

九江市重污染天气形势特征及污染源分析

徐洁玲, 杨超¹

(九江市气象局, 332005, 江西, 九江)

摘要: 利用九江市环境保护监测站的日均 AQI 值和首要污染物等监测资料、常规地面、高空气象观测资料, 对 2014 — 2016 年 15 个重度以上污染日进行天气形势分析并分型, 利用 HYSPLIT 后向轨迹模型污染天气气团轨迹进行模拟。得到九江市重度以上污染天气的天气形势: 高压型、高压后部型、高压底部型、低压型。地面有弱冷空气输送, 或地面均压场、850 ~ 700 hPa 有显著的暖平流输送形成暖盖的静稳天气形势有利于出现重污染天气。根据污染源分为 3 类: 外部输入型、混合型(外部输入加本地堆积型)和本地堆积型。15 个个例中有 7 个的重污染天气个例是由于前期有弱冷空气扩散南下, 携带污染物从华北、长三角到本地。混合型为前期 48 — 72 h 有污染物的输送, 配合稳定的天气形势, 污染物在近 24 h 内堆积, 形成的污染天气。本地污染型 3 个个例造成污染的主要原因并不是适宜的天气形势, 而是人为活动造成的。

关键词: 空气质量; 重污染; 天气形势; 污染源

中图分类号: X51

文献标识码: A

文章编号: 1001 — 3679(2019) 03 — 365 — 07

0 引言

随着人类活动与工业发展, 空气污染是全球范围面临的严峻的问题, 近年来, 随着中国城市化进程的加速和机动车保有量的大幅度增加, 城市环境问题日益突出^[1, 2]。根据《环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)》(HJ 633—2012)规定^[3]: 空气污染指数划分为 0~50、51~100、101~150、151~200、201~300 和 >300 六档, 对应于空气质量的 6 个级别, 新标准更为客观、科学的表述了国内的空气污染情况。2012 年 3 月 2 日, 环保部颁发了新的空气质量标准《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)^[4], 将 PM_{2.5}、O₃ 等污染物纳入空气质量的评价标准。研究表明, 气象条件直接影响着大气污染物在大气中经历的各种物理过程, 包括污染物的扩散、稀释、输送、转化^[5, 6, 7, 8, 9, 10], 决定污染物的空间分布、时间变化的特征^[11]。空气污染事件受人为排放和气象条件共同决定^[12]。很多学者研究了气象条件对大气污染的重要影响, 张恒德^[13]等利用近地面 9 个因子建立了静稳天气综合指数(SWI)用于表征标准大气的静稳程度。花丛^[14]等建立了污染传输强度指数用于污染物的预报。黄毅^[15]等应用后向轨迹模型对灰霾期间抵达成都市的大气气团进行模拟, 追踪污染气团。张冲^[16]等为研究重污染过程对重污染过程的污染物浓度、天气形势与气团输送、区域传输和减排效果进行了研究。目前很多城市都开展了重度污染日的研究, 九江市对重污染天气的研究正在进行^[17]。2014-2017 年九江市的轻度污染以上天数达到 281 d, 2014 年九江市的轻度污染以上天数 70 d, 2015 年九江市的轻度污染以上天数 59 d, 2016 年九江市的轻度污染以上天数 76 d, 2017 年九江市的轻度污染以上天数 76 d。从污染日数来看仍无下降趋势。空气污染气象条件的预报是重污染天气预报预警和节能减排的重要需求, 本文分析九江市重污染日典型大气环流形势特

¹ doi: 10. 13990 /j. issn1001 — 3679. 2019. 03. 009

收稿日期: 2019 — 03 — 26; **修订日期:** 2019 — 04 — 28

作者简介: 徐洁玲(1987 —), 女, 工程师, 主要从事短期天气预报业务。

基金项目: 江西省气象局面上科研项目“九江市空气质量监测预警预报技术研究”

征并对其分型，利用 HYSPLIT 后向轨迹模型对污染物进行追踪，得到九江市重污染天气污染源特征，以期为九江市大气污染的预警预报、防治及其影响评估提供科学依据。

1 2014-2016 年主要天气污染过程 2014-2016 年重度以上的污染天气总共有 15 d（表 1），其中，2014 年 3 次，2015 年 7 次，2016 年 5 次，首要污染物均为 PM_{2.5}。

表 1 2014—2016 年重度以上污染天气要素及天气形势

日期	空 气 质 量 指 数 (AQI)	首要污染物	空气质量 指数级别	空气质量 指数类别	地面天气形势	高空形势	污染源分析
2014 年		细颗粒物			高压后部变性高压		
1 月 19 日	214	(PM _{2.5})	V	重度污染		高压脊	外部输送北方
2014 年		细 颗 粒 物					
1 月 31 日	210	(PM _{2.5})	V	重度污染	低压倒槽	高空槽前, 上下一致西南急流, 中低层暖平流显著	本地堆积型
2014 年 11 月 23 日	222	细 颗 粒 物 (PM _{2.5})	V	重度污染	高 压 底 部, 弱冷上下一致西南气流, 中低外部输送加本地堆积空气渗透	层强暖平流	型
2015 年 1 月 26 日	209	细 颗 粒 物 (PM _{2.5})	V	重度污染	高 压 底 部, 有弱无明显影响系统, 上下层外部输送加本地堆积冷空气渗透	偏西风	型
2015 年 5 月 27 日	216	细 颗 粒 物 (PM _{2.5})	V	重度污染	低压倒槽	500, 700 短波槽东移, 外部输送加本地堆积 850 弱西南风	型
2015 年 5 月 28 日	235	细 颗 粒 物 (PM _{2.5})	V	重度污染	低压倒槽	上下一致西南气流, 中低层强暖平流	本地堆积型
2015 年 12 月 11 日	244	细 颗 粒 物 (PM _{2.5})	V	重度污染	高 压 底 部, 冷空西南风, 低层暖平流气扩散南下		外部输送型东路

表 1 (续)

日期	空 气 质 量 指 数 (AQI)	首要污染物	空气质量 指数级别	空气质量 指数类别	地面天气形势	高空形势	污染源分析
----	------------------------	-------	--------------	--------------	--------	------	-------

2015 年 12 月 12 日	203	细颗粒物 (PM2.5)	V	重度污染	高压底部，冷锋前，盛行偏东北气流	西南风，低层暖抬	切北外部输送型西路
2015 年 12 月 23 日	224	细颗粒物 (PM2.5)	V	重度污染	高压底部，冷锋前，盛行偏东北气流	上下一致西南气流，中低层强暖平流	外部输送型加本地堆积
2015 年 12 月 25 日	246	细颗粒物 (PM2.5)	V	重度污染	高压	500 偏西气流，中低层西北气流	外部输送型加本地堆积
2016 年 1 月 1 日	208	细颗粒物 (PM2.5)	V	重度污染	高压后部变性高压	500 西风转西南风，低层西南风，暖平流	外部输送型
2016 年 1 月 18 日	206	细颗粒物 (PM2.5)	V	重度污染	冷锋前，盛行北上下西北气流，东风	有冷平流	外部输送型
2016 年 2 月 8 日	252	细颗粒物 (PM2.5)	V	重度污染	北风高压	500 西北气流，中低层高压脊	本地堆积型
2016 年 3 月 6 日	268	细颗粒物 (PM2.5)	V	重度污染	高压后部变性高压	500 偏西风，中低层弱偏南风	外部输送型
2016 年 12 月 6 日	215	细颗粒物 (PM2.5)	V	重度污染	高压	500, 700 西北气流，850 东北风	外部输送型

2 重污染天气形势

重污染天气出现在均压场，地面微风或静风，气流垂直交换少的天气形势下。由于污染期间大尺度大气环流形势比较稳定，无明显的系统活动。500 hPa 高空影响系统主要为西风带系统，具体分为 4 类，槽后西北气流，槽前西南气流，平直西风气流和高压脊控制。槽前西南气流和高压脊控制形势下的暖湿气流输送明显，容易形成逆温层造成污染。槽后西北气流和平直西风气流形势下以下沉气流为主，污染物容易积聚。高低空系统配置来分析污染的形势:1) 高压型，高空为西北气流或西风气流的控制；2) 高压后部型（变性高压），高空为平直西风，中低层为偏南风，有明显的暖平流输送；3) 高压底部型，冷锋前部大多为西南暖湿气流，低层暖平流强；4) 低压型，高空引导气流为西南风，或有浅薄的短波槽东移，形成弱降水，污染物积聚。

2.1 高压型

这种形势下的污染天气地面形势中江南大部分地区为高压中心控制（图 1）。高空西北气流或偏西气流中，850 hPa 为北风或东北风，将北方的污染物输送至本地再积聚，造成污染天气，2015 年 12 月 25 日，2016 年 2 月 8 日，2016 年 12 月 6 日的重污染天气就是发生江南华南大部地区高压控制的均压区中。

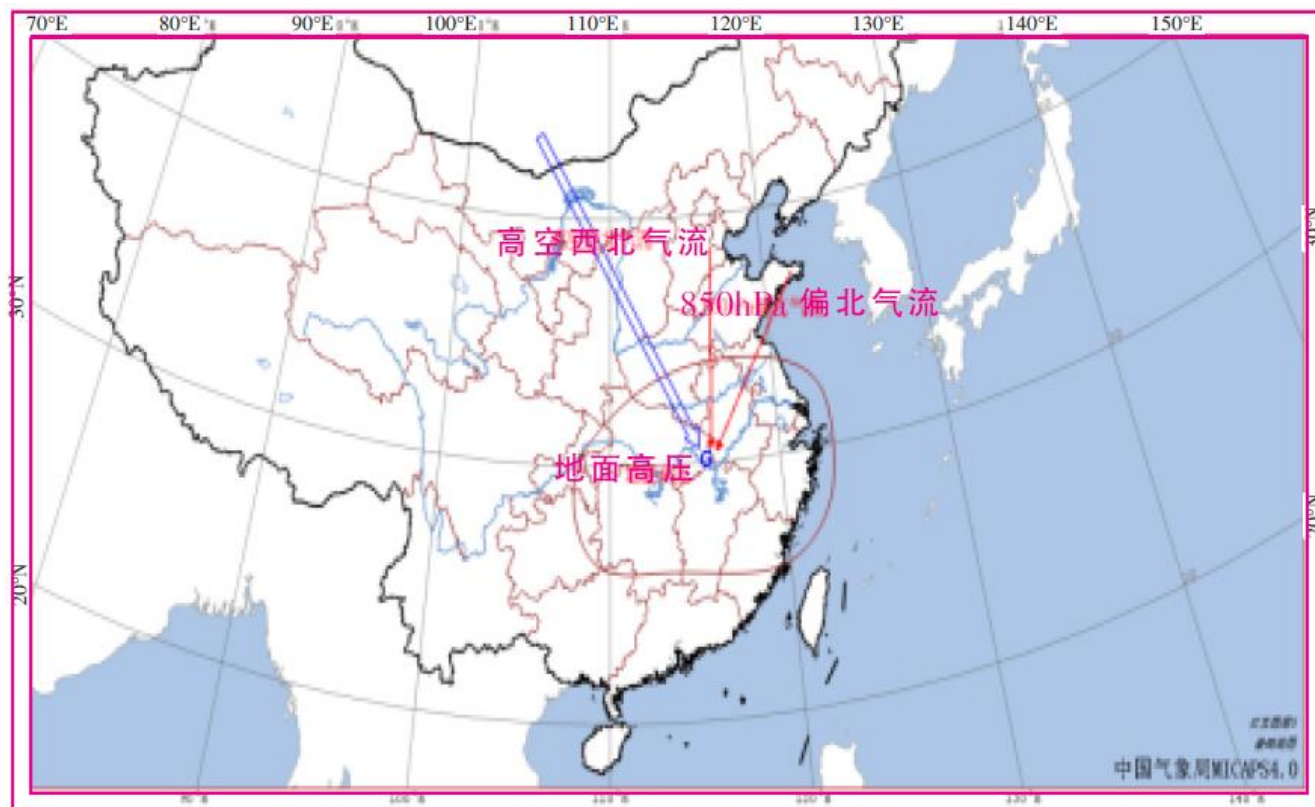


图 1 高压型重污染天气形势

2.2 高压后部型

高压后部变性高压形势高空为平直西风，中低层为偏南风，有明显的暖平流输送（图 2）。2014 年 1 月 19 日、2016 年 1 月 1 日和 2016 年 3 月 6 日的重污染天气地面形势为高压后部的均压场。

2.3 高压底部型

这种形势下，高空多为西南气流，中低层暖平流很强（图 3）。中高纬度有冷空气聚集，前期有弱冷空气渗透，华北、江淮江南盛行东北风，将北方污染物输送到本地区来，加上静稳的天气形势，污染物积聚，这种地面形势下高空也有例外如 2016 年 1 月 18 日（图 4），冷空气前期已经南下至华南到海上，中高纬又有冷空气聚集，形成副冷锋，在副冷锋南下前，前期的低层偏北风将北方的污染物输送到本地造成污染。

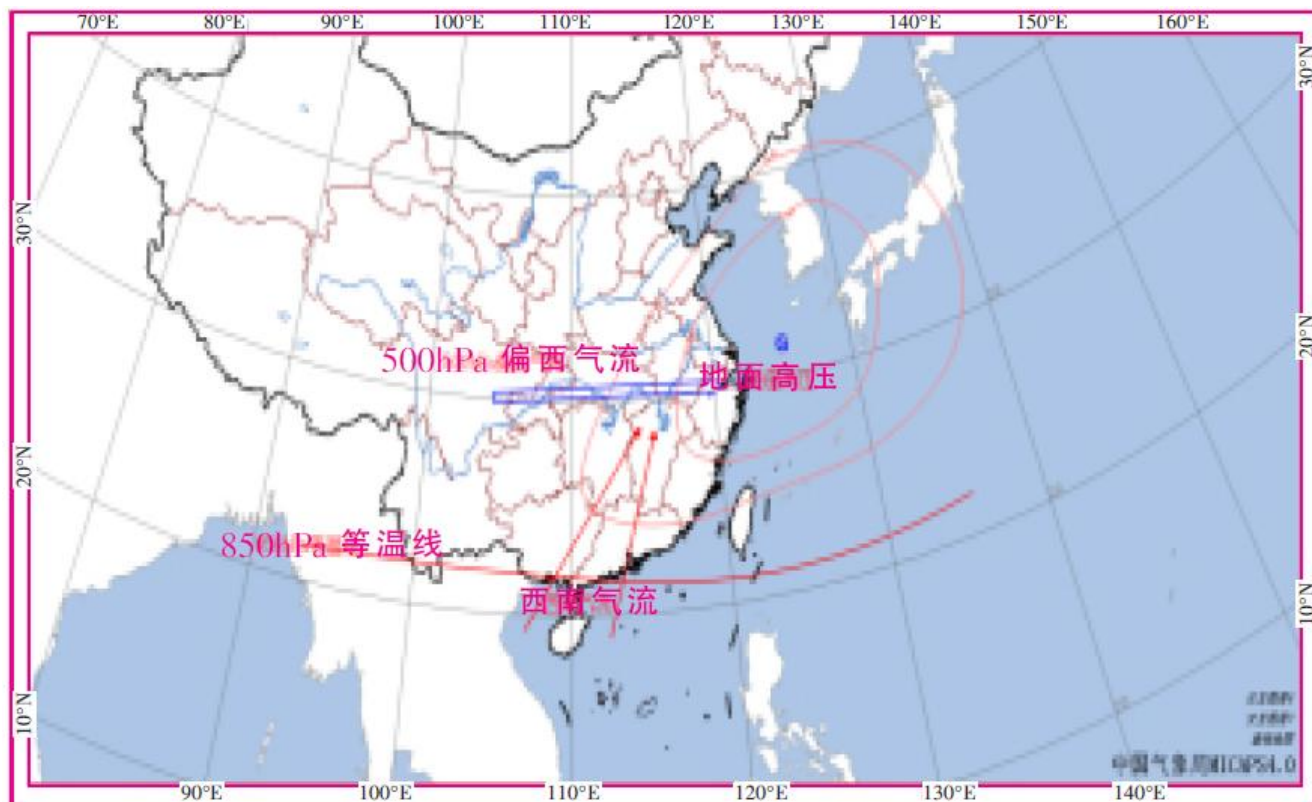


图2 高压后部型重污染天气形势

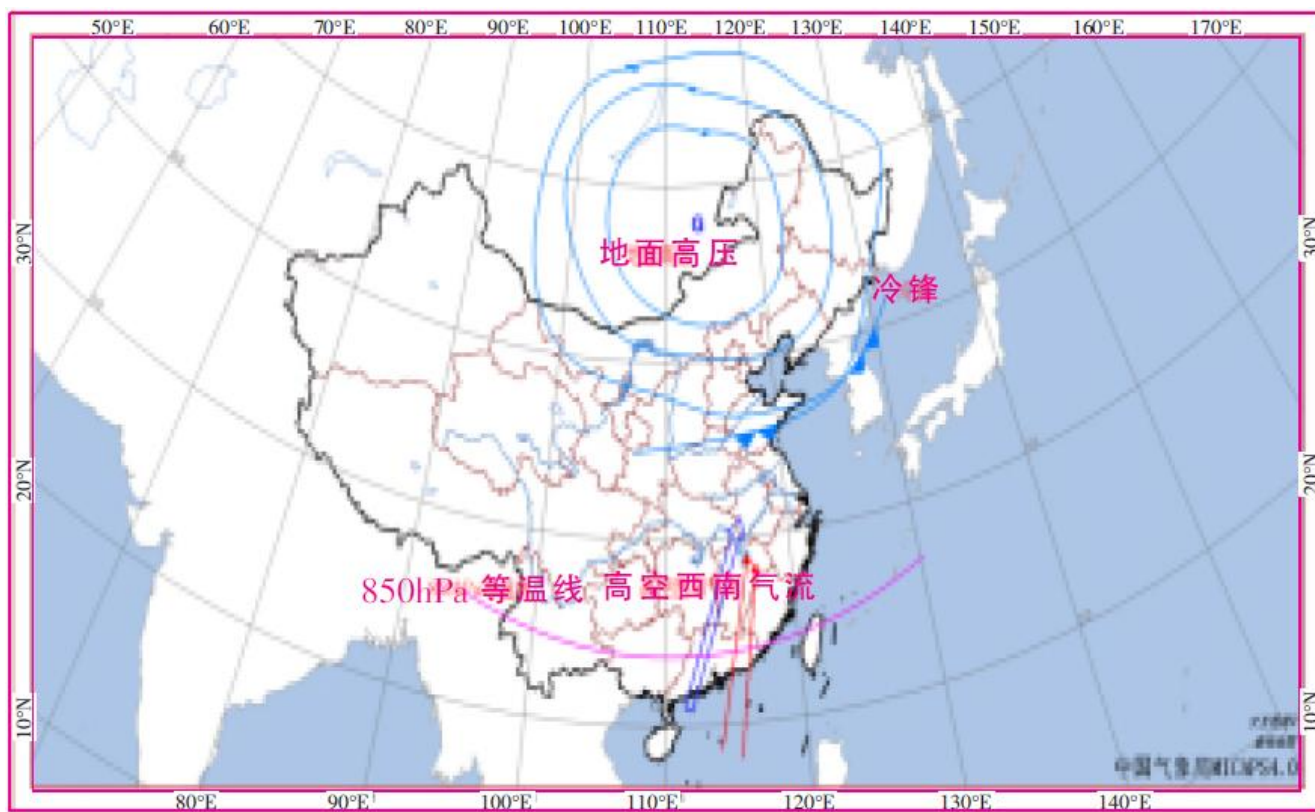


图 3 高压底部型重污染天气天气形势

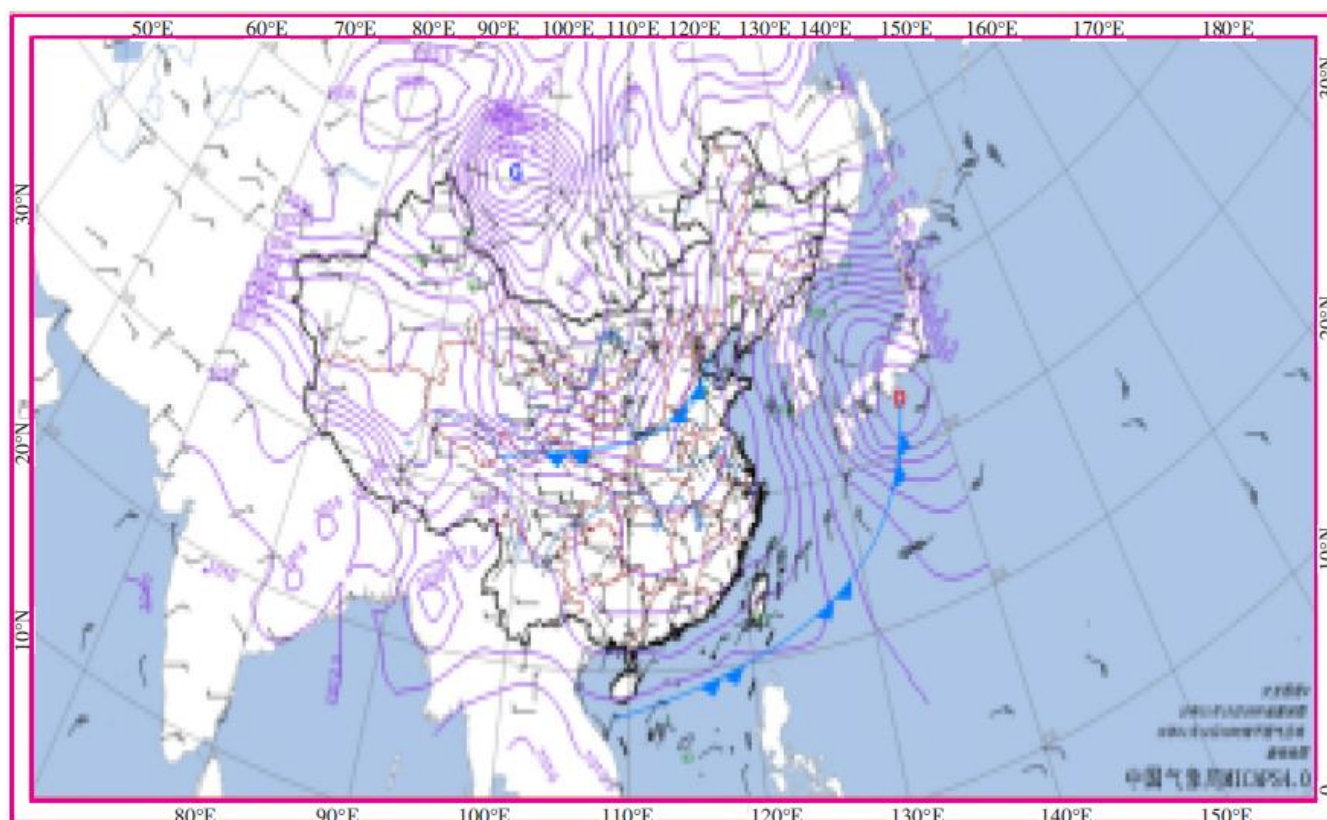


图 4 重度污染天气 2016 年 1 月 18 日 08:00 地面形势

2.4 低压型

低压型是指从云贵到湖南一带的低压倒槽一直延续至江西北部（图 5），分析发现，这种形势下的污染发生时，气压场较弱，气压梯度小，风速小，大多天空状况云量较多，或有弱降水。地面相对湿度大，不利于污染物的水平扩散。高空多偏西气流有短波槽活动，或者是槽前西南气流，中低层西南气流强盛，暖平流显著。

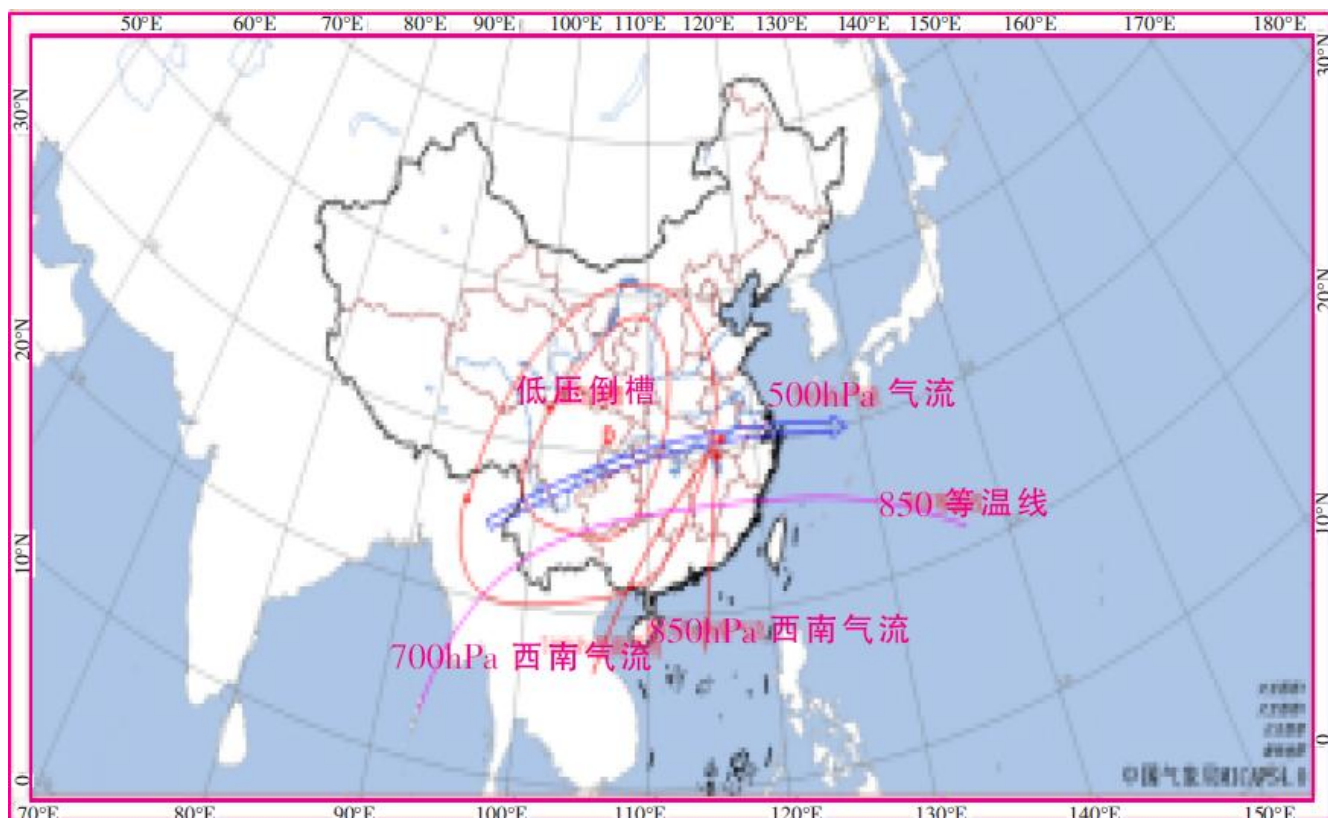


图 5 高压底部型重污染天气形势

3 Hysplit 后向轨迹模型污染源分型

利用 Hysplit 后向轨迹模型对 2014–2016 年的重度以上污染天气气团轨迹进行模拟，根据污染源分为 3 类：外部输入型、混合型（外部输入加本地堆积型）和本地堆积型。外部输入型是指将华北、华中及长三角地区的污染物随着近地层偏北风输送到本地区。这种污染天气有 7 次，占总样本的 47%。混合型是指前期 48–72 h 有污染物的输送，配合稳定的天气形势，污染物在 48–24 h 内堆积，形成的污染天气。这种污染有 5 次，占总样本的 33%。本地堆积型是最特殊的一类，在 15 个样本中有 3 次是属于污染物本地堆积型，其中 2014 年 1 月 31 日、2016 年 2 月 8 日均为农历春节，其污染原因为大量燃放的烟花爆竹造成的。还有 2015 年 5 月 28 日的重污染天气是由于本地大范围农作物秸秆燃烧造成的。

3.1 外部输送型

北方弱冷空气影响（可能伴有弱降水）主要污染源：华北、长三角。这种地面形势都是处在高压底部，前期有弱冷空气扩散南下，从华北到黄淮江淮一带盛行偏北风或者东北风，携带污染物从华北、长三角到本地。这种个例有 7 个：2014 年 1 月 19 日，2015 年 12 月 11 日，2015 年 12 月 12 日，2016 年 1 月 1 日，2016 年 1 月 18 日，2016 年 3 月 6 日，2016 年 12 月 6 日（图 6）。

这种污染轨迹近地面层 100 m 的气团轨迹较长，大多数情况下后向轨迹指向我国北方，1 500 m 和 3 000 m 高度上多为西北气流。

3.2 混合型

这种类型就是污染物既有外部输入也有本地堆积，前期有弱冷空气携带污染物本地区积聚，在地面均压场或者静稳的天气形势下污染物堆积，造成的污染。这些个例为 2014 年 11 月 23 日，2015 年 1 月 26 日，2015 年 5 月 27 日，2015 年 12 月 23 日和 2015 年 12 月 25 日（图 7）。

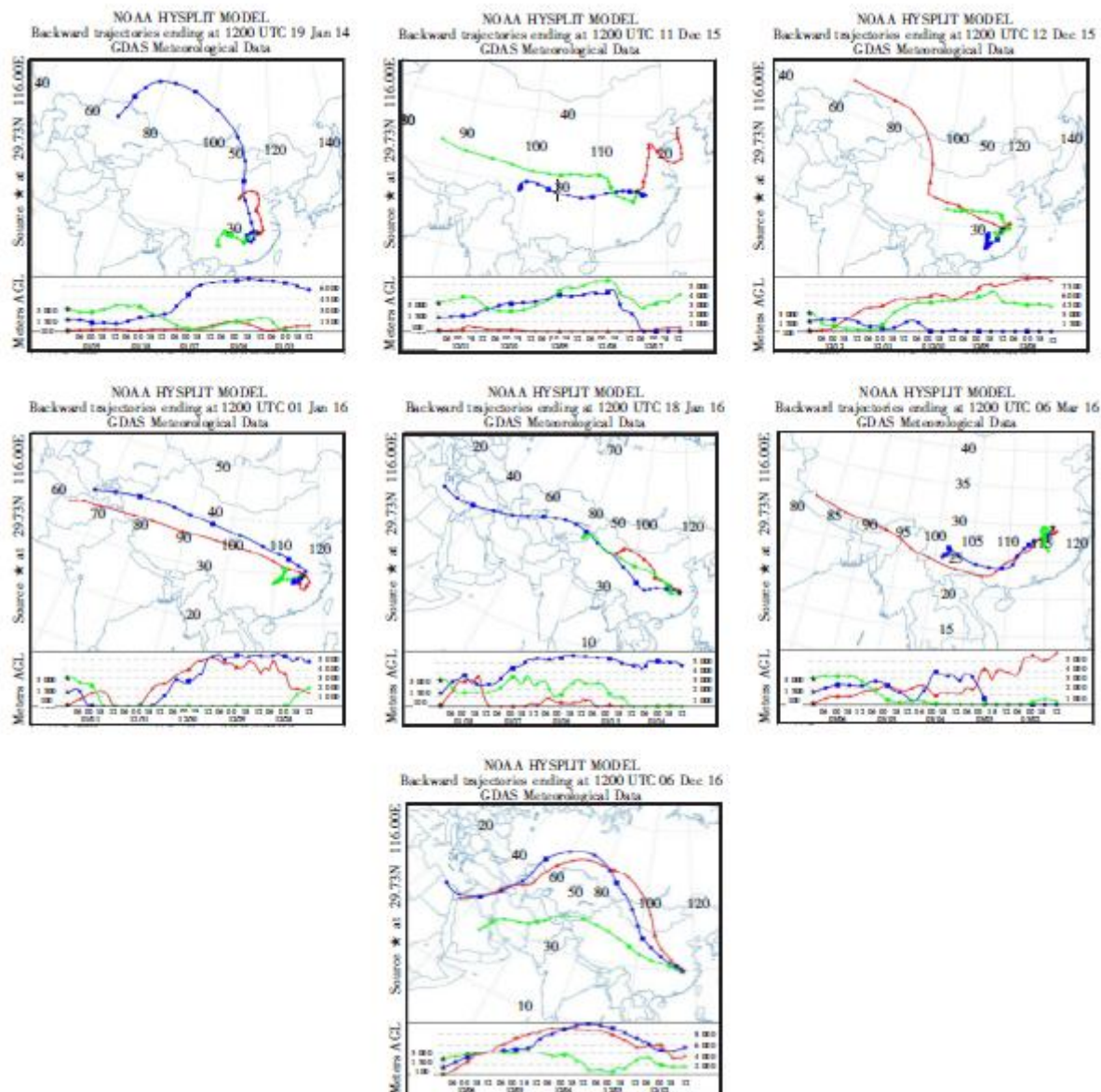


图 6 外部输送型污染天气不同高度气团后向轨迹模拟图

这种污染天气近地面层 100 m 的气团轨迹范围小、距离短，有短距离小范围的污染物输送。3 000 m 高空的气团轨迹为偏南或偏西，1 500 m 高度的气团轨迹范围也很短，表明这种污染形势 850 hPa 以下的大气都是静稳的，污染物容易堆积。

3.3 本地堆积型

这是最特殊的一类，造成污染的主要原因并不是适宜的天气形势，而是人为活动。在 15 个样本中有 3 次是属于污染物本地堆积型，其中 2014 年 1 月 31 日、2016 年 2 月 8 日均为农历春节，其污染原因为大量燃放的烟花爆竹造成的。还有 2015 年 5 月

28 日的重污染天气，根据卫星监测数据确定是由于本地大范围农作物秸秆燃烧造成的。

分析这种污染形势下气团活动轨迹发现，近地面层气团 72 h 活动轨迹范围非常小，几乎就在本地打转。2014 年 1 月 31 日和 2016 年 2 月 18 日春节期间高空为西北气流，这种天气形势并不利于污染堆积。2015 年 5 月 28 日则表现为 1 500 m 以下的气团活动范围小，污染物堆积，在利于污染物堆积的静稳天气形势下，地面秸秆焚烧造成了污染天气（图 8）。

4 结论

重污染天气高空形势 500 hPa 高空影响系统主要为西风带系统，具体分为 4 类，槽后西北气流，槽前西南气流，平直西风气流和高压脊控制。槽前西南气流和高压脊控制形势下的暖湿气流输送明显，容易形成逆温层造成污染。槽后西北气流和平直西风气流形势下以下沉气流为主，污染物容易积聚。地面天气形势主要有高压型、高压底部型，此时地面多有弱冷空气输送，携带污染物造成本地区污染，高压后部型、低压型为静稳型天气，700 hPa、850 hPa 暖平流显著，地面均压场，静风或微风的环境场。

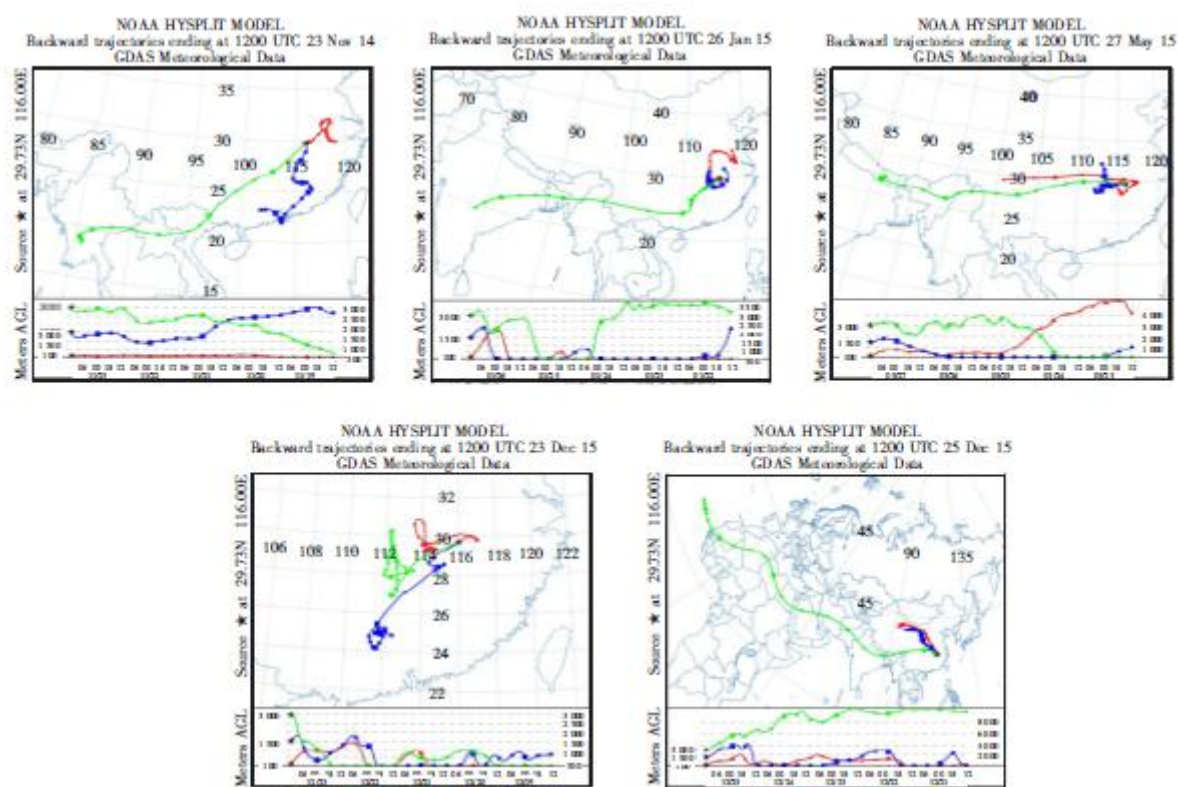


图 7 混合型污染天气不同高度气团后向轨迹模拟图

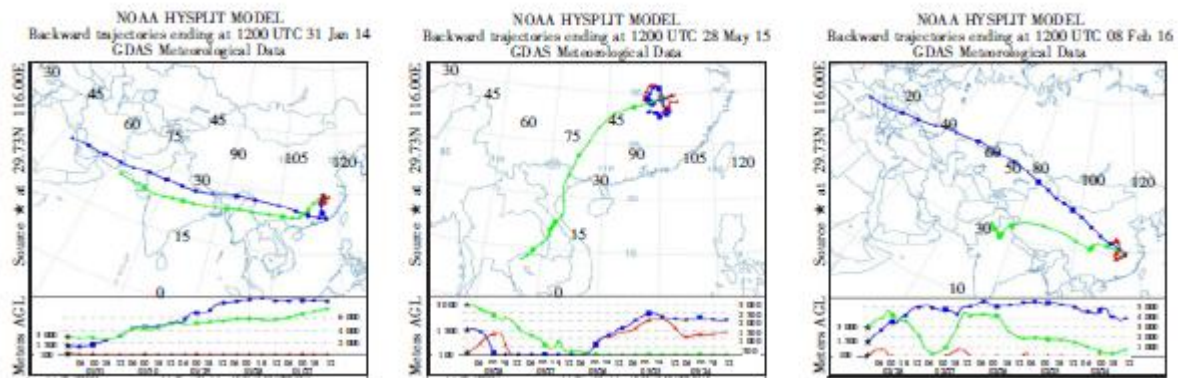


图 8 本地堆积型污染天气不同高度气团后向轨迹模拟图

根据污染源分为:外部输入型、混合型(外部输入加本地堆积型)和本地堆积型。接近一半的个例由于前期有弱冷空气扩散南下,携带污染物从华北、长三角输送到本地。混合型为本地积累和上游输送相叠加的污染天气,前期 48-72 h 有污染物的输送,配合稳定的天气形势,污染物在近 24 h 内堆积,形成的污染天气。本地污染型 3 个个例造成污染的主要原因并不是适宜的天气形势,而是人为活动春节大量燃放烟花爆竹、本地大范围农作物秸秆燃烧造成的。

参考文献:

- [1] 任婉侠, 薛冰, 张琳, 等. 中国特大型城市空气污染指数的时空变化[J]. 生态学杂志, 2013, 32 (10) :2788-2796.
- [2] 李小飞, 张明军, 王圣杰, 等. 中国空气污染指数变化特征及影响因素分析[J]. 环境科学, 2012, 33 (6) :1936-1943.
- [3] 环境保护部. H633—2012, 环境空气质量指数 (AQI) 技术规定 (试行) [S]. 中华人民共和国国家环境保护标准, 2012.
- [4] 环境保护部. 环境空气质量标准 (GB 3095-2012) [S]. 中华人民共和国国家环境保护标准.
- [5] 张强. 兰州市山谷地形和大气逆温层对污染物水平输送的影响[J]. 中国环境科学, 2001, 21 (3) :230-234.
- [6] 张强. 兰州市的大气污染物浓度与局地气候环境因子的关系[J]. 兰州大学学报, 2003, 39 (1) :99-106.
- [7] 隋珂珂, 王自发, 杨军, 等. 北京 PM10 持续污染及与常规气象要素的关系[J]. 环境科学研究, 2007, 20 (6) :77-82.
- [8] 邓利群, 钱骏, 廖瑞雪, 等. 2009 年 8-9 月成都市颗粒物污染及其与气象条件的关系[J]. 中国环境科学, 2012, 32 (8) :1433-1438.
- [9] 赵敬国, 王式功, 王嘉媛, 等. 兰州市空气污染与气象条件关系分析[J]. 兰州大学学报 (自然科学版), 2013, 49 (4) :491-503.
- [10] 蔡仁, 李霞, 赵克明, 等. 乌鲁木齐大气污染特征及气象条件的影响[J]. 环境科学与技术, 2014, 37 (6N) :40-48.
- [11] 符传博, 丹利, 唐家翔, 等. 1960-2013 年华南地区霾污染的时空变化及其与关键气候因子的关系[J]. 中国环境科学,

2016, 36 (5) :1313-1322.

[12] Elminir H K. Dependence of urban air pollutants on meteorology[J]. Science of the Total Environment, 2005, 350 (1/3) :225-237.

[13] 徐祥德, 丁国安, 周丽, 等. 北京城市冬季大气污染动力化学过程区域性三维结构特征[J]. 科学通报, 2003, 48 (5) :496-501.

[14] 张人禾, 李强, 张若楠. 2013 年 1 月中国东部持续性强雾霾天气产生的气象条件分析[J]. 中国科学:地球科学, 2014, 44 (1) :27-36.

[15] 黄毅, 刘春琼, 郑凯莉, 等. 典型灰霾期间 PM_{2.5} 演化的多重分形特征分析[J]. 环境科学与技术, 2019, 42 (2) :67-73.

[16] 张冲, 郎建垒, 程水源, 等. 2016 年京津冀地区红色预警时段 PM_{2.5} 污染特征与浓度控制效果[J/OL]. 环境科学, 2019 (8) :1-13.

[17] 杨超, 徐洁玲. 九江市 PM_{2.5} 时间变化特征及其与气象要素的关系[J]. 江西科学, 2016, 34 (6) :790-794.