

# 大气环境资源的配置公平问题

蔡银寅

(南京信息工程大学大气环境经济研究院, 南京 210044)

**摘要:** 大气环境资源是表征污染物排放强度与大气污染程度正向关系的核心变量, 可以作为一种资源进行时空优化配置, 其配置公平包括生态公平和经济公平两层含义。大气污染防治的根本任务是寻求经济增长与污染损失的动态平衡, 即用最小的成本获取最大的经济效益。而大气环境资源的时空优化配置, 是促进这种动态平衡的关键。

**关键词:** 大气环境资源, 大气污染治理, 生态公平, 经济公平, 时空配置

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2021.03.019

## On Fair Allocation Problems of Atmospheric Environmental Resources

Cai Yinyin

(Institute of Atmospheric Environmental Economics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044)

**Abstract:** The relationships between pollutants emission intensity and air pollution are dramatically influenced by atmospheric environmental resources, and then some economic problems such as ecological justice, economic equity, spatial-temporal allocation, spatial-temporal allocation, and etc. emerge. The basic task of air pollution control is looking for the minimum cost to achieve the maximum air quality improvement, and to reach the dynamic equilibrium between economic growths and pollution loss. Spatial-temporal allocation of atmospheric environmental resources is the key to this dynamic equilibrium.

**Keywords:** atmospheric environmental resource, air pollution control, ecological justice, economic equity, spatial-temporal allocation

### 0 引言

大气污染作为一个经济学问题, 实际上包括了三个方面的内容: 一是大气污染程度, 侧重于其物理特征, 通常用污染物浓度和持续时间来表示; 二是造成的损失, 侧重于其经济方面, 通常考虑暴露在污染大气中的人口、动植物和资产量以及暴露时间; 三是污染物排放与大气污染程度之间的关系, 也是侧重于其物理特征, 主要考虑大气活动对大气污染程度的影响机制。其中, 第三个方面是大气环境资源关注的重点。

高效配置资源是经济活动的根本任务。对于大气污染防治来说, 就是用最小的减排成本, 挽回最大的损失, 从而获得最高的经济效益<sup>①</sup>。问题在于, 无论是大气污染造成的损失, 还是减排的经济成本, 其核算难度都很大。即使准确地监测大气的污染程度, 也清楚地知道暴露在其中的人口、动植物和资产量以及暴露时间, 也很难准确地评估其损失情况。例如, 在污染空气中活动一个小时, 到底会对人的健康产生什么样的影响? 而这种影响造成的连带损失有多大? 都是难以计算的。类似的, 污染大气对动植物、资产的影

响, 也很难精确计算。

同时, 污染物排放与大气污染程度之间的关系, 也非常复杂。一方面, 污染源的类型多样, 形式繁杂, 活动水平不一, 时间不固定, 既有自然源, 又有人为源, 有点源, 也有面源, 有连续活动的, 也有随机活动的, 统计时难以穷尽; 另一方面, 大气环境本身也时刻处于变化中, 不同的天气过程, 对污染物的影响也不同。虽然大家能清楚地知道, 污染物排放是大气污染的内因, 没有排放就不会有污染, 但又不得不承认, 污染物排放与大气污染程度之间的关系存在很大的变数, 决不能假定为简单的线性正相关关系。多排必然造成污染, 是趋势性的, 却不是边际性的。增加一个单位的排放, 到底对大气污染有多大程度的影响, 还要看当时的大气状态(天气条件)。

<sup>①</sup> 通常假定, 在自由放任政策下, 污染物排放主体(如热电厂、化工厂、建筑工地、机动车等)会将排放活动的收益最大化, 即当新增一个单位的污染物排放, 主体的边际收益为零时, 排放活动也会终止。也就是说, 自由放任状态下, 每一个单位的污染物排放, 对于排放主体来说, 都会带来大于零的经济效益。这就意味着, 实施环境政策(非自由放任), 无论强弱, 只要污染物排放量与自由放任状态相比减少, 必然会产生成本。至于成本的多寡, 则与排放主体的经济活动特征有关。针对不同的排放主体, 在不同的时间减少相同量的污染物排放, 其成本各不相同。成本最小化, 是污染物排放控制过程中需要考虑的核心问题。

收稿日期: 2021年2月1日; 修回日期: 2021年5月12日  
第一作者: 蔡银寅(1985—), Email: yyincai@nuist.edu.cn

目前,通过环境空气质量实时监测,基本上已经可以相对准确地掌握大气的污染程度。这意味着,大气污染治理的经济问题,可以分为两个部分来考虑。一是考察已知污染程度下的损失,重点是统计暴露其中的人口、动植物和资产量及暴露时间,进而评估其边际损失;二是考察污染物排放与大气污染程度之间的关系,进而评估减排成本带来的空气质量边际改善。从而建立减排成本与污染损失的关联性。

由于人为排放活动具有规律性,自然排放也有相对固定的特征,所以污染物排放的波动较小且呈现规律性变化,可以看作是一个慢变的过程。大气活动则不同,往往是一个剧烈的快变过程。因此,大气环境中污染物的浓度也会呈现不规则的变化,有时候特别高,也就是大家常说的重污染过程,有时候虽然达到了污染程度,但不是太高,便是轻度污染。当然,很多时候,大气环境中污染物的浓度达不到污染程度,空气质量会被称为优或者良。也就是说,虽然可以用平均浓度来衡量大气污染程度,但实际上,大气环境中污染物浓度是时刻变化的。

研究表明,即使大气环境中污染物浓度较低时,如轻度污染的情况,也会对劳动生产率造成显著影响<sup>[1]</sup>。这一发现说明,大气污染造成的损失不仅包括健康和资产性损害,还有生产效率<sup>[2]</sup>。越来越多的证据显示,大气污染还有更深远的影响,如心理健康、婴幼儿发育,等等<sup>[3]</sup>。对于大气污染损失的研究已经不再是重污染天气或者污染过程那么简单,而逐渐转变为一个全方位、全时段的问题。

如果大气污染是一个全方位、全时段的问题,那么大气活动对于大气污染来说也是一个全方位、全时段的问题。长期以来,环境经济学对大气污染的研究,一直基于一个假定,即天气变化对大气污染程度的影响是外在的,并忽略其时间和空间的差异。虽然也有很多针对特殊地形、季节变化、典型天气过程的研究,但大气环境本身,一直没有作为一个一般性要素进入环境经济学的分析框架中。

将异质性的大气环境看作是一种资源,实际上实现了对大气环境经济分析两个方向的拓展:第一,实现了从特殊天气过程到一般天气过程的拓展,换句话说,不仅剧烈的天气变化对大气污染有影响,即使是微弱的天气变化,对大气污染的影响也是不容忽视的,大气活动对大气污染的影响是全时性的;第二,实现了从特殊地形到一般性气候特征的拓展,气候特征是构成大气活动差异的根本原因,地形地貌、地理位置、季节变化等,最终通过气候特征反映大气活动的规律。这意味着,对一个地方大气活动的全时统

计,并赋予其大气污染的物理学和经济学含义,可以作为揭示大气环境资源问题的一个重要手段。

大气环境资源看似简单,实际上也很复杂。一旦将大气环境看作是一种资源,就会改变大气污染防治的思路。本文将从大气环境资源的概念、生态公平问题、经济公平问题,以及大气环境资源的时空优化配置方面,系统阐述大气环境资源所蕴含的配置公平问题。

## 1 概念问题

想要明确大气环境资源的概念,不仅要区分其与相似概念的异同,还要搞清楚其经济属性。大气环境是一种自然存在,从这个角度看,大气环境资源是一种自然资源,它与水资源、土地资源、矿产资源一样,是天然形成的。然而,大气环境作为一种自然资源,又与污染物排放密切相关,尤其是人类活动产生的污染物排放。优质的大气环境是人类活动的必要条件,在人类的正常耐受力以内,大气环境可以看作是无差别的。当然,如果大气环境被污染到人类无法生存的程度,也就失去了意义,如图1所示。因此,关注的大气污染,主要是超过了人类的耐受力,又不足以致命的程度(图1蓝色实线表示)。类似地,对于动植物和资产来说,也是这样,超过耐受力,但又不至于摧毁的程度。这个范围内的大气污染,对人类、动植物和资产的损害,都是边际性的,即增加一个单位的污染,损害会增加,减少一个单位的污染,损害会减少。大气环境的资源性,主要从减少损失的角度考虑,这是与其他自然资源不同的一个特征,它不像其他自然资源那样,直接产生价值<sup>[4]</sup>。

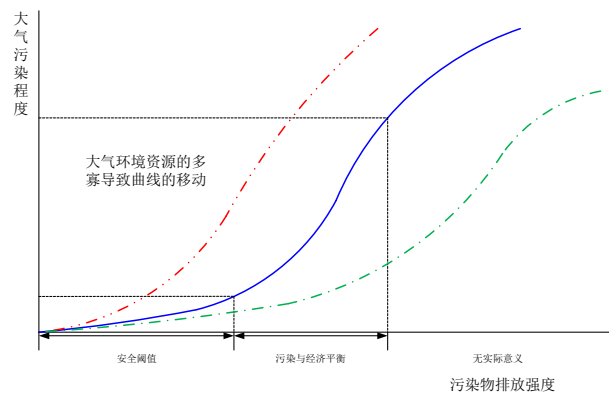


图1 大气环境资源的经济含义

Fig. 1 The economic connotation of atmospheric environmental resources

此前,虽然有很多概念看似也表达了大气环境资源的意思,但严格来讲,都是不全面甚至是有歧义的。具体而言,类似的概念可以大致分为两类:一是从大气环境本身的柔性角度考虑,如大气环境承载

力、大气环境纳污能力等，侧重于描述大气环境自身的恢复能力，即保持大致不变的能力；二是从污染物进入大气环境后的活动特点和大气环境的连通性角度考虑，如大气环境容量、大气扩散条件等，侧重于描述大气环境空间的可变性以及大气环境对污染物的直接影响。前者蕴含了一个基本假定，即存在一个可以忽略损害的污染程度阈值，大气污染低于这个程度所能接受的最大排放为大气环境承载力或大气环境纳污能力。后者是对大气环境的一种特征性描述，更多适用于对某些天气状况的分析。

比较而言，大气环境承载力和大气环境纳污能力的概念，充分考虑了天气变化对大气污染程度的全时性影响，也能反映气象气候特征的空间差异，但缺点是忽略了实时天气过程对大气污染程度的显著影响，只能大致描述一个平均状态。事实上，还有一个更复杂的问题值得注意。每当使用大气环境承载力类似的概念时，实际上暗含了多重假设。大气环境承载力到底是静态描述，还是动态描述，抑或静态与动态平均态描述，这是首要明确的问题。如果大气环境承载力侧重于描述当前（偏静态）的情况，则相当于是指该状态下，增加污染物排放所能带来的大气环境边际改变程度。也就是说，偏静态的描述，假定污染源是既定的。在一些具体的应用场景，通常会描述该地的地形、现实状况等，实际上就是在描述污染源的基本情况。当然，这里的污染源也包括自然源的状况。也就是说，大气环境承载力类似的概念，并未剥离污染源的影响，而是将二者一同考虑，严格意义上说，并不是对大气环境特征的独立考虑。大气环境资源的概念则不同，它将大气环境的自然特征作为一个独立变量，单独核算，只与大气活动有关，而与污染源的变化无关（具体说明参见附录）。

大气环境容量和大气扩散条件的概念，重点考虑的则是特殊天气过程的影响，极端不利条件时，出现重污染天气，是这一类概念最常使用的场景，但其忽略了一般天气过程对大气污染程度的影响，不能反映

大气活动的全时性，也不能反映天气气候特征的空间差异。实际上，无论是大气环境容量，还是大气扩散条件，都不是一个严谨的概念。通常意义对容量概念的理解，都是指刚性物体所能占据的空间（体积）。大气环境容量，并不是对空间的准确描述，而只是借用这个概念，看似容易理解一些，实则很值得推敲。一方面，如果说大气环境的容量时刻处于变化中，从大气环境本身考虑，其含义应该是，大气充满的空间时大时小。而近地面的空间就那么小，大气时刻都是充满的，这个空间是不会变化的<sup>①</sup>。另一方面，从污染物到达的边界考虑，则有一定的道理。以污染物所能到达的边界为界计算空间，所谓大气环境容量的变化，实际上是指污染物到达的空间的变化<sup>②</sup>。如果从这个角度描述，大气环境容量和大气扩散就是一个概念<sup>③</sup>。

前面指出，大气污染的影响应该从全时性、全方位考虑，结合相关概念，下面讨论大气环境资源的概念问题<sup>④</sup>。

首先，就大气活动与大气污染程度之间的物理联系而言，可以抽象出一个基础变量，大气自然净化能力。污染物进入大气环境后，会经历扩散、搬运、沉降、清除等一系列过程，最终离开大气环境，这个过程可以看作是大气环境的自然净化过程。这个过程长短与大气活动水平密切相关，活动剧烈时，这个过程较短；活动微弱时，这个过程就较长。当然，污染物进入大气环境后，会出现有害转化，增加更多的污染物。这种转化相当于增强了污染物的排放强度，这里不再讨论。另一方面，也会出现无害转化，则可以看作是大气自然净化过程的一部分。

假定大气自然净化能力具有如下特点：第一，大气自然净化能力与大气活动水平相联系，与大气活动一样，时刻处于变化之中；第二，大气自然净化能力是一种潜在势能，可以是实际起作用的能力，也可以是趋势性的能力；第三，当污染物排放强度低于大气自然净化能力时，实际净化作用等于污染物排放强度，当污染物排放强度高于大气自然净化能力时，实

- ① 对于这个假定可能有多种看法。例如，大气环境容量要不要包含密度和成分，大气密度和成分的变化应不应该计入大气环境容量的变化等。作者认为，就大气污染问题而言，大气环境容量应该侧重于体积概念。一方面，大气污染程度用大气中污染物的浓度衡量，也就是成分构成，如果将成分构成看作大气环境容量的一部分，就较难描述大气污染程度与大气环境容量之间的关系。另一方面，密度和成分构成，应该侧重于对大气本身成分的描述，在研究大气污染问题时，常常将污染物看作不是大气本身的成分。当然，很多污染物本来也是大气的成分，只是当这些成分的浓度过高时，才会造成污染。从这个角度来说，大气环境容量应该是体积、密度、成分并存的问题。由于在研究大气污染问题时，主要关注污染物排放与大气污染程度之间的关系，所以这里只考虑体积问题。
- ② 从污染物运动角度看，污染物能达到的体积越大，则大气环境容量越大。比如，受静稳天气或逆温的影响，污染物运动受限制，能达到的体积变小，则大气环境容量变小，污染物浓度变大，形成污染。
- ③ 另外，无论是大气环境容量，还是大气扩散条件，都是不完整的描述。假定污染物总量不变，污染物充满的空间变大，污染物浓度就会降低，从这个角度讲，大气环境容量和大气扩散条件，对于描述大气环境自然特征与污染物排放之间的关系是有价值的。然而，污染物最终去了哪里？如果污染物一直在大气中留存，则大气环境容量和大气扩散条件仍然显得毫无意义，因为污染物浓度一直叠加下去的话，仍然会造成污染。还有，污染物的到达的边界到底有多大，以及污染物进入大气后的具体运行轨迹是什么，这些问题都会大大降低大气环境容量概念的解釋力。
- ④ 大气环境资源的概念，旨在解决既定排放条件下，大气环境自然特征与大气污染程度之间的关系问题，重点考虑的是大气活动对污染物的影响，或者说是考虑污染物进入大气环境后在不同情况下的活动特征，进而解释大气环境特征对大气污染的全时性影响。

际净化作用等于大气自然净化能力，即忽略污染物排放强度拐点附近的非线性变化过程；第四，大气自然净化能力呈现实时性和周期性的变化特征，受天气过程影响，实时的大气自然净化能力是一个快变过程，但在一个周期内，如一年，大气自然净化能力的整体特征与气候密切相关<sup>[5]</sup>。

现在考虑大气污染程度问题，假定污染物排放强度是一个定值，即忽略污染物排放的低幅波动性。对一个地方全年的大气自然净化能力进行大小排序，当污染物排放强度低于大气自然净化能力的最小值时，完全无污染。随着污染物排放强度的增加，开始出现污染，排放强度继续增加，污染程度也会相应增加。问题在于，出现污染后，每增加一个单位的污染物排放强度，污染程度的改变是多少，则具有重要的经济学含义。显然，这个边际改变与大气自然净化能力的波形有关。

例如，全年而言，当污染物排放强度在某个范围内变化时，如果与这个范围相对的大气自然净化能力在全年所占的比重较高，则大气污染程度的边际改变就会较大，反之就较小。像京津冀地区，由于大气自然净化能力较低水平全年占比较大，因此在该地区出现大气污染后，随着排放强度的增加，大气污染上升的速度会非常快，沿海地区则不同，由于大气自然净化能力较低水平全年占比较小，所以出现大气污染后，随着排放强度的增加，大气污染程度上升的速度相对缓慢。反过来也是如此，京津冀地区减排带来的改善效果，也会显著高于沿海地区<sup>[6]</sup>。

概括起来，可以对大气环境资源概念进行如下描述：

第一，大气环境资源包括大气、环境、资源三个要素，其中，大气代表其物理特征，环境代表其空间特征，资源代表其经济特征；第二，大气环境资源是一种可再生的自然资源，但其分布具有时间性和空间性；第三，大气环境资源是个相对狭义的概念，主要指大气活动所产生的经济影响；第四，污染物排放的边际成本（收益）等于大气环境边际改变带来的收益（损失），是大气环境资源时空优化配置的条件；第五，单位污染物排放强度变化带来的大气环境的边际改变，由大气自然净化能力的波形和污染物排放强度的变化范围决定，也就是说，在考虑大气污染治理策略时，大气自然净化能力波形和污染物排放强度基数都是重要的，并不仅仅由排放强度的边际改变量决定；第六，大气环境资源具有客观性和主观性，客观性表现在大气环境资源物理量的客观性，主观性表现在不同标准下大气环境资源可利用量的差异；第七，大气环境资源具有趋势性特征，大气环境资源的多寡

体现在趋势上，未被及时利用的大气环境资源既不能储存也不能回收；第八，大气环境资源的经济意义在于充分利用大气活动，节约大气污染的治理成本。

总之，大气环境资源的概念不仅要描述大气活动对大气污染程度的全时性影响，还要描述污染物排放强度在不同范围变化时与大气自然净化能力波形特征之间的关系，即将气象变化的实时性和气候特征的周期性与污染物排放强度的变化联系起来。大气环境资源概念的确立，有利于建立以天气气候特征为中心的大气污染防治思路，将污染物排放增减的经济效应与大气污染程度改变的经济效应联系起来，从大气污染治理变成大气环境资源管理。

## 2 生态公平问题

在大气环境保护问题上，人们常说西方工业革命走的是先污染后治理的道路。事实上，这其中也包含了对大气环境资源的认知问题。工业革命初期，污染物排放一直处于放任状态，直到环境污染造成显著损害时，作为市场扭曲的一种具体表现，外部性问题才进入经济学研究的基本框架。环境污染之所以损失效率，是因为私人成本低于社会成本，个人在追求收益最大化的时候，社会便偏离了最优。传统经济学认为，解决外部性问题的关键是通过征税或其他手段，让私人成本回归社会成本，追求私人最优时自动实现社会最优。然而，到底用什么样的方式？以及使用这种方式是否可以私人成本回归社会成本？却成了一个长期悬而未决的问题，也是迄今为止环境经济学所面临的难题之一。

如前面所说，即使大气污染的程度是已知的，暴露其中的人口、动植物和资产量也是已知的，想要评估真实的损失也不是一件容易的事情，更不必说污染物排放与大气污染程度之间的复杂变化关系了。因此，在众多的环境经济学文献中，对这一问题基本都做了相当程度的简化，即假定单位污染物排放造成大气污染程度改变是固定不变的，既不存在时间上的差异，也不存在空间上的差异。这种简化，直接让污染物排放与污染损失相联系，忽略了中间的过程，变成简单的因果关系。

长期看来，这种简化后的因果关系对大气环境保护政策的影响是极其深远的。其中一个非常重要的方面便是总量控制原则。既然污染物排放是造成大气污染的主要因素，在忽略大气环境异质性的假定下，大气环境政策就变得比较简单，给定一个参考限值，确保本地污染物排放总量不超过这个限值，就能完成大气环境保护目标。然后在根据总量进行分解，让每个排放单位控制相应的排放量，从而达到既定目标。理

论上,这是一个相对合理的方案,至少在政策上是可行的。20世纪70—80年代的环境政策,大多也是基于这种思路。中国在2012年之前,大气污染防治的思路也是总量控制。

总量控制、分项完成的大气环境政策具有一定的优势,但不能保证效率。在重污染已经形成的条件下,私人成本偏离社会成本太远,简单原则的总量政策,有利于迅速减少排放,充分利用减排技术。在环境政策从放任到管制的过渡期,减排的边际成本很低,但环境改善的边际收益很高,因此,对于大部分国家来说,总量排放控制的初期,都是比较成功的,如20世纪70—90年代的美国、德国和英国,以及21世纪初前后的中国。然而,随着分项排放标准的实施和减排技术的普及,总量控制的缺陷就出现了,其中一个重要的表现就是生态公平问题。

忽略大气活动对污染程度造成显著影响的实时性,相当于假定不同地区、不同时间,大气环境资源是无差异的,这意味着,从经济公平角度考虑,想到达到政策的一致性,各地的总量控制目标也应该是一样的(图1)。比如,假定上海排放总量控制目标是30万吨每年,则对西安、成都、兰州等市的排放总量控制目标也不应该低于30万吨每年,否则就难以做到经济公平。那么问题来了,如果上海、西安、成都、兰州等市的大气环境资源比较相似,或者即使不相似,但50万吨每年的排放水平很低,均低于以上各市的大气自然净化能力最低水平,根本不会造成污染,统一总量控制目标自然没有什么问题。但是,如果各市的大气环境资源相差比较大,相同的总量控制目标,就可能出现很大的问题。对于大气环境资源丰富的上海来说,30万吨每年的排放总量,污染程度可能并不是很高,但对于大气环境资源相对匮乏的兰州来说,可能已经造成了严重的污染。显然,忽略大气环境资源时空差异的总量控制原则,虽然在一定程度上照顾了经济公平,但必然造成生态上的不公平。

更为重要地,即使根据污染物排放边际收益等于大气污染边际损失原则制定总量控制排放标准,长期来看仍然难以保障效率。虽然污染物排放边际收益是可以估算的,但污染物排放对大气污染程度的边际贡献,则需要考虑当地大气环境资源基本状况,以及污染物排放的基础强度。换句话说,不管如何,忽略大气环境资源的时空差异,必然导致生态上的不公平性,这是当前大气污染防治工作面临的重要问题。

### 3 经济公平问题

总量控制原则引发的生态公平问题,早已引起多个国家的注意。随后兴起的以空气质量控制为核心的

治理原则,正是对这一问题的回应。简单来说,以空气质量控制为核心的思路,就是用强制性国家空气质量标准替代原来的强制性排放标准。前面分析指出,即使实现了总量控制目标,各个分项也都实现了达标排放,由于不同地区大气环境资源的差异,仍然会出现大气污染,从而损害生态公平,造成效率损失。使用强制性国家空气质量标准,主要是为了解决这一问题。

强制性国家空气质量标准下,按照既定的总量控制原则和分项标准,即使所有排污单位都实现了达标排放,但由于周围空气质量不达标,仍需要进一步做减排工作,以保障周围空气质量达标。表面上看,强制性国家空气质量标准有助于解决被忽略的大气环境资源差异问题,促进大气污染治理的生态公平,减少效率损失。2012年底,中国实施了新的环境空气质量标准,大气污染防治工作进入了新的阶段。本质上讲,就是转变了既有的治理思路,从排放总量控制原则,转变为以空气质量控制为主、总量控制为辅的原则。随后的几年里,可以发现,在多个省份的多个城市,虽然早就实现了达标排放和总量控制目标,但空气质量一直不达标。这就是典型的生态公平问题。

实施强制性国家空气质量标准,有助于促进大气污染治理过程中的生态公平问题,至少可以避免部分地区出现总量控制目标早已完成,但居民仍然要承受重污染的情形。然而,空气质量标准的统一,就必然引发另外一个问题,即经济公平问题。比较优势是区域经济发展不平衡的关键因素。统一空气质量标准,大气环境资源丰富的地区,即使污染物排放强度很大,空气质量仍能达标。反之,大气环境资源匮乏的地区,即使进行了大幅度减排,空气质量仍可能超标。

这种标准下,大气环境资源匮乏的地区,排放约束会大大降低本地的比较优势,成为制约本地经济发展的重要条件。当然,从生态公平角度考虑,这似乎没有什么问题。但事实上,如果以损失经济增长为代价来保障空气质量,统一的空气质量标准就未必是有效率的。对于欠发达地区来说,空气质量改善带来的收益,可能远远低于污染控制造成经济损失。本质上,居民不仅有呼吸优质空气的权力,也有发展的权力。从某种意义上说,污染权和发展权不是对立的,而是一种平衡。到底该选择多呼吸一些新鲜空气,还是该选择多一些经济增长,应该由本地的发展阶段和居民生活水平决定。

也就是说,强制空气质量统一标准,虽然在一定程度上促进了大气污染治理过程中的生态公平,但却会损失经济公平。长期来看,无论是总量控制原则,还是统一空气质量标准原则,都是既不能保障公平,

也不能保障效率。前者有可能造成大气环境资源匮乏地区的过度污染，后者有可能扩大大气环境资源匮乏地区与丰富地区发展的不平衡。对于中国来说，这一问题可能更为显著。一方面，中国幅员辽阔、地形复杂、气候类型多样，决定了中国大气环境资源的空间分布极不均匀；另一方面，受历史影响，中国的城市多分布在大气环境资源相对悬殊的位置，既有大气环境资源比较丰富的沿海城市，又有避风而建的大气环境资源相对匮乏内陆城市。不管是使用总量控制原则，还是统一空气质量标准原则，都会出现不容忽视的生态公平和经济公平问题。

#### 4 时空配置问题

无论是总量控制下的生态公平问题，还是统一空气质量标准下的经济公平问题，本质上都是大气环境资源的时空配置问题。忽略大气环境资源的时空差异，大气污染防治的经济标准是污染物排放的边际收益等于大气污染的边际损失，虽然这一原则理论并没有什么问题，但由于实际操作中难以估算，所以现行的大气环境保护政策难以保障公平和效率。

对于先污染后治理的历史情形，总量控制有一定的现实基础。既然大气环境已经出现了超重污染，社会成本已经严重偏离私人成本，即使不掌握大气环境资源和污染损失方面的准确信息，仅仅根据简单的第一优原则，直接矫正扭曲也是适当的。此时，控制污染物排放的边际成本很低，但空气质量边际改善的收益很高，在一段时间内，忽略大气环境资源的时空差异，直接采取强制性排放标准，控制污染物排放总量是一种简单有效的方式。因此，在大气污染治理的初期，环境政策从完全放任到总量控制、分项实施，是非常有意义的。中国在2012—2018年实施的结构性减排，大抵也是如此。

然而，随着环保技术的普及，大部分排污单位逐渐实现了达标排放，社会成本越来越接近私人成本，这时候，进一步减排的边际成本越来越高，空气质量改善的边际收益越来越低。同时，大气污染程度降低，慢慢从原来的超重污染变成中度污染，甚至进入轻度污染阶段。这时候，大气环境资源时空差异的影响就会变得相对显著，生态公平问题凸显。总量控制、分项实施政策的优势不再突出。为了弥补这一问题，补充采取统一的空气质量标准，有助于进一步减少排放。虽然这是解决生态公平问题的一个出路，但由此引发的经济公平问题却不得不重视。

事实上，以上两种政策之所以造成扭曲，主要源于忽略了大气环境资源的时空差异。换句话说，如果大气环境资源的时空差异较小，这种扭曲的程度就比

较低。相反，如果大气环境资源的时空差异较大，这种扭曲的程度也就比较高，不得不重视。对于一些国土面积相对较少、气候类型相对单一，地形也不怎么复杂的国家来说，大气环境资源空间配置的需求就不会很大，但对于国土面积较大，地形复杂、气候类型多样的国家来说，空间配置的空间就很大，很值得注意<sup>[7]</sup>。

如前所述，总量控制原则和统一空气质量标准原则造成扭曲，是因为忽略了大气环境资源分布的时空差异性。在不考虑大气环境异质的前提下，大气污染控制的经济标准是，减少污染物排放的边际成本等于空气质量改善的边际收益。这种标准在理论上没有问题，问题在于计算这两个边际条件的技术（操作）难度。目前，基本上实现对空气质量的实时监测，即可以相对准确地获取空气质量的改善信息。由此，大气污染控制的经济标准，在估算技术上前进了一步，至少可以评估已知污染状态下的损失情况。另一方面，也可以评估污染物排放的增减与空气质量改善之间的逻辑问题。

在这种情况下考虑大气环境资源的时空配置问题，实际上相当于增加了两个边际成本曲线，一个是污染物排放的时间调整曲线，另一个是污染物排放的空间调整曲线。这意味着，除了使用直接减少污染物排放的方式来改善空气质量，还可以使用污染物排放的时间调整和空间调整来改善空气质量，至于到底采用哪一种方式，则取决于三个边际成本曲线的位置。与传统大气污染防治理论相比，考虑大气环境资源的时空配置问题，相当于扩大了方案选择空间。大气污染防治的经济标准，不再是减少污染物排放的边际成本等于空气质量改善边际收益这个唯一条件，而是首先比较能够实现相同程度的空气质量改善条件下，直接减少污染物排放、调整污染物排放时间、调整污染物排放空间三者之间边际成本的大小，然后再与空气质量改善的收益相比，最终选择最佳的经济方案。

现实中，大气环境资源时空配置方案，已经处于尝试阶段。中国实施的错峰生产策略，就是典型的时间配置方案，在大气环境资源丰富的季节多排放，在大气环境资源匮乏的季节少排放，只是这种时间调控的边际成本是否低于直接排放，还缺乏有效的证据。但是，夏季夜间加油补贴的方式，似乎是有效的，在一定程度上缓解了白天的臭氧污染。虽然这些还处于摸索之中，但至少说明大气环境资源时空配置的需求是存在的。

实施统一空气质量标准损失在一定程度上损害了经济公平，但其会有一个明显的溢出效应，即促进大气环境资源空间上的优化配置。近期一些研究表明，中国实施空气质量统一标准后，京津冀地区的污染产

业,有向周边内蒙古和河北等地转移的趋势,而这些地区,恰是大气环境资源比较丰富的地区<sup>[6]</sup>。

大气环境资源的时空配置,是大气污染防治的一个思路,除了现有的减排改善策略以外,还可以考虑污染物排放的时间调整和空间调整。然而,采用什么样的方案实现大气环境资源的时空配置,同样是一个问题。一方面,要考虑污染物排放时空调整边际成本曲线的评估和计算;另一方面,还要考虑促进污染物排放时空调整的低成本方法,以及对应的公共政策设计。一种可能性的策略是:首先建立大气环境资源监测和计算体系,确定不同地区的大气自然净化能力波形,以便计算污染物排放时空调整所能带来的空气质量改善空间;其次,利用价格机制,对污染物排放进行基于能源价格方面的调整,如不同季节、不同地区的区分定价,促进污染物排放的时空调整。当然,也可以考虑大气环境资源的交易问题。总之,利用市场手段,是一种比较理想的方式。

此外,除了市场手段,在现有的总量控制和统一空气质量标准大框架下,通过空气质量分区分级管理,也可以在一定程度上减少扭曲,促进公平。例如,首先确定一个基础性空气质量标准,不至于出现严重偏离生态公平的状况,其次再根据大气环境资源的空间分布,结合本地经济发展状况,选择相应的空气质量标准,在一定程度上避免经济公平损失。这虽然是权宜之计,但在一定程度上,也能促进大气环境资源的时空优化配置。

## 5 结论

2020年初以来,因新冠肺炎防疫需要,中国以及世界上很多国家都实施了必要的隔离措施,污染物排放强度出现断崖式下跌,相当于来了一次最大限度最大范围的减排测试。然而,最近的研究表明,减排带来的空气质量改善比想象的要小很多<sup>[8]</sup>。比较而言,人口流动引起的排放空间变化带来的空气质量改善,却十分显著<sup>[9]</sup>。这一事实暗示着,大气环境资源的时空配置,似乎有着巨大的空间。大气环境资源是一种可再生的自然资源,表征的是大气活动清除污染物的潜在能力,在时间和空间分布上存在上限和下限。

首先,大气环境资源的多寡是决定污染物排放强度与大气污染程度之间关系的重要变量。不同的地区,大气环境资源的拥有量不同。产业在空间上的移动,必然会带来大气污染的强化效应或弱化效应。例如,污染产业从大气环境资源匮乏的地区迁出,即使污染物排放量不变,大气污染程度也会降低;反之,从大气环境资源丰富的地区迁出,即使污染物排放量不变,大气污染程度也会增加。同时,污染物排放还

存在一定的时间效应,假定污染物排放量不变,如果排放时间从大气环境资源匮乏的时段转到大气环境资源丰富的时段,大气污染程度也会降低。大气环境资源的时空优化配置,是大气污染防治工作中除绝对减排外的一个选择,不应该被排除在外。

其次,忽略大气环境资源的时空差异性,会导致原本有效的环境政策出现生态公平和经济公平的问题,造成大气污染防治工作的效率扭曲。一方面,如果采用总量控制的政策,确保各地大气环境政策在经济比较优势的公平,实际上相当于允许大气环境资源匮乏地区承受更多的污染,势必会造成大气环境资源匮乏地区的过度污染,放大生态损失;另一方面,如果采用空气质量统一标准的政策,确保各地生态上的相对公平,避免生态的过度损失,实际上相当于限制了大气环境资源匮乏地区的发展潜力,势必会造成这些地区的经济劣势,伤害经济增长。平衡两者之间的关系,需要充分考虑大气环境资源的时空差异。

第三,考虑大气环境资源的优化配置,大气污染防治工作的经济约束条件,将不再是减少污染物排放的边际成本等于空气质量改善的边际收益,而是比较减少污染物排放的边际成本、污染物排放时间调整的边际成本、污染物排放空间调整的边际成本三者之间的关系,然后再考虑其与空气质量改善边际收益的等量关系。

最后,污染物排放时空调整的边际成本曲线如何?以及大气环境资源的时空差异性有多大?这种差异性的物理影响,是否足以造成显著的经济影响,都是需要进一步探讨的问题。不管如何,大气环境资源的提出,给了大气污染防治工作一个新的思路,至于在这个思路能够走多远,还需要更多的实践支撑。

## 参考文献

- [1] Zivin J G, Neidell M. Environment, health, and human capital. *Journal of Economic Literature*, 2013, 51(3): 689-730.
- [2] 陈帅, 张丹丹. 空气污染与劳动生产率——基于监狱工厂数据的实证分析. *经济学(季刊)*, 2020, 19(4): 1315-1334.
- [3] Chen L, Shi M S, Shuang G, et al. Assessment of population exposure to PM<sub>2.5</sub> for mortality in China and its public health benefit based on BenMAP. *Environmental Pollution*, 2017, 221: 311-317.
- [4] 蔡银寅. 大气污染治理的经济学方法. 北京: 科学出版社, 2017年版.
- [5] 蔡银寅, 黄有光. 大气环境资源的时空异质性及其经济含义. *环境经济研究*, 2021, 6(1): 93-119.
- [6] Fang D, Chen B, Klaus H, et al. Clean air for some: Unintended spillover effects of regional air pollution policies. *Science Advances*, 2019, 5(4): 1-10.
- [7] 蔡银寅. 中国大气环境资源的地理分布. *气象科技进展*, 2020, 10(6): 106-117.
- [8] Shi Z, Song C, Liu B, et al. Abrupt but smaller than expected changes in surface air quality attributable to COVID-19 lockdowns. *Science Advances*, 2021, 7(3): 1-10.
- [9] Shi G, Lu X, Y Deng, et al. Air pollutant emissions induced by population migration in China. *Environmental Science and Technology*, 2020, 54(10): 6308-6318.

### 附录: 大气自然净化作用能力的实际效果变化<sup>[5]</sup>

在正文中已经指出, 大气环境承载力、大气环境纳污能力等概念, 将污染源 (尤其是自然源) 排放与大气环境的自然特征融合在一起, 不是对大气环境自然特征的独立思考, 不利于单独考虑大气环境的自然特征。其实, 剥离污染源活动与大气环境自然特征之间的关系, 有很大的现实难度, 只有基于一定的假定, 才能实现。

大气环境资源的基础是对大气自然净化能力的抽象。然而, 大气自然净化能力是对大气环境与污染物之间关系的一种趋势性描述, 能力越强, 意味着单位时间内, 大气自然净化掉的污染物量越大, 污染物在大气环境中留存的时间越短。但是, 大气自然净化能力对污染物的实际作用效果是怎样的呢? 本附录对这一问题进行简要描述如下:

大气自然净化作用的实际效果, 实际上与污染物的实时排放强度以及背景浓度有关。如图2所示, 其中 $O'O$ 向右表示污染物实时排放强度,  $O''O$ 向上表示大气环境中的污染浓度,  $A$ 线表示新增污染物未经过自然净化的浓度,  $B$ 线和 $B'$ 线表示两种既定水平的大气自然净化能力, 其中 $B$ 线代表的大气自然净化能力强于 $B'$ ,  $A$ 线与 $B$ 线以及 $B'$ 线之间的差值表示实际净化效果。

当污染物排放强度较低时, 比如, 小于图2中 $E$

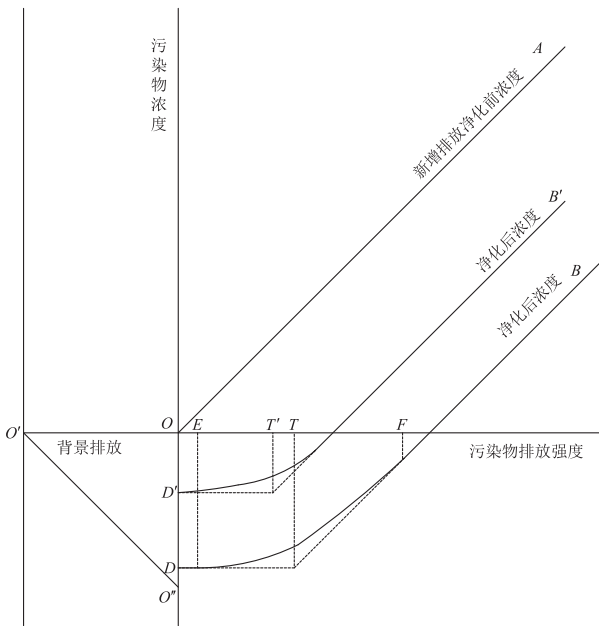


图2 大气自然净化作用的实际效果变化曲线

Fig. 2 The changing curve of interaction effect between air self-purification capability and pollutants emission intensity

点时,  $B$ 线水平的大气自然净化作用可以完全净化污染物的实时排放, 所以在 $OE$ 段,  $B$ 线是水平的, 意味着大气环境中新增加污染排放, 并没有增加大气中的污染物浓度, 因为被完全净化了。同时, 由于超出的大气自然净化能力, 可以净化背景排放, 所以 $D$ 点在 $O'$ 点以上。随着污染物排放强度增加, 如图2中的 $EF$ 段,  $B$ 线水平的大气自然净化作用的实际效果, 并不是一下子达到其上限, 而是一个渐变的过程, 最终在 $F$ 点处,  $B$ 线水平的大气自然净化作用的实际效果达到极限, 其后污染物排放强度继续增加, 大气自然净化作用的实际效果不再变化, 即 $B$ 线与 $A$ 线平行。额外增加的污染排放, 完全没有被净化。

图2中 $OE$ 段的大小, 取决于大气自然净化作用的强弱, 如 $OE$ 线所示, 当大气自然净化作用较弱时,  $OE$ 段会变的很小甚至消失。同时,  $EF$ 段也可能变小, 甚至可以忽略不计。为了简化计算, 在大气环境资源统计过程中, 可以忽略 $EF$ 段的渐变过程, 直接将其视作一个突变过程, 即在 $T$ 点之前, 将大气自然净化的实际效果看作是可以完全净化新增污染物排放, 而在 $T$ 点之后, 将大气自然净化的实际效果看作是达到了限值 (图2中虚线所示)。事实上, 真正的大气自然净化过程并不存在所谓的 $T$ 点, 即也不存在所谓的排放平衡点, 真正的排放平衡点是一个区间而不是一个定值。然而,  $T$ 点的假定仍有实际意义。首先, 利用 $T$ 点假定可以方便计算,  $EF$ 段的渐变过程, 会让计算公式变得复杂。其次, 利用 $T$ 点假定便于说明排放平衡临界点的问题, 在实践中,  $EF$ 点可看作是空气质量变化的拐点。再次, 对于具有较大波动幅度的大气自然净化作用能力来说, 很多情况下,  $EF$ 段的持续时间可以忽略。

总的来说,  $T$ 点假定的适用性主要取决于两个方面: 一是该地大气自然净化作用能力的变化特征, 包括不同水平的大气自然净化作用能力的比重, 以及时间分布 (如季节、月份、昼夜等) 特征等, 这主要是由自然地理条件和气象气候特征决定的; 二是该地的实际排放强度变化特征。如果该地的排放强度长期低于 $OE$ 水平, 而大气自然净化作用能力大部分时候高于 $B$ 线水平, 则就比较适用于 $T$ 点假定。类似地, 如果该地的实际排放强度和大气自然净化作用能力高频次出现 $EF$ 段的情况, 且持续时间较长, 则 $T$ 点假定的误差就会偏大, 适用性将减弱。不管如何, 大气自然净化能力的对于描述大气环境的资源特征, 具有重要的现实意义。