

新形势下我国大气本底观测研究型业务发展概述

■ 靳军莉 周青 张勇 荆俊山 姚波 颜鹏 张国庆 马志强 宋庆利 马千里 江初 李邹 王建林 王凯

2018年以来,大气本底站网气溶胶质量浓度、黑碳、反应性气体等多要素观测项目的国家级数据入库、监控、质量控制、观测实况显示、业务管理等实时业务上线,到2021年底,温室气体、气溶胶质量浓度和光学特性、反应性气体、酸雨和臭氧柱总量等在线观测项目,以及温室气体人工采样分析、气溶胶膜采样、酸雨业务考核、大气成分维护校准信息填报等实时和非实时业务功能将全部上线,大气本底观测实时业务能力显著提升。

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.03.022

大气本底观测是指对全球或区域尺度范围内大气成分及其相关特性的平均状态及变化特征的长期观测,根据世界气象组织(WMO)的定义,大气本底观测“以有效的质量控制和质量保障,开展全球性的大气化学组成及相关物理特性的长期观测,为用户提供综合性产品服务,以满足了解和控制人类活动对全球大气日益增加的影响的需求”。当前与大气成分变化相关的全球变化问题日益引发全球社会高度关注,大气成分特别是大气本底观测从单纯的科学观测活动演变为全面应对全球变化策略和行动的重要组成部分,成为相关国际公约谈判的重要支撑。为了在全球范围内应对全球变暖、臭氧层耗减和酸雨等大气环境恶化问题,WMO于1957年建立了全球臭氧观测系统(Global Ozone Observing System, GO₃OS)监测臭氧总量及廓线;20世纪60年代末建设了本底大气污染监测网(Background Air Pollution Monitoring Network, BAPMoN)关注降水化学、气溶胶和二氧化碳观测等。1989年WMO整合上述两个观测网形成了现在所说的全球大气监测计划(Global Atmosphere Watch, GAW),在全球范围内开展大气本底化学成分观测,旨在加强大气成分要素全球性观测站网的整体功能。经过30余年的发展,WMO/GAW已经成为当前全球最大、功能最全的国际性大气成分(大气化学)观测网络,可对气候、环境、生态具有重要意义的大气成分及其物理和化学特性进行长期、系统和准确的综合观测,并为研究全球大气变化对气候、环境和生

态系统影响提供可靠的基础资料。

我国自20世纪80年代起加入WMO/GAW计划,并以此作为我国履行相关国际公约义务的具体行动。之后,中国气象局在WMO和联合国环境规划署(UNEP)援助下,先后建设了北京上甸子(以下简称上甸子站)、浙江临安(以下简称临安站)、黑龙江龙凤山(以下简称龙凤山站)WMO/GAW区域大气本底站,和青海瓦里关我国唯一的WMO/GAW全球大气本底站(中国大气本底基准观象台,以下简称瓦里关站)。21世纪以来,中国气象局对瓦里关站等4个大气本底站进行业务升级建设,并新建了湖北金沙(以下简称金沙站)、云南香格里拉(以下简称香格里拉站)、新疆阿克达拉(以下简称阿克达拉站)3个国家区域大气本底站,至此形成“1+3+3”大气本底观测网基本框架。瓦里关、上甸子、临安、龙凤山4个大气本底站先后入选国家大气成分本底野外科学观测研究站及中国气象局首批野外科学试验基地和国家气候观象台,2019年阿克达拉本底站亦入选第二批中国气象局业务科学试验基地。我国大气本底站业务体系已初具规模,观测数据序列较为连续,覆盖了当时较重要的观测要素,观测要素主要涵盖温室气体、气溶胶、反应性气体、干湿沉降、臭氧总量及廓线、UV辐射等6大类,为国家实施可持续发展战略、建设生态资源友好型低碳经济的科学决策提供不可或缺的基础数据和科技支撑,同时也培养出一批业务和科研人才,为大气本底观测业务的未来发展奠定了较好的

收稿日期:2020年11月9日 修回日期:2021年3月7日
第一作者:靳军莉(1980—),Email:jijl@cma.gov.cn
通信作者:张勇(1976—),Email:yzhang@cma.gov.cn
资助信息:中国气象局软科学研究项目(2020ZZXM29)

基础。

然而也应看到，大气本底观测业务所涉及的站点数量少、观测种类有限，综合观测业务能力较弱。观测资料以报送WMO数据中心和科研应用为主，其在国家和地方的气象业务和服务中应用不足，大气本底站科学水平发展遇到瓶颈等问题突出，总体上不能满足应对气候变化、推进生态文明建设等国家战略需求，与新形势下气象业务现代化改革和发展的整体要求不相适应。

《国家应对气候变化规划（2014—2020年）》中提出要“加强温室气体本底监测及相关研究,建立长序列、高精度的历史数据库和综合性、多源式的观测平台，重点推进气候变化事实、驱动机制、关键反馈过程及其不确定性等研究”。2019年4月，中国气象局印发《研究型业务建设指导意见》（中气函〔2019〕82号），明确了新时代研究型业务内涵、建设内容以及实施、保障措施等。本文在充分考虑新的发展时期对我国大气本底观测提出的前所未有的高要求，以及我国所承担的国际义务和应对气候变化、推进生态文明建设等可持续发展一系列战略需求的基础上，深入分析我国大气本底站业务现状和发展需求，顺应气象现代化业务和研究型业务发展的整体要求，一方面从国家级层面研究中国气象局大气本底观测业务的科学布局并凝练共性的关键技术难题，以期指导大气本底站对接新形势下的新要求并突破目前的业务技术发展瓶颈；另一方面以各有侧重、差异化发展的思路，结合各大气本底站所处区域特点、对接其战略需求，有组织、有依据地规划其发展方向和主要任务旨在推动我国大气本底观测研究型业务形成高质量、高水平、

可持续性发展的良好态势。

1 我国大气本底观测业务现状

中国气象局在WMO和UNEP援助和自筹资金投入下，自20世纪80年代起逐步建成了7个大气本底站（其中1个WMO/GAW全球大气本底站、3个WMO/GAW区域大气本底站、3个国家区域大气本底站，图1）。

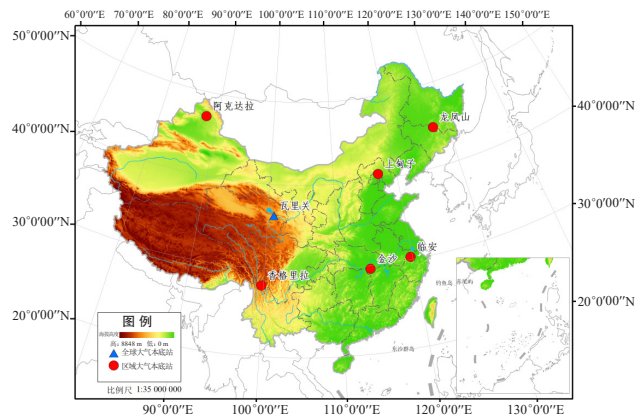


图1 我国大气本底观测站分布

各大气本底站所处地理位置及气候环境不同，均代表了不同气候关键区大气本底状态（表1）。瓦里关站地处青藏高原东北部青海南山山脉东端，是欧亚大陆唯一的全球大气本底站，其获得的观测资料具有较好的欧亚大陆腹地大尺度本底特性；上甸子站地处燕山山脉南麓的浅山，其长期观测资料能够较好地反映我国华北区域气候变化和大气本底特征；龙凤山站、临安站、金沙站、香格里拉站、阿克达拉站分别代表东北平原、长三角区域、华中区域、云贵高原、新疆北疆的大气本底状态。2019年中国气象局确定了

表1 我国大气本底站基本情况表

序号	站名	站点类型	地理位置	建设年份	代表气候关键区	主要观测项目
1	瓦里关	WMO/GAW 全球大气本底站	100.9°E, 36.3°N 3816 m	1994	青海瓦里关大气本底与三江源生态观测区	温室气体在线观测、温室气体采样观测、气溶胶物理化学和光学特性在线观测、气溶胶采样观测、反应性气体在线观测和采样观测、降水化学及酸雨观测、大气臭氧总量与辐射观测
2	上甸子	WMO/GAW 区域大气本底站	117.1°E, 40.7°N 293 m	1981	京津冀经济圈环境观测区	温室气体在线观测、温室气体采样观测、气溶胶物理化学和光学特性在线观测、气溶胶采样观测、反应性气体的在线观测、降水化学及酸雨观测、辐射观测等
3	临安	WMO/GAW 区域大气本底站	119.8°E, 30.3°N 1389 m	1983	长三角经济圈环境观测区	温室气体在线观测、温室气体采样观测、气溶胶物理化学和光学特性在线观测、气溶胶采样观测、反应性气体在线观测、降水化学及酸雨观测、大气臭氧总量及辐射观测等
4	龙凤山	WMO/GAW 区域大气本底站	127.6°E, 44.7°N 331 m	1991	东北林带与松嫩平原生态综合观测区	温室气体在线观测、温室气体采样观测、气溶胶物理化学和光学特性在线观测、气溶胶采样观测、反应性气体在线观测、降水化学及酸雨观测、大气臭氧总量及辐射观测等
5	香格里拉	国家区域 大气本底站	99.7°E, 28.0°N 3580 m	2004	川滇区域水分循环过程及高原边缘生态综合观测区	温室气体在线观测、温室气体采样观测、气溶胶物理化学和光学特性在线观测、反应性气体在线观测、基本地面气象要素和铁塔梯度气象要素观测
6	阿克达拉	国家区域 大气本底站	87.9°E, 47.1°N 562 m	2005	天山冰川与水文、生态综合观测区	温室气体采样观测、气溶胶物理化学和光学特性在线观测、气溶胶采样观测、反应性气体在线观测等
7	金沙	国家区域 大气本底站	114.2°E, 29.6°N 750 m	2005	洞庭鄱阳两湖平原河湖综合观测区	温室气体在线观测、温室气体采样观测、气溶胶物理化学和光学特性在线观测、反应性气体在线观测、气溶胶采样观测、降水化学及酸雨观测等

新丰国家大气本底站，位于广东省韶关市新丰县西北大顶山，属于东江流域新丰江水库新丰集雨区生态环境保护范围，能代表华南和珠三角区域的本底特点。

经过30余年的建设和发展，我国大气本底观测业务在以下几方面取得了长足进展。

1.1 本底观测业务能力得到进一步提高

首先，在中国气象局综合气象观测自动化专项连续三年（2018—2020年）支持下，大气本底观测台站端业务软件解决了4类大气本底站新型号设备的自动化观测、数据采集与资料上传问题。其次，2018年以来，大气本底站网气溶胶质量浓度、黑碳、反应性气体等多要素观测项目的国家级数据入库、监控、质量控制、观测实况显示、业务管理等实时业务有史以来首次进入国家级实时业务平台；到2021年底，温室气体、气溶胶质量浓度和光学特性、反应性气体、酸雨和臭氧柱总量等在线观测项目，以及温室气体人工采样分析、气溶胶膜采样、酸雨业务考核、大气成分维护校准信息填报等实时和非实时业务功能将全部上线，大气本底观测实时业务能力显著提升。

1.2 观测质量管理体系得到不断完善

近年来，中国气象局分别发布了《大气成分观测业务规范（试行）》《大气成分观测业务规章制度（试行）》和《大气成分观测业务运行管理暂行规定》（简称《规定》）；发布和在编国家标准14项、气象行业标准54项。中国气象局作为WMO/GAW全球大气观测研究在中国唯一指定的执行机构，代表中国接受WMO世界标定中心的现场督察和考核；大气本底站温室气体、地面臭氧、降水化学等观测项目直接溯源WMO及国际最高质量标准、参与国际质量督察和巡回比对。温室气体瓶罐采样、气溶胶化学组分、降水化学组分等人工采样分析项目按照《规定》要求，样品到报、分析率100%，温室气体、气溶胶、反应性气体等在线观测项目实现定期质控处理；2016—2019年，大气本底站温室气体在线观测平均数据可用率整体提高，2019年达到91%，大气本底观测业务运行质量稳步提高。

1.3 科学支撑、资料应用和决策服务成果显著

2012年起，中国气象局基于瓦里关等大气本底站温室气体观测结果编制《中国温室气体公报》《WMO温室气体公报解读材料》等决策服务产品，产品已连续发布8期，是我国观测时间序列最长、较为权威的国家级温室气体监测和应对气候变化决策服务产品。瓦里关站接近30年大气二氧化碳（CO₂）浓度变化曲线（图2），显示其浓度特征与同纬度地

区的美国夏威夷冒纳罗亚（Mauna Loa）全球大气本底站基本一致，很好地代表了北半球中纬度地区大气二氧化碳的平均状况，被我国代表团在多次国际会议引用。我国大气本底站地面臭氧及柱总量观测资料参与国际数据评估服务，是全球对流层臭氧评估报告（Tropospheric Ozone Assessment Report, TOAR）的重要组成部分（图3）。近年来，我国大气本底站气溶胶质量浓度、地面臭氧和降水化学等资料参与《中国气候变化蓝皮书》《大气环境气象公报》等6份国家决策服务报告，展示关键气候变量的长期变化特征、为气候变化和环境气象决策提供科学观测依据。基于本底站长期、高质量观测研究在国内外期刊发表了大量学术论文，揭示了我国青藏高原、京津冀、长三角、东北、华中、西南、西北等关键气候生态地区的温室气体、臭氧层损耗物质、气溶胶、臭氧及总量等本底浓度水平、年代际变化特征及趋势，为气候变化研究、生态环境效应评估、大气污染治理评估等提

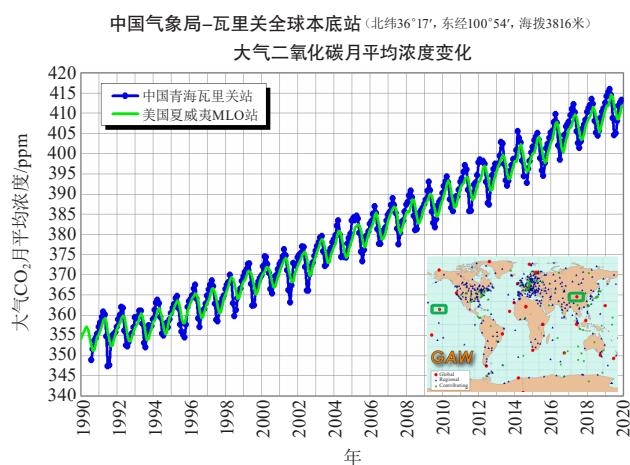


图2 瓦里关站和美国夏威夷冒纳罗亚站（Mauna Loa, MLO）大气CO₂月平均浓度长期变化（引自2020年《中国温室气体公报》）

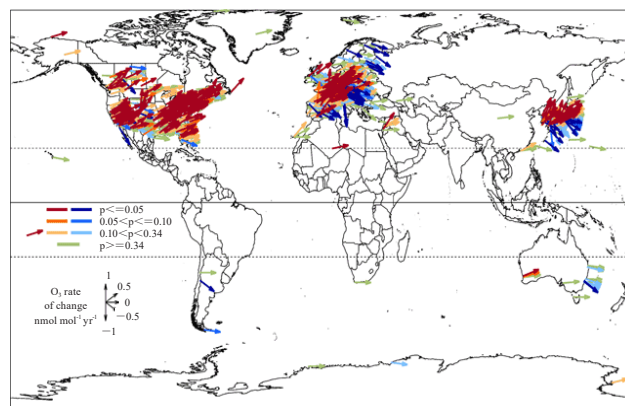


图3 2000—2014年全球非城区站冬季日间地面臭氧变化趋势，中国区域内淡绿色箭头为瓦里关站（引自DOI: <https://doi.org/10.1525/elementa.291.f13>）

供了坚实的科学支撑。

2 我国大气本底业务发展存在的问题

2.1 大多数气候系统关键区缺乏大气本底观测

对照中国气候观测网（CCOS）的规划布局（如《中国气候观测系统》图3所示），目前大气本底站的数量明显不足，对我国气候观测关键区的覆盖不及五成。在国际上，我国的大气本底站网规模不仅无法与美、欧等发达地区（分别建有162个和100个GAW本底站及贡献站）相比，即便是与印度、越南（分别建有17个和2个大气本底站）等发展中国家相比，其数量也是偏少的。

2.2 缺乏多种大气属性及其相互作用的监测

目前我国大气本底站开展了6大类23项业务观测，仍不能覆盖WMO/GAW的所有推荐项目，与WMO/GAW数据中心收集的300余种观测要素相比明显偏少，且业务需求迫切的一些观测要素（如气溶胶吸湿特性、臭氧及其前体物NO₂等垂直廓线、挥发性有机物等）尚处于观测空白。另外，只有极少数大气本底站开展了气溶胶散射特性、化学组分等项目观测，观测项目配置不能满足WMO要求。

大气是参与地球系统多圈层之间的能量、物质循环的重要媒介和载体，天气和气候模式发展需要详细的观测天气系统变量和变化，需要对气候系统各圈层之间相互作用进行清晰的描述，这些物理过程参数化方法的建立和检验，需要有完备的多圈层天气和气候变量观测支撑。大气本底观测业务面临地球系统多圈层综合观测的新视角带来的业务需求。但是，目前大气本底观测业务中缺乏对典型下垫面地球圈层间重要大气成分物质循环等动态观测和科学研究（如CO₂和气溶胶颗粒物的通量观测研究），缺少开展大气物理、生物、化学等多种属性交叉的观测试验和科学研究，这都制约了我国大气本底观测为气候变化研究、气候系统监测和影响评估、气候模拟预测及化学天气预报业务等观测基础支撑。

2.3 缺乏垂直观测及星地校验及资料融合应用

目前开展的大气本底观测以地面观测为主，大气成分垂直观测仅开展了气溶胶光学厚度和少量的臭氧总量观测，WMO/GAW要求的温室气体、气溶胶和反应性气体等关键气候变量（ECV）的垂直观测均未开展；WMO臭氧探空业务观测已开展60年左右、目前全球有百余臭氧探空站在业务运行，但我国尚未开展臭氧探空。地基高光谱仪、激光雷达、多轴差分吸收光谱仪等主被动地基遥感探测大气成分垂直分布的手

段以及飞机、探空等探测平台技术的业务应用尚未起步，与大气成分卫星观测密切相关的垂直遥感探测能力极为薄弱。

近两年我国卫星探测大气成分技术有了进步，但当前地面观测大气成分要素的观测项目、方式、精度以及范围等都无法满足空基观测校验和资料融合应用对地基观测的需求。另外，随着我国大气复合污染特征的进一步演化，区域污染与天气、气候变化紧密联系，NO₂、臭氧等是光化学反应的重要成分和二次气溶胶的重要前体物，气溶胶颗粒粒径垂直分布以及光学性质又对温湿的垂直分布、云凝结核的形成等有影响，从而影响到成云、降水和辐射平衡。大气成分垂直综合观测以及大气成分卫星观测产品的星地校验开展严重不足，重要大气成分要素的前瞻性观测和基础数据贮备严重缺乏。

2.4 关键仪器国产化程度低业务保障能力不足

全国大气本底观测业务使用的大部分技术设备严重依赖进口设备、国产化率不足20%。一方面在国外技术封锁日趋严重的形势下，低国产化率给观测稳定性和业务延续性带来一定的不安全因素；另一方面，高比例的进口设备因其价格高、维修周期长等给大气本底站业务有效保障造成较大影响。例如，进口设备单机和部件价格高昂、采购流程复杂周期长，大气本底站网关键观测备机配备也严重不足，7个大气本底站温室气体CO₂/CH₄在线观测系统仅有1台备机（备机比7:1）、远远不满足备机比3:1的业务规定；其次，进口设备一旦发生故障需要返厂维修，则维修停测（或停止分析标校工作）周期长达半年或更长。

3 我国大气本底研究型业务发展的思考与原则

3.1 坚持面向应对气候变化研究

充分认识应对气候变化研究工作是中国气象局的一项重要任务，助力于加深社会公众对气候变化、大气污染的认识越来越深入，推动中国关键气候区大气本底站科学论证建设和关键气候变量观测能力建设，提升服务于应对气候变化的关键大气成分长期观测水平与能力。

3.2 坚持面向天气气候影响研究

从垂直和水平两个维度推动扩展对天气过程及气候变化有重要影响的大气成分观测获取能力，尤其是气溶胶、臭氧及其前体物以及温室气体等大气成分的观测技术和实现能力，提供高质量、多要素、综合垂直以及水平分辨率更高的观测数据。进一步研究气溶

胶和温室气体对季风和降水方式和分布的影响,研究气溶胶对强对流和降水的增强作用等。

3.3 坚持面向环境气象预报服务

提高气候关键地区大气本底观测的立体维度和资料密度,促进检验和改进环境气象预报服务和预报模式,以及不断增加的对大气成分观测资料同化与模式预报应用的水平。

3.4 坚持面向国家生态文明建设

加强大气成分对作物生长、植被、森林的影响研究,开展颗粒物、反应性气体等通量观测,深入研究大气成分通过沉积在作物、植物叶面影响作物呼吸、植物代谢等影响,加深大气气溶胶通过对光合有效辐射和散射辐射影响作物的光合作用,大气中的酸性污染气体和酸雨破坏森林和植被等科学认识。

4 我国大气本底研究型业务发展方向及任务

4.1 国家级业务科研单位主要发展方向及任务

4.1.1 提升我国大气本底综合观测业务能力

我国大气本底观测站的规模偏小,且观测要素尚未完全覆盖WMO/GAW所有的推荐项目,因此需规划国家大气本底站网全面建成对温室气体、气溶胶、反应性气体、臭氧总量及廓线、大气酸沉降等6大类观测项目的基本业务探测能力;新增建设9个大气本底站,逐步形成覆盖我国16个气候关键区的布局更为完善的大气本底观测网络;针对典型下垫面上地球圈层间重要大气成分物质循环等的动态观测和科学研究,设计在大气本底站补齐开展大气光化学(挥发性有机物、过氧乙酰硝酸酯等)、大气光学(吸收/散射)、气溶胶化学组分及粒径谱及颗粒物物理、化学、吸湿特性观测系统,增加臭氧、CO₂、NO₂、SO₂对流层柱总量等关键气候变量的垂直观测、提升大气本底综合及三维立体探测能力,观测指标满足WMO要求。

4.1.2 开展大气成分综合立体观测技术研究

对接WMO全球综合观测系统2040年远景目标要求,探索对气溶胶光学特性及氮氧化物、二氧化硫和甲醛等大气组分的垂直廓线的获取实现定常化及合作建立全球臭氧探空业务观测网。结合激光雷达、激光云高仪、多轴差分吸收光谱仪、温室气体垂直观测设备等多种主被动遥感系统,配合反演算法研究和光谱解析技术,研究针对气溶胶、臭氧及其前体物NO₂等反应性气体的地面浓度及垂直廓线的协同观测技术,实现国产多种大气成分垂直立体结构的高时空分辨率分布探测能力;将大气本底站建设成卫星遥感产品地面检验基地,开展气溶胶光学、臭氧及前体物等大气

成分地面观测与卫星遥感对比验证试验,利用地面、卫星、地基遥感、飞机等综合观测手段,探测气溶胶对云物理特性影响及气溶胶与云、辐射、降水相互作用;研究综合利用飞机、平流层大气廓线采样、边界层探空气球、激光雷达、地基高光谱仪开展温室气体垂直观测和卫星校验。

4.1.3 面向生态文明的应用服务技术研究

借助大数据分析技术,对气象、环保、地理、人文、经济发展等数据进行多源数据融合,研究大气气溶胶和反应性气体干、湿沉降清除机制和速率,定量研究气象条件,包括温度、降水、极端天气等,在大气成分的排放和清除中的作用;研究全球变化和社会决策(包括气候变化、能源选择、土地利用)对大气成分排放与清除的作用等;对各种痕量气体与颗粒物

表2 中国气象局大气本底站研究型业务发展方向及任务

大气本底站	研究型业务发展方向及任务
瓦里关	<ol style="list-style-type: none"> 开展大气成分本底观测新方法、新技术、观测标准、数据质量控制方面的研究。 开展大气成分本底观测数据在气候变化、大气环境、大气物理、生态环境保护等方面的应用研究,为区域气候变化应对方案以及其他政府重大决策提供科学依据。
上甸子	<ol style="list-style-type: none"> 研究华北地区温室气体及臭氧层消耗物质变化特征和排放规律。 基于多元数据综合分析城市发展对本底浓度的影响。 开展生态环境保护效益第三方检验评估。
临安	<ol style="list-style-type: none"> 运用物联网、互联网等现代化信息技术开展大气成分观测自动化、智能化研究。 开展长三角经济圈大气本底特征及其与区域气候、生态和环境的关系研究。
龙凤山	<ol style="list-style-type: none"> 依托物联网、无人机等现代化手段探索新观测技术应用。 开展碳汇观测体系建设,包括碳汇资源数据质量控制、开展CO₂垂直探测、建设CO₂、CH₄与碳通量监测网络。 开展温室气体观测及模式应用,基于多源数据融合技术,开展东北地区森林碳汇资源遥感监测、评价和估算等技术研发和业务服务。 加强观测和平台资源共享能力建设,使观测业务整体达到国际先进水平,为国家战略实施和经济社会发展提供强有力的科技支撑。
香格里拉	<ol style="list-style-type: none"> 推进云南温室气体观测网建设,全面掌握云南不同区域温室气体浓度水平现状及各地区间的差异。 加强川滇水循环过程及高原边缘带生态综合观测区研究。 建设服务南亚东南亚国家的大气成分研究开放合作基地。
阿克达拉	<ol style="list-style-type: none"> 开展大气本底浓度、气溶胶理化特征及影响研究。 开展阿克达拉及周边地区区域气候变化研究。 北疆牧区生态环境(牧区植被、降水、大气环境等)保护的相关研究。
金沙	<ol style="list-style-type: none"> 夯实基础业务,提供高质量的观测数据。 推进环境气象预报预警业务能力建设。 开展环境气象影响评估技术与方法研究。 打造一流试验平台,提升科技创新能力。
新丰 (在建华南 区域本底 站)	<ol style="list-style-type: none"> 开展华南区域温室气体本底观测和分析,掌握地表-高空不同层次的温室气体基本特征。 建立区域高分辨率碳源汇数值模式评估系统,定量评估区域本底CO₂的排放源、植被生态系统的吸收汇的时空特征及不同生态系统的净碳贡献。 开展气溶胶和反应性气体的本底观测研究,深入认识不利气象条件下城市群大气污染物的本底特征及影响机制。 基于温室气体、气溶胶和反应性气体的本底观测,结合数值模式预报评估,提出区域污染天气过程联防联控和低碳减排的建议与措施,为区域绿色低碳发展提供决策依据。

的大气沉降对生态系统的影响进行定量化研究；识别和定量研究全球大气中的各营养物和污染物的化学成分、转化、生物可用性，及其与生物圈的相互作用；研究在全球变化背景下，大气化学与生物圈之间的重要反馈过程和机制。

5 大气本底站主要发展方向及任务

大气本底站是中国气象局研究型业务的重要开展

深入阅读

靳军莉, 颜鹏, 等, 2014. 北京及周边地区2013年1—3月PM_{2.5}变化特征. 应用气象学报, 25(6): 690-700.

林伟立, 徐晓斌, 王力福, 等, 2010. 阿克达拉区域大气本底站反应性气体在线观测. 气象科技, 38(6): 661-667.

林伟立, 徐晓斌, 孙俊英, 等, 2011. 华中地区偏远站点金沙站气态污染物的变化特征. 中国科学(化学), 41(1): 136-144.

姚瑞新, 王润鹿, 1984. 大气本底污染监测在气象和环境科学中的作用与意义. 气象, 10(9): 2-5.

张人禾, 徐祥德, 2008. 中国气候观测系统. 北京: 气象出版社, 1-291.

周凌晔, 周秀骥, 等, 2007. 瓦里关温室气体本底研究的主要进展. 气象学报, 65: 458-468.

周秀骥, 2005. 中国大气本底基准观象台进展总结报告 (1994—2004). 北京: 气象出版社, 1-98.

Fang S X, Tans P P, Yao B, 2017. Study of atmospheric CO₂ and CH₄ at Longfengshan WMO/GAW regional station: The variations, trends, influence of local sources/sinks, and transport. Science China (Earth Science), 60: 1886-1895.

Fang X K, Yao B, Vollmer M K, et al, 2019. Changes in hydrochlorofluorocarbon (HCFC) emissions in China during 2011—2017. Geophysical Research Letters, 46: 10.1029/2019GL083169.

Gaudel A, Cooper O R, Gérard Ancellet, et al, 2018. Tropospheric ozone assessment report: present-day distribution and trends of tropospheric ozone relevant to climate and global atmospheric chemistry model evaluation. Elementa: Science of the Anthropocene, 6(1): 39.

主体和基地, 大气本底站应充分利用其多渠道资金支持、围绕其地域性观测需求, 有计划、分步骤地主动谋划完善观测项目以及超龄观测设备的国产化更新, 提升其综合观测能力和业务保障能力。另外, 大气本底站及所属省气象局在广泛调研和征求意见的基础上, 梳理凝练主要发展方向及任务(表2)。

Ma J, Lin W L, Zheng X D, et al, 2014. Influence of air mass downward transport on the variability of surface ozone at Xianggelila regional atmosphere background station, southwest China. Atmospheric Chemistry and Physics, 14: 5311-5325

Ma Z Q, Xu J, Quan W J, et al, 2016. Significant increase of surface ozone at a rural site, north of eastern China. Atmospheric Chemistry and Physics, 16: 3969-3977.

WMO, 2020. Vision for the WMO Integrated Global Observing System in 2040. WMO- No. 1243.

WMO/GAW, 2017. WMO global atmosphere watch (GAW) implementation plan: 2016—2023. WMO Report No.228.

Xu W Y, Lin W L, et al, 2016. Long-term trends of surface ozone and its influencing factors at the Mt Waliguan GAW station, China—Part 1: Overall trends and characteristics. Atmospheric Chemistry and Physics, 16: 6191-6205.

Xu W Y, Xu X B, et al, 2018. Long-term trends of surface ozone and its influencing factors at the Mt Waliguan GAW station, China—Part 2: The roles of anthropogenic emissions and climate variability. Atmospheric Chemistry and Physics, 18: 773-798.

Xu X B, Lin W L, Xu W Y, et al, 2020. Long-term changes of regional ozone in China: implications for human health and ecosystem impacts. Elementa: Science of the Anthropocene, 8(1): 13.

Zhang Y, Jin J L, et al, 2020. The long-term variations of major atmospheric compositions observed at the background stations in three key areas of China. Advances in Climate Change Research, 11(4): 370-380.

(作者单位: 靳军莉、周青、张勇、荆俊山、姚波、颜鹏, 中国气象局气象探测中心; 张国庆, 中国大气本底基准观象台; 马志强, 京津冀环境气象预报预警中心; 宋庆利, 黑龙江龙凤山国家大气本底站; 马千里, 浙江临安国家大气本底站; 江初, 云南迪庆州气象局; 王建林, 新疆阿克达拉区域大气本底站; 王凯, 湖北省金沙大气本底站)