

脉冲激光高次谐波发生器的真空系统 及其精密控制解决方案

Vacuum System of Pulsed Laser High-Order Harmonic Generator and Its Precise Control Solution

摘要：在高次谐波发生器中一般包含两个不同真空区域，一个是1~100Torr绝压范围的气池内部的低真空区域，一个是高阶谐波光路上的绝压为0.001Pa量级的高真空区域。本文针对此两个区域的真空度控制提出了相应的解决方案，特别是详细介绍了气池内部的低真空度精密控制技术，控制精度可达到±1%以内，为各种高次谐波的产生提供了有效的技术保障。

1. 问题的提出

近年来，利用超短脉冲激光激发惰性气体产生高次谐波，为时间分辨及角分辨光电子能谱系统和极紫外光相干衍射成像提供了简单，成本可控的极紫外光源。高次谐波的产生是一个极端的非线性光学过程，其关键是要将强激光脉冲聚焦到可控浓度的惰性气体中。

如图1所示是一个高阶谐波在相干衍射成像中应用的典型结构示意图，其中超短脉冲激光被聚焦在充满惰性气体的气池内从而激发出高阶谐波。

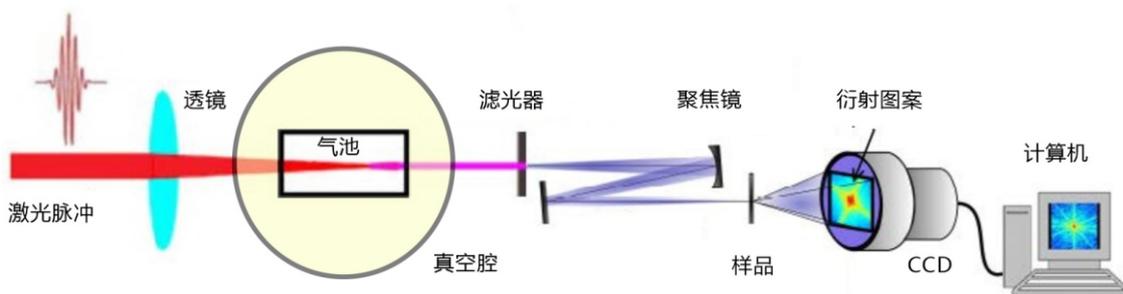


图1 高次谐波产生的相干衍射成像装置结构示意图

在高次谐波生成过程中，要达到实际应用效果，相应的真空系统需要满足以下要求：

(1) 在高次谐波产生过程中，宏观参数的变化会影响到原子密度和电离分数，并可实现相应的宏观相位匹配，因此可以使用对宏观参数例如有效相互作用长度、激光强度和气体压力的适当调整来改变高次谐波光谱。当改变这些参数时，不仅谐波阶数会改变，而且特定光谱范围内的光谱权重也会改变，这就意味着气池内部气体压力（真空度）需要具备可精密调节和稳定控制能力，以便实现所需高次谐波的产生。

(2) 因高次谐波很容易被大气吸收，这就要求高次谐波的光路必须维持在高真空状态。

由此可见，在高次谐波发生器中需要包含两个不同真空度的区域，一个是1~100Torr绝对压力范围的气池内部低真空区域，另一个是高阶谐波光路上的绝对压力0.001Pa量级的高真空区域。本文将针对此两个不同区域的真空度控制提出相应的解决方案，特别是详细介绍了气池内部低真空区域内真空度的稳定精密控制。

2. 解决方案

为了解决高阶谐波发生器中双区域内的真空度控制问题，基于图1所示的用于相干衍射成像的高阶谐波发生器，本文提出的具体解决方案如图2所示。

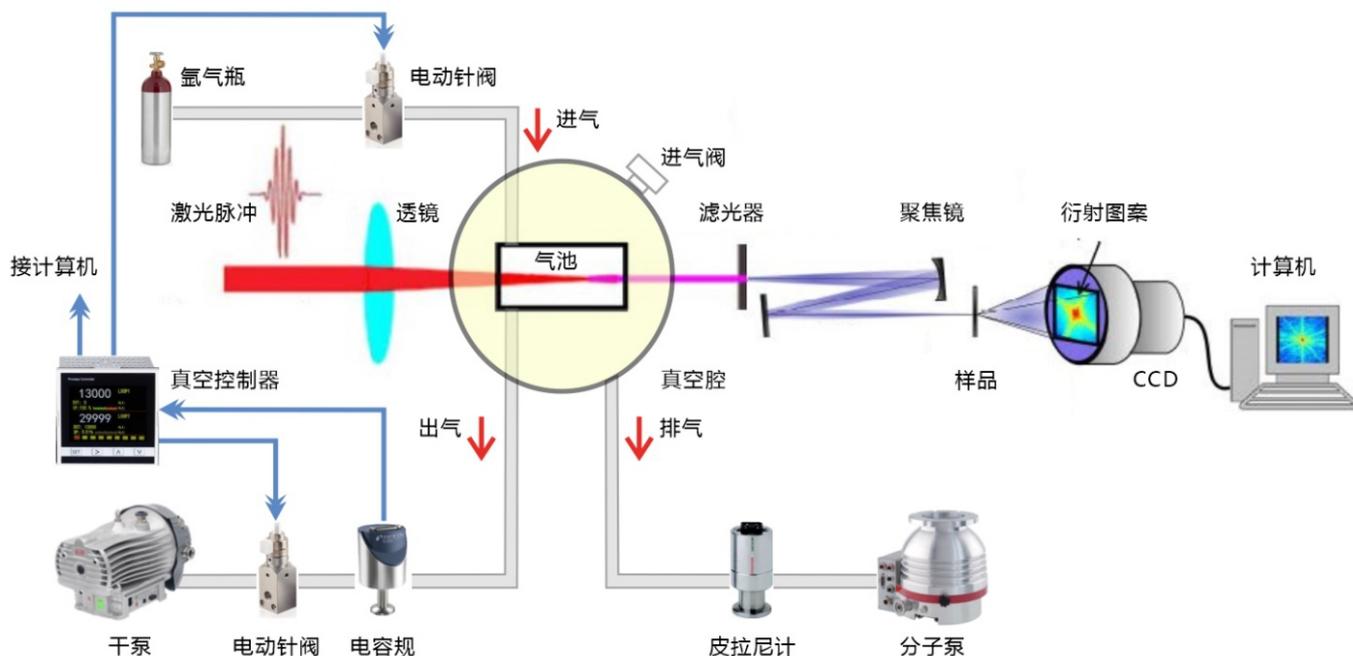


图2 高次谐波发生器真空控制系统结构示意图

在图2所示的真空控制系统中，根据真空度的不同将真空腔分为两个区域以分别用于气池和高阶谐波传输光路。针对这两个区域的真空度控制，采用了以下两个真空回路。

(1) 光路的高真空控制回路

在真空腔的高真空回路中，排气管路直接与真空腔壁连接，通过分子泵来抽取真空腔内的气体使其达到绝压0.001Pa量级的高真空（图2中并未绘出相配套的低真空前级泵），同时用皮拉尼计来监控真空度的变化。为了在测试完成后取出样品，需要对真空腔进行充气以恢复到常压大气环境，在真空腔壁上布置了一个电动放气阀，可程序控制此放气阀的开启和关闭。

(2) 气池的低真空控制回路

如图2所示，真空管路直接与气池连接，并与高压气瓶、调节进气流量的电动针阀、电容规、调节排气流量的电动针阀、干泵以及真空控制器组成低真空控制回路。对进气和排气流量进行调节以实现真空度控制是一种动态平衡控制方法，这种方法的特点是可实现1Pa~0.1MPa范围内真空度的精密控制，特别是结合24位AD和16位DA的双通道高精度真空度控制器，控制精度可达到±1%以内。

3. 总结

通过上述的两路独立真空控制回路构成的真空控制系统，可以很好的实现高次谐波发生器所需的真空度准确控制，而且气池内的真空度可以任意调节和恒定控制，为各种高次谐波的产生和优化提供了有效的技术保障。