AQLI Air Quality Life Index®

# 空气质量寿命指数介绍

## 细颗粒物大气污染、人类健康和全球政策的 12 个事实

迈克尔 · 格林斯通 和 范晴，芝加哥大学能源政策研究所

2018 年 11 月

# 目录


概述

第一部分
细颗粒物大气污染的背景 6

事实 1 细颗粒物是侵害心肺系统的微小有害物质 7

事实 2 细颗粒物污染的主要来源是能源生产 8

事实 3 科技可减少大气污染，但会增加能源成本 9

第二部分
证据显示大气污染影响健康 10

事实 4 研究发现细颗粒物大气污染和健康之间有联系， 但未解答重要问题 11

事实 5 最新证据显示，长期遭受细颗粒物污染会导致寿命缩短 12

第三部分
空气质量寿命指数介绍 14

事实 6 AQLI 使用高度本地化卫星测量全球污染 15

事实 7 AQLI 反映细颗粒物污染减少带来的预期寿命延长 16

第四部分
AQLI 工作原理 18

事实 8 细颗粒物大气污染是全球范围对人类健康最大的威胁 19

事实 9 细颗粒物大气污染造成的人均预期寿命损失从 1998 年的 1 年增加到 2016 年的 1.8 年 20

事实 10 目前的细颗粒物大气污染浓度预计将使 6.35 亿人的预期寿命至少缩短五年 21

第五部分
关于污染防治政策的记录 10

事实 11 由于细颗粒物大气污染的减少，美国居民的寿命比 1970 年延长了 1.5 年 23

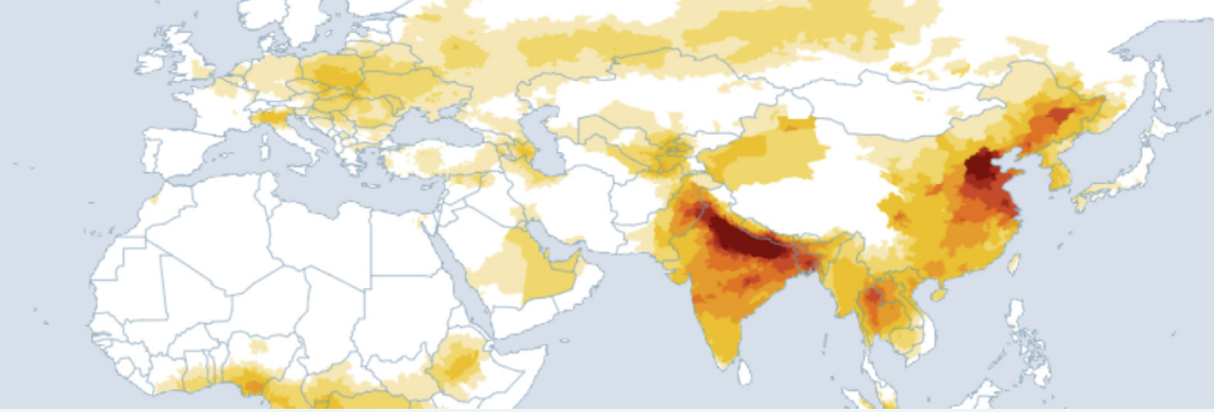
事实 12 中国正在打赢 “蓝天保卫战” 24

附录数据和方法 26

细颗粒物污染和预期寿命影响表（按国别排） 30

参考文献 34


特别感谢 Aaron van Donkelaar 博士及 Dalhousie 大学大气成分分析组提供 $PM_{2.5}$ 原始卫星数据 .



概述

# 细颗粒物（PM）大气污染是当前全球人类健康的最大威胁

空气中细颗粒物可以绕过人体的自然防御系统，深入肺部，然后从肺部进入血液，引起肺病、癌症、中风和心脏病。还有证据表明，它会损害人的认知能力。尽管存在这些风险，但大气中细颗粒物污染水平与人体健康之间的关系并没有被社会广泛理解。对大多数人来说，了解细颗粒物污染的唯一途经是目前流行的空气质量指数，该指数使用颜色预警系统对日常空气质量进行分级。但这些颜色并不能表明实际健康风险，而且很少有人熟悉这些计量单位 ( 例如，每立方米空气含多少微克的污染 )。

在测量和表示细颗粒物空气污染的健康风险方面，空气质量寿命指数 (AQLI) 是一个全新突破。这是因为 AQLI 空气质量指数将细颗粒物污染浓度转化为了一个重要的测量标准：对预期寿命的影响。

AQLI 显示，与世界卫生组织认定的安全水平相比，全球所有女性、男性和儿童平均遭受的细颗粒物空气污染使全球人类预期寿命缩短了近两年。这种预期寿命的减少使得细颗粒物污染的破坏性超过了传染性疾病，例如：结核病和艾滋病、吸烟等致命行为，甚至战争。

世界上某些地区受到的影响比其他地区更大。例如，在污染较少的美国，对照 WHO 的标准，居民的预期寿命仅缩短了 0.1 年。在污染相对严重的中国和印度，如果细颗粒物浓度降至 WHO 标准，两国居民的平均预期寿命可分别增加 2.9 岁和 4.3 岁。

经过同行评审， AQLI 指数首次将人类长期受大气污染的影响与预期寿命之间的因果关系进行量化。该指数将这项研究与高度本地化的全球细颗粒物测量值结合起来，使人前所未有地了解了世界各地空气污染的真实成本。例如，德里居民的平均寿命因重污染将缩短 10 年左右，而北京和洛杉矶居民的平均寿命分别减少了将近 6 年和 1 年。

## 除了上述因素外，AQLI 还在以下几个重要方面与众不同：

- AQLI 的研究基础是亚洲许多地区当前较高的污染环境，而此前同类的研究则是根据美国烟草研究的关联性证据进行的推断，这些证据的污染水平普遍较低。
- AQLI 将空气污染与其他影响健康的因素进行了分离。以往有关空气污染对健康影响的总结多依赖于关联性研究，而关联性研究往往将空气污染与其他影响人类健康的因素相混淆。
- AQLI 估计了人均预期寿命因大气污染带来的损失。其他研究方法报告了因空气污染而过早死亡的人数，但没有回答人的寿命被缩短了多少。
- AQLI 使用高度本地化的卫星数据，因此可以在世界各地的县级或类似级别的地区显示污染对寿命的影响，以往的研究只能展示更大区域的数据。

AQLI 除了对世界各地的普通人具有重要意义之外，对决策者来说也是一个非常宝贵的工具。人们可以从空气质量和预期寿命的角度，利用指数来测量、跟踪和说明减少大气污染的好处。例如，自 1970 年以来，由于实施《清洁空气法》，美国的大气污染状况大为好转，美国人的平均预期寿命因此延长了 1.5 年以上。AQLI 的数据还显示，中国近三年集中治理大气污染之后，污染程度已经大幅度降低。如果这个改善能够保持，相关地区居民的平均预期寿命将会增加 0.5 年。

本文列举了有关大气细颗粒物污染和 AQLI 的 12 个事实。第一部分介绍大气细颗粒物污染的基本背景、对人体的影响及其主要来源；第二部分列出研究人员已知和未知的关于细颗粒物污染对健康的影响；第三部分描述 AQLI 详情及其使用方法；第四部分通过 AQLI 视角揭示大气污染对预期寿命的严重威胁以及严重受威胁的地区。

## 空气中的细颗粒物污染使全球平均预期寿命缩短了近两年。

第一部分

# 细颗粒物大气污染的背景

人们普遍认为细颗粒物污染是最致命的一种大气污染。它的微小颗粒深入肺部，渗入血液，最终导致肺病、癌症、中风或心脏病。这些细颗粒物污染的主要来源于化石燃料的燃烧，同时也是导致全球气候变化的元凶。

事实 1

## 细颗粒物是侵入心肺系统的微小有害物质

细颗粒物 (PM) 是指悬浮在空气中的固体和液体颗粒，如煤烟、烟雾、灰尘等。当空气被细颗粒物污染时，这些颗粒连同身体所需的氧气一起进入人体的呼吸系统。

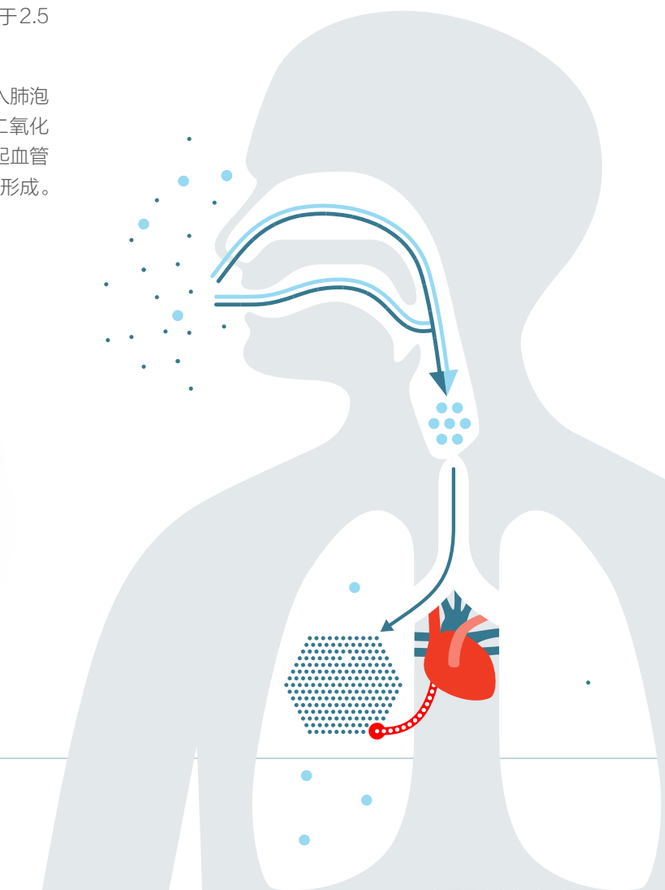
被吸入鼻子或嘴后，每个细颗粒物的命运取决于它本身的大小：颗粒越微细，侵入人体的距离就越远。$PM_{10}$ 是直径小于 10 微米 (μm) 细颗粒物，小到可以通过 鼻子的鼻毛，通过呼吸道进入肺部，细颗粒物表层的金属元素会氧化肺部细胞，破坏它们的 DNA，增加人体患癌症的风险 [1]。细颗粒物与肺细胞的相互作用也会导致炎症、刺激反应和气流阻塞，增加或加重导致呼吸困难的肺病风险，如慢性阻塞性肺病 (COPD)、囊性肺病和支气管扩张。[2]

更致命的细颗粒物是 $PM_{2.5}$，这种细颗粒物的直径小于 2.5 μm，只是人类头发直径的 3%。

$PM_{2.5}$ 除了会使人增加患肺病的风险之外，还会深入肺泡里。肺泡是血管覆盖的气囊，其中的血液帮助氧气及二氧化碳之间的交换。$PM_{2.5}$ 一旦通过肺泡进入血液，就会引起血管充血和收缩，或导致脂肪斑块脱落，导致血压升高或血栓形成。这会阻碍血液流向心脏和大脑，久而久之，会导致中风或心脏病发作。近年来，研究人员已经开始发现细颗粒物污染与认知能力低下有关联关系。

他们推测因充血血液中的 $PM_{2.5}$ 可能会导致大脑更快老化。此外，它可能会损害大脑的脑白质，而脑白质正是使大脑不同区域进行交流的物质。[3] $PM_{2.5}$ 导致的脑白质损伤与阿尔茨海默病和痴呆症有关。[4]

$PM_{2.5}$ 的体积微小，不仅从生理学的角度来看对健康很有害，而且非常便于在空气中长期停留，在空中飘荡成百上千公里，[5] 这增加了被人吸进身体的可能性，而不是落地回归尘土。



1 Xing et al., 2016
2 E.g. Ling & van Eeden, 2009
3 Gibbens, 2018
4 Iadecola, 2013
5 Wilson & Suh, 1997

事实 2

# 细颗粒物污染的主要来源是能源生产

虽然有些细颗粒物来自自然环境，如灰尘、海盐和野火，但大多数 $PM_{2.5}$ 污染是人为造成的。煤炭燃烧会引起空气污染，这一事实已经久为人知。公元 1300 年左右，英国国王爱德华一世就决定，任何人在他的王国里烧煤，将会被处以死刑。今天，化石燃料燃烧不仅释放出二氧化碳，增大了破坏性气候变化的几率，而且还是全球人为 $PM_{2.5}$ 的主要来源。[6] $PM_{2.5}$ 来自三个不同途径 [7]：

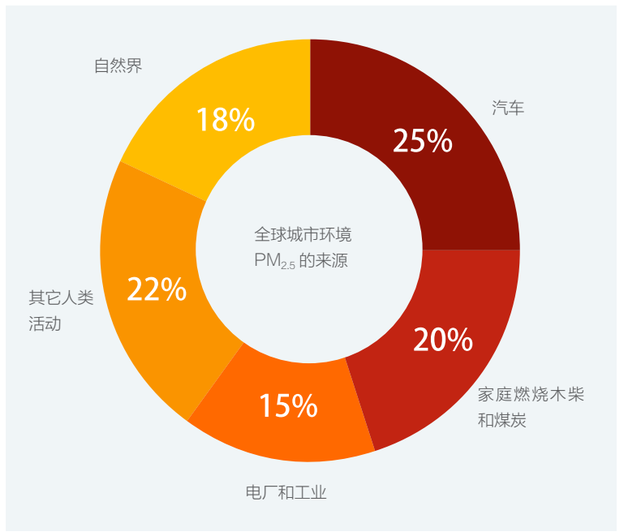
由于煤中含有硫，燃煤电厂和工业设施燃煤后会产生二氧化硫气体。这种气体一旦进入空气中可能会与氧气发生反应，然后和氨气反应形成硫酸盐颗粒。

高温下的燃烧，如汽车发动机和发电厂的燃烧，会释放二氧化氮。二氧化氮在空气中经过类似的化学反应，形成硝酸盐颗粒。

柴油机、燃煤电厂和家用燃煤都可能产生不完全燃烧。在不完全燃烧的情况下，燃料没有足够的氧气来充分燃烧转化成能量。未充分燃烧的多余碳变成黑碳，是构成 $PM_{2.5}$ 的成分之一，也是仅次于二氧化碳和甲烷的影响气候变化排名前三的重大因素。

除了燃烧化石燃料，人类还燃烧木材和农作物秸秆等生物燃料来做饭和取暖，也会产生 $PM_{2.5}$。生物燃料燃烧排放黑碳和有机颗粒，在世界很多地方，生物燃料燃烧造成的细颗粒物污染可与化石燃烧相当。同时燃烧森林、草原和农作物残余等烧荒垦种行为，也是人为造成细颗粒物污染的一个重要来源。[8]

图 1 · 全球城市环境中 $PM_{2.5}$ 来源分析




来源：Karagulian et al., 2015

6 Philip et al., 2014
7 NRC, 2010
8 Philip et al., 2014

事实 3

# 技术能减少细颗粒物污染，但增加了能源成本

一些现有技术能减少大气细颗粒物污染和细颗粒物前端排放，同时保持能源产量和生活品质。固定和流动的污染源都可以减少最后形成硫酸盐颗粒的二氧化硫排放。对电厂而言，烟气脱硫技术（FGD）[9] 在废气排放到大气之前，先使用碱性吸附剂把二氧化硫从废气里脱离出去。酸性的二氧化硫与吸附剂发生反应，形成中性的钙或亚硫酸盐镁，进入大气之后就不再形成细颗粒物。这一化学反应知识从 19 世纪下半叶就已经存在，并于 20 世纪 20 年代首次应用于伦敦的发电厂，当时二氧化硫污染导致了公众抗议和法庭诉讼。[10]

今天，最先进的烟气脱硫除尘器可以从发电厂排放的废气中去除 99% 的二氧化硫物质，但脱硫给发电厂和消费者带来成本。我们估计，对于一个现有不控制排放或很少控制排放的燃煤电厂，安装烟气脱硫装置将使每千瓦小时电力的零售价从 6.5 美分上升到 7.1 美分。[11] 不过，有空气污染控制法规的地方普遍应用了这种技术。2017 年，美国使用烟气脱硫技术的电厂发电量占全国燃煤发电的 86%。[12]

汽车方面，由于环境法规的规定，超低硫柴油 (ULSD) 等创新产品现已成为欧盟和美国的标准。烟气脱硫是清除已经产生的污染物，超低硫柴油与之不同的是，硫是预先从燃料中除去的，从一开始就可以防止污染物的产生。与第一个柴油法规生效前使用的柴油相比，超低硫柴油的硫化物含量减少了 99.7%；[13] 与之前的低硫柴油 (LSD) 相比，超低硫柴油的成本要高 2%，[14] 硫含量低 97%。[15]

还有解决其他污染物的先进技术。因为燃烧温度较高时会产生氮氧化物排放，为了减少硝酸盐颗粒的排放，电厂和工厂可以使用低峰值温度燃烧炉。静电除尘器可以从电厂排放物中去除黑碳，在美国，产能占 95% 的燃煤电厂都安装了静电除尘器。[16] 柴油汽车的颗粒过滤器在尾气排放时也起同样的作用，家用清洁炉具也可以减少进入肺部的黑碳和有机颗粒的数量。更广泛地采用这类技术将大大降低全球细颗粒物污染浓度，同时不会削弱能源供应。

图 2a · 印度典型燃煤电厂与烟气脱硫 (FGD) 电厂每千瓦时的平均单位电价和二氧化硫排放的差异

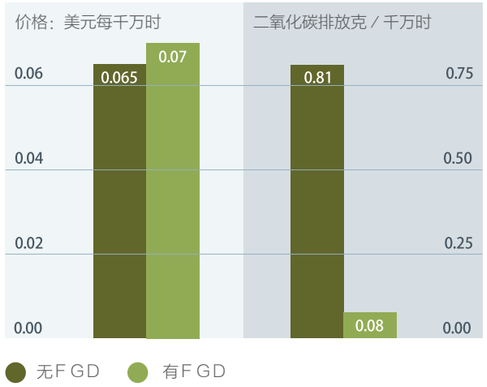
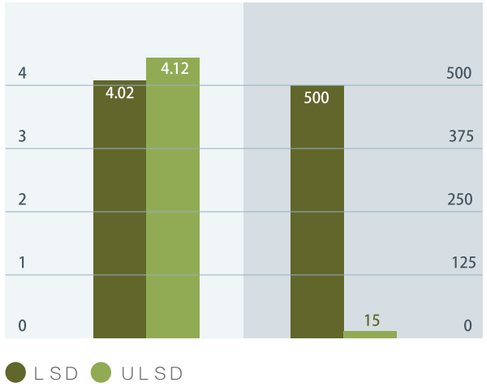



图 2b · 低硫柴油 (LSD) 和超低硫柴油 (ULSD) 在成本和硫含量上的差异




9 根据 Guttikunda 和 Jawahar（2014 年）和《BP 统计评估》（2012 年）对 2011 年印度的估计计算二氧化硫排放量，假定 FGD 能去除 90% 的二氧化硫
10 Biondo & Marten, 1977
11 基于美国能源信息署（2017a）数据，利用 EPIC 的平准电价模型估计 FGD 成本
12 美国能源信息署 (2017b) 和美国能源信息署 (2017c) 计算
13 美国环保署
14 采用美国能源信息署（2018）的 2007-2008 年数据计算
15 美国能源部
16 美国能源信息署 (2017b) 和美国能源信息署 (2017c) 计算

## 第二部分

# 证明大气污染影响健康的证据

大量研究发现，空气细颗粒物污染与人类健康之间存在关联，但细颗粒物污染与预期寿命缩短之间的因果关系仍存有疑问。最近两项研究充分利用中国的一项政策所形成的自然条件，首次揭示了持续处于细颗粒物污染环境对预期寿命影响的证据。此外，这两项研究还揭示了亚洲和全球其他地区常见污染水平下细颗粒物污染水平与预期寿命之间的关系。

## 事实 4

# 研究发现细颗粒物大气污染和健康之间有联系，但未解答重要问题

几十年的研究已经证实，细颗粒物污染与各种健康问题存在很强的相关性：医院急诊人数增多，心血管和呼吸系统疾病流行，死亡率增加。尽管这些研究很有价值，但是关于长期细颗粒物污染对人一生健康的影响，还存在认识上的空白点，在处于工业化进程中的国家尤其如此。

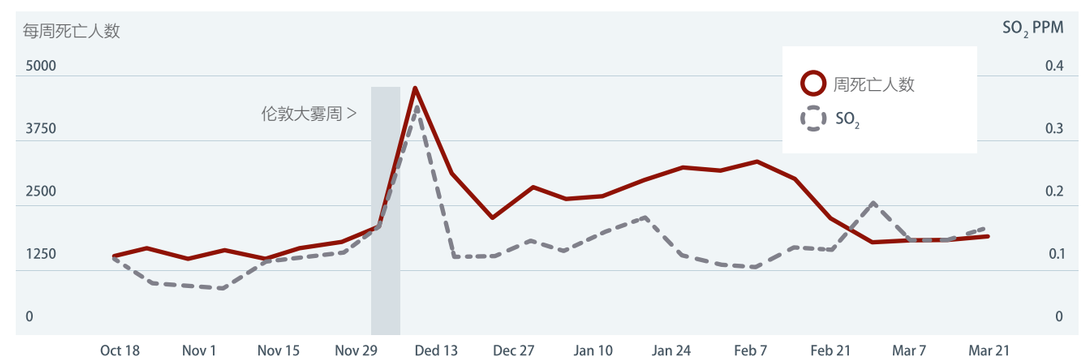
大量的研究已经记录了细颗粒物和不良健康后果之间的紧密联系。例如，一项著名的分析显示，1952 年的伦敦大雾造成 1.2 万人死亡。[17] 最近几十年，在欧洲城市，细颗粒物污染浓度越高，死亡人数越多。[18] 此外，Chay 和 Greenstone 的两项研究 (2003 年 a 和 2003 年 b) 揭示，细颗粒物污染和婴儿死亡率上升之间存在密切联系。

证实二者之间存在因果关系的研究已经取得了很大进步，但还有两个关键问题需要回答。首先，全球人口共损失多少年寿命？从研究结果看，不清楚过早死亡的人是否因其他原因致死，细颗粒物污染可能只是加重了病情，略微加速了其死亡。其次，更大的问题是长期暴露在污染环境的影响，而不仅仅是短时期受污染的后果或者对孕期妇女或婴儿的影响。这些研究带来第二个关键问题：遭受持续污染的长期影响是什么？

其他一些研究试图回答这些问题。例如，Pope 等人 (2009 年 ) 发现，从上世纪 70 年代末和 80 年代初到 90 年代末和 2000 年初，在美国 51 个大城市中，细颗粒物污染减少与人口寿命增长相关，估计延长了 0.6 年。该论文与著名的六城市研究 [19] 一道在估计长期污染的后果方面取得了重要进步。但这些研究结果也可能会由于变量混淆而产生偏差。与污染较轻的地区相比，重污染地区的人们健康更差，但一些决定健康的其他影响因素 ( 例如医疗条件不同 ) 并没有反映在数据里。因此，大气污染的影响是否与其他因素混淆，这一点仍然存疑。[20]

这些证据的另一个漏洞是，大多数研究的数据来源是北美和欧洲，这些地区的数据容易获取，但污染水平相对较低。因此，这些研究结果可能不适用于中国和印度等污染较重的地区。长期高浓度细颗粒物污染的后果还需要进一步论证。

图 3 · 1952 年伦敦大雾造成大伦敦的每周死亡人数




来源 :Bell & Davis (2001)

17 Davis, 2002
18 Katsouyanni et al., 1997
19 Dockery et al., 1993
20 Chay & Dobkin, 2003; Dominici et al., 2014

事实 5

# 最新证据显示，长期遭受细颗粒物污染将导致寿命缩短

Chen et al.(2013) 和 Ebenstein et al.(2017) 在中国进行了一项自然实验，估计了在现今高污染环境下长期细颗粒物污染与预期寿命之间的因果关系。

在中国，北方居民遭受的污染程度较重，部分原因是政府在计划经济时期（即 1950-1980 年代）规定，淮河以北的居民免费提供燃煤在冬季采暖。政策的初衷是为了给在寒冬最需要取暖的人群供暖，但同时也导致了对煤炭的高度依赖，大大加重了淮河以北地区的细颗粒物空气污染。此外，由于户籍制度限制了人口流动，因此可根据一个人的出生地点确定此人一生中遭受污染的时间。

重要的是，在个人习惯、社会经济条件、医疗保健或其他可能影响预期寿命的因素方面，淮河以北的家庭和淮河以南的家庭并没有明显的差异。这项政策已经实施了几十年，而且因户籍原因个人不能轻易离开受污染的居住地，因此，两个地区人们的健康差异可较为合理地归咎于长期遭受细颗粒物导致的空气污染。因此，研究人员可以不必担心混淆变量，可以将两组人群的健康差异和归结于细颗粒物空气污染导致的原因。

这个实验显示，由于冬季供暖政策导致大量煤炭燃烧，淮河以北的大气细颗粒物污染比淮河以南地区高 46%。把这些污染数据与死亡率数据联系起来之后，研究人员发现，居住在淮河以北的居民比淮河以南的居民平均少活 3.1 年。而且，所有年龄段的死亡率都明显上升。预期寿命缩短的原因几乎全部是心肺疾病死亡增多，从病理生理学角度来看，这与细颗粒物污染有合理关联。研究人员没有发现其他疾病（除了心肺疾病以外）导致的死亡率有差异。他们也没有发现两个地区的人们在健康行为上有差异，比如经常吸烟、酗酒或缺乏锻炼 -而这些都是导致心肺疾病的原因。

总体来说，这些数据表明，长期曝露在颗粒物污染空气里，$PM_{2.5}$ 浓度每升高 10 μg/m$^3$，预期寿命就缩短 0.98 年。[21] 研究分析的 $PM_{2.5}$ 浓度范围与观测到的全球分布相似，为大气污染与预期寿命之间的因果关系提供了可靠的依据。

有关 AQLI 原始数据的更多信息，请参见附录。

图 4a · 淮河以南和以北的细颗粒物污染水平 ($PM_{10}$)

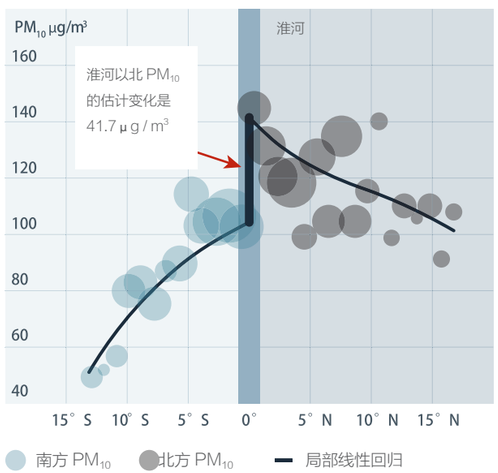
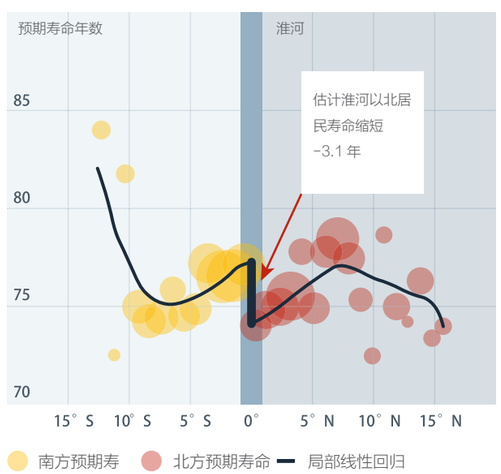



图 4b · 淮河以南和以北的细颗粒物污染水平 ($PM_{10}$)



21 将 Ebenstein et al.(2017) 按 $PM_{10}$ 得出的结果换算为按 $PM_{2.5}$ 计算的结果，见附录。

第三部分

# 空气质量寿命指数介绍

空气质量寿命指数（AQLI）基于一项发现，即 空气中每增加 10 μ g/m$^3$ 的 $PM_{2.5}$，人的预期寿命就会减少 0.98 年。AQLI 将此发现和高度本地化的全球 $PM_{2.5}$ 卫星测量数据相结合，使人前所未有地了解到各地的细颗粒物污染所导致的影响。该指数还表明，环保政策可以提高人们的预期寿命。如果污染水平降至世界卫生组织的安全指导标准、现有国家空气质量标准二级浓度限值或用户自选的污染浓度水平，这些信息可以帮助当地社区和决策者具体地了解制定大气污染防治政策的效益。

事实 6

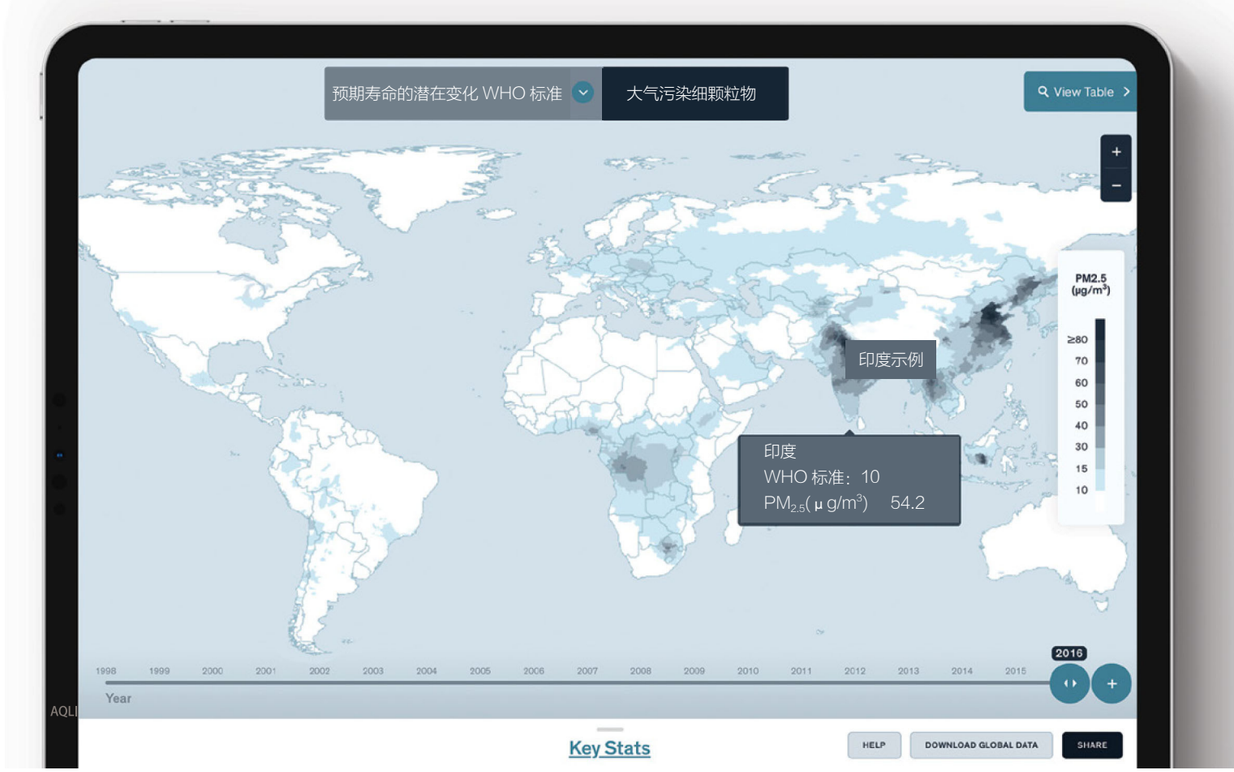
## AQLI 使用高度本地化的全球污染卫星测量数据

广泛、可靠的大气污染监测对于了解大气污染程度及其对人体健康的影响非常重要。然而，目前世界上许多地区缺少足够的污染监测系统。在设立了监测系统的地区，许多地区也是新近才开始，或者最近才开始监测 $PM_{2.5}$。这种情况下，很难跟踪监测大气污染的长期影响。监测数据的质量、可信度也各不相同，不利于跨区域比较污染情况。

为了建立一套关于细颗粒物污染及其对健康影响的统一数据，并且能覆盖全球、数据清晰、方法一致，能跨越多个时间段和揭示长期污染趋势，AQLI 使用了 $PM_{2.5}$ 卫星测量数据。 van Donkelaar 等人 (2016) 从卫星图像中推断出每个地点的大气粒子数量。大气成分模拟将其转化为 $PM_{2.5}$ 水平，加上使用有效的地面监测数据 ，两者可以交叉验证和替换。最后，研究人员使用相同的大气成分模拟，减去了每个地点因灰尘和海盐而产生的 $PM_{2.5}$ 份额，余下的几乎都是由人类活动产生的 $PM_{2.5}$。

这些数据跨越 1998-2016 年期间，以 10 公里 x10 公里的高分辨率覆盖地球。换句话说，在每一个面积约为纽约市的 1/8、德里的 1/15 或北京市区的 1/40 那么大的地区，该数据提供了过去的 19 年 $PM_{2.5}$ 人为排放平均水平的年度报告。AQLI 指数采用人口加权办法，把数据汇总成国家和地方两级数据。例如，AQLI 指数显示，在美国俄亥俄州的渥太华县和孟加拉国吉大港的婆罗门巴里亚区，两地居民 2016 年遭受的年均 $PM_{2.5}$ 污染数值分别是 13.0 和 60.1 μ g /m$^3$。AQLI 指数提供了自 1998 年以来全球每个县、区和地级市的 $PM_{2.5}$ 数据及其对健康的影响，为世界各地的居民和决策者填补了信息空白。

有关 AQLI 原始数据的更多信息，请参见附录。



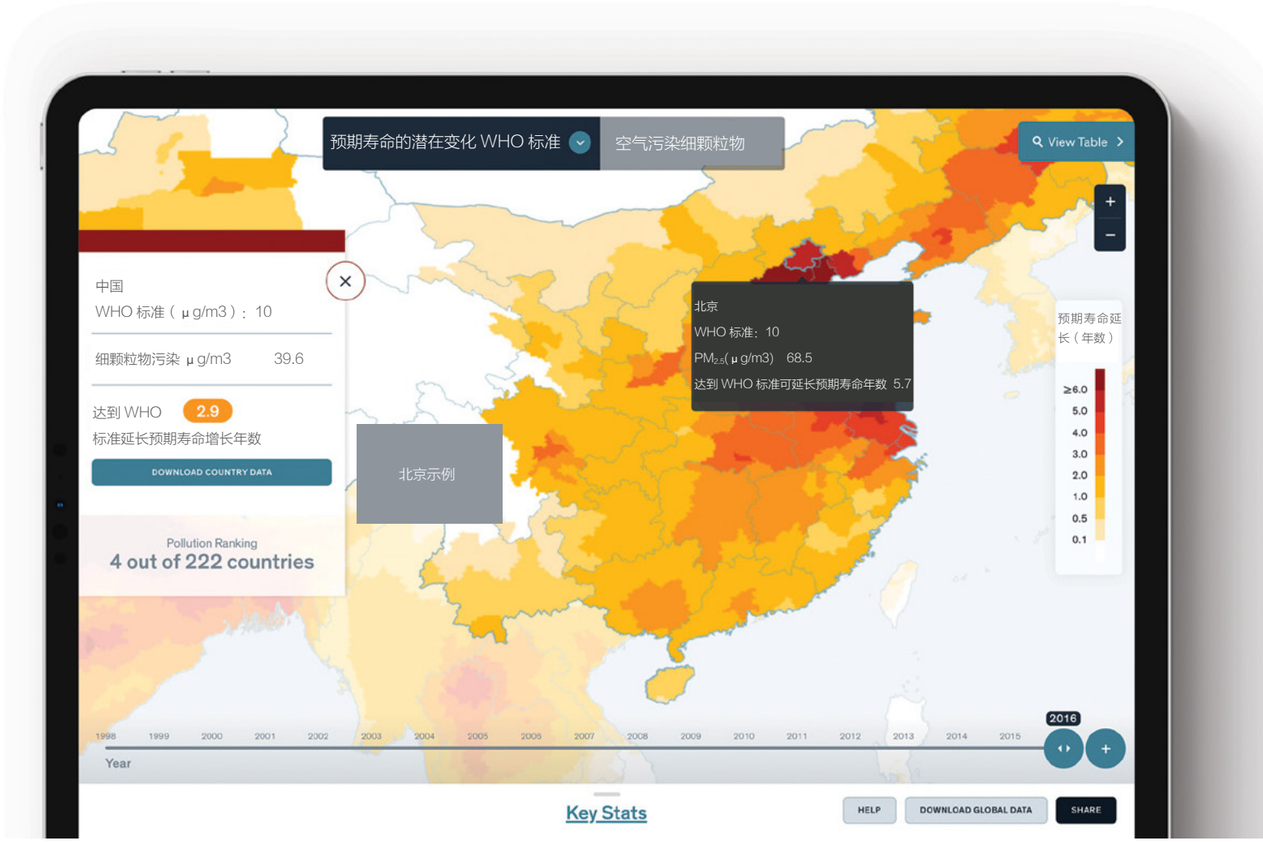
事实 7

# 根据 AQLI 指数，细颗粒物污染减少可延长预期寿命。

许多指数，例如大众所熟知的空气质量指数，将潜在污染浓度标为各种颜色（如绿色、红色和橙色）或数字。虽然它们把空气质量标为“好”或“坏”，但大多数人并不能从中了解到污染对人类健康的实际影响。

AQLI 指数把 $PM_{2.5}$ 污染转化为对预期寿命的影响，这个概念人人都能理解。使用卫星采集的 $PM_{2.5}$ 数据和淮河两岸研究的结果，22AQLI 指数显示，如果一个地区空气中的细颗粒物浓度下降，达到 WHO 指导的安全水平、现行国家空气质量标准或用户自选标准，则该地区人们的预期寿命就会延长。以上海为例，上海 2016 年的大气污染浓度平均值为 52 μg/m$^3$，比 WHO 推荐的安全水平 10 μg/m$^3$ 高出了 42 μg/m$^3$。淮河研究表明，每增加 10 μg/m$^3$ 的 $PM_{2.5}$，平均寿命将减少 0.98 岁。因此，根据 AQLI 指数，如果上海市能将污染浓度永久性地降低到 WHO 指导的安全水平，当地居民的平均寿命有望增长 4.1 年。与其他许多国家相比，美国受到细颗粒物污染的程度相对较小，但是，如果洛杉矶的细颗粒物污染降至 WHO 指导的安全水平，那么洛杉矶居民的预计平均寿命要比目前延长 9 个月。

有关 AQLI 指数方法的更多信息，请参阅附录。



第四部分

# AQLI 指数 的工作原理

根据 AQLI 指数，如果空气中细颗粒物污染浓度超过 WHO 推荐的安全标准，全球普通人的预期寿命将减少 1.8 岁，大气污染对人类寿命的危害已经超过了结核病、艾滋病等致命传染病的影响，也超过了吸烟等致命行为甚至战争的影响。世界上某些地区比其他地区受到的影响更大，其中印度、中国和孟加拉国遭受的损失最为严重。

事实 8

## 细颗粒物大气污染是全球范围对人类健康最大的威胁

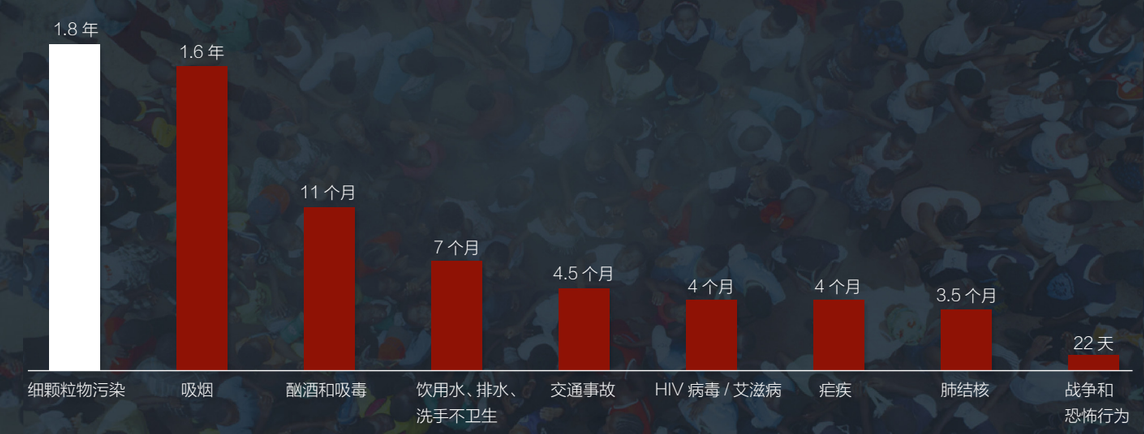
WHO 制定的免受大气细颗粒物污染的安全标准是 10 μg/m$^3$。如果所有地区都遵守这一指导标准，人类的预期寿命将得以延长。相反，如果细颗粒物污染水平照目前水平持续下去，全球人口寿命总计将减少 128 亿年。如果全球能持续遵守 WHO 制定的指导标准，普通人的平均寿命可延长 1.8 岁，预期寿命可望增长到 74 岁 。

吸一手烟可使全球人口平均预期寿命减少大约 1.6 岁，酗酒和吸毒减少预期寿命 11 个月，不安全饮用水和卫生设备减少预期寿命 11 个月， 感染 HIV 病毒 / 艾滋病减少预期寿命 4 个月。战争和恐怖行动使人减寿 22 天。因此，空气中的细颗粒物污染对预期寿命的影响相当于吸一手烟，是酗酒和毒品的两倍，不安全饮用水的三倍，感染 HIV 病毒 / 艾滋病的五倍，战争和恐怖主义的 29 倍。[23]

细颗粒物污染影响巨大的原因是什么？主要原因是，居住在污染地区的居民面对大气污染这个杀手无处可逃，因为每个人都不能不呼吸空气。相对于此，烟可以戒掉，疾病可以预防，因而大气污染对人寿命的影响比其他任何因素都大。全球 75% 的人口，即 55 亿人，都生活在 $PM_{2.5}$ 超标（按照 WHO 指导标准）的污染地区。所以，尽管 HIV 病毒 / 艾滋病、肺结核这些风险因素对感染人群影响巨大，但是它们所影响到的人数却要小得多。例如，据《全球疾病负担》报告估计，2016 年死于 HIV 病毒 / 艾滋病感染的人预期寿命平均缩短了 51.8 年。但与 55 亿受大气污染损害的人数相比，3,600 万艾滋病患者只是少数人，大气污染的影响巨大得多。

23 Calculations based on GBD 2016. For details, see the Appendix.

图 5 · 每人平均预期寿命减损



事实 9

# 细颗粒物大气污染造成的人均预期寿命损失从 1998 年的 1 年增加到 2016 年的 1.8 年

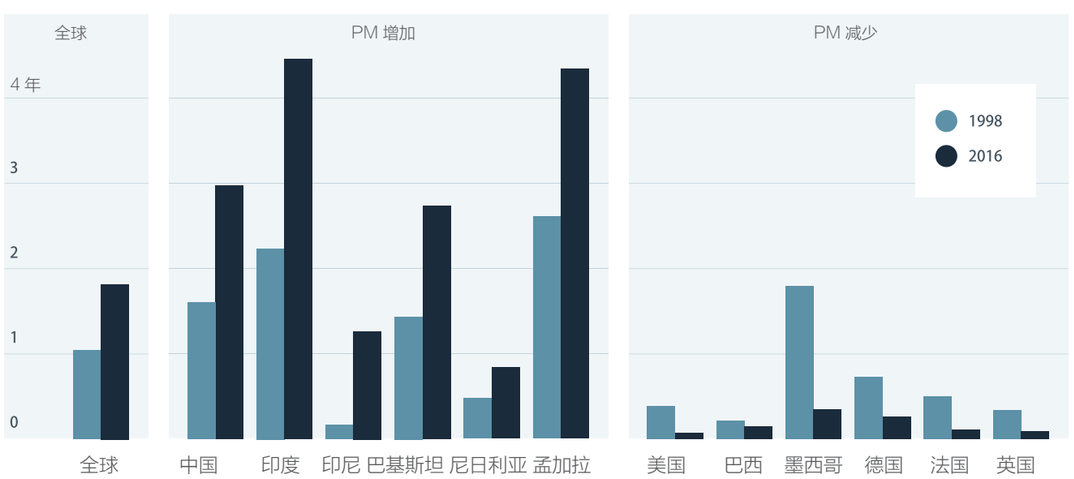
1998 年至 2016 年间，全球细颗粒物污染加剧，导致普通人预期寿命下降了大约 9 个月。如果全球空气质量能符合 WHO 指导标准，1998 年的平均预期寿命可延长 1.0 年。到 2016 年，由于细颗粒物污染平均浓度增加了 7.8 μg/m$^3$，该数据升至 1.8 年。

1998 年至 2016 年间，大部分亚洲和非洲发展中国家的大气细颗粒物污染增幅最大。在这近 20 年期间，工业化、经济发展和人口增长大大增加了这些国家的能源需求。例如，在经济高速增长的中国，从 1995 年到 2015 年，燃煤发电量增加了五倍多；印度的燃煤发电量增长了三倍以上。[24]

能耗增加促进了经济产出和物质消费，无疑提高了人们的福祉，但同时也向大气排放了更多的颗粒物。此外，预计非经合组织地区的能源需求将继续增长。[25] 因此，如果没有协调一致的政策行动，细颗粒物污染的严重程度将呈上升趋势。

相比之下，过去几十年，北美和许多欧洲国家的空气细颗粒物污染却呈下降趋势。虽然这些国家也曾经遭受严重的大气污染，其程度与当今污染最严重的国家不相上下，但这些国家把污染行业转移到海外，更重要的是，严格执行环保政策，对清洁空气起到了巨大作用。如今，美国人和英国人的预期寿命因细颗粒物污染只减少大约一个月。

图 6 · 由细颗粒物污染造成的平均预期寿命损失从 1998 年的 1 年升至 2016 年的 1.8 年




24 美国能源信息署，2018
25 BP 2018 能源展望数据包

事实 10

# 目前的细颗粒物大气污染浓度预计将使 6.35 亿人的预期寿命至少缩短五年

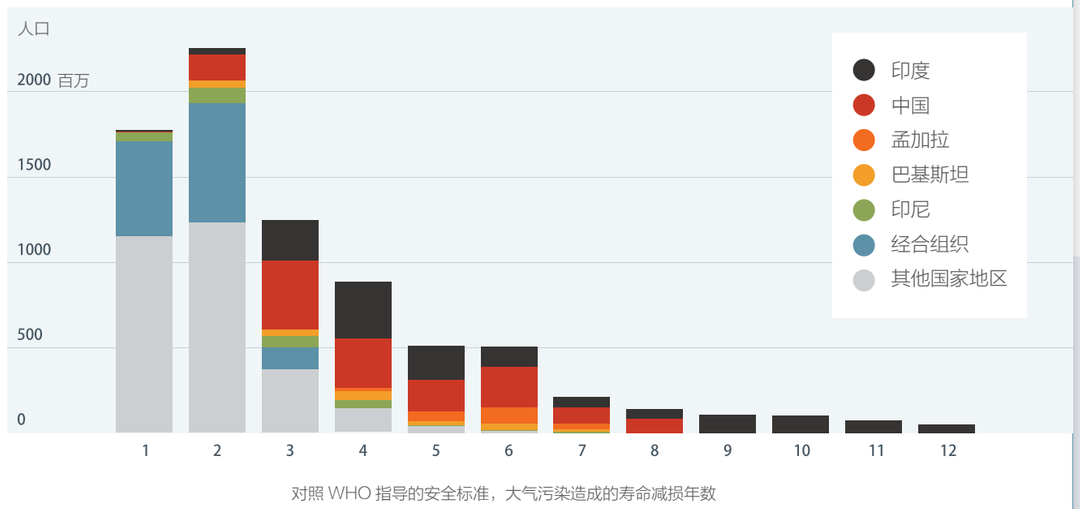
**亚洲发展中及正在工业化的国家受细颗粒物污染的影响最大。2016 年，如果全球能达到 WHO 的 $PM_{2.5}$ 安全标准，则：**

- 居住在印度北部的 2.88 亿人的平均寿命将延长至少 7 年。这些人占目前印度人口的 23%。
- 亚洲 3.47 亿人的平均预期寿命即将延长 5 至 7 年。其中包括 35% 的尼泊尔人、16% 的孟加拉国人、13% 的中国人、10% 的巴基斯坦人、9% 的印度人和 1% 的印度尼西亚人。
- 9.37 亿亚洲人和非洲人的平均寿命将延长 3 至 5 年。包括 76% 的孟加拉国人、46% 的尼泊尔人、29% 的刚果共和国人、29% 的中国人、29% 的巴基斯坦人、24% 的印度人，以及东南亚和非洲的其他人。
- 全球有 41 亿人的平均寿命可延长 1.1 年，增幅最高达 3 年。

事实上，印度和中国的人口占世界总人口的 36%，但是因空气细颗粒物污染而减损的寿命年数却占全球总数的 73%。如果印度能达到 WHO 指导的安全标准，则印度人的平均寿命将延长 4.3 年。印度目前出生人口的预期寿命为 69 岁，这意味着只要全国范围内空气细颗粒物污染能降到 WHO 的标准，印度人的平均预期寿命可提高到 73 岁。而消除肺结核病（印度普遍的致命疾病）只会使人口的预期寿命提高到 70 岁。如果中国能达到 WHO 的指导标准，人们的平均预期寿命可增加 2.9 年，从 76 岁提高到 79 岁。中国人的吸烟率非常高，而细颗粒物污染现在已经是比吸烟更大的健康杀手。

相比而言，经合组织（OECD）国家的收入高，人口占世界总人口的 18%，因细颗粒物污染造成的健康负担份额还不到 3%。在美国，大约三分之一的人口生活在不符合 WHO 标准的地区，如果空气标准能达到 WHO 的要求，在污染最严重的县，人们的预期寿命可望延长一年。

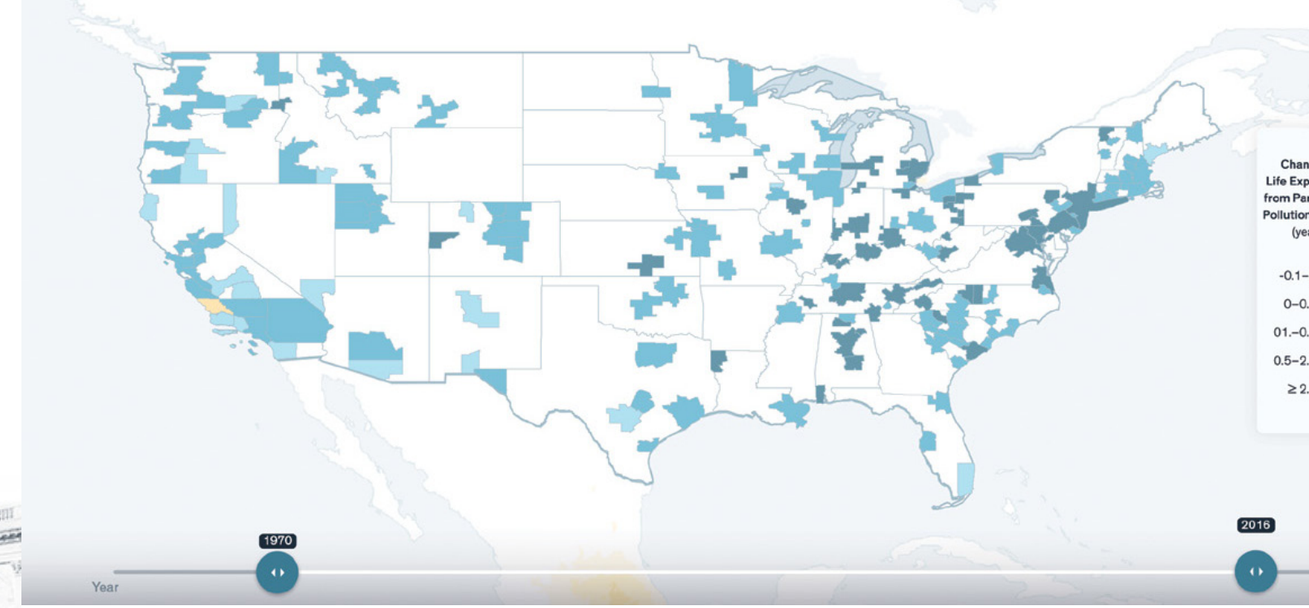
图 7 · 细颗粒物污染造成的预期寿命减损全球分布



第五部分

# 关于污染防治政策的记录

工业化时期的伦敦被称为“雾都”，而日本大阪是类似的“烟都”。随着美国二战后的蓬勃发展，洛杉矶成为了“世界霾都”。现在，这些城市富裕、充满活力，空气也更清洁。它们证明了，即使大气污染曾经很严重，但不代表未来污染会继续下去。这些国家的空气质量并非一朝一夕突然改善的，很大程度上是强力政策推动的结果。




事实 11

## 由于细颗粒物污染降低，美国人的寿命比 1970 年延长了 1.5 年 [26]

如今，细颗粒物污染在美国大部分地区已不是大问题，但早期情况并不是这样。二战之后，美国工业从大萧条中复苏，随着“婴儿潮”一代的出生，人口开始暴增，第一批高速公路建成，现代化家电涌入全国消费者的家庭。

随着家庭和工业能耗增加，道路上的车辆增多，污染开始加剧。到 1970 年，亚拉巴马州莫比尔市（Mobile）的细颗粒物污染浓度相当于近年来的北京。洛杉矶成为了世界霾都，其他大城市也受困于类似的问题。当污染进入许多美国人的日常生活时，呼吁采取行动的政治压力开始增大。

1970 年，《清洁空气法》制定了国家大气质量标准（NAAQS），规定了细颗粒物和其他污染物的最高浓度值。该法还规定了污染源的排放标准，引导工厂采用环保降污技术，号召汽车制造商生产清洁节能型汽车。此外，该法要求每个州政府制定计划，确保达到并持续符合环保标准。

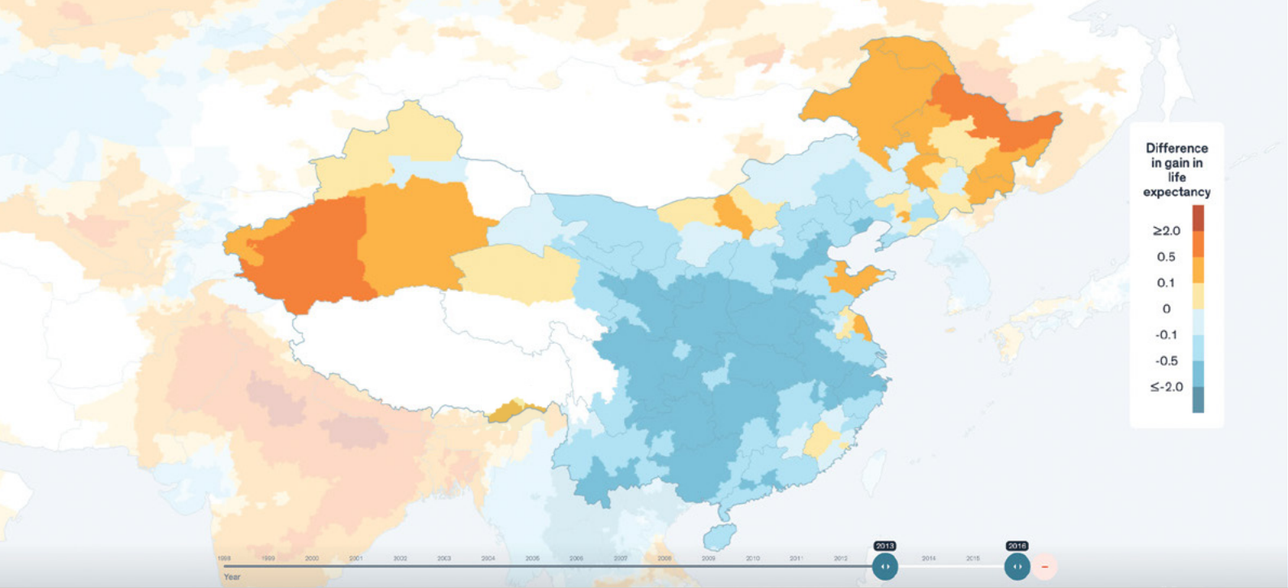
该法很快对美国的大气质量产生了影响。到 1980 年，由于对工业排放的控制，细颗粒物排放降幅达到了 50%。今天美国 $PM_{2.5}$ 污染程度平均下降了 60%。

随着空气污染减少，人们生活得更健康、更长寿。例如，在前世界霾都洛杉矶，细颗粒物空气污染自 1970 年以来下降了近 40%，洛杉矶人的预期寿命增长了一年，纽约居民的预期寿命平均延长了两年多，芝加哥居民也是两年，华盛顿居民则是三年多。目前有 4,900 万人居住在这四大城市里，总体预期寿命快速增长。

在 1970 年之前的几十年里，小城镇产业的环保控制措施很弱，但这些城镇取得的进步最大。1970 年，亚拉巴马州莫比尔市的居民生活在严重污染环境中，如果用今天的 WHO 指导标准来衡量，他们的预期寿命会减少将近四年。今天，莫比尔市的污染下降了 84%，按目前的 WHO 标准，对预期寿命已不再产生威胁。

目前有 2.13 亿人居住在自 1970 年到今天都检测细颗粒物污染的美国各州，仅仅由于大气质量的改善，这些人平均可以多活 1.5 年，延长寿命总计 3.25 亿年。

26 追溯至 1970 年代，这项分析是依据美国环保署的监测数据进行的，不是依据 1998 年以后的卫星数据。这些数据有重叠的地方，也可能与 AQLI 中的 $PM_{2.5}$ 卫星数据略有不同。有关计算过程的详情，请参阅 aqli.epic.uchicago.edu/policy-impacts/united-states-clean-air-act.




事实 12

# 中国正在打赢“蓝天保卫战”[27]

上世纪 90 年代末，人们对大气污染恶化的担忧开始加剧。

从 2008 年起，美国驻北京大使馆在推特和国务院网站上公开发布自己的空气质量监测数据，北京居民很快发现，这些数据与北京市公布的空气质量数据不一致。2013 年，人们的关注度进一步上升，中国的细颗粒物污染浓度最高时，恰逢 Chen et al .(2013) 公布淮河研究报告，该报告发现，由于空气污染严重，中国北方人比南方人的寿命要短大约五年。

第二年，李克强总理提出“向污染宣战”的号召。“大气污染防治行动计划”拨出 2,700 亿美元，北京市政府额外拨出 1,200 亿美元，用于治理大气污染。该计划的目标是，2017 年所有城市的 $PM_{10}$ 要比 2012 年减少 10%。中国污染最严重的地区，包括京津冀、珠三角和长三角地区，都设立了明确的目标。

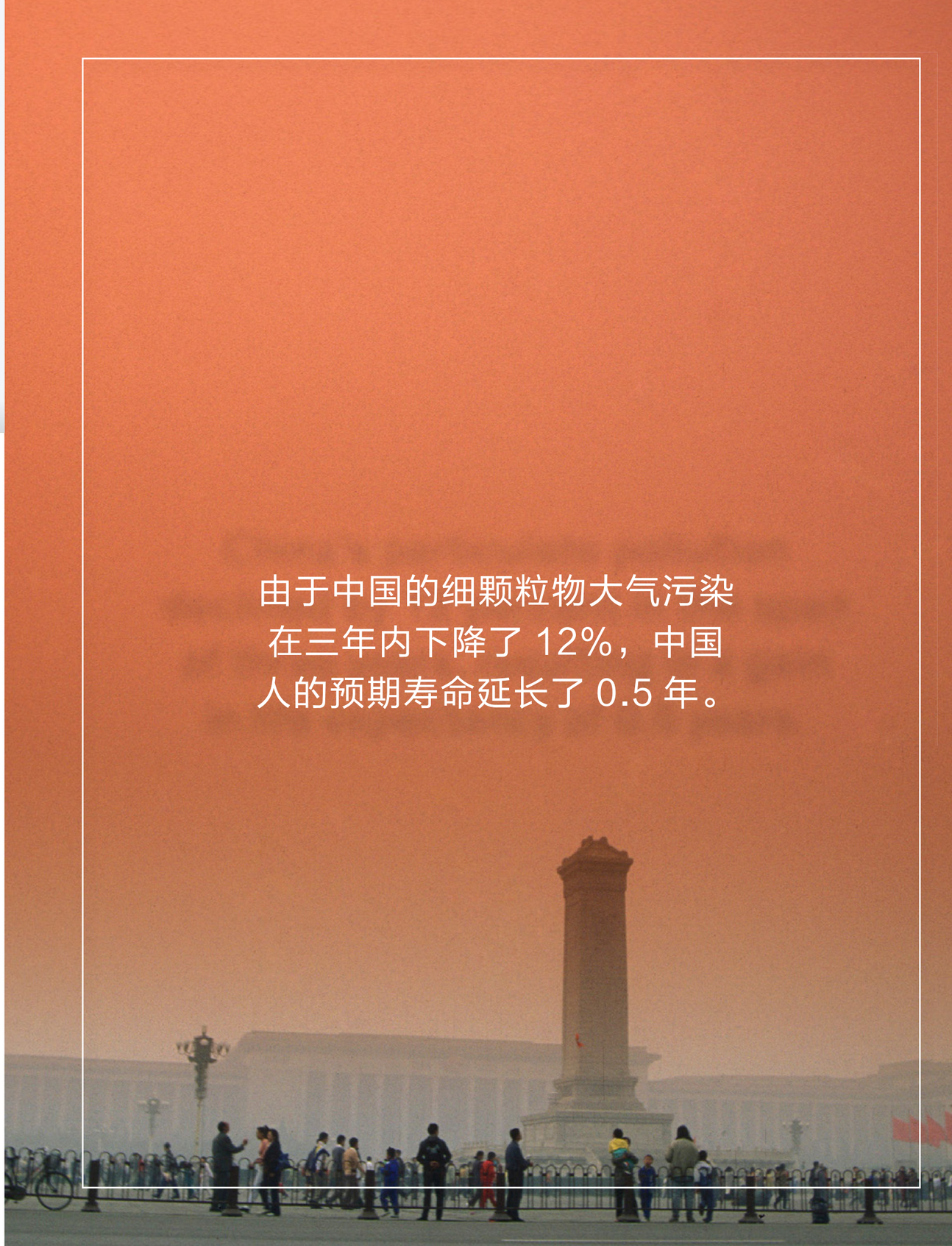
为实现这些目标，政府的策略包括采取一系列激励措施，将减少污染纳入地方官员的政绩考核，官员晋升将取决于环境和经济双重指标；禁止在一些地区新建燃煤电厂，要求现有燃煤电厂减少排放，一些燃煤锅炉改用天然气做燃料；增加可再生能源的利用率；降低钢铁行业落后产能；大城市实行机动车限行；同时提高透明度，加强排放标准的执行力度。

由于这些措施，2013 年至 2016 年间，中国的细颗粒物污染水平平均降低了 12%。如果能够持续下去，相当于人均预期寿命增加了 0.5 年。天津是 2013 年中国污染最严重的三个城市之一，天津的大气细颗粒物污染减少了 14%，如果这种水平能够维持，1,300 万天津市民的预期寿命将延长 1.2 年。河南省的成绩最好，细颗粒物污染浓度比 2013 年下降了 20% ，相当于人均预期寿命增加了 1.3 年。作为比较，2013-2016 年中国的大气污染减少量超过了 1998-2016 年间美国的减少量。

2017 年是大气污染防治行动计划实施的最后一年，当时还无法获取卫星采集的细颗粒物污染数据。然而，环保部和地方政府采取了十分积极的措施，确保京津冀、珠三角和长三角等重点地区实现环保目标。这些积极措施也带来了一些负面后果，例如，在 2017-2018 年冬季，一些家庭和企业由于拆除了燃煤供暖煤炉，但尚未来得及换上新的取暖设备，导致无法取暖。这些措施有可能将大气污染进一步降至比 2016 年更低的水平，但也说明，污染防治需要长期的解决方案，才能将治理效果长期保持下去。

27 本报告里的污染数据和相关预期寿命预测结果来源于 AQLI 自己的卫星监测 数据库。这些数据普遍低于题为“中国正在打赢蓝天保卫战吗？”报告里的数 据，因为报告里的数据是地面污染监测结果。向污染宣战是中国最近才提出的一 项政策倡议，该报告使用的监测数据（1）包含了 2017 年的数据，而这一年中国在污染治理上取得了重大进步；（2）避免卫星数据在短时间内测量污染趋势时 可能存在的误差。两组数据源之间出现差异的另一个原因是，AQLI 的污染数据不包含尘土，而尘土是地面监测仪器监测的主要成分—— 例如在北京约占 8%。





# 附录

## 数据和方法

AQLI 指数估计了空气污染与预期寿命之间的关系，用户也可以查看到，假如他们的居住地区达到世界卫生组织的指导标准、国家标准或其他一些标准，他们的寿命可延长几年。AQLI 指数利用在中国两项研究的结果，结合全球详细的人口和 $PM_{2.5}$ 数据，估算了细颗粒物对全球各地人们预期寿命的影响。

## 数据来源

网格级细颗粒物污染和人口估计

用于构建 AQLI 数据的选择标准是地理完整性和各国数据点之间的方法一致性。AQLI 指数包含了 20 年里每年的 $PM_{2.5}$ 污染浓度估算。

Van Donkelaar 等人 (2016) 提供的卫星数据以 10 公里 x10 公里的高清晰度覆盖了全球每一个区域，也就是说，每一年，每个大小相当于纽约市的 1/8、德里的 1/15 或者北京市区的 1/40 的区域都会产生一个数据点。AQLI 指数涉及的 $PM_{2.5}$ 不包括灰尘和海盐，因此污染主要来自人类活动（如汽车尾气排放、发电厂和工业生产），而不是自然界。这样我们可以集中精力关注细颗粒物污染的构成，它的成分与 Ebenstein et al.(2017) 研究的细颗粒物更相似，主要源自煤炭燃烧差异造成的变化，这也是公共政策最容易着力的地方。

AQLI 指数使用的人口数据来自 2015 年 LandScan 全球人口数据库，该数据库使用空间方法将每个国家的人口普查数据分解为长度为 30 弧秒的网格单元。这些网格单元在赤道周围约 1 平方公里，在其他地方的面积较小。结合详细的人口数据和卫星对 $PM_{2.5}$ 浓度的估计，得到的是一个全球环境 $PM_{2.5}$ 浓度网格数据库，其中包含 $PM_{2.5}$ 相关的人口数。将 $PM_{2.5}$ 浓度和预期寿命结果整合，从网格级别上升到本地、州、全国和全球平均水平，并以人口数量加权。

在汇总任何一年的大气污染和预期寿命增长时，AQLI 只使用 2015 年的人口数据做基数。这样，污染程度的变化和寿命变化可以反映大气中细颗粒物浓度的真实变化，而不会与人口随时间分布的变化相混。因此，假如今天的细颗粒物浓度处于 1998 年的水平，那么要预测今天污染对活着的人预期寿命的影响，就会使用 1998 年时的污染浓度对寿命的影响数据，而不使用当前的浓度。AQLI 指数利用最新的 $PM_{2.5}$ 和人口数据，并每年更新。

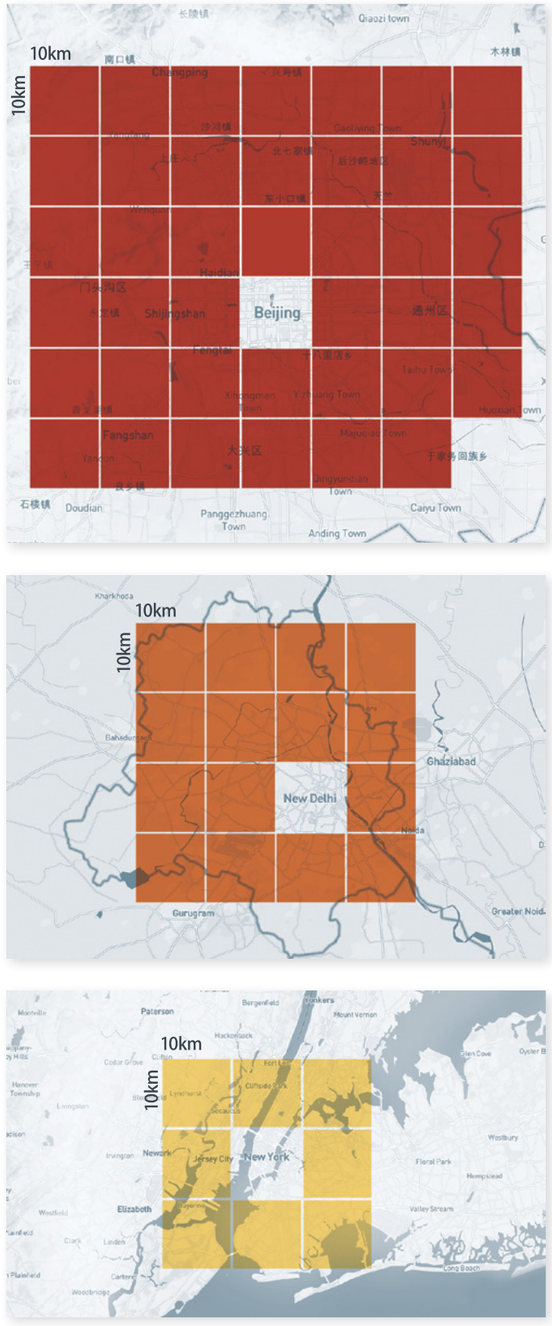



图 8 · AQLI 指数使用高清晰度卫星污染和人口数据，数据覆盖全球每 10 公里 x10 公里大小的网格单元，如纽约、北京和德里地区

## WHO 的 $PM_{2.5}$ 指导标准和国家标准：

AQLI 指数测量为达到 WHO 细颗粒物浓度标准或国家空气质量标准二级浓度限值的要求而降低 $PM_{2.5}$ 浓度时获得的预期寿命延长年数。WHO 的指导标准是每立方米 10 微克 (10 μg / $m^3$)，该标准是 WHO 发现的长期受细颗粒物污染影响的最低指标，越过该指标，则死亡率上升的几率会超过 95%。2886 个国家制定了国家标准，范围从 8-40 μg / $m^3$ 。29 对于无法确认是否制定国家标准的其他国家，我们的地图上会标为未设立国家标准，也未依据国家标准计算预期寿命延长年数。此外，AQLI 允许用户输入自己的污染降幅百分比，查看由此带来的预期寿命增长数据。

## 研究设计

细颗粒物污染对预期寿命的影响

AQLI 指数基于 Michael Greenstone、Avraham Ebenstein、Maoyong Fan、Guojun He 和 Maigeng Zhou30 所做的两项研究。得益于独特的社会环境，我们能够测量出长期空气污染对人的预期寿命的影响。

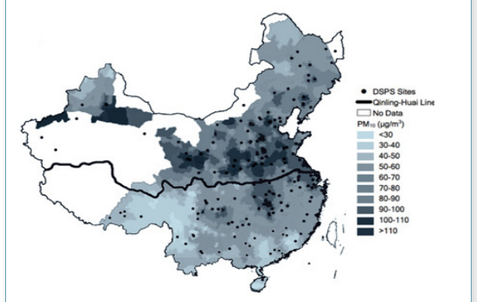
在中国，北方地区的污染程度历来较高，部分原因是政府在计划经济时期（1950-1980）执行的一项政策，为中国淮河以北较冷地区的居民供应暖气。该政策的目的是给冬季取暖需求最迫切的居民供暖，但同时导致了人们对煤炭的高度依赖。这项政策的影响遗留至今，因为北方地区仍在依靠燃煤采暖系统，所以淮河南北地区的室内采暖率至今差别很大。同时，户籍制度限制了人们离开出生地的自由流动。这就意味着遭受空气污染的人们无法迁移到空气更清洁的地区。这两项政策结合起来，形成了一条独特的分界线，研究人员可以在这条分界线上研究长期受高污染的影响，并可将这种影响与其他影响预期寿命的因素隔离开来。

这两项研究中的最新发现指出，空气中的 $PM_{10}$ 每增加 10 ug/$m^3$，人们的预期寿命会减少 0.64 岁。虽然这项研究仅基于中国的情况，但是研究覆盖的区域和年限可以让人了解到更广泛地区的污染水平：沿淮河分界线南北跨度 5 纬度的地区范围内，$PM_{10}$ 污染程度的标准差是 75 - 148 ug / $m^3$（相当于 48 -96 ug / $m^3$ 的 $PM_{2.5}$）。淮海全流域 5 纬度跨度范围内的 $PM_{10}$ 浓度范围是 27-307 ug / $m^3$（相当于 18-200ug /$m^3$ 的 $PM_{2.5}$。因此，预期寿命与构成 AQLI 指数的细颗粒物污染之间的关系是源于 $PM_{2.5}$ 分布，与观测到的全球分布相似，这为 Ebenstein et al.(2017) 归纳污染与预期寿命关系的测量提供了可信的依据。

## 空气达标（国家标准或 WHO 指导标准）后预估的预期寿命增长

使用 Ebenstein et al. (2017) 的研究结果来创建 AQLI 指数我们先要转化成 $PM_{2.5}$，由于可得的数据有限，Ebenstein et al. (2017) 在研究细颗粒物污染对寿命造成的影响时，用的是 $PM_{10}$，比 $PM_{2.5}$ 颗粒要大，但是比直径为 10 微米的颗粒要小。由于全球大气污染指数只测量最有害的细颗粒物 $PM_{2.5}$，我们将研究里所用的单位换算成 $PM_{2.5}$，比例为 1 个 $PM_{10}$ 等于 0.65 个 $PM_{2.5}$，

图 9 · 中国 $PM_{10}$ 浓度和 Ebenstein et al. (2017) 研究中的淮河分界线




28 WHO, 2006
很多国家标准来于 Kutlar et al. (2017)
Ebenstein et al., 2017

## 这和研究时期的中国状况很接近。[31] 用公式表示：

$$\frac{0.64years}{10\,\mu g/m^3PM_{10}}\cdot\frac{1\,\mu g/m^3PM_{10}}{0.65\,\mu g/m^3PM_{2.5}}=\frac{0.98years}{10\,\mu g/m^3PM_{2.5}}$$

换句话说，长期受 10 μ g/m$^3$ 的 $PM_{2.5}$ 影响时，预期寿命会减少 0.98 年。

根据流行病学文献，[32] AQLI 指数假设长期遭受 $PM_{2.5}$ 污染和一生在 $PM_{2.5}$ 污染环境生活的预期寿命之间存在线性关系。虽然在超过一定的 $PM_{2.5}$ 浓度范围后，大气污染与预期寿命的关系可能是非线性关系，并且 / 或者低于某个阈值 $PM_{2.5}$ 时是无效的，我们还没有发现有可信的经验证据能推翻线性假设。因此，在每个网格单元中估计潜在预期寿命延长时 ,AQLI 指出在长期受空气污染的情况下，高于以上参考标准（WHO 指导标准或国家标准，或一个用户自选降幅标准），$PM_{2.5}$ 污染每增加 10 μ g/m$^3$，预期寿命会减少 0.98 年。

对于污染浓度和预期寿命数据，AQLI 指数将网格单元估计值汇集为全国和地区行政区划数据，按人口加权计算。比如，在 2016 年，北京的年平均 $PM_{2.5}$ 水平是 68.5 μ g/m$^3$，而广州是 34.3 μ g/m$^3$。在计算全国 2016 年的 $PM_{2.5}$ 平均水平时，北京的 $PM_{2.5}$ 水平比起广州要加权 50% 以上，因为北京的人口是广州的大约 1.5 倍。因此，中国全国平均 $PM_{2.5}$ 水平是 39.6 μ g/m$^3$，即 2016 年每个人受 $PM_{2.5}$ 影响的水平是 39.6 μ g/m$^3$。这些汇总值见地图工具。

## 关于 AQLI 污染数据

用户可能会发现，AQLI 的污染数据不同于 WHO 和全球疾病负担 (GBD) 使用的其他数据库。一个不同之处是在于原始数据。AQLI 使用 1998-2016 年的年度数据，而不是三年滚动平均值。与 WHO 的数据相比，现有年度数据使用一种较为简单的方法来调整卫星数据和地面测量数据。这导致 AQLI 数据显示的污染水平比 WHO 的标准要低。

而且，AQLI 指数中不包含灰尘或者海盐，而 WHO 和 GBD 是把二者都计算了进去。这样不同的测量方法给结果带来了更多差异。例如，不算灰尘和海盐可以使德里的 $PM_{2.5}$ 减少 15% 左右，北京的 $PM_{2.5}$ 减少 8% 左右。在北非和中东、撒哈拉以南非洲和中国西北地区，灰尘和海盐是 $PM_{2.5}$ 总浓度的重要组成部分，这导致差异更大。

由于 AQLI 指数使用的 $PM_{2.5}$ 卫星数据始于 1998 年，因此，“政策影响”章节采用地面监测的污染数据来评估 1998 年以前制定的政策，以及与目前污染水平巨变相关的政策。如果用户阅读政策影响章节，或者将 AQLI 数据与当地空气质量监测站的年平均值进行比较，他们可能会注意到当地监测数据与卫星数据之间的差异。除了由于 AQLI 排除灰尘和海盐而造成的差异之外，卫星本身的局限性也可能造成差异。例如，卫星只能在相对无云的日子里测量空气污染；而在许多地区，污染最严重的冬天很少有无云的天气。在这种情况下，地面监测的结果可能更准确。但是，许多国家没有监测站，而且世界各地的测量技术和方法并不一致，这使得监测结果很难进行比较。卫星采集的数据覆盖全球，并且使用统一的测量方法，因此，AQLI 指数主要使用卫星采集的测量数据。

## 在事实 8 中与其他致死原因和风险相比较

AQLI 指数的结果显示，如果 2016 年世界各地的空气细颗粒物污染水平持续下去，与 WHO 的指导标准相比，则今天每个人的平均寿命会减少 1.8 年。在事实 8 中，我们将这一研究结果与其他影响寿命导致早死的原因和风险进行了比较。我们使用寿命表来进行研究，采用的流行病学研究方法与淮河研究中用来计算细颗粒物污染与预期寿命关系的方法相同。

对这种方法的总结如下：从 WHO 我们获得了 2016 年死亡率数据的寿命表，包括按 0-1 岁、1-4 岁、5-9 岁、…、80-84 岁和 85 岁以上等年龄区间和分性别的死亡概率和预期寿命。我们称之为“基线”数据。依据对死亡原因和风险（如吸烟、疟疾）分析的 2016 年《全球疾病负担》（GBD），我们得到了 2016 年该原因或风险导致的死亡率， 分别按性别和年龄列出，如：0-1 岁、1-4 岁、5-9 岁、…、75-79 岁以及 80 岁以上等。对于这两个数据集，为了保持一致性，我们将最高年龄段都统一归到 80 岁以上的年龄段。

31 0.65 的比率是基于对中国历史 $PM_{2.5}$-$PM_{10}$ 比率研究的细致评估，这些研究与 Ebenstein(2017) 研究的时间框架相似。这两项具有全国代表性的研究特别值得关注。Wang et al.(2015) 测量了 2006-2014 年全国 24 个监测站的 $PM_{2.5}$-$PM_{10}$ 比率，并按监测站 / 城市报告了总平均值。使用这些平均值进行粗略的人口加权计算，得出的 $PM_{2.5}$-$PM_{10}$ 比率为 0.73。需注意的是，本研究的城市列表中并没有包括一些主要大城市（如北京），但包括了许多周边地区。Zhou et al.(2015) 根据全部已发表文献 (128 篇) 编纂了一个综合性全国数据库，包括了对 1988-2010 年 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 浓度的研究，该研究基于 57 个城市和地区的 589 对数据，得出 $PM_{2.5}$ 和 $PM_{10}$ 的比值为 0.65。最后，我们还考虑了世界卫生组织在中国环境污染数据库中使用的 $PM_{2.5}$/$PM_{10}$ 质量比 0.66。鉴于 Zhou et al.(2015) 的全局性及其结果与 WHO 值 (0.65 vs . 0.66) 的接近程度，我们使用 0.65 作为 AQLI 的基线 $PM_{2.5}$-$PM_{10}$ 比率。

32 参见《全球疾病负担》(2016)。

33 WHO,2018



然后，使用基线寿命表，按照由 Greenwood (1922) 和 Chiang (1984) 首次提出的程序，基于对每个年龄段的死亡风险在未来保持不变的假设，我们推算了 2016 年出生的男性和女性的平均预期寿命。用 2016 年出生人口性别比率，[34] 我们采用加权平均值，将按照性别划分的预期寿命汇总为单个平均基线预期寿命。 根据 2016 年的实际疾病风险负担，这一数字可说明所有死亡原因和风险对预期寿命的影响。

为了计算 2016 年出生人口在没有特定风险（如吸烟或疟疾）情况下的预期寿命，我们从寿命表基线死亡率中减去该风险导致的死亡率，然后，按照上述相同的程序，我们获得反事实的出生时的平均预期寿命。基线预期寿命和这种反事实的预期寿命之间的差额，正是这种风险对预期寿命的影响，我们将它与 AQLI 显示因大气污染而缩短 1.8 年寿命的结果进行比较。

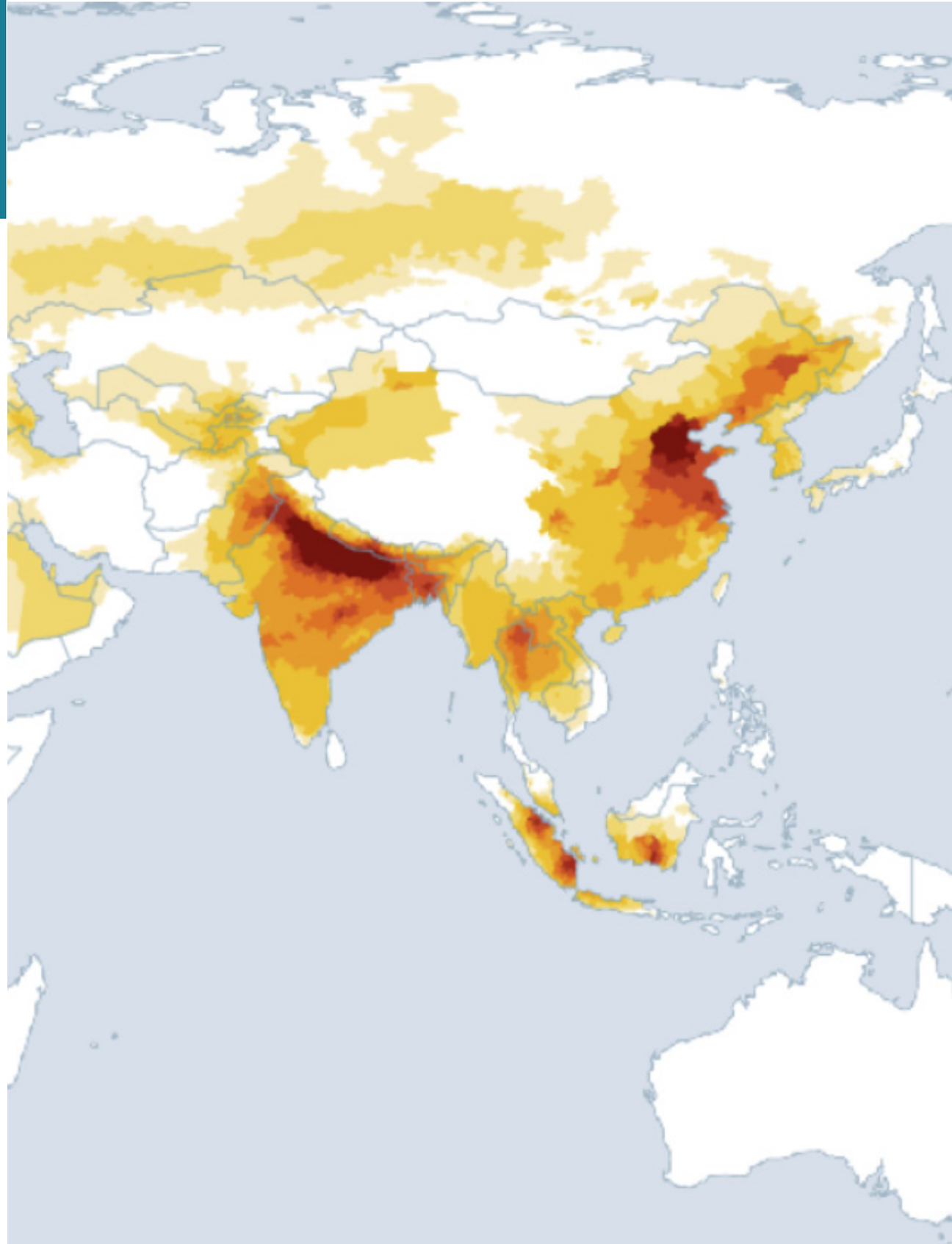
关于计算所用的数据和代码，请参见 aqli.epic.uchicago.edu/about/methodology

34 联合国人口划分 , 2017

| 国家 | $PM_{2.5}$ (μg/m³) 浓度 | 国家标准 | 达到国标可延长的预期寿命 | 达到 WHO 标准可延长的预期寿命 | 国家 | $PM_{2.5}$ (μg/m³) 浓度 | 国家标准 | 达到国标可延长的预期寿命 | 达到 WHO 标准可延长的预期寿命 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 阿富汗 | 14 | 10 | 0.5 | 0.5 | 中国 | 39 | 35 | 1 | 2.9 |
| 亚克罗提利与德凯利亚 | 9 | n/a | 0 | 0 | 哥伦比亚 | 8 | 25 | 0 | 0.1 |
| 奥兰 | 6 | n/a | 0 | 0 | 科摩罗 | 2 | n/a | 0 | 0 |
| 阿尔巴尼亚 | 10 | 15 | 0 | 0.1 | 哥斯达黎加 | 3 | n/a | 0 | 0 |
| 阿尔及利亚 | 8 | n/a | 0 | 0 | 科特迪瓦 | 11 | n/a | 0 | 0.2 |
| 美属萨摩亚 | 0 | n/a | 0 | 0 | 克罗地亚 | 14 | 25 | 0 | 0.4 |
| 安道尔 | 4 | 25 | 0 | 0 | 古巴 | 3 | n/a | 0 | 0 |
| 安哥拉 | 18 | n/a | 0.1 | 0.8 | 塞浦路斯 | 8 | 25 | 0 | 0 |
| 安提瓜和巴布达 | 0 | n/a | 0 | 0 | 捷克共和国 | 17 | 25 | 0 | 0.7 |
| 阿根廷 | 10 | 15 | 0.1 | 0.2 | 刚果民主共和国 | 28 | n/a | 0.8 | 1.8 |
| 亚美尼亚 | 18 | n/a | 0 | 0.8 | 丹麦 | 10 | 25 | 0 | 0 |
| 澳大利亚 | 3 | 8 | 0 | 0 | 吉布提 | 8 | n/a | 0 | 0 |
| 奥地利 | 13 | 25 | 0 | 0.4 | 多米尼克 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 阿塞拜疆 | 18 | n/a | 0 | 0.8 | 多米尼加共和国 | 3 | 15 | 0 | 0 |
| 巴哈马 | 1 | n/a | 0 | 0 | 厄瓜多尔 | 9 | 15 | 0 | 0 |
| 巴林 | 19 | n/a | 0 | 0.9 | 埃及 | 10 | n/a | 0 | 0.1 |
| 孟加拉 | 53 | 15 | 3.8 | 4.2 | 萨尔瓦多 | 8 | 15 | 0 | 0 |
| 巴巴多斯 | 1 | n/a | 0 | 0 | 赤道几内亚 | 17 | n/a | 0 | 0.7 |
| 白俄罗斯 | 16 | 15 | 0.1 | 0.5 | 厄立特里亚 | 7 | n/a | 0 | 0 |
| 比利时 | 14 | 25 | 0 | 0.4 | 爱沙尼亚 | 8 | 25 | 0 | 0 |
| 伯利兹 | 2 | n/a | 0 | 0 | 埃塞俄比亚 | 16 | n/a | 0 | 0.7 |
| 贝宁 | 13 | n/a | 0 | 0.4 | 法罗群岛 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 百慕大 | 1 | 30 | 0 | 0 | 斐济 | 0 | n/a | 0 | 0 |
| 不丹 | 23 | n/a | 0.5 | 1.3 | 芬兰 | 7 | 25 | 0 | 0 |
| 玻利维亚 | 10 | 10 | 0.2 | 0.2 | 法国 | 10 | 25 | 0 | 0.1 |
| 博内尔，圣尤斯塔提乌 斯和萨巴 | 1 | n/a | 0 | 0 | 法属圭亚那 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 波斯尼亚和黑塞哥维那 | 12 | 25 | 0 | 0.3 | 法属波利尼西亚 | 0 | n/a | 0 | 0 |
| 博茨瓦纳 | 16 | n/a | 0 | 0.6 | 法国南部地区 | 3 | n/a | 0 | 0 |
| 巴西 | 8 | n/a | 0 | 0.2 | 加蓬 | 21 | n/a | 0.1 | 1 |
| 英属维京群岛 | 1 | n/a | 0 | 0 | 赞比亚 | 3 | n/a | 0 | 0 |
| 文莱 | 8 | n/a | 0 | 0 | 格鲁吉亚 | 13 | n/a | 0 | 0.3 |

| 国家 | $PM_{2.5}$ (μg/m³) 浓度 | 国家标准 | 达到国标可延长的预期寿命 | 达到 WHO 标准可延长的预期寿命 | 国家 | $PM_{2.5}$ (μg/m³) 浓度 | 国家标准 | 达到国标可延长的预期寿命 | 达到 WHO 标准可延长的预期寿命 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 布基纳法索 | 5 | n/a | 0 | 0 | 加纳 | 15 | n/a | 0 | 0.5 |
| 布隆迪 | 21 | n/a | 0.1 | 1.1 | 希腊 | 10 | 25 | 0 | 0.1 |
| 柬埔寨 | 17 | n/a | 0 | 0.7 | 格陵兰 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 喀麦隆 | 15 | 10 | 0.7 | 0.7 | 格林纳达 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 加拿大 | 6 | 10 | 0 | 0 | 瓜德罗普 | 1 | 25 | 0 | 0 |
| 佛得角 | 1 | n/a | 0 | 0 | 关岛 | 0 | 12 | 0 | 0 |
| 开曼群岛 | 2 | n/a | 0 | 0 | 危地马拉 | 8 | 10 | 0 | 0 |
| 中非共和国 | 17 | n/a | 0 | 0.7 | 根西岛 | 10 | n/a | 0 | 0 |
| 乍得 | 6 | n/a | 0 | 0 | 几内亚 | 6 | n/a | 0 | 0 |
| 智利 | 18 | 20 | 0.3 | 0.9 | 几内亚比绍 | 4 | n/a | 0 | 0 |
| 圣文森特和格林纳定斯 | 1 | n/a | 0 | 0 | 泰国 | 31 | 25 | 0.8 | 2.1 |
| 萨摩亚 | 0 | n/a | 0 | 0 | 东帝汶 | 4 | n/a | 0 | 0 |
| 圣马力诺 | 13 | n/a | 0 | 0.3 | 多哥 | 14 | n/a | 0 | 0.5 |
| 圣多美和普林西比 | 11 | n/a | 0 | 0.1 | 托克劳群岛 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 沙特阿拉伯 | 12 | 15 | 0.1 | 0.2 | 汤加 | 0 | n/a | 0 | 0 |
| 塞内加尔 | 3 | n/a | 0 | 0 | 特立尼达和多巴哥 | 1 | 15 | 0 | 0 |
| 塞尔维亚 | 15 | 25 | 0 | 0.5 | 突尼斯 | 5 | n/a | 0 | 0 |
| 塞舌尔 | 1 | n/a | 0 | 0 | 土耳其 | 12 | n/a | 0 | 0.2 |
| 塞拉利昂 | 7 | n/a | 0 | 0 | 土库曼斯坦 | 12 | n/a | 0 | 0.2 |
| 新加坡 | 25 | 12 | 1.3 | 1.5 | 特克斯和凯科斯群岛 | 1 | 25 | 0 | 0 |
| 斯洛伐克 | 20 | 25 | 0 | 1 | 图瓦卢 | 0 | n/a | 0 | 0 |
| 斯洛文尼亚 | 13 | n/a | 0 | 0.3 | 乌干达 | 20 | n/a | 0.2 | 1 |
| 所罗门群岛 | 1 | n/a | 0 | 0 | 乌克兰 | 17 | n/a | 0 | 0.7 |
| 所罗门 | 4 | n/a | 0 | 0 | 阿拉伯联合酋长国 | 18 | n/a | 0 | 0.8 |
| 南非 | 20 | 20 | 0.6 | 1.1 | 英国 | 10 | 25 | 0 | 0.1 |
| 韩国 | 24 | 25 | 0.1 | 1.4 | 美国 | 9 | 12 | 0 | 0.1 |
| 南苏丹 | 11 | n/a | 0 | 0.2 | 美国本土外小岛 | 0 | n/a | 0 | 0 |
| 西班牙 | 7 | 25 | 0 | 0 | 乌拉圭 | 6 | n/a | 0 | 0 |
| 斯里兰卡 | 1 | 25 | 0 | 0 | 乌兹别克斯坦 | 24 | n/a | 0.4 | 1.3 |
| 苏丹 | 6 | n/a | 0 | 0 | 瓦努阿图 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 苏里南 | 1 | n/a | 0 | 0 | 委内瑞拉 | 3 | n/a | 0 | 0 |
| 斯威士兰 | 14 | n/a | 0 | 0.4 | 越南 | 20 | 25 | 0.3 | 1 |
| 瑞典 | 7 | 25 | 0 | 0 | 美国维尔京群岛 | 1 | 12 | 0 | 0 |
| 瑞士 | 10 | n/a | 0 | 0 | 瓦利斯群岛和富图纳群岛 | 0 | n/a | 0 | 0 |
| 叙利亚 | 11 | n/a | 0 | 0.2 | 西撒哈拉 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 中国台湾 | 14 | 15 | 0.2 | 0.5 | 也门 | 7 | n/a | 0 | 0 |
| 塔吉克斯坦 | 29 | n/a | 0.8 | 1.9 | 赞比亚 | 16 | n/a | 0 | 0.6 |
| 坦桑尼亚 | 11 | n/a | 0 | 0.2 | 津巴布韦 | 12 | n/a | 0 | 0.2 |

| 国家 | $PM_{2.5}$（μg/m³）浓度 | 国家标准 | 达到国标可延长的预期寿命 | 达到 WHO 标准可延长的预期寿命 | 国家 | $PM_{2.5}$（μg/m³）浓度 | 国家标准 | 达到国标可延长的预期寿命 | 达到 WHO 标准可延长的预期寿命 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 圭亚那 | 1 | n/a | 0 | 0 | 摩尔多瓦 | 17 | n/a | 0 | 0.7 |
| 海地 | 4 | n/a | 0 | 0 | 蒙古 | 11 | 25 | 0 | 0.3 |
| 洪都拉斯 | 5 | n/a | 0 | 0 | 黑山 | 10 | 20 | 0 | 0.1 |
| 匈牙利 | 19 | 25 | 0 | 0.9 | 蒙特塞拉 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 冰岛 | 2 | n/a | 0 | 0 | 摩洛哥 | 9 | n/a | 0 | 0.1 |
| 印度 | 54 | 40 | 1.8 | 4.3 | 莫桑比克 | 8 | n/a | 0 | 0 |
| 印度尼西亚 | 22 | n/a | 0.5 | 1.2 | 缅甸 | 23 | n/a | 0.2 | 1.2 |
| 伊朗 | 11 | 10 | 0.2 | 0.2 | 纳米比亚 | 10 | n/a | 0 | 0.2 |
| 伊拉克 | 9 | n/a | 0 | 0.1 | 瑙鲁 | 0 | n/a | 0 | 0 |
| 爱尔兰 | 4 | 25 | 0 | 0 | 尼泊尔 | 55 | n/a | 3.3 | 4.4 |
| 英属开曼群岛 | 7 | n/a | 0 | 0 | 荷兰 | 13 | 25 | 0 | 0.3 |
| 以色列 | 9 | 25 | 0 | 0 | 新喀里多尼亚 | 0 | 25 | 0 | 0 |
| 意大利 | 14 | 25 | 0 | 0.5 | 新西兰 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 牙买加 | 2 | 15 | 0 | 0 | 尼加拉瓜 | 3 | n/a | 0 | 0 |
| 日本 | 12 | 15 | 0 | 0.2 | 尼日尔 | 5 | n/a | 0 | 0 |
| 泽西岛 | 9 | n/a | 0 | 0 | 尼日利亚 | 18 | n/a | 0.3 | 0.8 |
| 约旦 | 7 | 15 | 0 | 0 | 朝鲜 | 22 | n/a | 0.2 | 1.1 |
| 哈萨克斯坦 | 13 | n/a | 0 | 0.4 | 北塞浦路斯 | 9 | n/a | 0 | 0 |
| 肯尼亚 | 10 | 35 | 0 | 0.2 | 北马里亚纳群岛 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 科索沃 | 12 | n/a | 0 | 0.2 | 挪威 | 4 | 15 | 0 | 0 |
| 科威特 | 14 | 15 | 0 | 0.4 | 阿曼 | 10 | n/a | 0 | 0.1 |
| 吉尔吉斯斯坦 | 14 | n/a | 0 | 0.4 | 巴基斯坦 | 37 | 15 | 2.2 | 2.7 |
| 老挝 | 30 | n/a | 1 | 2 | 帕劳 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 拉脱维亚 | 11 | 25 | 0 | 0.1 | 巴勒斯坦 | 9 | n/a | 0 | 0 |
| 黎巴嫩 | 8 | n/a | 0 | 0 | 巴拿马 | 2 | n/a | 0 | 0 |
| 莱索托 | 14 | n/a | 0 | 0.4 | 巴布亚新几内亚 | 2 | n/a | 0 | 0 |
| 利比里亚 | 8 | n/a | 0 | 0 | 巴拉圭 | 10 | 15 | 0 | 0.1 |
| 利比亚 | 5 | n/a | 0 | 0 | 秘鲁 | 17 | 15 | 0.7 | 0.9 |
| 列支敦士登 | 7 | n/a | 0 | 0 | 菲律宾 | 7 | 25 | 0 | 0.1 |
| 立陶宛 | 14 | 25 | 0 | 0.4 | 波兰 | 21 | 25 | 0 | 1 |
| 卢森堡 | 10 | 25 | 0 | 0 | 葡萄牙 | 5 | 25 | 0 | 0 |
| 马其顿 | 12 | n/a | 0 | 0.2 | 波多黎各 | 1 | 15 | 0 | 0 |
| 马达加斯加 | 4 | n/a | 0 | 0 | 卡塔尔 | 19 | n/a | 0 | 0.9 |
| 马达加斯加 | 11 | 8 | 0.3 | 0.1 | 刚果共和国 | 34 | n/a | 1.2 | 2.3 |
| 马来西亚 | 17 | 35 | 0 | 0.8 | 留尼汪 | 0 | n/a | 0 | 0 |
| 马里 | 3 | n/a | 0 | 0 | 罗马尼亚 | 16 | 25 | 0 | 0.6 |
| 马提尼克 | 1 | 25 | 0 | 0 | 俄罗斯 | 15 | 25 | 0 | 0.5 |
| 毛里塔尼亚 | 2 | n/a | 0 | 0 | 卢旺达 | 24 | n/a | 0.3 | 1.4 |
| 毛里求斯 | 0 | n/a | 0 | 0 | 圣赫勒拿 | 1 | n/a | 0 | 0 |
| 马约特岛 | 2 | 25 | 0 | 0 | 圣基茨和尼维斯 | 1 | n/a | 0 | 0 |



# 参考文献


Bell, M.L. and Davis, D.L. (2001). Reassessment of the lethal London Fog of 1952: Novel indicators of acute and chronic consequences of acute exposure to air pollution. Environmental Health Perspectives, 109: 389-394.

Biondo, S.J. and Marten, J.C. (1977). A history of flue gas desulfurization systems since 1850. Journal of the Air Pollution Control Association, 27(10), 948-961.

BP Energy Outlook. (2018). Data pack [Data file]. Retrieved from https://www.bp.com/ en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html

BP Statistical Review of World Energy. (2012). Available from https://www.bp.com/ statisticalreview

Bright, E.A., Rose, A.N., and Urban, M.L. (2016). LandScan 2015 [Data file]. Oak Ridge National Laboratory. Retrieved from https://landscan.ornl.gov/

Chay, K.Y. & Dobkin, C. (2003). The Clean Air Act of 1970 and adult mortality. Journal of Risk and Uncertainty, 27(3): 279-300

Chay, K. Y., & Greenstone, M. (2003). Air quality, infant mortality, and the Clean Air Act of 1970. National Bureau of Economic Research, Working Paper 10053.

Chay, K. Y., & Greenstone, M. (2003). The impact of air pollution on infant mortality: evidence from geographic variation in pollution shocks induced by a recession. The quarterly journal of economics, 118(3), 1121-1167.

Chen, Y., Ebenstein, A., Greenstone, M., & Li, H. (2013). 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.

Chiang, C.L. (1984). The life table and its applications. Malabar, Florida: R.E. Krieger Publishing.

Davis, D. (2002). When Smoke Ran Like Water. New York: Basic Books.

Dockery, D. W., Pope, C. A., Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E., ... & Speizer, F.
E. (1993). An association between air pollution and mortality in six US cities. New England journal of medicine, 329(24), 1753-1759.

Dominici, F., Greenstone, M., & Sunstein, C. R. (2014). Particulate matter matters. Science, 344(6181), 257-259.

Ebenstein, A., Fan, M., Greenstone, M., He, G., & 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.

Energy Policy Institute at the University of Chicago. (2018). Levelized Cost of Electricity, India. Mimeo.

Gibbens, S. (2018). Air pollution robs us of our smarts and our lungs. National Geographic. Retrieved from https://www.nationalgeographic.com/environment/2018/09/news-air- quality-brain-cognitive-function/?user.testname=none

Global Burden of Disease. (2016). Retrieved from http://ghdx.healthdata.org/gbd-2016

Greenstone, M. (2015, Sept 23). Overview on methodology for clean air study. The New York Times. Retrieved from https://www.nytimes.com/2015/09/25/upshot/notes-on- methodology.html?module=inline

Greenwood, M. (1922). Discussion on the Value of Life-Tables in Statistical Research. Journal of the Royal Statistical Society, 85(4), 537-560.

Guttikunda, S.K and Jawahar, P. (2014). Atmospheric emissions and pollution from the coal-fired thermal power plants in India. Atmospheric Environment, 92, 449-460.

Iadecola, C. (2013). The pathobiology of vascular dementia. Neuron, 80(4), 844-66.

International Energy Agency. (2018). Electricity generation by fuel, India 1990-2016 [Data file]. Retrieved from https://www.iea.org/statistics

Karagulian, F., Belis, C.A., Dora, C.F., Prüss-Ustün, A.M., Bonjour, S., Adair-Rohani, H., Amann, M. (2015). Contributions to cities' ambient particulate matter (PM): A systematic review of local source contributions at global level. Atmospheric Environment, 120(2015), 475-483.

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., ..., Anderson,
H.R. (1997). Short term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project.
BMJ, 314(7095), 1658.

Kutlar, J.M, Eeftens, M., Gintowt, E., Kappeler, R., Kunzli, N. (2017). Time to Harmonize National Ambient Air Quality Standards. International Journal of Public Health 62(4), 453-462.

Ling, S. H., and van Eeden, S. F. (2009). Particulate matter air pollution exposure: role in the development and exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease. International journal of chronic obstructive pulmonary disease, 4, 233-43.

National Research Council. (2010). Global Sources of Local Pollution: An Assessment of Long-Range Transport of Key Air Pollutants to and from the United States. Washington, DC: The National Academies Press.

Philip, S., Martin, R.V., van Donkelaar, A., Lo, J.W., Wang, Y., Chen, D., ..., Macdonald, D.J. (2014). Global chemical composition of ambient fine particulate matter for exposure assessment. Environmental Science & Technology, 48(22), 13060-13068.

Pope III, C. A., Ezzati, M., & Dockery, D. W. (2009). Fine-particulate air pollution and life expectancy in the United States. New England Journal of Medicine, 360(4), 376-386.

U.N. Population Division. (2017). Sex Ratio at Birth (SRB) [Data file]. Retrieved from https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Fertility/

U.S. Department of Energy. Ultra-low sulfur diesel. Retrieved from https://www. fueleconomy.gov/feg/lowsulfurdiesel.shtml

U.S. Energy Information Administration. (2017a). Average Costs of Existing Flue Gas Desulfurization Units. Retrieved from https://www.eia.gov/electricity/annual/html/ epa_09_04.html

U.S. Energy Information Administration. (2017b). Quantity and net summer capacity of operable environmental equipment, 2007-2017. Retrieved from https://www.eia. gov/electricity/annual/html/epa_09_02.html

U.S. Energy Information Administration. (2017c). Existing Capacity by Energy Source, 2017 (Megawatts). Retrieved from https://www.eia.gov/electricity/annual/html/ epa_04_03.html

U.S. Energy Information Administration. (2018). Weekly retail gasoline and diesel prices [Data file]. Retrieved from https://www.eia.gov/dnav/pet/pet_pri_gnd_dcus_nus_w.htm

U.S. Environmental Protection Agency. Diesel fuel standards and rulemakings. Retrieved from https://www.epa.gov/diesel-fuel-standards/diesel-fuel-standards- and-rulemakings

Van Donkelaar, A., Martin, R. V., Brauer, M., Hsu, N. C., Kahn, R. A., Levy, R. C., ... & Winker, D. M. (2016). Global estimates of fine particulate matter using a combined geophysical-statistical method with information from satellites, models, and monitors. Environmental science & technology, 50(7), 3762-3772.

Wang Y.Q., Zhang, X.Y., Sun, J.Y., Zhang, X.C., Che, H.Z., and Li, Y. (2015) Spatial and temporal variations of the concentration of $PM_{10}$, $PM_{2.5}$ and $PM_1$ in China. Atmospheric Chemistry and Physics, 15:13585-13598.

Wilson, W.E. and Suh, H. H. (1997). Fine particles and coarse particles: Concentration relationships relevant to epidemiological studies. Journal of the Air & Waste Management Association, 47(12), 1238-1249.

World Health Organization. (2006) WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Available at: http://apps.who.int/iris/ bitstream/handle/10665/69477/WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

World Health Organization. (2016). WHO Global Urban Ambient Air Pollution Database (update 2016). Available online at: http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/ databases/cities/en/

World Health Organization. (2018). Life tables by WHO region: Global [Data file]. Available at http://apps.who.int/gho/data/view.main.LIFEREGIONGLOBAL?lang=en

## 迈克尔 · 格林斯通（Michael Greenstone）

迈克尔 · 格林斯通是芝加哥大学米尔顿 · 弗里德曼讲席经济学教授，任教于芝加哥大学本科生学院和哈里斯学院，是贝克尔 · 弗里德曼研究所 (Becker Friedman Institute) 和跨学科能源政策研究所所长。格林斯通的研究影响了全球的政策，主要致力于揭示环境质量和社会的能源选择所带来的益处和成本。作为奥巴马总统经济顾问委员会的首席经济学家，他作为领导者参与了美国政府碳排放社会成本的开发。20 多年来，他一直在研究细颗粒物污染对人类健康的影响，包括对人类长期受细颗粒物污染的影响与预期寿命之间的因果关系进行合理量化研究。这些研究是编制空气质量寿命指数的依据。

## 范晴 (Claire)

范晴 (Claire) 是芝加哥大学能源政策研究所迈克尔 · 格林斯通所长的博士后研究生，从事各种能源和环境经济学项目。2018 年，她从加州波莫纳学院 (Pomona College) 获得数学学士学位，辅修经济学。在波莫纳学院期间，范晴在印度旁遮普省的农业社区进行了一项关于人们对可持续农业态度的实地研究，并从事应用数学和社会企业经济学的研究。范晴关注环境和发展经济学的交叉领域，包括气候变化以及粮食和农业的社会影响。

## 空气质量寿命指数

空气质量寿命指数 (AQLI) 是一种污染指数，它将颗粒物大气污染转化为当今最重要的衡量指标：对预期寿命的影响。AQLI 是由芝加哥大学米尔顿 · 弗里德曼讲席经济学教授迈克尔 · 格林斯通和他领导的芝加哥大学能源政策研究所团队共同开发的。基于最新的研究结果，量化了人类长期受大气污染的影响与预期寿命之间的因果关系。然后，该指数将这项研究与高度本地化的全球细颗粒物测量结合起来，前所未有地揭示了世界各地区细颗粒物污染的真实成本。该指数还表明，当环保政策达到世界卫生组织指导的安全标准、现行国家空气质量标准或用户自选的空气质量水平时，人们的预期寿命将会延长。这些信息可以帮助居民和决策者更具体地了解环保政策的重要性。

aqli.epic.uchicago.edu @UChiEnergy #AQLI

## 芝加哥大学能源政策研究所 (EPIC)

芝加哥大学能源政策研究所致力于解决全球能源挑战，确保能源市场能供应可靠、价格实惠的能源，同时降低能源对环境和社会的伤害。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接触和培训，将强大的数据驱动研究转化为对现实生活的影响。

epic.uchicago.edu @UChiEnergy /UChicagoEnergy