

摘要：等离子熔融工艺是目前国际上生产高纯度熔融石英玻璃圆筒最先进的工艺之一，在产品的低羟基浓度、低缺陷浓度、成品率、生产效率和节能环保等方面具有非常突出的优势。本文针对石英玻璃等离子熔融工艺成型设备，设计并提出了一种真空过程实现方案，可进行等离子加热过程中的炉内真空度（气压）实时控制和监测，以满足高纯度熔融石英等离子工艺过程中的不同需要。

1. 简介

等离子熔融工艺是目前生产透明和不透明熔融石英空心圆筒坯件最先进的工艺技术，通过此工艺可以一次完成高纯度熔融石英圆筒胚件的制造，在成品率、生产效率和节能环保等方面具有独到的优势。

在等离子熔融工艺过程中，将高纯石英砂注入到旋转炉中，依靠离心力控制成品尺寸。在熔融工艺过程中，旋转炉中的高纯保护气体使得电极间能够激发等离子电弧，所产生的等离子电弧使晶态石英砂熔化为熔融石英。

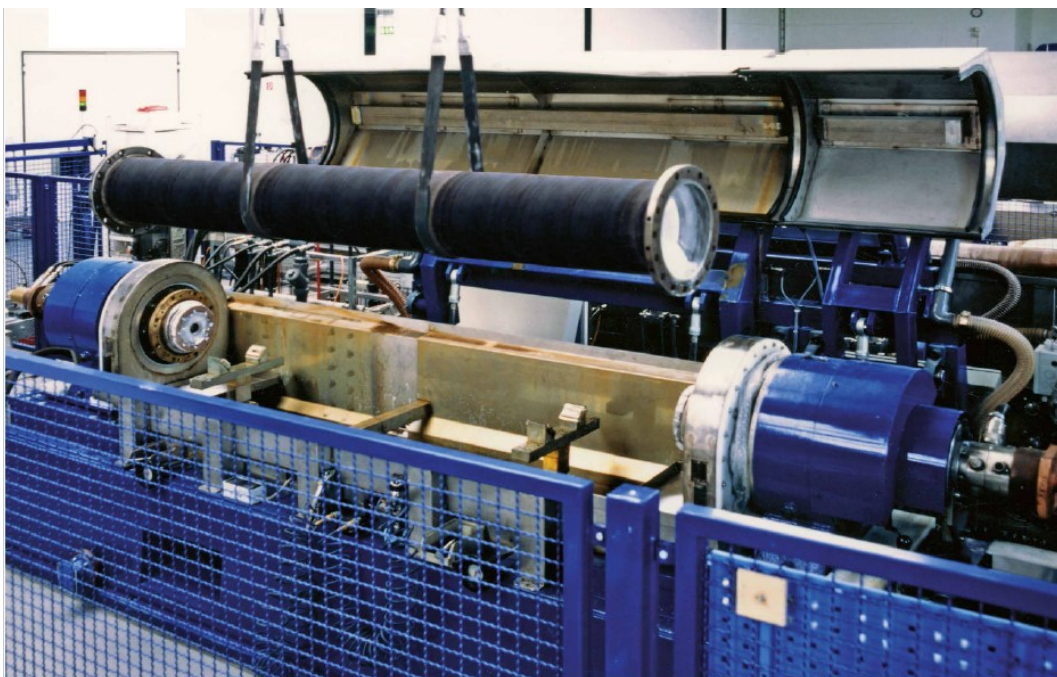


图 1 德国昆希 (Qsil) 公司等离子熔融工艺石英玻璃成型设备

目前全球唯一采用此独特工艺生产熔融石英空心圆筒的厂家是德国昆希 (Qsil) 公司, 如图 1 所示, 昆希公司使用这种独有的“一步法”等离子加热熔融工艺生产透明和不透明熔融石英空心圆筒 (坯)。

熔融石英玻璃在生产过程中, 熔融态的石英玻璃将发生极其复杂的气体交换现象, 此时气体的平衡状态与加热温度、炉内气压、气体在各相中的分压及其在玻璃中的溶解、扩散速度有关。因此, 为获得羟基浓度小于 50ppm 且总缺陷 (直径小于 20um 的气泡和夹杂物) 浓度小于 50 个/立方厘米的高纯度熔融石英玻璃锭, 需要根据加热温度选择不同的气体和真空工艺。本文提出了一种真空工艺实现方案, 可进行等离子加热过程中的炉内气压实时控制和监测, 以满足高纯度熔融石英等离子熔融工艺过程中的各种不同需要。

2. 真空度 (气压) 控制和监测方案

与等离子熔融工艺石英玻璃成型设备配套的真空系统框图如图 2 所示, 可实现成型设备加热桶内的真空度 (气压) 在 0.1~700Torr 范围内的精确控制, 控制精度可达到 $\pm 1\%$ 以内。

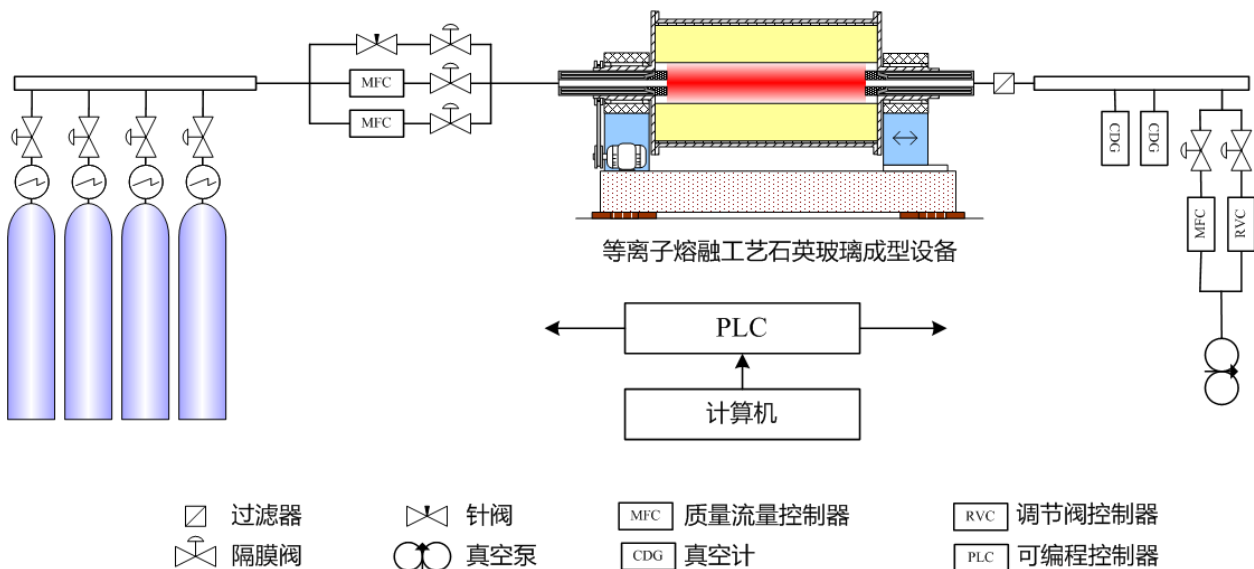


图 2 真空系统框图

如图 2 所示, 真空系统的设计采用了下游控制模式, 也可根据具体工艺情况设

计为上游和下游同时控制模式。整个真空系统主要包括气源、进气流量控制装置、真空度探测器、出气流量控制和真空泵等部分。

来自不同气源的气体通过可控阀门形成单独或混合气体进入歧管，然后通过一组质量流量控制器和针阀来控制进入成型设备的气体流量，由此既能实现设备中的真空度快速控制和避免较大的过冲，又能有效节省某些较昂贵的惰性气体。

成型设备内真空度的形成主要靠真空泵抽取实现，抽取的工艺气体需要先经过滤装置进行处理后再经真空泵排出。

工艺气体的真空度（气压）通过两个不同量程的真空计来进行监测，由此来覆盖整个工艺过程中的真空度控制和测量。

真空度的精确控制采用了一组质量流量控制器、调节阀控制器和阀门，可以实现整个工艺过程中任意真空度设定点和变化斜率的准确控制。

整个真空系统内的传感器、装置以及阀门，采用计算机结合 PLC 进行数据采集并按照程序设定进行自动控制。

3. 说明

上述真空系统方案仅为初步的设计框架，并不是一个成熟的技术实施方案，还需要结合实际工艺过程和参数的调试来对真空系统方案进行修改完善。

真空度控制与其他工程参数（如温度、流量等）控制一样，尽管普遍都采用 PID 控制技术，但对真空度控制而言，则对控制器的测量精度和 PID 控制算法有很高的要求，而进口配套的控制器的往往无法达到满意要求。

另外，如在真空度控制过程中，真空容器中的真空度会发生改变，系统的时间常数也随之改变，这意味着具有固定控制参数的控制器只能最佳地控制一个压力设定值。如果压力设定值改变，控制器的优化功能将不再得到保证。必须对控制参数进行新的调整，通常是手动进行。