

# 中国大气本底站站址环境及部分观测要素变化特征

赵竹君<sup>1,2</sup> 何清<sup>1</sup> 刘新春<sup>1</sup> 王建林<sup>3</sup>

(1 中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所/新疆塔克拉玛干沙漠气象国家野外科学观测研究站/中国气象局塔克拉玛干沙漠气象野外科学试验基地/新疆维吾尔自治区沙漠气象与沙尘暴重点实验室, 乌鲁木齐 830002; 2 新疆大学生态与环境科学学院, 乌鲁木齐 830046; 3 阿克达拉区域大气本底站, 阿勒泰 836500)

**摘要:** 大气本底监测是对远离人类活动影响的地区经过充分混合、不受局地直接污染的大气成分长期定点观测, 能反映全球或者区域尺度大气成分变化特征。中国大气本底站获取长期、连续、有效的大气成分监测数据及变化特征为国家应对气候变化外交谈判、大气污染防治工作和科学研究工作提供支持。对中国气象局七个大气本底站做简要介绍, 利用对比统计分析方法与HYSPLIT后向轨迹模型对本底站观测要素CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub>, CO的浓度变化趋势和影响因素进行分析。结果发现: 各本底站CO<sub>2</sub>浓度上升趋势明显, 与Mauna Loa站增长趋势基本相同, 季节变化多呈现冬春高、夏秋低的特征; 各本底站CH<sub>4</sub>浓度也呈现明显的上升趋势, 浓度值大于Mauna Loa站, CH<sub>4</sub>浓度变化与其光化学反应程度和局地源排放密切相关; O<sub>3</sub>浓度基本呈现冬春高、夏季低的季节特征; CO浓度基本呈现下降的趋势, 与人类的活动以及CO大气反应等外部条件相关。因此, 大气本底站观测要素的变化趋势受到局部气候、季风运输、大气边界层等环境条件影响, 东部经济发达区还与区域环境排放密切相关。

**关键词:** 大气本底站, 站址环境, 观测要素

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2022.05.020

## Variation Characteristics of the Site Environment and Some Observation Elements of Atmospheric Background Stations in China

Zhao Zhujun<sup>1,2</sup>, He Qing<sup>1</sup>, Liu Xinchun<sup>1</sup>, Wang Jianlin<sup>3</sup>

(1 Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration/ National Observation and Research Station of Desert Meteorology, Taklimakan Desert of Xinjiang / Taklimakan Desert Meteorology Field Experiment Station of China Meteorological Administration / Xinjiang Key Laboratory of Desert Meteorology and Sandstorm, Urumqi 830002

2 College of Resources and Environmental Sciences, Xinjiang University, Urumqi 830046

3 Akedala Atmospheric Background Station, Altay 836500)

**Abstract:** Atmospheric background monitoring is a long-term and fixed-point observation of atmospheric components that are fully mixed and free from local pollution in areas without human activities, reflecting the variation characteristics of atmospheric composition on global or regional scales. The long-term, continuous, and effective monitoring data of atmospheric composition and its variation characteristics obtained by China atmospheric background stations provide support for diplomatic negotiations on climate change, prevention and control of atmospheric pollution and scientific research. In this paper, 7 atmospheric background stations of China Meteorological Administration are briefly introduced, with emphasis on the analysis of the concentration trends and influencing factors of the background station observation elements—CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>3</sub> and CO by using the method of comparison and statistical analysis as well as HYSPLIT backward trajectory model. The result shows significant increasing trend of CO<sub>2</sub> concentration in each station, similar to that in the Mauna Loa station and with a seasonal variation characterized by high concentration in winter and spring, low concentration in summer and autumn. In addition, the concentration of CH<sub>4</sub> in each station shows a clear upward trend and is higher than that in the Mauna Loa station, and the change of CH<sub>4</sub> concentration is closely related to its photochemical reaction and local source emission. The O<sub>3</sub> concentration is featured with a seasonal variation, high in winter and spring, and low in summer. The CO concentration shows a decreasing trend, which is related to the external conditions such as human activities and CO atmospheric reaction. Therefore, the variation trend of observation elements of atmospheric

background stations is affected by local climate conditions, monsoon transport, atmospheric boundary layer and other environmental conditions. It is also closely related to the regional environmental emissions in eastern developed area.

**Keywords:** atmospheric background station, site environment, observation element

收稿日期: 2021年1月15日; 修回日期: 2021年8月12日

第一作者: 赵竹君(1995—), Email: 821729107@qq.com

通信作者: 何清(1965—), Email: qinghe@idm.cn

资助信息: 第二次青藏高原综合科学考察研究项目(2019QZKK010206)

## 0 引言

大气成分本底浓度指不受人为因素和局地源直接影响情况下某一尺度上混合状态大气浓度，是一种自然条件下大气状态。全球和区域大气成分本底浓度变化特征是人为活动和自然因素对大气成分影响的反馈，也是在大气成分变化、气候变化研究中的基础数据来源<sup>[1]</sup>。大气本底站要素观测工作是环境决策、区域环境政策制定的必要工作，也是科学研究工作的前沿阵地<sup>[2]</sup>。

大气本底监测站简称为大气本底站，由世界气象组织在全球布设。建立全球大气本底监测站需要执行世界气象组织关于大气本底监测的具体规范与实施标准，对温室气体、大气臭氧、气溶胶、太阳辐射、基本气象要素等开展不受人类活动直接影响的连续定点观测。我国区域大气本底站建设严格要求本底站远离人群密集处、工业区、污染源等40 km以上，较长的时间内土地利用形式和周围环境不能发生较大改变，开展多要素持续观测工作<sup>[3]</sup>。位于我国青海省的瓦里关全球大气本底站是世界唯一设在亚欧大陆腹地的大气本底监测站。中国气象局在六个区域建立了大气本底站，分别位于北京市上甸子、浙江省临安、黑龙江省龙凤山、新疆维吾尔自治区阿克达拉、云南省香格里拉、湖北省金沙，经过多年的建设形成了1+6全国观测布局，在大气成分监测和大气环境背景变化分析上发挥着重要的作用。

我国自20世纪80年代逐步开始大气本底站建设工作，系统性观测对气候变化和生态环境有重要影响的大气成分要素，具有代表性良好、观测时间连续、观测要素全面、观测过程规范等优势，观测数据已经成为我国应对气候变化外交谈判的依据之一，多次国际气候会议中都引用了“瓦里关曲线”<sup>[4]</sup>。目前我国大气本底站经过长时间运行已经形成了连续、稳定的大气本底监测站网。中国气象局每年发布的《中国温室气体公报》《酸雨观测年报》《中国气候变化蓝皮书》等科学报告都以大气本底站的观测数据为依据，也为打赢蓝天保卫战等重要工作提供了区域尺度污染物背景值，有助于客观评价大气治理效果，做出精准的环境决策<sup>[5]</sup>。大气本底站的观测数据还进一步服务于国家重大战略需求和地方发展，例如瓦里关站和阿克达拉站位于丝绸之路经济带内，为沿线气候变化、气象灾害防御研究做出贡献<sup>[6]</sup>。高质量的大气本底站观测要素数据经过多年积累形成的温室气体数据集、气候数据集、臭氧总量数据集等在WMO温室气体世界数据中心(WDCGG)、世界臭氧和紫外辐射数据中

心(WOUDC)等平台共享，为生态文明建设、环境保护、科学研究提供了基础数据，也为世界气候研究做出贡献。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料来源

本文所涉及的中国七个大气本底站相关工作主要来源于国内外关于瓦里关全球大气本底站、上甸子区域大气本底站、临安区域大气本底站、龙凤山区域大气本底站、阿克达拉区域大气本底站、香格里拉区域大气本底站、金沙区域大气本底站已经发表的研究文献。其中阿克达拉区域大气本底站2009—2019年CO<sub>2</sub>和CO观测资料由中国气象局提供，2009—2019年美国莫纳罗亚站(Mauna Loa Station, MLO)和瓦里关全球大气本底站、2009—2015年上甸子区域大气本底站的CO<sub>2</sub>和CO观测资料来自于WMO温室气体数据中心(<https://gaw.kishou.go.jp/>)，瓦里关全球大气本底站、龙凤山区域大气本底站、临安区域大气本底站1994—2016年O<sub>3</sub>总量资料来自世界臭氧和紫外辐射数据中心(<https://woudc.org/home.php>)，临安区域大气本底站1995—1997年和2007—2013年O<sub>3</sub>总量数据缺失。后向轨迹气象资料来自于全球资料同化系统(GDAS)数据(间隔6 h，水平分辨率5°×5°)，包括温度、相对湿度、气压等气象要素。

### 1.2 HYSPLIT 模式介绍

HYSPLIT模式是美国国家海洋大气中心(NOAA)和澳大利亚气象局联合开发用于分析和计算大气污染物来源和轨迹的专业模式。本研究利用了王亚强团队开发的MeteoInfo中TrajStat插件(<http://www.meteothink.org/>)分别进行七个大气本底站48 h后向轨迹聚类，轨迹高度为500 m。

## 2 中国大气本底站简介

我国的七个大气本底站分别位于我国不同的气候区、生态环境特征区，具备区域本底特征和研究意义。

1) 青海省瓦里关全球大气本底站(WLG)建立于1994年，为WMO/GAW全球大气本底站、科技部国家野外站、国家大气本底站、中国气象局野外科学试验基地，代表了亚欧大陆腹地大气本底特征。该站位于青藏高原东北坡，海拔高、人烟稀少，自然环境受人为因素影响小<sup>[7-8]</sup>，具有典型的高原大陆气候，下垫面植物以高原草甸为主，为干旱半干旱高寒草原。夏季风向为东南或东北风、冬季为西北风；降水量表现为夏季降水多，冬季降水少，且降水时间主要集中在5—9月；温度变化差异明显<sup>[9-12]</sup>。根据后向轨迹模拟分析可以看出(图1)，瓦里关站受到来自北部、东北

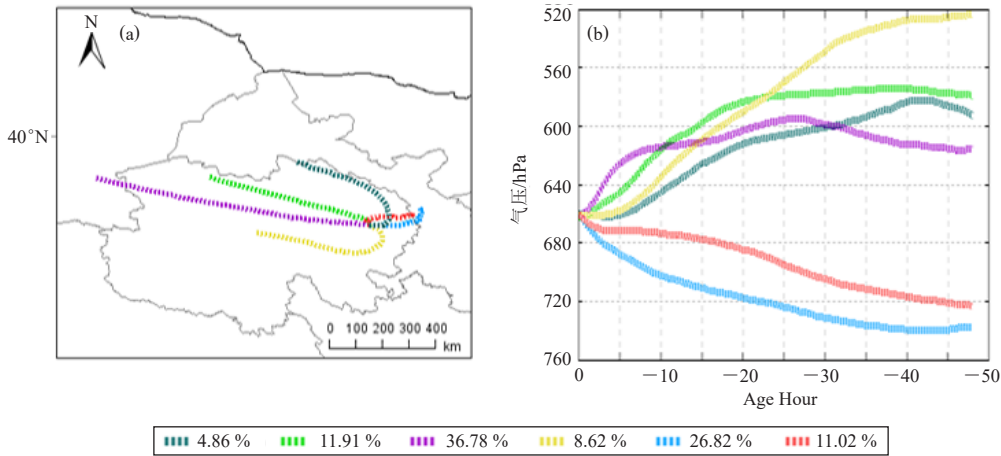


图1 瓦里关站距地500 m高度48 h后向轨迹聚类结果 (a) 及其气压分布 (b)  
 Fig. 1 48 h backward trajectory of WLG Station at 500 m above ground (a) and air pressure profiles (b)

部、西部气流影响。约有三分之一的气流经过了西宁等工业比较集中的城市，这部分气流运行高度低、速度慢，可能贡献了较多局地大气污染物。

2) 北京市上甸子区域大气本底站 (SDZ) 建立于1981年，为WMO/GAW区域大气本底站、科技部国家野外站、国家大气本底站、中国气象局野外科学试验基地，代表了华北平原、京津冀经济圈大气本底特

征。其位于北京市区东北方向150 km处，附近多为林地、农田等，具有较高的植被覆盖率，南侧0.8 km处有村庄居住地 (居民300人左右)<sup>[13]</sup>。该站位于华北平原和京津冀核心位置，为温带半湿润季风气候，全年盛行东北和西南风<sup>[14-15]</sup>。根据后向轨迹模型 (图2)，上甸子站的潜在源区相对比较分散，主要包括了京津冀、内蒙古、东北地区。

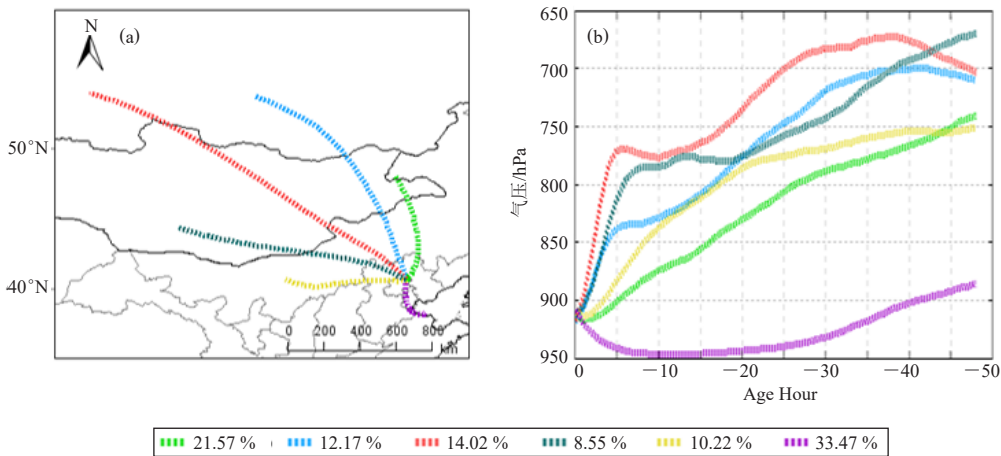


图2 上甸子站距地500 m高度48 h后向轨迹聚类结果 (a) 及其气压分布 (b)  
 Fig. 2 48 h backward trajectory of SDZ Station at 500 m above ground (a) and air pressure profiles (b)

3) 浙江省临安区域大气本底站 (LA) 建立于1983年，为WMO/GAW区域大气本底站、科技部国家野外站、国家大气本底站、中国气象局野外科学试验基地，代表了华东沿海、长三角地区大气本底特征。位于浙江省杭州市临安区横畈镇大罗村，处于亚热带季风区<sup>[16]</sup>，因其周围有稻田种植区、湿地和人口聚集的村庄，故甲烷、二氧化碳等温室气体研究需要重点考虑人为源的影响<sup>[17]</sup>。从全年后向轨迹聚类分析可以看出该站受到北部气流和东偏南海洋气流的影响 (图3)。

4) 黑龙江省龙凤山区域大气本底站 (LFS) 建立于1991年，为WMO/GAW区域大气本底站、科技部国家野外站、国家大气本底站、中国气象局野外科学试验基地，代表了东北平原大气本底特征。位于我国黑龙江省五常市，其周围环境分为农牧区和森林地区两部分，北面和西面以种植水稻、玉米为主，东面和南面的森林覆盖率比较高，且在东南方向有一个中等规模的水库<sup>[18]</sup>。龙凤山站位于东北平原核心区域，属于温带季风气候。后向轨迹模型分析中可以看出 (图4)，

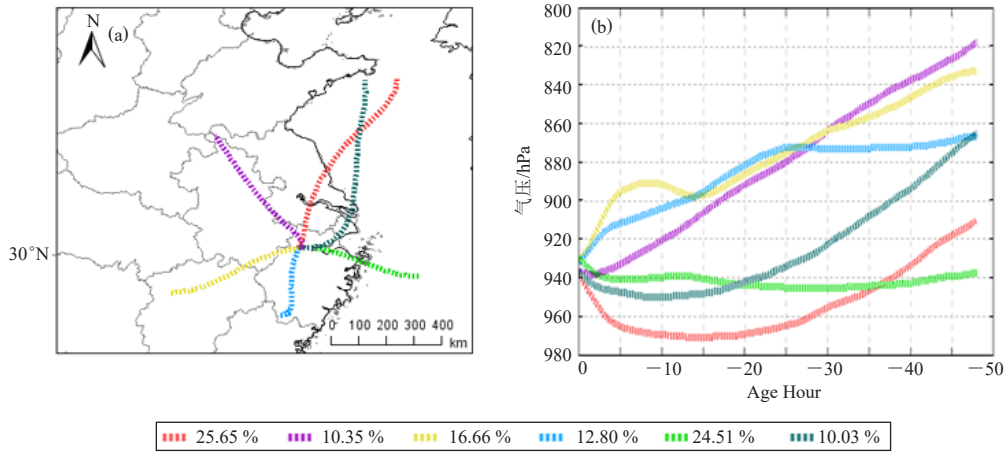


图3 临安东站距地500 m高度48 h后向轨迹聚类结果 (a) 及其气压分布 (b)

Fig. 3 48 h backward trajectory of LA Station at 500 m above ground(a) and air pressure profiles (b)

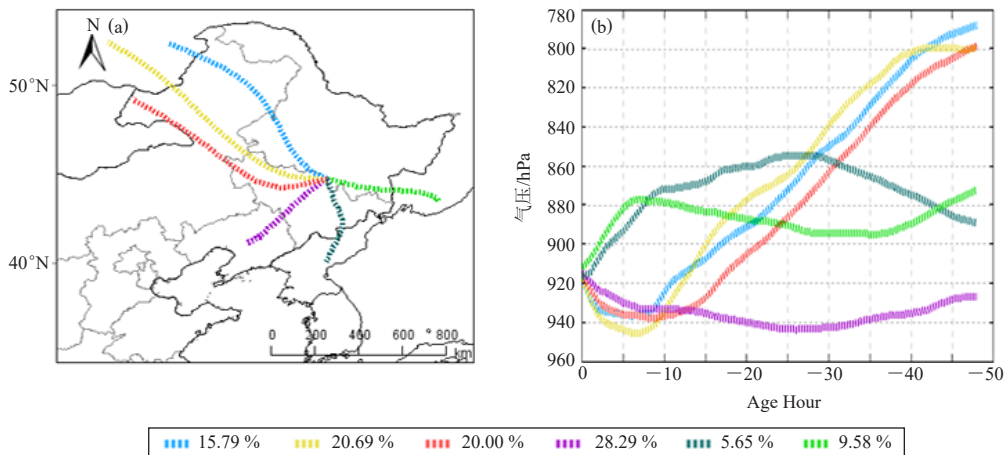


图4 龙凤山站距地500 m高度48 h后向轨迹聚类结果 (a) 及其气压分布 (b)

Fig. 4 48 h backward trajectory of LFS Station at 500 m above ground(a) and air pressure profiles (b)

此站主要受到了西北和东南气流的影响，潜在源主要为西北部黑龙江齐齐哈尔以及南部的吉林等地。

5) 新疆维吾尔自治区阿克达拉区域大气本底站 (AKDL) 建立于2005年，为国家大气本底站、中国气象局野外科学试验基地，代表了中亚腹地、北疆经济区大气本底特征。位于新疆阿勒泰地区福海县西部，距离福海县城40 km，周围是广袤的戈壁区域<sup>[19]</sup>。所处区域为大陆性温带寒冷区域，表现为夏季热、降水少、昼夜温差大；冬季寒冷干燥、大风多的气候特点。春夏秋多为西北风向，冬季为东（偏南）风<sup>[20]</sup>。从后向轨迹聚类分析可见（图5），约有60%左右的气流来自西北、偏西方向，其输送的距离远、时速快；约有30%的气流从准噶尔盆地边缘到达阿克达拉站，可能贡献了较多的污染物。

6) 云南省香格里拉区域大气本底站 (XGLL) 建立于2004年，为国家大气本底站，代表了云贵高原和

西南地区大气本底特征。其位于滇、藏、川三省区交界处，也是东亚季风和南亚季风的交汇处，地理位置十分关键，属于热带季风气候，下垫面是针叶林、原始森林和草地<sup>[21]</sup>。根据全年后向轨迹聚类分析结果表明（图6），该站主要气团来自西南方向，另一部分气团来自孟加拉湾东北部地区。此站不仅代表了我国西南地区的大气本底特征，因为受到西南季风和气流作用的影响，也可以反映南亚区域空气污染对于我国西南地区的影响。

7) 湖北省金沙区域大气本底站 (JS) 建立于2007年，为国家大气本底站，代表了长江中游、华中地区的大气本底特征。其位于华中地区湖南、江西、湖北三省交界处，属亚热带季风气候区，日照充足且四季分明，年平均气温16.6℃、相对湿度77%，站点周围的崇阳县以山地丘陵为主<sup>[22]</sup>。利用后向轨迹模型分析（图7），该站点的气团和气流主要来自东北、西南和

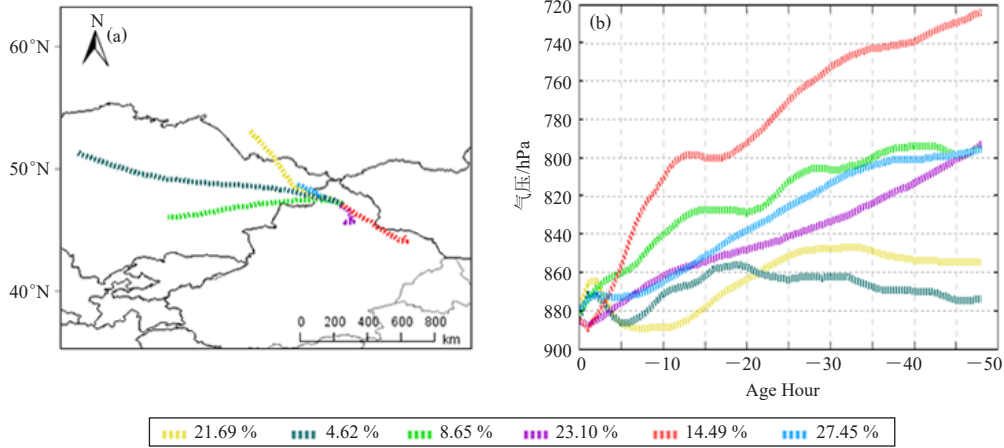


图5 阿克达拉站距地500 m高度48 h后向轨迹聚类结果 (a) 及其气压分布 (b)  
 Fig. 5 48 h backward trajectory of AKDL Station at 500 m above ground (a) and air pressure profiles (b)

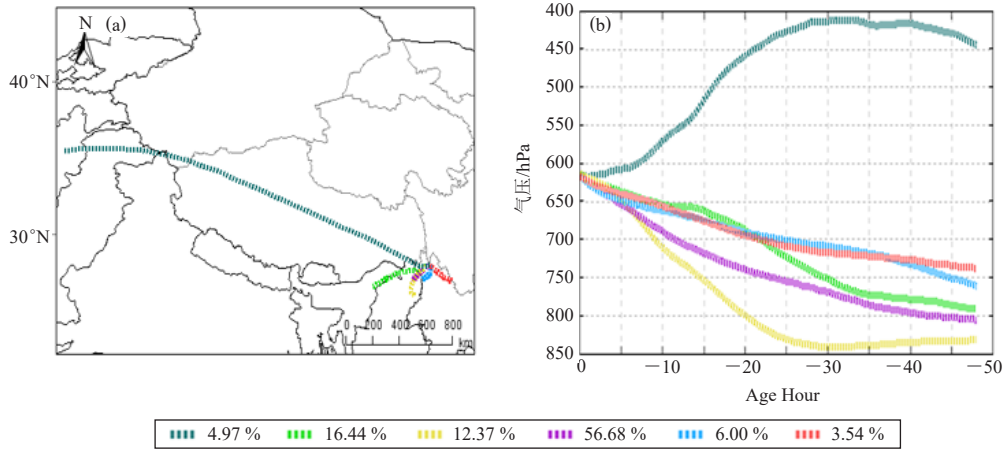


图6 香格里拉站距地500 m高度48 h后向轨迹聚类结果 (a) 及其气压分布 (b)  
 Fig. 6 48 h backward trajectory of XGLL Station at 500 m above ground (a) and air pressure profiles (b)

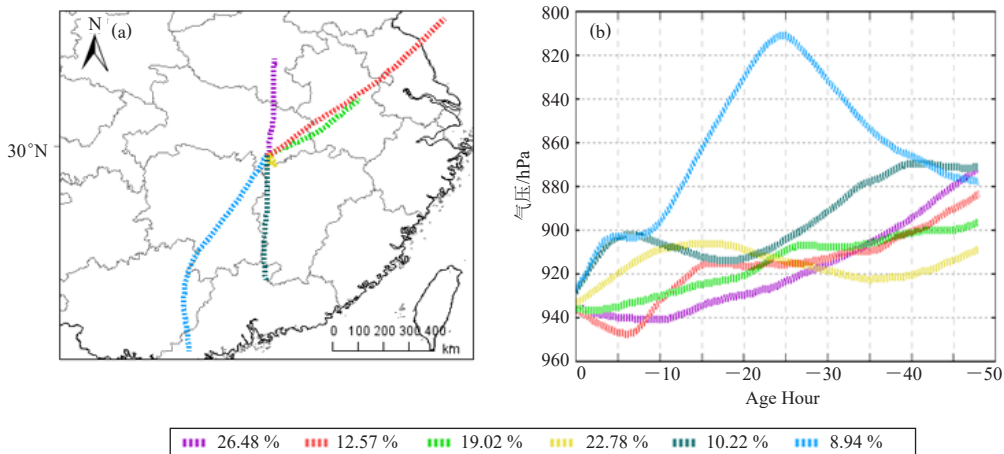


图7 金沙站距地500 m高度48 h后向轨迹聚类结果 (a) 及其气压分布 (b)  
 Fig. 7 48 h backward trajectory of JS Station at 500 m above ground(a) and air pressure profiles (b)

北部三个方向，受到长三角西部地区、江汉平原及其北部地区大气污染物影响。

综上所述，上述七个大气本底站分别代表了我

国不同典型区域的大气本底特征，瓦里关站代表了亚欧腹地和西部高寒区域；上甸子站代表了华北平原地区；临安站代表了华东地区、长三角地区；龙凤

山站代表了东北平原区；阿克达拉站代表了中亚、新疆北疆地区；香格里拉站代表了西南地区；金沙站代表了华中腹地区域。我国的大气本底站的分布呈现东部地区多、西部地区少的特征，东部地区地表植被茂盛、西部地区的地表以荒漠草原为主，因此本底站大气成分观测数据分析需要考虑不同区域下垫面植被和周围污染源的影响，还要考虑季节变化和采暖期等对于大气环境的影响。

### 3 观测要素变化分析

#### 3.1 二氧化碳 (CO<sub>2</sub>)

自工业革命以来工业化进程不断加快，致使自然资源消耗量持续递增，从而导致二氧化碳等温室气体的排放量呈现快速上升趋势，这也成为全球升温的主要因素<sup>[23]</sup>。大气本底站的温室气体观测资料对气候变化和区域环境政策制定都有十分重要的支撑作用。例如，在中国碳汇分析中，利用了我国气象局七个地面温室气体观测站（大气本底站）的观测资料以及日俄联合高塔观测网的资料进行了同化反演工作。这种核算方式将碳汇工作精准度大大提升，多源的温室气体数据资料与气象要素结合的反演模式，不仅为碳汇工作提供数据基础，还对国家温室气体排放清单的验证与评估工作起到推进作用，政府间气候变化专门委员会也对此工作尤为重视，现已纳入《IPCC国家温室气体清单编制指南2019增补指南》<sup>[4]</sup>。

根据以往的研究文献资料显示，整个北半球的CO<sub>2</sub>呈现冬春高和夏秋低的季节变化趋势，被认为是全球大气CO<sub>2</sub>本底浓度平均水平的美国Mauna Loa站平均浓度为399.05 ppm<sup>①</sup>，增长率为2.4 ppm·a<sup>-1</sup>（2009—2019年）。我国的大气本底站因受到地形和气候等因素影响各站变化不同。瓦里关站CO<sub>2</sub>年平均浓度范围363.95~409.23 ppm、年增长率2.06 ppm·a<sup>-1</sup>（1997—2015年）<sup>[7]</sup>，上甸子站396.29~402.60 ppm、年增长率为0.90 ppm·a<sup>-1</sup>（2009—2015年）<sup>[7]</sup>。上甸子站年平均浓度略高于瓦里关站，上甸子站CO<sub>2</sub>年平均增长率则显著低于瓦里关站（图8），原因是瓦里关站受到人为因素的影响更小，上甸子站较低的增长率可能与区域排放控制相关<sup>[12]</sup>。与其他本底站比较可见，香格里拉站CO<sub>2</sub>年平均浓度为392.3 ppm、增长率2.5 ppm·a<sup>-1</sup><sup>[24]</sup>（2011—2013年）；临安站CO<sub>2</sub>年平均浓度变化范围为368.3~414.8 ppm、增长率3.2 ppm·a<sup>-1</sup>（2006—2009年）<sup>[25]</sup>；阿克达拉站CO<sub>2</sub>年平均浓度为400.75 ppm、增长率1.74 ppm·a<sup>-1</sup>（2009—2019年）；龙凤山站CO<sub>2</sub>

年平均浓度为383.2~403.2 ppm、增长率2.4 ppm·a<sup>-1</sup>（2009—2011年）<sup>[26]</sup>。区域大气本底站CO<sub>2</sub>浓度变化特点为远离城市和人群的站点增长率较大，但是其本身的浓度值偏小，而位于经济发达区的站点与之相反。这也体现了节能减排和环境等方面的措施，对CO<sub>2</sub>排放削减有积极作用<sup>[25]</sup>。

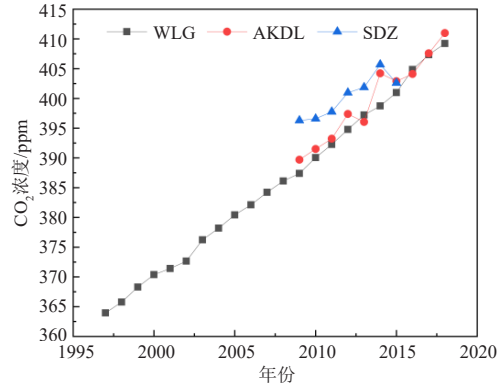


图8 1997—2019年部分本底站年平均CO<sub>2</sub>浓度变化对比  
Fig. 8 Comparison of annual average CO<sub>2</sub> concentration change at some background stations during 1997—2019

大气CO<sub>2</sub>浓度值瓦里关站和上甸子站均表现为冬春高、夏秋季低的特征，且瓦里关站振幅远远低于上甸子站。瓦里关站大气CO<sub>2</sub>浓度值为春季>冬季>秋季>夏季；上甸子站大气CO<sub>2</sub>浓度值为冬季>春季>秋季>夏季<sup>[7]</sup>。瓦里关地处高海拔的青藏高原，周围人烟相对稀少，故季节振幅小；而上甸子站地处人员密集的华北平原，夏季农作物、植被生长旺盛，强烈的光合作用消耗大量的CO<sub>2</sub>，冬季取暖多使用化石燃料，有大量的CO<sub>2</sub>被排出，因此上甸子站CO<sub>2</sub>浓度季节变化明显。临安站和龙凤山站季节变化趋势基本一致，受到陆地碳汇影响，冬季1月出现了全年最高值，7—8月出现低值，其中4—5月还出现了小高峰<sup>[27-29]</sup>。香格里拉站受到地面生物和地面风的影响，春季4—5月出现了最高值，而夏季7—8月浓度值比较低，这与瓦里关站的趋势基本一致。另两个站点都位于海拔比较高的区域，可能与区域大气环流有关<sup>[30]</sup>。

综上所述，我国的大气本底站CO<sub>2</sub>浓度水平呈现明显增加趋势，增长率表现出明显的差别，可能与人为环境政策、经济发展程度相关，我国位于经济发达地区的本底站CO<sub>2</sub>浓度水平明显偏高。

#### 3.2 甲烷 (CH<sub>4</sub>)

甲烷(CH<sub>4</sub>)是重要的温室气体，它的辐射强迫贡献率为18.5%，仅次于CO<sub>2</sub>，CH<sub>4</sub>单位质量吸收长波辐射的效率超出CO<sub>2</sub> 25倍。且甲烷体积浓度从工业革命

① 1 ppm=10<sup>-6</sup>。

前的700 ppb<sup>①</sup>向现阶段1800~1900 ppb左右持续递增, IPCC报告中已经指出了甲烷的排放与人为活动密切相关<sup>[31]</sup>。

目前针对CH<sub>4</sub>的研究工作(2009—2013年)集中于瓦里关站、上甸子站、临安站、龙凤山站、香格里拉站(图9)。瓦里关站和香格里拉站的年平均浓度较低,这两个站的海拔较高,周围远离人员密集区以及工业区、水稻等农业生产区,因此与海拔较低区域站点CH<sub>4</sub>浓度值差异较大。海拔越高,大气环流使CH<sub>4</sub>分布更均匀,而低海拔区域与地面的CH<sub>4</sub>交换频繁,浓度更高。上甸子、临安、龙凤山站的CH<sub>4</sub>浓度相对较高,主要原因可能为临安站周围存在湿地,龙凤山站和上甸子站周围存在着农业生产区,会受到局地源影响,尤其龙凤山站所处的五常市是我国重要的水稻产区之一,因此CH<sub>4</sub>浓度相对较高<sup>[7, 26, 32]</sup>。年增长率表现为瓦里关>临安>龙凤山>上甸子>香格里拉,主要与人为源和自然源原因密不可分<sup>[33]</sup>。一方面当地政府制定的环境政策以及人为源排放甲烷的控制措施减缓了CH<sub>4</sub>浓度增长趋势,另一方面地形、地势、下垫面的碳汇作用等也是年增长率的影响因素。例如,上甸子站的增长率较低可能是北京市对环境污染重视程度提升,加大了城市污染和人为源排放的整治力度,致使排放减缓。

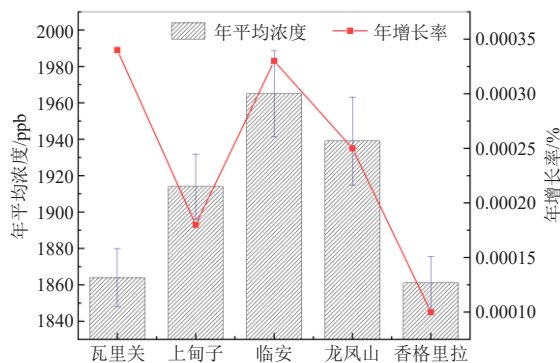


图9 2009—2013年各站点CH<sub>4</sub>年平均浓度对比<sup>[38]</sup>  
Fig. 9 Comparison of annual average concentration of CH<sub>4</sub> at five different stations during 2009–2013

各本底站季节差异明显,北方站点(瓦里关、上甸子、龙凤山)都表现出了“W”型季节变化趋势,峰值出现在7月和次年1月左右,但是原因各有差异:瓦里关站虽然与上甸子站、龙凤山站的变化趋势相似,但是其最低值和最高值的差异较小,仅为15 ppb,瓦里关站海拔高且周围人烟稀少,是变化差异较小的主要原因之一<sup>[31]</sup>。瓦里关站受到夏季西宁和黄河河谷的人为活动的影响,而冬季此部分的人为活动降

低, CH<sub>4</sub>随之发生改变。上甸子站位于华北平原,夏季的强降雨天气和较高的气温使有机物厌氧分解排放了更多CH<sub>4</sub>,而冬季受到化石燃料燃烧和季风输送影响较大。龙凤山站位于东北平原,是国内主要粮食产地,夏季水稻农田排放使CH<sub>4</sub>出现了峰值,而冬季的峰值则是由于冬季大规模取暖。而位于南方的临安站在7月出现了明显的谷值,因为夏季此站OH浓度高,大气快速扩散作用使光化学作用增强导致CH<sub>4</sub>浓度较低<sup>[34]</sup>。香格里拉站CH<sub>4</sub>浓度四季差异比较大,在9月出现了单峰变化趋势,受到下垫面生态系统和西南气团传输影响,CH<sub>4</sub>排放量增加后经过运输和积累9月浓度明显增高。

Mauna Loa站CH<sub>4</sub>年平均浓度为1818.30 ppb、增长率为5.85 ppb·a<sup>-1</sup>(2009—2013年),我国大气本底站的CH<sub>4</sub>浓度水平明显高于Mauna Loa站,季节变化明显。因为CH<sub>4</sub>在大气中发生反应需要温度、湿度、前体物质等条件,还与地面生物活动有关,综合影响造成了各个站点CH<sub>4</sub>浓度水平与季节变化差异。

### 3.3 臭氧(O<sub>3</sub>)

臭氧是自然大气中天然组成部分,平流层中聚集着90%的O<sub>3</sub>,其余的O<sub>3</sub>分布在对流层内。O<sub>3</sub>参与了紫外辐射吸收过程和大气清洁过程,但是因其较强的氧化性,在近地面大气中浓度过高会对植物生长和人体健康造成不良影响<sup>[35]</sup>。虽然大气中的O<sub>3</sub>含量比较低,但是其细微变化也会对于大气的稳定程度等造成极大影响<sup>[36]</sup>。

因此,对大气本底站的O<sub>3</sub>浓度变化分析是分析大气成分特征的关键性工作。1994—2016年O<sub>3</sub>总量龙凤山站明显高于瓦里关站和临安站(图10)。瓦里关站的O<sub>3</sub>浓度呈现冬春高、夏秋低的变化特征,年平均浓度呈现缓慢上升趋势<sup>[11]</sup>。香格里拉站、临安站、金沙

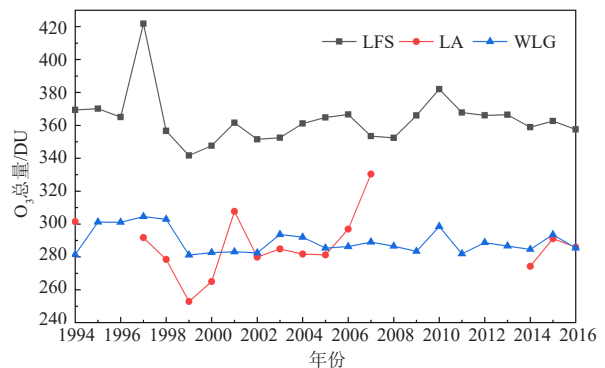


图10 1994—2016年部分本底站O<sub>3</sub>月平均浓度对比  
Fig. 10 Comparison of monthly mean concentration of O<sub>3</sub> at some background stations during 1994–2016

① 1 ppb=10<sup>-9</sup>。

站呈现冬春季O<sub>3</sub>浓度高、夏季最低的特征，上层富含O<sub>3</sub>的大气向下输送是造成冬季和春季O<sub>3</sub>浓度较高的原因，夏季受到季风控制和降水影响O<sub>3</sub>浓度降低<sup>[37]</sup>。而金沙、临安两站与香格里拉站相比出现了秋季的次峰值，秋季O<sub>3</sub>浓度变化受到大气光化学反应程度影响<sup>[38]</sup>。上甸子站与阿克达拉站呈现春夏高、秋冬低的季节变化特征，而上甸子站的最高值出现在夏季，阿克达拉站出现在春季<sup>[39]</sup>。

O<sub>3</sub>的日变化会因为天气条件不同而表现出不同的形式。阿克达拉站春天的扬沙天、夏季的晴天、秋季的雨天、冬季的阴天O<sub>3</sub>浓度出现最高值。近地面O<sub>3</sub>浓度实际日变化为单峰变化，01时左右出现最小值，最大值在16时左右出现，夜间变化平缓，白天变化强烈<sup>[40]</sup>。香格里拉站O<sub>3</sub>浓度日变化中最低值大多在凌晨前出现，最高值出现在正午前后，这与当地风速日变化呈现明显正相关关系，证明风输送是香格里拉站O<sub>3</sub>的主要来源之一。龙凤山、临安站O<sub>3</sub>浓度日变化分析中也验证了这一作用<sup>[41]</sup>。

综上所述，我国大气本底站O<sub>3</sub>浓度值受到大气环流作用、海洋季风作用、大气垂直输送、局地污染源输送作用综合影响，各站存在季节差异，O<sub>3</sub>总量龙凤山站明显高于瓦里关站和临安站。

### 3.4 一氧化碳 (CO)

一氧化碳被认为是间接温室气体，其本身不接收任何地球红外辐射，但CO浓度间接影响甲烷、卤化碳的寿命<sup>[42]</sup>。因此，对于CO的研究十分关键。

2009—2019年瓦里关站、上甸子站、阿克达拉站CO浓度值呈现较大波动，各个站点之间的CO浓度情况存在差别(图11)，CO年平均浓度阿克达拉站>上甸子站>瓦里关站，自2014年起瓦里关站和阿克达拉站出现了CO浓度波动下降的趋势<sup>[43]</sup>。CO作为重要的反应性气体，受到了地区多种源汇作用和大气共同输送

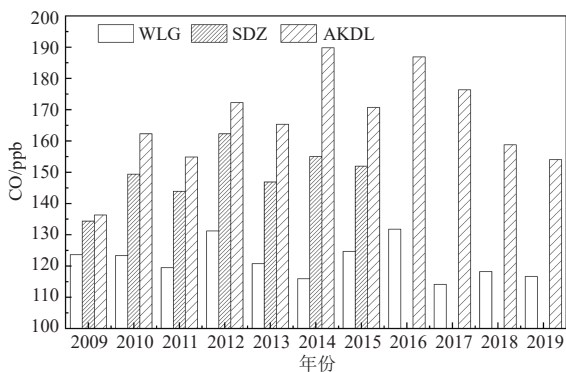


图11 2009—2019年部分本底站CO月平均浓度对比

Fig. 11 Comparison of monthly mean concentration of CO at some stations during 2009—2019

作用的影响，变化过程复杂。瓦里关站、龙凤山站的CO浓度整体呈现略微下降趋势<sup>[44]</sup>，季节变化呈现冬春高、夏秋低的特征。阿克达拉站CO浓度也呈现下降趋势，月均值变化随着采暖期和非采暖期变化，气流主要来源于西北、西南方向，北疆经济区也可能贡献了一部分CO<sup>[43]</sup>。金沙站的CO浓度和O<sub>3</sub>浓度具有相同的变化趋势<sup>[45]</sup>。香格里拉站的CO主要来源于西部和西南部的印度、缅甸、孟加拉国等地，最高值出现在5月，最低值出现在7月，其也存在着下降的年变化趋势，约为-2.6 ppb·a<sup>-1</sup><sup>[24]</sup>。

综上，各本底站近年来CO浓度都呈现基本稳定的下降趋势，季节变化显著，可能与人类活动和周期性的天气变化有关，外部环境也可能对CO大气反应产生了影响。

## 4 结论

1) 中国七个大气本底站分别位于不同的气候区、生态环境区，具有良好的区域代表性。瓦里关站代表了亚欧大陆大气本底特征、香格里拉站代表了我国西南地区大气本底特征，两站海拔较高，观测要素浓度水平综合受到地形、季风作用影响。上甸子站代表了华北平原和京津冀经济区大气本底特征、龙凤山站代表了东北平原大气本底特征，两站受人为源影响较大，无论是人为活动排放污染物，还是环境政策原因对污染物排放的控制，都会对于各观测要素的浓度变化产生影响。临安站代表长三角地区大气本底特征、金沙站代表华中地区大气本底特征，两站位于丘陵地区，观测要素浓度受到地形影响，也受到来自海洋长距离输送气团的影响。阿克达拉站代表中亚地区 and 新疆北疆大气本底特征，位于戈壁区域，受西风作用影响较大，受到来自哈萨克斯坦境内和北疆经济区的气流综合影响。

2) 我国七个大气本底站观测要素浓度水平与Mauna Loa站相比存在部分差异，季节变化表现为振幅大、变化明显，可能与人员活动和气候条件等密切相关。CO<sub>2</sub>浓度呈现明显增长趋势，表现为冬春高、夏秋低的变化特征，经济发达地区的浓度值比较高；各站CH<sub>4</sub>浓度值大于Mauna Loa站，呈现明显上升趋势，CH<sub>4</sub>浓度变化与其光化学反应程度和局地源排放密切相关；O<sub>3</sub>浓度受到长距离输送和平流层输入而基本呈现冬春高、夏季低的季节特征，各站存在差异；CO浓度呈现了下降的趋势，与人类的活动以及CO大气反应的外部条件相关。

### 参考文献

[1] Wong C S, Chan Y H, Page J S, et al. Trends of atmospheric CO<sub>2</sub>

- over Canadian WMO background stations at Ocean Weather Station P, Sable Island, and Alert. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 1984, 89(D6): 9527-9539.
- [2] Maenhaut W, Vladimir H, Ducastel G, et al. Mass size distributions for atmospheric trace elements at the Zeppelin background station in Ny lesund, Spitsbergen. *Nuclear Instruments & Methods in Physics Research*, 1996, 109-110(26): 465-470.
- [3] Sheu G R, Lin N H, Wang J L, et al. Temporal distribution and potential source of atmospheric mercury measured at a high elevation background station in Taiwan. *Atmospheric Environment*, 2010, 44(20): 2393-2400.
- [4] Ou-Yang C F, Lin N H, Lin C C, et al. Characteristics of atmospheric carbon monoxide at a high-mountain background station in East Asia. *Atmospheric Environment*, 2014, 89: 613-622.
- [5] Zhao X J, Zhap P S, Xu J, et al. Analysis of a winter regional haze event and its formation mechanism in the North China Plain. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2013, 13: 5685-5696.
- [6] 权维俊, 姚波, 刘伟东, 等. 我国大气本底观测站创新发展的思考和建议. *科学通报*, 2021, 66(19): 2367-2377.
- [7] 张林, 靳孟贵, 刘延锋, 等. 中国瓦里关和上甸子大气温室气体浓度变化特征. *地球科学*, 2021, 46(8): 2984-2998.
- [8] 王剑琼, 祁栋林, 薛丽梅. 瓦里关全球大气本底站址环境及部分观测要素变化特征. *环境化学*, 2020, 39(8): 2084-2092.
- [9] 张国庆. 瓦里关大气本底观测二十年综述. *青海气象*, 2014(4): 65-68.
- [10] Xu W Y, Xu X B, Lin M Y, et al. 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*, 2018, 18(2): 773-798.
- [11] 金赛花, 樊曙先, 王桂玲. 中国5站多年臭氧总量变化特征. *大气科学研究与应用*, 2014(1): 1-12.
- [12] 李明, 东元祯, 罗文昭, 等. 瓦里关大气二氧化碳和甲烷本底浓度变化特征. *科技视界*, 2019(17): 97-98.
- [13] 吴进, 李琛, 马志强, 等. 基于天气分型的上甸子大气本底站臭氧污染气象条件. *环境科学*, 2020, 41(11): 4864-4873.
- [14] 谢文琪, 姚波, 权维俊, 等. 北京上甸子大气本底站氢氟碳化物在线观测研究. *中国环境科学*, 2019, 39(12): 4941-4949.
- [15] 程巴阳, 安兴琴, 周凌晔, 等. 北京上甸子大气本底站CO<sub>2</sub>浓度的源汇区域代表性研究. *中国环境科学*, 2015, 35(9): 2576-2584.
- [16] 方双喜, 周凌晔, 栾天, 等. 浙江临安大气本底站CO浓度及变化特征. *环境科学*, 2014, 35(07): 2454-2459.
- [17] 单萌, 徐晓飞, 董一雷, 等. 临安区域大气本底站黑碳气溶胶浓度观测研究. *浙江气象*, 2020, 41(4): 25-29.
- [18] 于大江, 宋庆利, 孙俊英, 等. 龙凤山大气气溶胶散射特性观测分析. *环境化学*, 2021, 40(3): 765-771.
- [19] 李淑婷, 李霞, 钟玉婷, 等. 2017—2018年阿克达拉O<sub>3</sub>浓度特征及气象因子分析. *沙漠与绿洲气象*, 2020, 14(1): 115-122.
- [20] Li H L, He Q, Liu X C. Identification of Long-Range Transport Pathways and Potential Source Regions of PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub> at Akedala Station, Central Asia. *Atmosphere*, 2020, 11: 1183-1200.
- [21] 李邹, 杨向东, 柏志军, 等. 香格里拉区域大气本底站环境特征初探. *云南大学学报(自然科学版)*, 2011, 33(S1): 237-242.
- [22] 周登, 赵雅静, 成姣. 金沙秋季PM<sub>2.5</sub>污染特征机影响因素分析. *环境保护科学*, 2019, 45(3): 66-69.
- [23] Fang S X, Pieter P, Tans, et al. Characteristics of atmospheric CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> at the Shangdianzi regional background station in China. *Atmospheric Environment*, 2016, 131: 1-8.
- [24] Fang S X, Tans P P, Steinbacher M, et al. Observation of atmospheric CO<sub>2</sub> and CO at Shangri-La station: results from the only regional station located at southwestern China. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*, 2016, 68(1): 28506.
- [25] Cheng S, Zhou L, Tans P, et al. Comparison of atmospheric CO<sub>2</sub> mole fractions and source-sink characteristics at four WMO/GAW stations in China. *Atmospheric Environment*, 2018, 180: 216-225.
- [26] 栾天, 周凌晔, 方双喜, 等. 龙凤山本底站大气CO<sub>2</sub>数据筛分及浓度特征研究. *环境科学*, 2014, 35(8): 2864-2870.
- [27] 徐宏辉, 刘洁, 浦静姣, 等. 临安区域大气本底站温室气体研究进展. *浙江气象*, 2011, 32(3): 4-7.
- [28] 吴艳玲, 宁尚军, 于大江, 等. 龙凤山区域大气本底站大气二氧化碳(CO<sub>2</sub>)浓度变化特征. *环境化学*, 2015, 34(9): 1627-1632.
- [29] 栾天. 黑龙江龙凤山区域大气本底站温室气体浓度特征及源汇研究. *中国气象科学研究院*, 2015.
- [30] Fang S X, Tans P P, Yao B. Study of atmospheric CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> at Longfengshan WMO/GAW regional station: the variations, trends, influence of local sources/sinks and transport. *Science China (Earth Science)*, 2017, 60: 1886-1895.
- [31] Liu S, Fang S X, Liu P, et al. Measurement report: changing characteristics of atmospheric CH<sub>4</sub> in the Tibetan Plateau: records from 1994 to 2019 at the Mount Waliguan station. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2021, 21(1): 393-413.
- [32] 夏玲君, 刘立新. 北京上甸子站大气CH<sub>4</sub>数据筛分及变化特征. *中国环境科学*, 2017, 37(11): 4044-4051.
- [33] 杨倩, 官莉, 陶法, 等. 中国5个大气本底站观测的CH<sub>4</sub>浓度变化规律. *环境科学与技术*, 2018, 41(6): 1-7.
- [34] 徐宏辉, 浦静姣, 顾骏强, 等. 临安区域本底站大气甲烷浓度变化特征. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(2): 204-208.
- [35] Liu H, Liu S, Xue B R, et al. Ground-level ozone pollution and its health impacts in China. *Atmospheric Environment*, 2018, 173: 223-230.
- [36] Russo A, Trigo R M, Martins H, et al. NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> and O<sub>3</sub> urban concentrations and its association with circulation weather types in Portugal. *Atmospheric Environment*, 2014, 89: 768-785.
- [37] Ma J, Lin W L, Zheng X D, et al. Influence of air mass downward transport on the variability of surface ozone at Xianggelila Regional Atmosphere Background Station, southwest China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2014, 14(11): 5311-5325.
- [38] Lu X, Hong J, Zhang L, et al. Severe surface ozone pollution in China: A global perspective. *Environmental Science and Technology Letters*, 2018, 5: 487-494.
- [39] Wang H Q, Ma J M, Shen Y J, et al. Assessment of Ozone Variations and Meteorological Influences at a Rural Site in Northern Xinjiang. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2015, 94: 240-246.
- [40] 王定定, 赵江伟, 邓凌峰, 等. 阿克达拉大气本底站臭氧浓度变化特征分析. *沙漠与绿洲气象*, 2019, 13(2): 97-101.
- [41] 李邹, 林伟立, 徐晓斌, 等. 香格里拉区域大气本底站地面臭氧浓度的变化特征. *长江流域资源与环境*, 2015, 24(8): 1412-1417.
- [42] 岳毅. 长三角临安本底站PM<sub>10</sub>和反应性气体的变化特征及影响因素的分析. *贵州大学*, 2017.
- [43] 冯先林, 钱康妮, 博尔楠, 等. 阿克达拉大气本底站CO质量浓度变化特征分析. *陕西气象*, 2021(1): 44-49.
- [44] Liu S, Fang S X, Liang M, et al. Study on CO data filtering approaches based on observations at two background stations in China. *Science of the Total Environment*, 2019, 691: 675-684.
- [45] Lin W L, Xu X B, Sun J Y, et al. Background concentrations of reactive gases and the impacts of long-range transport at the Jinsha regional atmospheric background station. *Science China (Earth Sciences)*, 2011, 54(10): 1604-1613.