开始、暂停、停止等进行一般控制, 同时用于液压系统的开停机, 提供有关系统 Error、Limit、Out of Range 探测器的状态信息, 系统自锁指示和复位等功能。

通过控制板的工具条可以打开不同的窗口。Signal Auto Offset 窗口用于监视试验站的各路信号, 也可用于对信号进行自动偏置。Detectors 窗口用于显示极限探测器和误差探测器的状态或用于改变极限值。Digital I/Os 窗口用于显示数字输入/输出的状态或手动改变数字输出状态。Manual Command 窗口提供对控制通道的手动控制。Setpoint and Span 窗口用于调整控制通道的设定点和工作量程。

探测器监视系统信号并在用户设定的条件下作出相应的动作。极限探测器监视传感器的反馈信号, 当传感器的反馈信号超过规定的极限时触发一探测器动作。误差探测器监视控制信号和传感器反馈信号的偏差, 当偏差超过规定的极限时触发一探测器动作。系统已定义了 7 个探测器动作: 无动作(Disabled), 显示(Indicate), 关机(Station Power Off), 自锁(Interlock), 程序自锁(Program Interlock), 程序终止(Program Stop), 程序暂停(Program Hold)。用户也可以自己定义监测到出错信号后的保护动作即用户定制动作(Custom Action), 用户定制动作可在 Tools Menu 的事件-动作编辑窗口(Event-Action Editor)编辑。

2. BasicTastWare (BTW)

BasicTastWare (BTW)可完成简单的试验程序, 其主窗口和工具条分别如图 10 和图 11 所示。

通过 BTW 窗口, 用户可定义基本的试验命令, 设置数据获取、峰值监测、系统复位(Return Home)按钮、试验计数器等。

在 BTW 主窗口通过工具条打开 Test Setup 窗口, 即可编辑试验程序。

2.1 定义试验命令

基本的试验命令包括 Cyclic 和 Monotonic 命令。Cyclic 命令的基本波形有正弦波(Sine)、方波(Square)和三角波(Ramp), 包括在开始和结束时渐变过渡的波形。Monotonic 命令从一个水平开始线性地变化并终止于另一个水平。

2.2 设置数据获取

BasicTastWare 的数据获取方式有四种：定时(Timed)，峰值/谷值(Peak/Valley)，动态最大/最小(Running Max/Min)和水平跨越(Level Crossing)。

定时方式按用户指定的时间间隔记录用户选择的所有信号。

峰值/谷值方式在每当软件检测到用户指定的主信号(Master Signal)达到峰值或谷值时记录用户选择的所有信号。用户需指定峰值/谷值检测的灵敏度。

动态最大/最小方式记录用户选择的所有信号在试验中所达到的最大值和最小值。

水平跨越方式在用户指定的主信号变化达到规定的大小时记录用户选择的所有信号。

数据首先存于一缓冲器，然后再写入用户指定的数据文件。用户可指定缓冲器的大小和类型。线性缓冲器(Linear buffer) 在写满后即写入数据文件，盘状缓冲器(Circular buffer)在写满后将覆盖前面的数据。

2.3 设置峰值监测

设置峰值监测是为了保证反馈信号在用户规定的偏差范围达到了程序设定的峰值/谷值。用户可规定供比较的参考峰值/谷值，系统默认的参考峰值/谷值为第一个峰值/谷值。

当峰值或谷值超出规定的偏差范围时，系统触发用户指定的探测器动作。

2.4 设置系统复位按钮

设置系统复位按钮可在不进行试验时将动作器容易地回到一个默认的或初始的位置。用户可指定复位控制模式（载荷/位移）、绝对水平和复位时间。

2.5 设置试验计数器

运行循环命令时用户可预设试验的循环(Cycle)数或片段(Segment)数（一个循环等于两个片段）。在当前计数达到预设值时，系统停止。

2.6 试验设置文件

试验设置以扩展名“.tst”保存，默认的文件目录为C:\tsiim\btw。此文件包括试验命令（命令类型、试验控制通道），数据采集定义（类型、信号、缓冲器大小和类型），数据文件定义（文件名、数据头、文件格式）。

当前的试验设置可通过工具条的Print Test按钮打开Print Preview显示。

3. MultiPurpose TastWare (MPT)

MultiPurpose TastWare (MPT)是一个多用途应用软件，供用户编辑和运行各种材料试验程序。应用 MPT 软件可建立包括命令、数据获取、事件探测、外部控制的复杂试验程序，实时监视趋势或疲劳数据。

MultiPurpose TastWare (MPT)控制板通过 Station Manager 的 Application 菜单打开，见图 12。

应用 MPT 软件进行材料试验，用户可以以一个默认程序模板(Default Procedure Template)为基础，改变试验参数，建立具体的试验程序 (Test Procedure)。默认程序模板用于描述一类试验，例如高周疲劳。它定义了进行这类试验所包含的基本任务序列和默认的试验参数。默认程序模板文件以文件名“default.000”保存，不同的默认程序模板文件需保存在不同的文件目录中。具体的试验程序文件以“.000”为文件扩展名保存在默认程序模板所在的目录，供以后调用。一个默认程序模板可以有很多不同的试验程序，这些试验程序的参数不同，但程序结构以及由 MPT Options Editor 设定的优先选择(Preference)如数据文件格式、程序暂停行为、单位规定集等与默认程序模板相同。新的试验程序也可在已有试验程序基础上修改得到。

3.1 过程

默认程序模板中将整个试验过程划分为一系列过程(Process)，这些过程构成一定的逻辑组合。一些过程也可组合成一个组过程(Group Process)，相当于一个子程序，可在主程序或另一个组过程内运行。

一个过程定义了试验过程中的一个实际动作。软件提供了一系列过程，按其功能可分为 5 类，即：命令过程(Command Process)，数据获取过程(Data Acquisition Process)，事件过程(Event Process)，外部控制过程(External Control Process)和其它过程(Other Process)。所有可用的过程都显示在过程调色板(Process Palette)上，供用户在编辑程序时调用。过程调色板如图 13 所示。

(1) 命令过程

片段命令 (Segment Command)：产生一信号命令控制伺服阀进行单向动作，其形状可为半正弦 (Sine)、斜坡 (Ramp) 或阶跃 (Square)。

循环命令 (Cyclic Command)：产生一信号命令控制伺服阀进行循环动作，每一循环包含两个片段，其形状可为正弦波(Sine)、三角波(Ramp)、方波(Square)或渐变的正弦波(Sine Tapered)、三角波(Ramp Tapered)、方波(Square Tapered)，参见图 8。

保持命令 (Dwell Command)：产生一信号命令使系统保持当前状态。

仿形命令 (Profile Command)：根据用户以系统规定的格式用文本编辑器或系统提供的仿形文件编辑器(MTS Profile Editor)事先编制的仿形文件(Profile file)的内容执行一系列单调命令。关于仿形文件的建立，读者可参考 MPT 软件用户参考手册“Model 793.10 MultiPurpose TestWare.PDF”的相关章节，这里不再详细介绍。

外部命令 (External Command)：供用户用外部输入信号控制伺服阀。除了设定控制通道、控制方式、外部信号平均电平、输入信号的放大倍数外，为保证从当前命令到外部命令的平稳过渡，用户可设定由初始状态过渡到外部信号平均值的速率、振幅由零放大到全幅值的速率等参数。

(2) 数据获取过程

峰值/谷值获取 (Peak/Valley Acquisition)：在主记录通道的信号处于峰值和谷值时将试验数据记录到试验数据文件中。

定时获取 (Timed Acquisition): 定时将试验数据记录到试验数据文件中。

最大/最小值获取 (Max/Min Acquisition): 将试验数据的最大值和最小值记录到试验数据文件中。

水平跨越获取 (Level Crossing Acquisition): 在主记录通道的信号改变量达到给定的值时将试验数据记录到试验数据文件中。

高速定时获取 (High Speed Timed Acquisition): 用于记录短时爆发的经调节器处理的传感器信号，通常其启动和停止由其它事件触发。

循环获取 (Cyclic Acquisition): 循环获取过程监视传感器的反馈信号，获取定时(Timed)、水平跨越(Level Crossing)、定时和水平跨越交错(Interleaved Timed and Level Crossing)、峰值/谷值(Peak/Valley)数据记录到试验数据文件中。

疲劳获取 (Fatigue Acquisition): 疲劳获取过程是一个用于在疲劳试验中以矩形统计图记录循环数和损伤数的过程，它同时周期性地将信息送到疲劳监测应用程序(Fatigue Monitoring application)供实时监控。

输入历史获取 (Time History Input Acquisition): 输入历史获取过程将模拟试验数据数字化后记录到数据文件中。

趋势获取 (Trend Acquisition): 趋势获取过程收集信号数据，计算 5 个统计趋势值：最小值、最大值、平均值、均方根值和标准差记录到数据文件中。它同时周期性地将信息送到趋势监测应用程序(Trend Monitoring application)供实时监控。

(3) 事件过程

数据极限探测 (Data Limit Detector): 当所监视的信号（时间、控制通道的段数，传感器信号等）达到指定值（绝对值或相对值）时，发出触发信号，过程结束。可以指定达到极限值的方向。这一过程并非用于保护设备，而是用于触发另一过程的开始或结束。

数字输入探测 (Digital Input Detector): 用于监视数字输入口的电平或继电器开关的状态或状态变化。任一输入口出现所设定的状态或发生所设定的状态变化时，过程结束并发出触发信号。

操作员事件 (Operator Event): 为操作员提供手动改变试验进程的途径。试验中用户可设定多个操作员事件，但最多可同时在屏幕上显示 4 个“按钮”供操作员操作，对应于 4 个独立的操作员事件。按钮可设为单次使用或连续使用，一操作员事件结束后闲置的按钮可用于新的操作员事件。这一过程可用于手动结束一命令过程、保持当前试验状态、开始一个数据获取过程，等等。

峰值/谷值变化探测 (Peak/Valley Change Detector): 当所监视的信号峰值和谷值与参考值的偏差超过用户设定的允许值时，发出触发信号，用于触发另一过程的开始或结束（当选择单次触发时）；或用于多次触发数据获取过程（当选择连续触发时）。当选择单次触发时，参考值为所探测到的第一个峰值和谷值；当选择连续触发时，每次触发后过程自动探测新的

峰值和谷值作为参考值。用于控制的信号通道不能作为这一过程的被监视信号。

程序事件 (Program Event): 用于当试验状态发生变化时触发另一个过程。可用的试验状态包括运行(Running), 进入保持(Entering Hold), 保持(Hold), 退出保持(Exiting Hold), 进入停止(Entering Stopped), 停止(Stopped)和退出停止(Exiting Stopped)。对停止或保持状态, 这一过程主要用于触发一数字输出过程以控制外部设备。

周期时间事件 (Periodic Time Event): 用于按指定时间间隔周期性地触发另一个过程。

破坏探测 (Failure Detector): 破坏探测过程监视信号, 根据试件的破坏准则判断破坏是否发生并在破坏发生时结束过程。破坏准则以被监视信号的最大(最小)值为参考, 如, 在拉伸试验中用户可指定当载荷下降到最大值的 75%时可认为试件已破坏。

(4) 外部控制过程

数字量输出 (Digital Output): 在数字控制器的数字量输出口输出逻辑信号(高/低电平)。控制动作包括高电平、低电平、翻转或一定宽度的翻转脉冲, 各通道可独立设置。

温度控制 (Temperature Control): 过程向外部的温度控制器输出一温度控制命令, 并监视温度控制器返回的当前温度和/或环境箱内另一个热电偶测得的温度。用户可设定最终温度值和升/降温速率。此外, 用户还可分别设定控制器返回温度和另一热电偶测得温度的容差, 当温度连续保持在容差范围内达到用户指定的时间时, 过程完成。此后可继续保持温度控制或不再进行温度控制。过程完成信号可用于触发另一过程。

(5) 其它过程

程序控制 (Program Control): 与其它事件探测过程结合, 用于显示或/和记录警告信息以及在试验完成前终止试验。过程执行的动作有: 仅显示信息(Message Only)、程序挂起(Program Hold)、程序终止(Program Stop)、程序暂停(Program Pause)、程序继续(Program Resume)、终止试验(Program Error)、终止试验并卸压(Station Power Off)、终止试验并卸压自锁(Interlock)、程序自锁(Program Interlock)等。

组 (Group): 组过程相当于一个子程序, 由若干构成一定的逻辑关系的过程或组过程组合而成, 由用户规定其开始、结束条件和执行次数等参数。

操作员信息 (Operator Information): 在屏幕上显示一个窗口, 要求或提供操作员输入与本次试验有关的信息, 存入试验数据文件。例如, 输入操作员标识、部件名称、试验类型、试件编号、试件的相关信息等。通常在试验的开始或/和结束时运行这一过程。

启动应用程序 (Start Application): 这一过程开始另一个应用程序。如, 在试验完成后, 程序自动启动记事本(Notepad) 应用程序显示包含试验数据的试件数据文件。

数据显示 (Data Display): 在试验命令执行过程中获取用户指定的信号并画在屏幕上。用户可指定多个图形配置, 每个对应于一个类似于“示波器”的图形窗口。

温度数据获取 (Temperature Data Acquisition): 将温度数据记录到试验数据文件中。数据只能用“定时”(Timed) 方式采集, 且最快采样间隔为 2 秒。

3.2 程序编辑

在编辑试验程序前，首先要制定试验计划，包括：① 确定试验目的和要求的试验信息，如载荷和控制方式、需要获取的数据、需要监视的信息、试验终止的控制等；② 检查试验环境，如试验机的主要参数、可用的传感器、试件尺寸等。

用户可通过 MPT 控制板工具条上的按钮  进入 MPT 程序编辑器(MPT Procedure Editor)，如图 14 所示。

编辑试验程序时，首先将为完成试验所需要的过程从过程调色板放入程序表格；然后对每一个过程赋以参数和逻辑次序信息，采用组过程的则将组过程包含的过程放入组表格；最后，用 MPT Options Editor 设定优先选择(Preference)如数据文件格式、程序暂停行为、单位规定集等。

MPT 软件用户参考手册“Model 793.10 MultiPurpose TestWare.PDF” 35-66 页给出了一个编辑试验程序的具体例子可供参考。

每个过程（或组过程）要规定一个过程名。一个可以执行的试验程序必须将所有过程赋以正确的逻辑次序，以使所有过程在适当的时刻开始和终止。为此，在程序表格中，除过程名外，还必须设定每个过程的开始(Start)和终止(Interrupt)条件，并规定整个程序的终止(Procedure is done when)条件。同样，在组表格中必须设定每个过程的开始(Start)和终止(Interrupt)条件及组过程的终止条件(Group is done when)。默认的过程终止条件为过程任务完成(none)，默认的程序（组过程）终止条件为程序（组过程）中所有过程终止。

可以作为过程开始、终止以及程序（组过程）终止条件的信号有：程序开始信号(<Procedure>.Start)，程序中断信号(<Procedure>.Interrupt)，组开始信号(<Group>.Start)，组中断信号(<Group>.Interrupt)，另一过程的结束信号(*process name*.Done)。每个过程在任务完成或被另一信号中断时都自动产生一个过程结束信号。除此以外，某些数据获取过程产生的缓冲器满信号(buffer full)，某些事件过程也能产生触发信号。多个信号可同时作为一个过程开始、终止或程序（组过程）终止的条件。此时，任一条件满足系统即作出响应。反之，一个信号可作为多个过程的开始、终止及程序（组过程）终止的条件。

在同一时刻，必须而且只能有一个命令过程运行。非命令过程需要与命令过程同时运行。应该将前一个命令过程的结束作为下一个命令过程的开始条件。

在试验程序中，如需要重复执行一个或多个过程，可以采用组过程。用户可设定组过程的循环次数。

3.3 MPT 试件和 MPT 试件编辑器

当用一个特定程序进行一个试验时，MPT 应用程序将试验中产生的一系列数据文件保存在一个文件目录下。这些文件包括 Specimen.dat (试验数据文件)，Specimen.log (试验记录文件)，Specimen.mpp (记录最后一次运行的程序设置的试验恢复文件)，Specimen.mps (记录被中断的试验的状态的试验恢复文件)，Specimen.prm (试验程序名文件)，Specimen.lck (防止其它试验站访

间的临时控制文件)等, 我们将这些文件称为一个“MPT 试件”, 其默认位置为 c:\mts793\mpt\specimens。用户可通过 MPT 控制板工具条上的按钮  进入 MPT 试件编辑器 (MPT Specimen Editor)。

每次试验, 用户必须把一个新的或已有的 MPT 试件连接到一个试验程序。当对已有的 MPT 试件进行新的试验时, 软件默认对 Specimen.dat 文件和 Specimen.log 文件进行添加, 对其它文件进行覆盖。用户可将对 Specimen.dat 文件的操作改为覆盖, 也可在数据获取过程设定将数据存于一个另行指定的文件名。

四、数字式电液伺服材料试验机的控制原理

1. 数字式电液伺服材料试验机的控制系统

为了提高控制精度, 数字式电液伺服材料试验机采用数字式闭环控制。闭环控制的基本原理见图 15。由传感器来的反馈信号与命令信号进行比较, 其误差经数字处理后用于控制伺服阀以消除该误差。MTS810 材料试验机采用的基本控制模式为 PIDF 控制模式。此外, 还有 CLC 控制模式, 它主要用于安装试件。这里仅就 PIDF 控制模式作一简单介绍。

PIDF 分别对应于比例 (Proportional)、积分 (Integral)、微分 (Derivative) 和前馈 (Feed Forward) 控制。MTS810 材料试验机采用的 PIDF 控制模式框图见图 16。

比例控制是最基本的控制模式, 它直接将误差信号进行放大作为伺服阀的控制信号。但是, 闭环调节系统总存在一定的时间滞后, 例如系统的惯性等。当比例增益过大时, 由于系统响应的滞后, 可能引起系统振荡。而当比例增益过小时, 动态情况下会出现较大误差。图 17 显示了当命令信号为方波时, 不同比例增益得到的响应, 其中灰色的粗线表示命令信号, 黑实线表示传感器的反馈信号。

由图 17 可以看出, 在动态情况, 仅用比例控制无法达到良好的动态性能。为改善系统的动态响应, 可以引入微分控制。微分控制将反馈信号的导数加入到伺服阀控制信号中, 也就是说, 它将反馈信号的变化率预先考虑进去, 当变化过快时减慢系统的响应。加入微分控制可以有效地减少系统响应的过冲和振荡, 但微分增益太大会降低系统的响应, 甚至导致系统失稳, 如图 18 所示。

比例控制无法彻底消除误差, 因为其前提就是当前时刻有误差存在。为了克服这一缺点, 可以引入积分控制。积分控制将误差信号的积分作为伺服阀的控制信号, 它可以改善伺服阀命令的低频响应。在理想的静态情况即命令信号和系统其它状态不变时, 只要时间足够长, 就可以消除误差。在动态情况下, 它能保持平均值并缩短瞬时过程的回复时间。图 19 显示了输入阶跃命令时, 不同积分增益时系统的响应。注意, 当积分增益过大时, 系统会出现过冲甚至低频振荡。

前馈控制与微分控制类似, 但它引入的是命令信号的导数, 即将命令信号的变化直接加入到伺服阀控制信号中, 用于改进系统的动态响应。前馈控制可用于抑制加载系统的固有振荡, 也可用于减少相滞后。当用载荷控制对软试件进行试验时也需要加入前馈控制。

CLC 控制模式框图见图 20。

2. PIDF 参数的调整

PIDF 参数直接影响系统的动态性能。因此，当需要进行高质量的动态试验时，PIDF 参数的调整非常重要。不同的控制方式采用不同的传感器，因而有不同的 PIDF 参数。但是，由于试件本身也属于闭环系统的一部分，系统的最优 PIDF 参数还随具体的试验而异。

TestStar II 在 Station Manager 中有一个 Auto Tuning Control 板，可以由系统自动调整 PIDF 参数。虽然得到的参数比较保守，但较安全。通常，调整时需放入试件。为了避免不必要的损失，常用一个材料性质与真实试件类似但比较便宜的假试件代替。PIDF 参数的调整必须万分小心，稍有不慎即可造成事故。因此，没有经验的操作人员轻易不要进行手动调整。即使一定要手动调整 PIDF 参数，也最好采用比较安全的三角波，尽管方波是 PID 参数调整的最理想波形。调整的顺序详见系统软件用户参考手册“Model 793.00 System Software.PDF”有关章节。

3. 补偿器 (Compensator)

补偿器将传感器的反馈信号与命令信号进行比较，当发现偏差时，程序逐渐调整伺服阀命令信号直至偏差消失。系统提供多种补偿器以提高控制精度。当采用周期加载时，峰值/谷值补偿器 (Peak/Valley Compensator, PVC) 用于补偿幅度和平均值的误差，幅度和相位控制补偿器 (Amplitude and Phase Control Compensator, APC) 用于补偿相位和幅度的误差。前者可用于正弦波、三角波和方波，后者只能用于正弦波。其它补偿器的功能可参见系统软件用户参考手册。

2004 年 5 月第二版

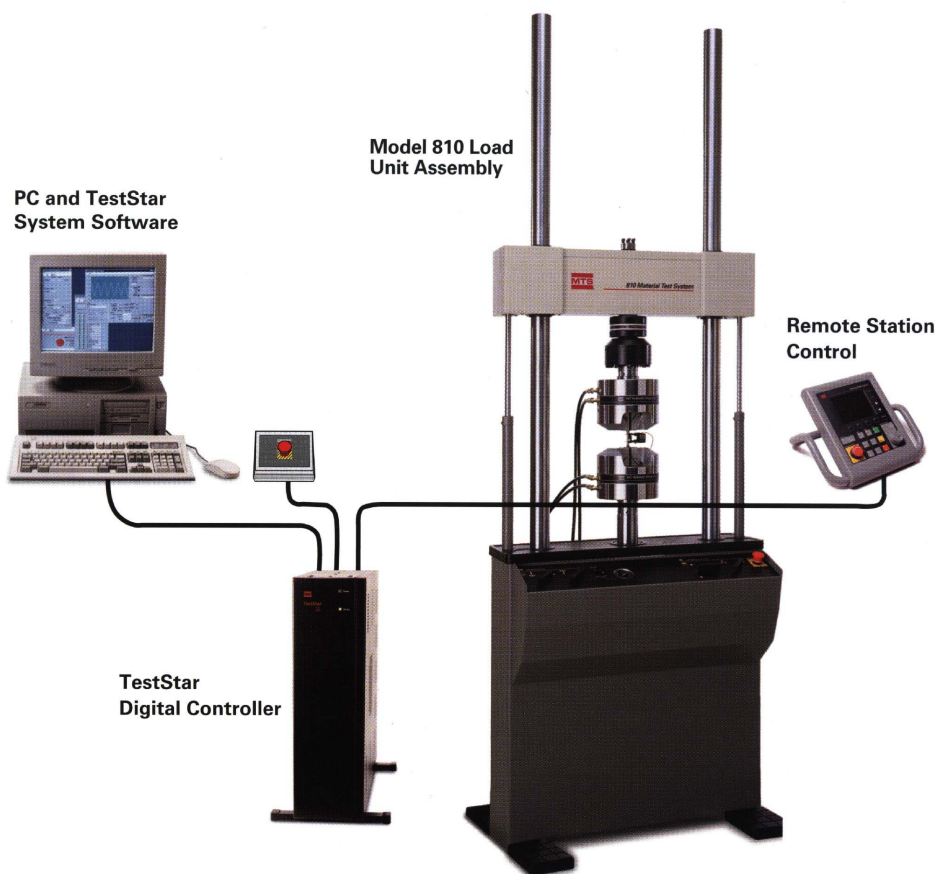


图1 MTS810 材料试验系统

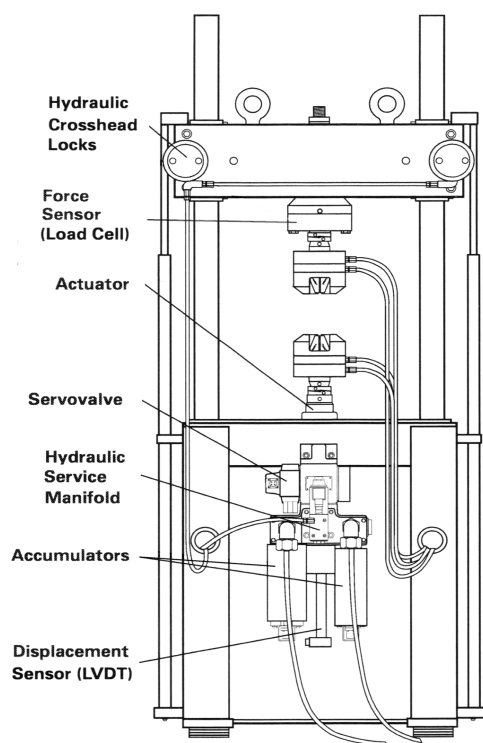


图2 加载系统(背面)

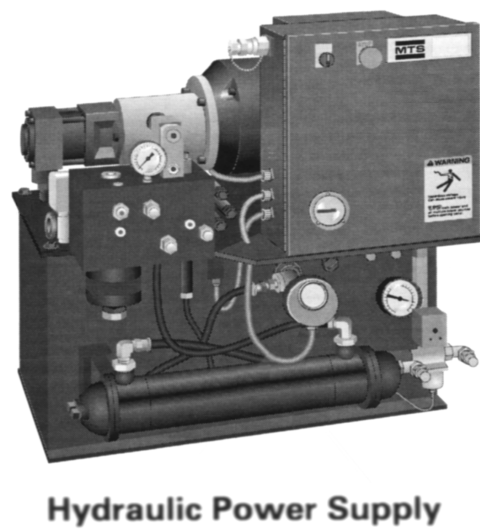


图3 高压油泵

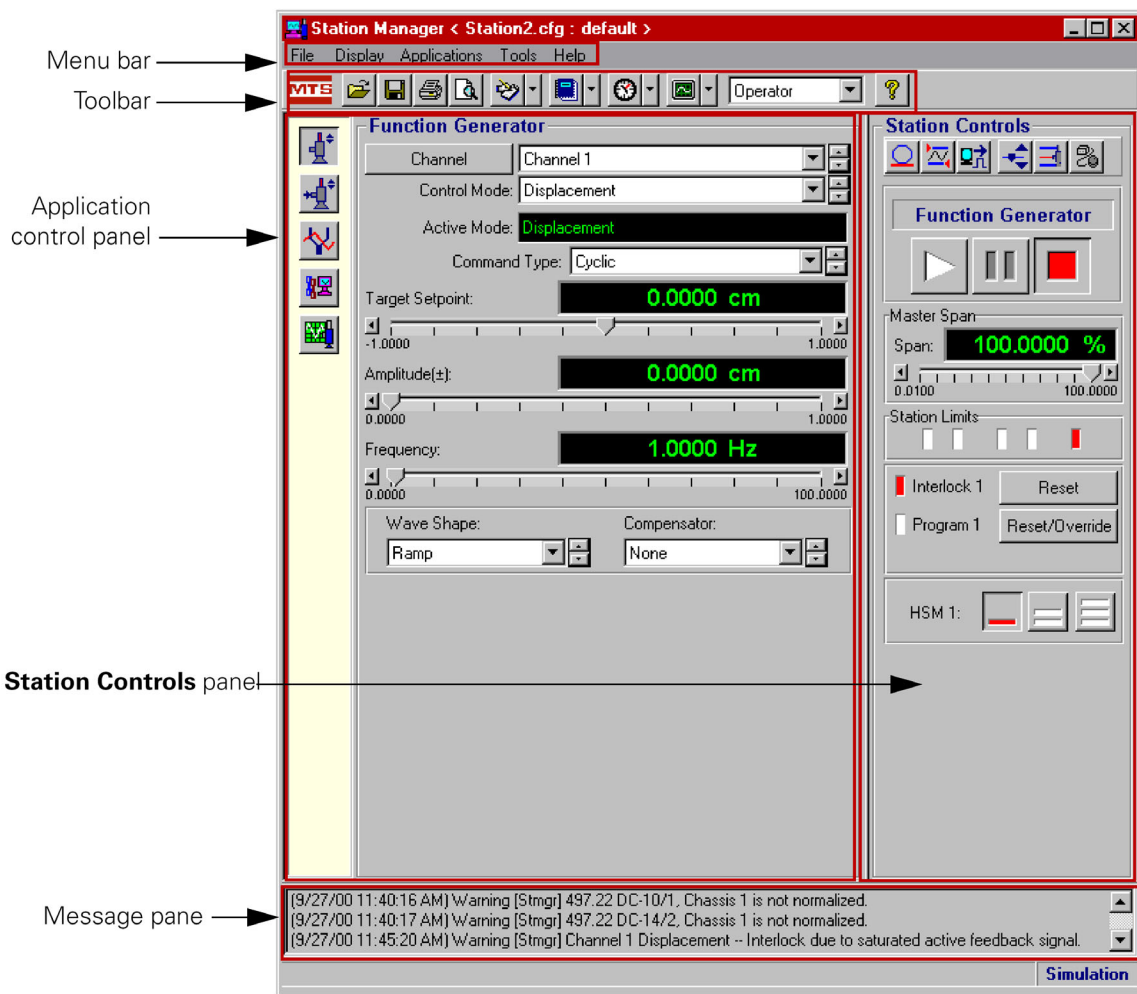


图 4 Station Manager 的主窗口

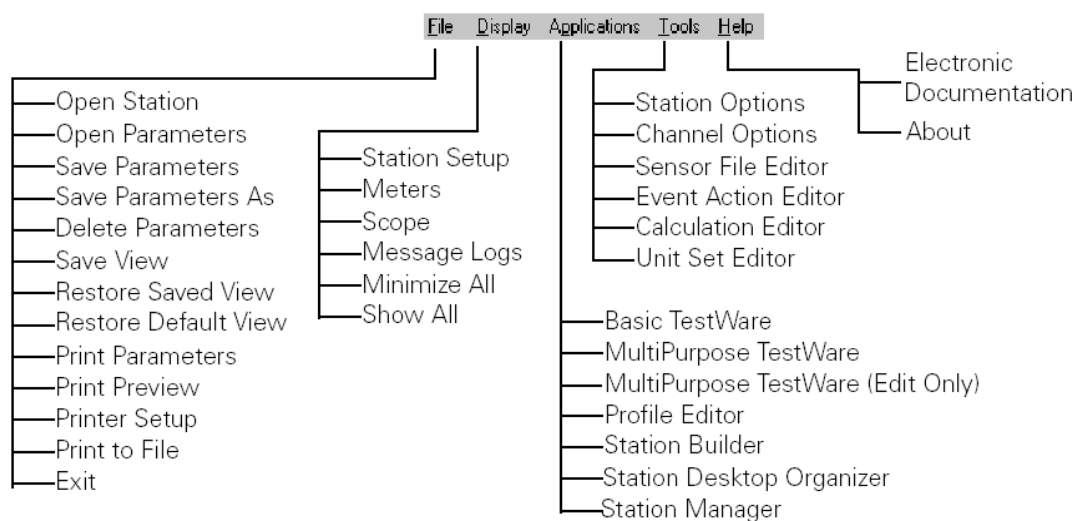


图 5 Station Manager 的菜单

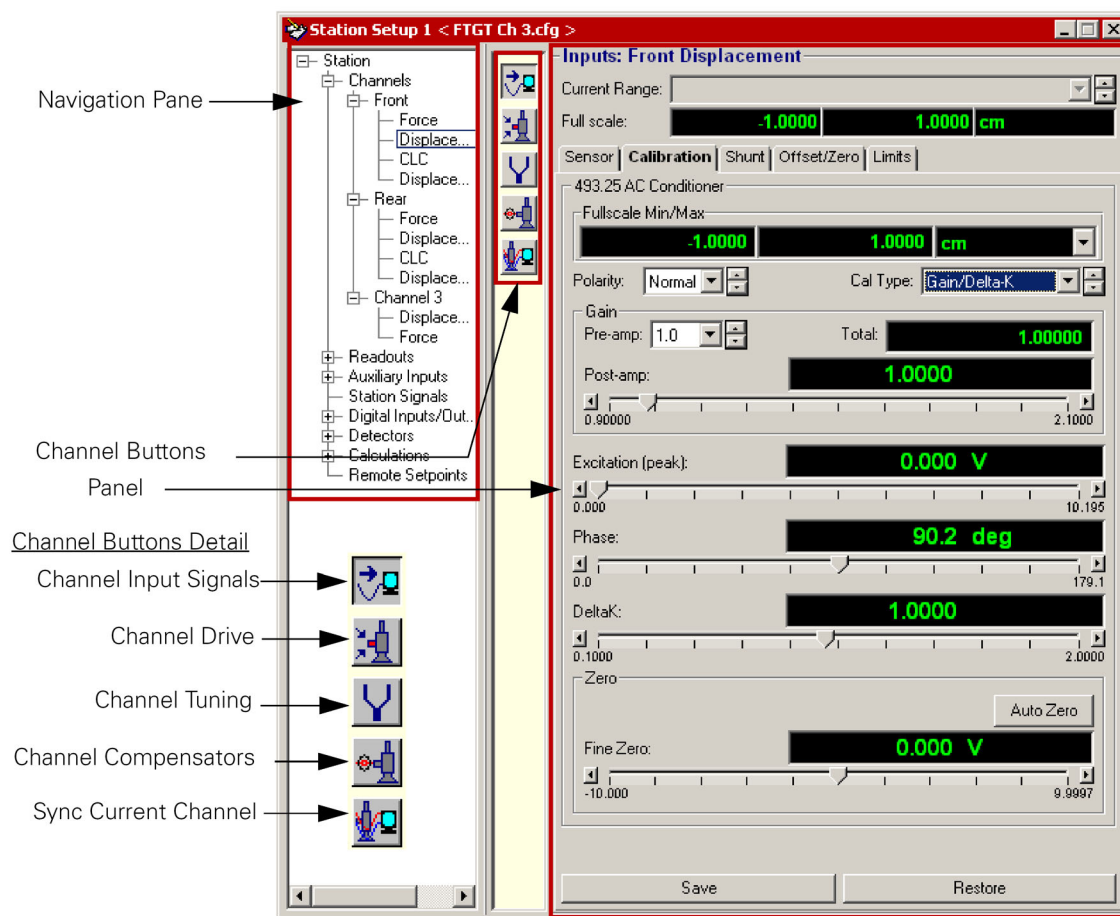


图 6 Station Setup 窗口

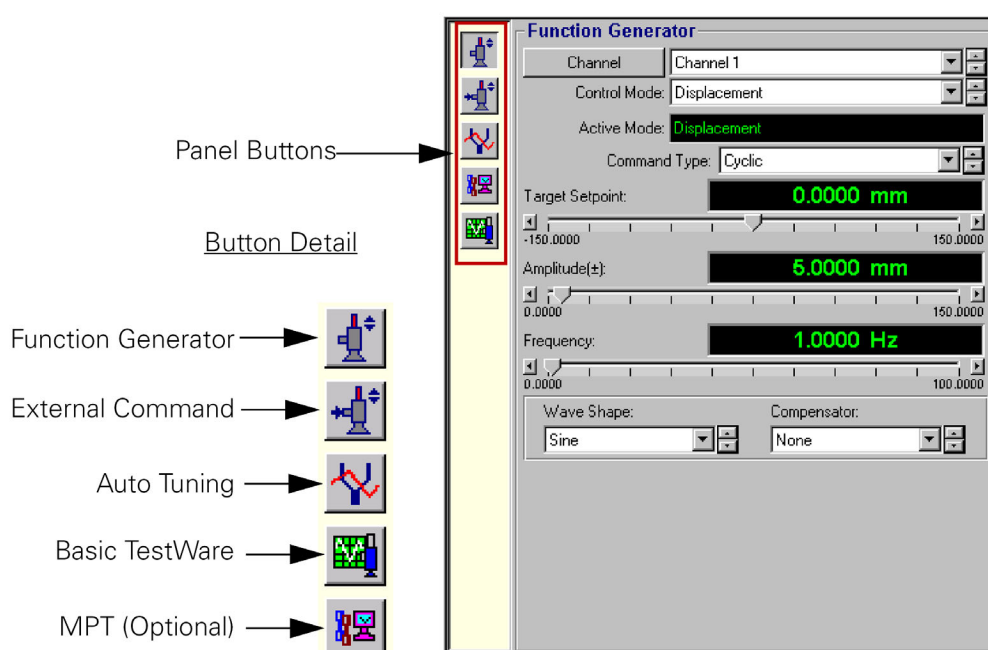


图 7 应用控制板按钮和函数发生器窗口

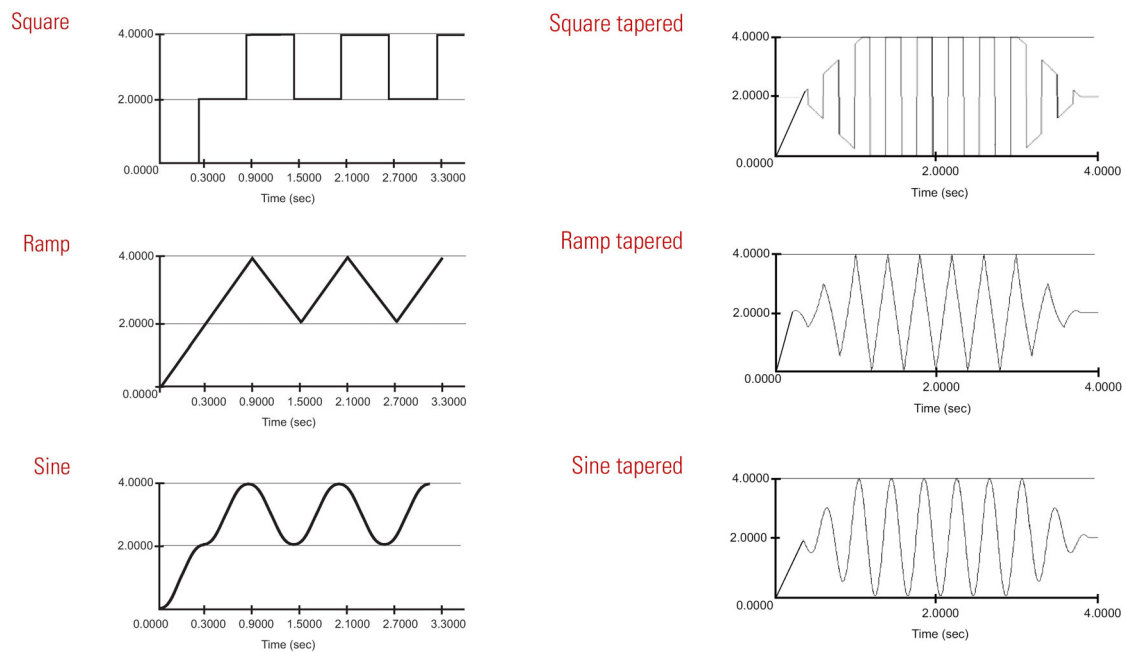


图 8 函数发生器可以产生的波形

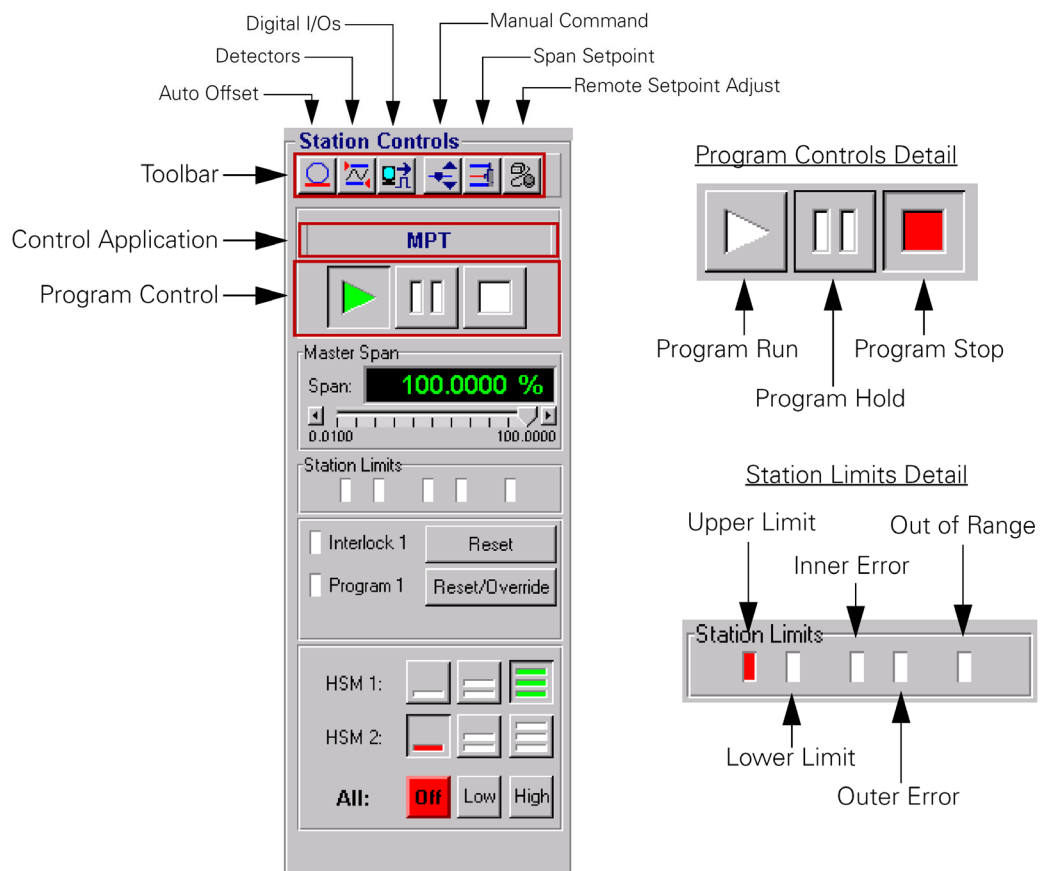


图 9 试验站控制板

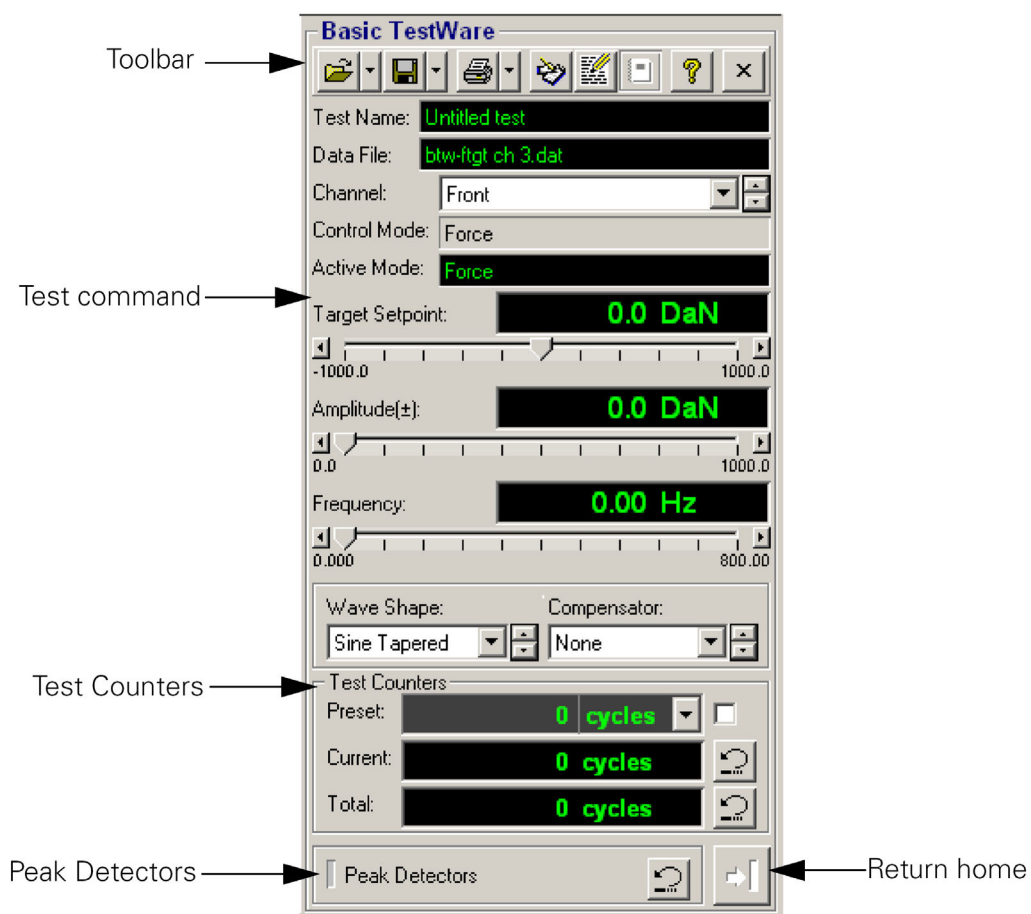


图 10 Basic TestWare 的主窗口

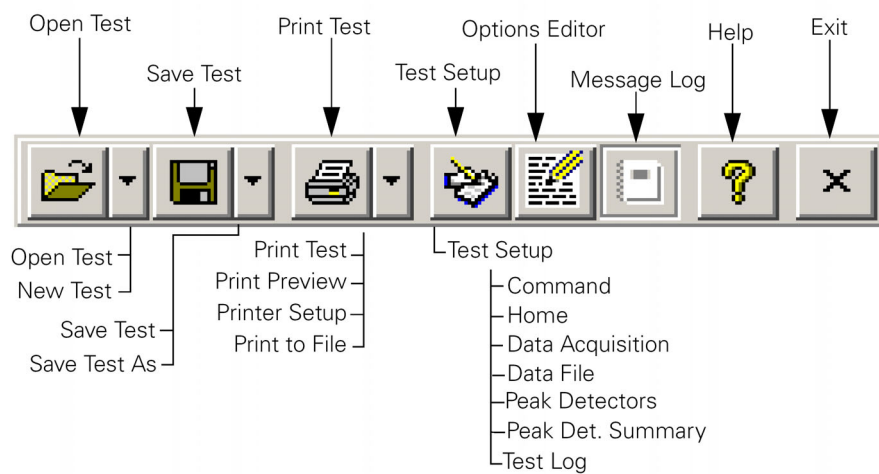


图 11 Basic TestWare 的工具条

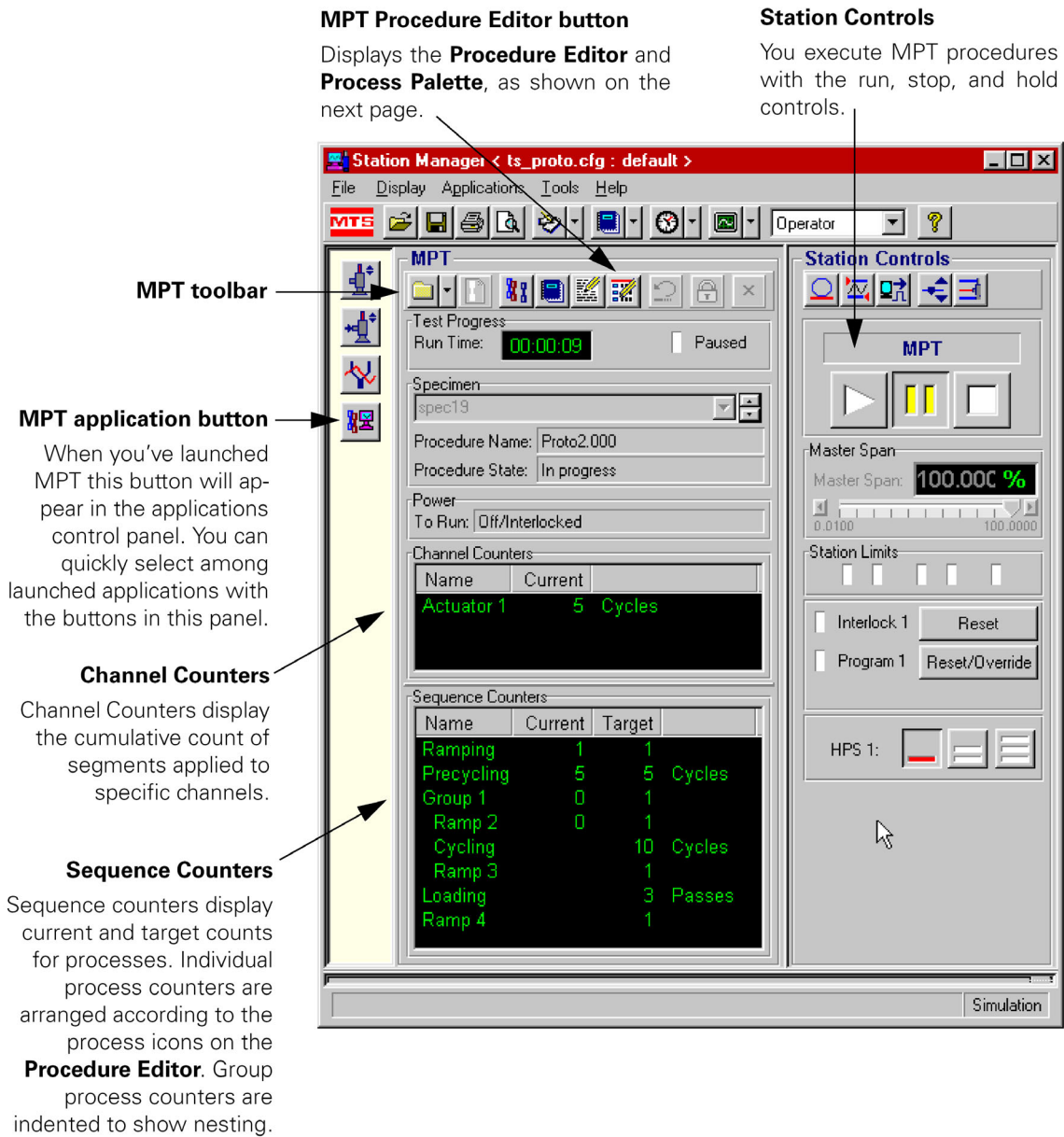


图 12 MultiPurpose TastWare (MPT)控制板

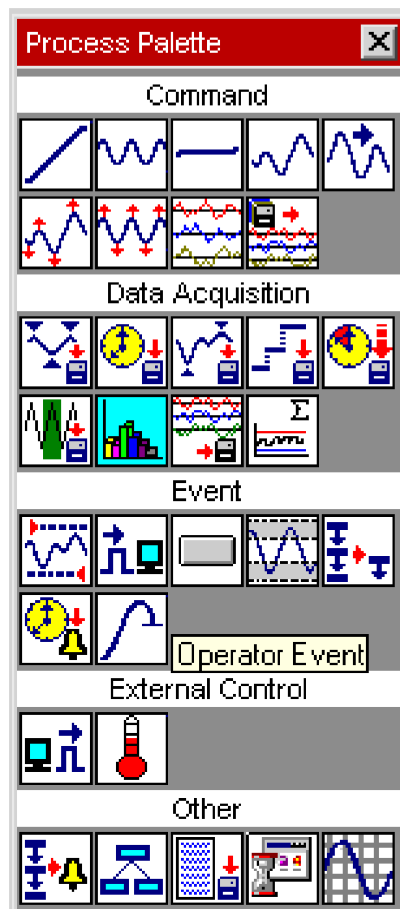
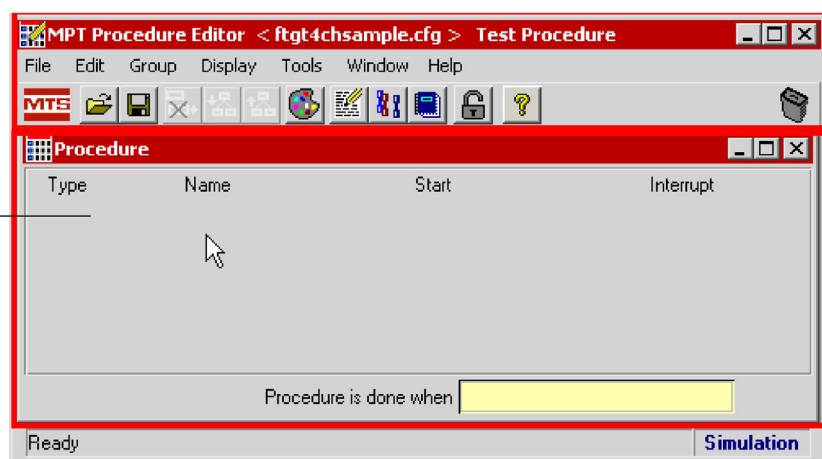


图 13 过程调色板 (Process Palette)

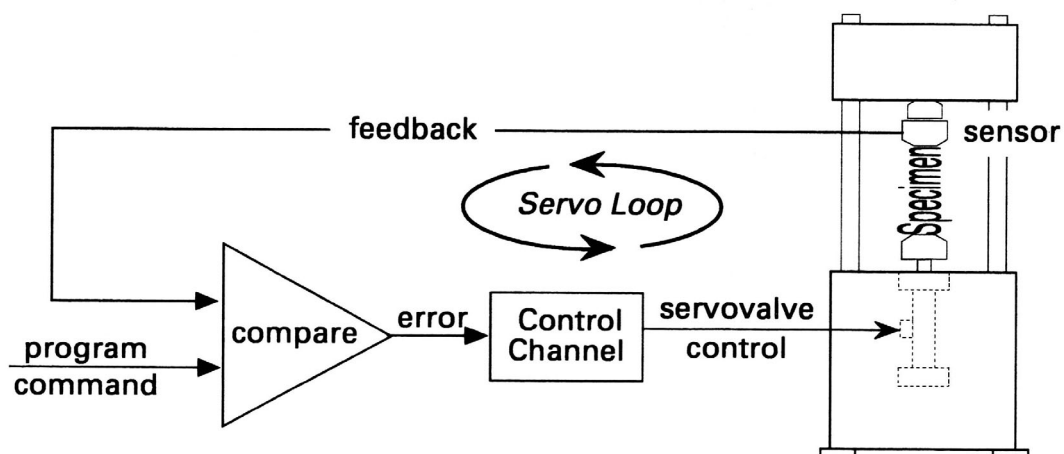
The **MPT Procedure Editor** includes the menu and toolbar, and the **Procedure** table.

You create procedures by populating the **Procedure** table with test processes from the **Process Palette**.



"**Simulation**" appears in the status bar when you run the "Demo" (demonstration) System Loader program.

图 14 MPT 程序编辑器 (MPT Procedure Editor)



Closed-Loop Control

This is the basic closed-loop as used in TestStar.

图 15 材料试验机闭环控制基本原理

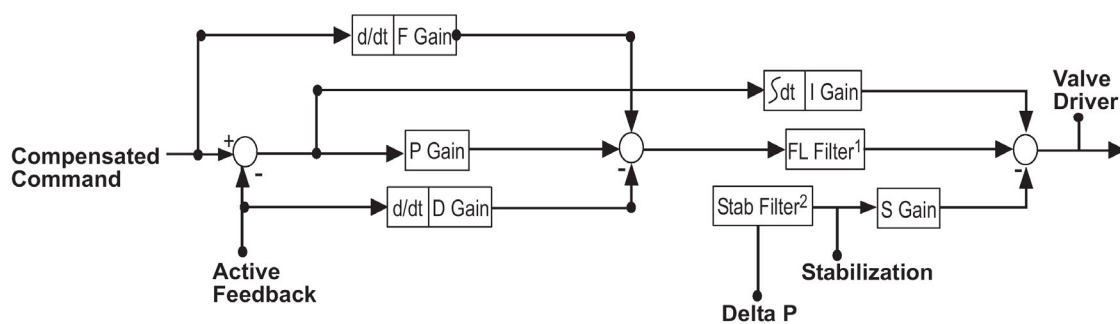


图 16 MTS810 材料试验机采用的 PIDF 控制模式

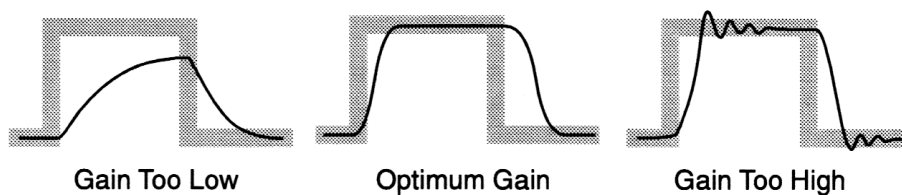


图 17 方波命令时比例控制下的系统响应

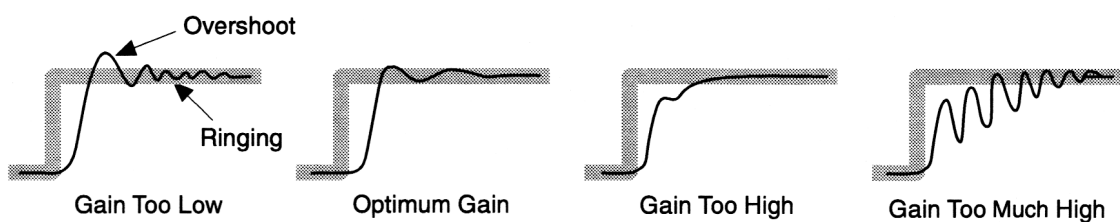


图 18 微分增益对系统响应的影响

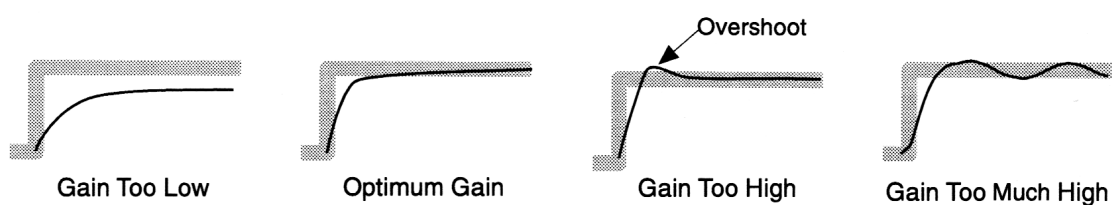


图 19 积分增益对系统响应的影响

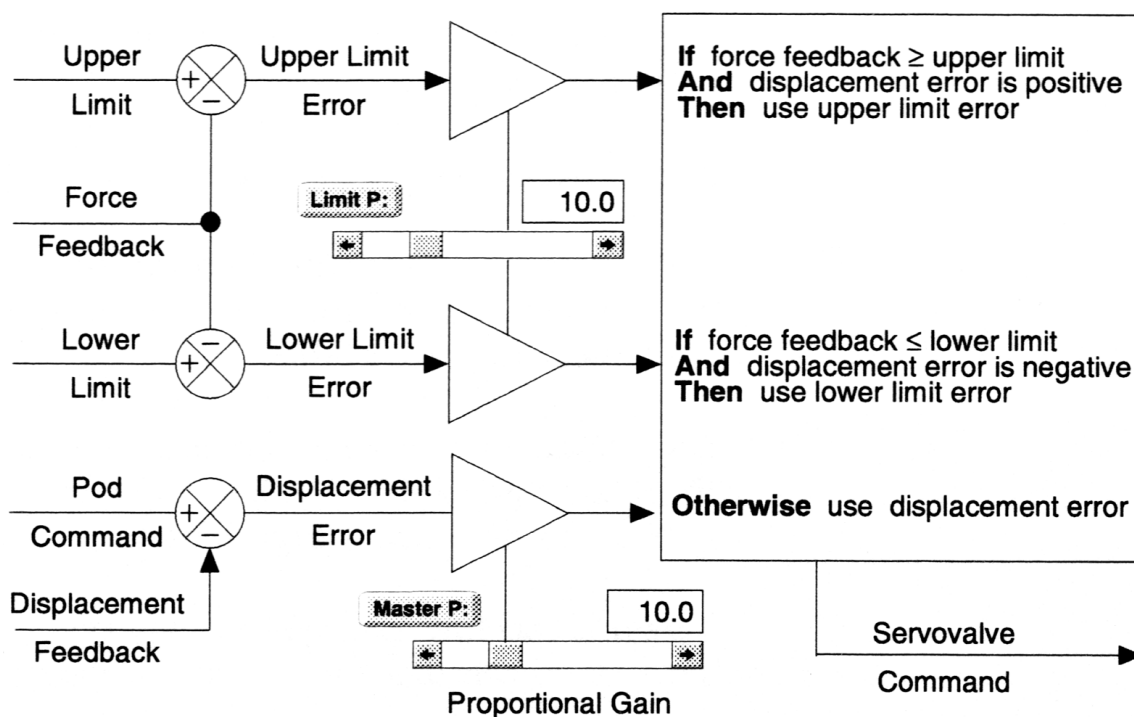


图 20 MTS810 材料试验机采用的 CLC 控制模式