

输送对区域本底站痕量气体浓度的影响^{*}

徐晓斌 刘希文 林伟立

(中国气象科学研究院 中国气象局大气成分观测与服务中心 中国气象局大气化学重点开放实验室,北京 100081)

摘 要

利用 HYSPLIT4 轨迹模式计算了临安、上甸子和龙凤山区域大气本底站 2005 年 7 月—2007 年 6 月的气块后向轨迹,并通过聚类分析取得了各站点平均轨迹的空间分布和季节变化等结果。将各站点同期观测到的 O_3 , SO_2 , NO_x 和 CO 浓度通过滑动平均法去除季节变化,取得其短期变化信号,并将轨迹与这种短期变化信号对应,比较真实地反映了排放源空间分布和轨迹移动特性对污染物浓度的影响。研究表明:移动高度高、速度快的气块不利于污染物积累,对站点污染物起清除作用。但个别来自高空的轨迹会将富含 O_3 的气块输送到地面,从而使站点 O_3 浓度升高。各站均有大约 50%~60% 的轨迹输送污染气块,导致站点气体浓度升高。临安站的污染主要来自 S—SW 和 N—SE 扇区;上甸子站的污染最主要来自 SE—SW 扇区,其次来自 N—SE 和 W—N 扇区;龙凤山的污染主要来自于 S—WSW 扇区。

关键词: 气块轨迹; 输送; 痕量气体; 区域本底站

引 言

伴随着我国经济高速发展、工业化进程的推进和人民生活水平的改善,大气环境质量不断恶化,而且区域经济的发展使大气污染呈现明显的区域化特征。区域大气成分的显著扰动将会影响天气、气候,同时带来一系列的生态与环境问题。因此,获取反映自然因素和人类活动导致的大气成分变化规律已成为一项重要的基础性工作,可为区域大气环境变化研究、环境外交和可持续发展政策制定等提供科学数据。早在 20 世纪 80 年代,我国就着手建立自己的大气本底观测站。目前在我国东部已建成临安、上甸子和龙凤山 3 个区域大气本底站,并陆续开展多项参数的长期观测。

大气中主要的气态污染物,如地面 O_3 , SO_2 , NO_x 和 CO 等,是重要的反应性气体,与气候、生态和健康等密切相关,是 WMO/GAW (World Meteorological Organization/Global Atmosphere Watch) 推荐的优先观测的反应性气体,也是我国首要气态污染物。观测分析各反应性气体的变化特征,有助于局地大气化学反应研究,并可认识不同区域污染状况与特征。在本

底观测数据解释方面,一些工作结合局地气象要素变化研究了各区域站点观测的地面 O_3 , SO_2 , NO_x 和 CO 等污染物变化特征^[1-5]。针对临安站点个别时段的 SO_2 数据,杨东贞等^[6]采用轨迹方法初步表明了上海方向气流对临安污染的作用,颜鹏等^[7]通过轨迹分析与扩散模式相结合的方法,揭示了临安高浓度 SO_2 主要受其北和东北方向工业城市排放影响的事实。轨迹模式作为一种直观了解气块运动路径的工具非常有助于大气污染物输送研究,并得到广泛应用^[8-13]。例如,黄健等^[9]利用轨迹模式较好地模拟出珠海地面 SO_2 的浓度水平和变化趋势,胡泳涛等^[10]应用轨迹模式方法成功模拟了北京燕山石化炼油厂地区的 O_3 浓度日变化情况。随着我国本底观测工作的不断深入,迫切需要各站点大气输送特征方面的系统信息。本文主要通过分析影响临安 ($30^{\circ}18'N$, $119^{\circ}44'E$, 海拔 139 m)、上甸子 ($40^{\circ}39'N$, $117^{\circ}07'E$, 海拔 293.9 m) 和龙凤山 ($44^{\circ}44'N$, $127^{\circ}36'E$, 海拔 330.5 m) 3 个站点的气块特征,来认识各反应性气体随气块特性及输送路径的变化情况。本文对各站点较长时间的气块轨迹进行统计分析,得出具有一定气候代表性的统计结果,

* 国家重点基础研究发展计划(2005CB422202)、国家科技基础性工作专项资金项目(2005DKA31700-04)和公益性行业(气象)科研专项(GYHY(QX)200706005)共同资助。

2008-10-28 收到,2009-07-21 收到再改稿。

并与同期气体浓度对应起来开展分析和解释,更好地认识人类活动以及气象条件对大气环境的影响。

1 研究方法

1.1 模式与数据

本文使用了美国 NOAA/ARL(National Oceanic and Atmospheric Administration/Air Resources Laboratory)开发的混合单粒子拉格朗日积分传输、扩散模式 HYSPLIT (Hybrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory), V4.8。模式详细介绍见文献[14-15]。模式计算所用气象资料为美国国家环境预报中心(NCEP, National Centers for Environmental Prediction)2004—2007 年全球再分析资料。垂直运动的计算方法采用模式所默认的气象模式垂直运动场,采用地形追随坐标系。反应性气体 O_3 , SO_2 , NO_x 和 CO 浓度观测值来自临安、上甸子和龙凤山 3 个区域大气本底站观测的站点地面浓度数据,时间范围为 2005 年 7 月—2007 年 6 月。这些数据已根据日常零/跨检查结果和定期多点校准结果进行了订正,订正方法参见文献[16]。

1.2 方法与步骤

首先利用 HYSPLIT4 模式得出各站的气块后向轨迹。具体步骤是:首先通过给定站点的经纬度以及轨迹终点距站点地面高度(均选定 100 m),轨迹运动时间设定为 72 h,选择所需时段的 NCEP 再分析格点气象数据,然后计算出逐日 4 个时次 02:00(北京时,下同),08:00,14:00 和 20:00 到达站点的气块后向轨迹。利用 HYSPLIT4 提供的聚类分析工具,将得到的单个轨迹按照空间相似性程度大小聚类,得到具有代表性的轨迹簇。利用轨迹簇的信息,统计每簇轨迹各月份出现频次、全年总频次及所占比例、轨迹平均高度等,并绘制各簇平均轨迹随时间经过的地理区域以及每簇轨迹占总轨迹数的比例。需要说明的是,轨迹计算与聚类结果同所选择的轨迹终点高度和轨迹运动时间关系密切。本文综合考虑了反应性气体的滞留时间和轨迹计算误差,将轨迹运动时间选为 72 h。本文涉及的本底站都与周边地形有一定相对高度,气体进样口一般距地 5~10 m,同时考虑到站点周边可能存在一些模式中未考虑的建筑物等粗糙元素的影响,故将轨迹终点高度确定为 100 m,该高度处于模式所用气象场垂直分层的最低层。

完成上述轨迹计算与聚类分析工作后,将各站点的 CO , O_3 , SO_2 和 NO_x 观测数据与到达站点轨迹进行时间对应,进而求得不同轨迹簇所对应的气体平均浓度。此外,对气体数据进行再处理,通过滑动平均法取得观测数据中的长期变化趋势,并从时间序列中扣除长期变化,取得短期变化信号。具体做法是,先以 30 d 步长对各气体小时平均值数据进行滑动平均,取得 30 d 以上时间尺度的长期变化趋势,然后分别计算每日 01:00—03:00, 07:00—09:00, 13:00—15:00 和 19:00—21:00 的滑动平均之前的平均值,以上时段的平均值与对应滑动平均值的差值分别代表 02:00, 08:00, 14:00 和 20:00 的短期变化值。这样处理的数据与轨迹对应的 4 个时次相结合,并按各类轨迹进行统计计算,就可得到代表某类轨迹对污染物浓度短期变化贡献的数据。

2 结果分析

2.1 站点轨迹类型与季节分布特征

2.1.1 临安

本文重点对临安站轨迹的分布特征进行详细讨论,对其他两站,在给出结果的基础上只做简要讨论。图 1a 所示是临安站地面 100 m 高度 72 h 后向轨迹聚类结果。表 1 给出了该站各轨迹簇在各月份出现的频次、占全年轨迹总数的百分比以及轨迹平均移动高度。图 1a 和表 1 中各轨迹簇是基于 2005 年 7 月—2007 年 6 月共 2 年的统计结果。根据图 1a,可把轨迹分为 3 个扇区来讨论,分别为 S—SW, NE—SE 和 NW—NE 扇区。位于 S—SW 扇区的轨迹 1 和 2 主要受夏季风影响,其前期在海洋上空低高度移动,然后途经福建厦门、福州等地,穿越武夷山脉,经临安南部丘陵地区,最后抵达临安。由于这些轨迹源头在海洋上空,陆地上多经过森林地区,加之夏季大气垂直扩散强,对污染物输送相对较弱。同样来自该扇区的轨迹 3 占有所有轨迹的比例为 16%,这簇轨迹受临安附近局地环流的影响,气流移速缓慢,平均移动高度为 176 m,且临安县城就在西南方向约 10 km 处,城镇小工业及居民生活排放势必会对污染有一定贡献^[6]。位于 NE—SE 扇区的轨迹 4 所占轨迹比例为 5%,平均移动高度为 104 m,气块起源于日本以南的太平洋边界层,比较干净,但在途经临安站东面的杭州等大城市时可受到一定程度污染。位于该扇区的还有轨迹 5 和 10,前者代表

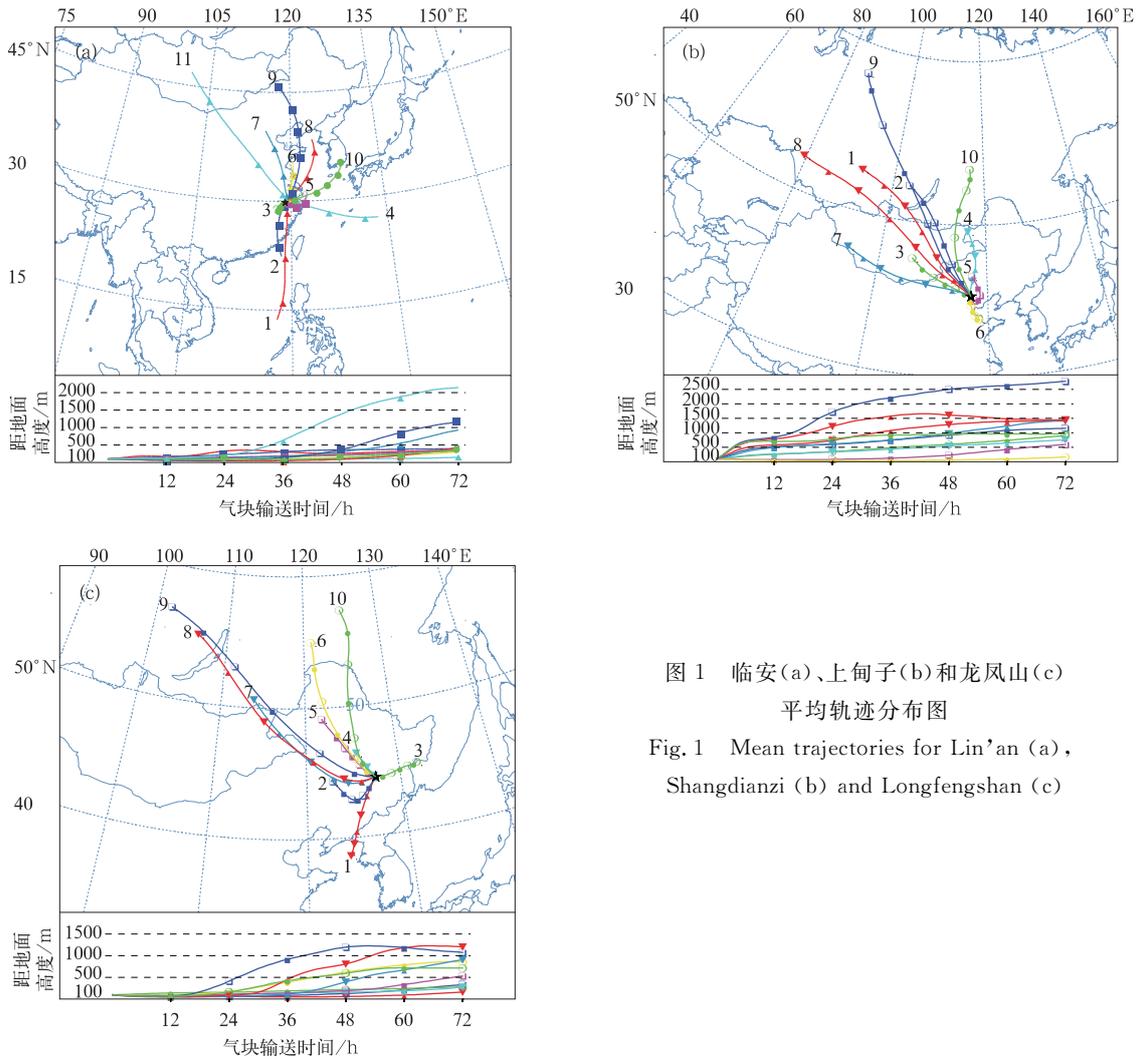


图1 临安(a)、上甸子(b)和龙凤山(c)平均轨迹分布图
Fig. 1 Mean trajectories for Lin'an (a), Shangdianzi (b) and Longfengshan (c)

表1 临安站各簇轨迹逐月统计结果

Table 1 Monthly statistics of different clusters of trajectories for Lin'an

轨迹	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计	比例/%	轨迹高度/m
1	0	0	0	0	0	9	65	17	0	0	0	0	91	3	267
2	0	2	6	16	15	12	91	25	9	0	0	0	176	6	277
3	23	39	48	49	60	66	37	45	8	5	49	24	453	16	176
4	0	0	5	0	22	33	24	54	16	0	0	0	154	5	104
5	13	28	45	52	42	17	22	33	14	39	10	9	324	11	199
6	84	50	47	64	48	11	4	45	87	70	67	82	659	23	136
7	34	15	16	12	14	0	0	13	12	17	27	39	199	7	284
8	28	36	22	22	11	3	4	11	34	62	44	22	299	10	111
9	28	39	33	13	10	0	0	0	19	33	32	39	246	9	343
10	4	10	26	12	14	49	0	5	41	22	6	3	192	7	137
11	14	5	0	0	8	0	0	0	0	0	5	30	62	2	880

起源于上海东面近海海域、途经杭州的慢速移动轨迹,占轨迹比例为11%,后者代表起源于朝鲜半岛南面海洋、途经上海的快速移动气块,占轨迹比例为7%。轨迹5由于受到上海和杭州两大城市影响,且移动缓慢,人为污染贡献可能很大。轨迹10

虽然起源海洋且移动速度很快,但是其平均移动高度只有137 m,在途经上海、杭州时难免受到人为排放影响。来自NW—NE扇区的轨迹有6,7,8,9和11,所占轨迹比例分别为23%,7%,10%,9%和2%。这些类型轨迹中,6,8,9所代表的气块在进入

华东区域前都经过黄海边界层输送,登陆前受人为排放影响较小,但在登陆后途经长江三角洲污染严重的区域,因此人为污染的影响均不可忽视,尤其是轨迹 6 移动速度缓慢,气块受影响更大。来自该扇区的轨迹 7 和 11 可将北方地区的污染物很快输送到临安,同时也难免受到位于临安东北至西北面的苏州、无锡、常州和南京等大中城市的影响。

根据表 1 的统计结果,临安站的轨迹 1, 2 和 4 主要出现在温暖的月份,尤其是 6—8 月。这与它们属于海洋性气块输送,主要与夏季副热带高压的建立和演变关系密切。轨迹 3 和 5 出现于各月,除了秋冬季个别月份偏少外,其他月份分布较为均匀。这两类轨迹代表受弱气压场控制时的偏南和偏东气流的影响,易造成污染物积累。轨迹 6~11 虽然在各季节都可能出现,但主要集中于寒冷季节。这些轨迹多伴随着北方冷空气南下引起的输送,除了轨迹 6 因移动速度慢、高度低易引起污染之外,其他不利于污染物积累。

2.1.2 上甸子

图 1b 给出了上甸子站地面 100 m 高度 2005—2007 年的后向轨迹聚类结果。各簇轨迹在各月份出现的频次、占轨迹总数的百分比和轨迹平均移动高度等列于表 2。从图 1b 可见,上甸子主要受到来

自 W—N, N—SE 和 SE—SW 3 个扇区的气流影响。来自 W—N 扇区的气流主要受西伯利亚和蒙古高压的控制,大多起源于俄罗斯中部地区(如轨迹 1, 2, 8, 9 和 10),少数起源于蒙古(如轨迹 3 和 7)。除轨迹 3 之外,这些轨迹大多移动高度较高、速度较快,故不利于污染物积累。轨迹 3 是 W—N 扇区移动最慢、高度最低的轨迹,且经过我国重要煤炭和电力生产基地,因此有利于污染物累积并向上甸子输送。轨迹 7 虽然移动高度和速度都对污染物积累不利,但是其后期经过区域几乎与轨迹 3 相同,受污染的可能性较大。来自 N—SE 扇区的轨迹 4 和 5 全年出现比例分别为 11% 和 12%,均比较显著,季节分布也较为均匀(表 2)。轨迹 4 的移动高度较高、速度较快,且经过的是北京以北人烟稀少的区域,因此对应气块较为清洁;轨迹 5 的移动高度较低、速度较慢,且在到达上甸子前经过了天津、唐山等污染地区,因此对污染积累和输送起重要作用。来自 SE—SW 扇区的轨迹 6 占全年轨迹总数的 26%,各月都能出现,但主要集中在 6—9 月。这类轨迹平均移动高度最低,只有 183 m,移动速度也最慢,且源自山东中部工业区,穿越污染严重的华北平原北部,尤其是北京、天津等城市地区,对上甸子污染物浓度贡献势必会很大。

表 2 上甸子站各簇轨迹逐月统计结果

Table 2 Monthly statistics of different clusters of trajectories for Shangdianzi

轨迹	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计	比例/%	轨迹高度/m
1	34	36	39	33	33	8	1	0	13	20	33	59	309	11	1198
2	10	22	25	18	25	2	15	7	13	21	9	38	205	7	952
3	73	56	56	20	21	30	18	24	40	72	76	62	548	19	745
4	17	3	15	60	32	26	38	30	23	33	12	15	304	11	625
5	24	22	18	32	37	29	39	60	34	25	13	12	345	12	462
6	13	31	45	30	69	126	130	126	111	51	17	10	759	26	183
7	40	24	11	7	1	4	0	0	2	17	43	28	177	6	1183
8	4	19	16	16	20	2	0	0	1	7	24	7	116	4	1385
9	4	6	4	6	4	2	0	0	0	2	10	2	40	1	2223
10	9	5	19	18	6	11	7	1	3	0	3	15	97	3	905

2.1.3 龙凤山

图 1c 给出了龙凤山站距地面 100 m 高度 2005—2007 年的后向轨迹聚类结果。各簇轨迹在不同月份出现的频次、占轨迹总数的百分比和轨迹平均移动高度等列于表 3。由图 1c 和表 3 可见,到达龙凤山的轨迹可划分为 10 簇。这些轨迹所代表的气块大致来自 S—WSW, WSW—N 以及 NE—E 3 个扇区。位于 S—WSW 扇区的轨迹 1 和 2 所对应气块的平均移动高度分别为 76 m 和 123 m,两者

的贡献分别排在第 1 和第 2 位,分别占 18% 和 15%。轨迹 1 对应气块从渤海出发,穿越长白山脉和丹东、沈阳、抚顺、吉林等城市,到达龙凤山站,可携带上述城市的污染物。轨迹 2 对应气块起源于大兴安岭东侧区域,向东南方向移动至长春、吉林市等地,随后向东北方向移动到达龙凤山,对污染物也有明显输送。位于 WSW—N 扇区的轨迹中,除了轨迹 4 和 5 起源于哈尔滨西侧及东北大兴安岭地区、途经哈尔滨到达龙凤山之外,其他轨迹(6~10)均起

源于俄罗斯,其移动高度高、速度快,对污染贡献不大。位于NE—E扇区的轨迹3源自完达山南部兴凯湖地区,越过老爷岭、张广才岭及牡丹江,到达龙

凤山,由于所经区域多为人烟稀少的山区、森林自然保护区,相应气块受人为污染影响较低。

表3 龙凤山站各簇轨迹逐月统计结果

Table 3 Monthly statistics of different clusters of trajectories for Longfengshan

轨迹	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	合计	比例/%	轨迹高度/m
1	10	26	22	30	53	98	94	76	31	31	36	16	523	18	76
2	45	25	20	20	31	34	36	37	56	57	18	37	416	15	123
3	4	0	3	39	67	22	45	46	33	13	0	0	272	9	189
4	27	25	28	23	17	14	37	46	45	25	6	7	300	10	144
5	28	30	29	24	18	9	24	28	42	35	23	49	339	12	190
6	26	28	42	32	13	8	3	12	18	13	28	45	268	9	419
7	50	35	35	25	11	3	7	3	3	18	51	36	277	10	290
8	16	17	6	6	15	4	0	0	6	10	45	18	143	5	532
9	13	30	18	18	17	2	0	0	0	29	29	7	163	6	722
10	13	30	18	18	17	2	0	0	0	29	29	7	163	6	391

2.2 与轨迹对应的气体浓度变化特征

2.2.1 临安

根据轨迹计算与聚类结果,结合地面观测的痕量气体数据,可统计出各站每一簇轨迹对应的各种痕量气体平均浓度。表4给出的是临安站2005年7月—2007年6月的统计结果。由此表可见,无论是一次污染物(SO_2 , NO_x , CO)还是二次污染物(O_3),轨迹1所对应的浓度都是最低的。这意味着临安站南部广大区域总体最清洁。对 SO_2 而言,轨迹11对应的浓度是最高的(19.3×10^{-9})。考虑到轨迹11主要在冬季出现,而且移动速度非常快,很

可能高浓度的 SO_2 主要是从北方,尤其是华北地区快速输送到临安。轨迹6对应的 SO_2 浓度(19.2×10^{-9})几乎与轨迹11相当,而且其对应的 NO_x 和 CO 浓度都是最高的,分别为 15.9×10^{-9} 和 811×10^{-9} ,因此,这簇轨迹污染最严重。其他污染较重的是轨迹3和5,两者不但 CO 浓度仅次于轨迹6,达到 744×10^{-9} ,且 O_3 浓度分别为最高(40.1×10^{-9})和次高(39.8×10^{-9})。这与两类轨迹经过区域的污染程度以及出现时的天气有利于 O_3 生成和积累有关。

表4 临安站各簇轨迹对应痕量气体平均浓度(单位: $\times 10^{-9}$)

Table 4 Mean trace gas concentrations corresponding to different clusters of trajectories for Lin'an (unit: $\times 10^{-9}$)

气体	轨迹1	轨迹2	轨迹3	轨迹4	轨迹5	轨迹6	轨迹7	轨迹8	轨迹9	轨迹10	轨迹11
SO_2	8.5	10.9	15.4	10.2	16.5	19.2	18.2	13.8	12.5	13.1	19.3
NO_x	6.3	7.7	11.6	11.8	13.9	15.9	13.6	15.2	12.1	15.5	9.6
CO	506	576	744	510	744	811	655	679	593	647	510
O_3	23.9	35.1	40.1	27.6	39.8	33.2	31.4	28.2	25.6	32.1	30.4

由于反应性气体浓度水平除了随气流来向(上游污染源分布与强度)变化外,还存在较大的季节变化,而一些类型的轨迹又主要集中于某些季节(如表1~3所示)。因此,表4这样简单的对应取得的结果既包含着空间信息(即气流经过的不同区域的源强差异),也包含着时间信息(即污染物浓度随季节的变化),其长期平均结果可理解为特定来源气块对应的地面污染物浓度的平均混合状况(背景浓度水平),但不便于解释不同气块来源对站点污染物浓度水平的相对影响程度。为此,采用1.2节描述的数据再处理方法,取得了图2所示的各轨迹对应污染

物浓度相对于各污染物30d滑动平均趋势的统计结果。在排除了污染物浓度季节变化影响后,各轨迹对应的相对浓度水平主要反映排放源空间分布和轨迹移动特性对污染物浓度的影响。根据图2结果,临安的轨迹11对应的一次污染物 NO_x 和 CO 的水平最低, SO_2 的水平也较低,而二次污染物 O_3 水平却最高,这与表4结果有本质差别。这一结果说明,虽然轨迹11经过了污染很严重的华北区域^[17],但由于其移动高度最高、速度最快,在扣除了污染物浓度季节变化后,它对临安站一次污染物起到了清除作用。至于轨迹11对应 O_3 相对值最高

的现象可能与其携带的高空气块 O_3 含量较高有关。根据北京地区和临安地区的臭氧探空观测结果^[18-20],边界层上部及以上高度处的 O_3 浓度常常显著高于下部,而轨迹 11 在这一较高 O_3 浓度区域穿过的时间最长,可将高浓度 O_3 输送到地面。如图 2 显示,轨迹 6 对应的 SO_2 和 CO 值最高,可见轨迹 6 仍然是这两种气体最重要的输送路径。由于该轨迹的比例也最高(表 1),因此,临安以北的长江三

角洲地区对临安观测到的 SO_2 和 CO 水平总体影响最大。对于 NO_x 来讲,轨迹 10 对应的值最高,其次是轨迹 5。由于轨迹 10 和 5 均可输送上海、杭州及周边城市污染物到临安,而当前城市大气污染主要受机动车排放影响,因此,高 NO_x 值对应于这两类轨迹是易于理解的。从图 2 还可看出,轨迹 3 和 5 对于临安 SO_2 ,CO 以及 O_3 污染程度加重的影响也不可忽视。

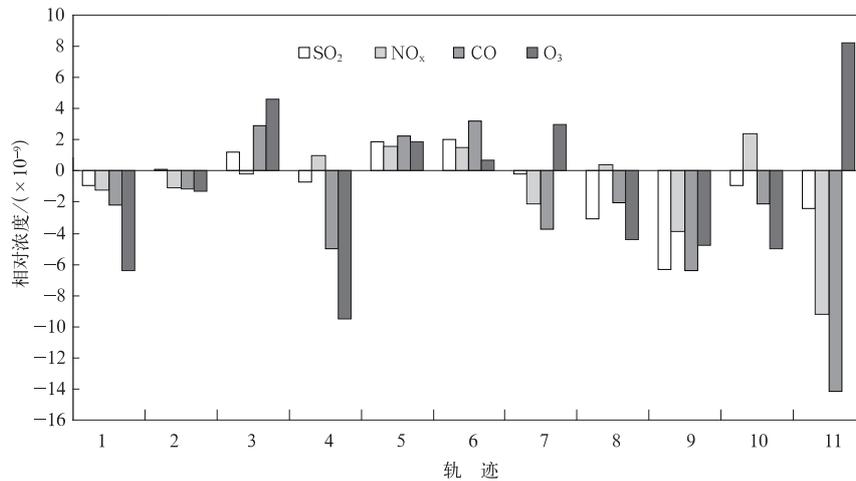


图 2 临安站各簇轨迹对应痕量气体相对浓度平均值
(CO 浓度为其原值的 5%)

Fig. 2 Mean trace gas relative concentrations corresponding to different clusters of trajectories for Lin'an
(CO concentration is 5% of its value)

2.2.2 上甸子

图 3 给出了上甸子站各簇轨迹对应的污染物浓度相对于各污染物 30 d 滑动平均趋势的统计结果。

由图 3 可见,轨迹 1,2,4,8,9,10 所对应的 SO_2 , NO_x 和 CO 值均较低,其中轨迹 9 对应的值均为最低。这些轨迹移动速度均很高,而且除轨迹 4 外均

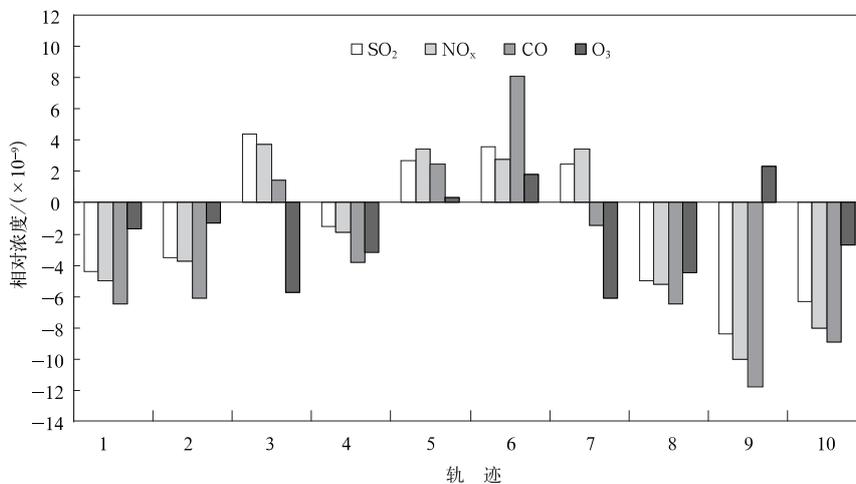


图 3 上甸子站各簇轨迹对应痕量气体相对浓度平均值
(CO 浓度为其原值的 2%)

Fig. 3 Mean trace gas relative concentrations corresponding to different clusters of trajectories for Shangdianzi
(CO concentration is 2% of its value)

长时间在较高边界层移动(图 1b),因此受地面污染物排放影响的机会较少,此外,其所经过扇区的污染也相对较轻。根据 2.1 节的讨论,轨迹 3,5,6 和轨迹 7 均属于易给上甸子站带来污染的轨迹,图 3 的数据印证了这一点。轨迹 3 的 SO_2 和 NO_x 值最高;轨迹 6 的 CO 值最高, SO_2 值次高;轨迹 5 的 NO_x 和 CO 值以及轨迹 7 的 NO_x 值均为次高。 O_3 的最高值对应于轨迹 9,次高值对应于轨迹 6,最低值对应于轨迹 3。如 2.2.1 节所述,临安站轨迹 11 对应的高 O_3 与向下输送有关,上甸子轨迹 9 的最高 O_3 值显然也是向下输送的结果。这类轨迹移动高度最高、速度最快,其对应的一次污染水平均为最低,因此高 O_3 值显然不是输送过程中的光化学生成造成的,而是由高层输送引起的。轨迹 6 的移动高度最低,输送的气块污染严重,其对应的 O_3 次高值应该是由光化学反应引起的。轨迹 3 对应于最高的 NO_x 和最低的 O_3 ,说明相应气块中 NO_x 过剩,不但

不能促进 O_3 生成,且通过气相滴定反应($\text{O}_3 + \text{NO}$)消耗 O_3 。

2.2.3 龙凤山

图 4 给出了龙凤山站各轨迹对应的污染物浓度相对于各污染物 30 d 滑动平均趋势的统计结果。可以看出,轨迹 1 对应的各种污染物的相对浓度均最高,其次为轨迹 2,除了对应 O_3 值为负值外其他均为正值。除了轨迹 1 和 2 外,其他轨迹对应的所有污染物相对浓度均为负值,尤其是轨迹 8,9 和 10,分别对应于最低的 CO 和 O_3 、最低的 NO_x 以及最低的 SO_2 。轨迹 1 和 2 经过沈阳、抚顺、吉林、长春等污染较重城市,因此是龙凤山污染物的主要输送渠道。这一结果与以往借助于地面风取得的研究结果^[1]基本一致。轨迹 8,9 和轨迹 10 均为移动速度很快、高度很高的轨迹,而且所经过区域污染相对较轻,因此给龙凤山带来的是相对清洁的空气。

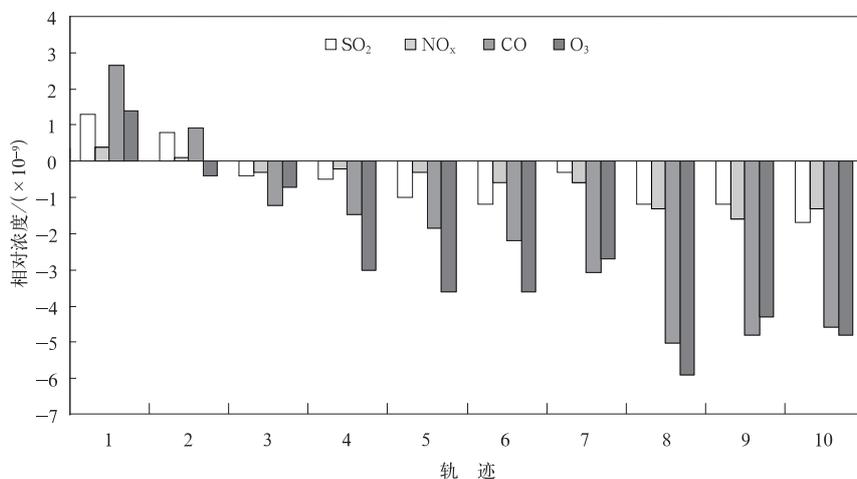


图 4 龙凤山站各簇轨迹对应痕量气体相对浓度平均值
(CO 浓度为其原值的 5%)

Fig. 4 Mean trace gas relative concentrations corresponding to different clusters of trajectories for Longfengshan
(CO concentration is 5% of its value)

3 结 论

为研究大气输送对我国临安、上甸子和龙凤山 3 个区域大气本底站反应性气体(SO_2 , NO_x , CO 和 O_3)浓度的影响,本文对 3 个站点两年的气块后向轨迹进行了计算、聚类和分析,取得了具有一定气候代表性的大气输送信息。结合观测到的反应性

气体浓度分析研究后发现,将轨迹与观测浓度直接对应进行简单统计分析的方法,不便于解释不同气块来源对站点污染物浓度水平的相对影响程度。主要原因是,输送气流存在季节变化,而污染物浓度也因为排放源和光化学反应强度变化而有明显的季节变化,因此,轨迹对应的污染物浓度包含着空间和时间两类信息,即气流途经的不同区域源强差异和污染物浓度随季节的变化。为了克服这一缺点,本文

采用将观测数据的原始时间序列减去相应的 30 d 滑动平均后时间序列的方法,取得了与季节变化基本不相关的气体相对浓度。将轨迹与这种相对浓度结合进行统计分析,可以比较真实地反映排放源空间分布和轨迹移动特性对污染物浓度的影响。

研究表明,移动高度高、速度快的气块不利于污染物积累,如果途径区域比较清洁,其对站点污染物基本起清除作用,表现为污染物相对浓度为负。但是,个别来自高空的轨迹(例如临安的轨迹 11 和上甸子的轨迹 9)会导致站点地面 O_3 浓度升高,这很可能是高空富含 O_3 气块快速向下输送的结果。来自临安站的 S—SW 和 N—SE 扇区的低空、慢速移动轨迹对于该站的污染加重十分显著。来自上甸子站的 SE—SW 扇区的低空、慢速移动轨迹对于该站的污染加重最为明显,其次是来自 N—SE 和 W—N 扇区的类似轨迹。龙凤山的污染物主要来自 S—WSW 扇区的低空、慢速移动气块输送,其他方向气块均起到有效的污染清除作用。

致 谢:感谢临安、上甸子和龙凤山区域大气本底站全体工作人员在痕量气体日常观测和设备维护中的辛勤劳动。

参 考 文 献

- [1] 徐晓斌,丁国安,李兴生,等. 中国东北区域本底大气中酸性气体的研究. *中国环境科学*,1997,17(4):345-348.
- [2] 徐晓斌,丁国安,李兴生,等. 龙凤山大气近地层 O_3 浓度变化及与其它因素的关系. *气象学报*,1998,56(1):560-572.
- [3] 朱彬,王韬,倪东鸿. 临安秋季近地层臭氧的形成及其前体物特征. *南京气象学院学报*,2004,27(2):185-192.
- [4] 刘洁,张小玲,谢璞,等. 上甸子区域本底站大气痕量活性气体的变化规律. *环境化学*,2007,26(5):693-698.
- [5] 丁国安,徐晓斌,罗超,等. 中国大气本底条件下不同地区地面臭氧特征. *气象学报*,2001,59(1):88-96.
- [6] 杨东贞,于晓岚,李兴生. 临安本底站微量气体浓度分布特征及其对气溶胶的影响. *应用气象学报*,1995,6(4):400-406.
- [7] 颜鹏,房秀梅,李兴生,等. 临安地区地面 SO_2 变化规律及其源地分析. *应用气象学报*,1999,10(3):267-275.
- [8] 张广兴,崔彩霞,赵元茂,等. 阿克达拉大气本底站气流轨迹模拟研究. *中国沙漠*,2006,28(1):154-160.
- [9] 黄健,颜鹏,Draxler R R. 利用 HYSPLIT-4 模式分析珠海地面 SO_2 浓度的变化规律. *热带气象学报*,2002,18(4):407-414.
- [10] 胡泳涛,张远航,谢绍东,等. 利用轨迹模式模拟近地层臭氧日变化. *环境科学学报*,1999,19(4):345-350.
- [11] Cape J N, Methven J, Hudson L E. The use of trajectory cluster analysis to interpret trace gas measurements at Mace Head, Ireland. *Atmos Environ*,2000,34:3651-3663.
- [12] Wotawa G, Kröger H, Stohl A. Transport of ozone towards the Alps—Results from trajectory analyses and photochemical model studies. *Atmos Environ*,2000,34:1367-1377.
- [13] 丁爱军. 东亚地区低层空气污染物变化特征与输送规律研究. 南京:南京大学,2004.
- [14] Draxler R R, Hess G D. An overview of the Hysplit_4 modeling system for trajectories, dispersion, and deposition. *Australian Meteorological Magazine*,1998,47:295-308.
- [15] Draxler R R, Hess G D. Description of the Hysplit_4 Modeling System//NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224. 1998:24.
- [16] 林伟立,徐晓斌,于大江,等. 龙凤山区域大气本底台站反应性气体观测质量控制. *气象*,2009,35(11):93-100.
- [17] Streets D G, Bond T C, Carmichael G R, et al. An inventory of gaseous and primary aerosol emissions in Asia in the year 2000. *J Geophys Res*,2002,108(D21):8809, doi:10.1029/2002JD003093.
- [18] 郑向东,丁国安,孙敏峰,等. 北京冬季低层大气 O_3 垂直分布观测结果的研究. *应用气象学报*,2002,10(特刊):101-108.
- [19] 郑向东,李伟. 国产臭氧探空仪观测数据质量分析. *应用气象学报*,2005,16(5):608-618.
- [20] 郑向东,陈尊裕,崔宏,等. 长江三角洲地区春季低空大气臭氧垂直分布特征. *中国科学(D辑)*,2004,34(12):1184-1192.

Impacts of Air Parcel Transport on the Concentrations of Trace Gases at Regional Background Stations

Xu Xiaobin Liu Xiwen Lin Weili

(Key Laboratory for Atmospheric Chemistry, Center for Atmosphere Watch and Services, Chinese Academy of Meteorological Sciences, China Meteorological Administration, Beijing 100081)

Abstract

To investigate the impacts of air parcel transport on the concentrations of trace gases (SO_2 , NO_x , CO and O_3) at regional background stations, backward air parcel trajectories from July 2005 to June 2007 are calculated for Lin'an, Shangdianzi, and Longfengshan stations using the HYSPLIT4 model and the NCEP reanalysis meteorological data. Four trajectories are calculated for each day, with starting time at 02:00, 08:00, 14:00 and 20:00 Beijing Time and a travelling time of 72 hours. Individual trajectories are clustered to obtain the mean trajectories and monthly statistics are made for different clusters of trajectories. Statistics of trace gas concentrations observed at the stations during the same period are conducted, corresponding to different clusters of trajectories. However, these statistics do not facilitate interpreting relative influences of different trajectories on the pollutants concentrations at the stations, because both trajectories and pollutants concentrations vary seasonally. Therefore, seasonal trends in the time series of the O_3 , SO_2 , NO_x and CO concentrations are filtered by 30-day smooth-averaging to obtain the short-term variations of these gases, which is nearly independent of seasonal variations. The impacts of air parcel transport over different areas on the pollutants concentrations are studied by combining the trajectories and the corresponding short-term variation data of the gases. The results show that air parcels originating from higher altitudes and transported at higher speeds can effectively remove gaseous pollutants from surface air over the stations. However, the surface O_3 level may occasionally be enhanced by downward transport of O_3 -rich air from near the top of boundary layer. About 50%—60% of the backward trajectories for the stations are related to the transport of polluted air parcels, leading to increases in the concentrations of the gaseous pollutants. The polluted air parcels are mainly from the S—SW and N—SE sectors for Lin'an, from the SE—SW sector for Shangdianzi, and from the S—WSW sector for Longfengshan. On the average, air parcels from the S—SW sector can enhance the concentrations of SO_2 , CO and O_3 at Lin'an by 1.2×10^{-9} , 57.5×10^{-9} and 4.6×10^{-9} , respectively, while those from the E—SE sector can abate concentrations of SO_2 , CO and O_3 by 0.7×10^{-9} , 5.0×10^{-9} and 9.5×10^{-9} , respectively. For Shangdianzi, air parcels from the SE—SW sector can increase the concentrations of SO_2 , NO_x , CO and O_3 by 3.6×10^{-9} , 2.8×10^{-9} , 406×10^{-9} and 1.8×10^{-9} , respectively, while those from the high altitudes in the NW sector can reduce concentrations of SO_2 , NO_x and CO by 8.4×10^{-9} , 10×10^{-9} and 599×10^{-9} , respectively. For Longfengshan, air parcels from the SW sector can increase the concentrations of SO_2 , NO_x , CO and O_3 by 1.3×10^{-9} , 0.4×10^{-9} , 53×10^{-9} and 1.4×10^{-9} respectively, while those from the other sectors decrease the concentrations of SO_2 , NO_x and O_3 by about 0.3×10^{-9} — 5.9×10^{-9} , and that of CO by about 24×10^{-9} — 100×10^{-9} .

Key words: backward air parcel trajectory; transport; trace gases; regional background stations