

文章编号: 2096-1618(2021)06-0646-09

2015–2019年北支脊强度与中国空气质量状况的相关性研究

赵雯¹, 范广洲^{1,2}, 李一伟³

(1. 成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225; 2. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京 210044; 3. 山东省济宁市气象局, 山东 济宁 272000)

摘要: 基于NCEP/NCAR再分析资料和AQI台站数据, 通过统计分析、相关分析等方法, 利用北支脊强度指数及空气质量指数讨论了2015–2019年北支脊强度及空气质量的变化特征以及两者之间的相互关系。结果表明: 5年内北支脊强度表现为先增强后减弱, 春季北支脊强度逐渐加强至夏季到达峰值后逐渐减弱至冬季到达谷值。空气质量状况表现为春、夏季较好, 秋、冬季较差, 中度污染区域主要位于中部地区, 华北地区空气质量状况季节性变化显著。AQI值与北支脊强度指数的时间序列为显著负相关, 当北支脊强度偏强(弱)时AQI值整体偏小(大), 中国空气质量上升(下降)。春季西北及华北地区主要为负相关。夏季以长江为界, 相关性在中国的分布具有明显的南北差异。秋季大部分地区负相关性显著。冬季内陆地区以负相关为主, 东北及东部沿海城市为显著正相关。

关键词: 大气科学; 气候变化; 北支脊强度; 空气质量状况; 时空分布

中图分类号: P434+.2

文献标志码: A

doi: 10.16836/j.cnki.jcuit.2021.06.011

0 引言

大气是人类赖以生存的环境之一和发展的基本环境要素, 但随着中国各方面综合实力的不断提高, 工业化不断推进, 生产、建筑行为的增加, 自然环境已经遭受了极大的污染, 中国已成为大气污染最为严重的国家之一, 人们在生活水平提高的同时也越来越关注城市内大气污染问题^[1-2]。因此, 对影响大气污染因素的统计和分析也越发重要。中国大气污染具有总悬浮颗粒物和可吸入颗粒物含量高, 含菌量大, 煤烟型污染占重要地位等特点^[3]。董佳丹等^[4]在有关空气质量时空变化分析的研究中指出, 空气质量有逐年下降的趋势, 大气污染程度时间上冬季要高于夏季, 空间分布上北方高于南方。排放到大气中的气体和颗粒污染物被从排放源驱散到更大的空气体积中, 这是引发空气污染事件的根本原因^[5], 而污染物被释放后, 气象条件在污染物的扩散和输送中起了主要作用, 成为大气污染的直接影响因素^[6]。刘强等^[7]认为大尺度天气形势的变化, 会导致风、气温、气压、相对湿度等要素在水平、垂直方向的分布发生相应的改变, 从而影响空气污染物的扩散条件。祁栋林等^[8]认为解释空气污染的成因较为常见的方法是通过分析空气质量与气象条件之间的关系。邹旭东等^[9]发现空气污染指数与风

速、气压、降水呈负相关。赵庆云等^[10]通过建立预报方程得出, 东亚大槽明显时, 亚洲地区环流经向度大, 空气污染程度较轻。李厚宇等^[11]通过分析大气流场变化也得出相关结论, 当东亚大槽偏弱, 高空以纬向环流为主时, 中国冷空气强度较弱, 使霾天气出现的可能性大大增加。魏月娥等^[12]研究指出, 降水量的大小对空气中污染物有湿清除作用, 对空气质量的改善和污染物浓度的降低有明显作用。

青藏高原是一个大范围的高海拔地区, 它通过机械和热力动力学效应对亚洲及亚洲以外的大气环流有着深远的影响^[13-14]。青藏高原的动力作用不仅使其形成了独特的高原气候, 而且由于其高大地形的存在, 使西风带发生分支、绕流, 从而形成了南北两支气流。北侧气流在新疆地区形成北支西风带高压脊, 王谦谦等^[15]通过数值实验得到, 西风气流在高原纯动力作用下, 产生绕流的北侧纬向位置基本一致。北支脊作为高原环流的一支, 体现了青藏高原纯粹的动力作用, 对其邻近地区乃至中国的环流系统和天气气候均产生显著影响。盛华等^[16]通过数值实验分析指出, 夏季青藏高原的动力作用主要表现在对气流的绕流作用上, 在高原纯动力作用中, 绕流作用均比爬坡作用重要。Bolin等^[17]对地形绕流效应进行研究, 结果表明, 高原冬季对西风气流的分支作用是形成东亚大槽的重要原因。陈忠明等^[18]分析指出, 东亚大槽的强度与西风强度成正比。李维京等^[19]指出高原的南北气流有助于在高原附近生成新的中尺度天气系统, 如西南涡、高原东侧的切变线和北侧的小高压等。乔钰等^[20]研究指

收稿日期: 2021-01-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(42075019, 42075081); 国家重点研发计划资助项目(2018YFC1505702); 第二次青藏高原综合科学考察研究资助项目(2019QZKK0102)

出气流绕过高原后在其东侧汇合,并在高原北侧有反气旋式高压生成,高原东北侧南下的冷空气加强。蒋艳蓉等^[21]研究发现较强的高压脊有利于中高纬冷空气向南输送,同时高原东南侧的暖湿气流向北输送,有利于江淮降水。同时强高原绕流作用也使西北、华北、东北部分地区春季气温显著偏低。梁潇云等^[22]对有、无高原地形进行了数值模拟,结果表明,在春季,青藏高原北支气流加强了北方冷空气在高原东侧的南下,有利于华南地区春季降水的加强。

目前对影响大气污染物扩散的气象条件的研究多针对于某些城市局地的气象要素变化,而有关高原环流对全国大气污染整体局势的影响的研究尚不完善。利用统计分析方法,从春夏秋冬四个季节的角度讨论北支脊强度及中国城市空气质量指数 AQI 在 2015–2019 年的变化特征,并基于空气质量指数的插值结果分析北支脊与中国空气质量状况的关系,有利于完善有关影响污染物扩散的气象条件的工作,提高人们对大气污染状况的认识,为推进研究青藏高原环流对中国大气污染的影响提供一定的参考。

1 资料及方法

1.1 空气质量指数

在研究大气污染时,通常会根据反映大气污染状况的重要指标进行大气污染常规指标分析^[23–24],将监测到的几种空气污染物的浓度折算成一个统一的指数,即空气质量指数 AQI^[25],这是定量描述空气质量状况的无量纲指数。根据 AQI 值将空气质量分为不同等级,AQI 值越高说明大气污染程度越高,空气质量越差。研究数据主要来自生态环境部发布的国控站点全国站点日报数据中的 AQI 台站数据。选取 2015–2019 年的共有站点(1657 个)进行统计分析。基于 AQI 的插值结果对其进行时间及空间分布特征分析,研究其季节性变化特点。考虑到 4 月、7 月、10 月、1 月的 500 hPa 平均高度和涡度场与春、夏、秋、冬季的平均场类似,选用每年的 4 月、7 月、10 月、1 月分别代表春、夏、秋、冬季。

1.2 北支脊强度指数

所用资料包括:NCEP/NCAR 再分析资料,包括位势高度、水平经向风和纬向风、垂直速度等物理量,水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$,时间取 2015–2019 年。

副热带西风带在青藏高原动力作用下分支出的北侧气流在新疆地区形成的北支西风带高压脊,即为北

支脊。参照 Fan 等^[26]定义冬季北支脊的方法,将各年北支脊强度指数 I_N 定义为

$$I_N(t_k) = \max \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_{500}(\lambda_i, \varphi_j, t_k) \right] \quad (1)$$

式中: H_{500} 表示500 hPa高度层; λ_i 、 φ_j 和 t_k 分别代表北支脊活动范围的经度区间($65^{\circ}\text{E} \sim 95^{\circ}\text{E}$)、纬度区间($32.5^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{N}$)和时间区间(每年所含天数); i 、 j 、 k 的取值范围分别是 $1 \sim 13$ 、 $1 \sim 6$ 和 $1 \sim 365$ (或 $1 \sim 366$), $N = 6$ 。首先对 NBR 活动范围内某一年每天 500 hPa 高度层上 $32.5^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{N}$ 进行平均,得到在 $65^{\circ}\text{E} \sim 95^{\circ}\text{E}$ 内每隔 2.5°E 的共 13 个位势高度的平均值,取其中的最大值为 I_N 。 I_N 对应的经度值为北支脊的纬向位置指数 I_{zp} ,以表征北支脊在东、西方向的移动情况。

2 2015–2019 年北支脊强度及纬向位置变化特征

如图 1 所示,2015–2019 年北支脊强度指数日变化图上存在 5 个显著波段,分别对应每一年北支脊强度的逐日变化情况,波段数值区间为 5500 ~ 6000 gpm,呈现出较为一致的特征。

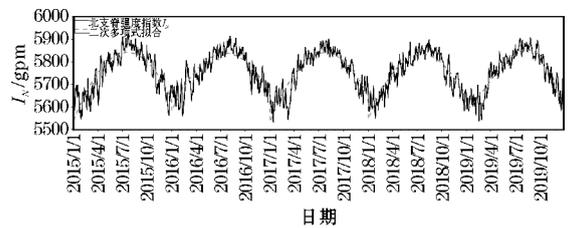


图1 2015–2019年北支脊强度指数 I_N 逐日变化图

从北支脊强度指数逐月变化方面分析,2015–2019年波谷对应的时段均为1月下旬,此时强度指数最小,北支脊强度最弱。北支脊强度指数均在2–7月逐渐增大,其中2017年3月增速达到6.89,为5年内增速最大值,4–7月增速有所放缓。2015–2019年北支脊强度指数达到峰值的时段均为7、8月,此时强度最强,维持1个月左右。9–12月北支脊强度指数逐渐减小,北支脊强度逐渐减弱,其中2019年11月减速达到-4.964,为5年内减速最大值。2015–2019年北支脊强度指数的峰值有逐渐减小的趋势,2015年峰值最高为5929.625 gpm,2019年峰值最低为5907.458 gpm。

从北支脊强度指数季节性变化方面分析,春季北支脊强度为显著增强阶段,波动幅度大且比较不稳定,夏季北支脊强度指数维持在较高水平且振幅较小,波动比较稳定。秋季北支脊强度为显著减弱阶段,冬季强度到达谷值且波动比较不稳定。张永莉等^[27]指出,

北支脊纬向位置指数 I_{ZP} 与强度指数 I_N 关系为显著负相关, I_N 的值愈大(小), I_{ZP} 愈小(大), 北支脊向西(东)移动。图2所示的2015-2019年北支脊纬向位置指数的逐月变化曲线呈现出相对应的特征, 整体表现为先减小后增大。自2月起 I_{ZP} 逐渐减小, 于7月份

到达谷值, 9-12月 I_{ZP} 逐渐增大, 且10-11月纬向位置指数波动较大稳定性较差, 对应北支脊春季起自东向西移动至夏季中下旬到达最偏西位置, 在偏西位置保持1~2个月后将由西向东移动。

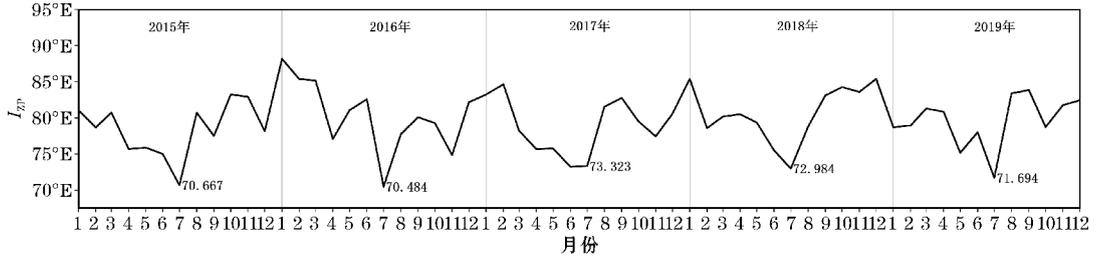


图2 2015-2019年北支脊纬向位置指数 I_{ZP} 逐月时间变化图

3 2015-2019年中国空气质量变化特征

3.1 AQI 值时间变化特征

2015-2019年AQI时间变化如图3所示, 对AQI进行二次多项式拟合, 并根据AQI值与拟合值的差值, 得到AQI值逐日波动情况。

如图3(a)所示, 2015年AQI变化特征显著, 整体特征为先减小后增大。自1月起AQI值逐渐减小, 至8月前后即夏末时段达到谷值, 9月前后AQI值开始逐渐升高, 12月下旬达到AQI值峰值, 说明中国的空

气质量情况以8月为转折点先上升后下降。2015年AQI值均高于50, 其中4月中旬至9月的AQI值低于100, 说明中国在春季中后期至秋季中期空气质量状况较好, 其中6-9月AQI值低于75, 夏季至秋季初期的空气质量为全年最优。1-3月、10-12月的AQI值总体处于100~150, 说明冬季、春初、秋末空气质量状况属于轻度污染, 其中冬季出现了AQI值大于150的时段, 即中度污染天气。根据AQI值与拟合值的差值得到AQI值波动特征, 1-4月波动幅度较大, 自1月起波动幅度逐渐减小, 稳定的小幅度波动保持在6-9月, 10月波动幅度逐渐增大, 12月AQI值的振幅较大, 波动稳定性较差。

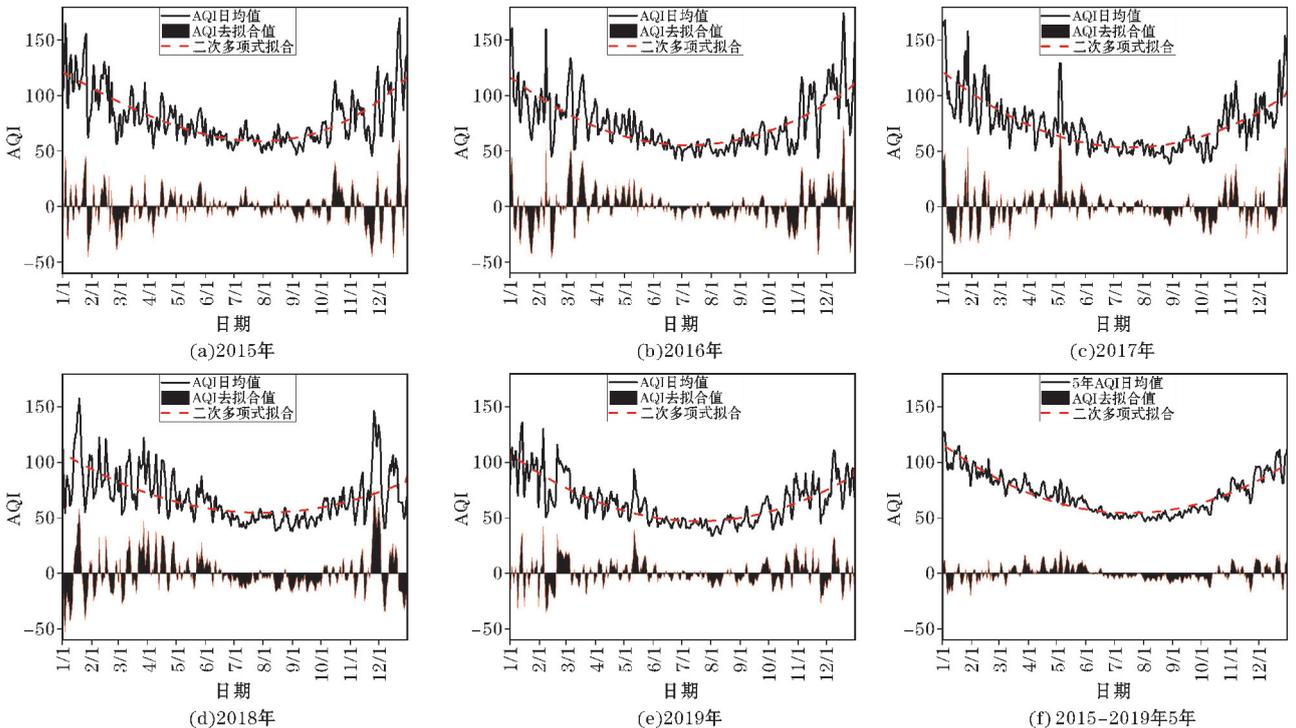


图3 2015-2019年AQI日均值时间序列变化图

图3(b)中,2016年AQI值整体变化特征与2015年较为一致,其中6-8月大约有25天的AQI值小于50,此时段内空气质量状况最佳。2016年AQI值低于100的时间段为4-10月,与2015年相比持续时间较长,此时段内空气质量较好。1-3月的AQI波动与2015年同期相比不稳定性增大,其中3月振幅变化最为明显。图3(c)中,2017年3月起AQI值波动渐趋稳定,但在5月初出现AQI突变值,稳定的小幅度波动时间较长。图3(d)中,2018年1-5月的AQI值振幅整体偏大,此时段内AQI值波动稳定性较差,仅7月的波动较为稳定,11-1月均出现AQI突增。图3(e)中,2019年AQI值较往年整体偏低为32~136,且波动与往年相比较为稳定。因2015-2019年内仅2016年为闰年,图3(f)中用2016年2月29日AQI数据代替该日平均数据。5年AQI日均值表明,AQI值总体呈现先降低后增大的变化特征,空气质量较好且变化较稳定的时段为6-9月,其余时段AQI值波动

较大,空气质量状况不稳定。从季节性角度分析,春季空气质量逐渐上升至夏季达到空气质量最优时段,自秋季起空气质量逐渐下降,冬季的空气污染最严重。

3.2 AQI值空间分布特征

图4所示的中国AQI值的分布情况在春夏秋冬四个季节具有较大的差异,图4(a)反映了春季AQI值的分布情况,高值区大部分分布在 $35^{\circ}\text{N} \sim 40^{\circ}\text{N}$,位于中国北方,其中新疆西部高值区覆盖范围较广且高值区最大值高达300,属重度污染。另一AQI高值区覆盖面积包括华东地区、华北南部地区及华中北部地区,其中河北南部、山东西部及河南北部的AQI值处于100~150,属于轻度污染,空气质量较差。 40°N 以北、 35°N 以南的AQI值逐渐减小,黑龙江北部、广东南部AQI值低于50,空气质量为优。青藏高原中部存在AQI高值区,但范围较小且中心值小于100,主要位于那曲地区,AQI值由中心向四周逐渐减小。

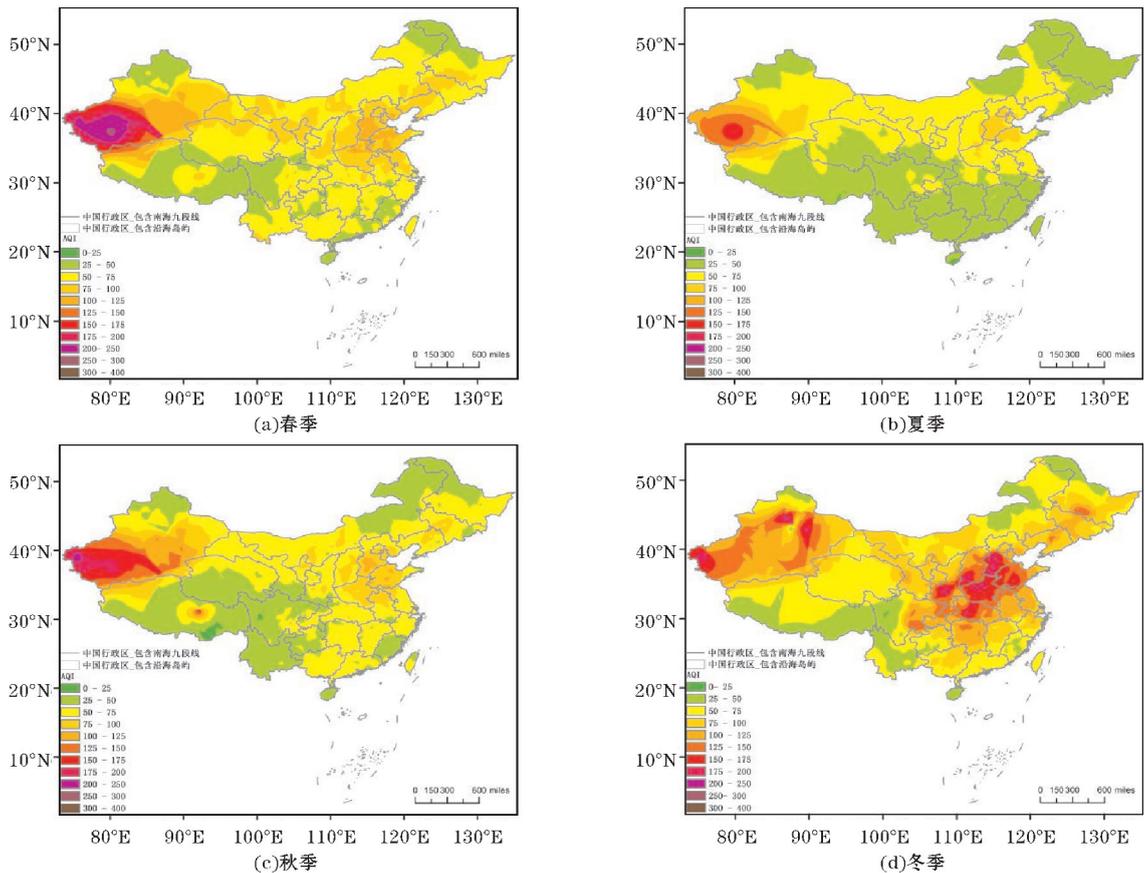


图4 2015-2019年春、夏、秋、冬季中国AQI值空间分布图

图4(b)反映的是夏季AQI值的分布情况,AQI值低于50的区域较春季大幅度扩大,整体AQI值偏低,空气质量较好。空气质量相对较差的区域集中在 $35^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{N}$,高值区覆盖的范围较春季有所减少,主要分布在新疆西部及河北南部地区。新疆西部的高值

区范围虽无明显缩减但最大值较春季有所减小,最大值小于175。河北南部的AQI值降至100以下,但依旧高于周边地区,空气质量由轻度污染降为良,较春季有所提高。 35°N 以南及 45°N 以北的区域AQI值低于50,空气质量状况以优为主。

图4(c)反映了秋季AQI值的分布情况,空气质量整体有所下降,存在3个高值区,分别位于新疆西部、华北南部以及青藏高原南部地区。其中新疆西部AQI值大于150的范围较夏季有所扩大,高值区的最大值增至200以上,所在位置偏西。原本位于河北南部的高值区范围在秋季扩大至山东、河南、安徽大部分地区,但高值区最大值所在位置依旧位于河北南部。西南大部分地区AQI值低于50,空气质量较好,但青藏高原南部出现AQI高值区,高值区范围与春季较为相似,秋季AQI高值区的极大值大于150,空气质量相对较差。

根据图4(d),冬季中部地区及新疆大部分地区存在大范围的AQI高值区。新疆地区的AQI高值区范围由西向东北扩大,新疆西部、北部、东部均出现高值中心,较严重的大气污染覆盖新疆大部分地区。中部AQI高值区内最大值远高于春、夏、秋季,AQI值大于150,其中河北南部、山西南部、陕西南部、湖北中部及整个河南中部的AQI值高达200,属于重度污染。青藏高原中部的高值中心消失,高原南部空气质量较好。

总体来看,在春、夏、秋季,中国大部分地区为中度污染,主要位于西北、华北以及华中、华东地区,而青藏高原及东北地区空气质量较好。冬季整体空气质量降

低,绝大部分城市均受到污染性天气影响,华中、华东地区由中度污染转为重度污染。常年大气污染较为严重的区域主要集中在30°N~45°N,尤其是新疆及中东部地区的空气质量季节变化最明显。四川西部、云南北部以及海南地区常年空气质量较好。新疆西部的空气质量常年较差,这与新疆的区域性沙尘天气及喀什三面环山的半封闭地形特征有很大的关系。

4 北支脊强度指数 I_N 与空气质量指数AQI的相关性分析

4.1 I_N 与AQI的时间序列相关性

图5(a)所示的2015年 I_N 与AQI的时间序列对比图中, I_N 与AQI值具有明显反向变化特征。1-4月 I_N 处于速度较大的增大阶段,同期AQI值处于速度较大的减小阶段, I_N 增大至8月到达峰值时,同期AQI值逐渐减小至8月到达谷值,8月下旬 I_N 逐渐减小,AQI值逐渐增大。总体分析,北支脊强度为先增强后减弱,同期AQI值先减小后增大。两者波动不稳定的时段均处于1-3月、10-12月。

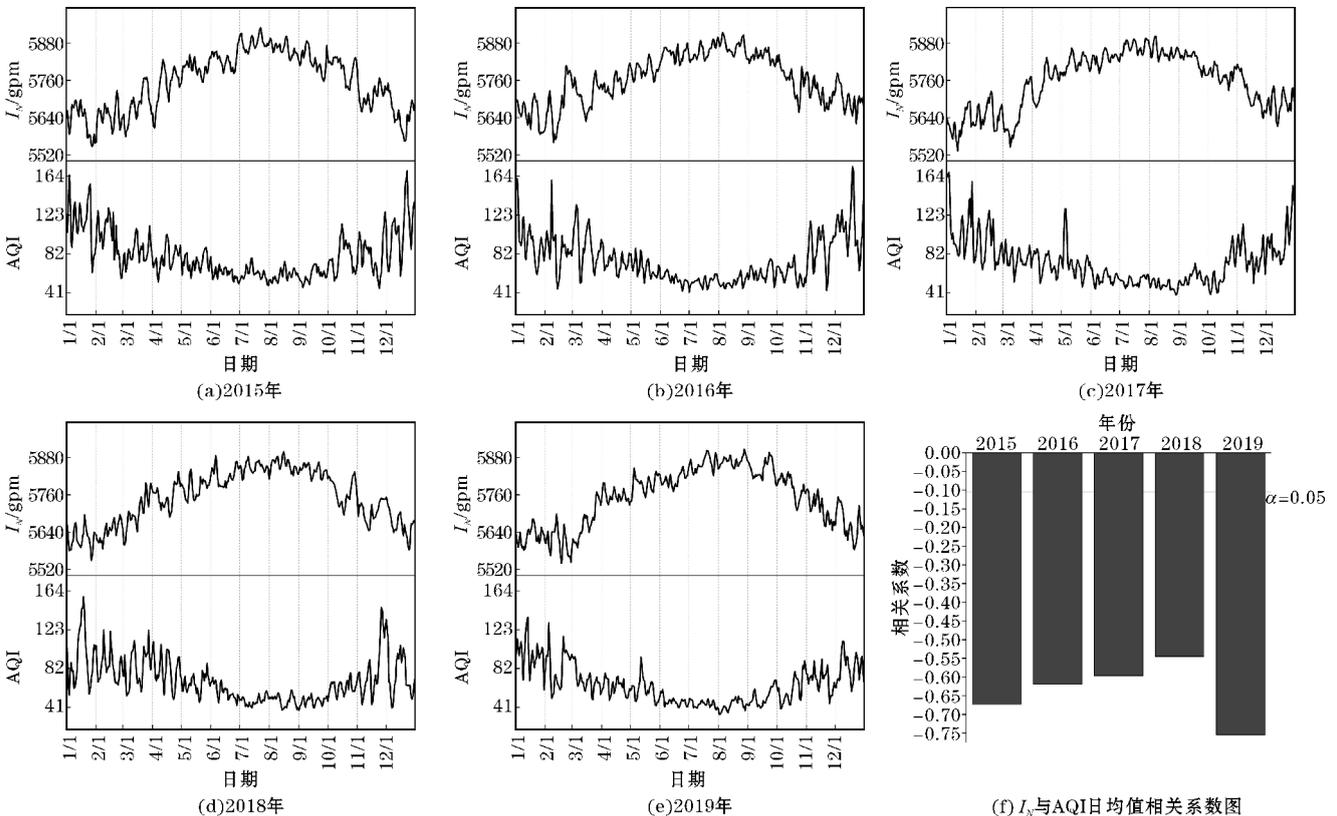


图5 2015-2019年 I_N 与AQI时间序列对比图

如图5(f)所示,2015-2019年的AQI日均值与北支脊强度指数均具有明显的负相关关系,相关系数在

-0.55 ~ -0.75, 相关系数均通过0.05的显著性检验。其中2019年相关系数最大, 负相关性最强, 2015-2018年负相关性逐渐减弱, 2018年负相关系数最小, 负相关性最弱。

4.2 I_N 与 AQI 值季节性相关系数分布特征

图6为2015-2019年北支脊强度与中国4、7、10、1月空气质量状况的相关系数分布图。 I_N 与同期AQI值的相关性在不同季节不同地域呈现出不同的特征。

图6(a)中, 春季显著负相关区域主要位于青海东

部以及河南南部及其周边地区, 尤其是河北南部的负相关系数超过-0.5, 周边地区包括山东西部、山西南部、陕西南部的负相关系数超过-0.2, 负相关性较高。正相关区域主要位于内蒙古中部、南方大部分地区, 尤其是云南西部正相关系数超过0.5, 正相关性较高。说明春季 I_N 值愈大时, 北支脊强度愈强, 陕西、山西、河南、山东即黄河中下游大部分地区AQI值愈小, 空气质量状况愈好, 而南方大部分地区AQI值愈大, 空气质量愈差。

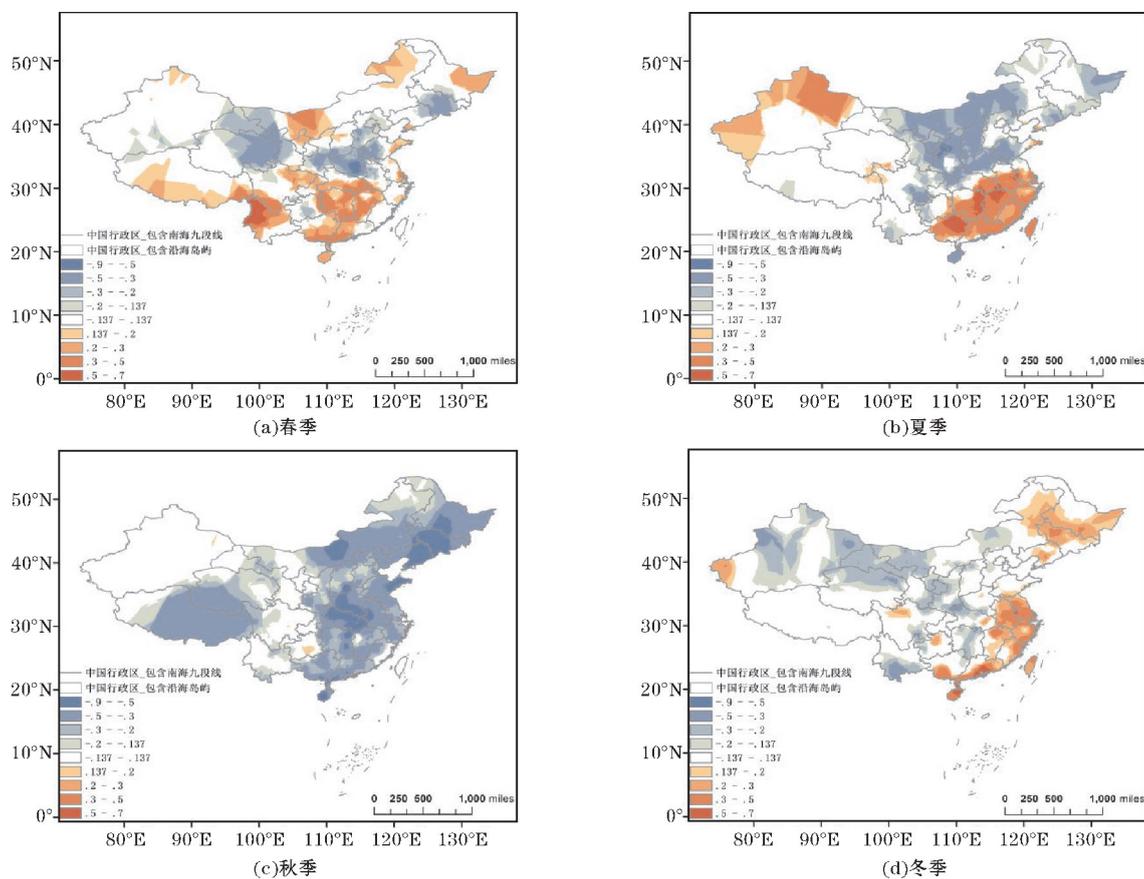


图6 2015-2019年 I_N 与AQI值相关系数分布图

图6(b), 夏季 I_N 与AQI的相关系数在中国的空间分布图, 除新疆北部有较为显著的正相关关系外, 以长江为界, I_N 与AQI的相关性具有明显的南北差异, 长江以北为显著负相关, 长江以南为显著正相关, 长江以南地区中广西、湖南、江西部分地区相关系数超过0.5, 正相关性较高。说明当夏季的北支脊强度偏大时, 长江以北地区AQI值偏小, 空气质量偏高, 而长江以南地区AQI值偏高, 空气质量偏低。

图6(c)中, 秋季 I_N 与AQI在大部分地区为负相关关系, 青藏高原、东北地区及中部地区的负相关系数较高, 其中辽宁、吉林、河南南部、湖北北部、相关系数超过-0.5, 负相关性显著。除此之外, 在贵州南部出

现小范围的正相关性区域, 相关系数不超过0.2, 相关性较弱。图6(c)表明, 秋季 I_N 值偏小时, 北支脊强度减弱, 大部分地区AQI值升高, 空气质量较差, 而贵州南部AQI值减小, 空气质量有所上升。

图6(d)是冬季 I_N 与AQI值相关系数分布图, 西北地区主要为负相关关系, 从西北向东南方向相关性逐渐减弱, 正相关性主要分布在东北地区以及东部沿海城市。说明当冬季 I_N 值愈大即北支脊强度愈强时, 内陆地区空气质量愈好, 反之 I_N 值愈小, 内陆地区空气质量愈差, 东北及沿海地区空气质量愈好。

通过对北支脊强度偏强和偏弱时的风场及降水特征进行分析, 可初步讨论中国空气质量状况与北支脊

强度相关性分布差异性的原因,图7(a)所示,在北支脊强度较弱的冬季,中高纬地区东亚大槽显著,青藏高原及东北地区风速较大,北方盛行西北风,新疆地区及华中、华东地区风速较小,不利于污染物扩散,且中部地区风向呈反气旋,高空存在下沉气流,吴萍^[28]认为深厚的下沉气流使得大气边界层厚度降低,是冬季京津冀地区大气污染物难以扩散的原因。加之中部地区冬季污染物排放强度较高,而西南、西北以及北方地区降水量较少,不利于污染物进行湿沉降,导致冬季北支脊偏弱时,北方地区空气质量状况较差。图7(b)所示的冬季降水量分布图中,降水主要发生在南方地区,高值区位于沿海一带,有效促进沿海地区的大气颗粒物

沉降,降低大气污染程度,且沿海地区较华中地区风速较大,有利于污染物的扩散。图7(c)所示的夏季850 hPa风场中,中部地区风速较冬季有所增大,但整体风速有所下降,风场对污染物扩散的影响有所减小。彭京备等^[29]研究得出,夏季副热带高压西伸、北抬过程会导致南方高温天气的发生。副高西侧的西南气流将水汽持续输送到中东部地区,高湿环境使得污染物在一定程度上吸湿增长。图7(d)所示的夏季降水量分布图中,北方地区降水量较冬季大幅度增加,南方地区降水量高值区范围较冬季有所扩大,有利于污染物扩散和沉降,使得夏季空气质量整体较好。

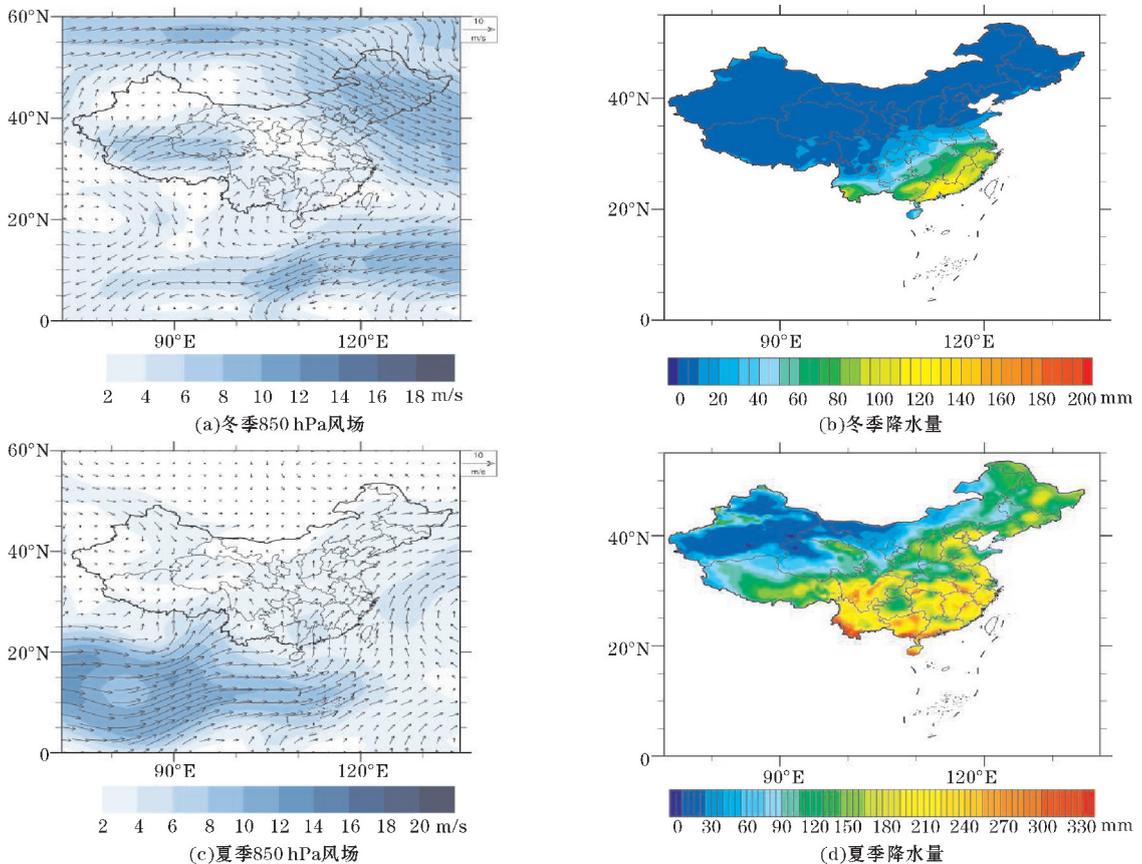


图7 冬、夏季850 hPa风场与降水量分布图

5 结论

通过使用统计分析、相关分析方法对2015–2019年北支脊强度指数与空气质量指数时空变化特征以及两者相互关系进行研究,得到以下结论:

(1)北支脊在 $32.5^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{N}$ 、 $65^{\circ}\text{E} \sim 95^{\circ}\text{E}$ 区域全年均有较活跃的移动特征,自春季起北支脊强度不断增加并自西向东移动,至夏季中旬到达强度最大值且北支脊纬向位置最偏西,秋季北支脊强度逐渐减弱

且自西向东移动,冬季北支脊强度最弱且位置偏东。

(2)中国AQI值呈现先减小后增大的变化特征。从整体来看,春季AQI值逐渐减小、夏季为AQI值谷值时段,空气质量最好,大气污染程度最低,秋季AQI值逐渐增大,冬季AQI达到峰值,空气质量状况最差。从不同地域来看,中等污染地区主要位于西北、华北以及华中、华东地区。由于地形等原因新疆西部常年存在AQI高值区,春季北方空气质量较差,东部地区属于轻度污染。夏季空气质量较差的区域主要位于 $35^{\circ}\text{N} \sim 45^{\circ}\text{N}$,整体AQI值偏低,空气质量较好。秋季

南方地区空气质量整体有所下降,京津冀地区污染逐步扩大。冬季大气污染最严重的地区处于中部,AQI值高达200,属重度污染。

(3)2015-2019年中国AQI日均值与北支脊强度指数的时间序列为显著负相关,当北支脊强度指数达到最大值时同期AQI值达到最小,说明北支脊强度偏高(低)时,整体的大气污染程度偏低(高),空气质量较好(差)。在空气质量状况的整体变化背景下,北支脊强度与空气质量状况在不同地域表现出不同的相关性,春季华中及华南地区有小范围的正相关,西北及华东地区负相关显著。夏季南北差异显著,以长江流域为界,长江以北为显著负相关,长江以南为显著正相关。秋季大部分地区为显著负相关。冬季新疆及内陆大部分地区以显著负相关性为主,沿海及东北地区为正相关。引起相关性差异的原因与北支脊所代表的环流对风场、降水等气象因子的影响有一定的联系。

参考文献:

- [1] 王芝兰,冯建英,沙莎. 2017年春季全国干旱状况及其影响与成因[J]. 干旱气象,2017,35(3): 528-533.
- [2] 赵丽丽. 中国大气污染现状及防治对策[J]. 山西建筑,2011,37(25):194-196.
- [3] 张茜,陈静. 中国城市大气污染现状及防治措施[J]. 河南科技,2013(20):182,206.
- [4] 董佳丹,陈晓玲,蔡晓斌,等. 基于中国大气环境监测站点的2015-2019年大气质量状况时空变化分析[J]. 地球信息科学学报,2020,22(10): 1983-1995.
- [5] 金盛华. 大气污染现状及治理展望[J]. 现代经济信息,2015(24):312.
- [6] 张丹梅. 气象因子与区域大气污染浓度的灰色关联分析研究[J]. 环境科学与管理,2019,44(7):79-83.
- [7] 刘强. 大气污染物扩散中稳定度判定方法概述[J]. 干旱气象,2011,29(3):355-361.
- [8] 祁栋林,魏鸿业,马明亮,等. 气象因子对我国西北5城市API的影响[J]. 青海环境,2013,23(3):109-112.
- [9] 邹旭东,杨洪斌,张云海,等. 1951-2012年沈阳市气象条件变化及其与空气污染的关系分析[J]. 生态环境,2015,24(1):76-83.
- [10] 赵庆云,张武,王式功. 空气污染与大气能见度及环流特征的研究[J]. 高原气象,2003(4): 393-396.
- [11] 李厚宇. 济南城市群采暖季大气流场及其对污染物输送影响模拟研究[D]. 济南:山东师范大学,2018.
- [12] 魏月娥,边彦铭,倪丽霞,等. 降水量对空气质量影响研究[J]. 宁夏工程技术,2020,19(3): 217-222.
- [13] 齐冬梅,李跃清,李英,等. 夏季青藏高原东部大气热源变化及其对相邻区域气候的影响[J]. 干旱气象,2010,28(2):113-120.
- [14] 叶笃正,高由禧. 青藏高原气象学[M]. 北京:科学出版社,1979:1-278.
- [15] 王谦谦,王安宇,李学锋,等. 青藏高原大地形对夏季东亚大气环流的影响[J]. 高原气象,1984(1):13-26.
- [16] 盛华,陶诗言. 青藏高原和落基山对气旋的动力影响[J]. 气象学报,1988,46(2):130-141.
- [17] Bolin B. On the influence the earth's orography on the general character of the westerlies[J]. Tellus,1950,2(3):184-195.
- [18] 陈忠明,卢敬华. 青藏高原大地形对东亚大槽影响的动力学分析[J]. 高原气象,1987(2): 130-140.
- [19] 李维京,罗四维. 青藏高原对其邻近地区一次天气系统影响的数值试验[J]. 高原气象,1986,5(3):245-255.
- [20] 乔钰,周顺武,马悦,等. 青藏高原的动力作用及其对中国天气气候的影响[J]. 气象科技,2014,42(6):1039-1046.
- [21] 蒋艳蓉,何金海,温敏,等. 冬、春季青藏高原东侧涡旋对特征及其对我国天气气候的影响[J]. 高原气象,2009,28(5):945-954.
- [22] 梁潇云,刘屹岷,吴国雄. 青藏高原隆升对春夏亚洲大气环流的影响[J]. 高原气象,2005, 24:837-845.
- [23] 邹佳乐,林尧林,杨薇. 中国近年PM_{2.5}污染研究进展[J]. 环境污染与防治,2019,41(3):357-361,366.
- [24] 王继康,张恒德,桂海林,等. 能见度与PM_{2.5}浓度关系及其分布特征[J]. 环境科学,2019,40(7):2985-2993.
- [25] 姜磊,周海峰,柏玲,等. 空气质量指数(AQI)的社会经济影响因素分析——基于指数衰减效应视角[J]. 环境科学学报,2018,38(1):390-398.
- [26] FAN G Z,ZHANG Y L,WANG B Y,et al. Interan-

- nual variability of the wintertime northern branch high ridge in the subtropical westerlies and its relationship with winter climate in China[J]. *Journal of Meteorological Research*, 2015, 29(5): 703-719.
- [27] 张永莉, 范广洲, 汪家楠, 等. 春季北支脊变化特征及其对中国气候的影响[J]. 北京: 自然资源学报, 2018, 33(1): 114-126.
- [28] 吴萍. 水汽输送对我国降水变异及大气污染条件的影响[D]. 北京: 中国气象科学研究院, 2017.
- [29] 彭京备, 刘舸, 孙淑清. 2013年我国南方持续性高温天气及副热带高压异常维持的成因分析[J]. *大气科学*, 2016, 40(5): 897-906.

Correlation Study between the Strength of the Northern Branch Ridge and Atmospheric Quality in China from 2015 to 2019

ZHAO Wen¹, FAN Guangzhou^{1,2}, LI Yiwei³

(1. College of Atmospheric Sciences/Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province/Joint Laboratory of Climate and Environment Change, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044, China; 3. Jining Meteorological Bureau in Shandong Province, Jining 272000, China)

Abstract: Based on NCEP/NCAR reanalysis data and AQI station data, and through statistical analysis and correlation analysis, etc, the variation characteristics of the strength of the northern branch ridge and the atmospheric quality from 2015 to 2019 are discussed by using the strength index of the northern branch ridge and air quality index. The results showed that the strength of the northern branch ridge first increased and then weakened within these 5 years, and the strength of the northern branch ridge gradually strengthened to reach the peak value in summer and then gradually weakened to reach the valley value in winter. The air quality is better in spring and summer, and worse in autumn and winter. The moderately polluted areas are mainly located in central China, and the air quality in North China has seasonal changes. The time series of the AQI value and the strength index of the north ridge are significantly negatively correlated. When the strength of the north ridge is strong (weak), the AQI value is generally small (large), and the air quality in China is increased (decreased). In spring, Northwest China and North China are mainly negatively correlated. In summer, the Yangtze River is the boundary of this season, and the distribution of correlation in China has obvious difference between north and south. In autumn, the negative correlation is significant in most areas of China. In winter, the inland areas are mainly negatively correlated, and the northeast and eastern coastal cities are significantly positive correlation.

Keywords: atmospheric sciences; climate change; the strength of the northern branch ridge; atmospheric quality; time and space distribution