

# 月壤环境地面模拟试验装置中的真空度精密控制技术方案

## Technical Scheme of Vacuum Precision Control in Lunar Soil Environment Ground Simulation Test Device

摘要：在探月工程中需要在月面真空环境下采集月壤样品，需要建立地面试验装置来模拟月面的真空热环境，以测试采样器在真空热环境下的性能，由此要求真空度能实现精密控制。本文针对真空热环境地面模拟试验装置，提出了真空度精密控制的技术方案，真空度控制范围为0.1Pa~0.1MPa，全量程的控制精度为±1%。

### 一、问题的提出

在探月工程中需要在月面真空环境下采集月壤样品，由此需要建立地面试验装置来模拟月面的真空热环境，以测试采样器在真空热环境下的性能，并要求真空度能实现精密控制。由于月壤的特殊性，目前的月壤地面模式试验装置中的真空度控制还需要解决以下几方面的问题：

(1) 月壤和模拟月壤样品，一般为粉末状颗粒，因此在开始阶段的抽气速率要进行严格控制以避免产生扬尘。

(2) 目前的真空度测量和控制还采用皮拉尼真空计，使得配套的控制系统无法实现真空度的精密控制，造成试验结果的重复性很差。

(3) 月壤地面模拟试验装置普遍体积较小，在宽泛的真空度范围内，实现精确控制一直存在较大难度，真空度的波动性较大，也是造成试验结果重复性差的原因之一。

针对月壤地面模式试验装置中存在的上述问题，本文提出了相应的技术方案，并介绍了详细的实施过程。

### 二、技术方案

月壤环境地面模拟试验设备真空度精密控制系统的整体结构如图1所示，整个系统主要包括真空计、数控针阀、电动球阀、PID控制器和真空泵。为了进行真空度全量程的精密控制，一般需要配备三只电容真空计，真空计的测量精度为0.25%。为配合电容真空计的测量精度，控制器采用了24位A/D和16位D/A的高精度PID控制器，独立的双通道便于进行上游数控针阀和下游电动球阀的气体流量调节和控制。

真空度的精密控制使用了动态控制模式，即在低真空条件下调节电动球阀，在高真空条件下调节数控针阀，这是一种典型的正反向控制方法，可有效保证真空度的控制精度。

总之，通过此经过验证的真空度控制方案，可实现全量程范围内真空度的控制精度优于1%。

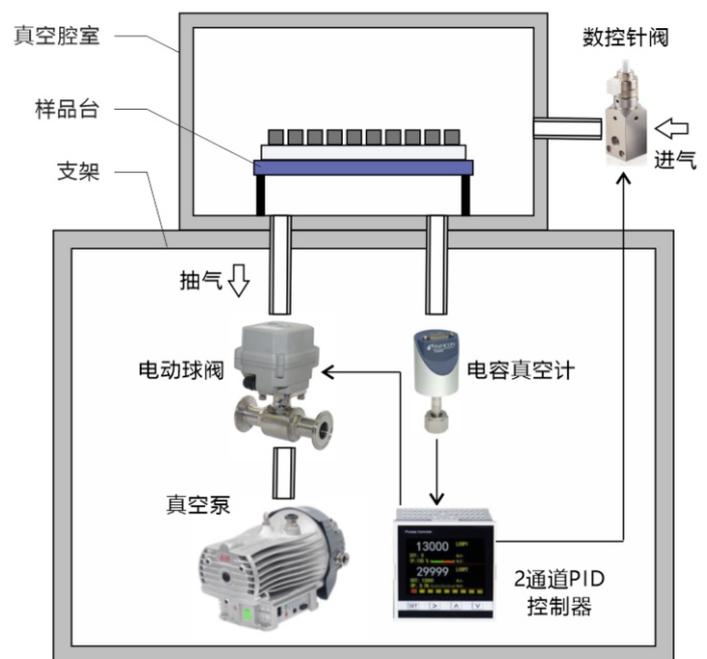


图1 真空度精密控制系统结构示意图