

# 真空浓缩过程中新型PID控制器和高速 电动阀门对温度和压强的精确控制

## Precise Control of Temperature and Pressure in Vacuum Concentration Process by New PID Controller and Fast Electric Valve

摘要：真空浓缩过程中，浓缩温度和压强是核心控制参数。本文针对目前浓缩仪器和设备中压强控制存在精度差、波动性大等问题，提出了详细解决方案，并提出采用新型双通道超高精度多功能PID控制器和高速电动阀门来实现浓缩过程中温度和压强的同时准确测量和控制。

### 1、问题提出

真空浓缩的工作原理是将样品在冷冻干燥、离心浓缩和旋转蒸发等状态下，同时采用真空和加热技术使样品中的溶剂快速蒸发、样品体系得到快速浓缩或干燥。由于不同样品对温度有不同的敏感性，同时压强与温度之间存在强相关性，所以在真空浓缩过程中，如何准确控制浓缩温度和压强，就成了使用者最关心的问题。在目前各种常用的真空浓缩设备中，普遍还存在以下几方面问题：

(1) 压强测量和控制精度普遍不高，特别是低压情况下更是如此，这主要是所采用的传感器和控制器精度不够。压强控制精度不高同时会对温度带来严重影响。

(2) 浓缩仪器和设备普遍采用的是下游压强控制方式，即在容器和真空泵之间安装调节阀来实时调控容器的排气速率。这种下游方式适用于较高压强的准确控制，但对10mbar以下的低压则很难实现控制的稳定准确。

(3) 目前绝大多数电动调节阀采用的是电动执行机构，从闭合到全开的时间基本都在10秒以上，这种严重滞后的阀门调节速度也很难保证控制精度和稳定性。

(4) 由于浓缩过程中有水汽两相介质排出，很多时候介质还带有腐蚀性，这就对下游调节阀耐腐蚀性提出了很高的要求。

### 2、解决方案

#### 2.1 采用高精度压强传感器

对于真空浓缩过程，压强传感器是保证整个浓缩过程可控性的核心，强烈建议采用高精度压强传感器以保证真空度的测量和控制准确性。一般真空浓缩过程基本都采用机械式真空泵，低压压强（绝压）不会超过0.01mbar，高压压强接近一个大气压，因此高精度压强传感器建议采用电容薄膜规，如图1所示，其绝对测量精度可以达到 $\pm 0.2\%$ 。如果浓缩仪器和设备使用的压强范围比较宽，建议采用两只不同量程的传感器进行覆盖，如10Torr和1000Torr。

如果采用其他类型的真空度传感器，也需要达到一定的精度要求。



图1 电容薄膜式真空压力计

## 2.2 采用高精度双通道PID控制器

在真空压力测量和控制中，为了充分利用上述电容薄膜压力计的测量精度，控制器的数据采集和控制至少需要16位的模数和数模转换器。目前已经推出了测控精度为24位的通用性PID控制器，如图2所示。

对于真空浓缩的过程控制，此系列PID控制器具有以下特点：

- (1) 高精度：24位A/D采集，16位D/A输出。
- (2) 多通道：独立的1通道和2通道。2通道可实现温度和压强的同时测量及控制。
- (3) 多功能：47种（热电偶、热电阻、直流电压）输入信号，可实现不同参量的同时测试、显示和控制，可进行正反向控制（双向控制模式）。
- (4) PID控制：改进型PID算法，支持PV微分和微分先行控制。20组分组PID。
- (5) 双传感器切换：每一个通道都可支持温度高低温和高低真空度的双传感器切换，两通道可形成总共接入四只传感器的控制组合。
- (6) 程序控制：可自行建立和存储最多20种浓缩程序，进行浓缩时只需选择调用即可开始（程序控制模式）。



图2 国产VPC-2021系列温度/压力控制器

## 2.3 增加上游进气控制和双向控制模式

目前普遍采用的下游控制模式比较适合压强接近大气压的浓缩过程，但对10mbar以下的低压浓缩过程，就需要引入上游进气控制模式，即在浓缩容器上增加进气通道，通过电子针阀控制进气通道的进气流量来实现压强的准确控制。

如图3所示，目前已有各种流量的国产电子针阀可供选择，结合下游的真空泵抽气，通过上游模式可实现高真空（低压）的精确控制。

为同时满足低压和高压全量程准确控制，可以采用如图4所示的双传感器和双向控制模式。

在图4所示的控制模式中，就需要用到上述VPC-2021系列双通道控制器的正反向控制和双传感器自动切换功能，即在不同气压控制过程中，控制器自动切换相应量程的真空计，并选择相应的电子针阀和高速电动球阀进行控制。



图3 国产NCNV系列电子针阀

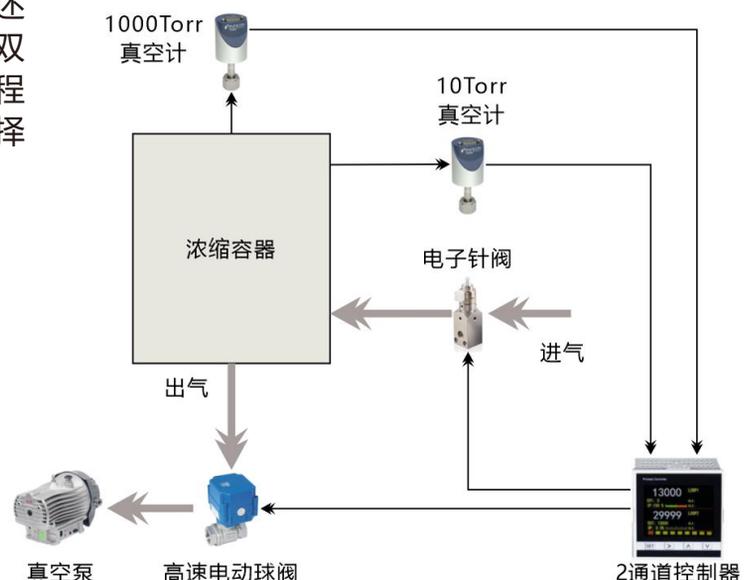


图4 双向控制和双传感器自动切换模式示意图

## 2.4 采用高速电动球阀

所谓高速阀门一般是指阀门从全闭到全开的动作时间小于1s，这对于气体流量和压力控制非常重要。特别是对于真空浓缩过程，气压控制的快速响应可保证浓缩的准确性、安全性和提高蒸发速率。

目前已经开发出国产高速电动球阀，如图5所示。NCBV系列微型化的高速电动球阀和蝶阀，是目前常用慢速电动阀门的升级产品，与VPC2021系列温度/压力控制器相结合，可构成快速准确的真空压力闭环控制系统。



图5 国产NCBV系列高速电动球阀

## 2.5 采用真空控压型调节器

在目前的真空浓缩仪器和设备中，浓缩是在密闭容器中发生，通过加热和真空手段将蒸发气体冷凝和排出，真空泵是对一个密闭容器进行抽气，并通过抽气流量调节来实现密闭容器内的气压恒定在设定值，这是一个典型的流量控制型恒压模式。这种控流型调压方式相当于一个开环控制方式，容器内部自生气体，且自生气体并没有很明显的规律（如线性变化），这非常不利于容器内部压强的准确控制。对于这种控流型调压方式，如图2所示，会在浓缩容器的前端增加一个进气通道，并对进气流量进行调节以使容器内部真空度控制在稳定的设定值。

对于有些真空浓缩仪器和设备，并不允许增加额外的进气通道，这里就可以用到如图6所示的控压型调节器。

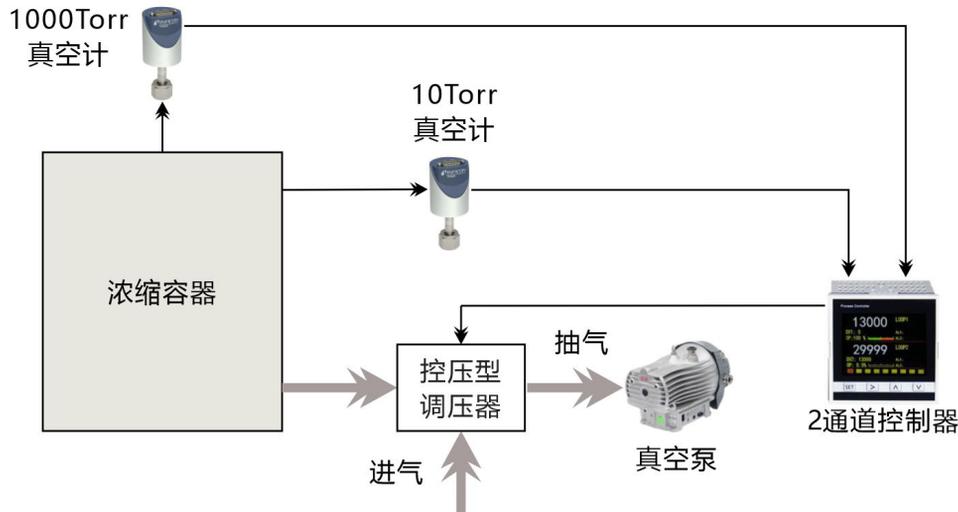


图6 控压型调节器在浓缩过程真空度控制中的应用

控压型真空压力调节器实际上一个内置真空压力传感器、微控制器、空腔和两个电动阀门的集成式装置。在真空压力控制过程中，内置传感器测量空腔内压力，如果压力小于设定值，则进气口处阀门打开直到等于设定值，如果压力大于设定值则抽气口处阀门打开直到等于设定值，从而始终保证空腔内压力始终保持在设定值上，而调节器空腔与浓缩容器连通，即调节器空腔压力始终等于浓缩容器压力。

由此可见，控压型调节器是一个自带进气阀的独立真空压力调节装置。如图6所示，控压型调节器也可以外接传感器，设定值可以手动设置，也可以通过PID控制器设置。