

京津冀区域一次沙尘污染天气的传输特征

刘 浩

河北省气象服务中心, 河北 石家庄

收稿日期: 2023年2月16日; 录用日期: 2023年3月16日; 发布日期: 2023年3月23日

摘 要

利用常规观测的卫星云图资料、地面资料、探空资料以及北京站的风廓线雷达观测资料, 对2017年5月4~5日京津冀区域的一次扬沙、浮尘天气过程进行了分析。研究发现: 本次过程京津冀的沙源地为甘肃、内蒙古、蒙古国一带, 蒙古低涡底部的高空急流输送是造成京津冀沙尘天气的主要原因。风廓线雷达资料显示, 冷空气从中层侵入, 中低层切变线出现早于沙尘天气出现2个小时, 冷空气的再一次爆发使沙尘天气结束。

关键词

沙尘天气, 传输特征, 急流输送, 风廓线雷达, 切变线

Transmission Characteristics of Dust Pollution Weather in Beijing, Tianjin and Hebei Region

Hao Liu

Hebei Meteorological Service Center, Shijiazhuang Hebei

Received: Feb. 16th, 2023; accepted: Mar. 16th, 2023; published: Mar. 23rd, 2023

Abstract

Using the satellite cloud image data, ground data, sounding data and wind profile radar observation data of Beijing station, a blowing sand and floating dust weather process of the Beijing-Tianjin-Hebei region in May 4~5, 2017 is analyzed. The study found that the sand source of the Beijing-Tianjin-Hebei region is from Gansu, Inner Mongolia and Mongolia. The high level jet transportation at the bottom of Mongolia low vortex is the main cause of the dust weather in Beijing, Tianjin and Hebei. Wind profile radar data show that cold air has been infiltrated from the middle layer, and the middle and lower layers of shear lines appear as early as two hours before the dust,

and the second outbreak of cold air causes the dust to end.

Keywords

Dust Weather, Transmission Characteristics, Jet Flow, Wind Profiler, Shear Line

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

沙尘天气是在特定地理环境和大尺度环流背景下诱发, 由于强风将地面沙尘携卷到空中, 致使地面能见度变低的一种灾害性天气[1]。它能给生态环境和人类生活造成巨大的损失[2] [3]。沙尘天气不仅引起沙源地荒漠化、土壤肥力下降, 而且造成影响地区空气污染等环境问题。国内外的科学工作者在起沙机制、沙尘输送、沙尘的物理化学特性和沙尘对气候环境的影响等方面[4]-[10]进行了大量研究, 其中, Thomas [11] [12]分析了亚洲沙尘暴的频数变化与降水、气温、风速的关系, 沙尘微粒被送入高空随风漂移, 又会引起下游地区大范围的降尘和大气中气溶胶浓度的增加, 对下游的空气质量造成重要影响[13] [14] [15] [16], 许多新的观测设备也被应用到沙尘分析。近年在此后又结合常规气象资料、光度计等其他设备, 利用激光雷达资料分析了黄沙粒子的物理光学特征和远距离输送的垂直分布[17]。沙尘源地和传输路径上对沙尘进行了连续观测, 利用激光雷达数据导出了沙尘和气溶胶消光系数的关系, 对沙尘天气和大气污染特征进行了分析[18]。王敏仲等利用边界层风廓线雷达资料可以对沙尘天气性质, 以及开始和结束时间进行[19]。

2017年5月4~5日, 中国北部多地出现沙尘暴或扬沙天气, 各地地理位置不同, 沙尘天气产生原因会各有差异。本文利用常规资料研究了京津冀区域沙尘天气的主要成因, 并运用北京站的风廓线雷达观测资料, 研究了气象要素的变化与沙尘天气起始、维持的关系。

2. 沙尘天气概况

2017年5月4~5日, 新疆南疆盆地、甘肃中部、宁夏中北部、山西北部、河北北部、北京、内蒙古、黑龙江西部、吉林西部等地先后出现浮尘或扬沙(图1), 内蒙古和黑龙江西部的部分地区出现沙尘暴、局地强沙尘暴。受沙尘天气影响, 河北省全省空气质量为严重污染(图2), AQI为500, 首要污染物为大颗粒物PM₁₀。在京津冀区域, 受沙尘天气影响, 大部分观测站能见度在1000~2000米, 最小能见度达到67米(临城), 大部分地区扬沙阶段比浮尘阶段能见度小1000米以上。

3. 环流特征

2017年5月4日, 对流层中层500 hPa, 35°N以北地区为两槽一脊形势, 乌拉尔山和日本海为强的高压脊, 贝加尔湖与我国东北区域为蒙古低涡控制, 低涡中心位于(117°E, 52°N) (图3), 4日白天到夜间河北省处于此低涡底部的西北气流控制。此深厚高低压场配置从对流层底层850 hPa一直维持到高层100 hPa, 低涡系统高低空略呈后倾态势。低涡底部伴随着高低空急流, 在250 hPa风速达到46 m/s, 500~700 hPa超过30 m/s。低涡后有明显冷空气配合, 预示着低涡将进一步发展(图略)。低涡高空西风急流的发生发展和这次沙尘天气的强度及发生区有着密切的关系, 在此次沙尘天气中起到了重要作用。

在2017年5月4日地面图上(图4), 我国东北地区为一个深厚的低压系统, 蒙古国为一个冷高压系统, 蒙古高压前部冷空气与东北低压暖气流交汇, 有利于地面冷锋生成。

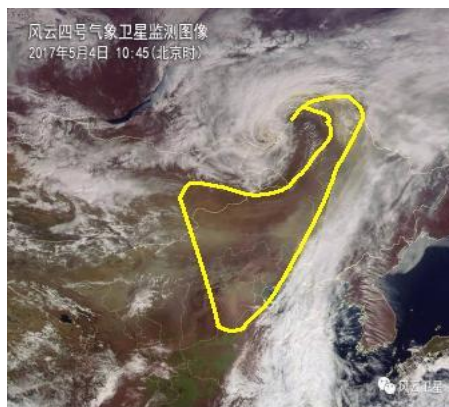


Figure 1. Sand and dust monitoring image of Fengyun-4 meteorological satellite on May 4, 2017 (The underlined area is the sand and dust area)

图 1. 2017 年 5 月 4 日的风云四号气象卫星沙尘监测图像(划线区域为沙尘区)

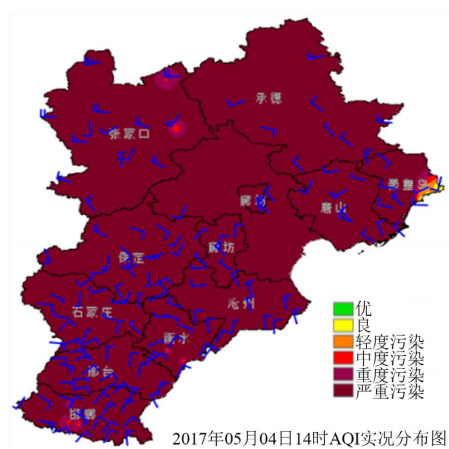


Figure 2. Air quality in Beijing-Tianjin-Hebei at 14:00 on May 4, 2017

图 2. 2017 年 5 月 4 日 14 时京津冀空气质量

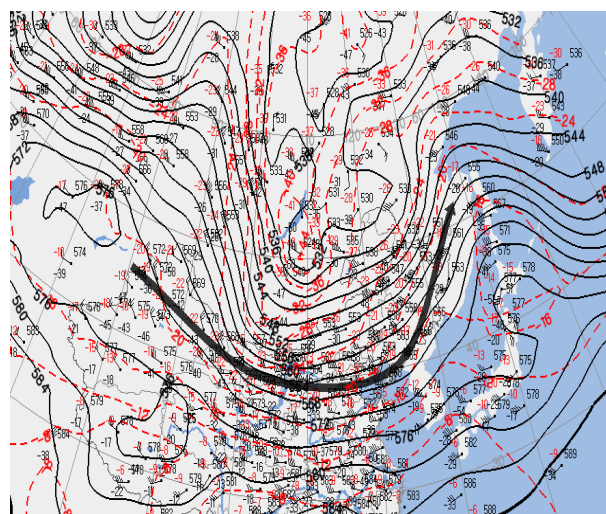


Figure 3. 500 hPa situation at 8 a.m. on May 4, 2017 (The thick solid line is the rapid axis)

图 3. 2017 年 5 月 4 日 08 时 500 hPa 形势(粗实线为急流轴)

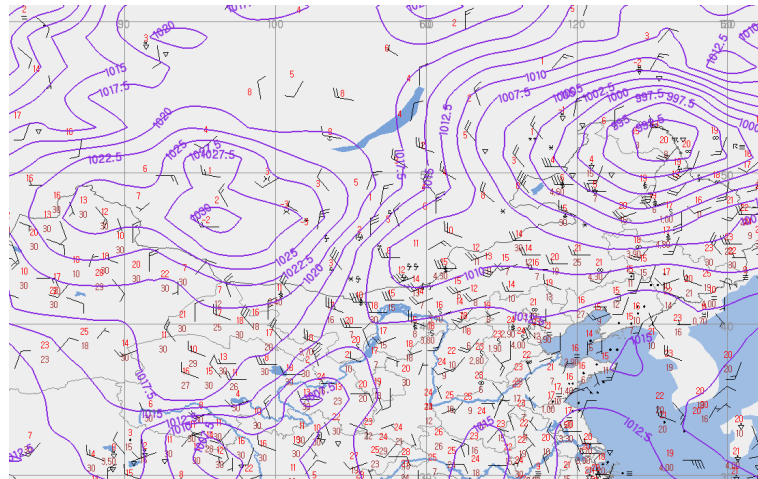


Figure 4. Ground situation at 5 p.m. on May 4, 2017
图 4. 2017 年 5 月 4 日 17 时地面形势

高空急流、低空急流和地面冷锋呈重叠分布，高空急流加强，风速加大，再通过动量下传作用，进一步加大了蒙古国与内蒙古地面冷锋区域的西北风和偏西风，在此区域 4 日出现了沙尘暴天气。沙尘沿着高空引导气流东移南下，由于京津冀区域地面风速较小，在京津冀区域黄沙蔽日，形成严重的扬沙或浮尘天气。

4. 京津冀沙尘天气机制

4.1. 垂直运动

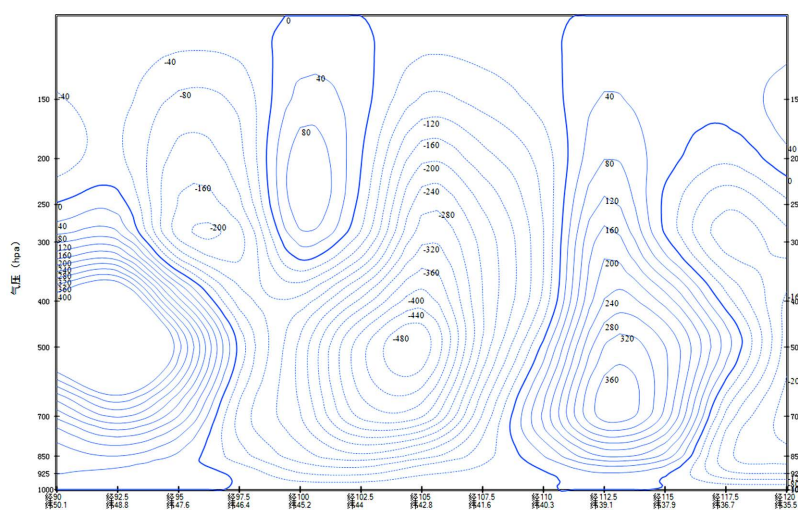
沿着垂直于 2017 年 5 月 4 日 500 hPa 急流轴方向，在沙尘区域制作垂直速度、散度剖面，通过垂直速度场变化可以看出，4 日 08 时(图 5(a))，40°N~46°N、100°E~110°E 区域存在自底层到高层一致的倾斜上升运动，最强上升运动表现在 650~550 hPa，达到 -480×10^{-2} Pa/s，强上升运动把内蒙古、蒙古国一带的沙尘运往高空，随着 36°N~43°N、110°E~117°E 整层的强下沉运动(垂直速度大值区表现在 700~500 hPa，达到 360×10^{-2} Pa/s)，在京津冀区域部分沙尘沉降，另外部分沙尘随着高空急流继续往黑龙江、吉林一带输送；至 20 时(图 5(b))，原上升运动区 550 hPa 以下转变为较强的下沉气流，整层上升气流东南压至 40°~43°N、108°E~112°E 区域，京津冀区域依然为下沉气流，表明京津冀区域的沙尘主要来源于上游输送；到 5 日 08 时(图略)，沙源地均改为下沉运动，上升运动区继续东移南压至京津冀区域，京津冀区域风力加大，出现 2 个小时的扬沙天气，随着冷空气的全面爆发沙尘天气结束。由此可见在整个沙尘发生发展的过程中，上升气流与下沉气流量级相当，深厚的上升气流不断东移南压；在沙尘的增强过程中，较强的下沉气流不断转变为深厚的上升气流，较强的上升运动可以将近地层的沙粒向上输送，有利于沙尘的垂直和水平输送；沙尘的减弱结束期则与上升气流的移出时间相对应。

4.2. 风廓线雷达资料应用分析

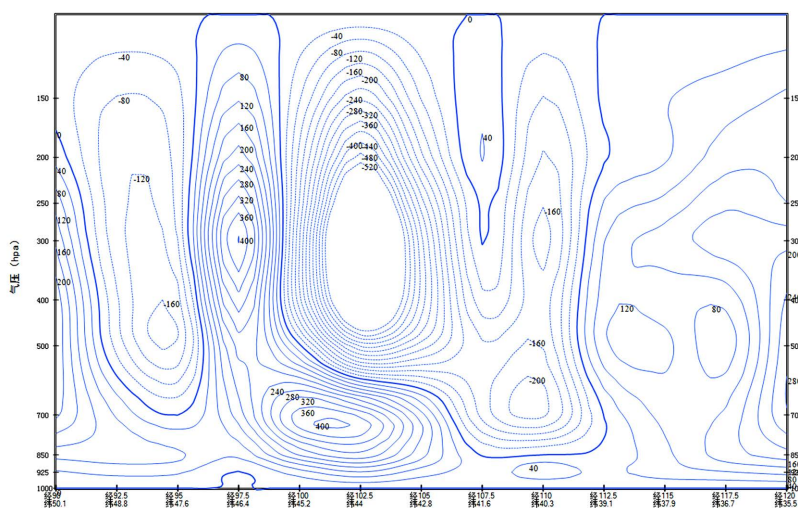
图 6、图 7 分别给出了北京边界层风廓线雷达对 4 日、5 日沙尘天气过程水平风场的探测结果。从图 6 可以看出，2 时至 3 时，2000 米上下高空开始由西南风转为西北风，切变逐渐向近地层扩散，至 4 时，3000 米低空转为西到西北风，北京市出现浮尘天气，5 时至 11 时 2000 米以下低空出现 16 m/s 的西北风急流，高空 3000 米至 6000 米高空出现大于 20 m/s 的西北风急流，5 时开始天气转为扬沙。西北风大风区一直延续到 6000 米高空，扬沙天气加重。13 时以后，天气变为浮尘或霾，黄沙漫天的状况一直维持。

风廓线图上低层风力逐渐减小, 于 18 时转为西南风, 在 23 时开始 1000~1800 米高空出现 20 m/s 的西南大风, 3000 米以上高空依然维持西北偏西风, 之后至 5 日 06 时暖平流明显发展, 西南风 20 m/s 以上的大风继续向高空发展到 4500 米高空, 高空西南大风继续向高空延展, 8~9 时 3000 米以上高空转为一致的 28 m/s 的西南大风, 沙尘天气的高空输送结束。7 时开始, 800 米以上高空开始出现 16 m/s 的西北大风, 西北风继续向低层、高层侵入, 09 时开始高低空逐渐转为一致的西北大风, 黄沙散尽, 天空转为净空。

4 日 21 时至 5 日 6 时, 中低层持续如此大的南风, 并没有使沙尘天气减弱, 究其原因, 依据郭俊[17]等通过对东亚沙尘分布、源汇及输送特征的研究, 发现东亚地区沙尘气溶胶呈现自西向东的环流输送特征, 存在 3 个主要的沙尘输送带, 其中, 位于 40°N 附近的沙尘输送带可以将源自塔克拉玛干沙漠、腾格里沙漠及蒙古高原的沙尘气溶胶向东输送至华北、朝鲜半岛及日本周边海域, 该输送带对于我国北方及东北亚的沙尘天气具有重要影响, 这一输送主要集中在对流层中高层 5 km 左右[20], 高空源源不断的沙尘输送、降落, 是沙尘天气维持的根本原因。



(a) 2017 年 5 月 4 日 08 时



(b) 2017 年 5 月 4 日 20 时

Figure 5. Vertical velocity profiles between points 50°N, 100°E and 35°N, 120°E
图 5. 50°N、100°E 与 35°N、120°E 两点间垂直速度剖面图

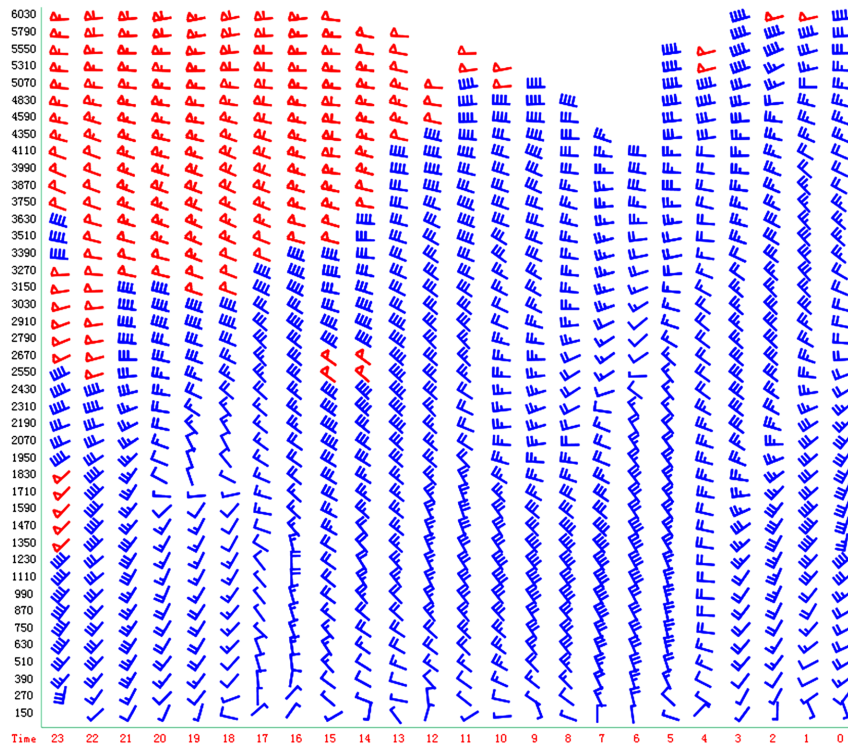


Figure 6. Map of Beijing wind profile time-height on May 4, 2017
图 6. 2017 年 5 月 4 日北京风廓线时间 - 高度图

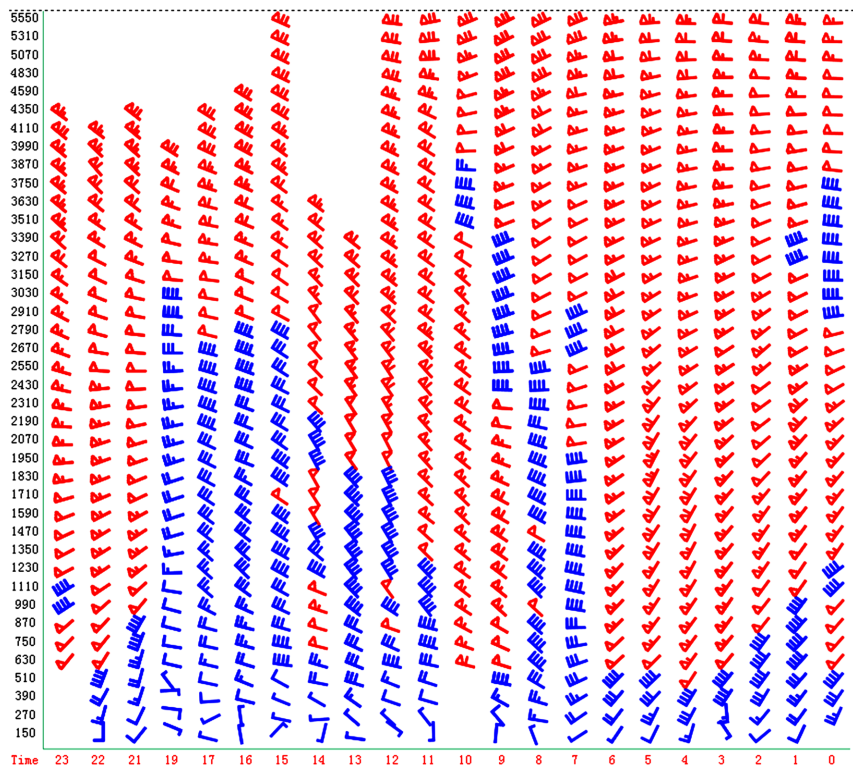


Figure 7. Map of Beijing wind profile time-height on May 5, 2017
图 7. 2017 年 5 月 5 日北京风廓线时间 - 高度图

5. 小结与结论

最近 10 年来, 京津冀区域的沙尘天气有所减少, 2017 年 5 月 4~5 日的大范围强沙尘天气影响很大。本文利用常规观测的卫星云图资料、地面资料、探空资料以及北京站的低对流层风廓线雷达观测资料, 对本次扬沙、浮尘天气过程进行了分析。

本次过程的沙源地为甘肃、内蒙古、蒙古国一带, 蒙古低涡持续发展加强, 导致其底部高空急流加强, 500 hPa 高空急流对沙尘起到决定性输送作用。地面蒙古高压前部冷空气导致地面锋生, 是沙尘源头起沙的主要原因。

强烈上升、下沉运动是沙尘升空、沉降的主要原因。

风廓线雷达可以很好的揭示沙尘地的探空特征, 冷空气从中层侵入, 使中低层切变线出现, 早于沙尘天气出现 2 个小时, 可以预示沙尘起始时间。冷空气的再一次爆发使沙尘天气结束。

参考文献

- [1] 陈晓光, 张存杰, 董安祥, 陆登荣. 甘肃省沙尘暴过程的划分及统计分析[J]. 高原气象, 2004, 23(3): 374-381.
- [2] 周自江, 章国材. 中国北方的典型强沙尘暴事件(1954-2002 年) [J]. 科学通报, 2003, 48(11): 1224-1228.
- [3] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远, 等. 关于我国华北沙尘暴的成因与治理对策[J]. 地理学报, 2000, 55(5): 513-521.
- [4] 周秀骥, 徐祥德, 颜鹏, 等. 2000 年春季沙尘暴动力学特征[J]. 中国科学(D 辑), 2002, 32(4): 327-334.
- [5] 赵建华, 张强, 袁铁, 隆霄. 沙粒启动机制的理论分析[J]. 中国沙漠, 2005, 25(6): 853-862.
- [6] 邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径[J]. 地理学报, 2001, 56(3): 316-322.
- [7] 李彰俊, 孙照渤, 姜学恭. 蒙古气旋天气过程中的沙尘传输特征[J]. 中国沙漠, 2008, 28(5): 927-930.
- [8] 沈建国, 李嘉鹏, 牛生杰, 姜学恭. 沙尘天气中气溶胶光学特性的时空分布特征[J]. 中国沙漠, 2007, 27(3): 495-501.
- [9] 张加云, 刘晓东. 一次强沙尘暴活动对中国城市空气质量的影响[J]. 中国沙漠, 2008, 28(1): 161-169.
- [10] 王式功, 杨民, 祁斌, 等. 甘肃河西沙尘暴对兰州市空气污染的影响[J]. 中国沙漠, 1999, 19(4): 354-358.
- [11] Littmann, T. (1991) Dust Storm Frequency in Asia: Climatic Control and Variability. *International Journal of Climatology*, **11**, 393-412. <https://doi.org/10.1002/joc.3370110405>
- [12] 李玄姝, 常春平, 李云强. 承德地区沙尘天气的气候成因分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(2): 97-101.
- [13] 陶健红, 黄玉霞, 陆登荣. 河西走廊沙尘活动对兰州 PM10 浓度的影响及其评估[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 672-676.
- [14] Đorđević, D., Vukmirović, Z., Tošić, I. and Unkašević, M. (2004) Contribution of Dust Transport and Resuspension to Particulate Matter Levels in the Mediterranean Atmosphere. *Atmospheric Environment*, **38**, 3637-3645. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.04.001>
- [15] Fang, X.Q., Xie, Y. and Li, L.J. (2003) Effects of Duststorms on the Air Pollution in Beijing. *Water, Air and Soil Pollution: Focus*, **3**, 93-101. <https://doi.org/10.1023/A:1023222003093>
- [16] Rodriguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G. and Kakaliagou, O. (2001) Saharan Dust Contributions to PM10 and TSP Levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment*, **35**, 2433-2447. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00496-9](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00496-9)
- [17] 邱金桓, 孙金辉. 沙尘暴的光学遥感及分析[J]. 大气科学, 1994, 18(1): 1-10.
- [18] 董旭辉, 杉本伸夫, 白雪椿, 等. 激光雷达在沙尘观测中的应用——2004 年春季北京和呼和浩特沙尘天气的解析[J]. 中国沙漠, 2006, 26(26): 942-947.
- [19] 王敏仲, 魏文寿, 何清, 等. 边界层风廓线雷达资料在沙尘天气分析中的应用[J]. 中国沙漠, 2011, 31(2): 352-355.
- [20] 郭俊, 银燕, 王咏薇, 康汉青, 等. 东亚沙尘分布、源汇及输送特征的模拟研究[J]. 中国环境科学, 2017, 37(3): 801-812.