

2014 年 2 月北京大雾霾天气：特征，成因和含意

摘要

由于工业和工业的快速发展，中国一半以上的城市正遭受严重的空气污染。城市化。作为中国的政治和文化中心，北京经常遭受严重的霾害。但是，那北京确切的空气污染源仍然不确定。在这项研究中，观测数据（PM_{2.5}，PM₁₀，O₃，NO₂，使用 2014 年 2 月 8 日至 28 日在北京的 10 个监测站对 CO₂ 和 SO₂ 进行分析。的还使用了卫星观测的气溶胶光学厚度。向后轨迹模型和受体模型分别是用来识别北京的空气污染源。根据 PM_{2.5} 浓度，我们分离了整个数据分为三类：相对清洁的空气（PM_{2.5} 浓度低于 75 $\mu\text{g m}^{-3}$ ），雾霾（PM_{2.5} 浓度更高）大于 75 $\mu\text{g m}^{-3}$ 但小于 200 $\mu\text{g m}^{-3}$ ）和浓雾（PM_{2.5} 浓度大于 200 $\mu\text{g m}^{-3}$ ）。结果表明相对清洁的空气中 PM_{2.5} 的平均浓度为 29.5 $\mu\text{g m}^{-3}$ 、136.6 $\mu\text{g m}^{-3}$ 和 311.2 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，雾霾情况和重度雾霾情况。反向轨迹聚类分析表明主要聚类是东部和南部为重度雾霾。受体模型的结果表明，在雾霾情况下，污染物主要是起源于北京南部，如山东的德州，聊城和菏泽，例如，污染物主要来自北京西南部，例如河北省的保定，衡水和邯郸。这些结果表明，周边省份的排放量对北京的空气污染做出了重大贡献。因此，有必要对所有周边地区，特别是对工业区进行空气污染控制。北京的西南/西南地区。

关键词：空气污染霾轨迹模型聚类分析来源

1.简介

作为发展中国家，中国经济发展迅速过去几十年的发展。然而，它的成功

是伴随环境恶化，包括空气，水和土壤污染。近年来，空气污染已成为中国最严重的环境问题（陈和姚，2008）。研究表明，超过三分之二的城市地区在中国不符合中国的国家环境空气质量标准（PM_{2.5} 的每日国家二级空气质量标准是 75 $\mu\text{g m}^{-3}$ ）（Hao 和 Wang，2005； Shao 等，2006）。虽然世界上许多大城市也遭受了空气污染，中国的空气污染成分特别复杂照顾。煤炭是中国的主要能源，占约占总能耗的 70%。煤炭排放燃烧是造成中国空气污染的主要原因（Hao 等，2007； Chan 和 Yao，2008 年）。随着车辆的迅速增加数字，车辆排放对于城市来说变得越来越重要污染（郝等，2007）。空气污染源大城市已经从传统的燃煤方式逐渐转变为燃煤和车辆排放的混合物。之一主要的空气污染物是颗粒物（PM），特别是细颗粒物颗粒（PM_{2.5}）（即空气动力学直径小于 2.5 μm ），这主要是由于区域性霾（在特定条件下能见度 $<10\text{ km}$ 80%的相对湿度（RH））。在大多数中国城市 PM_{2.5} 浓度远高于世界卫生组织组织（WHO）空气质量准则 10 $\mu\text{g m}^{-3}$ （每年平均值）和 25 $\mu\text{g m}^{-3}$ （每日平均值）（WHO，2005 年）。空气严重污染不仅影响人类健康，而且影响区域和全球气候，经济发展和社会进步（Yu，2000； Yu et al.， 2000； Yu et al.， 2001a； Yu et al.， 2001b； Shao et al. 等 2006 年； Chan and Yao， 2008；张，2008；于，2014； Yu 等，2014a； Yu 等，2014b； Yu 等，2014c）。虽然很多研究关于中国空气污染和雾霾的报道出来，许多城市仍然形成大量雾霾的原因仍然是不确定性的问题。中国的空气污染问题大城市将继续是环境的重要话题未来几十年的问题。

北京是中国的政治和文化中心，是其中之一世界上最大的城市，也是中国第二大城市人口众多的城市，城市人口为 2060 万约 16410 平方公里。北京的 PM_{2.5} 异常升高，并且经常上升到超过 100 $\mu\text{g m}^{-3}$ 。根据政府统计，PM_{2.5} 的浓

度只有八天少于 $75\ \mu\text{g m}^{-3}$ （二级国家空气质量标准）于 2013 年 1 月发布。最新结果表明，严重特大城市的霾污染事件在很大程度上被驱使通过二次气溶胶的形成，其贡献了 50% 的 $\text{PM}_{2.5}$ 北京（Huang 等，2014）。另一方面，郭等（2014 年）发现城市中 VOC 和 NOX 的光化学氧化来自区域工业来源的交通排放和二氧化硫主要负责严重雾霾的周期性循环综合大气基础上的北京情节于 2013 年 9 月 25 日至 11 月 14 日进行测量。此外，北京是一个对气溶胶区域运输敏感的城市来自其周边省份。根据 Bergin 等（2005），一些污染物可以在区域内运输数百或数千公里，足以穿越省，国家，甚至大陆边界。由于独特的地形和气象方面，来自周围地区的大气污染物对于形成空气污染也非常重要在北京（Chen et al., 2007）。Wang 等（2010）指出北京最严重的 PM_{10} 污染可归因于西南地区的污染排放。的结果 $\text{PM}_{2.5}$ 气源分配显示主要气溶胶北京的部分地区可能主要来自南方区域（Zhang et al, 2013）。近年来，空气质量轨迹模型，聚类分析，潜在源贡献函数（PSCF）和浓度加权轨迹（CWT）方法已被广泛用于评估流行的运输途径和来源地空气污染物（Wang 等，2004; Wang 等，2010; Liu 等，2013; Zhang 等，2013; Yu 等，2014c）。北京遭受了 2014 年 2 月 21 日至 27 日严重雾霾，这是最长的时间新环境下进行空气质量监测后的大雾霾自 2013 年 1 月 1 日起实施空气质量标准。在这项工作中，我们分析了 2 月 8 日至 2 月北京的空气污染 2014 年 2 月 28 日，使用地面和卫星观测数据。同时，气团后退轨迹和受体模型（PSCF 和 CWT）被用来研究当地的可能影响和运输污染物源对北京霾的形成在阴霾发作之前和之中。

2. 方法论

2.1、观测资料

每小时的空气污染物 (PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, CO 和 SO₂) 为 10 个城市监测站(万寿西宫(北纬 39.87° , 东经 116.37°), 昌平镇(40.20° N, 116.23° E), 农站关(39.97° N, 116.47° E), 天坛(39.87° N, 116.43° E), 关原(39.94° N, 116.36° E), 海淀渠湾流(39.99° N, 116.315° E), 东寺(39.95° N, 东经 116.43°), 古城(39.93° N, 116.23° E), 顺义新城(40.1438 北京(北, 116.72° E), 奥提中新(40.00° N, 116.41° E)) 用标准方法测量 (CNEMC, 2013)。中国国家环境监测中心 (CNEMC) 已启动释放 PM_{2.5}, PM₁₀, O₃ 的实时每小时浓度, 74 个主要国家的 496 个国家监测站的 NO₂, CO 和 SO₂ 2013 年 1 月以来在中国的城市。这 10 个城市监测北京的车站属于其中的一部分。更详细有关观测数据的信息可以在中国环境保护部 (ARL) 的网站, 2015)。此外, 550 nm 处的气溶胶光学深度 (AOD) 数据从 MODIS (中等分辨率成像) 获得在本研究中使用了分光辐射计。MODIS 仪器 Terra (EOS AM) 航天器从北向南飞行早晨穿过赤道。因为有效的卫星研究区域的每日数据相对稀缺, 我们主要空间分辨率为 1° 的选定 MOD08_D3 数据 (Level-3 数据) 从 2014 年 2 月 8 日至 28 日。

2.2、气团后向轨迹计算, 聚类分析, PSCF 和 CWT

继俞等 (2014c), 开始的 48 小时后退轨迹在距离 10 个城市监测点 100 m 的到达高度处使用 NOAA HYSPLIT 模型计算北京 (<http://ready.arl.noaa.gov/HYSPLIT.php>) 研究可能的和运输来源对雾霾形成的影响研究期间 (2014 年 2 月 8 日至 2 月 28 日) 北京。由于 10 个监视站点非常靠近, 因此轨迹集群方法用于整个站点。在这项工作中, 我们使用了角距离做聚类分析。该方法用于计算两条轨迹之间的平均角度距离为改编自 Sirois 和

Bottenheim (1995)。NCEP / FNL (国家环境预测中心, 最终分析) 每隔 3 小时从 NOAA 获得的空域具有空间 0.5×0.5 的分辨率用作气象数据输入该模型。基于气象领域, 落后轨迹模型每天在开始时间 00: 00、03: 00、06: 00、09: 00、12: 00、15: 00、18: 00 和 21:00 LT (本地) 运行八次时间 (16: 00、19: 00、22: 00、01: 00、04: 00、07: 00、10: 00 和 13:00 UTC)。基于 HYSPLIT 模型的结果, PSCF 方法可用于识别排放源的可能位置会影响受体部位的污染物负荷 (Hsu 等, 2003)。研究域中网格单元的 PSCF 值为通过计算轨迹段端点计算得出在测量时间在每个像元内终止。PSCF 网格 (i, j) 的值定义为:

$$PSCF_{ij} = \frac{m_{ij}}{n_{ij}} \quad (1)$$

其中, n_{ij} 代表轨迹段的总数网格单元 (i, j) 处的端点, 并且 m_{ij} 是 PM2.5 的网格单元 (i, j) 上的轨迹段终点浓度高于任意设定的标准。PM2.5 该标准中的污染浓度标准设置为 $75 \mu\text{g m}^{-3}$ 研究。PSCF 值较高的单元表示该区域对高污染物的潜在贡献很大受体部位的浓度。PSCF 的局限性方法是网格单元可能具有相同的 PSCF 值污染物浓度仅略高或极高高于标准。为了弥补这一限制, 集中加权轨迹法计算轨迹加权浓度。CWT 方法计算网格单元的平均加权浓度 C_{ij} (i, j) 如下:

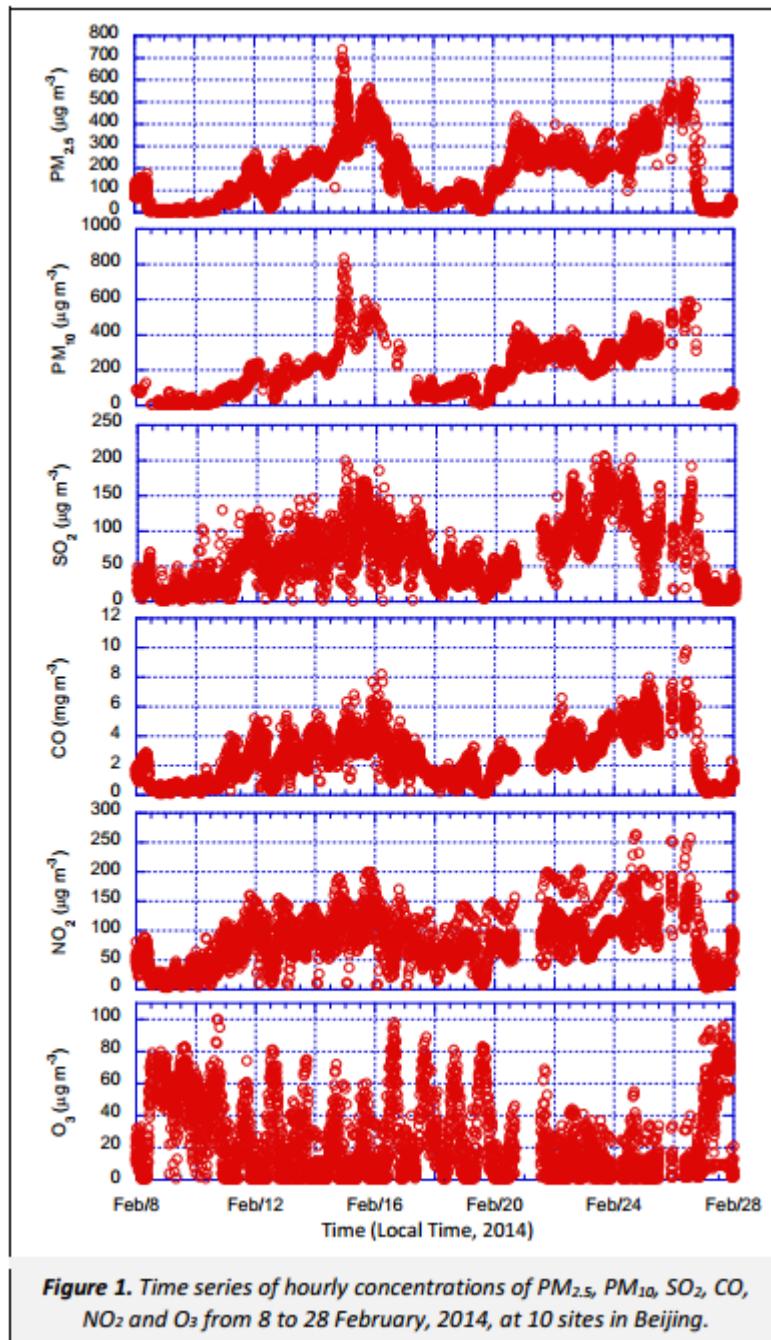
$$C_{ij} = \frac{1}{\sum_{l=1}^M T_{ijl}} \sum_{l=1}^M C_l T_{ijl} \quad (2)$$

其中, I 和 M 代表索引和总数轨迹, 分别。 C_l 是在轨迹到达时的受体部位 1。 T_{ijl} 是度过的时间通过轨迹 1 网格单元 (i, j)。较高的 C_{ij} 值表示空气在网格单元 (i, j) 上行驶的包裹将与受体部位的污染值很高。

3、结果与讨论

3.1、北京大雾霾的特征

经常发生极其严重和持续的雾霾自 2012 年以来在北京, 每小时的 PM_{2.5} 浓度平均数通常是破纪录的。图 1 显示了时间每小时观测到的 PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO, NO₂ 和 O₃ 的变化 2014 年 2 月 8 日至 28 日在北京的十个站点。结果为对这 10 个网站进行了整体分析, 因为十个监测点的 PM_{2.5} 浓度接近如图 1 所示。通常, 空气污染物的浓度像 PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO 和 NO₂ 的变化趋势相同在此期间, O₃ 除外。氧气浓度在整个时期内显示出明显的日变化值低于 100 μgm^{-3} , 远低于中国每小时的国家空气质量标准为 200 μgm^{-3} 。SO₂, NO₂ 和 CO 浓度此期间的变化范围是 1 至 207 μgm^{-3} 、2 至分别为 263 μgm^{-3} 和 0.1 至 9.8 mg m^{-3} 低于相应的每小时国家空气质量标准 (对于 SO₂ 为 500 μgm^{-3} , 对于 NO₂ 为 200 μgm^{-3} , 对于 CO 为 10.0 mg m^{-3}) 在大部分的时间。NO₂ 浓度值高于 200 μgm^{-3} 主要发生在从 2 月 24 日至 27 日。因为 SO₂, NO₂ 和 CO 直接排放来自生物质, 燃料和燃煤, 它们的浓度可以是受当地资源的影响更大。



对于 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 浓度，还有更多 2 月 8 日至 28 日期间变化趋势明显，2014 年。图 1 显示 $PM_{2.5}$ 浓度高于大部分时间为 $200 \mu g m^{-3}$ ，分两个时期：2 月 12 日至 17 日和 2014 年 2 月 20 日至 27 日。 PM_{10} 浓度相同像 $PM_{2.5}$ 这样的模式请注意，以下方面的观测数据较少与 $PM_{2.5}$ 相比，2 月 8 日至 28 日所有站点的 PM_{10} 由于仪器故障，如图 1 所示。国家空气质量 $PM_{2.5}$ 二级标准为 $75 \mu g m^{-3}$ ，我们在以下基础上将整个数据分为三类： $PM_{2.5}$ 浓度：相对清洁的空气（ $PM_{2.5}$ 浓度较小大于 $75 \mu g m^{-3}$ ），雾度（ $PM_{2.5}$ 浓度大于 $75 \mu g m^{-3}$ 但小于 200

$\mu\text{g m}^{-3}$) 和浓雾 ($\text{PM}_{2.5}$ 浓度大于 $200 \mu\text{g m}^{-3}$)。请注意, 由于 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度为在北京严重雾霾时期通常超过 $200 \mu\text{g m}^{-3}$, $\text{PM}_{2.5} > 200 \mu\text{g m}^{-3}$ 的情况的结果分析为在这项研究中是分开的案例。在相对清洁的空气时期, 所有污染物浓度相对较低, 平均水平 $\text{PM}_{2.5}$ 的浓度约为 $29.5 \mu\text{g m}^{-3}$ 。平均浓度 $\text{PM}_{2.5}$ 的雾度为 $136.6 \mu\text{g m}^{-3}$ 和 $311.2 \mu\text{g m}^{-3}$ 和浓雾期。在阴霾重重的时期, $\text{PM}_{2.5}$ 的最高浓度高达 $700 \mu\text{g m}^{-3}$, 2 月 15 日, 这是创纪录的。

图 2 显示了平均 AOD 的空间分布在华东地区 550 nm 处的波长为 8 至 2014 年 2 月 14 日, 2 月 15 日至 17 日, 2 月 18 日至 20 日, 2 月 21 日至 27 日和 2 月 8 日至 27 日。图 2 显示了中国上空的浓雾变化。整个研究期间, 与 $\text{PM}_{2.5}$ 的变化一致在图 1 中的北京观察到。值得注意的是, 大多数阴霾严重污染位于南部和中国中部地区 (图 2a) 在 8 至 2 月 14 日, 并移至东北 15 至 2 月 17 日 (见图 2b)。在 2 月 21 日至 27 日期间, 大部分浓雾污染已经转移到了海上, 位于渤海和黄海 (见图 2d)。

3.2、轨迹聚类

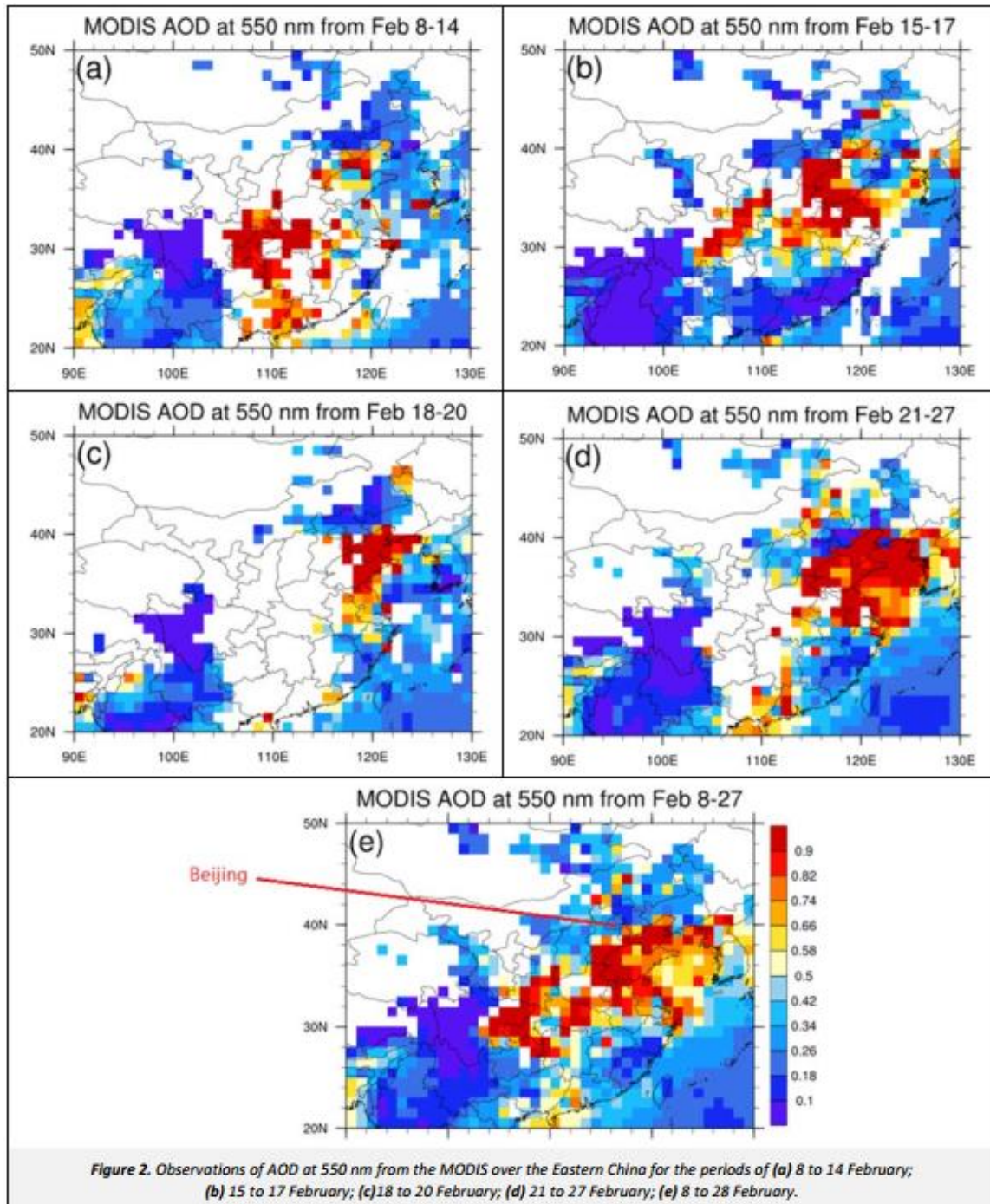
在图 3a 中, 整个时期内所有数据的五个聚类由聚类算法产生: S (南部), E (东部), N (北), N - NW (北 - 西北) 和 NW (西北)。的相对清洁的空气, 阴霾和重雾的后向轨迹图 3b, 3c 和 3d 也分别示出了周期。表 1 总结了每种轨迹的百分比轨迹聚类为四种情况 (即从 8 到 2 月 28 日, 空气相对清洁, 阴霾和大雨雾霾期), 相应的 $\text{PM}_{2.5}$ 和平均风速。表 1 还列出了被污染的结果 $\text{PM}_{2.5}$ 标准设置为 $75 \mu\text{g m}^{-3}$ 的情况 (II 类中文 $\text{PM}_{2.5}$ 标准)。如图 3 和表 1 所示, 主要空气污染源的因不同时期。对于相对较干净的空气阶段, 48 小时后轨迹主要来自遥远的地区, 例如新疆, 内蒙古和蒙古。但是, 那 48 小时后退轨迹主

要来自当地和附近地区河北，山东和辽宁等省份的阴霾和阴霾重重的时期。根据聚类分析（请参见表 1），整个时期的轨迹簇是以星团 S 为主，占 42.5%，E，N，N - NW 西北群集分别占 30.1%，16.1%，7.0%和 3.6%，分别。对于 $PM_{2.5} < 75 \mu g m^{-3}$ 的相对清洁时期，最主要的星团是 N（74.2%），可带来新鲜的清洁空气来自内蒙古和蒙古地区。值得注意的是该集群西北部也带来了来自新疆的新鲜洁净空气北京为北京较为干净的时期。表 1 所示 N 和 NW 簇的平均风速相对清洁期分别为 9.1 和 $15.4 m s^{-1}$ ，表明来自非常清洁区域的快速空气团的影响。对于 $PM_{2.5} > 200 \mu g m^{-3}$ 的雾霾非常重的时期轨迹来自南（S）或东（E）星团与非常缓慢的空气质量有关风速 $< 2.0 m s^{-1}$ ，如表 1 所示。结果表明南部和东部的污染源，特别是在北京南部地区，主要负责北京雾霾严重。对于雾霾时期 $75 \mu g m^{-3} < PM_{2.5} < 200 \mu g m^{-3}$ ，主要簇仍为 S（35.8%）和 E（43.5%），来自西北地区的贡献（16.4%）和 N（4.3）个群集，如图 3c 所示。图 3 和表 1 清楚地表明了霾的平均风速期间介于相对干净和非常沉重的期间阴霾时期。这表明来自 N 和 N - NW 的空气质量如果平均风速小于 $4 m s^{-1}$ ，而来自 S 和 E 簇的气团也可以如果风速是如图 3 和表 1 所示，它有点大。

3.3、PSCF 和 CWT 分析的资料来源

图 4 显示了 $PM_{2.5}$ 的 PSCF 值的分布雾霾期和重雾霾期的北京 NO_2 。PSCF 值是使用中国 II 类标准计算的（ $PM_{2.5} < 75 \mu g m^{-3}$ 和 $NO_2 < 80 \mu g m^{-3}$ ）作为标准。一般作为如图 4 所示，PSCF 值较高的单元位于主要在北京的南部和西南部，例如保定，河北省石家庄，沧州，衡水和邯郸，这两个时期均为山东省的德州，聊城和菏泽。这些潜在来源很可能导致北京的 $PM_{2.5}$ 和 NO_2 浓度。在阴霾时期，德州，聊城和菏泽等地区的潜在资源山东省最有可能导致高 $PM_{2.5}$ 和二氧化氮

北京的浓度（见图 4a 和 4b）。与此同时，保定，石家庄和衡水地区也可能导致北京期间 PM_{2.5} 浓度高的原因阴霾期。由于 PM_{2.5} 浓度高于在大雾霾期间为 200 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，几乎所有 PSCF 值均为 1.0，如图 4c 所示。在雾霾严重的时期，保定，沧州，河北省衡水，邯郸，山东德州市和天津最有可能导致高 PM_{2.5} 和北京的 NO₂ 浓度（见图 4c 和 4d）。注意辽宁省锦州也可能是一个潜在来源阴霾严重的地区。



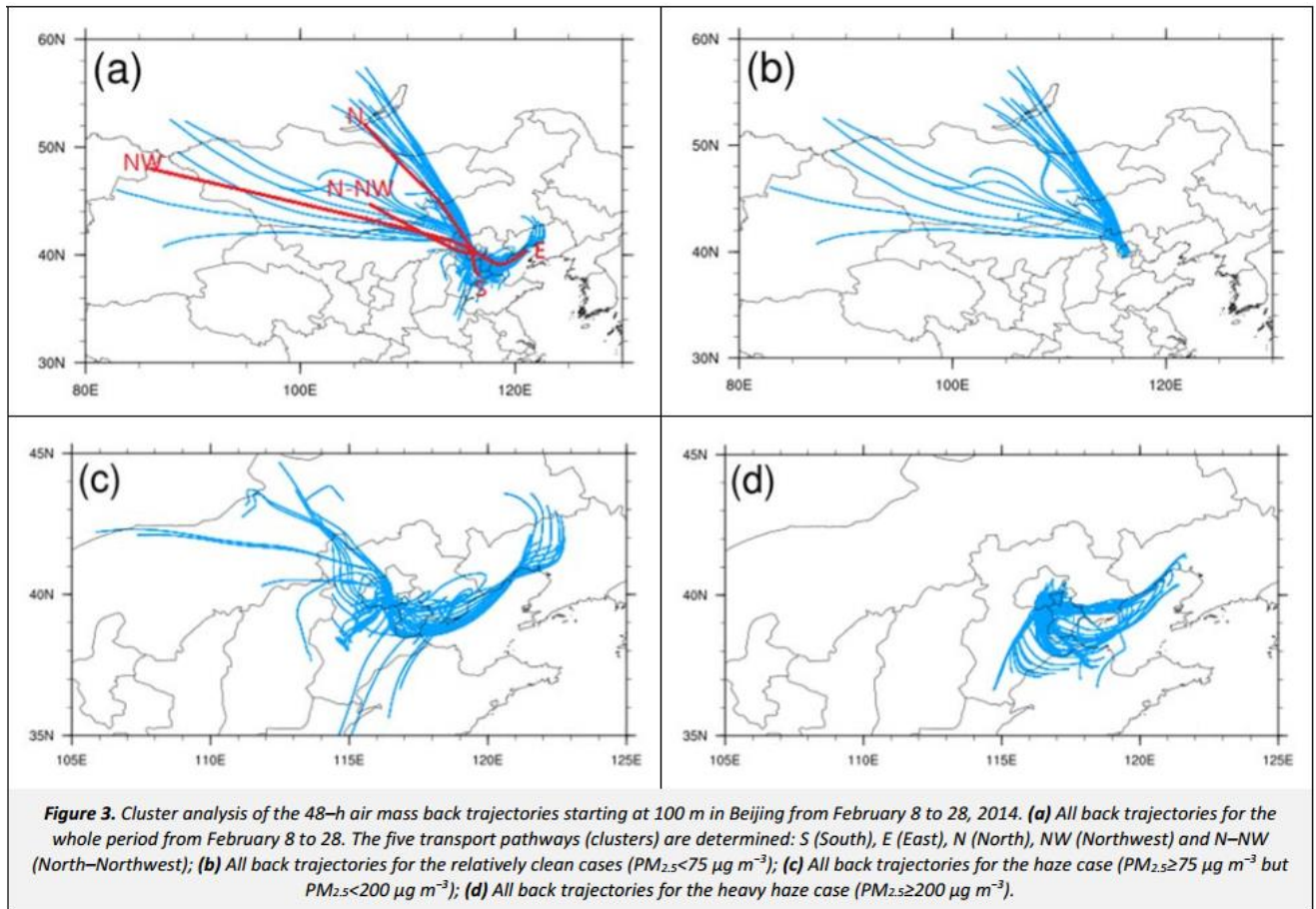


Table 1. Mean concentrations of $PM_{2.5}$ percentages of trajectories for each trajectory cluster for the whole period (February 8 to 28, 2014) and three sampling periods (relatively clean air: $PM_{2.5} < 75 \mu g m^{-3}$; haze: $PM_{2.5} \geq 75 \mu g m^{-3}$ but $PM_{2.5} < 200 \mu g m^{-3}$; heavy haze: $PM_{2.5} \geq 200 \mu g m^{-3}$). Values in the parentheses are number of back trajectories

		Percent (%)	Mean $PM_{2.5}$ ($\mu g m^{-3}$)	Polluted Percent (%)	Polluted Mean $PM_{2.5}$ ($\mu g m^{-3}$)	WS ($m s^{-1}$)
All Data for the Whole Period	N	16.1 (241)	15.93	0.1 (1)	138	8.7
	N-NW	7.0 (105)	64.16	2.9 (30)	101	4.2
	NW	3.6 (54)	18.33	0.1 (1)	233	15.4
	E	30.1 (458)	170.91	36.7 (373)	197.3	1.3
	S	42.5 (635)	268.4	60.2 (612)	276.41	2
Clean	N	74.2 (219)	15.26	0	0	9.1
	N-NW	7.5 (22)	54.32	0	0	5.6
	NW	18.3 (54)	18.33	0	0	15.4
Haze	N	4.3 (22)	22.55	0	0	4
	N-NW	16.4 (83)	66.77	9.0 (29)	101.8	3.8
	E	43.5 (220)	95.31	41.9 (135)	120.61	1.3
	S	35.8 (181)	142.57	49.1 (158)	155.28	2.5
Heavy Haze	E	34.4 (238)	318.56	34.4 (238)	318.56	1.3
	S	65.6 (454)	291.81	65.6 (454)	291.81	1.8

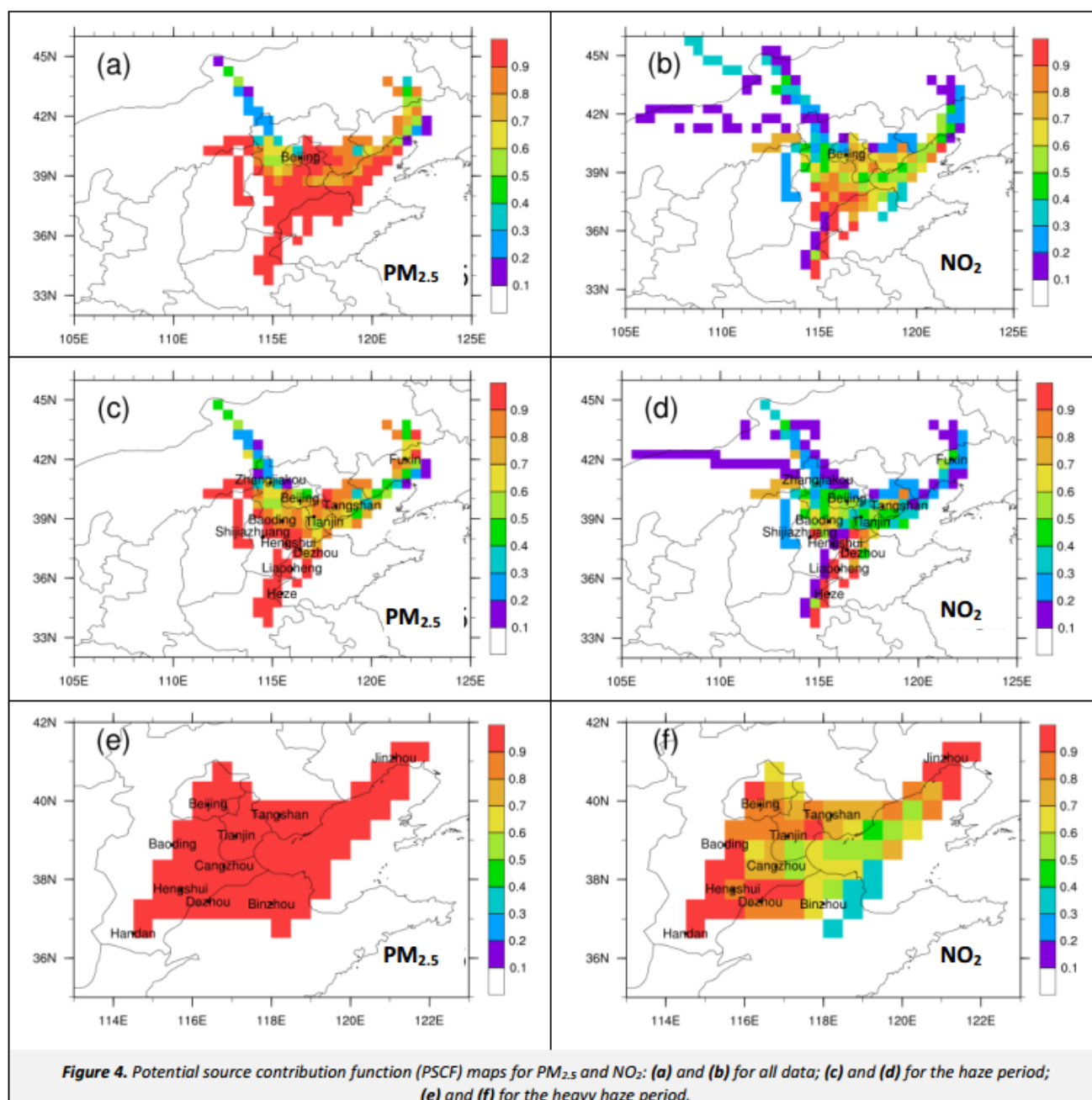


Table 2. Correlation coefficients among different species for the whole study period

	$PM_{2.5}$	PM_{10}	$PM_{10}-PM_{2.5}$	SO_2	NO_2	CO	O_3
$PM_{2.5}$	1.00						
PM_{10}	0.98	1.00					
$PM_{10}-PM_{2.5}$	0.36	0.52	1.00				
SO_2	0.69	0.74	0.61	1.00			
NO_2	0.76	0.81	0.46	0.67	1.00		
CO	0.85	0.88	0.51	0.75	0.83	1.00	
O_3	-0.50	-0.56	-0.33	-0.47	-0.70	-0.61	1.00

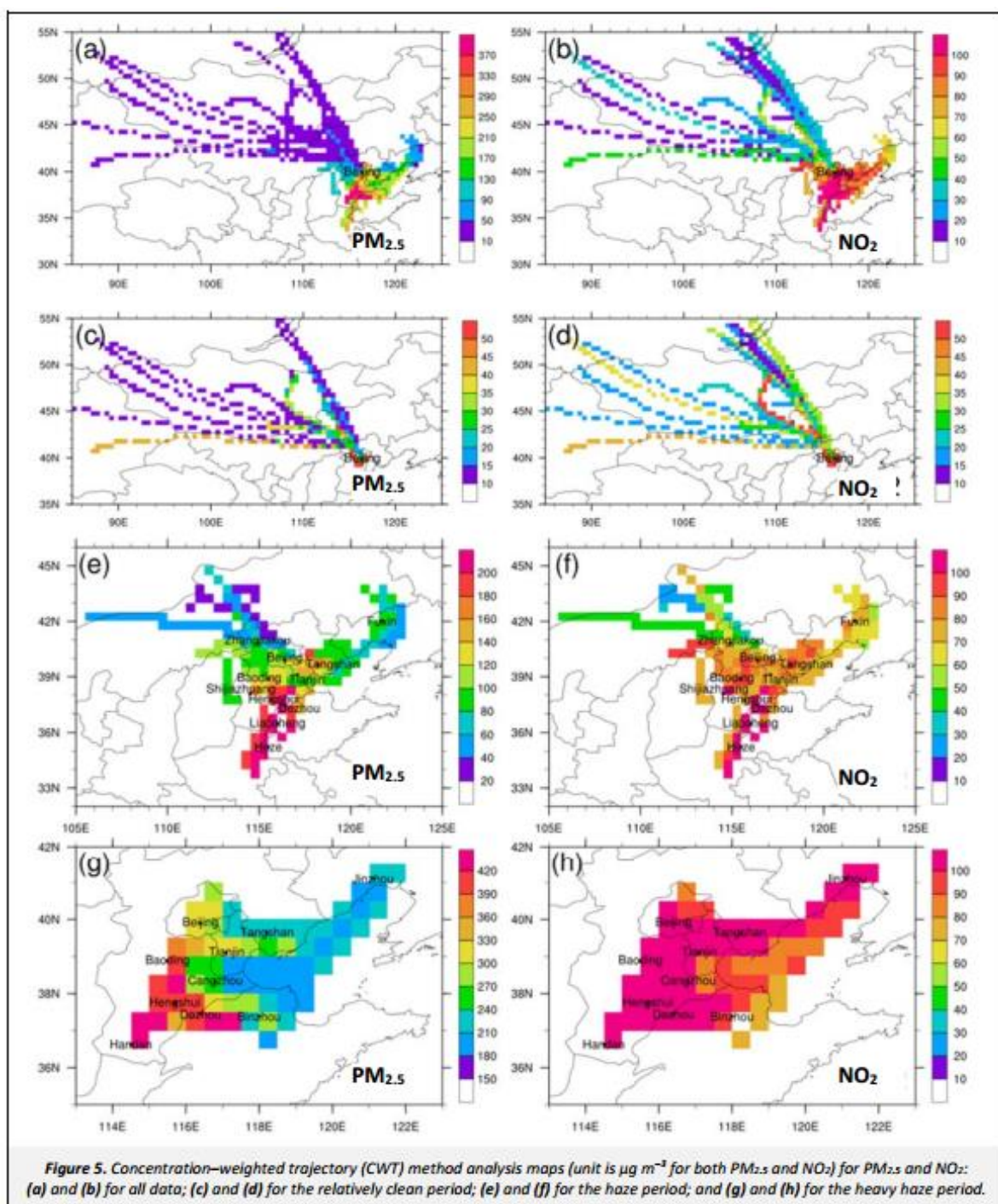


图 5 显示了 $\text{PM}_{2.5}$ 的 CWT 值的分布整体来说是 NO_2 ，空气相对清洁，雾霾和浓雾期。根据 CWT 分析，CWT 值可以指出每个潜在来源对受体部位的浓度很高。图 5a 和 5b 表明空气质量主要来自内蒙古和在蒙古期间 $\text{PM}_{2.5}$ 和 NO_2 浓度低的蒙古空气比较干净的时期。图 5c 和 5d 中 CWT 值的分布表明，在雾霾时期，源主要影响北京 $\text{PM}_{2.5}$ 和 NO_2 浓度高位于北京南部，例如德州，聊城和山东省菏泽。另一方面，潜力污染源地区主要位于西南地区北京像河北省的保

定，衡水和邯郸在大雾时期（见图 5e 和 5f）。这些电位源导致 PM_{2.5} 浓度超过 200 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，而 NO₂ 浓度超过 100 $\mu\text{g m}^{-3}$ 北京。图 5c 和图 5e 的结果清楚地表明运往北京的污染物主要来自北京的西南。图 6 显示了 CWT 的结果分析雾霾和重雾霾时期的 SO₂。可以如图 6 所示，SO₂ 的 CTW 结果与 NO₂ 相似。在雾霾时期，影响北京二氧化硫的主要来源是位于山东省德州市，聊城市和菏泽，在雾霾浓重的时期，影响北京二氧化硫主要分布在河北保定，衡水和邯郸省。辽宁省锦州的污染物也对北京二氧化硫的分布有重大影响。上另一方面，郭等。

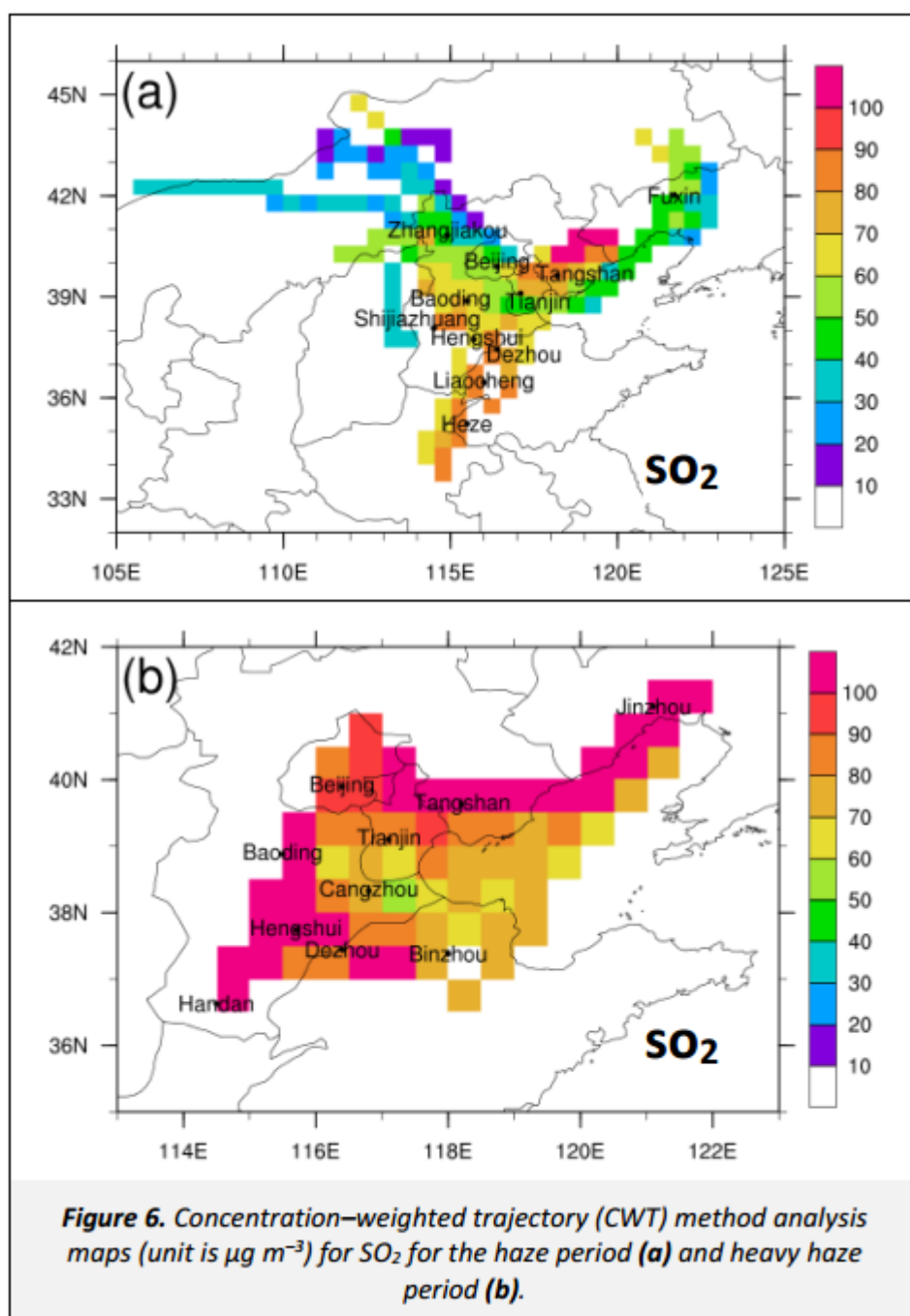
（2014 年）报道说，大型中学形成，这是由于光化学氧化来自城市交通排放的 VOC 和 NO_x 以及来自区域的 SO₂ 工业资源，主要是北京严重的 PM_{2.5} 造成的事件。图 5 中这项工作的结果有些不同郭等人的分析。（2014）中的 PM_{2.5} 和 NO₂。我们的结果在图 6 中证实了 Guo 等人的发现。（2014）关于区域交通运输对北京二氧化硫浓度的影响。

3.4、PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂, CO 和二氧化硫之间的相关性分析

调查 PM_{2.5}, PM₁₀, O₃, NO₂ 之间的关系，CO 和 SO₂, Pearson 相关系数是根据每个物种每小时浓度的基础，并在表 2.粗颗粒质量（PM₁₀ - PM_{2.5}）的结果为也列在表 2 中。表 2 显示了非常强大的 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 之间的相关系数 (r)0.98。这是因为 88%的 PM₁₀(平均浓度: 206.70 \pm 147.78 $\mu\text{g m}^{-3}$)为 PM_{2.5} (平均浓度密度: 182.47 \pm 135.43 $\mu\text{g m}^{-3}$), 而粗颗粒(平均浓度: 24.23 \pm 27.67 $\mu\text{g m}^{-3}$)仅贡献了 12%PM₁₀。这与弗雷斯诺站点的结果一致加利福尼亚州的粗颗粒也仅贡献了 11%冬季 PM_{2.5} 事件中的 PM₁₀(Watson 和 Chow, 2002 年)。由于粗颗粒来自产生粉尘的活动，例如作为土壤上的风，街道和建筑上的交通，此处的结果表明，除尘活动不是北京的 PM_{2.5} 的主要来源受到非常薄弱的支持

粗颗粒与 PM_{2.5} 之间的相关性 ($r = 0.36$, 表 2)。移动源 (或城市烟羽) 排放高水平的二氧化碳和氮氧化物, 但二氧化硫含量相对较低, 而点源发电厂 (主要是燃煤) 排放高水平的二氧化硫和 NO_x, 但 CO 含量相对较低 (Yu 等, 2006)。

很有意思注意 PM_{2.5} 与 CO 的相关性最强 ($r = 0.852$), 其次是 NO₂ ($r = 0.763$) 和 SO₂ ($r = 0.691$), 如表 2 所示。表明 PM_{2.5} 的形成受以下来源的影响: 因为 CO 是人类活动的长期追踪者, 知名来源, 例如燃烧, 工业, 移动和氧化碳氢化合物 (Yu 等, 2006), 这意味着 PM_{2.5} 形成也是不同来源的结果, 包括燃烧, 工业, 流动和碳氢化合物的氧化。的来自发电厂和移动设备的资源都非常重要对北京 PM_{2.5} 形成的贡献。在另一方面, O₃ 与其他物种之间的负相关性 (PM_{2.5}, PM₁₀, NO₂, CO 和 SO₂) 表示 O₃ 的来源是与其他物种不同。良好的正相关在 NO₂ 和 PM_{2.5} 之间 ($r = 0.763$) 确认高 PM_{2.5} 浓度高的同时伴随着高 NO_x 浓度北京。 O₃ 之间的显着负相关 NO₂ ($r = -0.70$) 也证实了 NO_x 对 O₃ 的破坏林等。 (2011 年) 发现, NO 对 O₃ 的破坏率北京市区的 h-1 约为 33 ppbv。



3.5、北京雾霾的控制策略意义

以上分析结果表明，关键因素用于确定高 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度和雾状形成北京是工业区的空气污染运输在北京的西南/西南地区，例如德州，山东省聊城市和菏泽，保定，石家庄，河北省衡水市和邯郸市。为了改善空气质量在 2014 年 11 月 5 日至 11 日举行的亚太经济合作组织（APEC）会议期间，北京及其北京周边地区（包括天津和四个省（河北，山东，内蒙古和山西））制定特殊的空气污染控制计划（CIBN，2014）。其中包括公共部门雇员的额外假期，奇偶许可证编号驱

动规则，以及中止排放量大的工厂生产。所有的共同努力是有望将空气污染排放量减少至少 30%。如新华社报道（CIBN, 2014; CNY, 2014）参与这项特殊的空气污染控制计划包括八项城市（石家庄，廊坊，保定，邢台，邯郸，唐山，河北省沧州市，衡水市，济南，淄博，山东省德州市东营，聊城，滨州）山西省的三个城市（大同，朔州，太原），以及内蒙古的两个城市（包头，呼和浩特）。许多城市采取了最严格的应急措施加大减排力度。艰难的排放 - 减少措施和有利的气象条件该地区导致北京在严重污染的蓝天。APEC 时期，“APEC 蓝色”，由一些中国人创造网民。我们的结果与那些强加于城市的结果一致制定特殊的空气污染控制计划以应对紧急情况确保 APEC 期间北京的空气清洁。空气北京市环境局发布的质量数据防护局（中国日报，2014 年）显示，APEC 期间的 PM_{2.5}，PM₁₀，SO₂，NO₂ 浓度为分别为 43、62、8 和 46 $\mu\text{g m}^{-3}$ ，并减少了 55、44、57，与去年同期相比分别为 31%和 31%年。北京的 SO₂，NO_x，PM₁₀，PM_{2.5} 和 VOC 排放分别减少了 54、41、68、63 和 35%（网易，2014）。在亚太经合组织会议期间成功削减排放量激发了人们对获得清洁空气的信心，并会提示采取更多措施来减少空气污染。结果还表明减少整个地区的排放和空气污染是关键确保北京的蓝天和良好的空气质量。

4、结论

超过一半的中国城市遭受严重空气污染工业快速发展带来的污染城市化。北京作为中国的政治文化中心，经常遭受严重的雾霾。在这项研究中，地表观测（PM_{2.5}，PM₁₀，SO₂，CO，NO₂ 和 O₃）我们有 10 个城市监测站和卫星观测站分析了 2 月 8 日至 28 日的空气污染特征，2014 年在北京。根据 PM_{2.5} 浓度，我们分离了整个数据分为三类：相对清洁的空气（PM_{2.5} 浓度小于 75 $\mu\text{g m}^{-3}$ ），

雾度 (PM_{2.5} 浓度大于 75 $\mu\text{g m}^{-3}$ 但小于 200 $\mu\text{g m}^{-3}$) 且雾度较大 (PM_{2.5} 浓度大于 200 $\mu\text{g m}^{-3}$)。平均 PM_{2.5} 的浓度为 29.5 $\mu\text{g m}^{-3}$ 、136.6 $\mu\text{g m}^{-3}$ 和 311.2 $\mu\text{g m}^{-3}$, 适用于相对清洁的空气, 雾霾和重雾霾情况; 分别。NOAA HYSPLIT 模型和受体模型分别为用于分析 PM_{2.5} 升高的潜在来源区域, 北京的 NO₂ 和 SO₂ 浓度。模型结果显示对于雾霾情况, E (43.5%) 和 S (35.8%) 是北京的主要集群和污染物主要来源于来自德州, 聊城和菏泽等南部地区山东省。对于南部和东部的大雾霾集群分别占 65.6% 和 34.4%。来源河北省保定, 衡水, 邯郸地区造成北京 PM_{2.5} 浓度极高的原因雾霾严重的情况。而且, NO₂ 和 NO 的分析结果二氧化硫表明辽宁锦州的潜在源区省也对较高的 NO₂ 和北京的 SO₂ 浓度。相关分析表明 PM_{2.5} 的形成受类似于 CO 的来源的影响例如燃烧, 工业, 移动和氢氧化碳。结论表明, 周边省份排放对北京的空气污染至关重要。因此, 有必要对所有人实施空气污染控制周边地区, 尤其是位于北京西南/西南。值得注意的是, 导致高 PM_{2.5} 浓度和雾霾形成我们工作中确定的北京与这些城市相符通过特殊的空气污染控制措施实施紧急限制计划在 APEC 期间确保北京的空气清洁。在另一方面, “APEC 蓝色”的成功激发了人们的信心可获得清洁空气并减少排放和空气污染整个地区的关键是确保蓝天和良好的空气北京的质量。