



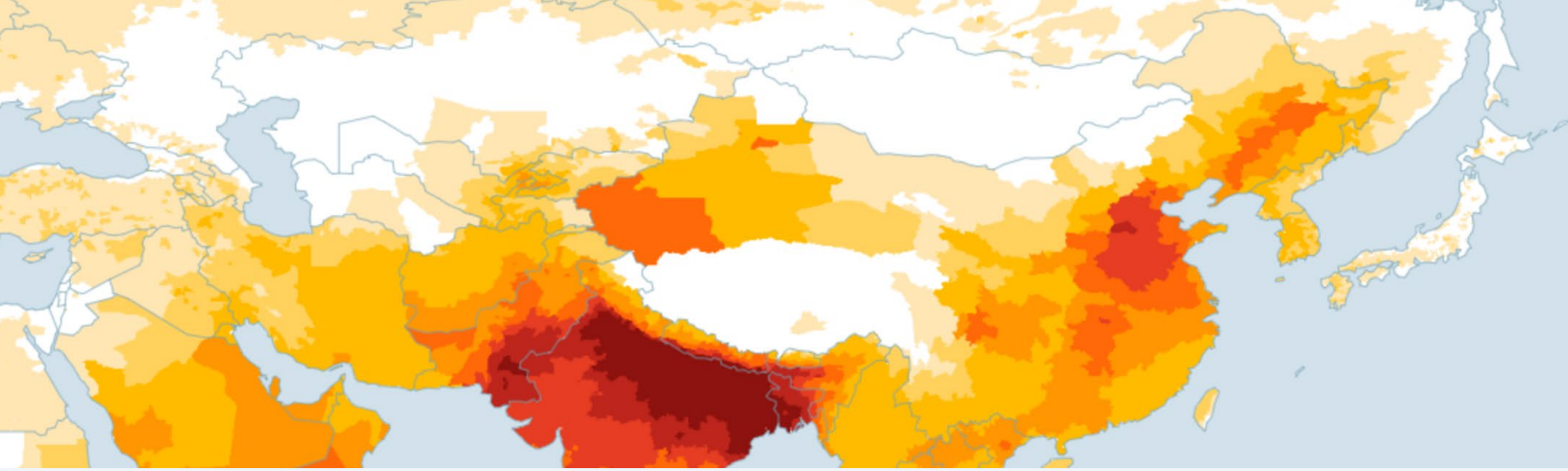
空气质量寿命指数 | 2022年1 著

从2008年夏季奥运会到 2022年冬季奥运会 中国的反污染之战

By Michael Greenstone, Guojun He, and Ken Lee 著

Early Release





概要

在2008年北京夏季奥运会之前的几年里，中国的污染程度一直在急速攀升。政府为此迅速进行改革，暂时性的在奥运会期间缓解了污染问题。然而从长远来看，这些改革仅仅是减缓了污染问题的加剧。截止2013年，中国的环境污染已达到创纪录的水平。次年，也就是北京申办2022年冬季奥运会的同一年，中国总理李克强开启了一场“反污染战争”，声称中国将用解决贫困问题那般的决心来克服污染问题。

七年后，污染程度已大幅下降了约40%。在北京，污染程度仅达到2008年和2013年记录的一半。在中国的大多数地区，污染已经下降到二十多年未见的水平。相比中国的成功，自2013年以来全球污染减少总量的四分之三以上都来自于中国。美国从20世纪70年代初开始着手应对污染问题，经历了几十年的时间 and 数次经济衰退才实现了中国在七年内完成的污染减少总量。如果这样的减污绩效能保持下去，中国公民的平均预期寿命可望因为环境改善而延长2年。相比起2008年和2013年，北京的居民可望分别多活3.7和4.6年。

话虽如此，路漫漫其修远兮。虽然中国大陆已经达到了中国国家空气质量标准水平，其2020年的污染程度仍然比世界卫生组织 (WHO) 的指导标准高出六倍。为了进一步解决污染问题，中国赶在2022年冬奥会之前采取了快速行动。假如这些措施能够让中国永久性地将污染程度降低到世卫组织的指导标准，中国居民的平均预期寿命将在现有的成果上再增加2.6年。北京的居民可获得3.2年额外寿命。

中国能否达到并维持进一步的减污目标呢？截至目前，中国一直依靠行政管理手段来迅速减少污染。这些措施虽然见效了，但也随之带来巨大的经济和社会成本。随着中国的“反污染战争”进入下一个篇章，把这些成本最小化会极大程度地加固减污成果的持久性。一个有效并低成本的减污解决方案就是采用以市场为基础的措施。

概要

2008年北京奥运会前后的污染问题

中国公众对日益恶化的空气污染问题的关注从20世纪90年代末开始逐渐上升。这个关注点随着2008年北京奥运会的临近扩散到了国际社会。中国官员们将奥运会当做在世界舞台上为中国树立积极的国家形象的一次机会，但是空气污染问题成为了一个棘手的拦路虎。

在2008年奥运会之前的几年里，中国领导人开始在北京及其周边城市地区开展空气污染减排行动。然而，直到2007年10月中国国务院才发布了名为《第29届奥运会北京空气质量保障措施》的一系列快速、激进、临时性的目标以应对空气污染。例如，政府叫停了许多发电厂的运行。¹

由于汽车尾气是大型城市空气污染的主要来源，政府对这方面尤其重视。政府在2007年11月和2008年6月两次提高汽油价格，以抑制汽车的使用。在奥运会期间，排放不达标的车辆被禁止在北京上路，其他的车辆则受到单双号规定的限制，一些汽车只能在奇数日出行，其他汽车只能在偶数日出行。北京奥委会和中国环境保护部 (MEP) 声称他们的行动让车辆排放下降了60%以上。²

多项研究表明，这一系列的空气污染控制措施改善了北京及其周边地区的污染状况，其效果在奥运会前后最为明显。一项研究将2008年奥运会相关的空气污染法规描述为“人类史上在短时间内为控制空气质量所做出的最大规模的行动”。该研究利用环保部管理的环境监测点的数据发现，月度的PM10浓度相比前一年夏天下降了30%。³但是中国在2008年奥运会期间推出的减污政策并没有持续下去，空气质量改善的成果也随之消逝。根据一些推算，北京空气污染的改善成果在一年后消失了60%。⁴

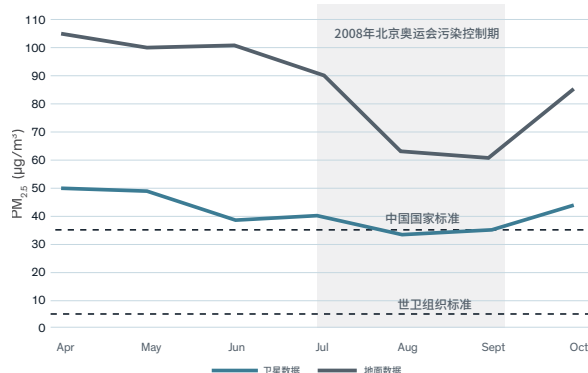
我们的卫星数据显示，中国年度人口加权PM2.5水平在2005年至2014年期间于48至53微克/立方米 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 之间波动。在北京，这一时期的污染水平更高，达到了67至85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之间。在2008年，卫星数据显示月度PM2.5水平从6月的51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降到了8月

的34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，跌幅为33%，之后又在10月上升到44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。美国驻北京大使馆记录的地面监测数据显示了类似的情况，污染从6月的约100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至8月的63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (见图1)。

2008年奥运会前的污染水平上升极为迅速，但在随后的几年连增速放缓。到2013年，中国各地的空气污染已达到有史以来最高水平。在北京，PM2.5的平均浓度为85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，高于奥运会前的水平，远高于中国国家标准35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，更比世卫组织最新的5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 指导标准高出17倍。在上海，PM2.5的平均浓度为50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，比世卫组织的指导标准高10倍 (见图2)。⁵

同年夏天，芝加哥大学能源与环境政策研究所主任迈克尔·格林斯通和三位合著者在《美国国家科学院院刊》(PNAS) 上发表了一项研究，为严重空气污染对人类健康的影响提供了明确的证据。⁶ 他们发现，由于习惯使用煤炭在冬季取暖且持续暴露在较高的空气污染中，生活在淮河以北的居民的寿命比生活在南方的居民短了大约5年。空气污染问题对于整个中国的预期寿命产生了直接且骇人的影响。因此，这项研究的结果吸引了所有主要国际媒体的报道，在中国和国际社会上造成了轰动，也引起了中国领导人的注意。

图1: 2008年夏季北京的PM_{2.5}浓度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



注：我们利用美国国务院提供的地面监测数据和卫星数据，绘制了2008年夏季北京的月平均PM2.5浓度。这两个来源都表明，在2008年奥运会期间，空气质量有了暂时的改善。

1 Chen et al., 2013a.

2 Chen et al., 2013a.

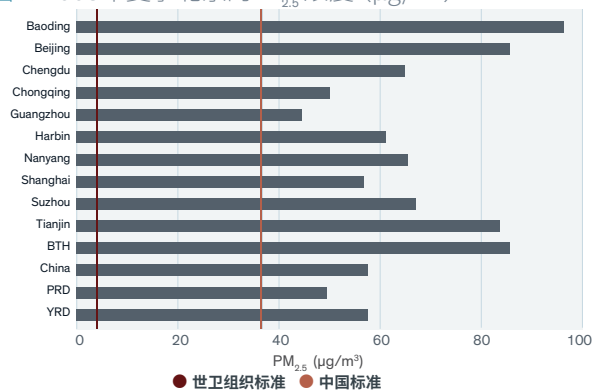
3 He et al., 2016.

4 Chen et al., 2013a.

5 于2018年3月发布的本报告的早期版本使用了2013年至2017年全国200多个监测器的日常数据。在这份报告中，我们使用了人口加权的卫星衍生的PM2.5数据，其中不包括矿物灰尘和盐盐。关于我们研究方法的更多信息，请访问：<http://aqli.epic.uchicago.edu/about/methodology/>.

6 Chen et al., 2013b.

图2: 2008年夏季北京的PM_{2.5}浓度 (μg/m³)



注: "BTH"是指京津冀地区, "PRD"是指珠江三角洲, "YRD"是指长江三角洲, 苏州是指江苏省的一个县。该图中的城市是我们数据中人口最多的十个省市地区。

空气污染造成人类健康损失的证据加剧了公众日益增长的担忧。坊间开始流传外国居民因健康问题而离开中国的故事;北京本地的新闻报道戏称每天谈论空气质量问题是“外国人于中国本地人共通的全国性消遣”;博客和育儿论坛上充斥着关于购买空气过滤器和为了新鲜空气而外出度假的讨论;类似的事迹数不胜数。⁷

中国开展反污染战争

为了回应公众日益增长的担忧,中国开展了具体的政策措施。政府在2013年秋季启动了《大气污染防治行动计划》,制定了截止2017年底的改善空气质量的具体目标。该计划包含了一项耗资2700亿元的减污措施,旨在将人口稠密的京津冀地区的年均PM_{2.5}浓度降低25%,并将珠江和长江三角洲地区的年均PM_{2.5}浓度分别降低15%和20%。北京市单独拨出1200亿元用于防治污染,目标是将其PM_{2.5}平均水平降至60 μg/m³以下(相比2013年的94 μg/m³低了36%)。

在2014年3月举行的人民代表大会上,李克强总理宣布“向污染宣战”(中国在同年申请举办2022年冬季奥运会)。在一个通常用于讨论关键经济发展

目标的全国性会议的开幕式上发表这一声明,标志着中国长期以来将经济增长置于环境保护问题之上的政策发生了重要的转变。⁸也标志着政府在空气质量这一问题上的官方言论引导发生了重要变化。在过去,国家媒体为了转移对空气质量的公众注意力将能见度低的问题怪罪于“雾”上,并声称废气排放对雾霾没有直接影响。现在,政府开始强调环境责任,称国家不能“现在污染,以后再清理”,并将用“铁腕”来打击污染。

为了实现《大气污染防治行动计划》中规定的目标,政府开始重拾2008年奥运会前推出的许多改革措施,并将规模扩大化。例如,北京、上海和广州等大型城市再次开始通过限制道路上出行车辆数量来降低汽车排放。在工业行业,钢铁制造产能被削减。在奥运会期间,许多煤电厂被停运。现在,京津冀、珠江三角洲和长江三角洲地区禁止新建煤电厂。现有的煤电厂被强制要求减少废气排放或改用天然气和其他可再生能源。一些煤电厂直接被关闭或者迁移。

由于Chen et al. (2013)的PNAS论文中证实北方家庭取暖用的燃煤锅炉为空气污染的主要来源,打击污染的一大重心就是用燃气或电加热器来取代这些燃煤锅炉。政府同时提高了其空气质量统计报告的透明度,扩大了全国范围内的空气质量监测网络,并公开了数据。⁹简而言之,中国终于开始着手解决困扰该国数十年之久的空气污染问题。

概要 反污染战争的战果

在中国发起“反污染战争”七年后的今天,减污措施的影响显而易见。卫星数据衍生的PM_{2.5}数据显示,中国人口重镇的空气质量自2013年以来有了很大的提升。图3与图4对比了2013年与2020年各地区的PM_{2.5}浓度。从整体上看,空气污染水平截止2020年有了明显的下降,很多地区甚至超标完成了《大气污染防治行动计划》中设定的任务。全国范围内

⁸ Greenstone et al., 2021.

⁹ Greenstone et al., forthcoming.

表1:大气污染防治行动计划

目标 1	将城市PM10的浓度比2012年的水平降低
目标 2	将京津冀、珠江三角洲和长江三角洲的PM2.5浓度分别降低25%、20%和15%。
目标 3	将北京的PM2.5年浓度降低到60μg/m3以下。

的PM2.5水平在短短七年时间内从平均52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降到32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，相比2008年和2013年分别下降了37%和40%。北京在此期间经历了最大程度的变化，PM2.5水平在七年内从85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降了55%到38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。相比起2008年的水平，北京的空气污染下降了50%。

整体来说，北京-天津-河北（“京津冀”）地区作为空气污染危机的重灾区，PM2.5浓度自2013年以来下降了48%，自2008年以来下降了40%。在珠江三角洲（“珠三角”）和长江三角洲（“长三角”）地区的PM2.5浓度自2013年和2008年以来分别下降了49%和41%。如图5所示，中国主要地区的年均PM2.5水平下降到2000年标准。

这条改善轨迹非常重要，因为在2008年夏季奥运会之前启动激进的措施是有意而为之，尽管这些手段在短期内打击了污染，其所带来的改善并不是永久性的。相反的，2013年以来实施的政策似乎带来了更加持久的改善。

图6和图7 把永久性的空气质量改善计算转化成一个人可以多活的年数。AQLI表明，北京的年均PM2.5浓度从85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 永久性地下降到38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 将会延长其居民4.6年的寿命。在上海，PM2.5从50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 下降到28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 将会延长其居民2.2年的寿命。在全国范围内，居民的预期寿命相比起2013年增加了2年，相比起2008年增加了1.8年。（附表1中列出来有数据可查的50个人口重镇的具体居民

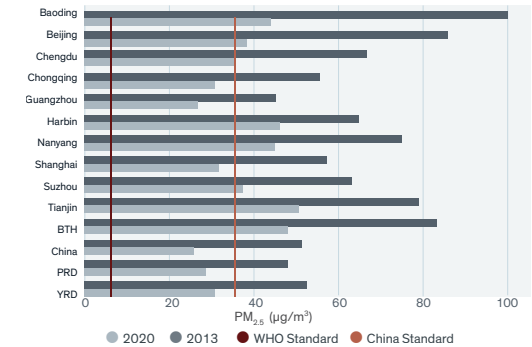
图4：中国大陆PM_{2.5} 浓度变化，2013年对比2020年



总的来说，中国在“反污染战争”中的进展是显著的，尤其是与国际社会作对比的情况下（见图8）。在2013年至2020年期间，中国占全球颗粒物污染下降总量的四分之三以上。¹⁰ 相反的，中国的许多南亚和东南亚邻国在同一时期的污染水平却在上升（见图9）。例如，印度的整体污染水平显著上升，达到了全球污染增加总量的44%。

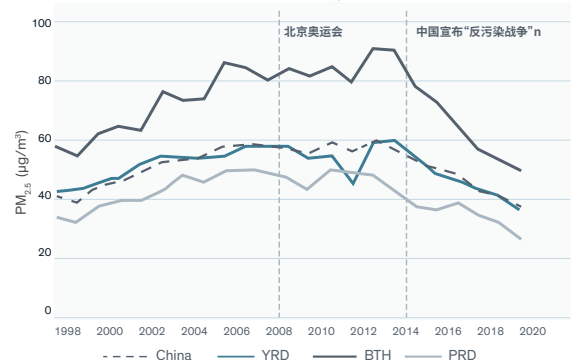
中国是一个重要的典范，该国的成功证明大胆且有效的政策是能够在短时间内大幅减少污染的。但是，这个国家硕果累累的“反污染战争”在实施过程中付出了巨大的、不必要的经济和社会成本。这些成本主要是由深深植根于该国治理结构中的“行政管理手段”所造成的。例如，当京津冀地区在距离目标

图3：中国大陆PM_{2.5} 浓度，2013年对比2020年



注：估计的预期寿命增长是基于发表在《美国国家科学院院刊》上的一对研究（Chen et al. 2013; Ebenstein et al. 2017），其中估计了长期暴露于细颗粒物对预期寿命的影响。关于我们研究方法的更多信息，请访问：<https://aqli.epic.uchicago.edu/about/methodology/>。

图5：中国大陆主要地区的PM_{2.5} 浓度



注：“BTH”是指京津冀地区，“PRD”是指珠江三角洲，“YRD”是指长江三角洲。

寿命增益)。

10 这是由于中国拥有庞大的人口，以及中国的PM2.5平均水平的大幅下降。

期限仅有数月的2017夏季都还没有达到减污目标时, 地方政府在2017年8月发布长达143页的积极“作战计划”, 要求在2018年3月前大幅减少工业和居民的煤炭使用额。随后的执法行动还包括在没有天然气和电力替代品的情况下强行拆除燃煤锅炉, 导致北方大城市的一些家庭失去了冬季供暖服务。

这仅仅是一个单独的政策所造成的高成本的一个例子。但是几乎所有的政策措施都如出一辙, 与典型的“行政管理手段”一样为了达到目标全然不顾如何将成本降至最低。相应的, 中国政府关闭、迁移和抑制了大量污染企业的生产能力, 在众多行业颁布

图8: 中国, 南亚以及世界其他地区的污染水平趋势

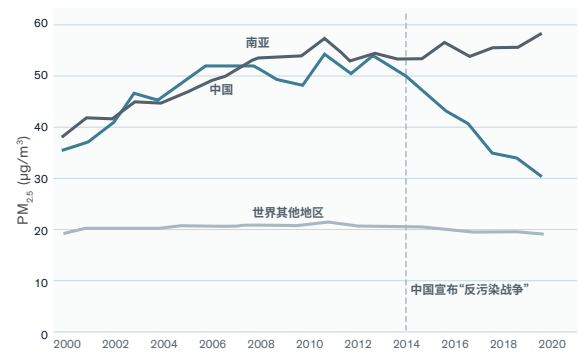
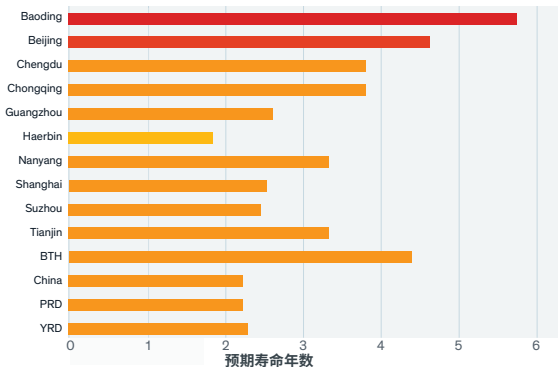
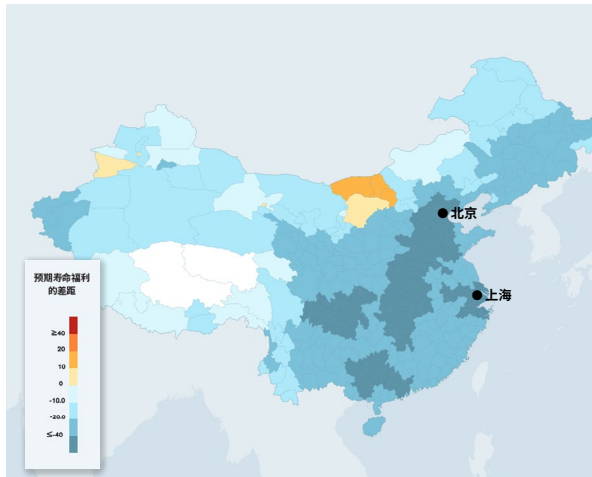


图6: 降低中国大陆PM_{2.5}污染至世卫组织标准能够产生的预期寿命福利, 2013年对比2020年



注: 估计的预期寿命增长是基于发表在《美国国家科学院院刊》上的一对研究 (Chen et al. 2013; Ebenstein et al. 2017), 其中估计了长期暴露于细颗粒物对预期寿命的影响。关于我们研究方法的更多信息, 请访问

图7: 降低中国大陆PM_{2.5}污染至世卫组织标准能够产生的预期寿命福利差距, 2013年对比2020年



布更严格的排放标准, 向地方政府分配具有约束力的减排目标, 并派出数千督查小组去检查地方的减污表现。这些措施虽然有效地减少了全国的排放总量, 但却忽视了不同企业、行业和地区在减排成本上的巨大差异, 为了实现政策目标付出巨大的经济和行政成本。这些措施还导致了利益相关者在社交媒体上公然抱怨环境法规过于严格, 迫使被排污企业解雇的工人提出抗议, 甚至让地方政府对严格的环境法规进行抵制。

2022冬季奥运会和未来的挑战

为了迎接2022年冬季奥运会, 中国和2008年奥运会前期一样继续采取了有针对性的方针, 同时也保持了“反污染战争”以来的行政管理手段策略。例如, 唐山作为中国最大的钢铁生产中心占有全球钢铁产能的8%, 但政府对其钢铁厂的产能遏制措施被延长到2022年3月。¹¹北京还大力投资如氢气汽车之类的绿色技术, 并声称85%的奥运会用车将使用电力或者氢气。¹²虽然中国60%的能源仍由煤炭提供, 中国也占了世界煤炭消费总量的一半以上, 但中国官员声称奥运场馆将完全由可再生能源提供动力, 让奥运会首次实现“碳中和”。¹³此外, 中国政府开始对污染方采取更强力的措施, 并加强了政府官员的问责制。

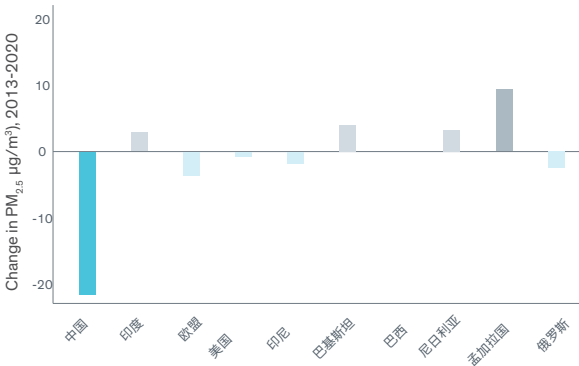
展望未来, 永久地实现蓝天白云的“奥运蓝”仍然是

11 Bloomberg, August 10, 2021.

12 CBS News, January 3, 2022.

13 BBC, November 2, 2021.

图9: 2013年以来世界十大人口地区的平均PM_{2.5} 浓度变化生



国家地区	PM _{2.5} 2013	PM _{2.5} 2020	变化(µg/m³)	变化(百分比)
中国	52.4	31.6	-20.7	-39.6
印度	53.2	55.8	2.6	4.8
欧盟	13.1	9.6	-3.4	-26.3
美国	7.7	7.1	-0.7	-8.8
印尼	18.9	17.0	-1.9	-10.2
巴基斯坦	40.4	44.2	3.8	9.3
巴西	10.1	10.0	-0.2	-1.7
尼日利亚	20.5	23.7	3.2	15.5
孟加拉国	65.6	75.8	10.2	15.5
俄罗斯	12.0	10.0	-2.0	-16.8

注: 2013年, 中国和印度的平均PM_{2.5}分别为52和53 µg/m³。在欧盟和美国, 分别为13和8 µg/m³。

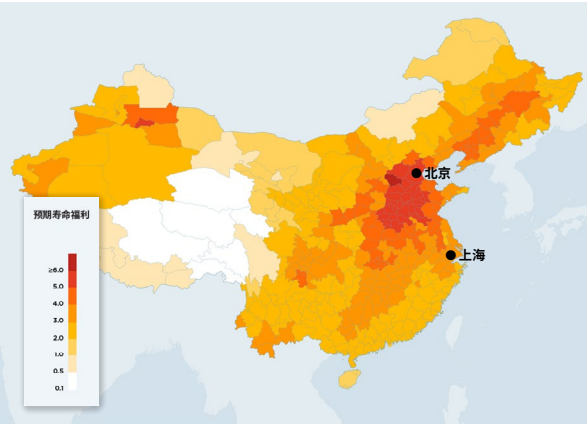
一个挑战。虽然2020年现阶段的污染水平达到了国家标准, 这仍比世卫组织的5 µg/m³的指导标准高出6倍。在全球范围内对比, 北京的空气污染程度仍然比在美国污染最恶劣的城市洛杉矶还要严重三倍。如果中国能够永久性地实现减污目标并达到世卫组织的指导标准, 其健康效益将非常显著。例如, 相比起2020年的空气污染浓度环境, 中国居民的平均寿命可望延长2.6年(见图10)。在河北、河南和天津等重污染地区, 预期收益更加明显, 居民们因为清洁的空气将获得高达4.1年的额外预期寿命。北京的居民寿命将会增加3.2年。

中国如何能在未来的几十年内实现这些巨大的健康增益呢?虽然到目前为止, 行政管理手段在减少污染方面取得了良好的效果, 但减排的经济成本已经变得异常的高而且还在持续上升。相应的, 领导人为了平衡不同利益相关者的需求正面临着越来越多的挑战。因此, 对中国的领导人来说, 更好地平衡经济持续增长和环境质量的需求将会变得越来越重要。

随着中国进入“反污染战争”的下一阶段, 中国可以将重心放到以市场为基础的手段上, 以便以较低的成本和面对更少的利益相关者方面的压力去可持续性地减污。这种减少污染的方法在世界其他地区已经取得了成功。美国的二氧化硫排放交易系统是历史上最大型的此类项目之一, 在1980年至2003年期间减少了40%的二氧化硫污染。分析表明, 该系

统的收益是其成本的40倍。同时, 印度古吉拉特邦政府于2019年在工业城市苏拉特实施了世界上第一个颗粒物污染的排放交易市场。证据表明, 参与交易市场的工厂减少了约24%的污染, 而其运营成本没有明显的增加。中国在2021年7月引入了国家碳市场, 该市场建成后将成为世界上最大的此类市场, 为该国采用颗粒物污染和二氧化硫市场奠定了良好的基础。

图10: 将中国大陆的PM_{2.5} 浓度永久性的从2020年水平降低到世卫组织标准能产生



结论

虽然在2008年北京夏季奥运会前采取的减污政策行动改善了奥运会期间的空气质量,并减缓了之后几年空气污染的恶化,但污染水平仍在2013年达到了历史最高水平。从那时起,中国就开始了一场对抗污染的战斗。在作战的第七年,污染水平发生了惊人的下降,占到近年来全球空气污染总减少量的绝大部分。如果这个趋势持续下去,中国居民的寿命将延长约2年。北京居民呼吸的空气污染程度是2008年和2013年的一半,这让他们能够多活5年。

然而,污染水平截止2020年仍比世卫组织的指导标准高出六倍。如果中国达到该标准,其居民可望增加2.6年的寿命。北京的居民可以增加3.2年。但是,继续保持目前的空气清洁趋势下去可能需要寻找成本更低的方法来赢得广泛的政治支持。因此,随着中国进入 "反污染战争 "的下一阶段,将会有很多机会让政府使用依赖市场特征的环境监管方法来更好地实现清洁空气和快速经济发展的双重目标。

中国和美国：两种污染战争的比较

在现在的美国大部分地区，颗粒物空气污染不是一个主要问题。但情况并不总是如此。美国由煤炭所驱动的工业化进程在很大程度上没有受到健康和环境因素的影响。二战后，美国工业从大萧条中反弹，人口随着“婴儿潮”一代的出生而增长，第一条高速公路建成，成群结队的美国人逃往郊区，寻找装备有现代电器的新家。随着家庭和工业能源消耗的增加，以及道路上更多的车辆，污染开始日益恶化。新的科学研究持续更新着我们对那个年代空气污染严重程度的估算。

这样的重度污染慢慢地开始在美国人的记忆中留下痕迹。1948年，宾夕法尼亚州多诺拉工业镇的一次严重雾霾事件在不到一周的时间内造成20多人死亡，一半的当地居民严重患病。在接下来的几个月里，更多的人死亡，并且在随后的几年里，死亡率持续高于正常水平。

多诺拉雾霾是一个极端但生动的例子，它说明工业化在很大程度上没有受到健康或环境问题的监督。随着时间的推移，它使美国人清醒地认识到，全国各地的日常污染水平对他们的个人健康是有害的。到1970年，俄亥俄州斯图本维尔大都会区的颗粒物污染浓度与2001年北京的浓度相当。洛杉矶已被称为世界雾霾之都，其他大都市地区也不甘落后。

到20世纪60年代末，污染已成为许多美国人日常生活的一部分，市民们受够了，这与近年来的中国人民的经历并无不同。在1970年4月的第一个地球日，全国各地有数百万人为了更清洁的生活环境而走上街头游行。仅仅几个月后，环境保护局成立，国会通过了《清洁空气法案》。这部法律以及随后的修正案，促进了联邦和州一级法规的建立，以解决空气污染源，建立空气质量标准，并惩罚违规者，所有这些都促使了环境空气污染的大幅下降。

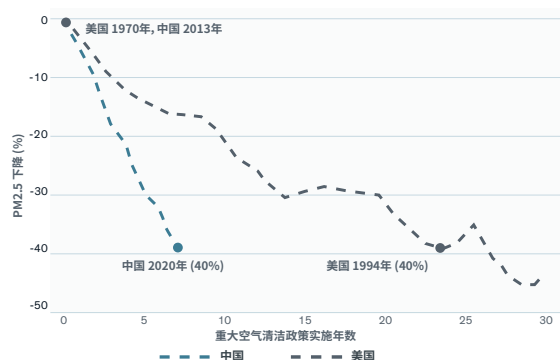
《清洁空气法案》很快对美国人呼吸的空气质量产生了影响。到1980年，全国范围内的PM_{2.5}平均浓度水平已经下降了约20%。今天，美国人平均接触的PM_{2.5}污染只有1970年的三分之一左右。

美国在减少污染方面的进展确实帮助美国居民延长寿命，但中国的改善来得更迅速。美国花了20多年的时间和多次经济衰退才将其平均空气污染减少了40%，而中国只用了七年时间就实现了这一成就，同时其经济继续保持良好的增长（见图11）。中国如此迅速地减污

的能力给其他高污染的国家带来了乐观情绪。但这一成绩必须结合实际情况来看待。中国之所以能够如此迅速地减少污染，是因为其采取了一些严厉的措施，比如在冬季，在天然气或电力替代品到来之前，一度将给家庭供暖的煤锅炉拆除。

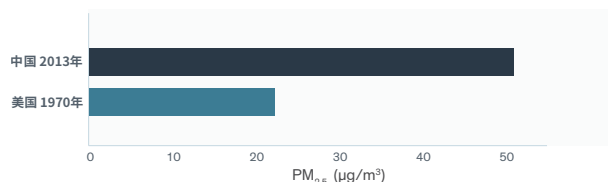
还应该注意的是，除了的一些美国的极端例子外，中国的污染水平在“反污染战争”之前是远高于美国的（见图12）。1970年美国的PM_{2.5}平均浓度大约为24 μg/m³，远远低于2013年中国的52 μg/m³的平均浓度。这使得中国的预期寿命相对有更大的提高。美国的空气污染减少了63%，使美国人在开始“战争”的40年后能多活1.5年。相比之下，中国的预期寿命增加了2年，而实现这一目标的时间远远少于十年。虽然中国的严厉策略肯定发挥了作用，但一开始减少大量的污染也可能更容易。减少剩余的污染也可能更难实现。

图11：中国与美国在重大空气清洁政策实施后的减污成果



注：该图比较了美国自1970年以来和中国自2013年以来平均PM_{2.5}的累计下降百分比。对于中国，我们使用卫星衍生的PM_{2.5}测量值。美国的数据来自EPA的总悬浮颗粒物（TSPs）数据。利用这些数据，我们通过假设PM_{2.5}、PM_{1.0}和TSPs之间的比例不变，来推算1970年至1997年期间的PM_{2.5}数值。为了与卫星测量值保持一致（从1998年起就有），我们用卫星和监测器测量值的平均比例来计算这些估算值。这种方法应该谨慎解读，因为它比1998年以后的卫星测量结果的可靠性要低。更多信息请见技术附录，网址是：<https://aqli.epic.uchicago.edu/policy-impacts/united-states-clean-air-act/>。

图12：中国与美国在重大空气清洁政策实施时的污染水平



附录表 I 中国人口最多的几个地级市的污染与预期寿命增长

地级市	人口(百万)	PM _{2.5} 浓度 (µg/m³)			PM _{2.5} 浓度下降百分比			预期寿命福利	
		2008	2013	2020	2008 年至 2020 年	2013 年至 2020 年	2008 年至 2020 年	2013 年至 2020 年	2020 年降至世卫标准
重庆市	30.0	56.5	56.2	29.0	49	48	2.7	2.7	2.3
上海市	24.1	47.5	50.2	28.1	41	44	1.9	2.2	2.3
北京市	20.5	75.7	85.2	37.9	50	55	3.7	4.6	3.2
成都市	13.9	66.3	70.3	35.4	47	50	3.0	3.4	3.0
天津市	13.6	72.5	77.6	47.4	35	39	2.5	3.0	4.2
广州市	13.2	47.8	45.5	22.8	52	50	2.4	2.2	1.7
保定市	11.6	79.3	101.2	46.2	42	54	3.2	5.4	4.0
哈尔滨市	11.1	46.1	59.5	40.7	12	32	0.5	1.8	3.5
苏州市	10.8	54.8	57.3	31.2	43	46	2.3	2.6	2.6
深圳市	10.8	38.3	37.2	19.1	50	49	1.9	1.8	1.4
南阳市	10.7	57.7	69.0	39.0	32	43	1.8	2.9	3.3
石家庄市	10.6	81.4	109.2	56.0	31	49	2.5	5.2	5.0
临沂市	10.5	64.9	65.6	43.5	33	34	2.1	2.2	3.8
武汉市	10.1	68.9	77.5	36.9	46	52	3.1	4.0	3.1
邯郸市	9.5	75.4	96.2	48.5	36	50	2.6	4.7	4.3
潍坊市	9.5	60.9	61.1	42.8	30	30	1.8	1.8	3.7
温州市	9.5	42.6	37.5	24.3	43	35	1.8	1.3	1.9
周口市	9.3	64.6	71.6	47.0	27	34	1.7	2.4	4.1
杭州市	9.1	55.8	51.4	28.6	49	44	2.7	2.2	2.3
青岛市	9.1	50.8	51.0	34.0	33	33	1.7	1.7	2.8
郑州市	9.0	70.4	83.6	47.3	33	43	2.3	3.6	4.1
西安市	8.9	68.2	69.3	48.9	28	29	1.9	2.0	4.3
徐州市	8.9	55.3	61.8	44.5	19	28	1.1	1.7	3.9
赣州市	8.7	40.8	39.7	21.3	48	46	1.9	1.8	1.6
菏泽市	8.6	70.4	77.4	51.2	27	34	1.9	2.6	4.5
东莞市	8.6	43.6	42.1	22.1	49	48	2.1	2.0	1.7
沈阳市	8.5	32.4	26.9	18.3	43	32	1.4	0.8	1.3
泉州市	8.5	61.5	56.6	41.6	32	27	1.9	1.5	3.6
南京市	8.3	60.2	59.0	34.8	42	41	2.5	2.4	2.9
合肥市	8.0	61.1	62.0	36.7	40	41	2.4	2.5	3.1
长春市	8.0	49.3	56.5	40.8	17	28	0.8	1.5	3.5
阜阳市	8.0	58.9	63.1	43.2	27	31	1.5	1.9	3.7
邵阳市	7.9	54.4	50.1	30.5	44	39	2.3	1.9	2.5
宁波市	7.9	44.5	43.4	23.0	48	47	2.1	2.0	1.8
唐山市	7.7	77.3	77.1	42.9	45	44	3.4	3.4	3.7
商丘市	7.6	65.6	72.8	49.7	24	32	1.6	2.3	4.4
盐城市	7.6	48.2	49.5	31.3	35	37	1.7	1.8	2.6
南通市	7.6	48.6	51.1	29.6	39	42	1.9	2.1	2.4
佛山市	7.6	50.1	47.5	23.5	53	50	2.6	2.3	1.8
驻马店市	7.5	63.2	67.5	42.9	32	36	2.0	2.4	3.7
沧州市	7.5	72.8	92.7	48.1	34	48	2.4	4.4	4.2
衡阳市	7.5	57.6	53.5	32.5	44	39	2.5	2.1	2.7
邢台市	7.4	80.8	107.2	52.1	36	51	2.8	5.4	4.6
福州市	7.4	30.1	26.2	17.7	41	32	1.2	0.8	1.2
长沙市	7.3	63.9	61.4	35.3	45	43	2.8	2.6	3.0
湛江市	7.3	36.7	33.9	19.1	48	44	1.7	1.5	1.4
济宁市	7.3	76.6	75.3	50.9	34	32	2.5	2.4	4.5
烟台市	7.3	42.7	40.6	30.2	29	26	1.2	1.0	2.5
济南市	7.1	70.0	72.5	46.3	34	36	2.3	2.6	4.0
南宁市	6.9	48.1	48.7	24.6	49	50	2.3	2.4	1.9

参考文献

AFP, "How green can Beijing's "green Olympics" really be?," CBS News, January 3, 2022.

Chen, Y., Ebenstein, A., Greenstone, M., and Li, H. 2013b. "Evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River policy," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110(32), 12936-12941.

Chen, Y., Jin, G.Z., Kumar, N., and Shi, G. 2013a. "The promise of Beijing: Evaluating the impact of the 2008 Olympic Games on air quality," *Journal of Environmental Economics and Management* 66(3): 424-443.

Chia, Krystal, "China Aims for 'Olympic Blue' With Plans to Extend Steel Curbs," *Bloomberg*, August 10, 2021.

Early, Catherine, "How China shapes the world's coal," *BBC*, November 2, 2021.

Ebenstein, A., Fan, M., Greenstone, M., He, G., and Zhou, M. 2017. "New evidence on the impact of sustained exposure to air pollution on life expectancy from China's Huai River Policy," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114(39), 10384-10389.

Greenstone, M., He, G., Jia, R., and Liu, T. 2021. "Can Technology Solve the Principal-Agent Problem? Evidence from China's War on Air Pollution," *American Economic Review: Insights*, forthcoming.

Greenstone, M., He, G., Li, S., and Zou, E.Y. 2021. "China's War on Pollution: Evidence from the First Five Years," *Review of Environmental Economics and Policy* 15(2): 281-299.

He, G., Fan, M., and Zhou, M. "The effect of air pollution on mortality in China: Evidence from the 2008 Beijing Olympic Games," *Journal of Environmental Economics and Management* 79: 18-39.

Wainwright, Oliver, "Inside Beijing's airpocalypse — a city made 'almost uninhabitable' by pollution," *The Guardian*, December 16, 2014.

About the Authors



Michael Greenstone

Michael Greenstone 是米尔顿·弗里德曼经济学、大学以及哈里斯学院教授，同时兼任贝克尔·弗里德曼研究所及芝加哥大学能源政策研究所所长。他之前担任奥巴马总统经济顾问委员会首席经济学家，共同领导美国政府对碳排放社会成本的研究。Greenstone 还指导了汉密尔顿计划，该计划旨在研究促进经济发展的政策，他从此加入了顾问委员会。他是美国人文与科学院当选院士、计量经济学会的会士以及《政治经济学杂志》前编辑。任职于芝加哥大学之前，Greenstone 曾是麻省理工学院 (MIT) 环境经济学 3M 教授。

Greenstone 的研究影响了全球的政策制定，其研究重点揭示了环境质量和能源选择的效益及成本。他当前的工作主要集中在尝试各种创新方式来提高能源获取并改善全球环境法规的效率。此外，作为气候影响实验室的联合主任，他还在以经验为基础来预测气候变化对本地和全球的影响。同时，他还创立了 Air Quality Life Index™ (空气质量-寿命指数)，该指数主要衡量在大气颗粒污染物浓度符合全球或国家标准的情况下，社区居民平均预期寿命的增加年数。

Greenstone 分别以优异的成绩获得斯沃斯莫尔学院经济学学士学位和普林斯顿大学经济学博士学位。



Guojun He

何国俊是香港大学经济学系和管理与策略系副教授。兼任芝加哥大学能源与环境政策研究所中国中心 (EPIC-China) 研究主任。

何教授的研究试图解决发展中国家面临的一些最具挑战性的问题，并基于实证分析得出最优的政策设计。他的大多数研究关注中国环保政策的收益和成本，同时，他也对政府治理和经济发展有广泛的研究兴趣。



Ken Lee

Ken Lee 是空气质量寿命指数 (AQLI) 研究主任和芝加哥大学经济系高级助理研究员。在此之前，Ken 担任过 EPIC 印度研究中心的执行主任以及有效全球行动中心 (Center for Effective Global Action) 和哈斯能源研究所 (Energy Institute at Haas) 的研究员。Ken 的研究主要涉及发展经济学，环境和能源经济学的领域，并在肯尼亚和印度设计了多个实地实验。他拥有加州大学伯克利分校的博士学位和哥伦比亚大学国际与公共事务学院 (SIPA) 的硕士学位。

关于空气质量寿命指数

空气质量寿命指数 (AQLI™) 将颗粒物污染浓度转化为人们预期寿命的增减。它可以可靠测算，在污染浓度水平下降到符合世界卫生组织标准、国家标准或其他标准时人们预期寿命可能延长的年限。

与大多数关于空气污染与人体健康关系的研究不同，AQLI反映长期空气污染对健康的影响，并有效隔绝了其他影响因素。常用的空气质量指数(AQI)是计算空气污染浓度的复杂函数，不能直接反映对健康的影响，因此AQLI可以作为AQI的重要补充。

aqli.epic.uchicago.edu  @UChiAir #AQLI

关于 EPIC

芝加哥大学能源与环境政策研究所 (EPIC) 致力于解决全球能源挑战，确保能源市场能供应可靠、可承担的能源，同时减少能源对环境和社会的损害。我们采用一种独特的跨学科方法，通过对下一代全球能源领导者进行战略性的宣导和培训，将强大的、数据为导向的研究转化为对现实世界的影响

epic.uchicago.edu  @UChiEnergy  /UChicagoEnergy