

李汉林,何清,赵权威.喀什地区PM₁₀输送路径及潜在源区[J].中国沙漠,2021,41(5):62-70.

喀什地区PM₁₀输送路径及潜在源区

李汉林¹,何清¹,赵权威²

(1.中国气象局乌鲁木齐沙漠气象研究所,新疆乌鲁木齐830002;2.新疆维吾尔自治区气象服务中心,新疆乌鲁木齐830002)

摘要:基于HYSPLIT模型和2019年9月至2020年8月喀什地区大气颗粒物逐时数据,利用聚类分析、潜在源贡献因子法(PSCF)和浓度权重轨迹法(CWT)分析喀什地区四季PM₁₀传输路径与潜在源区,揭示研究期间喀什地区不同季节PM₁₀的潜在源分布及其贡献水平。结果表明:喀什地区PM₁₀、PM_{2.5}年均值分别为237.3±268.3、89.3±82.3 μg·m⁻³,大气颗粒物以PM₁₀为主;喀什地区气流输送路径主要来自中亚西风气流,其次是来自中国新疆南部;PM₁₀秋季主要贡献源区分布在中亚部分地区以及中国新疆南部区域,贡献水平为250—450 μg·m⁻³;冬季主要贡献源区与秋季相似,贡献水平为150—300 μg·m⁻³;春季重点贡献源区主要分布在新疆南部塔克拉玛干沙漠区域,贡献水平为250—500 μg·m⁻³;夏季主要贡献源区与春季相似,贡献水平为150—250 μg·m⁻³。喀什地区重点防范应是塔克拉玛干沙漠沙尘气溶胶的影响,其次是中亚西风气流携带的大气颗粒物远距离输送。

关键词:PM₁₀;聚类分析;潜在源贡献因子分析;浓度权重轨迹分析;喀什

文章编号:1000-694X(2021)05-062-09

DOI:10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00060

中图分类号:X513

文献标志码:A

0 引言

大气颗粒物污染是全球气候变化研究的重点科学问题^[1-3]。自然产生的大气颗粒物不仅会影响当地空气质量,而且会在高空气流作用下通过远距离输送对另一区域大气环境产生影响,且可对人体健康造成损害^[4-8]。近年来,HYSPLIT后向轨迹模式成为众多学者研究大气中各种污染物传输路径的常用方法,并发展出如聚类分析、潜在源贡献因子分析(PSCF)和浓度权重轨迹分析(CWT)等多种轨迹统计方法^[9-13]。葛拥晓等^[14]利用HYSPLIT模式追溯到咸海地区春季粉尘潜在扩散范围最大,且潜在扩散表现出明显的径向和纬向扩散特征;Balent等^[15]研究得出意大利上空低压和里海上空高压之间的相互作用形成的环流,对土耳其西部PM₁₀浓度水平有重要影响;段时光等^[16]利用后向轨迹模式发现郑州市PM_{2.5}的潜在源区是北部的京津冀地区;周茹等^[17]利用HYSPLIT模式追溯到一次影响中国昆明地区的生物质燃烧气溶胶污染是来自东南亚地

区的跨距离输送;

本文在对喀什地区大气颗粒物浓度特征分析的基础上,综合运用HYSPLIT后向轨迹模式中轨迹聚类、PSCF和CWT法,揭示不同季节影响喀什地区首要污染物PM₁₀的主要输送路径及其潜在源区。作者前期在对喀什地区帕米尔高原东部PM₁₀输送路径及潜在源进行研究发现,该地区全年PM₁₀浓度较低,主要受来自中亚地区西风气流携带的PM₁₀远距离输送影响,且主要贡献源区位于中亚和南亚部分地区^[18]。喀什市同样位于亚欧大陆腹地,毗邻高浓度沙尘气溶胶源地塔克拉玛干沙漠和中亚其他干旱半干旱沙漠地带,属于绿洲平原地区,距帕米尔高原约300 km,海拔差约1 800 m。大气颗粒物污染是制约喀什市发展的重要环境因素,该地区在中亚大气颗粒物的传输中有至关重要的作用,对该地区大气颗粒物传输路径和潜在源区进行研究,可进一步对比探究PM₁₀对中国西北部高原与平原地区的潜在影响及贡献水平差异,并为喀什地区科学有效地开展大气颗粒物防治工作及其跨境输送过

收稿日期:2021-04-07; 改回日期:2021-05-12

资助项目:国家自然科学基金重点项目(42030612);第二次青藏高原综合科学考察子专题(2019QZKK010206)

作者简介:李汉林(1994—),男,安徽宿州人,硕士研究生,主要从事大气污染防治研究。E-mail: lihanlin5016@163.com

通信作者:何清(E-mail: qinghe@idm.cn)

程的数值模拟提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 研究区及资料来源

中国新疆西部的喀什市位于亚欧大陆腹地,是“一带一路”经济走廊的重要节点,包括喀什噶尔和叶尔羌河两大绿洲,面积约1.7万km²,平均海拔1289m,属暖温带大陆性干旱气候,年平均气温11.7℃,年平均风速2.5m·s⁻¹,该地区无大型工业,主要是小手工业和种植业,毗邻塔克拉玛干沙漠,多大风、沙尘天气^[19-20]。

喀什市3个环境监测站由南到北依次为市环境监测站(39.44°N、75.94°E,1295m)、巡警大队(39.54°N、75.98°E,1292m)、吾办(39.47°N、75.98°E,1330m),所用喀什市大气颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})数据取自这3个环境监测站点逐时浓度的算术平均值;HYSPLIT后向轨迹模式所用气象再分析资料来源于美国气象环境预报中心(NCEP)提供的全球资料同化系统(GDAS)气象再分析资料,空间分辨率为1°×1°,分为00:00、06:00、12:00、18:00(UTC世界时)4个时次,高度层为23层,气象要素包括温度、气压、水平和垂直风速等。

1.2 研究方法

1.2.1 HYSPLIT模式

HYSPLIT模式全称为混合单粒子拉格朗日综合轨迹模式,是美国国家海洋大气管理局(NOAA)和澳大利亚气象局联合研发的用于计算和处理大气污染物传输和扩散轨迹的专业模型,是具有处理多种气象要素输入场、多种物理过程和不同类型污染物排放源的综合模式系统^[9-10]。

1.2.2 聚类分析

聚类分析是将所有到达模拟受点的气团轨迹按相似速度和来向进行合并,可直观判断受点不同时段主导气团的来源和输送距离^[11-13]。以喀什地区大气颗粒物主要成分PM₁₀为重点研究对象,为研究该地区PM₁₀的源地问题,以喀什市(39.47°N、75.99°E,1289m)为受点,模拟2019年9月至2020年8月每日逐时(00:00—23:00,北京时)到达受点的48h后向气流轨迹,并按季节进行聚类,由于粗颗粒PM₁₀是沙尘天气主要大气颗粒物,传输高度通常高于1000m,因此模拟高度选择为距地面1000m^[18]。季节划分:

秋季为9—11月,冬季为12月至次年2月,春季为3—5月,夏季为6—8月。利用TrajStat软件中的总空间方差法(TSV)将秋季、冬季、春季、夏季到达喀什地区后向气团轨迹分别聚类为5、4、5、3类,并结合PM₁₀逐小时浓度数据进行统计分析,以定量表征不同聚类轨迹对喀什地区PM₁₀浓度的贡献水平。

1.2.3 潜在源贡献因子分析(PSCF)

潜在源贡献因子分析(PSCF)是基于条件概率函数发展而来的定性识别潜在污染源的方法^[11-13],将研究区域划分为一定分辨率的若干网格 ij (i, j 分别代表经度和纬度),PSCF值为经过网格的污染轨迹端点数 m_{ij} 与落在该网格所有轨迹端点数 n_{ij} 的比值,即PSCF公式可定义为:

$$PSCF_{ij} = \frac{m_{ij}}{n_{ij}} \quad (1)$$

当某一网格中的 n_{ij} 小于研究区内每个网格内平均轨迹端点数的3倍时,就使用权重系数 W_{ij} 乘以PSCF _{ij} ,即 $WPSCF_{ij} = W_{ij} \times PSCF_{ij}$,用来降低PSCF的不确定性,参考文献[10-18],引用以下权重系数:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1.0 & n_{ij} > 80 \\ 0.7 & 20 < n_{ij} \leq 80 \\ 0.42 & 10 < n_{ij} \leq 20 \\ 0.05 & n_{ij} \leq 10 \end{cases} \quad (2)$$

WPSCF值越大,表征经过该网格污染轨迹比例越高,将WPSCF值按0—0.3、0.3—0.7、0.7—1.0分为轻度、中度和重度污染格网。

1.2.4 浓度权重轨迹分析(CWT)

由于PSCF只能反映每个网格中污染轨迹的比例,不能反映污染轨迹的污染程度。因此,利用浓度权重轨迹分析(CWT)法计算潜在源区气团轨迹浓度权重,分析不同源区贡献的相对大小^[14-18]。CWT公式定义如下:

$$CWT_{ij} = \frac{1}{\sum_{l=1}^M \tau_{ijl}} \sum_{l=1}^M C_l \tau_{ijl} \quad (3)$$

式中:CWT _{ij} 是网格 ij 的平均权重浓度; l 是轨迹; C_l 是轨迹 l 经过网格 ij 时对应的大气污染物浓度; τ_{ijl} 是轨迹 l 在网格 ij 停留的时间(对应经过该网格的轨迹端点数)。PSCF分析中所用的权重系数同样适用于CWT分析,以减少 n_{ij} 较小时引起的误差。

为研究喀什地区PM₁₀的潜在贡献源区问题,将模拟研究区按0.5°×0.5°划分网格,PM₁₀污染阈值是国家二级日均浓度限值150μg·m⁻³,按照公式(1)和(2)定性模拟喀什地区四季PM₁₀权重潜在源贡献因

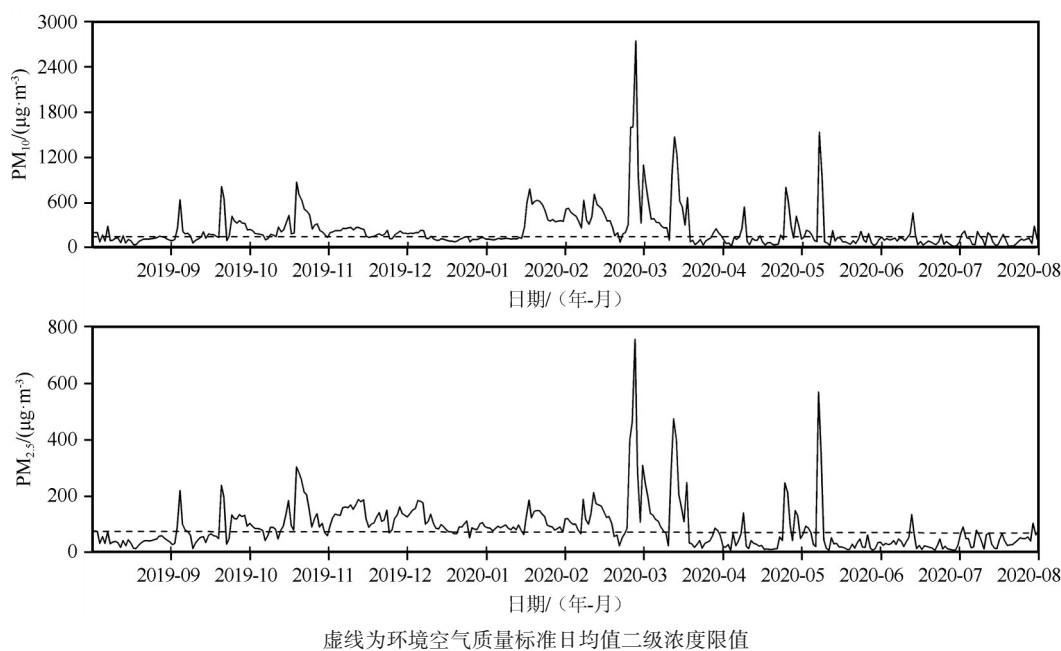
子(WPSCF),按照公式(2)和(3)定量模拟潜在源区的具体贡献水平(CWT)。

2 结果与分析

2.1 大气污染物浓度特征

喀什大气颗粒物污染形势严峻,PM₁₀作为该地区的首要污染物,年均值为237.3±268.3 μg·m⁻³,是《环境空气质量标准》(GB3095-2012)PM₁₀年均值二级浓度限值(70 μg·m⁻³)^[21]的3.4倍,超标天数为184 d,超标率高达50.3%(图1)。PM_{2.5}是仅次于PM₁₀

的主要大气污染物,年均值为89.3±82.3 μg·m⁻³,是国家年均值二级浓度限值(35 μg·m⁻³)^[21]的2.6倍,超标天数为179 d,超标率高达48.9%。由图2可以看出,不同季节对主要污染物浓度影响较大,喀什PM₁₀浓度春季高,夏季低,秋季与冬季居中且相当,春季>秋季>冬季>夏季,平均浓度±标准偏差依次为375.6±418.2、222.5±165.6、216.9±143.9、133.9±182.7 μg·m⁻³。PM_{2.5}浓度春季、冬季较高且相当,夏季最低,秋季居中,春季>冬季>秋季>夏季,平均浓度±标准偏差依次为113.9±120.1、113.7±34.1、82.9±60.3、46.7±68.7 μg·m⁻³。



虚线为环境空气质量标准日均值二级浓度限值

图1 喀什地区大气颗粒物逐日变化

Fig.1 Variations of daily atmosphere particulate matters in Kashgar

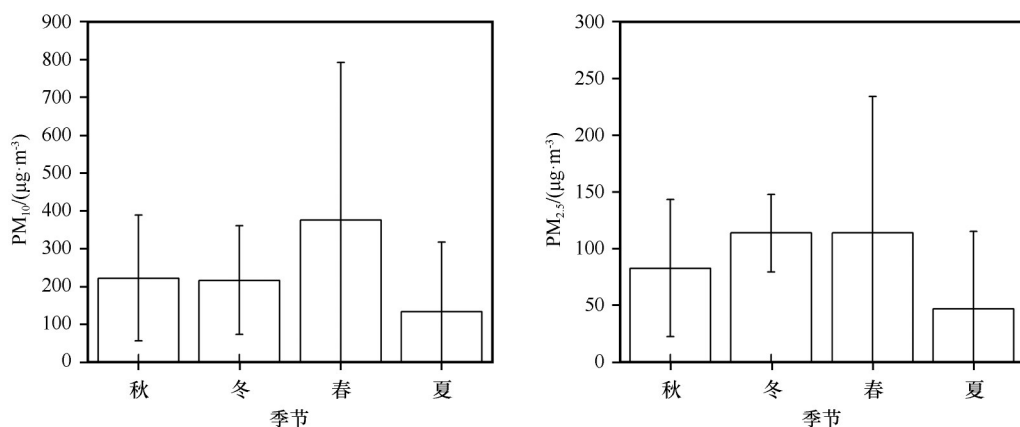


图2 喀什地区大气颗粒物季节变化

Fig.2 Seasonal changes of atmosphere particulate matters in Kashgar

喀什西部的帕米尔高原地区PM₁₀、PM_{2.5}浓度年均值分别为29.4±16.4、9.3±5.1 μg·m⁻³,喀什平原地

区大气颗粒物浓度与帕米尔高原相比,PM₁₀和PM_{2.5}年均值是高原地区的8.1倍和9.6倍,表明喀什平原

地区的大气颗粒物浓度远高于高原地区^[18]。PM_{2.5}与PM₁₀的浓度比值可反映该地区大气环境中主要颗粒物的占比,喀什市平原地区与帕米尔高原东部地区全年PM_{2.5}/PM₁₀分别为0.42和0.32,表明喀什平原地区与高原地区大气中细颗粒物比例皆较低,大气颗粒物皆以PM₁₀为主。喀什市PM₁₀浓度春季最高、夏季最低,且春季PM₁₀浓度是夏季的2.8倍,是由于夏季太阳辐射增强,日照时间增长,大气层结不稳定,可加速大气湍流运动,有利于大气颗粒物稀释与分散。喀什位于塔里木盆地西侧,盆地内

的塔克拉玛干沙漠是高浓度的沙尘气溶胶源地,春季是沙尘天气的频发期,在大风天气的起沙过程中,会向高空输送沙尘气溶胶,通过跨距离传输影响喀什大气环境质量,且当西风气流途径中亚干旱半干旱沙漠地带,也可向喀什地区输送大气颗粒物^[22]。

2.2 后向轨迹聚类分析

由图3和表1可知,研究期间不同类型轨迹对喀什地区PM₁₀浓度贡献水平存在较大差异。

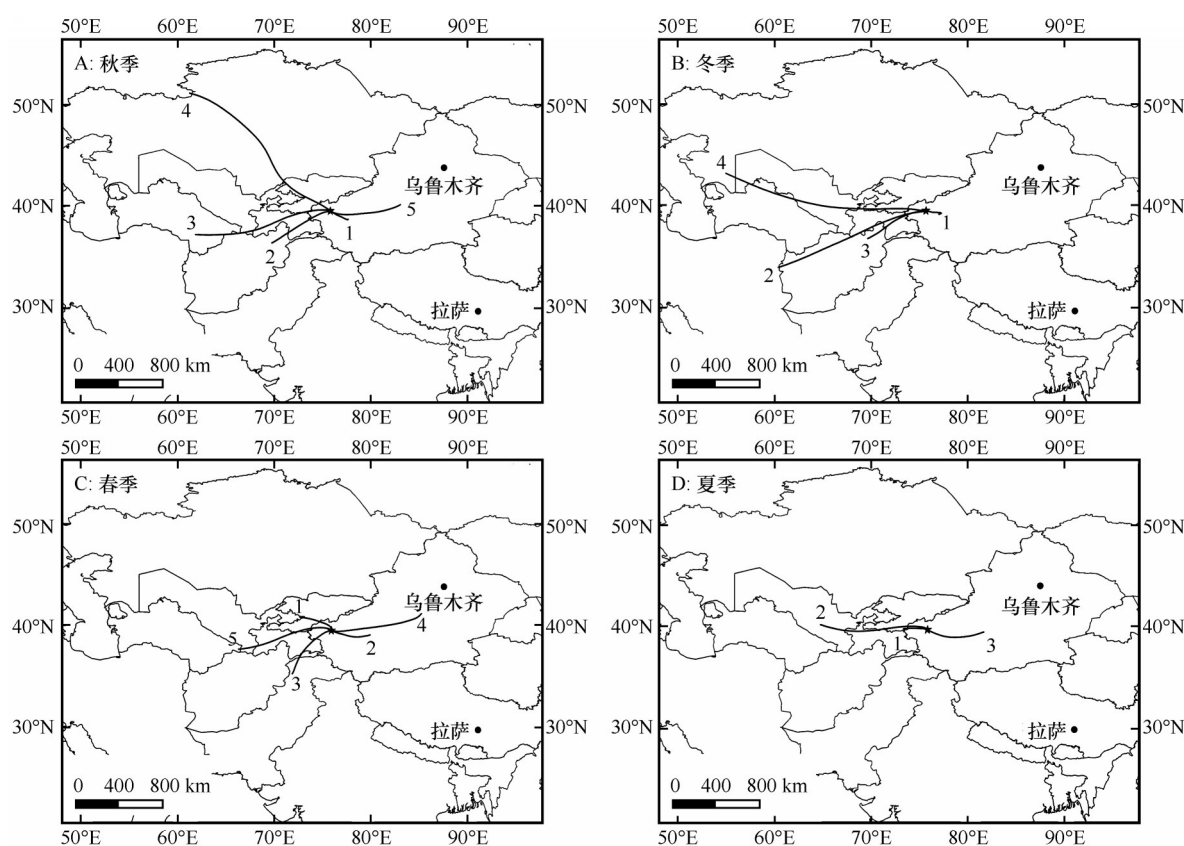


图3 喀什四季后向轨迹聚类分布

Fig.3 The seasonal distribution of airflow back-trajectories clusters in Kashgar

秋季,到达喀什地区的气流呈发散状分布,对应的PM₁₀浓度轨迹3>轨迹2>轨迹5>轨迹4>轨迹1。来自中亚土库曼斯坦东南部,途经塔吉克斯坦中部的气流(轨迹3),对应PM₁₀浓度最高(277.7 μg·m⁻³),土库曼斯坦境内的卡拉库姆沙漠是中亚地区大沙漠,沙漠地表是高浓度沙尘气溶胶源地,导致轨迹3是影响喀什地区大气颗粒物浓度的主要输送路径。其次是来自阿富汗东北部,途经塔吉克斯坦东部的气流(轨迹2),对应PM₁₀浓度高值(257.5 μg·m⁻³),导致轨迹2是影响喀什地区PM₁₀浓度的另一条主要

输送路径。来自中国新疆南部,途经塔克拉玛干沙漠腹地的气流(轨迹5),气流主要携带自然气溶胶,对应PM₁₀浓度高值(221.1 μg·m⁻³),对喀什地区PM₁₀浓度同样有重要影响。来自哈萨克斯坦西北部,途经吉尔吉斯斯坦西南部的气流(轨迹4),轨迹最长,移动速度较快,对应PM₁₀浓度为195.2 μg·m⁻³,且该气流途经哈萨克斯坦东南部的萨雷耶西克阿特劳沙漠,穿过巴尔喀什湖,由于巴尔喀什湖水位急剧下降,湖底已荒漠化,并成为新的沙源地^[23-24],在风力作用下,形成浮尘扬沙,使沙尘气溶胶浓度

表 1 四季各类轨迹对应 PM₁₀ 浓度统计结果

Table 1 Statistical results of PM₁₀ concentrations with airflow back-trajectories clusters in different seasons

季节	轨迹 编码	途经区域	总轨迹		
			轨迹比例/%	PM ₁₀ /(μg·m ⁻³)	标准偏差/(μg·m ⁻³)
秋季	1	中国新疆西南部	31.6	180.0	123.8
	2	阿富汗东北部、塔吉克斯坦东部	30.0	257.5	225.5
	3	土库曼斯坦东南部、塔吉克斯坦中部	14.3	277.7	254.0
	4	哈萨克斯坦西北部、吉尔吉斯斯坦西南部	6.3	195.2	214.9
	5	中国新疆南部	17.8	221.1	172.0
冬季	1	中国新疆南部	20.1	246.6	161.4
	2	阿富汗西北部、塔吉克斯坦中部	20.5	222.1	142.3
	3	阿富汗西北部、塔吉克斯坦中部	46.5	186.6	136.1
	4	哈萨克斯坦西南部、土库曼斯坦北缘、乌兹别克斯坦南部、吉尔吉斯斯坦与塔吉克斯坦接壤地区	12.9	274.9	201.0
春季	1	吉尔吉斯斯坦西南部	27.2	261.4	395.6
	2	中国新疆南部和田与喀什地区	26.5	369.6	517.2
	3	巴基斯坦北部、阿富汗东北部、塔吉克斯坦西南部	11.5	491.3	533.9
	4	中国新疆南部	13.8	627.2	660.9
	5	乌兹别克斯坦东南部、塔吉克斯坦中部	21.0	311.8	448.0
夏季	1	中国新疆西部	18.3	110.1	109.3
	2	乌兹别克斯坦东南部、塔吉克斯坦北缘、塔吉克斯坦南缘	48.7	105.7	219.0
	3	中国新疆南部	33.0	190.4	276.5

迅速上升,通过跨距离输送影响喀什地区的空气质量。来自新疆西南部的气流(轨迹1),在当季总轨迹占比最高(31.6%),且轨迹较短,风速较小,移动速度较慢,区域气象条件稳定,不利于PM₁₀稀释扩散,且途经塔克拉玛干沙漠西侧,对应PM₁₀浓度较高,为180.0 μg·m⁻³。

冬季,盛行西风,到达喀什地区的气流主要来自境外中纬度地区(轨迹2、3、4),占比达79.9%,且轨迹较长,移动较快,为当季主导气流。对应的PM₁₀浓度轨迹4>轨迹1>轨迹2>轨迹3。来自哈萨克斯坦西南部,途经土库曼斯坦北缘、乌兹别克斯坦南部、吉尔吉斯斯坦与塔吉克斯坦接壤地区的气流(轨迹4),对应PM₁₀浓度最高(274.9 μg·m⁻³),但在总轨迹中占比最低,仅为12.9%。其次是来自中国新疆南部喀什地区的气流(轨迹1),对应PM₁₀浓度较高值(246.6 μg·m⁻³),且该气流轨迹短,移动缓慢,途经塔克拉玛干沙漠西侧,可向喀什地区近距离传输沙尘颗粒。来自阿富汗西北部,途经塔吉克斯坦中部的气流(轨迹2、3),对应PM₁₀浓度分别为

222.1、186.6 μg·m⁻³,共占当季总轨迹的67%,对喀什地区PM₁₀浓度水平有一定的贡献。

春季,到达喀什地区的气流呈散射星状分布,PM₁₀污染最严重,对应的PM₁₀浓度轨迹4>轨迹3>轨迹2>轨迹5>轨迹1。来自中国新疆南部气流(轨迹4),对应PM₁₀浓度最高值(627.2 μg·m⁻³),该气流源地和途经区域是中国沙尘暴的主要源地塔克拉玛干沙漠,在沙尘天气频发的春季,可向喀什地区跨距离输送高浓度沙尘气溶胶,是影响喀什地区春季PM₁₀浓度的主要输送路径。其次是来自巴基斯坦北部,途经阿富汗东北部、塔吉克斯坦西南部的气流(轨迹3),这些地区地表出现大面积荒漠化,地表条件有利于沙尘天气发生,故对应PM₁₀浓度较高值(491.3 μg·m⁻³),是影响喀什地区春季PM₁₀浓度的另一条主要输送路径。来自中国新疆南部和田与喀什地区的气流(轨迹2),对应PM₁₀浓度较高值(369.6 μg·m⁻³),是由于随着该地区人口增加,城市化进程加快,工业化程度提高,且气流途经区域是塔克拉玛干沙漠西侧,轨迹短,移动慢,区域气象条

件稳定,不利于大气中PM₁₀沉降,对喀什地区PM₁₀浓度有一定的影响。来自中亚乌兹别克斯坦东南部,途经塔吉克斯坦中部的气流(轨迹5),对应PM₁₀浓度较高值(311.8 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$)。来自吉尔吉斯斯坦西南部的气流(轨迹1),对应PM₁₀浓度最低(261.4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),但占比最高(27.2%),对喀什地区PM₁₀浓度同样有一定的影响。

夏季,气流较清洁,到达喀什地区的气流主要来自东西方向,对应的PM₁₀浓度轨迹3>轨迹1>轨迹2。来自中国新疆南部塔克拉玛干沙漠腹地的气流(轨迹3),对应PM₁₀浓度最高(190.4 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$),是影响喀什地区夏季PM₁₀浓度的主要输送路径。其次是来自中国新疆西部(轨迹1)以及来自乌兹别克斯坦东南部,途经塔吉克斯坦北缘与塔吉克斯坦南缘区域的气流(轨迹2),对应PM₁₀浓度相当,分别为110.1、105.7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,可在西风气流作用下对喀什地区大气空气质量产生影响。

2.3 潜在源贡献因子分析(WPSCF)

由图4可知,喀什地区PM₁₀潜在源贡献因子具

有明显的季节性特征。秋季,喀什地区WPSCF重度污染网格较为集中,主要分布在巴基斯坦北部、阿富汗东北部、塔吉克斯坦东部以及中国新疆南部地区。冬季,喀什地区潜在源区分布范围最广,其中WPSCF重度污染网格主要分布在中国新疆南部、土库曼斯坦东部与乌兹别克斯坦东南部接壤地区,另外在阿富汗东北部、塔吉克斯坦西部以及吉尔吉斯斯坦西北部有少量团状分布。春季,喀什地区WPSCF重度污染网格集中分布在巴基斯坦北部、阿富汗东北部、塔吉克斯坦东南部以及中国新疆西部地区,这些地区主要是中亚沙漠半沙漠地带以及裸地农田,气流将沙漠和农田的表土与细沙扬起,对喀什地区跨距离输送大气颗粒物。夏季,喀什地区WPSCF主要为中度和轻度污染网格,轻度污染网格主要分布在中亚塔吉克斯坦大部分地区、吉尔吉斯斯坦南部、阿富汗北部、乌兹别克斯坦和土库曼斯坦东部地区,中度污染网格主要分布在中国新疆南部地区,该地区是塔克拉玛干沙漠的主要分布区域,是夏季喀什地区大气颗粒物浓度主要贡献源区。

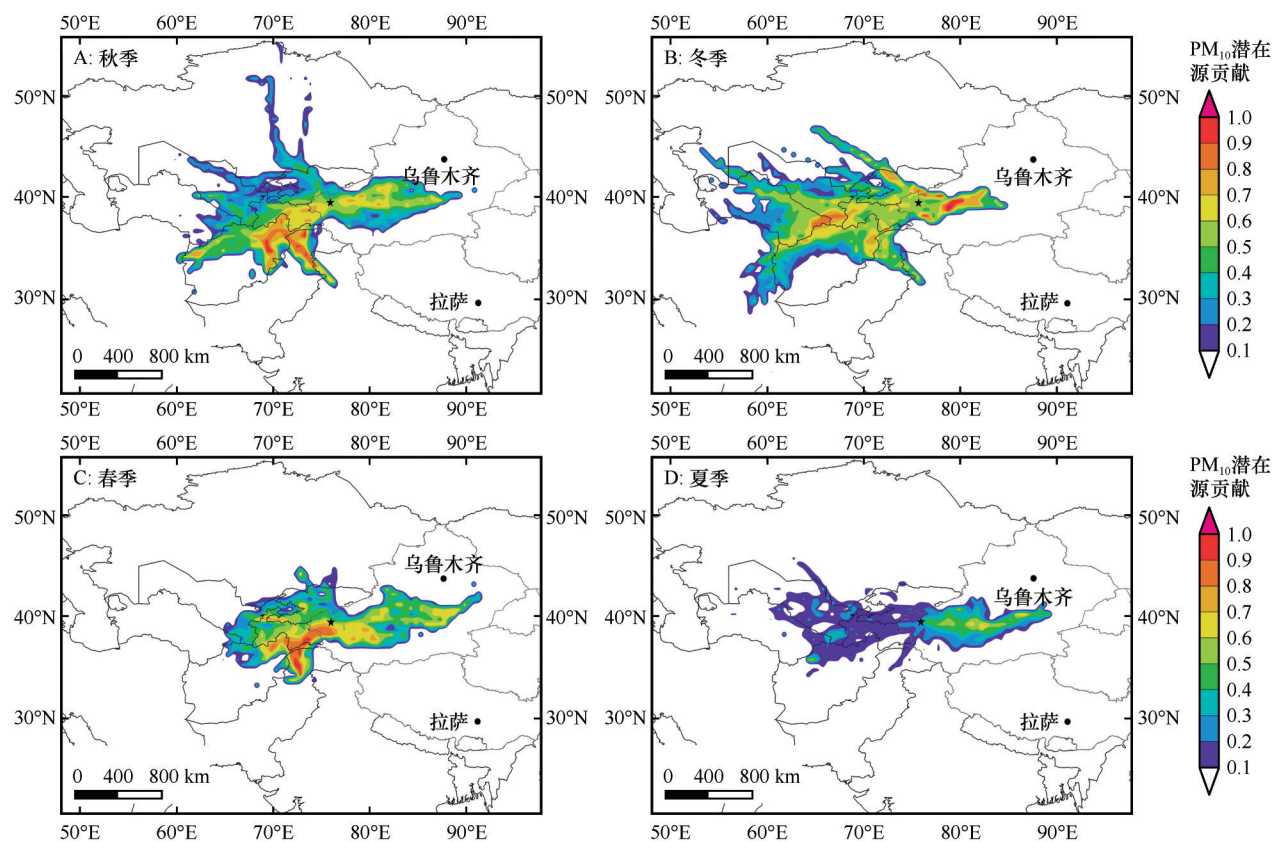


图4 喀什地区PM₁₀潜在源贡献四季分布

Fig.4 Seasonal distribution of potential source contribution of PM₁₀ in Kashgar

2.4 浓度权重轨迹分析(CWT)

由图5可知,喀什地区 PM_{10} 浓度权重轨迹CWT相对于WPSCF结果有较好的一致性,但潜在贡献源区的分布范围相对缩小。秋季,对喀什地区 PM_{10} 浓度贡献水平为250—450 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,主要贡献源区分布在巴基斯坦西北部、阿富汗东北部、乌兹别克斯坦东南部、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦南部以及中国新疆南部区域。冬季,对喀什地区 PM_{10} 浓度贡献水平为150—300 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,主要贡献源区与秋季相似,但范围分布更为广泛,主要分布在阿富汗北部、土库曼斯坦东南部、乌兹别克斯坦东南部、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦南部以及中国新疆南部区域,这些地区主要是半城市和农业用地,对喀什地区 PM_{10} 浓度贡献水平较低^[25]。春季,分布范围相较于冬季有所缩小,但CWT主要贡献源区贡献水平最高,

对喀什地区 PM_{10} 浓度贡献水平为250—500 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,部分区域所贡献 PM_{10} 浓度可超过500 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,是 PM_{10} 浓度重点贡献源区,重点贡献源区主要分布在中国新疆南部塔克拉玛干沙漠区域,且在塔吉克斯坦南部与西部、乌兹别克斯坦东南部、吉尔吉斯斯坦西南部有少量零星分布,这些地区深处中亚腹地,以大面积干旱和半干旱沙漠地带为主,地表裸露,干燥少雨,同时由于春季气温回暖,风速增大,为沙尘暴天气提供良好的热力和动力条件,导致沙尘天气频发,并可跨距离将大量沙尘气溶胶输送到喀什地区。夏季,潜在贡献源区分布范围相较于其他季节明显缩小,对喀什地区 PM_{10} 浓度贡献水平为150—250 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,小范围区域浓度贡献超过500 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,主要分布在中国新疆南部,并在乌兹别克斯坦东部与哈萨克斯坦南部接壤地区有少量条带状分布。

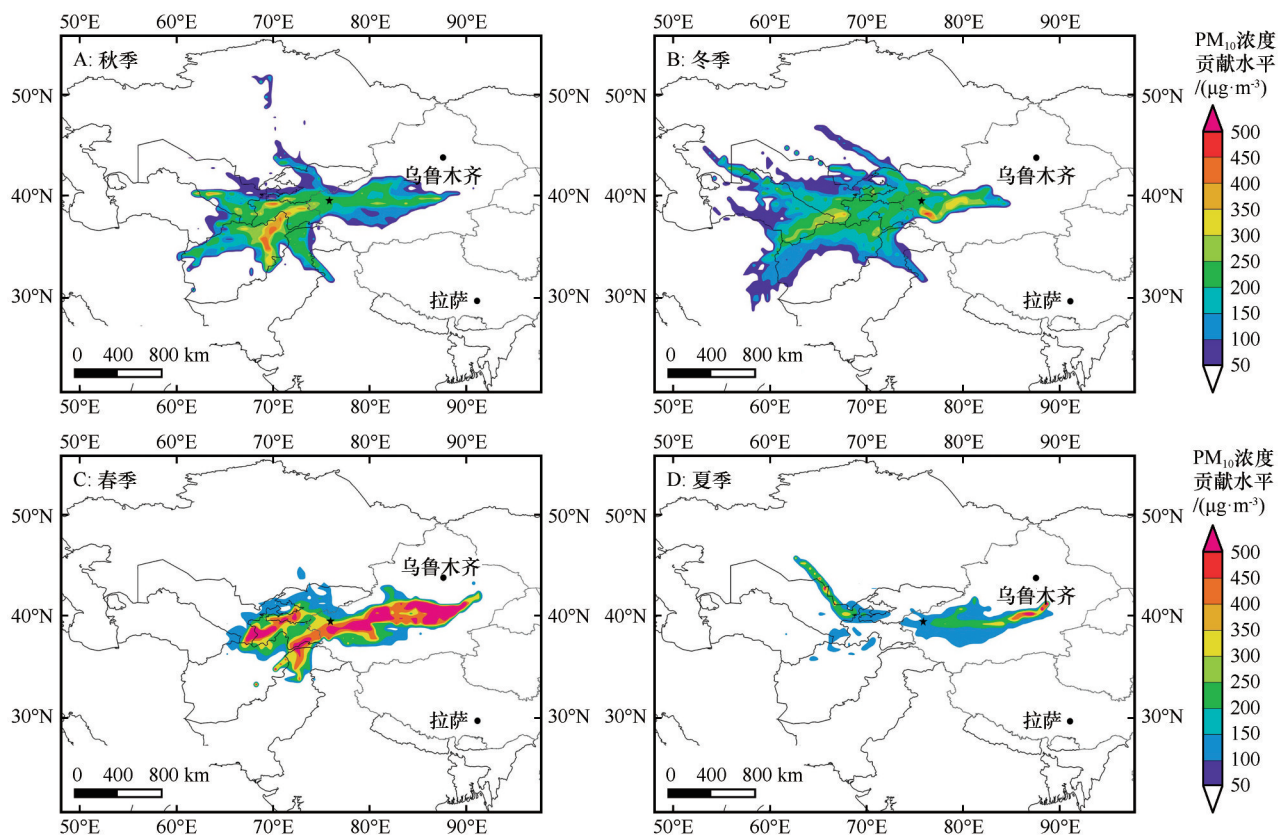


图5 喀什地区 PM_{10} 浓度权重轨迹四季分布

Fig.5 Seasonal distribution of concentration-weighted trajectories of PM_{10} in Kashgar

3 讨论

新疆地处中国西北部,主要位于温带中亚干旱区,四周有高山阻挡,海洋气流不易到达。新疆南

部喀什市四季气流受西风影响主要来自中亚地区,与作者前期模拟帕米尔高原东部气流主要输送路径结果一致,不同之处主要表现在喀什市四季 PM_{10} 浓度较高值对应气流主要来自境内中国新疆南部

塔克拉玛干沙漠地区,且是其重度潜在贡献源区,而帕米尔高原东部四季气流轨迹对应PM₁₀浓度较高值主要来自境外中亚干旱半干旱沙漠地区,且是其重要潜在贡献源区^[18]。在新疆北部阿克达拉国家大气本底站所在的戈壁地区,影响该地区的气流主要来自其西北部哈萨克斯坦中东部地区,且对应PM_{2.5}与PM₁₀浓度较高,同时也是影响该地区大气颗粒物浓度的重要潜在源区^[26]。在新疆中部天山北坡的乌鲁木齐市,西方气流同样是影响该地区的主导气流,在此气流影响下出现大气颗粒物重度污染概率最高,且该市PM₁₀浓度呈现出北高南低的区域性分布特征^[27-28]。

4 结论

2019年9月至2020年8月,新疆喀什地区全年大气颗粒物污染严峻,PM₁₀和PM_{2.5}的年均值分别为237.3±268.3、89.3±82.3 μg·m⁻³,分别是国家年均值二级浓度限值的3.4倍和2.6倍,PM₁₀为首要污染物。

喀什地区PM₁₀输送路径主要来自中亚西风气流,其次是来自中国新疆南部,气流对应PM₁₀浓度分别为105.7—491.3、180.0—627.2 μg·m⁻³。

PM₁₀秋季主要贡献源区分布在巴基斯坦西北部、阿富汗东北部、乌兹别克斯坦东南部、塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦南部以及中国新疆南部区域,浓度贡献水平为250—450 μg·m⁻³;冬季主要贡献源区与秋季相似,但范围分布更为广泛,PM₁₀浓度贡献水平为150—300 μg·m⁻³;春季重点贡献源区主要分布在中国新疆南部塔克拉玛干沙漠区域,对喀什地区PM₁₀浓度贡献水平为250—500 μg·m⁻³;夏季,潜在贡献源区主要分布在中国新疆南部,并在乌兹别克斯坦东部与哈萨克斯坦南部接壤地区有少量带状分布,贡献水平为150—250 μg·m⁻³。

喀什地区重点防范应是塔里木盆地内塔克拉玛干沙漠沙尘气溶胶的影响,其次是中亚西风气流携带的大气颗粒物输送。

参考文献:

- [1] Yao T T, Huang X F, He L Y, et al. High time resolution observation and statistical analysis of atmospheric light extinction properties and the chemical speciation of fine particulates[J]. Science China Chemistry, 2010, 53(8): 1801–1808.
- [2] 胡元洁, 蒋楠. 沙尘天气对西安市环境空气质量的影响[J]. 中国沙漠, 2020, 40(6): 53–60.
- [3] Luo H, Han Y, Lu C S, et al. Characteristics of surface solar radiation under different air pollution conditions over Nanjing, China: observation and simulation[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2019, 36(10): 1047–1059.
- [4] 崔娟, 王浩, 刘杰, 等. 沙尘天气对榆林市环境空气质量的影响[J]. 中国沙漠, 2021, 41(2): 59–66.
- [5] 薛文博, 付飞, 王金南, 等. 中国PM_{2.5}跨区域传输特征数值模拟研究[J]. 中国环境科学, 2014, 34(6): 1361–1368.
- [6] Li D, Liu J, Zhang J, et al. Identification of long-range transport pathways and potential sources of PM_{2.5} and PM₁₀ in Beijing from 2014 to 2015[J]. Journal of Environmental Sciences—China, 2017, 56(6): 214–229.
- [7] 茹建波, 王天河, 李积明, 等. 东亚沙尘源区晴空和云上沙尘气溶胶特征[J]. 中国沙漠, 2018, 38(2): 372–383.
- [8] 王玉竹, 闫浩文, 王小平. 新疆风沙灾害风险评估[J]. 中国沙漠, 2020, 40(6): 13–21.
- [9] Yerramilli A, Dodla V B R, Challa V S, et al. An integrated WRF/HYSPLIT modeling approach for the assessment of PM_{2.5} source regions over the Mississippi Gulf Coast region[J]. Air Quality, Atmosphere & Health, 2012, 5(4): 401–412.
- [10] 符传博, 丹利, 唐家翔, 等. 基于轨迹模式分析海口市大气污染的输送及潜在源区[J]. 环境科学学报, 2020, 40(1): 36–42.
- [11] 陈乃华, 胡宝叶, 杨玉香, 等. 基于后向轨迹的平潭大气污染输送来源研究[J]. 环境污染与防治, 2019(8): 14.
- [12] Han Y J, Holsen T M, Hopke P K. Estimation of source locations of total gaseous mercury measured in New York State using trajectory-based models[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(28): 6033–6047.
- [13] Zhao M, Huang Z, Qiao T, et al. Chemical characterization, the transport pathways and potential sources of PM_{2.5} in Shanghai: seasonal variations[J]. Atmospheric Research, 2015, 158: 66–78.
- [14] 葛拥晓, 阿力甫·那思尔, 吉力力·阿不都外力, 等. 咸海地区粉尘气溶胶动态变化及潜在扩散特征[J]. 中国沙漠, 2016, 36(5): 1374–1380.
- [15] Balent H, Akkoyunlu B O, Arslan H, et al. The influence of meteorological conditions and atmospheric circulation types on PM₁₀ levels in western Turkey[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2019, 191(7): 466.
- [16] 段时光, 姜楠, 杨留明, 等. 郑州市冬季大气PM_{2.5}传输路径和潜在源分析[J]. 环境科学, 2019, 40(1): 86–93.
- [17] 周茹, 朱君. 东南亚生物质燃烧输送影响我国西南气溶胶辐射特性研究[J]. 中国环境科学, 2020, 40(4): 1429–1436.
- [18] 李汉林, 何清, 刘新春, 等. 帕米尔高原东部PM₁₀输送路径及潜在源分析[J]. 中国环境科学, 2020, 40(11): 4660–4668.
- [19] 羊兴, 赵克明, 闵月, 等. 2015年喀什市大气颗粒物的时空分布特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2017, 11(5): 83–88.
- [20] 魏兴, 周金龙, 乃尉华, 等. 新疆喀什三角洲地下水化学特征及演化规律[J]. 环境科学, 2019, 40(9): 4042–4051.
- [21] 环境空气质量标准: GB3095–2012[S].
- [22] 刘晓东, 田良, 张小曳. 塔克拉玛干沙尘活动对下游大气PM₁₀

- 浓度的影响[J]. 中国环境科学, 2004(5): 17–21.
- [23] 李红军, 杨兴华, 赵勇, 等. 塔里木盆地春季沙尘暴频次与大气环流的关系[J]. 中国沙漠, 2012, 32(4): 1077–1081.
- [24] Mischke S, Zhang C J, Birgit P. Lake Balkhash (Kazakhstan): recent human impact and natural variability in the last 2900 years [J]. *Journal of Great Lakes Research*, 2020, 46 (2): 267–276.
- [25] Alam K, Qureshi S, Blaschke T, et al. Monitoring spatio-temporal aerosol patterns over Pakistan based on MODIS, TOMS and MISR satellite data and a HYSPLIT model[J]. *Atmospheric Environment*, 2011, 45(27): 4641–4651.
- [26] Li H L, He Q, Liu X C. Identification of long-range transport pathways and potential source regions of $PM_{2.5}$ and PM_{10} at Ake-dala Station, Central Asia[J]. *Atmosphere*, 2020, 11(11): 1183.
- [27] 韩茜, 魏文寿, 刘明哲, 等. 气流输送对乌鲁木齐市 PM_{10} 、 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{1.0}$ 质量浓度的影响[J]. 中国沙漠, 2013, 33(1): 223–230.
- [28] 依再提古丽·外力, 王明力, 杨建军, 等. 2015–2018 年乌鲁木齐市 $PM_{2.5}$ 及 PM_{10} 时空分布特征[J]. 环境科学研究, 2020, 33(8): 1749–1757.

Transport pathways and potential source regions of PM_{10} in Kashgar, Xinjiang, China

Li Hanlin¹, He Qing¹, Zhao Quanwei²

(1. Institute of Desert Meteorology, China Meteorological Administration, Urumqi 830002, China; 2. Xinjiang Meteorological Service Center, Urumqi 830002, China)

Abstract: Based on HYSPLIT model and hourly data of atmospheric particulate matters in Kashgar from September 2019 to August 2020, the main transport pathways and potential source regions of PM_{10} were analyzed by cluster analyses, potential source contribution function (PSCF) and concentration-weight trajectory (CWT), and revealed the potential source distributions and contribution levels of PM_{10} in different seasons in Kashgar during the study period. This study revealed that the annual mean concentrations of PM_{10} and $PM_{2.5}$ were 237.3 ± 268.3 and $89.3 \pm 82.3 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, respectively, indicating that PM_{10} was the main particulate matters. The westerly airflows in Kashgar mainly came from the westerly airflows from Central Asia, followed by the southern Xinjiang of China. Furthermore, the potential source regions of PM_{10} were mainly located in some parts of Central Asia and southern Xinjiang of China in autumn, the contribution levels were $250\text{--}450 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; The main contribution source areas in winter were similar to that in autumn, and the contribution levels were $150\text{--}300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; The main contribution source areas in winter were similar to that in autumn, and the contribution levels were $150\text{--}300 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; In spring, the main contribution source areas were located in the Taklimakan Desert in southern Xinjiang, and the concentration contribution levels were $250\text{--}500 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; The main contribution source areas in summer were similar to that in spring, and the contribution levels were $150\text{--}250 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$; The prevention and control focus were to prevent the impacts of dust aerosol of the Taklimakan Desert, and the second was on the long-range transportation of atmospheric particulate matters carried by the westerly wind from Central Asia.

Key words: PM_{10} ; cluster analysis; potential source contribution; concentration-weighted trajectory; Kashgar