

山西静稳定性污染过程分析

刘丽媛

大同市气象局

DOI:10.12238/eep.v7i10.2268

[摘要] 对山西重污染开展相关研究,有利于为防控治理提供科学依据。应用2015~2018年山西11个城市的空气质量监测数据和气象资料,通过天气形势和后向轨迹分析,得出以下结论:(1)造成山西静稳定性污染的四种地面天气分型中河套倒槽及与之联系的高压系统型导致的污染频率最多。(2)在中度污染及以上污染的时间段内,边界层高度的日变化表现为单峰双谷型,峰值出现在14时,谷值出现在早晚;08时和20时边界层高度低于100m,重度污染14时高度在400~800m,中度污染14时高度在1000m左右。(3)山西对外输送污染物主要影响河北中、南部和河南西、东部。

[关键词] 静稳定性污染; 轨迹; 边界层高度

中图分类号: Q958.116 文献标识码: A

Analysis of The Static and Stable Pollution Process in Shanxi Province

Liyuan Liu

Dadong Meteorological Bureau

[Abstract] The research on heavy pollution in Shanxi is beneficial to provide scientific basis for prevention and control. Using the air quality monitoring data and meteorological data of 11 cities in Shanxi Province from 2015 to 2018, the following conclusions are drawn through the weather situation and backward trajectory analysis: (1) the four ground weather types causing static pollution in Shanxi Province are the inverted groove and the high pressure system associated with it.(2) In the period of moderate pollution and above pollution, the diurnal variation of boundary layer height is single peak at 14, the peak value occurs in the morning and evening; the boundary layer height is below 100m at 108 and 20, and the height is 400~800 m and around 1000m.(3) The pollutants transported from Shanxi mainly affect the central and southern parts of Hebei and the west and eastern part of Henan.

[Key words] static stability pollution; trajectory; boundary layer height

目前,中外专家学者对区域性大气环境质量与天气系统的演变规律进行了许多研究。任阵海等^[1]得出了北京大气环境质量与周边地区的污染源有密切关系,存在区域性特征,并提出只有同步治理才能有效改善首都大气环境的质量。苏福庆等^[2]总结了华北地区重污染天气形势背景,暖湿平流形成有利于污染汇聚的温湿层结,配合局地辐合系统,造成不同类型的区域性重污染。气象条件不仅作用于污染物的聚集和消除,还对污染物传输路径有很强的影响。花丛等^[3]对京津冀地区分析了重污染成分的轨迹出现概率从高到低均为偏南路径、偏西路径、偏东路径和西北路径。

山西地形有利于中南部空气污染物的堆积,不易扩散;且考虑山西的经济结构与民众生活离不开煤炭,所以研究山西地区重污染以及对周边地区的影响有十分重要的意义。

1 污染过程分析

本文选择以城市AQI连续3天以上达到中度污染及以上或者至少有一天达到严重污染的过程为一次静稳定性重污染过程。2015年3月~2018年2月,选取每次至少有5个城市同时出现静稳定性重污染的过程,分别是春季1次、秋季2次、冬季10次。通过分析,把污染天气形势分为四类(表1.1)。其中,河套倒槽与之联系的高压系统污染型在秋冬季引起重污染过程的频率最高出现了7次,后挑选有代表性的个例进行分析。

1.1 河套倒槽与之联系的高压系统污染型个例

分析2015年11月27日~12月2日山西各市和周边城市逐日空气污染指数AQI变化:忻州、临汾污染程度最强的时段为28~30日,11月30日~12月1日是北京、石家庄污染程度最强的时段,比山西地区时间略有推迟。污染分为两个阶段,11月

27~29日,除运城、石家庄在此期间污染一直加深,其他城市污染程度都在28日加强后29日有所缓解,11月30日石家庄、运城变化趋势一致,当日污染上升到最强;12月1日北京、太原变化趋势一致并在当日污染有所加强,表现出一定的区域性变化特征。

表1.1 地面天气型分类及过程时间

天气类型	环流形势
河套倒槽与之相联系的高压	华北先受大陆高压控制,随后西南倒槽发展影响
高压	华北整体受高压控制
低压低槽型	华北先受低压控制,随后西部高压发展南扩,华北处于高压前部
高压后部与低压配合	华北处于高压前部逐渐变为处于后部控制,随后北部低压发展东移影响

华北上空从28日开始中低空风力减弱,850hPa受西南风影响,有暖平流维持,高低空配置是一种前倾槽结构,强度较弱,容易引发污染天气^[4];地面一直受高压底后部控制。27日08~11时山西长治和晋城方向、临汾和运城方向有地面风场辐合,有利于污染物汇集堆积,局地污染加重,所以28日污染加强,运城3天AQI增加量最大达到150,体现出局地污染变化特征。28日17时~29日02时,倒槽加强,低层暖湿条件加强,多地能见度低于500米。29日大陆冷高压有小股冷空气扩散,使山西大部分地区污染程度有所减轻;但该地区出现局地的地面辐合,导致污染加重。30日,华北中部、南部仍处于高压底后部边缘,地面偏东风输送暖湿气流,颗粒物吸湿增长,污染继续。到12月1日西北冷空气南下,影响山西、河北、污染物扩散加强;京津地区继续受西南气流影响,暖湿气流易携带上游污染物在此聚集,污染再加强。直到冷锋南下,过程结束。

有研究发现,当北京地区在污染形成初期主要受到偏南区域输送的影响;当污染过程一旦形成,边界层高度会迅速降低到500m以下,加之高湿造成的吸湿增长和化学过程促发的二次粒子爆发式增长使污染进一步加剧^[5]。对照城市边界层高度的变化和AQI指数的变化,发现:(1)北京边界层高度的变化和AQI指数的变化整体有对应性,27~29日边界层高度升高AQI略有下降,再到12月1日边界层高度持续降低,污染加重;太原和运城污染浓度的变化对边界层高度变化的响应具有一定时间的延迟与滞后。(2)污染期间,北京边界层日平均高度均低于500m,代替混合层高度,符合混合层高度与污染程度关系,污染程度均为重污染和严重污染;太原污染程度较轻主要是中度污染;运城污染程度是中度以上,在重度污染及以上的时间段内,08时和20时边界层高度低于100m,14时高度在500~700m;(3)边界层高

度的日变化表现为单峰双谷型,峰值出现在14时,谷值出现在早晚。(图1.1)

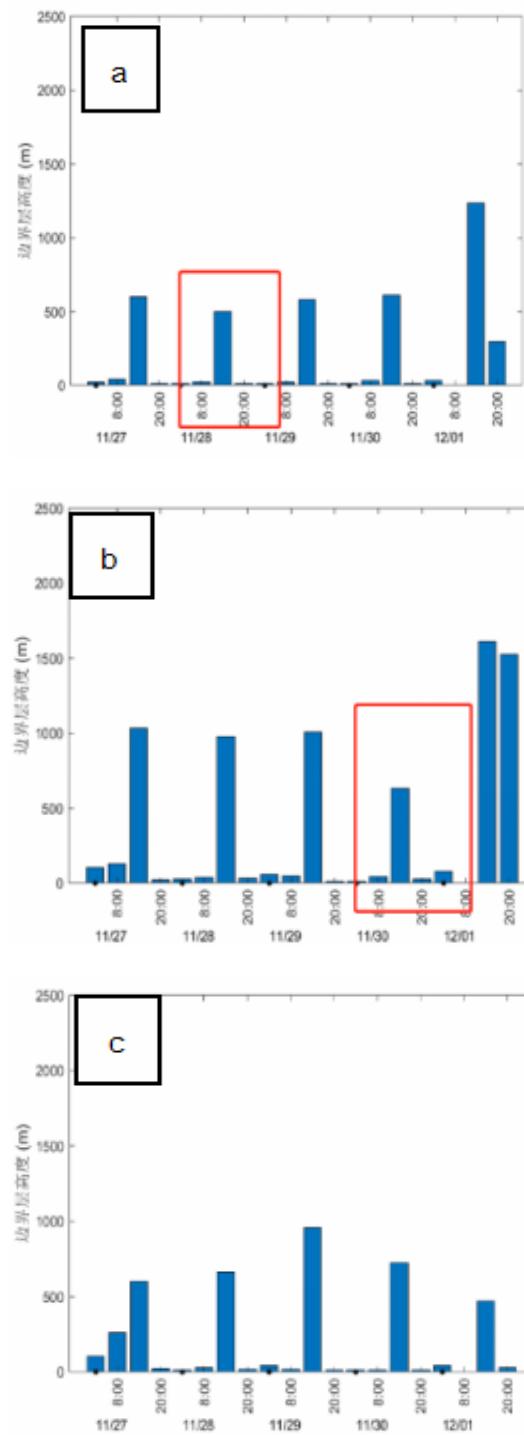


图1.1 2015年11月27日~12月1日太原(a)、运城(b)、北京(c) 边界层时间变化图

2015年11月27日~12月2日过程属于河套倒槽及与之联系的高压复合系统影响,主要是高压先影响山西地区,使得污染物聚集,污染过程开始,随后西南倒槽发展影响,倒槽前端暖湿配置

使污染加重;上空整层大气是一个长时间稳定层结,背景气象环境条件相同,但因为地形和处于影响天气系统位置的不同,导致局地变化不一致性。

1.2 低压低槽型个例分析

山西中南部地区在2015年12月28日~2016年1月6日期间出现了大范围的重污染过程。在1月1~5日,太原、晋中、忻州在2日污染最重,随后污染减弱;阳泉、运城和临汾污染最重时间靠后1到2天,长治、晋城是2日和4日污染程度都有所加强;华北5个城市逐日空气污染指数AQI分布图显示,均呈现单峰型,太原和石家庄、北京污染同步性较明显。

在地面气压场上,1日开始受位于东北的低压影响,山西南部受偏南气流影响,使得前期污染过程继续加重,华北地区出现大范围污染。2日低压东移入海分裂,山西南部范围出现弱低压,形成辐合流场,再次受影响污染集聚加重。3日大陆冷高压边缘南压影响华北北部地区,风速条件较适宜携带上游污染物南下扩散,层结稳定,有利于后期污染加剧,临汾、运城、郑州污染继续加重。4日南部受高压和低压之间的偏东风共同影响,湿度条件维持,污染持续;随冷空气南下过程结束。区域性污染的同步性体现在受相同天气影响系统导致污染程度整体变化一致,由北向南污染最重的时间有规律后推。

对比太原和运城1月1~3日的边界层高度变化为例:太原1~2日是重度污染,运城1~4日都是严重污染,所以运城边界层高度总体低于太原的边界层高度;在中度污染及以上的时间段内,08时和20时边界层高度低于100m,重度污染14时高度在500~700m,中度污染14时高度在1000m左右;3日太原污染程度降低到中度污染,对应边界层高度升高,二者响应具有同时性。对照山西省8个城市和周边3个城市的边界层高度和AQI指数变化,边界层高度的日变化表现为单峰型,峰值出现在14时,谷值出现在早晚(日变化数据)。重度污染时间对应的边界层高度14时是400~800m,08和20时边界层高度小于100m。(图1.2)

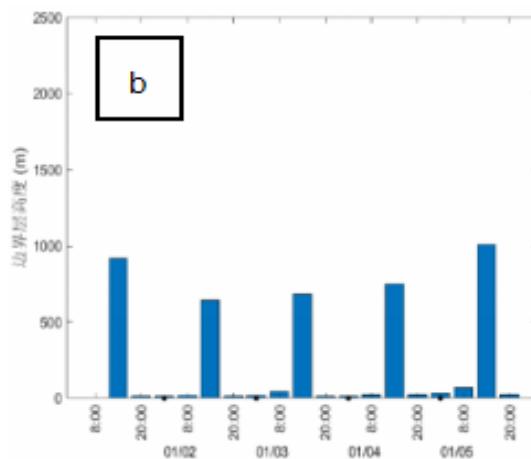
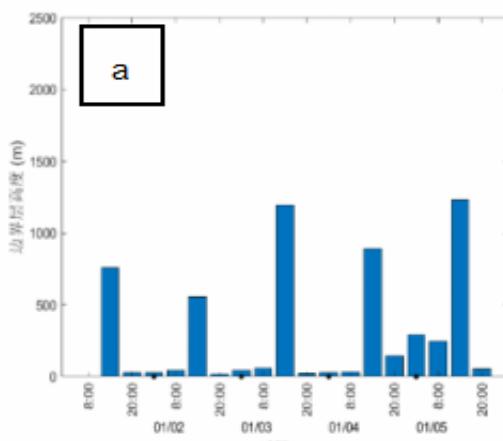


图1.2 2016年1月1~5日太原(a)、运城(b)边界层时间变化图

此次过程受低压底部、后部之后再受后部大陆高压影响,使得华北地区污染浓度加强,且污染区域具有一定的同步性。

2 污染过程轨迹分析

2.1 河套倒槽与之联系的高压系统污染型个例

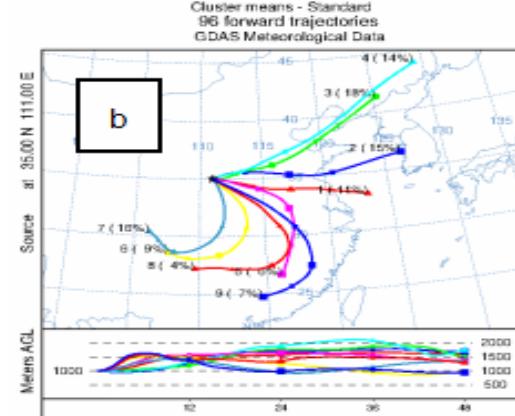
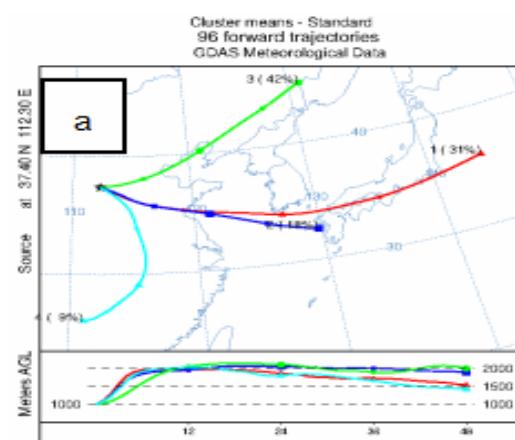


图1.3 太原(a)、运城(b)48小时前向轨迹图

2015年11月27日~12月2日过程主要发生在山西中南部,选取太原、运城代表山西中部、山西南部的污染起点,以28日08

时的数据进行前推48小时的气流前向轨迹, 轨迹共有96条进行聚类分析。

(1) 以太原为起点, 气团轨迹分为大致3个方向, 东北方向, 偏东方向和偏南方向。路径分别是东北方向: 太原-石家庄-天津-哈尔滨; 偏东方向途经济宁, 最后出海; 偏南方向: 太原-开封-九江-桂林。(2) 以运城为起点, 气团轨迹9类分为大致4个方向, 东北方向, 偏东方向、偏南方向和东南方向。东北方向和偏东方向途经范围与太原一致, 偏南方向和东南方向都经河南省进入安徽、湖南等省份。(图1.3)

结合850hPa的流场和受西南倒槽发展影响, 山西污染对其他地区的影响都是远距离的输送。山西中部地区主要受西南风和偏西风的影响, 使东北方向, 偏东方向的影响比重达到90%, 影响边界层中高层; 南部地区除了受中层西南风的影响, 还受近地面西南倒槽的影响, 东北方向, 偏东方向的影响比重达到58%, 影响边界层中高层, 偏南方向和东南方向分类4条路径, 影响程度较为平均, 影响边界层中低层。两个站点对外主要污染轨迹途经京津冀地区, 对照北京、郑州、石家庄污染最重的污染时间, 可以看到对此范围的后期污染有一定的贡献。

2.2 低压低槽型个例分析

2015年12月28日~2016年1月6日选取太原、运城代表山西中部、山西南部的污染起点, 以2日08时的数据进行前推48小时的气流前向轨迹, 轨迹共有96条进行聚类分析。

以太原为起点, 气团轨迹6条路径大致分为2个方向, 集中于东南方向和偏东方向。路径分别是东南方向途经河南, 影响安徽、江苏、浙江等地。以运城为起点, 气团轨迹为2个方向, 偏西方向和东南方向。偏西方向污染气团全部到达陕西, 并且比重占据54%, 东南方向都经河南省进入安徽、江苏、湖北等省份。

结合925hPa的流场和前向轨迹图分析, 受反气旋环流的影响, 山西西南地区受偏东风的影响, 有部分污染物随气团影响陕西中部地区, 占54%的比重, 山西污染对其他地区的影响都是边界层中层远距离的输送。山西中部地区主要是西南风和偏西风的影响, 使得偏东方向的影响比重达到90%, 影响边界层高层。两个站点对外主要污染轨迹方向相差较多, 与处于影响系统位置不同导致引导气流不同, 途经河北、山东、河南等地区。

根据对13次重污染过程分析, 以太原、运城、朔州(发生有6次污染过程)为代表站点进行前向轨迹分析(图略)。太原-邯郸-连云港和太原-徐州-上海之间的区域是太原污染路径发生频率最多的地区, 发生所占比重>40%, 是主要影响范围。运城-南阳-武汉和运城-洛阳-合肥之间的区域是运城污染路径发生频率最多的范围, 发生所占比重最大的路径是运城-武汉和运城-哈尔滨两条路径, 都是≥40%。朔州-保定-烟台和朔州-邯郸-上海之

间的区域是朔州污染路径发生频率最多的范围, 而且发生所占比重至少>30%。

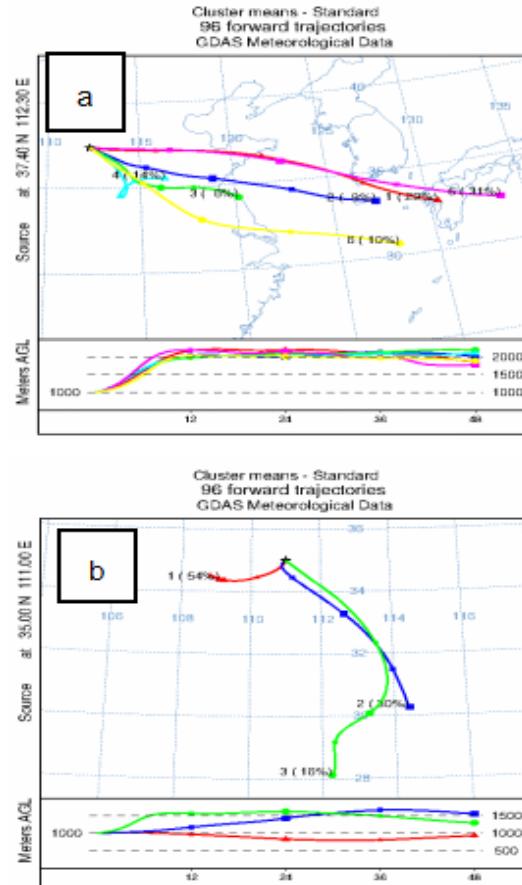


图1.4 太原(a)、运城(b) 48小时前向轨迹图

3 结论与讨论

本文以山西和京津冀空气污染的关系为研究对象, 研究该区域大范围重污染过程的气象形势和相关特征, 发现:

山西静稳型污染的地面天气形式分四种, 河套倒槽及与其联系的高压系统型导致的污染频率出现最多, 受高压影响, 不仅大气层结稳定, 还有西南暖湿气流影响, 加强污染; 低压低槽型出现次数次之, 低压影响区域内污染变化有一定的同步性。

在中度污染及以上污染的时间段内, 08时和20时边界层高度低于100m, 14时重度污染高度在500~700m, 中度污染高度在1000m左右。

气团前向轨迹表明, 山西省本地污染受不同的天气系统和边界层内引导气流控制, 会向西南方向输送污染物, 影响河北中、南部和河南西、东部。

后期将继续开展研究, 缩小研究区域, 更全面精细分析污染区的物理量特征, 进一步区分主导污染事件的污染物成分, 进行特征分析。

[参考文献]

[1]任阵海,高庆先,苏福庆,等.北京大气环境的区域特征与沙尘影响[J].中国工程科学,2003,5(2):49–56.

[2]苏福庆,杨明珍,钟继红.华北地区天气型对区域大气污染的影响[J].环境科学研究,2004,17(3):16–20.

[3]花丛,刘超,张恒德,等.京津冀地区冬半年污染传输特征及传输指数的改进[J].气象,2017,43(7):813–822.

[4]饶晓琴,李峰,周宁芳.我国中东部一次大范围霾天气的

分析[J].气象,2008,34(6):8–15.

[5]刘树华,缪育聪,郭建平,等.京津冀地区大气边界层过程和多尺度大气环流与大气污染成因机制研究[C]//第二十二届大气污染防治技术研讨会论文集,2018:21–23.

作者简介:

刘丽媛(1990--),女,山西朔州人,工程师,主要从事短期天气预报和气象服务等研究。