

大气成分观测业务仪器设备现状及 支撑保障的对策与思考

一、大气成分观测站网及仪器设备现状

1. 大气成分观测站网

中国气象局大气成分观测工作始于二十世纪八十年代,目前国家级站网包括 1 个全球本底站、6 个区域本底站、29 个沙尘暴观测站、28 个大气成分站、365 个酸雨观测站,以及各省、地方气象局建设的雾霾($PM_{2.5}$)站等。据不完全统计,目前全国气象部门开展大气成分相关观测的站点数量已达 500 余个。此外,由于涉及到样品的采样观测,国家级及部分省气象局还建设有中心实验室,主要进行样品分析、仪器标校及标准量值传递等工作。

2. 仪器设备

大气成分观测仪器设备种类较多,且主要为国外进口仪器。观测要素涉及温室气体(二氧化碳、甲烷、氧化亚氮、六氟化硫、卤代温室气体等)、大气气溶胶($PM_{10}/PM_{2.5}$ 质量浓度、吸收特性、散射特性、光学厚度、化学成分、数浓度谱等)、反应性气体(地面臭氧、二氧化硫、氮氧化物、一氧化碳等)、臭氧柱总量和廓线、太阳辐射(总辐射、散射辐射、直接辐射、紫外辐射等)、酸雨(pH 值、电导率)及降水化学(离子成分)等。

观测仪器的选择,主要是依据世界气象组织相关观测指南和技术要求,早期通常选择国外相对成熟的商品化仪器,并在国外特别是发

达国家里得到成熟应用，部分仪器具有美国 EPA 或欧盟认证。此外，进口仪器在选择之前通常已在科学研究工作过程得到运用，只有少量仪器设备为国外实验室科研研发、且未进行商品化普及（如 Medusa 卤代温室气体观测系统等）。进口仪器引进时，除考虑其技术性能指标外，还考虑引进不同厂家的产品，目的是引入竞争，避免过于依赖单一厂家仪器设备，在经济成本上以及技术支撑等方面处于制约。

据统计，在气象部门，不包括大气成分实验室内相关分析设备，仅大气成分观测站网在线和非在线仪器设备，涉及到约 39 种不同方法的观测仪器约 1525 套仪器，其中进口设备种类达 36 种，在用国产设备仅有 3 种，有关情况详见下表。

类别	不同方法 的仪器设备	在用 进口设备种类	在用 国产设备种类	已有 国产设备种类
数量	39	36	3	21
比例（%）	—	92.3%	7.69%	53.8%

经对国产大气成分观测仪器设备进行调研发现，在反应性气体（一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、臭氧）观测、气溶胶（膜采样、总悬浮颗粒物、贝塔射线法、能见度、黑碳浓度、浊度计、激光雷达等）观测、温室气体（气相色谱系统、采样器）、辐射（总辐射、直接辐射、散射辐射、长波辐射）观测、酸雨（人工 pH、电导率以及自动采样）、大气负离子观测等方面已有国产化设备，其中《空气质量标准》（GB-2012）所规定的六要素观测仪器设备（一氧化碳、二氧化硫、氮氧化物、臭氧、贝塔射线法 PM₁₀和 PM_{2.5}），已有环境保护部门许可，能见度仪器有气象部门许可。在仪器某些技术参数方面，

例如稳定性、精度，特别是检测限等，国产化仪器往往不如同类的进口产品，尤其在痕量级的仪器设备上缺口大；一些设备的测量精度、器件的气密性及零备件的寿命等都存在相当差距。尽管在价格上有一定的优势，但国产仪器由于长期受到进口仪器设备的挤压，生存空间有限，在环境适应性上，同样也面临众多问题。

总体而言，大气成分观测，特别是大气本底观测，各种要素观测的技术架构在多年的实践中已基本确立，进口仪器及其辅助设备的环境适应性问题在连续观测过程中不断被检验，大部分都符合基本的设计指标和既定的观测数据质量目标。但也有部分仪器的环境适应性有待于进一步的检验、改进。

二、支撑保障中存在的问题

与常规气象要素观测相比，大气成分观测仪器设备的系统结构相对复杂，仪器价格昂贵，维修、维护等成本较高，在技术支撑保障中存在的主要问题如下：

1. 站网仪器设备已长期运行，大部分仪器设备运行时间超过十年，仪器设备日渐老化，出现状态异常和故障频发。同时，由于缺少足够的备机和备件备品，仪器故障一旦发生不能及时更换，造成数据缺测严重。

2. 进口仪器设备的国内维修能力相对不足，部分观测设备故障只能返回国外厂家进行维修，往返运输、故障诊断、检修测试等所需要时间周期较长。如用于观测温室气体二氧化碳、甲烷的 PICARRO G1301

分析仪器，五个大气本底站和实验室仪器的核心部件——光腔，均先后出现问题，只能返回美国厂家进行维修，费用较高，维修周期更是长达 6-8 个月之久。其他部分观测仪器（如用于观测气溶胶质量浓度的 GRIMM180 仪器、反应性气体仪器等）也出现严重故障返回国外维修的案例，返厂维修时间也超过 4 个月。

3. 大气成分观测除主要观测仪器设备外，还包括进气控制以及标校等辅助设施，系统结构相对复杂，使得保障工作本身就具有一定的技术难度。此外，系统维护或维修前后通常需要对整套观测系统进行综合测试和标校，才能投入正常运行。

4. 省、地级大气成分观测保障能力不足，社会化保障程度参差不齐，大气成分观测站网的仪器维护、维修等保障支撑工作过于依赖于国家级业务单位，压力很大。

5. 我国幅原辽阔，各地的气候条件不尽相同，因此，观测仪器的环境适应性方面需要进一步测试，而缺乏相对应的完善的比对测试制度和技术力量。主要集中在以下几个方面：

（1）高海拔（>3500 m）观测环境的适应问题

大部分商品化仪器很少在此海拔以上高度进行测试，特别是基于动力学切割粒径的气溶胶 $PM_{2.5}$ 的测量会遇到麻烦，实际切割粒径可能会与平原地区不一样，导致测量误差。在高原，滤膜的压差会变大，采样泵的效率容易降低，很容易达不到工作点流量，这也可导致气溶胶的测量误差。此外，客观的环境条件，如气压低，会导致散热条件

不好，一些内置泵会自行过热保护而不能工作（如臭氧标定仪），一些仪器因超过所设定的压力和流量范围会自动停止观测、报警或者导致测量值波动幅度较大，另外仪器也容易发生故障等问题。例如，Grimml80 在瓦里关站的适应不尽人意，Ecotech 9850T 二氧化硫分析仪在香格里拉站就出现观测值波动大而不适合观测的问题，等等。这对观测的质量保证和质量控制会产生很大的影响。在高海拔地区进行大气本底观测是我国大气成分观测的一个特点和优势，因此，需要长期的技术经验积累和改进。

（2）污染物浓度时空变化范围大

中国的大气污染物浓度水平通常可以跨越 1-3 个数量级，污染物浓度低的时候空气清新，污染物浓度高的时候空气污浊。这也是进口仪器适应性需要考虑的问题。洁净的时候需要检测限低（痕量级）的测量仪器，而在污染重的时候只需要常规的仪器设备，而这常常是矛盾的。这种情况下，有些仪器并不太适应我国不同地区的气候条件。

还有些仪器在潮湿的南方会出现较多的问题，而在干燥的地区则问题较少。高热潮湿的时候，往往会导致室内管路出现冷凝水，影响测量结果；在一些高、冷地区，冬天会结冰，堵塞进气管等等。

6. 台站的基础条件需进一步改善。由于气象部门所属台站通常处于偏远地区，基础条件较差主要体现在电力不稳定，室内温度控制不够理想等。这对仪器的长期运行不利，一些仪器会因为经常停电而出现故障，因为温度变化大而导致测量出现偏差。但这在逐渐加大基础设施等的投入后容易得到改善。

三、 思考与对策

为进一步加快大气成分观测业务化进程，建立完善的、与气象现代化发展需求相适应的大气成分观测业务保障体系，建议如下：

1. 职能部门应认真调查研究，尽快建立明确、可行的大气成分观测运行保障制度和保障体系，明确台站、省级和国家级单位的职责和任务。

2. 加大观测技术、观测过程质量控制和数据应用等的培训力度，把培训工作纳入常态化管理。

3. 积极推进大气成分观测业务的社会化保障。

4. 积极推进国产大气成分观测仪器性能和环境适应性等的测试和评估，增强观测技术储备，推进国产化仪器在大气成分观测业务中的应用水平。