

DOI:10.7524/j.issn.0254-6108.2014.02.008

2001—2012年哈尔滨市空气质量长期变化特征*

于大江** 吴艳玲 王鹏 宋庆利 代鑫

(龙凤山区大气本底站, 五常, 150200)

摘要 根据2001—2012年环保部发布的哈尔滨市城市空气质量日报数据及同期气象资料分析了哈尔滨市空气污染指数(API)的变化特征. 结果表明, 哈尔滨市空气污染呈现明显的北方季节变化特征, API冬、春季高, 夏、秋季低, 供暖期高于非供暖期. 哈尔滨市空气污染以可吸入颗粒物为首要污染物, 空气质量状况以良居多, 占总样本数的75.4%. 从年际变化来看, 空气质量有了一定的改善, 12年间空气污染指数呈显著下降的趋势. 哈尔滨市空气污染指数与风速呈显著正相关, 与降水量、气温、能见度呈显著负相关. 后向轨迹分析结果表明, 哈尔滨市出现中度以上污染时, 其气团来源体现了3种不同的特征.

关键词 空气污染指数(API), 哈尔滨空气质量, 变化趋势, 后向轨迹.

Characteristics of air quality and its relationship with meteorological factors from 2001 to 2012 in Harbin, China

YU Dajiang** WU Yanling WANG Peng SONG Qingli DAI Xin

(Longfengshan Regional Atmosphere Background Station, Wuchang, 150200, China)

Abstract: The characteristic of air quality and its influencing factors are analyzed based on the daily report data of urban air quality and meteorological data in Harbin from 2001 to 2012. The seasonal change of the air pollution index (API) in Harbin showed relatively high in winter and spring and relatively low in summer and fall. The values of API were obviously higher in heating season than that in non-heating season. In Harbin, the key pollutant was inhaleble particles. In 75.4% of the days, the air pollution levels showed good and moderate. During the 12 years, a significant decreasing trend of API indicates the improvement of air quality in Harbin. The variations of meteorological parameters can influence the level of air pollutants, which show a positive correlations between API and wind speed, and a negative correlations between API and rainfall, air temperature, and visibility. The pattern and origination of the middle-polluted air mass appeared in Harbin was analyzed by backward trajectory analysis.

Keywords: air pollution index (API), harbin air quality, trend, backward trajectory.

随着经济的快速发展、能源的大量消耗、人口不断的增加及城市化进程的加快, 城市污染问题越来越突出. 水体污染、土壤污染的事件频频出现, 原来不被特别关注的城市空气污染问题也随着PM_{2.5}事件及最近中国各地严重霾污染事件, 开始受到管理者与普通百姓的高度关注. 空气污染会伤害到人类、植物及动物的健康.

多年来, 中国以空气污染指数(Air pollution index, API)来反映环境空气质量状况, 涉及二氧化硫、二氧化氮和可吸入颗粒物等3项监测指标. API指数范围在0—500之间, 划分为五级来表征空气质量

2013年6月17日收稿.

* 国家自然科学基金青年科学基金项目(40805054)资助.

** 通讯联系人, E-mail: yu_dajiang@163.com

状况与空气污染的程 度. API 是一种较为普遍采用的评价空气质量的方式,国内已有研究主要集中在人口密集的华北地区^[1-2],国内重点经济区及重点城市^[3-7],以及东北地区的长春市^[8]和辽阳市^[9]. 本工作利用 API 等资料对哈尔滨市近 12 年来的空气污染趋势进行研究,以探讨哈尔滨市大气污染的变化趋势,为今后大气污染的研究和治理提供支持.

1 数据来源与分析方法

1.1 数据来源

API 数据取自中华人民共和国环境保护部网站(<http://datacenter.mep.gov.cn/>)公布的重点城市空气质量日报数据,涵盖 2001 年 1 月 1 日至 2012 年 12 月 31 日哈尔滨市逐日的 API、主要污染因子、空气质量级别和空气质量状况. 地面气象数据来源于中国气象科学共享数据网提供的中国地面气候资料月值数据集^[10],包括月平均气温、平均风速、降水量和能见度.

1.2 趋势分析及检验方法

使用 Daniel 趋势检验方法分析 API(或空气质量状况)的变化趋势及其统计学显著性特征. 公式为:

$$\gamma_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i}{N^3 - N} \quad (1)$$

式中, γ_s 为 Spearman 秩相关系数, N 为时间周期(年), d_i 为变量 X_i 和变量 Y_i 之差, X_i 对应各时间周期按浓度值从小到大排列的序号, Y_i 对应各时间周期按时间排列的序号. γ_s 为负,呈下降趋势,反之则为上升趋势.若 $|\gamma_s| \geq W_p$ (秩相关系数统计表中的临界值),表明变化趋势有显著意义.

2 结果与讨论

2.1 哈尔滨市空气质量等级的分布特征

表 1 是 2001—2012 年哈尔滨市不同 API 等级的日数分布,12 年里共有 4349 个有效样本. 哈尔滨市空气质量以 II 级良(3279 d)为主,共占样本总数的 75.4%,其次是 III 级轻微污染(603 d)和轻度污染(97 d),分别占 13.9%和 2.2%; I 级优日数为 332 d,占 7.6%,IV 和 V 级的日数为 38 d,占 0.9%.

表 1 2001—2012 年哈尔滨市空气质量不同 API 等级日数分布

Table 1 Distribution of days with different air pollution level in Harbin

	I 优	II 良	III1 轻微污染	III2 轻度污染	IV1 中度污染	IV2 中度重污染	V 重度污染	总日数
日数/d	332	3279	603	97	16	8	14	4349
比例/%	7.6	75.4	13.9	2.2	0.4	0.2	0.3	

表 2 是 2001 年哈尔滨市的空气污染状况与北方省会城市^[11-13]的比较. 2001 年,哈尔滨 II 级良日数占当年样本数的 76.2%,API 均值为 93,空气污染状况好于除长春外的其他 11 个城市. 这跟哈尔滨人均占地比例与其他城市相比较,且城市发展较慢,城市规模及其发展水平在国内相对落后有紧密的关系. 此外,黑龙江省森林覆盖率高,可有效地对空气污染起到净化作用.

表 2 2001 年哈尔滨与其他城市空气质量状况对比

Table 2 Comparison of the air pollution in Harbin and other cities

	哈尔滨	兰州	乌鲁木齐	石家庄	太原	西宁	天津	沈阳	北京	呼和浩特	银川	西安	长春
II 级比例/%	76.2	30.1	40.0	25.5	31.8	48.8	46.3	43.3	47.4	47.1	58.4	55.1	82.2
API 年均值	93	161	139	138	129	127	115	114	113	111	105	104	76

2.2 季节变化

图 1 是哈尔滨市 2001—2012 年的间 API 指数月均值和标准偏差(STD)变化. 由图 1 可见,哈尔滨

市 API 月变化特征明显,冬、春季节变化幅度大,总体成 W 型变化. API 月均值在 7 月份最低,1 月份最高. 哈尔滨 1 月份月平均气温最低,采暖用的燃煤量达到峰值,1 月份 API 月均值也达到最高值 108,空气质量最差. API 月均值从 1 月份开始逐渐降低,3—4 月份出现了小幅的波动,4 月份达到 84. API 值在春季的变化幅度最大,主要原因是春季风速和风向变化大,受不同来向的污染源影响的差异大,造成 API 值变化幅度大. 哈尔滨每年 45% 的降水量都集中在 7—8 月份^[14],夏季也是森林植被最为繁茂的时候,湿沉降有助于空气净化,而森林植被有助于抑制自然扬尘.

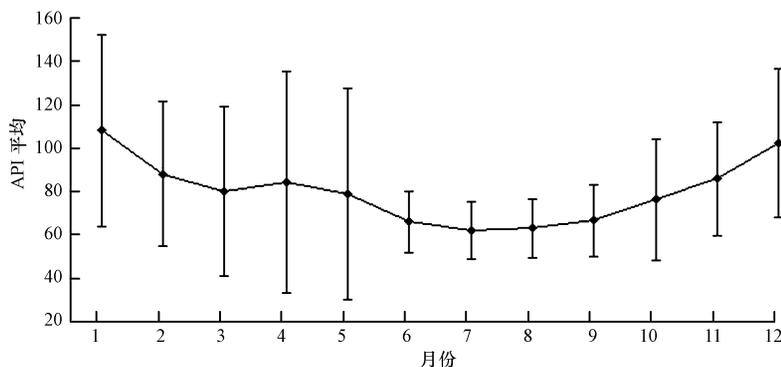


图 1 哈尔滨市 API 的月均值和标准偏差

Fig. 1 Monthly mean values with their standard deviations of API in Harbin

此外,除降雨天气外,哈尔滨夏季以晴好天气为主,空气质量相对稳定,空气污染指数 API 值在春季的变化幅度最大,其最主要原因是春季风速和风向变化大,受不同来向的污染源影响的差异造成 API 值变化幅度大. 夏季是一年之中空气质量最好的季节,空气污染以晴好为主,空气污染变化相对稳定所以标准差明显低于其他季节. 哈尔滨冬季寒冷且漫长,采暖期排放增加,再加上冬天逆温等稳定天气增多,不利于空气污染物的扩散^[15],所以采暖期 API 均值明显大于非采暖期.

2.3 年际变化

图 2 是 2001—2012 年哈尔滨市 API 年均值变化趋势图. 哈尔滨市 API 年均值总体呈下降趋势,其中 2001—2005 年下降幅度最大,2005 年后的变化趋于平稳,2012 年 API 年均值最低,为 70. 利用 Daniel 趋势检验^[16],计算得到秩相关系数 $r_s = -0.9650$,当 $n = 12$ 时,显著性水平为 0.01 时,秩相关系数临界值 $W_{120.01} = 0.727$. $|r_s| > W_{120.01}$ 表明哈尔滨市 API 年均变化趋势呈显著下降. 图 3 是 2001—2011 年哈尔滨市国民生产总值(GDP)、能源消耗(2005—2011 年)、市区人口和民用机动车保有量趋势图^[17]. 哈尔滨市 GDP、能源消耗、民用机动车保有量总体都呈上升趋势,但 API 总体呈下降趋势,这表明近 12 年来哈尔滨市在改善环境质量、解决区域性环境及污染减排方面取得了一定的成效,空气质量没有恶化.

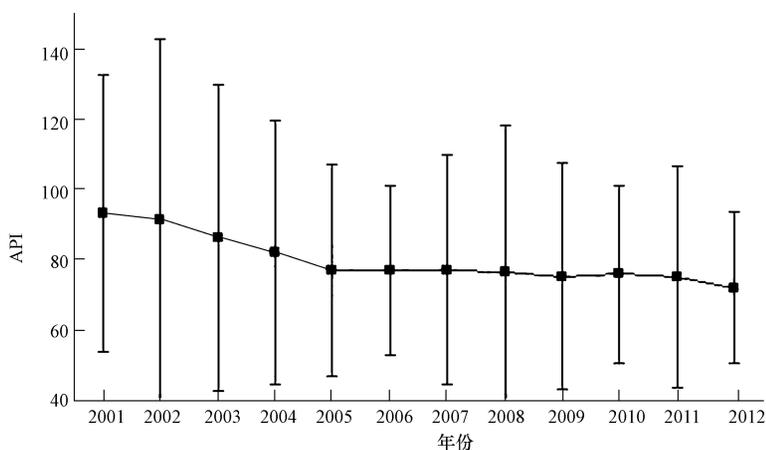


图 2 2001—2012 年哈尔滨市空气污染指数年际变化趋势图

Fig. 2 Trend of annually mean values of API in Harbin from 2001 to 2012

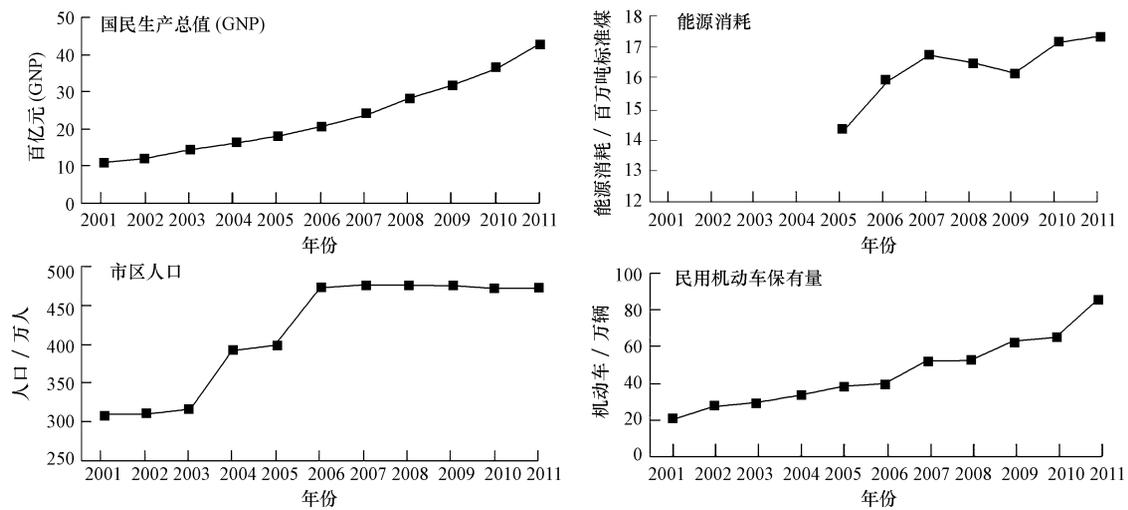


图3 2001—2011 年哈尔滨市国民生产总值、能源消耗、市区人口和民用车机动车保有量年际变化
 Fig.3 Variations of GNP, total energy consumption, population and vehicle fleet during 2001—2011 in Harbin

图4 给出了2001—2012 年哈尔滨市 API 在4 个季节、采暖季及非采暖季的年际变化,API 指数的变化趋势和秩相关系数列在表3. 春、夏、秋、冬四季 API 指数均为下降趋势,下降率分别为 28.3/(10 a)、4.7/(10 a)、3.6/(10 a) 和 31.1/(10 a). 春季和冬季通过 0.01 的显著性检验,夏季和秋季未通过检验. 若分为采暖期和非采暖期,则下降趋势都显著,分别通过 0.01 和 0.05 的显著性检验,下降率分别为 25.1/(10 a) 和 8.6/(10 a). 春季 API 有 1 a 在 100 以上,冬季 API 有 7 a 超过 100,采暖季有 3 a 超过 100,表明哈尔滨市空气污染程度在冬季最为严重. 冬、春季节年际变化幅度较大,尤其在 2005 至 2010 年期间;而夏、秋季,采暖季及非采暖季波动幅度较小.

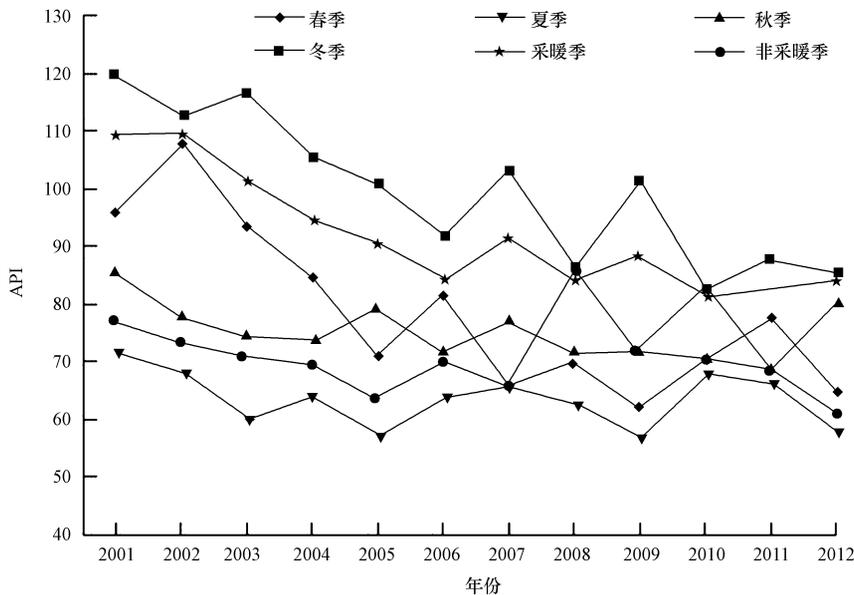


图4 2001—2012 年哈尔滨市 API 指数四季、采暖季及非采暖季的年际变化趋势图
 Fig.4 The annual trends of API in four seasons, heating season, and non-heating season during 2001—2012 in Harbin

表3 2001—2012 年哈尔滨市 API 指数变化趋势和相关系数

Table 3 Trend in annual of API and correlation coefficient in Harbin from 2001 to 2012

	春季	夏季	秋季	冬季	采暖期	非采暖期
变化趋势/(10 a)	-28.3	-4.7	-3.6	-31.1	-25.1	-8.6
秩相关系数(r_s)	-0.76**	-0.33	-0.25	-0.87**	-0.92**	-0.68*

注: * 通过 0.05 显著检验 ** 通过 0.01 显著检验.

图 5 是 2001—2012 年不同污染因子出现日数的年变化. 2001—2012 年哈尔滨空气质量为优的日数在 2001 年为 0 d, 2002 年为 7 d, 而后逐年增加, 在 2005 年达到 34 d, 2006 年下降为 23 d, 但从 2007 年又开始增加, 在 2009 年达到 52 d, 2010 年再次下降到 28 d, 2011 年为 30 d, 到 2012 年降为 24 d. 可吸入颗粒物作为首要污染物出现的日数在 2001—2012 年变化特征表现为 U 型, 2001 年为 365 d, 从 2002 年开始逐步下降, 2005 年为 328 d, 2006 年上升到 340 d, 2007 年降到最低为 296 d, 2008 年又开始上升达 304 d, 2009 年与 2008 年基本持平, 2012 年为 341 d. 在 12 年间, 二氧化硫作为首要污染物的日数只在 2007、2008、2009、和 2010 年出现, 分别为 3、10、10、4 d. 二氧化氮作为首要污染物出现的天数比二氧化硫更少, 只在 2004 至 2008 年出现, 其中 2008 年为 4 d, 2005 和 2007 年均为 3 d, 2004 和 2006 年均为 2 d.

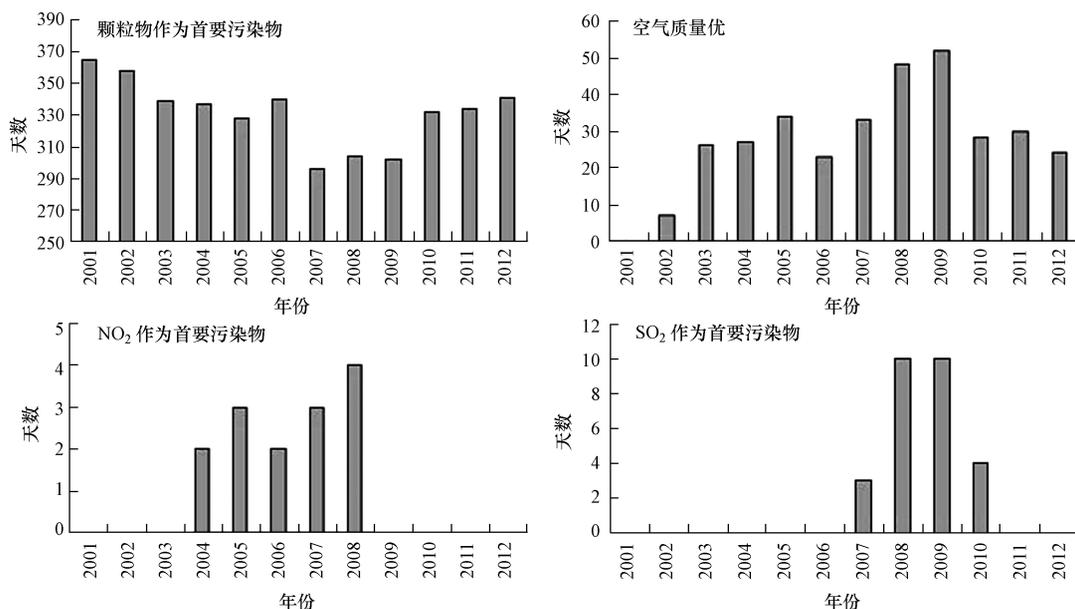


图 5 2001—2012 年不同污染因子出现天数的年变化

Fig. 5 Variations of days with the different major pollutants in Harbin from 2001 to 2012

2.4 气象条件的影响

哈尔滨空气污染指数与部分气象要素, 如风速、降水量、气温、水平能见度之间存在一定的相关关系. 图 6 分别绘出哈尔滨 API 与风速、降水量、气温、能见度的相互关系. 图 6 中的直线为最小二乘法拟合. 哈尔滨 API 与风速正相关 ($n = 142, P < 0.05$), 这主要有以下几个原因: (1) 哈尔滨市是典型的季风性气候, 夏季平均降水量为 313 mm, 占全年降水量的 63%, 其他季节空气湿度相对干燥, 容易造成颗粒物空气污染; (2) 哈尔滨的城市绿化率很低, 当风速增加时地面的灰尘被带入到大气中; (3) 近 10 年哈尔滨市内的建设活动很多, 在风速的影响下增加了空气的污染. 哈尔滨 API 与降水量呈现负相关 ($n = 142, P < 0.001$). 降水是降低空气污染程度的重要途径, 降水有助于清除颗粒物的污染. 哈尔滨 API 与气温呈负相关 ($n = 142, P < 0.001$), 在气温低的冬季, API 受采暖燃烧排放的影响大. 哈尔滨 API 与水平能见度呈负相关 ($n = 142, P < 0.001$). 水平能见度与雾、霾、烟、降水 (雨、雪等) 等天气现象有关. 其中降水现象能够净化空气降低空气污染指数, 但其影响能见度的时间较短, 而雾、霾、烟幕等天气现象成为影响水平能见度与 API 关系的主要因素, 霾、烟幕等天气现象出现时本身就是一种空气污染, 且出现这种天气现象时大气较为稳定, 不利于空气污染物的扩散.

2.5 后向轨迹分析

2001—2012 年 12 年间哈尔滨市共发生中度以上污染 ($API > 200$) 的日数共 38 d, 春季的日数为 16 d, 占全部的 42.1%, 冬季的日数为 20 d, 占全部的 52.6%, 秋季的日数为 2 d, 占全部的 5.3%. 因此, 哈尔滨市中度以上污染主要出现在冬、春季, 占 94.7%. 冬季取暖燃煤量增加, 且冬天易出现逆温天气, 不利于空气污染物的稀释、扩散. 春季经常发生的沙尘天气导致 API 显著增大, 哈尔滨市沙尘天气的

沙尘主要来源于西北部内蒙和外蒙地区,而沙尘的远距离输送主要取决于大气的平流运动。

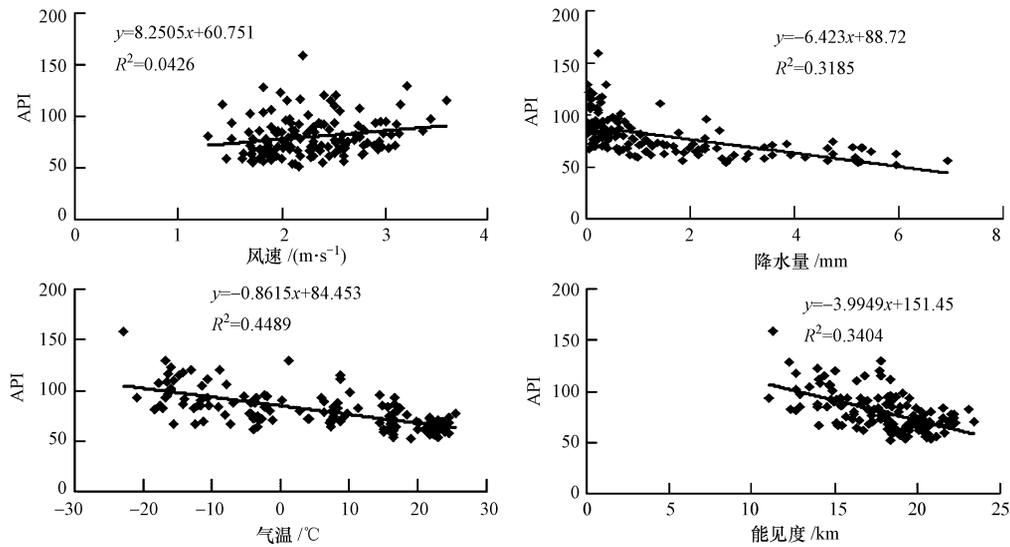


图 6 哈尔滨空气污染指数 API 与风速、降水量、气温、能见度的相互关系

Fig. 6 Correlations between API and wind speed, rainfall, air temperature and visibility in Harbin

根据 2001—2012 年发生的总共 38 次中度以上污染天气,利用美国国家海洋和大气管理局 (NOAA) 的 HYSPLIT 4 拉格朗日后向轨迹模式计算^[18],采用美国国家环境预测中心 (NCEP) 全球资料同化系统 (GDAS) 数据 (时间和水平分辨率分别是 6 h 和 1×1 经纬度) 计算了距地 500 m 高度 72 h 气流的 backward 轨迹。图 7 给出了具有代表性的 2005 年 1 月 18 日 API 为 246 (a)、2008 年 5 月 28 日 API 为 500 (b)、和 2009 年 1 月 7 日 API 为 295 (c) 的气团轨迹图。哈尔滨市中度以上污染的气流主要有 3 种形态:(1) 以 2005 年 1 月 18 日的后向轨迹所代表的东北地区局地污染混合后的气团,此路气团来源于哈尔滨西北部大庆、绥化等城市污染气流绕行到哈尔滨西南部的吉林省境内,容易给城市带来较重的污染;此类气团多发生在冬季。(2) 2008 年 5 月 28 日源自贝加尔湖低层气团,在移动过程中携带大量沙尘粒子东南方向移动,经由蒙古国东部、内蒙古东部、辽宁而影响黑龙江省西南部,将沿途沙尘源地的沙尘向下游输送,造成了哈尔滨市的沙尘天气;此类气团大都发生在春季,且带来的污染较重。(3) 2009 年 1 月 7 日所代表的来自俄罗斯东部地区的气团,气团自俄罗斯东部内陆地区途经黑龙江大部地区,由于此路气团虽然经过很多植被较好森林区域,但接近哈尔滨时,气流流动缓慢,容易造成局地污染物的累积。

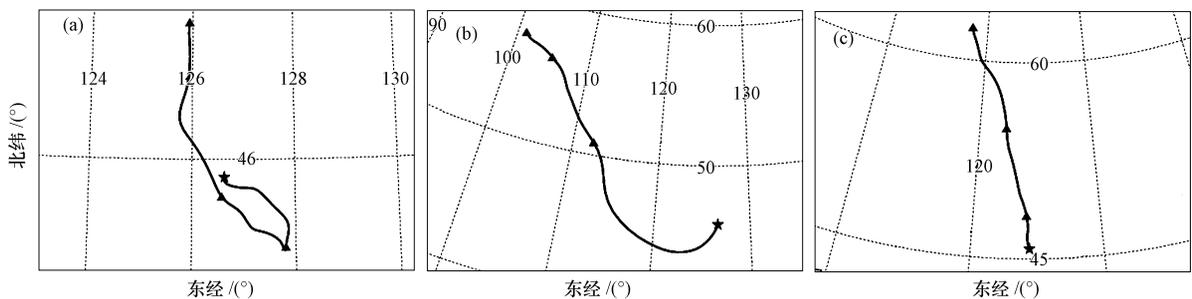


图 7 典型气团后向轨迹

(a:2005 年 1 月 18 日, b:2008 年 5 月 28 日, c:2009 年 1 月 7 日)

Fig. 7 Typical backward trajectories on January 18, 2005 (a), May 28, 2008 (b), and January 7, 2009 (c)

3 结论

利用 2001—2012 年哈尔滨市空气质量数据并结合同期的气象资料,对哈尔滨市的空气污染指数分

布、季节和年际变化特征及气象影响因素对 API 的影响进行了分析,得出以下结论:

(1)哈尔滨市空气质量好于其他大部分省会级城市.哈尔滨市空气质量以Ⅱ级良为主,占75.4%,其次是Ⅲ级轻微污染和轻度污染,分别占总样本数的13.9%和2.2%.

(2)哈尔滨市空气污染指数冬、春季高,夏、秋季低,首要污染物为可吸入颗粒物.这反映了北方典型的取暖型城市污染的特点.

(3)哈尔滨空气污染指数年际变化呈逐年下降的趋势,冬、春季节 API 指数下降显著,分别为 $-31.1/(10\text{ a})$ 和 $-28.3/(10\text{ a})$.

(4)哈尔滨空气污染指数 API 与风速呈显著正相关,与降水量、气温、水平能见度呈显著负相关.

(5)哈尔滨市 2001—2012 年间发生中度以上污染共 38 次,其中冬、春季占 94.7%.根据气团轨迹分析,哈尔滨市中度以上污染原因有 3 个:1)东北地区局地区域污染气团的混合;2)来自新西伯利亚,途经贝加尔湖、蒙古国中东部、内蒙古东部地区带有沙尘的气团;3)城市地区局地污染物的累积.

参 考 文 献

- [1] 张菊,苗鸿,欧阳志云,等.近 20 年北京市城近郊区环境空气质量变化及其影响因素分析[J].环境科学学报,2006,26(11):1886-1892
- [2] 李文杰,张时煌,高庆先,等.京津石三市空气污染指数(API)的时空分布特征及其与气象要素的关系[J].资源科学,2012,34(8):1392-1400
- [3] 孙丹,杜吴鹏,高庆先,等.2001 年至 2010 年中国三大城市群中几个典型城市的 API 变化特征[J].资源科学,2012,34(8):1401-1407
- [4] 孙炳彦,刘连有,郭兰兰,等.我国南北方城市空气环境质量对比分析[J].环境保护科学,2008,34(4):1-4
- [5] 向敏.我国重点城市大气污染时空分布特征分析[J].广州化工,2011,39(21):127-130
- [6] 石春娥,翟武全,杨军,等.长江三角洲地区四省会城市 PM10 污染特征[J].高原气象,2008,27(2):408-414
- [7] 任阵海,万本太,苏福庆,等.当前我国大气环境质量的几个特征[J].环境科学研究,2004,17(1):1-6
- [8] 张孟,林琳,张子宜,等.长春市空气质量污染特征分析与防治对策[J].气象环境学报,2009,25(3):57-61
- [9] 赵娜,贾秀丽.近 10 年辽阳市大气环境质量及污染趋势分析[J].气象与环境学报,2007,23(3):50-53
- [10] 中国气象科学共享数据网提供的中国地面气候资料月值数据集 <http://datacenter.mep.gov.cn/>[EB/OL].[2013-03-01]
- [11] 杨浩,钟玉婷,何清,等.乌鲁木齐和克拉玛依市 2008 年大气质量状况对比分析[J].沙漠与绿洲气象,2011,5(2):40-45
- [12] 刘新春,钟玉婷,何清,等.乌鲁木齐及周边城市空气质量变化特征及影响因素分析[J].沙漠与绿洲气象,2010,4(4):12-17
- [13] 吴新敏,孙建国.乌鲁木齐市与北方四城市的空气污染对比及原因分析[J].干旱环境监测,2002,16(4):218-222
- [14] 肖同玉,任红玉,张兴文,等.哈尔滨冬季逆温规律分析及预报[J].东北农业大学学报,2001,32(2):105-110
- [15] 张雪梅,陈莉,姬菊枝,等.1881—2010 年哈尔滨市气候变化及其影响[J].气象与环境学报,2011,27(5):13-20
- [16] 魏毅.乌鲁木齐市大气环境质量变化趋势分析[J].环境保护科学,2011,32(6):4-7
- [17] 2002—2012 年哈尔滨市统计年鉴,中国统计出版社,2013
- [18] Draxler R R. Description of the HYSPLIT4 Modeling System[R]. NOAA Technical Memorandum,24,1997,Ref Type Report