

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第36卷 第11期

Vol.36 No.11

2015

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

北京市大气气溶胶中糖类化合物的组成及来源 梁林林, Guenter Engling, 段凤魁, 马永亮, 程远, 杜祯宇, 贺克斌 (3935)

北京大气 PM_{2.5} 与惰性 SiO₂ 的生物毒性比较 刘梦娇, 黄艺, 文航, 邱国玉 (3943)

APEC 期间北京及周边城市 AQI 区域特征及天气背景分析 高庆先, 刘俊蓉, 王宁, 李文涛, 高文康, 苏布达 (3952)

2000 ~ 2014 年北京市 SO₂ 时空分布及一次污染过程分析 程念亮, 张大伟, 李云婷, 陈添, 李金香, 董欣, 孙瑞雯, 孟凡 (3961)

利用 SPAMS 研究石家庄市冬季连续灰霾天气的污染特征及成因 周静博, 任毅斌, 洪纲, 路娜, 李治国, 李雷, 李会来, 靳伟 (3972)

长江三角洲夏季一次典型臭氧污染过程的模拟 张亮, 朱彬, 高晋徽, 康汉青, 杨鹏, 王红磊, 李月娥, 邵平 (3981)

珠江三角洲区域污染分布及其垂直风场特征 刘建, 吴兑, 范绍佳 (3989)

春季黄渤海海水中尿素分布特征及溶解态氮的组成 李志林, 石晓勇, 张传松 (3999)

洱海流域农业用地与入湖河流水质的关系研究 庞燕, 项颂, 储昭升, 薛力强, 叶碧碧 (4005)

大辽河主要污染源营养盐输入特征 马迎群, 张雷, 赵艳民, 秦延文, 潘晓雪, 曹伟, 刘志超, 杨晨晨 (4013)

三峡库区大宁河沉积物营养盐时空分布及其与叶绿素的相关性分析 张永生, 李海英, 任家盈, 卢佳 (4021)

不同地质背景水库区夏季水-气界面温室气体交换通量研究 李建鸿, 蒲俊兵, 孙平安, 袁道先, 刘文, 张陶, 莫雪 (4032)

周丛生物存在下不同水层氧化还原带的分布及其与微生物的关联 王逢武, 刘玮, 万娟娟, 杨嘉利, 刘雪梅, 向速林, 吴永红 (4043)

华北低平原区地下水中氟分布特征及形成原因: 以南皮县为例 孔晓乐, 王仕琴, 赵焱, 袁瑞强 (4051)

某市典型地段地表水及地下水中氟喹诺酮类抗生素分布特征 崔亚丰, 何江涛, 苏思慧, 杨蕾, 乔肖刚 (4060)

乳山湾邻近海域沉积物中好氧氨氧化微生物分布特征 贺惠, 甄毓, 米铁柱, 张玉, 付璐璐, 于志刚 (4068)

青木关地下河中溶解态甾醇来源及迁移、转化特征 梁作兵, 沈立成, 孙玉川, 王尊波, 江泽利, 张媚, 廖昱, 谢正兰, 张远瞩 (4074)

多环芳烃在岩溶地下河表层沉积物-水相的分配 蓝家程, 孙玉川, 肖时珍 (4081)

降雨期间岩溶地下河溶解态多环芳烃变化特征及来源解析 江泽利, 孙玉川, 王尊波, 梁作兵, 任坤, 谢正兰, 张媚, 廖昱 (4088)

重庆南山老龙洞地下河系统重金属分布、迁移及自净能力 任坤, 梁作兵, 于正良, 张宇, 王蓉, 袁道先 (4095)

三峡水库消落带植物汞的分布特征 梁丽, 王永敏, 李先源, 唐振亚, 张翔, 张成, 王定勇 (4103)

物理和生物组合扰动对底泥微界面过程的影响 王忍, 李大鹏, 黄勇, 刘焱见, 陈俊 (4112)

超声、过硫酸钾协同去除水中诺氟沙星的效果 魏红, 史京转, 李佳霖, 李克斌, 赵琳, 韩凯 (4121)

载银活性炭活化过硫酸钠降解酸性橙 7 王忠明, 黄天寅, 陈家斌, 李文卫, 张黎明 (4127)

TiO₂ 降解迪美唑的动力学及活性物质分析 陈冬梅, 喻泽斌, 孙蕾, 黄俊, 高丽红, 李明洁 (4135)

单宁酸铁吸附去除水中无机氮的性能与机制研究 张瑞娜, 李琳, 刘俊新 (4141)

间歇曝气式膜生物反应器对养猪沼液中兽用抗生素的去除特性 丁佳丽, 刘锐, 郑炜, 宋小燕, 余卫娟, 叶朝霞, 陈吕军, 张永明 (4148)

单级和两级串联臭氧-生物活性炭深度处理垃圾渗滤液比较研究 杜安静, 范举红, 刘锐, 邱松凯, 文晓刚, 陈吕军 (4154)

水力停留时间和溶解氧对陶粒 CANON 反应器的影响 王会芳, 付昆明, 左早荣, 仇付国 (4161)

氨氮对 AOB 抑制的形态及规律 崔剑虹, 李祥, 黄勇, 朱亮, 杨朋兵 (4168)

厌氧氨氧化与反硝化协同脱氮处理城市污水 张诗颖, 吴鹏, 宋吟玲, 沈耀良, 张婷 (4174)

同步硝化反硝化耦合除磷工艺的快速启动及其运行特征 冷璐, 信欣, 鲁航, 唐雅男, 万利华, 郭俊元, 程庆锋 (4180)

HCO₃⁻ 对部分亚硝化-厌氧氨氧化联合工艺脱氮效能的影响 李祥, 陈宗姮, 黄勇, 袁怡, 刘忻, 张大林 (4189)

ABR 耦合 CSTR 一体化工艺好氧颗粒污泥亚硝化性能调控及稳态研究 巫恺澄, 吴鹏, 沈耀良, 李月寒, 王建芳, 徐乐中 (4195)

活化过硫酸盐对市政污泥调理效果的影响 徐鑫, 濮文虹, 时亚飞, 虞文波, 张诗楠, 宋健, 张昊, 何姝, 杨昌柱, 杨家宽 (4202)

温度分化对 APBR 反应器性能及产甲烷菌群落的影响 谢海迎, 汪鑫, 李牧原, 阎叙酉, 五十岚泰夫, 罗锋 (4208)

污染场地修复技术筛选方法及应用 白利平, 罗云, 刘俐, 周友亚, 颜增光, 李发生 (4218)

基于 Monte Carlo 模拟的土壤重金属综合风险评价与案例分析 杨阳, 代丹, 蔡怡敏, 陈卫平, 侯瑜, 杨锋 (4225)

大港工业区土壤重金属污染及生态风险评价 张倩, 陈宗娟, 彭昌盛, 李发生, 谷庆宝 (4232)

缙云山不同土地利用方式对土壤团聚体微生物量碳氮的影响 李增全, 江长胜, 郝庆菊 (4241)

不同秸秆翻埋还田对旱地和水田土壤微生物群落结构的影响 兰木岭, 高明 (4252)

生草果园土壤微生物群落的碳源利用特征 杜毅飞, 方凯凯, 王志康, 李会科, 毛鹏娟, 张向旭, 王婧 (4260)

不同有机物料对东南景天修复重金属污染土壤效率的影响 姚桂华, 徐海舟, 朱林刚, 马嘉伟, 柳丹, 叶正钱 (4268)

组配改良剂对土壤-蔬菜系统铅镉转运调控的场地研究 朱维, 刘丽, 吴燕明, 周航, 邓贵友, 杨文毅, 彭佩钦, 曾敏, 廖柏寒 (4277)

水稻品种及典型土壤改良措施对稻米吸收镉的影响 王美娥, 彭驰, 陈卫平 (4283)

大庆湖泊群水体和淡水鱼中多环芳烃污染特征及生态风险评估 王晓迪, 臧淑英, 张玉红, 王凡, 杨兴, 左一龙 (4291)

覆盖层甲烷氧化动力学和甲烷氧化菌群落结构 邢志林, 赵天涛, 高艳辉, 何芝, 杨旭, 彭绪亚 (4302)

阳极内添加阳离子交换树脂提升钼压“三合一”膜电极 MFC 性能 梅卓, 张哲, 王鑫 (4311)

应用基于单克隆抗体的免疫传感器检测环境中的萘和苯并芘 李鑫, 乔琰, 钟国祯 (4319)

《环境科学》征订启事 (4224) 《环境科学》征稿简则 (4318) 信息 (4080, 4173, 4290, 4301)

APEC 期间北京及周边城市 AQI 区域特征及天气背景分析

高庆先^{1,2}, 刘俊蓉^{1,3}, 王宁⁴, 李文涛^{1,3}, 高文康⁵, 苏布达¹

(1. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 2. 河北大学经济学院, 保定 071000; 3. 甘肃农业大学林学院, 兰州 730070; 4. 吉林省气象局, 长春 130062; 5. 中国科学院大气物理研究所, 北京 100191)

摘要: 利用环境监测总站公布的监测资料, 分析 2014 年 11 月 1 日至 15 日, 即北京举办亚太经合组织 (Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC) 会议期间北京及周边地区空气质量演变及区域特征, 结合中国气象局官方发布的同期气象要素和天气形势图, 探讨天气背景对 APEC 期间空气质量改善的影响, 结果表明: ①强化减排措施实施期间, 北京及周边地区良好和轻度污染的天数相对较多, 而强化减排措施终止后, 重度和严重污染的天数明显增多, 表明强化减排措施对北京及周边城市局地空气质量的改善贡献明显; ②强化减排措施实施初期, 受逆温层的影响, 北京及周边城市空气质量指数迅速上升, 说明在不利的天气背景下, 即便有强化减排措施, 污染物也会累积升高, 形成污染过程, 可见天气背景对空气质量的影响不容忽视; ③在强化措施实施后期, 虽然受逆温层影响, 北京污染物的浓度并没有累积到很高的程度, 而天津、唐山、保定和邢台均出现中度和重度污染, 进一步说明, 强化减排措施的实施对改善北京空气质量的贡献明显。

关键词: 亚太经合组织会议; 空气质量; 区域特征; 天气背景; 减排措施

中图分类号: X51 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2015)11-3952-09 DOI: 10.13227/j.hjkk.2015.11.003

Analysis on Regional Characteristics of Air Quality Index and Weather Situation in Beijing and Its Surrounding Cities During the APEC

GAO Qing-xian^{1,2}, LIU Jun-rong^{1,3}, WANG Ning⁴, LI Wen-tao^{1,3}, GAO Wen-kang⁵, SU Bu-da¹

(1. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 2. Economics College, Hebei University, Baoding 071000, China; 3. College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou 730070, China; 4. Meteorological Bureau of Jilin Province, Changchun 130062, China; 5. Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100191, China)

Abstract: Analysis on the revolution and regional characteristics of air quality by hourly monitored readings from 1 to 15 November 2014 released by Environmental Monitoring Station of China and research of the impacts of weather situation and meteorological elements released by China Meteorological Administration towards air quality of Beijing and its surrounding cities during the Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC) indicated that: ① The air quality was good because of the implementation of mitigation measures, while the Air Quality Index (AQI) increased along with the termination of mitigation measures. Thus it can be seen that mitigation measures made a great contribution to the improvement of air quality of Beijing and its surrounding cities. ② Affected by thermal inversion layer, AQI of Beijing and its surrounding cities increased quickly during the initial of the implemental of reducing measures which proved that pollutants would accumulate in the context of unfavourable weather, hence the influence of weather situation towards air quality could not be ignored. ③ Although affected by thermal inversion layer, the concentration of pollutants of Beijing was not accumulated to a high degree at the end period of reducing measures, while Tianjin, Tangshan, Baoding and Xingtai suffered from moderate and severe pollution at the same time which further illustrated that the implementation of mitigation measures have made a great contribution to the improvement of air quality in Beijing during APEC.

Key words: APEC; air quality; regional characteristics; weather background; emission reduction measures

近年来,城市化的迅猛发展已经成为城市环境恶化的重要影响因子之一,引起世界科学家和国际组织的高度关注,世界气象组织(WMO)早在2001年就开展了城市气象和环境研究计划(GURME)^[1].城市空气质量的改善已经成为目前人们普遍关注的热点问题^[2~5].2013年1月我国发生了多起强度高、持续时间长、污染程度高的雾霾天气过程,我国科学家们围绕这一过程从各个方面

进行阐述.张人禾等^[6]从大气环流背景场和雾霾天气演变过程两个方面进行诊断分析,指出东亚冬季风异常偏弱为2013年1月我国大面积强雾霾天气的维持和发展提供了有利的气象条件.穆穆等^[7]指

收稿日期: 2015-04-20; 修订日期: 2015-07-08

基金项目: 环境保护公益性行业科研专项(201409027, 201509001)

作者简介: 高庆先(1962~),男,博士,研究员,主要研究方向为大气环境与气候变化领域, E-mail: gaoqx@craes.org.cn

出气象科学与技术对雾霾的观测、形成机制、数值模拟以及预测与防控中发挥着重要的作用. 廖晓农等^[8]研究表明, 冬夏两季雾霾天气过程的形成和维持机制不同, 冬季过程出现在高空西北气流、低层多短波活动的背景下, 而气溶胶的区域输送, 大气保持对流性稳定和空气的高饱和度是夏季持续性雾霾天气发生的重要条件. 吴庆梅等^[9]分析了 2005 年 11 月 25 日发生在北京的一次持续 4 d 的雾霾天气过程中低空扰动、山谷风以及城市热岛对 PM_{10} 浓度的影响, 指出 PM_{10} 对中空低空的扰动很敏感.

在特大城市举行大型活动时, 为了保障空气质量, 相关部门会采取紧急的污染防治措施, 保障活动的顺利进行, 此举也为环境保护工作者开展大气污染控制效果研究提供了难得的实验机会. 针对 2008 年北京奥运会, 2010 年的上海世博会和广州亚运会, 以及 2014 年的南京青奥会期间污染控制措施的实施及其环境改善状况, 国内外学者广泛地就空气质量保障、空气质量的演变和不同控制措施下污染形成机制等展开了大量的研究^[10~28]. 2014 年 11 月 7 日至 12 日, 北京举办了亚太经合组织 (Asia-Pacific Economic Cooperation, APEC) 会议. 为保障 APEC 峰会期间北京空气质量, 北京市及周边地区政府在 2014 年 11 月 3 日至 12 日期间采取了一系列的空气污染强化控制措施. 分析 APEC 期间北京及周边地区 (包括秦皇岛、唐山、北京、天津、保定、石家庄、邢台和邯郸) 空气污染的区域特征, 研究天气背景对北京 APEC 期间空气质量改善的贡献, 探讨污染减排措施和空气质量保障措施的效果, 具有重要的科学意义和实用价值, 可为改善北京空气质量提供科学的技术支持.

1 材料与方法

1.1 材料

(1) 空气污染数据来自环境保护部中国环境监测总站“全国城市空气质量实时发布平台 (<http://113.108.142.147:20035/emcpublish/>)”发布的各类污染数据, 包括各类污染物小时浓度值、日均浓度值以及空气质量指数 (AQI) 等. 选择北京 APEC 主要活动场所的奥体中心监测点作为研究对象, 收集该站逐小时 $PM_{2.5}$ 、 PM_{10} 、 SO_2 、 NO_2 等浓度值, 同时, 为了分析探讨污染物的区域演变特征, 还收集了北京及其周边 7 个城市逐日平均 AQI 数据及首要污染物情况, 即北京、天津、唐山、秦皇岛、保定、石家庄、邢台和邯郸.

(2) 气象要素资料取自中国气象局官方发布的气象服务客户端“中国天气通” (<http://3g.weather.com.cn/>) 给出的每日逐时气象要素, 包括小时温度、风向风速、相对湿度和小时平均 AQI; 每日 4 次的天气形势场取自中央气象台天气实况 (<http://www.nmc.gov.cn/publish/observations/weatherchart-h000.htm>), 包括亚欧地面形势分析, 高空 850 hPa、700 hPa 和 500 hPa 形势图, 同时还收集了全国逐小时地面自动站观测的风向风速资料.

1.2 方法

本研究的方法主要是利用统计学中的时间序列分析方法; 此外为了分析北京及周边地区在强化措施实施期间的区域性特征, 本研究选择了北京周边 7 个城市作为比较研究点 (见图 1), 收集了 2014 年 11 月逐日平均空气质量指数 (AQI), 沿秦皇岛、唐山、北京、天津、保定、石家庄、邢台和邯郸一线给出 AQI 的演变, 用来比较强化控制措施对区域大气质量改善情况.

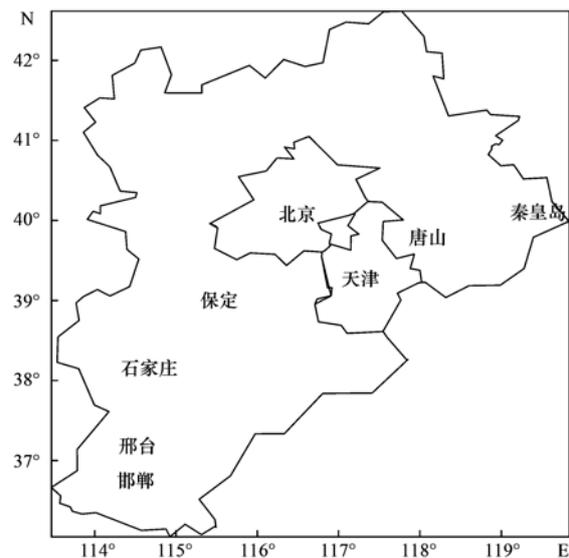


图 1 北京及周边城市站点分布示意

Fig. 1 Map of monitoring stations in Beijing and its surrounding cities

文中逆温判断是根据地面气温 ($T_{\text{地面}}$) 与 925 hPa 高度气温 (T_{925}) 之差判定, 当 $T_{925} - T_{\text{地面}} > 0$, 则表示有逆温存在, 且温差越大表示逆温越强.

2 结果与讨论

2.1 AQI 区域性特征分析

从沿秦皇岛-唐山-北京-天津-保定-石家庄-邢台-邯郸一线, 2014 年 11 月逐日 AQI 分布 (表 1) 可以看出, 在开始强化控制措施实施前的 11 月 2 日,

表 1 北京及周边城市 2014 年 11 月逐日空气质量指数¹⁾
Table 1 AQI of Beijing and its surrounding cities in November 2014

APEC	11 月	秦皇岛	唐山	北京	天津	保定	石家庄	邢台	邯郸
会前	1	130	160	65	125	200	133	122	207
	2	51	61	34	52	61	59	57	71
会期间	3	66	78	59	88	76	67	82	165
	4	66	118	150	107	166	67	143	165
	5	116	117	79	103	165	91	147	147
	6	54	71	32	52	64	61	83	98
	7	65	75	63	62	62	56	69	66
	8	110	94	93	82	123	97	113	99
	9	109	129	80	158	173	137	186	189
	10	153	213	95	222	204	159	213	170
	11	149	145	59	110	155	89	109	91
	12	61	66	40	59	66	46	58	59
会后	13	68	80	65	73	90	60	87	83
	14	68	98	65	73	90	60	87	83
	15	106	155	143	107	234	138	134	88
	16	153	239	98	110	165	92	85	90
	17	87	117	64	70	139	68	90	115
	18	126	155	93	182	283	133	196	221
	19	196	228	282	186	404	275	231	190
	20	235	263	351	241	468	415	408	262
	21	207	444	222	415	500	459	500	500
	22	83	134	74	118	228	260	363	358
	23	99	200	155	176	309	168	224	218
	24	69	110	94	134	193	163	229	242
	25	104	117	196	98	396	244	235	220
	26	213	256	293	320	500	357	318	216
	27	120	216	83	230	224	242	280	245
	28	89	119	114	139	170	123	114	104
	29	205	231	276	239	203	212	163	127
	30	147	185	373	319	196	110	132	99

1) 绿色表示空气质量优(0~50),黄色表示良(51~100),橙色表示轻度污染(101~150),红色表示中度污染(151~200),紫色表示重度污染(201~300),褚红表示严重污染(>300)

受到强冷空气的影响,北京空气质量得到明显改善,日均值达到优(AQI = 34),奥体中心监测站日均PM_{2.5}和PM₁₀的浓度分别为6.52 μg·m⁻³和19.26 μg·m⁻³,当日北京周边城市空气质量也相对较好,日均浓度均为良好. 11月3日强化控制措施开始实施,但是由于受不利的天气形势影响AQI开始抬升,到11月4日达到最高,北京、保定和邯郸出现日均中度污染(AQI分别为150、166和165),11月6日北京及周边地区空气质量大范围改善,北京为优(日均AQI = 32),其他城市均为良好(AQI < 100);随后北京空气质量出现缓慢增长的过程(AQI < 100),但是周边城市从11月8日开始又进入一次较为严重的污染过程,11月10日达到峰值,

北京空气质量接近中度污染(AQI = 95),而天津、唐山、保定和邢台均出现重度污染(AQI > 201),石家庄、邯郸和秦皇岛均为中度污染(151 < AQI < 200),这充分说明强化控制措施对改善北京空气质量有一定的作用. 从11月12日强化控制措施结束后北京及周边空气质量指数分布情况来看,也可以进一步证明强化控制措施对北京空气质量的作用. 强化控制措施结束后的11月19~21日北京及周边又出现了连续多日的大范围污染过程,北京11月20日出现日均严重污染的情况(AQI > 300),保定、邢台和邯郸11月21日出现日均浓度爆表现象,这从另外一个角度反映了强化控制措施结束后的污染反弹现象.

为了比较北京及周边城市空气质量指数的变化情况,表 1 中用不同的颜色表示污染等级逐日平均情况,其中污染等级划分的色彩与国家环境保护部环境监测总站发布的“全国城市空气质量实时发布平台”的一致,同时将 11 月划分为 3 个阶段,即强化控制措施实施前(会前)、实施中(会期间)和实施结束后(会后)。可以看出在 APEC 强化措施实施前,由于受到强冷空气的影响,会前北京及周边地区空气质量得到明显的改善,空气质量保持优良;会议期间北京及周边地区良好和轻度污染的天数相对比较多,空气质量基本维持优良;但当强化减排措施结束后,特别是强化控制措施停止一周之后,北京及周边城市空气质量出现重度和严重污染的天数明显增多。这也说明强化减排措施对北京周边城市局地空气质量的改善贡献是明显的,对北京市空气质量的改善有一定的贡献。

2.2 APEC 期间天气背景和空气污染特征及对空气质量改善的贡献

为了分析天气背景对 APEC 期间空气质量改善的贡献,对 2014 年 11 月 1 日至 15 日每日 4 次(02:00、08:00、14:00 和 20:00)的天气形势图进行了分析。

2.2.1 强化措施实施前期

2014 年 11 月 1 日 08:00,地面形势图显示,北京处在锋面过境后的低压后部和高压前部,受西北气流影响;850 hPa 高度形势上北京位于冷槽后部,有强劲的西北风,风速达到 7 级;500 hPa 高空整个中国北部受深厚的冷槽控制,北京位于低槽前西南气流,风速达 7~8 级,北京空气质量为良好(AQI = 65)。保定和邯郸出现重度污染,(AQI 分别为 200 和 207),唐山为中度污染(AQI = 160),天津、石家庄、邢台和秦皇岛均为轻度污染。

2014 年 11 月 2 日 08:00(图 2),地面形势仍然受强劲的高压控制,北京位于高压中心的前部,地面受北风气流影响,地面风速 $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;850 hPa 高度场显示北京位于高压前部,低压槽后部,受偏北气流影响,风速达到 $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;500 hPa 高度场显示中国大陆东部地区主要受冷槽后偏西气流的影响,北京位于槽后,风速达到 12 级以上。在强劲的偏北气流影响下,空气中累积的颗粒物得以清除, $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度从 11 月 1 日的 $47.82 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 陡降至 $6.52 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,下降幅度高达 86%,空气质量指数(AQI)也由轻度污染(65)转为优(34),下降幅度为 48%。北京周边地区的空气质量也得到明显的改善,平均

下降了 60% 多,下降最为明显的是保定(-70%)和邯郸(-66%),由重度污染(AQI 为 207 和 200)下降为良好(AQI 为 71 和 61)。唐山也由重度污染(AQI = 160)下降至良好(AQI = 61),下降幅度为 62%。这一结果显示,在强化措施实施的前一天,由于受到强劲的偏北气流影响下,整个华北地区空气质量得到显著的改善,也为随后 APEC 期间空气质量的保障奠定了基础。

2.2.2 强化措施实施期间

2014 年 11 月 3 日开始实施污染强化控制措施,08:00 地面形势(图 3)显示中国大陆在高压控制下,北京位于高压中心附近,地面风速相对较小($2\sim 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),有弱的逆温存在,925 hPa 气温与地面气温之差为 1°C ;850 hPa 形势图显示,华北地区为一暖脊,北京受暖高压前部偏北气流影响,风速减弱为 6 级以下;500 hPa 高空整个中国大陆受冷槽后部西北气流影响,北京的风速减弱为 7 级左右($14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$)。虽然有强化控制措施实施,但是由于有弱的逆温层存在,不利于污染物的扩散,北京及周边城市的空气质量指数均有不同程度的增加,北京由优(AQI = 34)转为良(AQI = 59),其他城市除邯郸外均维持良好,略微增加一些(14%~44%),邯郸则从良好(AQI = 71)迅速增加到中度污染(AQI = 165),增加了 132%。

2014 年 11 月 4 日 08:00,逆温明显加强,925 hPa 气温与地面气温之差为 4°C ,地面形势图显示北京位于高压北部,受弱的东北风影响($2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$);850 hPa 高度中国北部有小股的冷气团移过,北京处在高空槽前暖区,受 6 级西南风影响($12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$);500 hPa 高空整个中国大陆位于冷槽后,以偏西气流为主,有弱的暖平流东移,北京受西南气流影响,风速减弱为 6 级以下。由于有逆温层,污染扩散条件差,宜于污染物累积,虽然 3 日开始实施强化减排措施,但是空气中的污染物浓度还是受逆温的影响出现累积,导致空气质量指数由良好(AQI = 59)迅速上升为中度污染(AQI = 150), $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度则从 11 月 2 日的 $6.52 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 上升至 $115.14 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,增长幅度达 154%。离北京最近的保定也由良好(AQI = 76)迅速增加到中度污染(AQI = 166)。天津、唐山和邢台的空气质量指数也都上升一个级别,由良好上升为轻度污染。秦皇岛、石家庄和邯郸的空气质量指数没有变化,继续维持其原来的污染状态。

2014 年 11 月 5 日 08:00,地面形势显示北京位于冷槽后部西北气流影响,风速为 $2\sim 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$;850

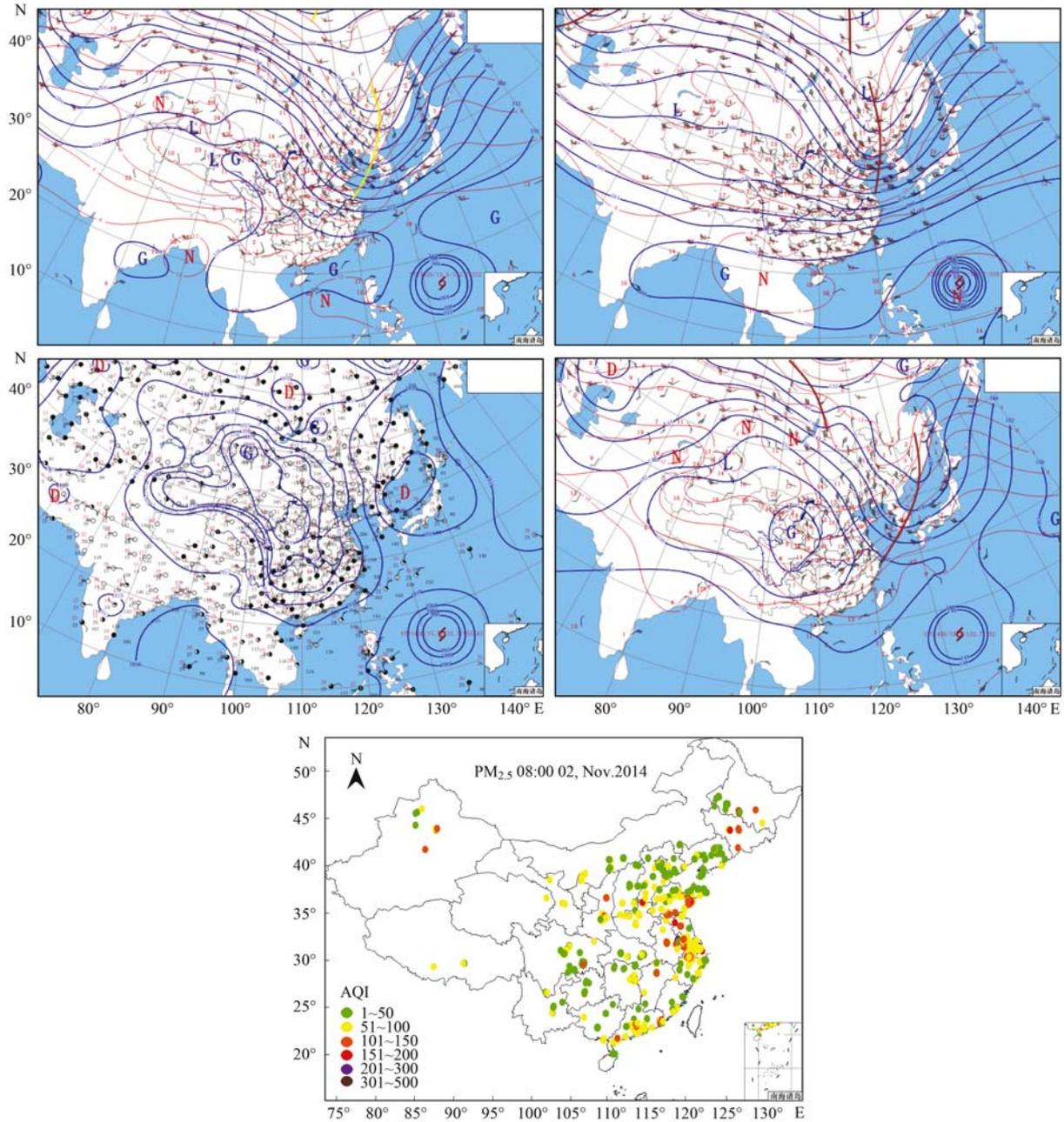


图 2 2014 年 11 月 2 日 08:00 天气形势及 AQI 分布

Fig. 2 Map of weather and AQI situation at 08:00 on 2nd November 2014

hPa 高度北方受冷槽影响,南部地区受弱的暖高压控制,北京位于冷槽后部,受西北气流控制,风速达到 $20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; 500 hPa 高度受冷槽后偏西气流的影响,北京位于槽后,风速达到 $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 以上,空气质量得到改善,AQI 回归轻度污染(79), $\text{PM}_{2.5}$ 浓度下降为 $68.95 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

2014 年 11 月 6 日 08:00,北京位于高压底部,受东北风控制,风速为 $5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。850 hPa 形势图显示,整个中国大陆受冷锋后部弱的暖高压控制,北京

位于高压中心前部,受偏北气流影响,风速为 $12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; 500 hPa 高空整个中国大陆受冷槽后部偏西气流影响,北京的风速高达 $24 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,空气质量进一步得到改善,AQI 日均值为 32,为优, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度迅速下降为 $10.43 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 。

2014 年 11 月 7 日 08:00,北京位于高压底部,受东南风影响,风速维持在 $4 \sim 6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$,北京位于 850 hPa 暖脊前部; 2014 年 11 月 8 日 08:00,高压继续东移逐渐减弱,北京处于高压前部,风速为 2

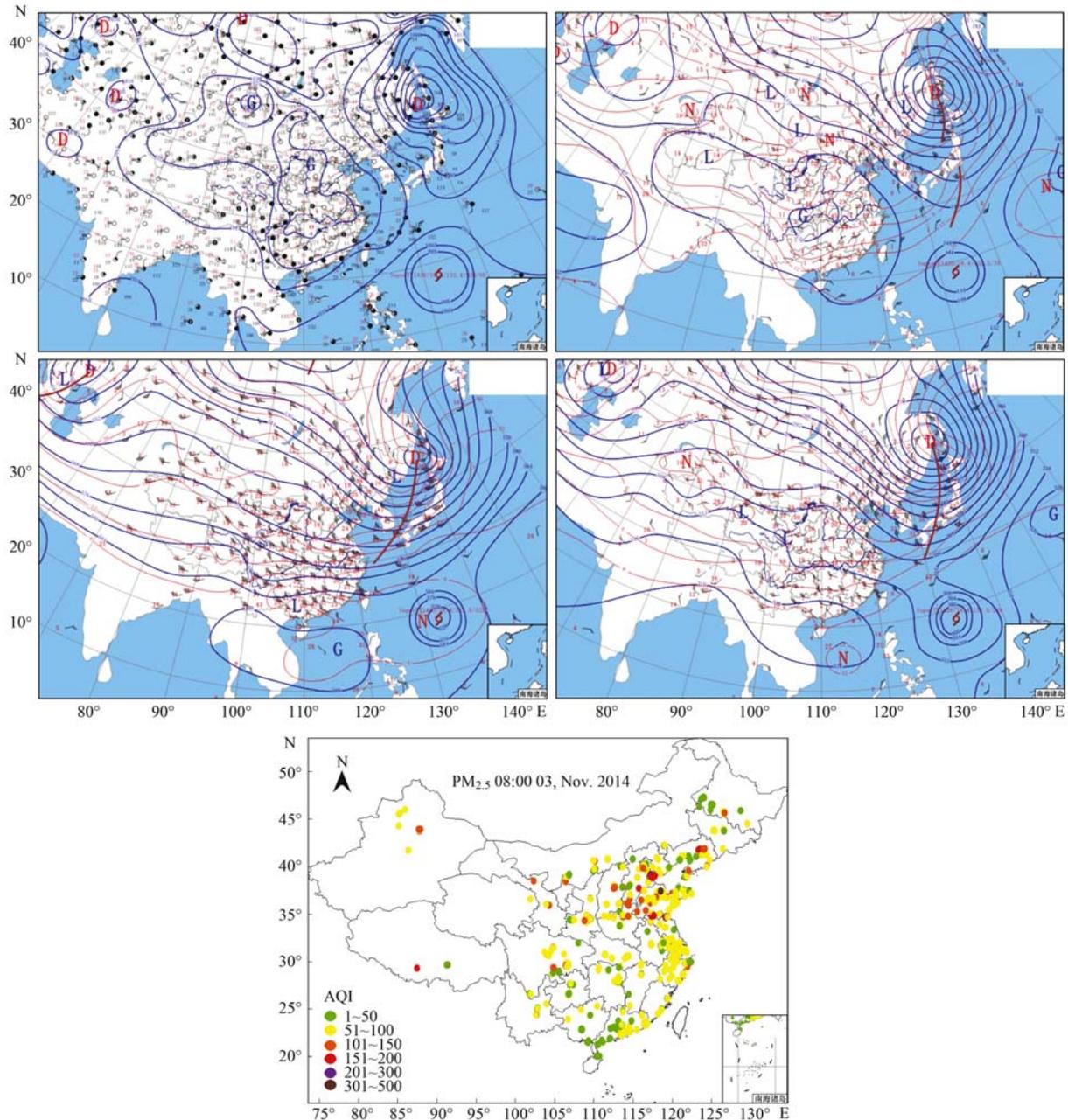


图3 2014年11月3日08:00天气形势及AQI分布

Fig. 3 Weather situation map at 08:00 on 3rd November 2014

$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,不利于污染的扩散. 从11月5日至8日,北京及周边地区空气质量明显好转,维持在良好和轻度污染之间(保定11月5日除外). 2014年11月9日08:00[图4(a)],近地面出现逆温,925 hPa气温与地面气温之差为 3°C ,华北地区仍处于高压前部,风速较小($2\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). 上游贝加尔湖有一股冷空气形成,850 hPa北京位于暖脊北部,受西北气流影响,风速 $48\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$; 500 hPa受槽后西北气流影响,北京风速 $6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 2014年11月10日08:00[图4(b)],逆温继续加强,925 hPa气温与地面气温之差

为 6°C ,地面形势显示,冷锋已移至河套地区北部,北京位于高压前部,风速较小($4\sim 6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$),850 hPa北京处于槽后脊前的暖区中,受低压槽前部西南气流控制,500 hPa受偏西气流影响,北京风速 $18\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 虽然11月9日和11月10日均出现逆温,且逆温强度明显高于11月3日和11月4日,污染物的浓度并没有累积到很高的程度,分别为 $59.45\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 和 $73.65\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,维持在轻度污染的水平,AQI保持轻度污染(AQI=80和AQI=95),反映出强化减排措施的实施对改善北京空气质量的贡献.

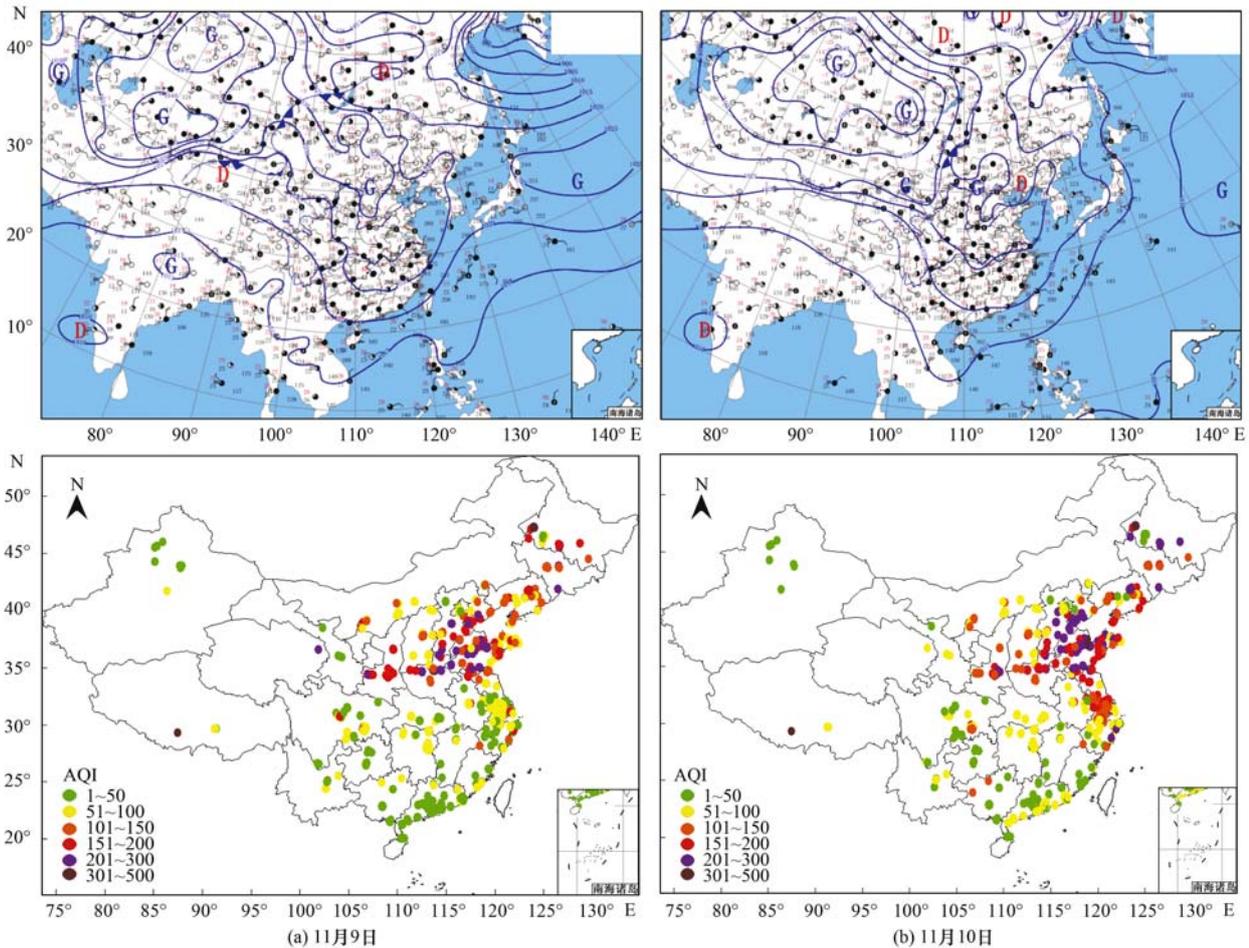


图 4 2014 年的 11 月 9 日 08:00 和 11 月 10 日 08:00 地面形势及 AQI 分布

Fig. 4 Surface weather and AQI situation map at 08:00 during 9th-10th November 2014

反观周边城市, 11 月 10 日天津、唐山、保定和邢台均出现中度和重度污染, 特别是保定中度和重度污染维持了 3 d.

2014 年 11 月 11 日 08:00, 北京位于冷锋后部高压前部, 受西北气流影响, 风速 2 级左右 ($4 \sim 6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$); 850 hPa 高空北京位于槽后, 受较强西北风影响, 风速达 6~7 级 ($12 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 整个华北地区均受槽后大风影响. 500 hPa 整个中国大陆受强西风气流影响, 风速达 $18 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 2014 年 11 月 12 日 08:00, 地面形势场显示, 北京位于冷高压前部, 受冷锋后部西北气流影响, 风速 $4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 850~500 hPa 高空, 北方地区受高空槽后部强西北气流影响, 风速达 8 级以上, 500 hPa 风速达 $28 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. 在西北气流的影响下, 空气质量得到明显的好转, 11 月 12 日空气中 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度回落 $5.59 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 为上半月的最低, AQI 为优(40).

2.2.3 强化措施实施终止

2014 年 11 月 13 日强化污染控制措施结束,

08:00 时地面形势显示北京处于弱高压前部, 风速较小 ($2 \sim 4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 850 hPa 上空, 北京位于低槽后高压脊前部, 受西北气流控制, 风速 6~7 级 ($14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). 2014 年 11 月 14 日 08:00, 北京仍处于高压前部, 风力减弱为 1~2 级, 850 hPa 上空西北风气流也有所减弱, 地面污染物开始累积, AQI 上升为轻度污染, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度上升至 $35.75 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. 受西北气流的影响, 北京及周边地区的空气质量保持良好, 是一次大尺度的过程.

2014 年 11 月 15 日 08:00, 低层有弱的逆温存在, 925 hPa 气温与地面气温之差为 1°C , 北京受弱高压控制, 风速较小, $1 \sim 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 在 850 hPa 上空北京处于弱的低槽前部, 北京受西南风影响, 风速 $8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, 500 hPa 西风气流维持, 风速 6~7 级 ($14 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), 由于有弱的逆温层, 污染物的累积迅速, AQI 上升为中度污染, $\text{PM}_{2.5}$ 浓度累积至 $112.89 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$, 这种迅速累积, 除了受弱的逆温影响外, 强化措施结束各类污染源排放恢复常态也是导致污染

迅速上升的主要原因. 表 2 总结出了 2014 年上半 月每日 08:00 天气形势和逐日污染状况演变.

表 2 2014 年 11 月 1 日至 15 日 08:00 天气形势和污染状况日变化¹⁾

Table 2 Weather and pollution situation at 08:00 am during 1st-15th November 2014

日期 (年-月-日)/ $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	PM _{2.5}	AQI	地面形势			850 hPa		700 hPa		500 hPa	
			有无逆温	形势特征	风向风速 /m·s ⁻¹	环流形势	风向风速 /m·s ⁻¹	环流形势	风向风速 /m·s ⁻¹	环流形势	风向风速 /m·s ⁻¹
2014-11-01	47.8	65	无	处于低压后部、高压前部	WSW ²⁾ 2→NW 4	冷槽后部	NW 16	冷槽后部	NW 10	低槽前部	SW 20
2014-11-02	6.52	34	无	高压前部 $\Delta T = -2$	NW 4→6	冷槽后部	NW 18 $\Delta T = -7$	冷槽后部	NW 24 $\Delta T = -11$	冷槽后部	NW 30 $\Delta T = -4$
2014-11-03	21.86	59	$T_{925} - T_{\text{地面}} = 1$	高压前部	SW 2→4 $\Delta T^3) = -3$	暖高压前部	NW 10→6 $\Delta T = 6$	冷槽后部	NW 14→8 $\Delta T = 6$	冷槽后部	NW 12→12 $\Delta T = 2$
2014-11-04	115.14	150	$T_{925} - T_{\text{地面}} = 4$	高压顶(北)部	NE 0→2 $\Delta T = 0$	槽前暖区	SW 12→8 $\Delta T = 5$	槽前暖区	SW 12→W 16 $\Delta T = 2$	弱的暖平流	WSW 10→W 20 $\Delta T = 1$
2014-11-05	68.95	79	无	冷锋后部	NW 2→4 $\Delta T = 7$	冷槽后部	NW 20→12 $\Delta T = -3$	冷槽后部	NW 8→14 $\Delta T = -4$	冷槽后部	WNW 18→18 $\Delta T = -1$
2014-11-06	10.43	32	无	高压底部	NE 4→6 $\Delta T = -5$	高压脊前部	NW 12→4 $\Delta T = -7$	槽后脊前	NW 14→14 $\Delta T = -4$	冷槽后部西北气流	WNW 24→W 26 $\Delta T = 1$
2014-11-07	45.78	63	无	高压底部	SE 2→4 $\Delta T = -3$	暖脊前部	WSW 8→WNW 2 $\Delta T = -1$	弱槽前部	W 8→W 10 $\Delta T = -2$	弱槽前部	W 20→SW 28 $\Delta T = -4$
2014-11-08	73.55	93	无	高压前部	SW 2 $\Delta T = -3$	弱槽后部	NW 2→8 $\Delta T = 1$	弱槽后部	NW 8→8 $\Delta T = -2$	弱槽前部→后部	W 16→N 10 $\Delta T = -2$
2014-11-09	59.45	80	$T_{925} - T_{\text{地面}} = 3$	高压前部	SW 2→4 $\Delta T = 1$	暖脊顶(北)部	NW 4→4 $\Delta T = 4$	槽后脊前	NW 8→8 $\Delta T = 7$	槽后脊前	NW 6→4 $\Delta T = 2$
2014-11-10	73.65	95	$T_{925} - T_{\text{地面}} = 6$	高压前部	NW 4→6 $\Delta T = 8$	槽后脊前	NW 12→20	冷槽尾部	W 8→NW 26 $\Delta T = -8$ (20:00)	冷槽前部→后部	SW 18→NW 18 $\Delta T = -8$ (20:00)
2014-11-11	40.42	59	无	冷锋后部高压前部	NW 4→6 $\Delta T = 8$	槽后脊前	NW 12→20 (20:00)	冷槽尾部	W 8→NW 26 $\Delta T = -8$ (20:00)	冷槽前部→后部	SW 18→NW 18 $\Delta T = -8$ (20:00)
2014-11-12	5.59	40	无	冷锋后部高压前部	NW 4→6 $\Delta T = -6$	冷槽后部	NW 16→18 $\Delta T = -12$	冷槽后部	NW 26→28 $\Delta T = -8$	冷槽后部	NW 28→20 $\Delta T = -2$
2014-11-13	20.27	65	无	高压前部	SE or SW 2→4 $\Delta T = -3$	槽后脊前	NW 14→12 (20:00)	槽后脊前	NW 12→W 4 $\Delta T = 6$	槽后脊前	NW 12→8 $\Delta T = 0$
2014-11-14	35.75	65	无	高压前部	E or SW 2 $\Delta T = 1$	槽后脊前	NW 10→6 $\Delta T = 2$	槽后脊前	NW 10→W 6 $\Delta T = 3$ (20:00)	槽后脊前	NW 12→18 $\Delta T = 2$ (20:00)
2014-11-15	112.89	143	$T_{925} - T_{\text{地面}} = 1$	弱高压控制	E 0→2 $\Delta T = 0$	弱槽前部	(08:00) $\Delta T = 3$ (08:00)	弱槽前部	SW 4→W 10 $\Delta T = -6$ (20:00)	弱槽前部	SW 14→18 $\Delta T = -6$ (20:00)

1) WSW 2→NW 4 表示风向和风力的变化,风向按照 16 个方位表示: 正北(N)、北东北(NNE)、东北(NE)、东东北(ENE)、东(E)、东东南(ESE)、东南(SE)、南东南(SSE)、南(S)、南西南(SSW)、西南(SW)、西西南(WSW)、西(W)、西西北(WNW)、西北(NW)、北西北(NWN); ΔT 表示 24 h 变温, 24 h 变温幅度大则表示当天的天气形势变化相对剧烈,单位:℃

3 结论

(1) APEC 强化减排措施实施期间,北京及周边地区良好和轻度污染的天数相对较多;强化减排措施结束后,重度和严重污染的天数明显增多,说明强化减排措施对北京周边城市局地空气质量的改善贡献明显.

(2) 在强化措施实施前期,由于受到强劲的偏北气流影响,整个华北地区空气质量得到显著改善,也为随后 APEC 期间空气质量的保障奠定了良好的基础.

(3) 在强化措施开始实施初期,由于逆温层的

存在,北京空气质量指数由良好迅速上升为中度污染,PM_{2.5}的浓度则从 11 月 2 日的 6.52 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ 上升至 115.14 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,增长幅度达 154%. 与此同时,保定、天津、唐山和邢台的空气质量指数也由良好上升为轻度污染,说明空气中的污染物浓度受逆温的影响而不容易扩散,出现累积,是一个区域现象;11 月 6 日,受西北气流影响,北京的空气质量得到大幅度改善,AQI 日均值为 32,PM_{2.5} 浓度迅速下降为 10.43 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$,由此可见,天气形势对空气质量的改善影响明显.

(4) 在强化措施实施结束后,出现逆温且逆温强度明显高于 11 月 3 日和 11 月 4 日,在这种天气

形势下,与天津、唐山、保定和邢台相比,北京的污染物的浓度并没有累积到很高的程度,进一步说明,强化减排措施的实施对改善北京空气质量的贡献明显。

参考文献:

- [1] World Meteorological Organization. Global Atmosphere Watch (GAW) Strategic Plan (2008-2015) [R]. Geneva: World Meteorological Organization, 2007. 1384.
- [2] 徐祥德,周秀骥,施晓晖. 城市群落大气污染源影响的空间结构及尺度特征[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, **35** (增刊 I): 1-19.
- [3] 徐祥德,施晓晖,谢立安,等. 城市冬、夏季大气污染气、粒态复合型相关空间特征[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, **35**(增刊 I): 53-65.
- [4] 汪光焘,王晓云,苗世光,等. 城市规划大气环境影响多尺度评估技术体系的研究与应用[J]. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2005, **35**(增刊 I): 145-155.
- [5] 张志刚,高庆先,韩雪琴,等. 中国华北区域城市间污染物输送研究[J]. 环境科学研究, 2004, **17**(1): 14-20.
- [6] 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.
- [7] 穆穆,张人禾. 应对雾霾天气: 气象科学与技术大有可为[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, **44**(1): 1-2.
- [8] 廖晓农,张小玲,王迎春,等. 北京地区冬夏季持续性雾-霾发生的环境气象条件对比分析[J]. 环境科学, 2014, **35** (6): 2031-2044.
- [9] 吴庆梅,张胜军. 一次雾霾天气过程的污染影响因子分析[J]. 气象与环境科学, 2010, **33**(1): 12-16.
- [10] 胡潮,管兆勇,李明刚. 北半球大洋与大陆区域间大气质量分布的季节循环[J]. 中国科学: 地球科学, 2014, **44**(7): 1519-1531.
- [11] Zhou Y, Wu Y, Yang L, *et al.* The impact of transportation control measures on emission reductions during the 2008 Olympic Games in Beijing, China[J]. Atmospheric Environment, 2010, **44**(3): 285-293.
- [12] Wang T, Xie S D. Assessment of traffic-related air pollution in the urban streets before and during the 2008 Beijing Olympic Games traffic control period [J]. Atmospheric Environment, 2009, **43**(35): 5682-5690.
- [13] Streets D G, Fu J S, Jang C J, *et al.* Air quality during the 2008 Beijing Olympic games[J]. Atmospheric Environment, 2007, **41** (3): 480-492.
- [14] Querol X, Alastuey A, Ruiz C R, *et al.* Speciation and origin of PM₁₀ and PM_{2.5} in selected European cities [J]. Atmospheric Environment, 2004, **38**(38): 6547-6555.
- [15] Chan C K, Yao X H. Air pollution in mega cities in China[J]. Atmospheric environment, 2008, **42**(1): 1-42.
- [16] 胡婧,程水源,苏福庆. 北京奥运会及残奥会期间 PM₁₀ 质量浓度演变特征及成因[J]. 环境科学研究, 2009, **22**(12): 1395-1402.
- [17] 李婷苑,邓雪娇,范绍佳,等. 2010 年广州亚运期间空气质量与污染气象条件分析[J]. 环境科学, 2012, **33**(9): 2932-2938.
- [18] 王红丽,陈长虹,黄海英,等. 世博会期间上海市大气挥发性有机物排放强度及污染来源研究[J]. 环境科学, 2012, **33**(12): 4151-4158.
- [19] 张菊,欧阳志云,苗鸿,等. 奥运前期与奥运期间北京市大气细颗粒物特征比较分析[J]. 环境科学, 2013, **34**(7): 2512-2518.
- [20] 吴兑,廖碧婷,吴晟,等. 2010 年广州亚运会期间灰霾天气分析[J]. 环境科学学报, 2012, **32**(3): 521-527.
- [21] 谢放尖,李文青,喻义勇,等. 南京亚青会空气质量保障回顾性评价及启示[J]. 环境监控与预警, 2014, **6**(2): 1-4.
- [22] 黄嫣雯,魏海萍,段玉森,等. 上海世博会环境空气质量状况和原因分析[J]. 中国环境监测, 2013, **29**(5): 58-63.
- [23] 余环,王普才,宗雪梅,等. 奥运期间北京地区卫星监测 NO₂ 柱浓度的变化[J]. 科学通报, 2009, **54**(3): 299-304.
- [24] 李雪,刘子锐,任希岩,等. 2007 和 2008 年夏季北京奥运馆大气 PM₁₀ 与 PM_{2.5} 质量浓度变化特征[J]. 大气科学学报, 2012, **35**(2): 197-204.
- [25] 吴其重,王自发,李丽娜,等. 北京奥运会空气质量保障方案京津冀地区措施评估[J]. 气候与环境研究, 2010, **15** (5): 662-671.
- [26] 陈敏,马雷鸣,魏海萍,等. 气象条件对上海世博会期间空气质量影响[J]. 应用气象学报, 2013, **24**(2): 140-150.
- [27] Wang X, Westerdahl D, Chen L C, *et al.* Evaluating the air quality impacts of the 2008 Beijing Olympic Games: on-road emission factors and black carbon profiles [J]. Atmospheric Environment, 2009, **43**(30): 4535-4543.
- [28] Westerdahl D, Wang X, Pan X C, *et al.* Characterization of on-road vehicle emission factors and microenvironmental air quality in Beijing, China [J]. Atmospheric Environment, 2009, **43** (3): 697-705.

CONTENTS

Composition and Source Apportionments of Saccharides in Atmospheric Particulate Matter in Beijing	LIANG Lin-lin, Guenter Engling, DUAN Feng-kui, <i>et al.</i> (3935)
Comparing Cell Toxicity of <i>Schizosaccharomyces pombe</i> Exposure to Airborne PM _{2.5} from Beijing and Inert Particle SiO ₂	LIU Meng-jiao, HUANG Yi, WEN Hang, <i>et al.</i> (3943)
Analysis on Regional Characteristics of Air Quality Index and Weather Situation in Beijing and Its Surrounding Cities During the APEC	GAO Qing-xian, LIU Jun-rong, WANG Ning, <i>et al.</i> (3952)
Analysis About Spatial and Temporal Distribution of SO ₂ and An Ambient SO ₂ Pollution Process in Beijing During 2000-2014	CHENG Nian-liang, ZHANG Da-wei, LI Yun-ting, <i>et al.</i> (3961)
Characteristics and Formation Mechanism of a Multi-Day Haze in the Winter of Shijiazhuang Using a Single Particle Aerosol Mass Spectrometer (SPAMS)	ZHOU Jing-bo, REN Yi-bin, HONG Gang, <i>et al.</i> (3972)
Modeling Study of A Typical Summer Ozone Pollution Event over Yangtze River Delta	ZHANG Liang, ZHU Bin, GAO Jin-hui, <i>et al.</i> (3981)
Distribution of Regional Pollution and the Characteristics of Vertical Wind Field in the Pearl River Delta	LIU Jian, WU Dui, FAN Shao-jia (3989)
Distribution Characteristics of Urea and Constitution of Dissolved Nitrogen in the Bohai Sea and the Huanghai Sea in Spring	LI Zhi-lin, SHI Xiao-yong, ZHANG Chuang-song (3999)
Relationship Between Agricultural Land and Water Quality of Inflow River in Erhai Lake Basin	PANG Yan, XIANG Song, CHU Zhao-sheng, <i>et al.</i> (4005)
Input Characteristics and Pollution Assessment of Nutrients Pollution in the Primary Pollution Source of the Daliao River	MA Ying-qun, ZHANG Lei, ZHAO Yan-min, <i>et al.</i> (4013)
Temporal and Spatial Distribution of Nutrients in Daning River Sediments and Their Correlations with Chlorophyll in the Three Gorges Reservoir Area	ZHANG Yong-sheng, LI Hai-ying, REN Jia-ying, <i>et al.</i> (4021)
Summer Greenhouse Gases Exchange Flux across Water-air Interface in Three Water Reservoirs Located in Different Geologic Setting in Guangxi, China	LI Jian-hong, PU Jun-bing, SUN Ping-an, <i>et al.</i> (4032)
Distribution of Redox Zone at Different Water Layers in the Presence of Periphyton and the Responsible Microorganisms	WANG Feng-wu, LIU Wei, WAN Juan-juan, <i>et al.</i> (4043)
Distribution Characteristics and Source of Fluoride in Groundwater in Lower Plain Area of North China Plain: A Case Study in Nanpi County	KONG Xiao-le, WANG Shi-qin, ZHAO Huan, <i>et al.</i> (4051)
Distribution Characteristics of Fluoroquinolones Antibiotics in Surface Water and Groundwater from Typical Areas in A City	CUI Ya-feng, HE Jiang-tao, SU Si-hui, <i>et al.</i> (4060)
Distribution of Aerobic Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Sediments from Adjacent Waters of Rushan Bay	HE Hui, ZHEN Yu, MI Tie-zhu, <i>et al.</i> (4068)
Sources, Migration and Conversion of Dissolved Sterols in Qingmuguan Underground River	LIANG Zuo-bing, SHEN Li-cheng, SUN Yu-chuan, <i>et al.</i> (4074)
Water-Sediment Partition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Karst Underground River	LAN Jia-cheng, SUN Yu-chuan, XIAO Shi-zhen (4081)
Variation Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Karst Subterranean River During Rainfall Events	JIANG Ze-li, SUN Yu-chuan, WANG Zun-bo, <i>et al.</i> (4088)
Distribution and Transportation Characteristics of Heavy Metals in Nanshan Laolongdong Subterranean River System and Its Capacity of Self-Purification in Chongqing	REN Kun, LIANG Zuo-bing, YU Zheng-liang, <i>et al.</i> (4095)
Distribution of Mercury in Plants at Water-Level-Fluctuating Zone in the Three Gorges Reservoir	LIANG Li, WANG Yong-min, LI Xian-yuan, <i>et al.</i> (4103)
Development of Sediment Micro-Interface Under Physical and <i>Chironomus plumosus</i> Combination Disturbance	WANG Ren, LI Da-peng, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4112)
Norfloxacin Solution Degradation Under Ultrasound, Potassium Persulfate Collaborative System	WEI Hong, SHI Jing-zhuan, LI Jia-lin, <i>et al.</i> (4121)
Degradation of Acid Orange 7 with Persulfate Activated by Silver Loaded Granular Activated Carbon	WANG Zhong-ming, HUANG Tian-yin, CHEN Jia-bin, <i>et al.</i> (4127)
Kinetics and Reactive Species Analysis of Dimetridazole Degradation by TiO ₂	CHEN Dong-mei, YU Ze-bin, SUN Lei, <i>et al.</i> (4135)
Performance and Mechanism of Ferric Tannate in the Removal of Inorganic Nitrogen from Wastewater	ZHANG Rui-na, LI Lin, LIU Jun-xin (4141)
Performance of an Intermittent Aeration Membrane Bioreactor for Removal of Veterinary Antibiotics from Piggery Wastewater	DING Jia-li, LIU Rui, ZHENG Wei, <i>et al.</i> (4148)
Advanced Treatment of Incineration Leachate with O ₃ -BAC and Double O ₃ -BAC	DU An-jing, FAN Ju-hong, LIU Rui, <i>et al.</i> (4154)
Effects of Hydraulic Retention Time and Dissolved Oxygen on a CANON Reactor with Haydite as Carrier	WANG Hui-fang, FU Kun-ming, ZUO Zao-rong, <i>et al.</i> (4161)
Inhibiting Form of Ammonium to AOB and Inhibiting Rule	CUI Jian-hong, LI Xiang, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4168)
Nitrogen Removal Using ANAMMOX and Denitrification for Treatment of Municipal Sewage	ZHANG Shi-ying, WU Peng, SONG Yin-ling, <i>et al.</i> (4174)
Rapid Start-up of Simultaneous Nitrification and Denitrification Coupled Phosphorus Removal Process and Its Performing Characteristics	LENG Lu, XIN Xin, LU Hang, <i>et al.</i> (4180)
Effect of HCO ₃ ⁻ on Nitrogen Removal Efficiency in Partial Nitrification-ANAMMOX Process	LI Xiang, CHENG Zong-heng, HUANG Yong, <i>et al.</i> (4189)
Research on Cultivation and Stability of Nitrification Granular Sludge in Integrated ABR-CSTR Reactor	WU Kai-cheng, WU Peng, SHEN Yao-liang, <i>et al.</i> (4195)
Influence of the Application of Activated Persulfate on Municipal Sludge Conditioning	XU Xin, PU Wen-hong, SHI Ya-fei, <i>et al.</i> (4202)
Influence of Temperature on the Anaerobic Packed Bed Reactor Performance and Methanogenic Community	XIE Hai-ying, WANG Xin, LI Mu-yuan, <i>et al.</i> (4208)
Research on the Screening Method of Soil Remediation Technology at Contaminated Sites and Its Application	BAI Li-ping, LUO Yun, LIU Li, <i>et al.</i> (4218)
Comprehensive Risk Assessment of Soil Heavy Metals Based on Monte Carlo Simulation and Case Study	YANG Yang, DAI Dan, CAI Yi-min, <i>et al.</i> (4225)
Heavy Metals Pollution in Topsoil from Dagang Industry Area and Its Ecological Risk Assessment	ZHANG Qian, CHEN Zong-juan, PENG Chang-sheng, <i>et al.</i> (4232)
Effects of Land Use Type on Soil Microbial Biomass Carbon and Nitrogen in Water-Stable Aggregates in Jinyun Mountain	LI Zeng-quan, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju (4241)
Influence of Different Straws Returning with Landfill on Soil Microbial Community Structure Under Dry and Water Farming	LAN Mu-ling, GAO Ming (4252)
Carbon Source Utilization Characteristics of Soil Microbial Community for Apple Orchard with Interplanting Herbage	DU Yi-fei, FANG Kai-kai, WANG Zhi-kang, <i>et al.</i> (4260)
Effects of Different Kinds of Organic Materials on Soil Heavy Metal Phytoremediation Efficiency by <i>Sedum alfredii</i> Hance	YAO Gui-hua, XU Hai-zhou, ZHU Lin-gang, <i>et al.</i> (4268)
<i>In-situ</i> Study on Effects of Combined Amendment on Translocation Control of Pb and Cd in Soil-Vegetable System	ZHU Wei, LIU Li, WU Yan-ming, <i>et al.</i> (4277)
Effects of Rice Cultivar and Typical Soil Improvement Measures on the Uptake of Cd in Rice Grains	WANG Mei-e, PENG Chi, CHEN Wei-ping (4283)
Pollution Characteristics and Ecological Risk Assessment of PAHs in Water and Fishes from Daqing Lakes	WANG Xiao-di, ZANG Shu-ying, ZHANG Yu-hong, <i>et al.</i> (4291)
Depth Profiles of Methane Oxidation Kinetics and the Related Methanotrophic Community in a Simulated Landfill Cover	XING Zhi-lin, ZHAO Tian-tao, GAO Yan-hui, <i>et al.</i> (4302)
Enhanced Performance of Rolled Membrane Electrode Assembly by Adding Cation Exchange Resin to Anode in Microbial Fuel Cells	MEI Zhuo, ZHANG Zhe, WANG Xin (4311)
Development of a Monoclonal Antibody-Based Sensor for Environmental Pyrene and Benzo(a)pyrene Detection	LI Xin, QIAO Yan, ZHONG Guo-zhen (4319)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 刘 毅 汤鸿霄 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2015年11月15日 第36卷 第11期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 36 No. 11 Nov. 15, 2015

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印刷装订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 120.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发刊