

低压缓冲罐的真空度精密控制解决方案

Precision Vacuum Control Solution for Low Pressure Buffer Tank

摘要：低压缓冲罐广泛应用于各种真空工艺和设备中，本文主要针对缓冲罐在全量程内的真空度精密控制，并根据不同真空度范围和缓冲罐体积大小，提出了相应的解决方案，以满足不同低压过程对缓冲罐真空压力精密控制的不同要求。

一、背景介绍

低压缓冲罐是真空系统中常用的一种真空容器，主要通过提供真空“储存”来防止真空泵的过度循环，其基本原理是利用滞留量（体积）来提供更平稳的真空度操作。在真空工艺过程中，低压缓冲罐主要有以下两种结构形式：

(1) 真空度波动衰减：缓冲罐安装在真空单元之间，避免连续过程中真空度的波动传播。

(2) 独立操作：缓冲罐安装在单元之间以允许独立操作，例如在临时关闭期间以及连续和批处理单元之间。

低压缓冲罐在独立操作形式中，一般需要具备以下功能：

(1) 对于小尺寸空间的工艺容器，很难实现真空度的高精度恒定或程序控制，真空度的波动和不准确很难达到工艺要求。为此在工艺容器上串接一个容积较大的低压缓冲罐，通过对缓冲罐真空度的精密控制，则可以完美解决此问题。

(2) 提供气液分离功能，防止工作液体直接倒灌入真空泵。

(3) 提供冷凝功能，避免反应容器内的部分溶剂转化为气态直接进入真空泵，由此降低真空泵的故障率和提高真空泵的使用寿命。

本文主要针对缓冲罐在全量程内的真空度精密控制，提出相应的解决方案，以满足不同低压过程对缓冲罐真空压力精密控制的不同要求。

二、解决方案

在低压缓冲罐真空度精密控制过程中，基本控制方法是调节缓冲罐的进气和出气流量，并通过进出气流量的动态平衡来实现缓冲罐内部气压的准确控制，即所谓的动态平衡法。但在不同真空工艺和设备中，对低压缓冲罐的真空度范围会有不同的要求，相应的动态控制模式也不尽相同。而且，不同体积大小的低压缓冲罐，为实现缓冲罐内真空度的快速准确控制，则需要不同的调节装置。以下将针对这些不同要求，提出相应的具体解决方案和相关装置细节。

2.1 低真空（高压）和高真空（低压）控制方式

一般我们将低于一个大气压下（760Torr）的绝对压力称之为真空（或低压），而整个真空范围又分为低真空（10-760Torr）、高真空（0.01~10Torr）和超高真空（<0.01Torr）三部分。本文将只涉及低真空和高真空这两个范围内的真空度精密控制，对于超高真空，目前还没有很好的技术手段进行精密控制，基本还都是仅靠真空泵的抽气能力来实现数量级级别的控制。

低真空和高真空缓冲罐真空度的动态平衡法控制中，为达到快速和准确的控制效果，必须分别采用上游和下游两种控制模式，通过上下游这两种模式及其两种模式之间的切换，可以实现真空度全量程内的精确控制。

低压缓冲罐动态平衡法真空度控制系统的整体结构如图1所示。整个缓冲罐真空度控制系统主要由进气阀、抽气阀、真空泵、真空传感器和PID控制器组成，它们各自的功能如下：

(1) 进气阀的作用是调节进气流量。在缓冲罐真空度控制过程中，进气流量一般在较小的范围内进行调节，因此进气阀一般为电动针阀。

(2) 抽气阀的作用是调节出气流量。在缓冲罐真空度控制过程中，进气流量一般在较大的范围内进行调节，因此抽气阀的口径大小一般需根据需要进行配置，后面还会进行详细介绍。

(3) 真空泵的作用是提供真空源。在缓冲罐真空度控制过程中，真空泵要根据真空度要求和缓冲罐体积大小来进行选配。

(4) 真空传感器的作用是实时测量缓冲罐的真空度并将测量信号反馈给PID控制。在缓冲罐真空度控制过程中，要根据缓冲罐真空度量程和精度要求选配传感器，一般是低真空和高真空范围内各配一个真空计。为保证测量精度，一般会选用电容式真空计。也可以根据需要只选择一个精度较差的皮拉尼计来实现整个高低真空范围内的测量。

(5) PID控制器的作用是通过接受到的真空度信号来分别调节进气阀和出气阀，使得缓冲罐内的真空度达到设定值或按照设定程序进行变化。在全量程范围内的真空度控制时，如果需要采用两只不同量程真空计进行全量程覆盖，就需要具有传感器自动切换功能的双通道PID控制器，以便在不同量程范围内的控制过程中进行自动切换。如果采用电容式真空计来实现高精度的真空度控制，相应的PID控制器则需要具有24位A/D和16位D/A的高精度。

在缓冲罐的不同真空度范围内，需要采用以下不同的控制模式才能达到满意的控制精度。

(1) 上游控制模式：上游控制模式也叫进气调节模式，主要适用于高真空范围内的精密控制。在上游控制模式中，抽气阀门基本是全开方式全速抽气，通过调节进气流量来实现缓冲罐内高真空的精密控制。

(2) 下游控制模式：下游控制模式也叫出气调节模式，主要适用于低真空范围内的精密控制。在下游控制模式中，进气阀门基本是某一固定开度，即固定进气流量，通过调节抽气流量来实现缓冲罐内低真空的精密控制。

另外需要特别注意的是，不论采取上述哪一种控制模式，控制精度还受到真空度传感器和PID控制精度的限制。因此，除了选择合理的上下游控制模式之外，还需要根据不同精度要求选择合理的传感器和控制器。

2.2 不同缓冲罐体积的真空度控制

缓冲罐真空度精密控制中，除了涉及上述的控制模式选择之外，还涉及控制速度问题，即根据缓冲罐的容积大小和真空度控制范围来确定合理的真空度准确控制速度。这方面主要涉及以下两方面的内容和基本原则：

(1) 对于小容积的缓冲罐，可以选择具有小流量调节能力的进气阀、排气阀和真空泵。

(2) 对于较大容积的缓冲罐，可能就需要配备较大流量调节能力的进气阀、排气阀和真空泵。其中进气阀和排气阀需要配备电动球阀等大口径阀门，具体情况还需根据所控真空度范围来进行进一步的合理选择。

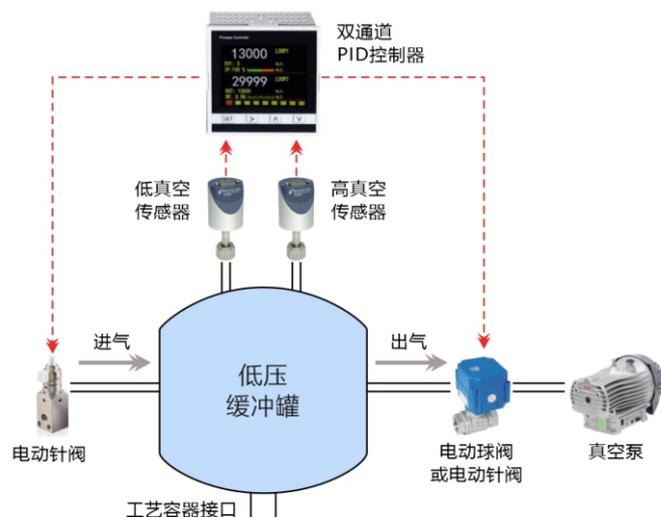


图1 低压缓冲罐真空度控制系统结构示意图