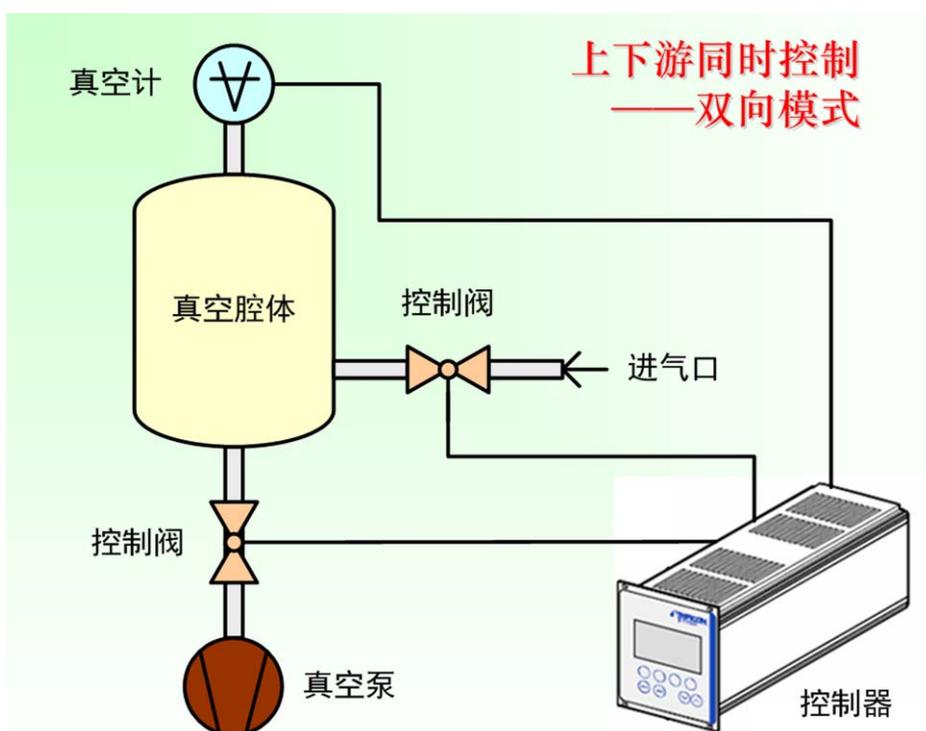


真空度（气压）控制： 上游模式和下游模式的特点以及新技术

Vacuum (Pressure) Control: Characteristics and
New Technologies of Upstream Mode and Downstream Mode



摘要：本文详细介绍了真空系统中上游和下游控制模式的特点以及在应用中存在的问题，并介绍了上下游模式同时使用的双向控制新技术，新技术可有效发挥上下游控制模式的优点和抑制缺点。

1. 真空度（压力）控制概述

在许多真空系统中，为了实施特定的工艺过程或达到一定的实验条件，需要真空系统中的真空度恒定在特定以及关键的设定值，这就需要对真空系统内的真空度进行控制。真空度控制一般通过上游模式（upstream model）、下游模式（downstream model）和两种模式结合的方法实现。业内一般将上游模式定义为控制输入真空系统的气体，下游模式定义为控制泵送系统的节流，即以真空系统为参照物，真空系统上游的进气控制为上游模式，真空系统下游的出气控制为下游模式。

无论是自动的上游控制还是下游控制，都需要电动控制阀来实现。在目前国内外真空系统的真空度控制过程中，由于技术的限制，绝大多数还都是采用单一控制方式，即或是上游模式，或是下游模式。但随着双向控制技术的突破，可以实现上下游模式的同時控制。

本文详细介绍了真空系统中上下游真空度控制模式的特点以及在应用中存在的问题，介绍了双向控制技术的特点。

2. 上游控制模式（Upstream Model）

如图 2-1 所示，上游控制模式是一种控制系统中压力的方法，在该系统中，气体流入腔室，通常由电动控制阀进行控制。

上游真空度（压力）控制器维持真空系统本身上游的压力，在真空泵抽速一定的情况下，增加进气流量以降低压力，减少进气流量以增加压力。因此，这称为反向作用，该配置在行业中通常称为背压调节器。

在真空度（压力）上游模式控制期间，控制阀将以特定的速率注入气体，同时还与控制器通信。如果从控制器接收到不正确的输出电压（意味着压力不正确），控制阀将调整流量。压力过高，控制阀会降低流量，压力过低，控制阀会提高流量。

上游模式具有以下特点：

(1) 可提高真空系统中工艺的稳定性
和速度；

(2) 使用快速作用控制阀，将控制仪器放置在真空系统的上游可提供更快的响应时间和更好的稳定性。上游模式还消除了对附加阀的需求，减少了系统中潜在泄漏点的数量，减少了下游设备的需求并降低了安装成本。例如在真空镀膜应用中，将压力控制装置放置在腔室的上游可以节省时间，成本，并提高真空沉积工具的精度。

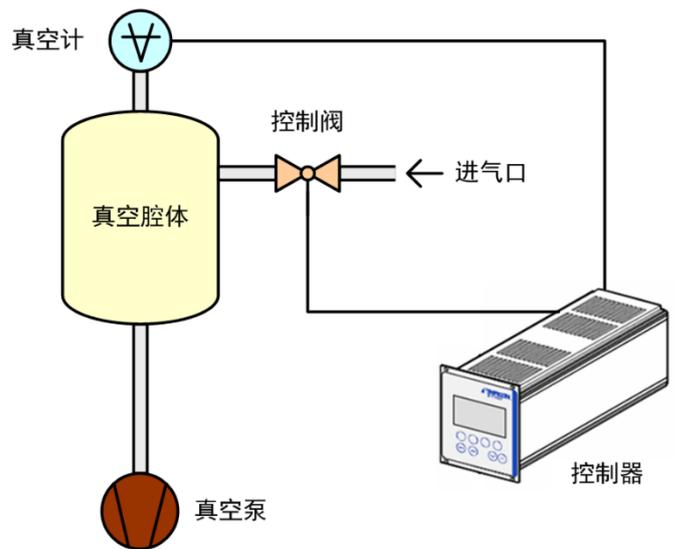


图 2-1 上游控制模式示意图

(3) 很多真空工艺，如等离子熔炼和真空沉积等，都使用了下游控制模式来维持真空室内的气体压力，而节流阀的使用会有几万元的配置，并还需要一个单独的控制模块来为阀门供电、提供 PID 数据和设定点功能。因此，上游模式有时可有效的降低真空系统的造价成本。

(4) 由于下游真空泵不受控制，一般都以较大的抽速运行，这就造成在单独使用上游模式时会出现比较费气的现象，特别是在工艺气体为较贵的高纯惰性气体时尤为明显。

3. 下游控制模式 (Downstream Model)

如图 3-1 所示，下游控制模式是一种控制真空系统内部压力的方法，其中抽气速度是可变的，通常由真空泵和腔室之间的控制阀实现。

下游控制模式是维持真空系统下游的压力，增加流量以增加压力，减少流量以减少压力，因此，这称为直接作用，这种控制器配置通常称为标准压力调节器。

在真空度（压力）下游模式控制期间，控制阀将以特定的速率限制真空泵抽出气体，同时还与控制器通信。如果从控制器接收到不正确的输出电压（意味着压力不正确），控制阀将调整抽气流量。压力过高，控制阀会提供抽气流量，压力过低，控制阀会降低流量。

下游模式具有以下特点：

(1) 下游模式作为目前最常用的控制模式，通常在各种条件下都能很好地工作；

(2) 但在下游模式控制过程中，其有效性有时可能会受到“外部”因素的挑战，如入口气体流速的突然变化或等离子体事件的开启或关闭。此外，某些流量和压力的组合会迫使节流阀在等于或超过其预期控制范围的极限的位置上运行。在这种情况下，精确或可重复的压力控制都是不可行的。或者，压力控制可能是可行的，但不是以快速有效的方式，结果造成产品的产量和良率受到影响。

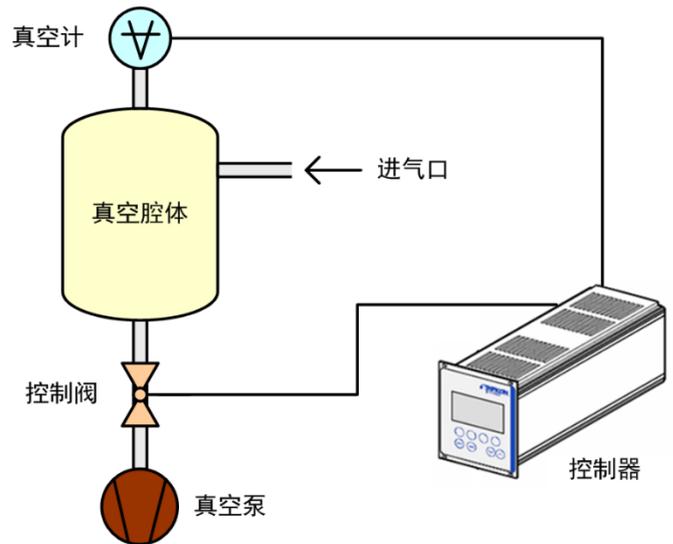


图 3-1 下游控制模式示意图

(3) 在下游模式中，会在更换气体或等待腔室内气体沉降时引起延迟。

4. 双向控制模式 (Bidirectional Model)

通过上述两种控制模式的特点可以看出，两种模式各有优缺点。目前在真空度控制中常用的方法是以下游控制模式为主控方法，同时在真空系统的上游设置几个控制档位来控制进气流量，由此来最大限度发挥两种模式的优点，但这种控制方式还无法实现全自动化。

随着自动化控制技术的发展，目前上海依阳公司已经开发出双向自动控制技术，其结构图 4-1 如所示。

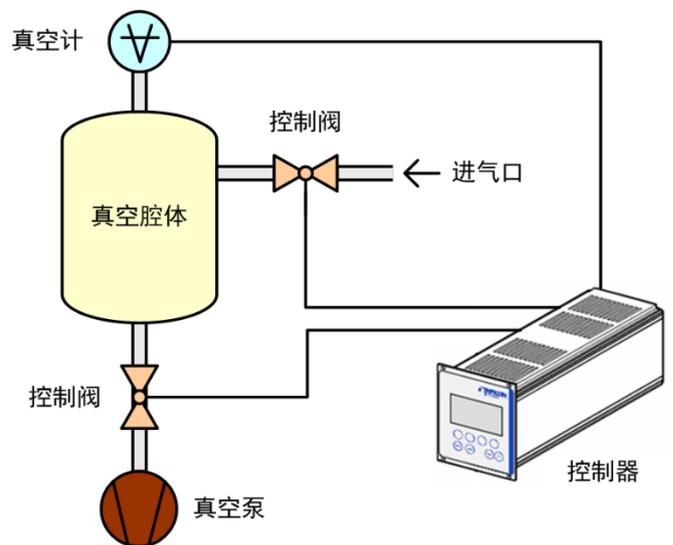


图 4-1 双向控制模式示意图

这种双向控制模式可以最大限度发挥控制优势，节省时间和成本，并提高真空工艺的效率和质量。