

# 高温高湿氨逃逸传感器

烟气高温氨逃逸的精确测量对于高温能源动力装备运行过程中的天然气掺氨燃烧和纯氨燃烧过程熄火预警，安全运行，选择性催化还原(SCR)系统的主动控制，选择性非催化还原(SNCR)的精准调控和燃烧效率的评估至关重要。

需要特别指出的一点是，与传统的碳氢燃料燃烧不同的是纯氨(NH<sub>3</sub>)燃烧过程的完全燃烧产物只有水蒸气(H<sub>2</sub>O (g))和氮气，因此烟气中水汽的含量明显高于碳氢化合物。例如，NH<sub>3</sub>/空气混合物的化学计量燃烧产生的烟气中含有 31.1%水蒸汽（以摩尔计），这与化学计量丙烷/空气火焰的烟气中 15.5%H<sub>2</sub>O 形成对比。对于 NH<sub>3</sub>/氧气燃烧 ( $\text{NH}_3 + 3/4\text{O}_2 = 1/2\text{N}_2 + 3/2\text{H}_2\text{O}$ )，烟气中水汽的摩尔分数可高达 75%，这种超高的湿度将对烟气中氨气测量有重要影响。此外，天然气高比例掺氨燃烧中，烟气中水汽含量也明显高于碳氢燃料燃烧后的烟气水汽含量。

传统基于电化学反应、气相色谱或质谱 (GC/MS)、非色散红外光谱 (NDIR) 技术、傅里叶变换红外光谱 (FTIR) 和非色散紫外光谱 (NDUV) 技术，对于高温高湿氨逃逸存在电解质中毒和其他物种交叉干扰问题，或者系统体积庞大，分析时间长，不适合现场连续实时测量的问题或者现场测量稳定性较差的问题。而激光吸收光谱技术是一种稳健可靠的技术，具有简单的光学配置、快速的时间响应和直接的数据

处理等独特优势，是测量高温氨逃逸的有效手段。但前期激光氨逃逸传感器主要是为水汽浓度不超过 5-10%的烟气设计和开发的，并不适用于用于高湿度环境(水汽浓度 >30%)的痕量氨逃逸测量。

基于实验室创新的高温/碰撞展宽校正技术和实测的高精度分子高温光谱参数，实验室研发了适用于超高湿环境的痕量氨逃逸监测传感器。目前研发的高温高湿氨逃逸传感器(图 1)，可实现最低检测下限 0.1 ppm(可定制)，响应时间 2s，测量浓度范围 0.1-3000 ppm(可定制)，精度±2%的高湿(水汽浓度范围以为 10-40%)氨气检测，可通过 RS485 与工控机通讯，也可通过与电脑连接通讯。

本实验室具有长期设计和研发激光高温气体传感器和复杂恶劣现场测试诊断的相关经验，在过往 7 余年的研究中对高温能源动力装备的烟气检测方法和传感器设计进行了深入而系统的研究。2023 年实验将研发的高温高湿氨逃逸检测方法 与传感器发表于测量科学技术领域权威期刊 *Measurement Science and Technology* (图 1)。

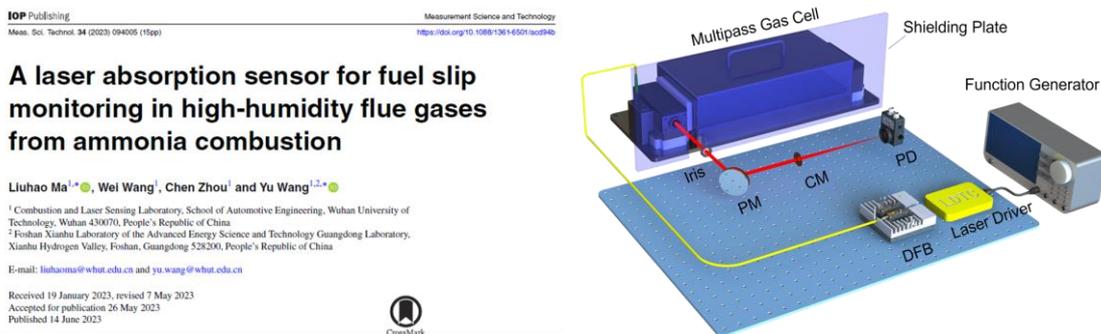


图 1. 用于高温高湿烟气氨逃逸检测的激光传感器示意图

在研发过程中，本实验室精确定量了高湿度环境对分子光谱展宽效应的影响，测出了氨分子在水汽气氛下的展宽系数，氨分子在氮气气氛下的展宽系数和水汽自展宽系数等重要光谱参数。此外，还研制了高湿水汽发生器(图 2)，可实现高湿环境的湿度调控。

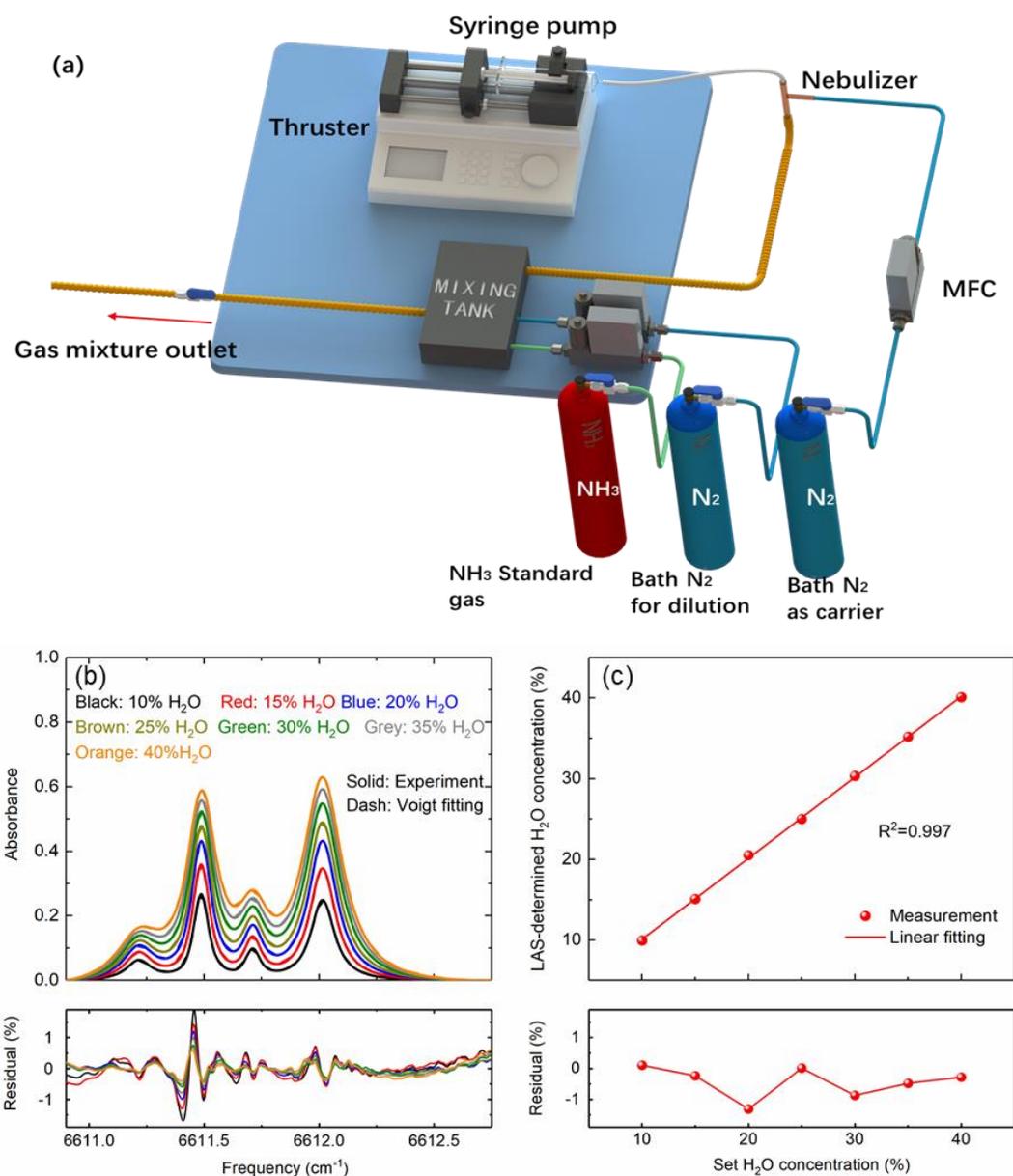


图 2. (a) 用于高湿环境调控的水汽发生器示意图; (b) 不同水汽浓度的光谱信号; (c) 实测水汽浓度值与设定水汽浓度值对比图

在成功实现实验室环境的高温高湿氨逃逸定量检测后，我们将研发的痕量氨逃逸传感器应用于天然气掺氨层流火焰残余氨检测和高温工业窑炉氨逃逸监测(图 3)。

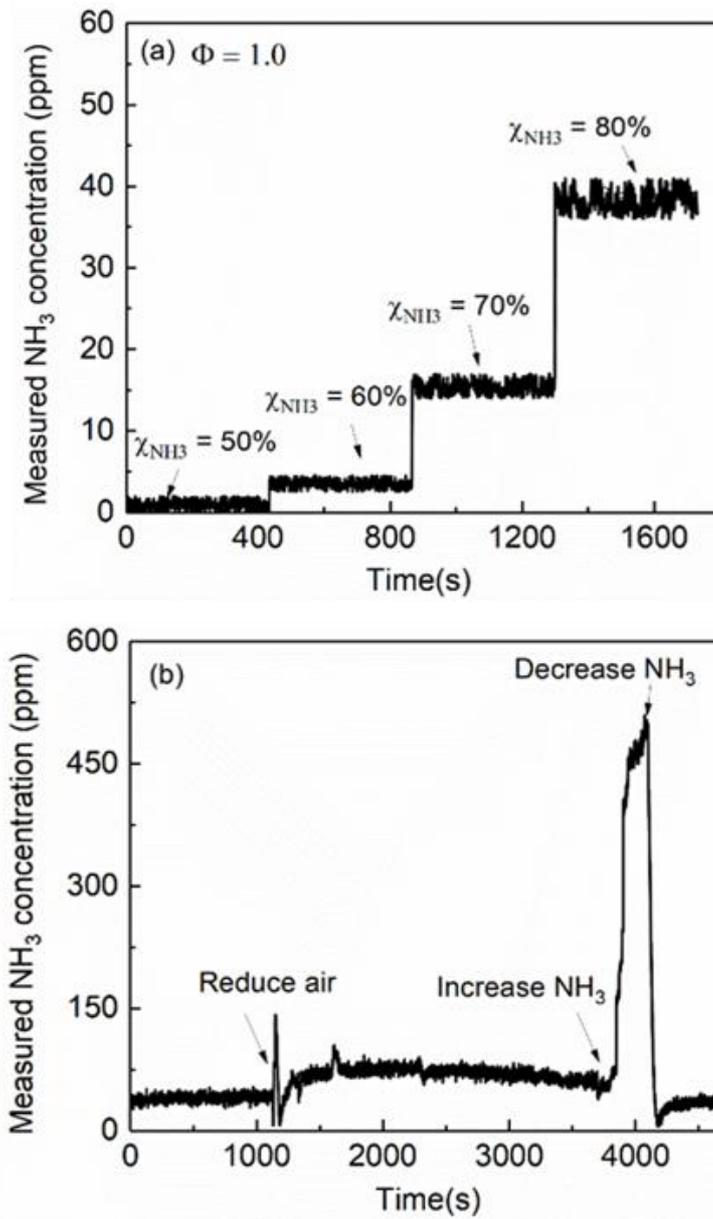


图 3. (a)层流预混  $\text{CH}_4/\text{NH}_3$ /空气火焰和(b)  $\text{CH}_4/\text{NH}_3$  工业窑炉烟气中的氨逃逸测量结果

基于上述核心技术，实验室可提供高温高湿氨逃逸传感系统和气体传感器研发相关服务。目前已与本实验室进行高温氨逃逸检测相关合作的单位包括佛山市德力泰科技有限公司和佛山欧神诺陶瓷有限公司，图 4 为本实验室近期提供给合作伙伴的高温高湿氨气逃逸检测系统，已应用于高温工业过程氨逃逸在线监测。

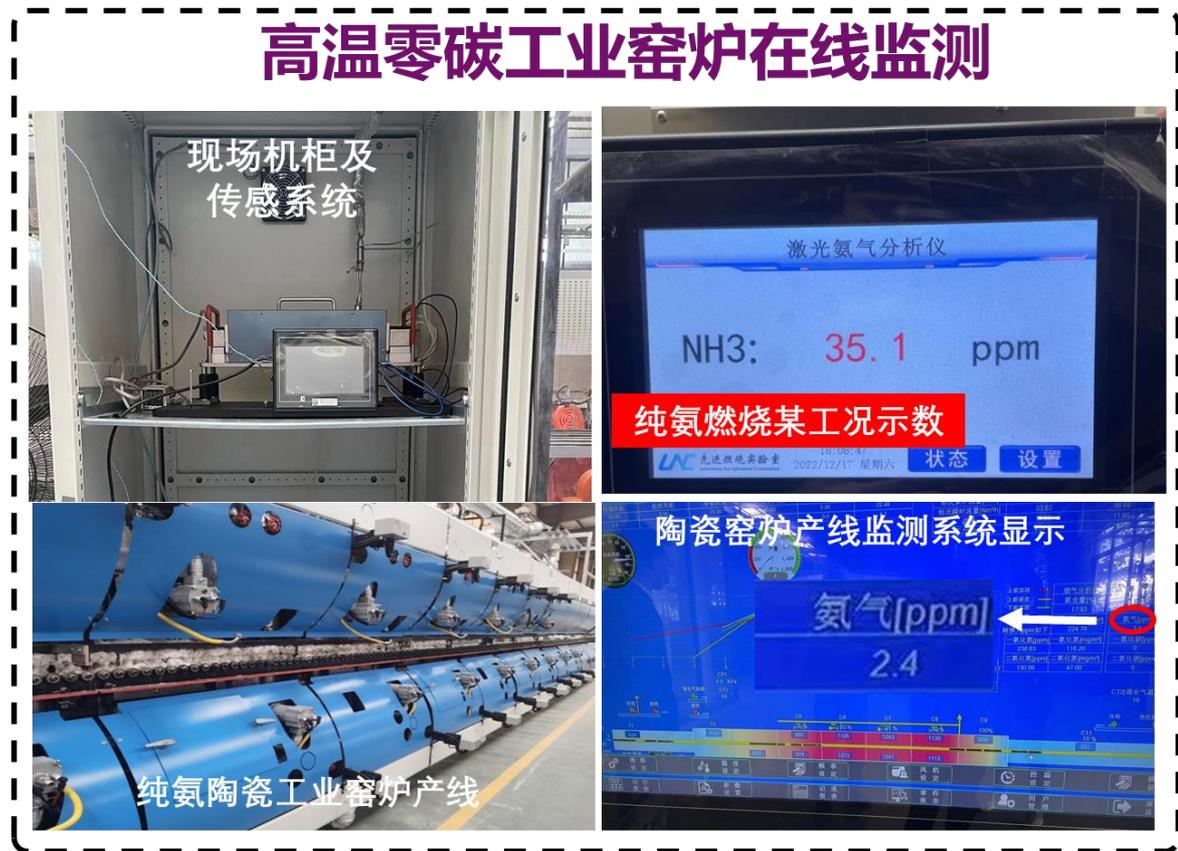


图 4. 高温高湿氨逃逸检测系统（包含传感器和电子屏显示，可连接工控机通讯）