

CVD和PECVD管式炉 真空控制系统的升级改造

Upgrading of Vacuum Control System of CVD & PECVD Tube Furnace

摘要：本文介绍了根据客户要求对CVD管式炉真空控制系统进行升级改造的过程，分析了客户用CVD管式炉真空控制系统中存在的问题，这些问题在目前国产CVD和PECVD管式炉中普遍存在。本文还详细介绍了改造后的真空压力控制系统的工作原理、结构和相关部件参数等详细内容，改造后的真空压力控制精度得到大幅度提高。

一、背景介绍

客户订购了一台CVD管式炉以进行小尺寸材料的制作，CVD管式炉及其结构如图1所示。在使用中客户发现这台管式炉在CVD工艺过程中无法保证材料的质量和重复性，材料性能波动性较大，分析原因是真空压力控制不准确且不稳定。为解决此问题，客户提出对此CVD管式炉的真空控制系统进行升级改造。



图1 用户购置的CVD管式炉及其结构内容

我们通过分析图1所示CVD管式炉的整体结构，发现造成真空压力控制效果较差的原因，主要是此管式炉的真空控制系统存在以下几方面的严重问题，而这些问题在目前国产CVD和PECVD管式炉中普遍存在。

(1) 真空计选择不合理：对于绝大多数的CVD和PECVD管式炉，其真空度的控制范围一般都为1Pa~0.1MPa（绝对压力），并要求实现真空度精确控制。而在客户所购置的CVD管式炉（包括其他品牌产品）中，为了节省造价，管式炉厂家配备了皮拉尼计和皮拉尼+电容真空计，但这种组合式电容真空计在10kPa~95kPa范围内的精度只有±5%，0.1Pa~10kPa范围内的精度则变为±15%，比单纯的薄膜电容真空计的全量程±0.25%精度相差太大。合理的选择是使用单纯的薄膜电容真空计，而且须配置2只真空计才能覆盖整个真空度范围的测量和控制。

(2) 控制方法错误：对于1Pa~0.1MPa（绝对压力）范围内的真空度控制，需要分别采用上游和下游控制模式进行控制才能达到很好的控制精度。例如，在1Pa~1kPa范围内采用上游控制模式，即固定真空泵抽速而只调节上游进气流量；在1kPa~0.1MPa范围内采用下游控制模式，即固定上游进气流量而只调节下游的排气流量。客户所采用的CVD管式炉则仅采用了调节进气流量的上游控制模式，势必会造成1kPa~0.1MPa范围内的真空度控制波动性很大，同时造成工作气体的极大浪费。

(3) 多种比例混合气体控制结构错误：在CVD工艺中，反应气体为按比例配置的多种工作气体混合物。尽管CVD管式炉中采用了4只气体质量流量计来配置工作气体，但质量流量计只能保证气体混合比的准确性而无法对真空度进行准确控制，除非是单一气体则可以通过一个质量流量计来调节进气流量来实现真空度控制。

综上所述，客户所购置的CVD管式炉存在一些严重影响真空度控制精度的问题，文本将详细介绍解决这些问题的具体方法和升级改造详细内容。改造后的真空度控制系统可在全量程范围内控制精度优于±1%。

二、升级改造技术指标

对客户的CVD管式炉的真空控制系统进行升级改造，需要达到的技术指标如下：

- (1) 真空度控制范围：1Pa~0.1MPa（绝对压力）。
- (2) 真空度控制精度：±1%（全量程范围）。
- (3) 控制形式：定点控制和曲线控制。
- (4) 输入形式：编程或手动。
- (5) PID参数：自整定。

三、升级改造技术方案

针对客户的4通道进气CVD管式炉，为实现真空控制系统的上述技术指标，所采用的技术方案如图2所示。

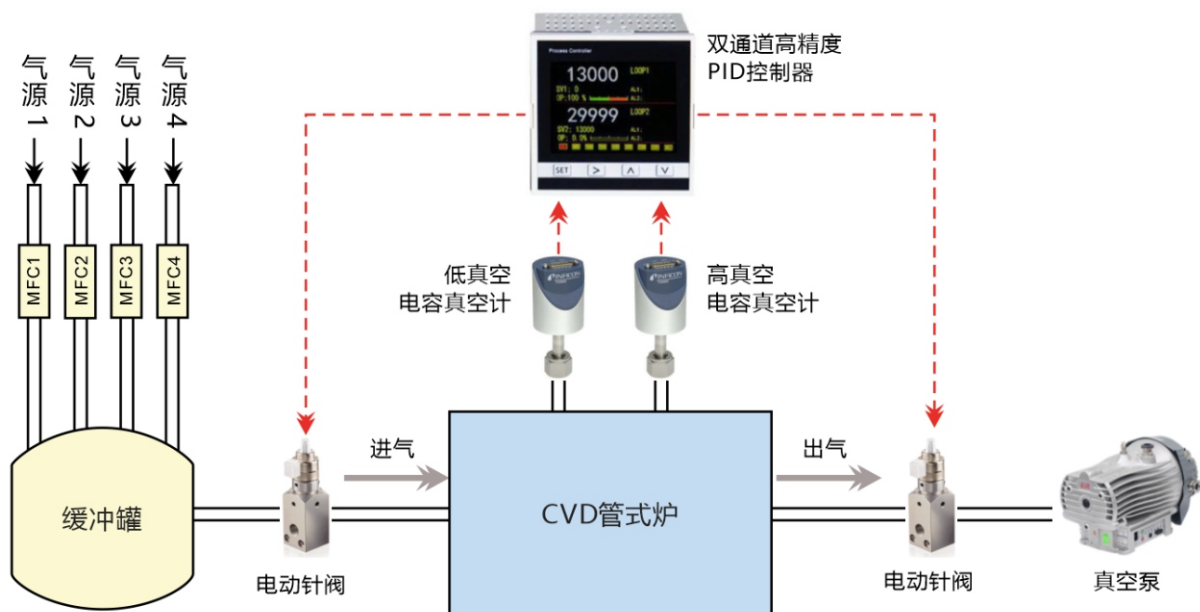


图2 CVD管式炉真空度控制系统结构示意图

如图2所示，升级改造的技术方案主要在以下几方面进行了改动：

(1) 还保留了皮拉尼真空计以对真空度进行粗略的测量，更主要的是采用皮拉尼计可以覆盖0.001Pa~1Pa的超高真空监控。但在1Pa~0.1MPa真空度范围内，增加了两只薄膜电容真空计分别覆盖1Pa~1kPa和10kPa~0.1MPa，以提高CVD工艺过程中的真空度测量精度。

(2) 对于1Pa~0.1MPa（绝对压力）范围内的真空度控制，分别采用上游和下游控制模式进行控制以实现更高的控制精度。例如，在1Pa~1kPa范围内采用上游控制模式，即固定真空泵抽速而只调节上游进气流量；在1kPa~0.1MPa范围内采用下游控制模式，即固定上游进气流量而只调节下游的排气流量。

(3) 对于多种比例混合工作气体的CVD工艺，继续保留4路气体质量流量控制器以实现比例准确的工作气体混合，但精密混合后的气体进入一个缓冲罐。缓冲罐内气体进入CVD管式炉的流量通过一个电动针阀进行调节，由此既能保证工作气体的准确混合比，又能实现上游进气流量的精密调节。

(4) 为实现下游控制模式，在CVD管式炉的排气口处增加一个电动针阀，此电动针阀的作用是调节排气流量。下游控制模式在CVD工艺中非常重要，这种模式可以保证1kPa~0.1MPa范围内真空度的精确控制。如果在1kPa~0.1MPa范围内采用上游控制模式，一方面是真空度控制波动太大，另一方面是会无效损耗大量工作气体。

(5) 真空度的控制精度，除了受到真空计测量精度和电动针阀调节精度的影响之外，还会受到PID控制精度的严重制约。为此，技术方案中选用了24位AD和16位DA的高精度PID控制器，且具有定点和可编程控制功能，同时PID参数可进行自整定以便于准确确定控制参数。

(6) 由于采用了两只高精度的电容真空计测量整个量程范围的真空度，在实际真空度控制过程中，就需要根据不同量程选择对应的电容真空计并进行真空度控制。由此，这就要求PID控制器需要具备两只真空计之间的自动切换功能。

(7) 在CVD和PECVD管式炉真空度控制系统升级改造方案中，使用了上下游两种控制模式，这就要求PID控制器同时具备正向和反向操作功能，也可以采用2通道可同时工作的PID控制器，一个通道对应一个电动针阀。

四、总结

针对客户的4通道进气CVD管式炉存在的CVD工艺中真空度控制严重不稳定的问题，分析了造成真空度控制不稳定的主要原因是真空计测量精度不够、控制方法不正确、多种工作气体混合结构不正确。

为解决上述问题，本文提出了相应的升级改造技术方案，更换了精度更高的薄膜电容真空计，采用了控制精度更高的上下游控制方法，在多种气体混合管路上增加了缓存罐，并使用了调节和控制精度较高的电动针阀和2通道PID控制器。升级改造后的真空控制系统，可在全量程的真空度范围（1Pa~0.1MPa）内实现±1%的控制精度和稳定性。