

环境气象评估指数 EMI 原理及应用

刘洪利¹ 龚山陵¹ 何建军¹ 王亚强¹ 张碧辉² 张恒德²

(1 中国气象科学研究院, 北京, 100081; 2 国家气象中心, 北京, 100081)

1. 环境气象评估指数 (EMI) 定义和原理

大气环境治理措施和气象条件变化是影响大气污染物变化的两大决定因素。现实中二者是相互交织相互作用, 难以定量分离的。本文定义了一个环境气象评估指数 (EMI) 并通过数值方法计算出来。进而可以定量分析气象条件对污染物浓度变化的影响程度以及减排调控的实际效果。

EMI 定义为气象条件变化所导致的细颗粒物 ($\text{PM}_{2.5}$) 浓度变化的指标。在使用示踪方式计算 **EMI**, 我们设定 **EMI** 为地面~1500 米高度气柱内示踪物平均浓度与参考浓度的比值, 无量纲。

$$EMI = C/C_0$$

式中 C 为气柱 (地面至 1500m 高空) 内示踪物平均浓度; C_0 是根据环境空气质量指数技术规定 (HJ633-2012) 中 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度优等级的上限值 ($35\mu\text{g}/\text{m}^3$)。

关于示踪气溶胶的连续性方程为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + S + R - Dep$$

其中 S 为示踪物源的排放率, R 表示化学反应的二次生成率, Dep 为沉降率, S , R , Dep 单位均为 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{s}^{-1}$ 。因为目前空气质量监测业务中还没有铵盐和二次有机气溶胶的监测, 因此本文中把这两项的排放率按比例折算到一次源中, 二次源项只考虑 SO_2 、 NO_x 。因此, 当把 $\text{PM}_{2.5}$ 、 SO_2 、 NO_x 当作一个整体作为示踪物后, R 的作用可以认为是示踪物内部的相互转化, 对外效果可近似为 0。

以上方程可以得到 t 时刻示踪气溶胶浓度为:

$$EMI_t = EMI_{t_0} + \int_{t_0}^t (iEmid + iTran + iDiff) \cdot dt$$

$iEmid, iTran, iDiff$ 分别表示地表交换层的排放沉降作用、水平和垂直方向的大气输送作用、大气湍流作用对示踪物浓度变化的贡献率, 三个分指数单位为 s^{-1} 。

$$\text{排放沉降指数 } iEmid = \frac{1}{C_0} \int_0^h (S - Dep) dh$$

$$\text{传输指数 } iTrans = \frac{1}{C_0} \int_0^h -\left(u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + w \frac{\partial C}{\partial z}\right) dh$$

$$\text{扩散指数 } iDiff = \frac{1}{C_0} \int_0^h \left\{ \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \right\} dh$$

这里 h 气柱高度, $h=1500\text{m}$, u , v , w 为风速在 x, y, z 方向上的分量, K_x, K_y, K_z 为扩散系

数。

EMI 及其分指数, 表征了气象条件变化对示踪物浓度变化的定量贡献和相应动力机制。如得到 *EMI* 及其分指数, 结合实际大气中污染物浓度的变化情况, 则可进一步分析减排调控措施的定量效果。

2. CUACE-EMI 数值计算系统

EMI 很难得到解析解, 因此本文中, 以中国气象局雾-霾数值预报业务模式 CUACE V2.0 为基础, 开发了 *EMI* 数值计算系统 CUACE-EMI。

CUACE-EMI 计算范围覆盖全国, 水平分辨率 15km; 排放源使用中国气象局雾-霾数值预报业务系统的排放源 (2015 年), 背景气象场选用 T639 分析场, 并用地面、探空站点资料同化。本文中计算了 2013~2017 年全国的 *EMI* 时空变化情况, 重点评估了 2017 年气象条件变化和减排调控措施的具体贡献率。

3. 气象条件贡献率和减排效果评估分析

2017 年全国年平均气象条件使 $PM_{2.5}$ 较 2016 年上升 1.0%, 而实际 $PM_{2.5}$ 降低了 6.5%, 因此减排使全国平均浓度下降 7.5% (表 1)。其中, 京津冀气象条件偏差 0.7%, $PM_{2.5}$ 浓度下降了 9.9%, 减排效果达 10.6%; 长三角气象条件偏差 4.6%, $PM_{2.5}$ 浓度下降了 4.3%, 减排效果达 8.9%; 珠三角气象条件偏差 7.6%, $PM_{2.5}$ 浓度上升 6.3%, 减排效果为 1.3%。

2017 年 11-12 月份 (表 2) 与上年同期相比, 全国平均气象条件转好, 气象条件使 $PM_{2.5}$ 浓度下降 1.7%, 而实际 $PM_{2.5}$ 降低了 15.0%, 减排效果达 13.3%。京津冀 $PM_{2.5}$ 降低 46.7%,

其中气象条件贡献 15.4%, 减排效果达 31.3%。长三角 $PM_{2.5}$ 增加了 3.7%, 但主要受不利气象条件影响, 气象条件转差 8.9%, 减排使浓度下降 5.2%。珠三角 $PM_{2.5}$ 升高了 9.8%, 但其中气象条件转差 12.2%, 减排使浓度降低 2.4%。

大气污染防治行动计划实施以来, $PM_{2.5}$ 浓度逐年降低。以 2013 年的气象条件和 $PM_{2.5}$ 浓度为基准, 逐年评估气象条件和减排措施对 $PM_{2.5}$ 浓度降低的贡献。2014 至 2017 年全国平均 $PM_{2.5}$ 浓度较 2013 年分别降低 19.5%、35.1%、40.3% 和 44.2%, 2014 年和 2015 年气象条件转差, 导致浓度分别升高 4.3% 和 3.4%, 减排措施分别使浓度降低 23.8% 和 38.5%; 2016 年气象条件略改善 0.1%, 减排效果达 40.2%; 2017 年全国平均气象条件较 2013 年转差 1.1%, 减排效果达 45.3% (图 1)。

2014 年至 2017 年冬季 (1、2、11、12 月), 全国平均及京津冀、长三角、珠三角的 $PM_{2.5}$ 浓度较 2013 年同期均明显降低。剔除气象条件影响后, 2017 年冬季京津冀、长三角和珠三角的减排贡献率分别为 38.7%、22.9% 和 27.9%。(图 2)。

关键词: 环境气象评估指数, *EMI*, 减排贡献。

表 1 2017 年和 2016 年 PM_{2.5} 浓度实况变化及气象条件、减排措施使浓度变化的百分比 (%)

	京津冀	长三角	珠三角	华中地区	东北地区	西北地区	西南地区	全国平均
观测值	-9.9	-4.3	6.3	0	-2.4	-5.1	-12.5	-6.5
气象条件	0.7	4.6	7.6	1.7	0.0	-0.7	-0.1	1.0
减排贡献	-10.6	-8.9	-1.3	-1.7	-2.4	-4.4	-12.4	-7.5

表 2 2017 年和 2016 年 (11、12 月) PM_{2.5} 浓度实况及气象条件、减排措施使浓度变化的百分比 (%)

	京津冀	长三角	珠三角	华中地区	东北地区	西北地区	西南地区	全国平均
观测值	-46.7	3.7	9.8	12.3	-23.5	-19.3	-4	-15
气象条件	-15.4	8.9	12.2	14.2	-2.0	-6.3	3.0	-1.7
减排贡献	-31.3	-5.2	-2.4	-1.9	-21.5	-13.0	-7.0	-13.3

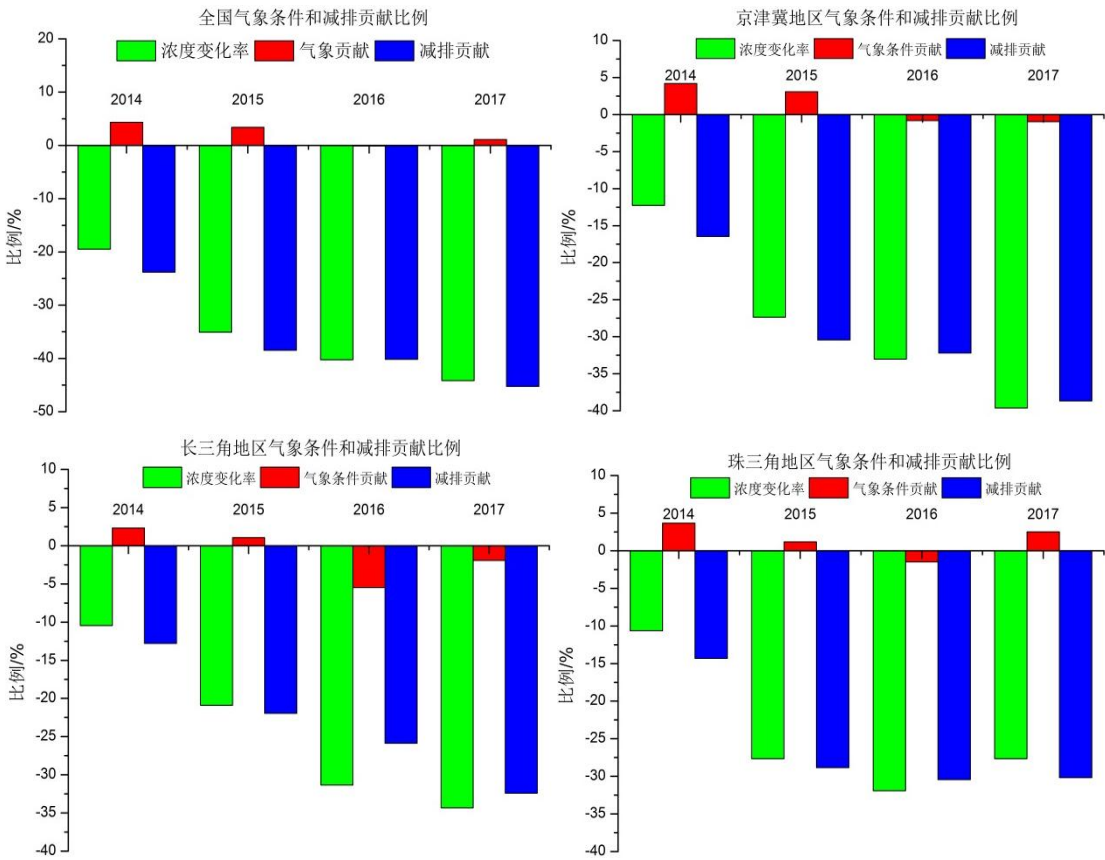


图 1 2014 年以来全国 (左上)、京津冀 (右上)、长三角 (左下)、珠三角 (右下) 气象条件和减排对 PM_{2.5} 浓度变化的贡献 (以 2013 年气象条件和 PM_{2.5} 浓度为基准)

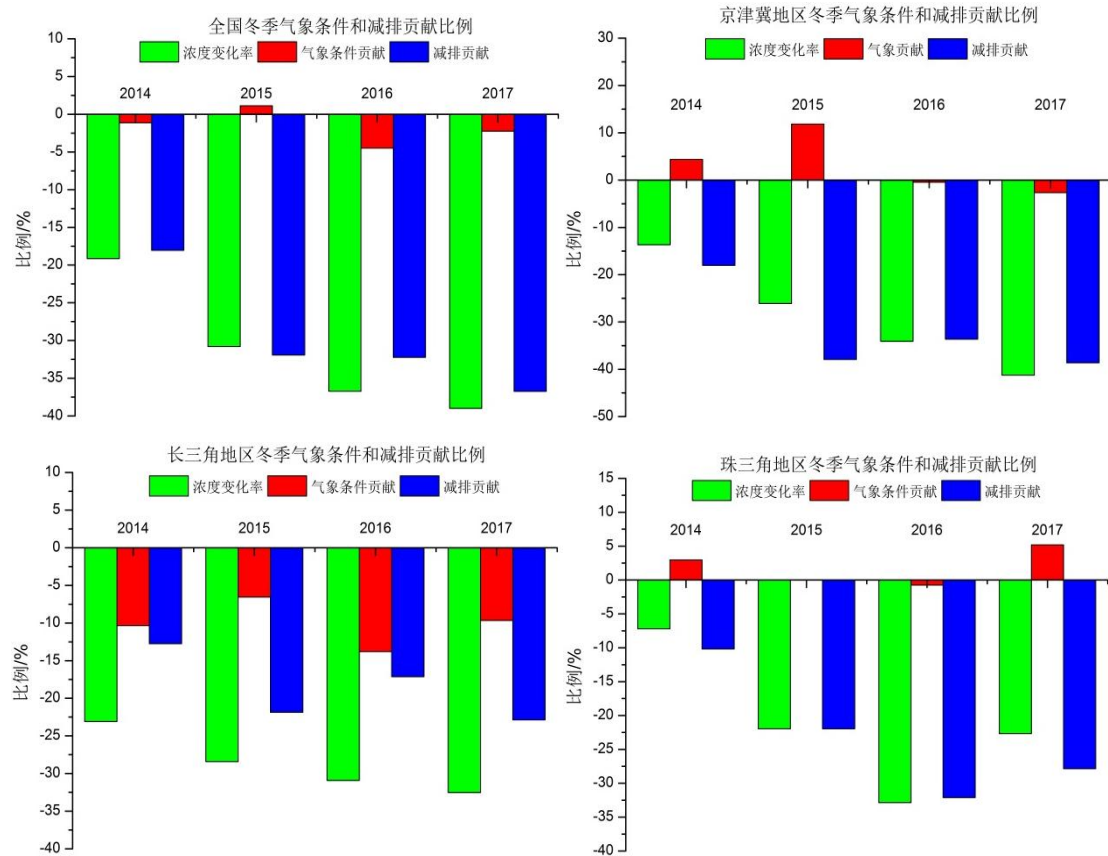


图2 2014年以来冬季（1、2、11、12月）全国（左上）、京津冀（右上）、长三角（左下）、珠三角（右下）气象条件和减排对 $PM_{2.5}$ 浓度变化的贡献（以2013年气象条件和 $PM_{2.5}$ 浓度为基准）