



# 磐之石环境评论2017

地址：北京市顺义区后沙峪安泰大街艾迪城14号楼312室

邮编：101318

电话：+86 (10) 61438032

邮箱：info@reei.org.cn

网站：www.reei.org.cn



 磐之石 ROCK ENVIRONMENT  
AND ENERGY INSTITUTE  
环境与能源研究中心

## 作者简介 (按姓氏拼音字母顺序排列)

阿蓉：磐之石环境与能源研究中心实习生（2017.2–2017.8），伦敦政治经济学院社会学系在读博士生。

姜超：磐之石环境与能源研究中心全球绿色健康医院中国项目负责人。研究兴趣主要是医疗卫生部门环境可持续发展。文章发表于《中国环境报》、《中国经济导报》、《中国化工报》、《百科知识》等。

林佳乔：磐之石环境与能源研究中心联合创始人、副主任。研究领域包括能源政策、低碳发展以及碳市场。文章先后发表于《中国战略新兴产业》、《乳业学报》、《动物学报》、《应用生态学报》等期刊及中国能源网、中国碳交易网等网站。

马悦：磐之石环境与能源研究中心实习生（2016.10–2017.6），美国埃默里大学公共卫生学院在读研究生。

毛达：磐之石环境与能源研究中心联合创始人、理事。研究兴趣是垃圾焚烧环境与健康风险、二恶英污染防治、垃圾管理与零废弃战略。其文章发表于 Environmental Movements around the World [Volume II]、A History of Environmentalism、A Journal of Transdisciplinary History、《南开学报》、《世界历史》、《改革内参》、《南方周末》等。

熊秀琴：磐之石环境与能源研究中心实习生（2016.10–2017.6），北京大学医学部公共卫生学院在读研究生。

赵昂：磐之石环境与能源研究中心联合创始人，主任。研究兴趣集中于气候变化和能源转型政策。文章曾发表于：China Environment Series 11、International Journal of Applied Logistics、绿叶、《绿色转型之路》、Energytransition.org、《中华环境》和《环境资源与能源评论》（第2辑）等。

## 磐之石简介：

磐之石环境与能源研究中心（REEI, 2018年4月在北京市顺义区民政局注册为民办非企业单位），前身为磐石环境与能源研究所，创立于2012年7月，是一家研究环境和能源政策的独立智库。我们以能源转型政策分析为主线，讨论如何在兼顾社会公平、气候变化、环境质量和公众健康的基础上，实现中国能源系统的低碳转型。并希望在此过程中促进多方参与、开放理性的环境政策讨论。

愿景：致力于推动以程序正义和理性批判为基石的环境政策决策机制的建立，使社会向更加包容、公正和可持续的方向发展。

主编：赵昂

副主编：林佳乔

责任编辑：王会

发布日期：2018年4月16日

发布方：磐之石环境与能源研究中心

## 前言

气候变化正在损害人类的健康，这种影响给世界各国带来的负担不可轻视。中国近些年积极参与到国际气候变化谈判中，在全球气候领导力方面展现出越来越重要的角色。在国内，中国也在采取措施应对气候变化挑战。在经历了数年碳交易试点之后，全国碳市场在 2017 年底正式启动。碳市场的有效运行，能够提高可再生电力的比例、促进能源和资源利用效率。除了气候变化对健康的影响之外，化石能源的使用导致的空气污染也对公共健康也带来严重的影响。公共健康应是决策者在应对空气污染和推动能源转型的决策中的核心因素之一，这样有助于推进更加积极的环境治理决策，实现尽快改善环境质量的目标。

2017 年，我们继续就环境和能源政策问题发表分析文章，本评论集所搜集的文章主要来自以下两个项目的产出：中国碳市场中抵消项目的环境完整性与可持续性讨论，以及北京地铁空气污染（PM<sub>2.5</sub>）水平和通勤者的认知调查。磐之石始终致力于与利益相关者一起探讨推动兼顾社会公平、环境可持续和公共健康等目标的政策解决方案。2017 年的《磐之石环境评论》所聚焦的北京地铁内空气污染导致的公共健康风险和碳抵消项目的可持续标准分别涉及公共健康和环境可持续性，期待这些评论文章在增进相关议题的理性讨论和交流方面带来积极影响。

《磐之石环境评论 2017》的编辑和印刷费用来自“成为独立智库的知友”众筹项目的筹款，此次众筹中共有 758 位人士捐款支持我们。在此，我们向这些关注中国环境领域独立智库成长的朋友表示真挚的感谢。

赵昂

磐之石环境与能源研究中心主任

2018 年 4 月 12 日

## 目录

### 第一部分：空气污染的健康风险

空气污染与自杀风险的关联有多大 .....	01
应对空气污染可以延长早期肺癌患者的生存时间 .....	04
空气污染在老年认知损伤中的角色：PM <sub>2.5</sub> 暴露与阿尔茨海默病 .....	06
北京地铁内空气污染健康风险调查：被访者特征 .....	08
应对地铁内空气污染最简单有效的方法：佩戴口罩 .....	11
知宜，行难——空气污染认知与应对行为之间的差距值得深思 .....	13
相关性分析：从支付意愿理解“知易行难”的困境 .....	15
“我愿意多掏钱帮助治理空气污染”——决策者如何考虑每年几十亿元的支付意愿 .....	17
地铁“避霾”功能的开启到底离我们有多远 .....	19
乘地铁戴口罩，到底您还犹豫什么 .....	22

### 第二部分：中国碳市场

碳交易是碳减排的更优政策选择吗 .....	24
具有中国特色的碳抵消项目发展之路 .....	27
碳市场为什么要给碳汇项目开绿灯——因为不属于“灰色”碳抵消项目吗 .....	30
垃圾管理与碳市场：垃圾焚烧发电项目不可持续且不低碳 .....	33
垃圾管理与碳市场：垃圾焚烧发电项目不满足、不符合碳市场规则 .....	36
电力行业与碳市场：是值得期待的八分之一吗 .....	39
电力行业与碳市场：关系错综复杂，机遇与挑战共存 .....	42

# 第一部分：空气污染的健康风险

## Health Risks of Air Pollution

2016年10月14日-2017年4月14日，磐之石环境与能源研究中心联合北京大学公共卫生学院潘小川教授课题组，在北京的十条地铁线内进行了为期6个月的线下调研，共访问近700位以地铁为主要通勤交通工具的乘客，收集有效问卷618份。

基于“北京地铁通勤上班族空气污染暴露水平差异及相应健康影响评估”项目为期半年的线下调研结果，我们相继产出10篇“空气污染的健康风险”系列文章及《北京地铁空气PM<sub>2.5</sub>暴露及通勤者应对行为特征调查分析和健康风险评价》报告。

### 空气污染与自杀风险的关联有多大？

What is the association between air pollution and suicide risk?

姜超、阿蓉、赵昂 / Jiang Chao , A Rong , Zhao Ang

#### Summary

The researches on the association between mental health and air pollution bring new insights into the association between air pollution and suicide risk. The data of 1500 suicide records in Salt Lake City in 2000–2010 concludes that the suicide risk of 2–3 days before committing suicide increase by 20% for people who were exposed to the high levels of nitrogen dioxide air pollution. Genetic and sociodemographic factors additionally contribute to the increased suicide rates from air pollution. A Korean research team find out that among 4,000 suicide cases, PM<sub>10</sub> led to a 9% increase in suicide cases. PM<sub>2.5</sub> and nitrogen dioxide affect physical well-being, mental health, and the central nervous system through pro-inflammatory pathways.

谈及空气污染的健康影响，污染所引发的呼吸系统和心血管等常见疾病，备受关注，相关研究也较深入。然而，近些年的一些研究开始关注空气污染对人的精神健康的影响。一些学者研究了空气污染与自杀之间的关联。本文将简单介绍这方面的研究，希望增加大家对空气污染引发的健康影响的认识。

#### 空气污染与自杀风险升高存在关联性

美国犹他大学研究团队曾在2015年发表文章指出<sup>1</sup>，空气污染与自杀风险升高存在着关联性。在分析了2000–2010年盐湖城1500多个自杀记录后，他们发现相比其他人群，那些在自杀前的2–3天中，暴露于较高水平的二氧化氮空气污染的人群，实施自杀的几率要高出20%。另外，自杀之前两三天期间暴露于高浓度的细微颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）的居民的自杀几率要比常人高出5%，且春季和秋季的风险最高。对于男性来说，短期暴露于二氧化氮、细微颗粒物之后，其自杀率分别上升25%和6%。而对于36–64岁的人群来说，短期暴露于二氧化氮、细微颗粒物之后，其自杀率分别上升20%和7%。发表于American Journal of Epidemiology期刊上的此项研究表明，自杀风险的升高与短期暴露于二氧化氮和细微颗粒物的空气污染可能存在关联，而且，不同年龄和性别的人群，其自杀风险的上升幅度不同。

研究团队主要成员之一Amanda Bakian博士同时强调，该研究并没有表明空气质量不好会导致自杀。确切地说，较高水平的空气污染可能会与其它因素相互作用，增加自杀的风险。下一步的研究将探讨，暴

#### 空气污染对自杀风险的影响机制

犹他大学的研究提到了一些空气污染对自杀风险的影响机制解释。PM<sub>2.5</sub>和二氧化氮都可能对身体和精神健康构成威胁。由于体积很小，它们可以渗透到胸廓气道。吸入这些气体会降低呼吸功能，导致氧饱和度降低、氧化应激和血氧不足。关于低压缺氧的研究表明，暴露于这些空气污染物中，可导致脑多巴胺和酪氨酸羟化酶水平升高，血清素和色氨酸羟化酶水

#### 空气污染对自杀风险影响研究的局限性

这几项研究在流行病学研究领域具有一定的突破，但同时也存在局限。在韩国七城市的研究中，Kim教授就认为，该研究缺乏充足的对照性，许多亚洲城市都具有空气污染问题，而在积极控制空气污染的城市中，空气污染是否仍与自杀率上升有关联，这样的问题需要相关的研究来关注。另外，由于二氧化氮与PM<sub>2.5</sub>同时存在于空气中，在盐湖城的研究中，研究团队难以进行精确对比控制，分析具体某种污染物的针对性影响以及不同污染物的叠加影响。Bakian博士也指出了该类研究的复杂性。在这些错综复杂的

露于空气污染后，导致一个人的自杀倾向增加的具体因素，比如遗传和社会人口学因素。

一项覆盖韩国七个城市的研究所<sup>2</sup>，也发现了自杀与严重颗粒物污染之间的显著关联。自杀是韩国的一个大问题，从1996年到2006年，该国自杀比例从14人/10万人上升到23人/10万人，在工业化国家中增幅最大。由Chang Soo Kim博士所带领的韩国延世大学研究团队对比分析了4000多个自杀案例与空气PM<sub>10</sub>数值之间的关联，发现污染高峰之后的两天内，会有较多的自杀案例发生。研究人员按照从高到低的顺序排列PM<sub>10</sub>测量值，计算出当污染水平超出这些PM<sub>10</sub>记录数值的中间值时，自杀率升高了9%。而对于心血管疾病患者这些已经与颗粒物空气污染相关的人群来说，自杀率则增加了近19%。

早在20世纪90年代末，台湾的研究人员已经发现空气污染与学龄儿童哮喘之间有关联。随后的十几年时间，他们跟踪研究了16万名儿童，并发现哮喘患者的自杀率超出其他人两倍，并且症状越严重，自杀风险则越高。<sup>3</sup>

平降低，而血清素水平的降低则与自杀的神经生物学机制有关。另外，细颗粒物和二氧化氮也具有强炎症作用，可能通过促炎反应途径，改变中枢神经系统的功能，从而增加自杀风险。同样，PM<sub>2.5</sub>已被证明会引发心血管和呼吸系统等疾病，疾病的恶化则可能会引发抑郁症状，最终增加自杀风险。

关系网络中，研究者并不能够轻易建立直接因果联系。空气污染会与其他因素交织在一起，对自杀率上升产生影响。例如，研究者假设自杀率会在PM<sub>2.5</sub>浓度最高的冬天达到峰值。但事实上，盐湖城的自杀率在春天达到最高，这表明其他因素的影响非常重要。因此还需要大量的研究，确定因果链条上更加具体的因素及其影响权重。

目前的研究也受制于研究方法的局限。在盐湖城的研究中，每个人的空气污染暴露量，是通过全市每

日平均空气污染物浓度分配到个人后计算得出的，这与实际情况存在偏差。研究团队认为，未来的研究应

该使用具有更好空间和时间分辨率的空气污染暴露评估工具，更贴近事实描述每个人的空气污染暴露情况。

## 结语

关于空气污染与自杀风险关系的研究尚且不多，但随着空气污染的范围和程度在很多发展中国家愈加严重，这一主题也引起更多学科研究者的关注。除了对人的生理和精神健康的影响，研究人员逐渐开始从社会学和经济学视角探讨空气污染带来的复杂影响，如空气污染与人的幸福感之间的关联、人们改善空气质量的支付意愿等。更多更深入的研究会增加我们对空气污染影响的认识，也会警示我们解决空气污染问题的急迫性。

## 应对空气污染可以延长早期肺癌患者的生存时间

### Coping with air pollution can prolong the survival time of patients with early-stage lung cancer

阿蓉、马悦、赵昂 / A Rong , Ma Yue , Zhao Ang

#### Summary

This article describes the effect of air pollution on prolonging a lung cancer patients' survival time. It describes the factors that influence the length of the life of lung cancer patients with air pollution exposure. Although air pollution has little effect on the patients' survival, a reduction of it can prolong the survival for those with early stage lung cancer. The timing of the lung cancer diagnoses is essential in lengthening a patients' survival, as air pollution factors can be controlled earlier. The scope of action, such as air filtration systems, has to be extended to reduce air pollution exposure for early-stage lung cancer patients to prolong their survival time.

肺癌是全球死亡率最高的癌症之一<sup>1</sup>，每年致死 159 万人。导致肺癌的常见危险因素包括高吸烟率(肺癌的主要原因)、职业和环境因素(如经常接触石棉、砷、铝制品副产品、焦炭等化学物质)和遗传因素等。<sup>2 3</sup>2013 年，国际癌症研究机构(IARC: International Agency for Research on Cancer)把柴油尾气和室外空气污染物(如可吸入颗粒物)也归为致癌物。

对于想通过改变行为来降低肺癌发病可能性的个人来讲，戒烟、远离高危工作和逃离空气污染，是常见应对措施，因牵涉范围不同，其难度有所差异。三者相比，戒烟相对容易，基本受个人意志控制；远离高危工作，涉及一个人或者家庭改变其生存、生活状况等问题，对其资源与能力有一定要求，同时也受到时空的局限，相对不易；而逃离空气污染的难度与代价则更高，因为空气质量是一个城市、地区，甚至一个国家的问题，且扭转空气污染是一个长期的过程。然而，从个体应对策略看，也存在一些简单易行的方式来自降低空气污染对健康的负面影响。本文所介绍的一项研究，探讨了空气污染对肺癌患者生存期长短的影响，其中给出的应对建议包括个体的行为方式改变。

美国南加州大学教授 Sandrah Eckel 领导的研

#### 注释：

1. Amanda V. Bakian, Rebekah S. Huber, et., 2015. Acute Air Pollution Exposure and Risk of Suicide Completion. American Journal of Epidemiology, Volume 181, Issue 5.

2. Traci Pedersen, Polluted Air Tied to Hike in Suicide Risk, <https://psychcentral.com/news/2015/02/14/polluted-air-tied-to-hike-in-suicide-risk/81230.html>.

3. Peter Aldhous, Air pollution could increase risk of suicide, <https://www.newscientist.com/article/dnl9180-air-pollution-could-increase-risk-of-suicide/>.

究，基于一个简单的假设：既然空气污染是重要致癌因素，那么已确诊为肺癌的患者暴露于空气污染中，病情应该会恶化。<sup>4</sup> 研究团队对加利福尼亚癌症登记处所记录的 352,053 个在 1988–2009 年间被诊断为肺癌的患者进行了队列研究(a population-based cohort study)<sup>5</sup>，评估了从诊断到随机访问结束期间，患者住宅周围环境中的 NO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub> 和颗粒物(PM<sub>2.5</sub> 和 PM<sub>10</sub>) 平均值，进而分析了这些数值与全因死亡率和肺癌特异性死亡率的关系。在研究期间，样本中共有 324,266 人死亡，占总数 92.1%，78.3% 的死亡病例的根本死因是肺癌。研究也发现，空气污染对早期肺癌患者生存期的影响更明显。当患者的癌细胞只停留在肺部区域时，那些生活在 PM<sub>2.5</sub> 浓度较高区域(月平均水平大于等于 16 微克 / 立方米) 的患者的生存期为 2.4 年；相应的，那些生活在 PM<sub>2.5</sub> 浓度较低区域(月平均水平小于 10 微克 / 立方米) 的患者的生存期为 5.7 年。对于癌细胞已经扩散到其它身体部位的患者而言，空气污染对他们的生存期影响并不大。此研究表明，减少在空气污染中的暴露，有可能延长肺癌早期患者的生存期。

此研究虽具有一定突破性，但仍有局限。首先，研究中使用的空气质量数据或者空气污染暴露分配

(Air pollution exposure assignments), 主要针对不同住宅区域，而无法准确描述不同个人的行为，尤其是肺癌患者群体。例如，肺癌患者处于室内的时间长于一般人群，并且可能随病情发展长期住院，而非停留在社区之内。其次，考虑到监测数据的可靠性，研究者排除了距离空气质量监测站超过 25 公里的区域中的肺癌患者。由于这些被排除区域多位于监测网络稀疏的乡村地区，这意味着该研究实际上排除了乡

村的肺癌患者，继而影响了样本完整性。

此外，该研究也忽略了其他影响肺癌存活率的混杂因素，如吸烟、饮食、酗酒、教育程度、健康习惯、医疗质量、肥胖、既往肺部疾病和职业暴露等，并未收集各个样本的相关个人信息，继而略微削弱了主要观点的可信度。尽管如此，这项研究仍然具有显著的政策和个体行为改变的指导意义。

## 结语

根据该项研究成果，肺癌诊断的时机非常重要，因为在发病早期控制空气污染因素，对于延长肺癌患者存活期价值最大。随着癌症筛查的广泛实施，目前更多的肺癌将在早期阶段被发现。与之对应，肺癌患者也需要针对影响其生存期的重要因素，进行有效干预，从而延长生命，例如减少空气污染暴露，安装家庭空气净化系统，对于空气污染长期严重的情况，在条件允许的情况下，也可以考虑搬迁。

## 注释：

1. WHO, Globocan 2012: Estimated Cancer Incidence, Mortality and Prevalence Worldwide in 2012 At a Glance, [http://globocan.iarc.fr/Pages/fact\\_sheets\\_cancer.aspx](http://globocan.iarc.fr/Pages/fact_sheets_cancer.aspx).
2. Linda Gharvand, David Shavlik, Mark Ghamsary, W. Lawrence Beeson, Samuel Soret, Raymond Knutsen, and Synnove F. Knutsen. The Association between Ambient Fine Particulate Air pollution and Lung Cancer Incidence: Results from the AHSMOG-2 Study. *Environmental Health Perspectives*, Volume125.
3. Madiha Kanal, Xiao-Ji Ding and Yi Cao. Familial risk for lung cancer. *Oncology Letters*, 13: 535–542, 2017.
4. Wendy Gutschow. Air pollution linked to lung cancer survival time. <http://news.usc.edu/104965/air-pollution-affects-lung-cancer-survival-time/>.
5. Sandrah P Eckel, Myles Cockburn, Yu-Hsiang Shu, Huiyu Deng, Frederick W Lurmann, Lihua Liu, and Frank D Gilliland. Air pollution affects lung cancer survival. *Thorax*, 2016; 71: 891–898.

## 空气污染在老年女性认知损伤中的角色：PM<sub>2.5</sub> 暴露与阿尔茨海默病

**The role of air pollution in cognitive impairment in old women: PM<sub>2.5</sub> exposure and Alzheimer's disease**

熊秀琴、阿蓉、赵昂 / Xiong Xiuqin , A Rong , Zhao Ang

## Summary

The cause of Alzheimer remains unclear, though it can be caused by the interaction of many factors, including heredity, environment, and lifestyle. A recent study indicates that PM<sub>2.5</sub> and its interaction with APOE might accelerate brain aging, resulting from long-term exposure to PM<sub>2.5</sub>. A study conducted in 1999–2000 concludes that the risk for cognitive decline and insomnia for those residing in high PM<sub>2.5</sub> concentration regions increases by 81% and 92%, respectively. Other studies, which examine the relationship between the health of the nervous system and the concentration of PM<sub>2.5</sub>, confirm that PM<sub>2.5</sub> pollution accelerates neurodegenerative processes associated with dementia. Limitations of such studies are that they often fail to acknowledge the interactions with other contaminants and thus reduce the objectivity for analyzing the neurological health of particulate pollution.

阿尔茨海默病 (Alzheimer's Disease, AD) 是一种大脑退化疾病，是痴呆症的主要诱因，是一种发病进程慢、逐渐恶化的持续性神经功能障碍，常发生于老年群体中。在 2016 年，估计美国有五百三十万人患有此病。这种病对患者以及患者家庭的生活带来严重影响，也对社会造成影响，它是花费最大的慢性病之一。阿尔茨海默病的病因仍然不清楚，它可能是一种由多种因素相互作用导致的疾病，包括遗传、环境以及生活方式等交互作用。

## 研究指出 PM<sub>2.5</sub> 及其与 APOE 等基因的相互作用可能加速大脑老化

最近一项美国的研究指出<sup>1</sup>，空气中的颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>) 及其与 APOE 等基因（如 APOE ε 4，它是病理性脑衰老和 AD 的主要遗传风险因子）的相互作用，可能会加速大脑老化，这为解释阿尔茨海默病 (AD) 的发病机制提供了新的信息。

该研究假设 PM<sub>2.5</sub> 的长期暴露会导致整体认知衰退加速和痴呆风险增加，在 APOE ε 4 基因携带者中风险会进一步加大。该研究在美国女性健康倡议记忆研究项目 (Women's Health Initiative Memory Study —WHIMS) 的队列中检验此假设。WHIMS 是一个覆盖美国全国老年妇女的前瞻性队列研究。这个队

列的一个近期研究报道了 PM<sub>2.5</sub> 浓度的升高和多个大脑区域的白质容量减少之间的关联<sup>2</sup>。颗粒物的神经毒性效应是在携带人类 APOE 等位基因和家族性痴呆基因的转基因小鼠身上进行实验研究的。这个研究模拟了临床前的 β 样淀粉蛋白的聚集以及这个过程在 APOE ε 4 携带者中的加强。研究认为，在 1999–2000 年中任何时间，居住在颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>) 浓度超过美国环境保护署设定的国家室外空气质量标准 (NAAQS) (12 μg/m<sup>3</sup>) 的地方，人的整体认知衰退和全因痴呆的风险分别增加 81% 和 92%，对 APOE ε 4 携带者的健康不良影响更强。

## 研究结论支持 PM<sub>2.5</sub> 通过多种途径加速相关痴呆的神经变性过程

这项新研究结合了老年妇女的空气污染暴露 – 神经流行病学研究和小鼠的吸入神经毒理学实验。两个研究共同显示了颗粒状空气污染物对神经退行性变化的影响，并且该影响对 APOE ε 4 载体携带者更大。总体而言，研究结论支持颗粒状空气污染物 (PM<sub>2.5</sub>) 通过多种途径加速相关痴呆 (ADRD) 的神经变性过程，包括促淀粉样变淀粉样前体蛋白 (APP) 加工以及其他独立于淀粉样蛋白沉积的途径。

### 结语：PM<sub>2.5</sub> 暴露与阿尔茨海默症研究的局限性

该研究也有一些局限性。首先，该研究考察了神经系统健康与 PM<sub>2.5</sub> 浓度的关系，但没有关于颗粒成分、排放源或与其他污染物的相互作用的信息。虽然关于颗粒物污染对心肺系统影响的研究涵盖了 PM<sub>2.5</sub> 成分的复杂性，但这些数据对于开展全国范围颗粒物污染对神经健康的研究来说，是不现实的。其次，此研究所采用的时空模型仅允许对 1999 年以后出现在女性晚年生活中的颗粒物 (PM<sub>2.5</sub>) 浓度进行估计。随着过去 20 年美国空气污染水平一直在下降，长期暴露的风险，特别是几十年前被研究对象在中年或青年阶段的空气污染暴露，可能对神经系统健康带来的负面影响更大。

在美国，PM<sub>2.5</sub> 浓度随着时间的推移而下降（例如，2000–2013 年下降了 34%），这与痴呆症的年龄特异性风险的降低同时发生<sup>3</sup>。在 2012 年美国环境保护署设立目前的国家室外空气质量标准之前，假设美国 30% 的老年妇女居住在高 PM<sub>2.5</sub> 的环境中，若 WHIMS 研究中观察到的不良影响可推广，研究人员估计高达 21% 的认知衰退的加快和全因性痴呆可归因于暴露于高浓度的空气污染 (PM<sub>2.5</sub>)。<sup>4</sup>

## 北京地铁内空气污染健康风险调查：被访者特征

### Survey of air pollution health risk in Beijing subway: Characteristics of the respondents

熊秀琴、赵昂 / Xiong Xiuqin , Zhao Ang

### Summary

In a period of 22 weeks in Oct. 2016–Apr. 2017, the survey on “Air Pollution Exposure Levels and Corresponding Health Impact Assessment of Commuters in Beijing Metro Cars” was conducted. This article briefly introduces the basic characteristics of the subway commuters to understand the investigation and results presented in subsequent articles. The survey including 618 samples reflects the basic socio-economic characteristics of subway commuters. This gives the basis for the analysis of the communicators’ level of awareness and response to air pollution.

“北京地铁通勤上班族空气污染暴露水平差异及相应健康影响评价”项目组组织来自北京大学医学部的 11 名在校本科生和研究生于 2016 年 10 月 14 日至 2017 年 1 月 13 日和 2017 年 2 月 21 日至 2017 年 4 月 14 日两段时间共 22 周的每个周五的下午 4:30–8:30 间在北京的十条地铁线<sup>1</sup> 内进行了问卷调查，共访问了近 700 位以地铁为主要通勤交通工具的乘客（学生除外），收集到有效问卷 618 份。

此次调查主要内容包括：测量地铁内的 PM<sub>2.5</sub> 浓度；调查通勤人员的乘坐地铁时间、调查通勤人员对空气污染的认知及关注程度；调查通勤人员的防护空气污染的意识及实际采取的措施；调查通勤人员购买口罩、空气净化器等防护设施的支付意愿等。调查采用非随机抽样方法，以访谈方式完成问卷调查：通常是调查员对地铁内通勤人员进行询问，然后填写答案。

对于调查的分析呈现出很多非常有价值的结果，本文将扼要介绍有效问卷所呈现的地铁通勤者的基本特征，这是我们理解之后调查分析结果的基础。

下表简明显示出受访人群的基本特征，根据表格所反映的信息，地铁通勤族呈现出年轻、收入水平中等偏上、受教育水平高、吸烟比例低的特点。例如，从年龄分布来看，地铁通勤族的 57.8% 来自 26–35 岁年龄段，36–60 岁的人群仅占 16%；从收入水平来看，地铁通勤族的 54.2% 处于 5000–10000 元 / 月的水平；从受教育程度来看，大学及以上占到 93%。从地铁通勤行为的时间分布来看，每天上下班通勤时间约两小时，每周乘坐的次数超过 10 次，累计乘坐时间超过五年半。

### 注释：

- Air pollution may lead to dementia in older women. Link: <https://news.usc.edu/115654/air-pollution-may-lead-to-dementia-in-older-women/>.
- Chen JC, Wang X, Wellerius GA, Serre ML, Driscoll I, Casanova R et al. Ambient air pollution and neurotoxicity on brain structure: Evidence from women’s health initiative memory study. Ann Neurol 2015; 78: 466–476.
- Langa KM. Is the risk of Alzheimer’s disease and dementia declining? Alzheimers Res Ther 2015; 7: 34.
- Barendregt JJ, Veerman JL. Categorical versus continuous risk factors and the calculation of potential impact fractions. J Epidemiol Community Health 2010; 64: 209–212.

### 受访者基本信息统计

基本信息	男性 (N=325)	女性 (N=293)	合计 (%)
<b>年龄, n (%)</b>			
18–25 岁	65 (20.0)	96 (32.8)	161 (26.1)
26–35 岁	212 (65.2)	145 (49.5)	357 (57.8)
36–45 岁	40 (12.3)	41 (14.0)	81 (13.1)

46-60岁	7 (2.2)	10 (3.4)	17 (2.8)
60岁以上	1 (0.3)	1 (0.3)	2 (0.3)
<b>收入, n(%)</b>			
<3000元	6 (1.8)	16 (5.5)	22 (3.6)
3000-5000元	36 (11.1)	55 (18.8)	91 (14.7)
5001-10000元	162 (49.8)	173 (59.0)	335 (54.2)
10001-20000元	107 (32.9)	43 (14.7)	150 (24.3)
>20000元	14 (4.3)	6 (2.0)	20 (3.2)
<b>学历, n(%)</b>			
初中及以下	6 (1.8)	2 (0.7)	8 (1.3)
高中	19 (5.8)	16 (5.5)	35 (5.7)
大学	222 (68.3)	213 (72.7)	435 (70.4)
硕士及以上	78 (24.0)	62 (21.2)	140 (22.7)
<b>职业, n(%)</b>			
教师	11 (3.4)	21 (7.2)	32 (5.2)
医务工作者	17 (5.2)	21 (7.2)	38 (6.1)
政府机关	41 (12.6)	31 (10.6)	72 (11.7)
商业企业	223 (68.6)	195 (66.6)	418 (67.7)
公益机构	2 (0.6)	6 (2.0)	8 (1.3)
其他	31 (9.5)	19 (6.5)	50 (8.1)
<b>有无孩子, n(%)</b>			
有	102 (31.4)	92 (31.4)	194 (31.4)
没有	223 (68.6)	201 (68.6)	424 (68.6)
<b>吸烟, n(%)</b>			
是	68 (20.9)	10 (3.4)	78 (12.6)
否	211 (64.9)	274 (93.5)	485 (78.5)
偶尔	46 (14.2)	9 (3.1)	55 (8.9)
基本信息	男性 (N=325)	女性 (N=293)	平均值
乘地铁时间(年)	5.74	5.59	5.67
每周乘地铁次数	10.80	10.24	10.53
单程时间, h	1.00	0.89	0.95

数据来源：磐之石环境与能源研究中心

根据北京地铁总公司的数据，北京市 2017 年 6 月 23 日轨道日客运量达到 910 万人次。北京市 2015 年，通勤出行（不含步行）中，公共交通出行比例 50%，其中公共汽（电）车 25.0%，轨道交通 25.0%；小汽车出行比例 31.9%。早高峰时段 7:00-8:00，地

铁高峰小时出行占比达到 20.8%；晚上下班时段 18:00-19:00，地铁出行最为集中，高峰小时出行占比达到 54.8%。城轨交通在城市公共交通中的作用非常 important<sup>2</sup>。

地铁轨道交通处于一个相对密闭的环境，只能通

过空调送风系统来调节车厢内的气体质量及温度、湿度等指标<sup>3</sup>，不利于空气中的污染物稀释。在早晚高峰时间，由于人群密度大，人流密集等特点，导致车厢内空间极度拥挤。且随着人员密度的增加，车厢内的污染源增多，车厢内部的空气质量相较于其他公共交通工具更差。 $PM_{2.5}$  作为可直接吸入肺部的细颗粒物，

与较粗的大气颗粒物相比，具有粒径小、活性强、面积大、易附带有毒有害物质，而且在大气中停留时间长、输送的距离远，因而对人体健康和大气环境质量的影响更大<sup>4</sup>。因此，对地铁通勤者在乘坐地铁期间的空气污染暴露进行评价有助于帮助人们应对健康风险。

## 结语

由于本调查采用非随机抽样调查方法，618 份样本所反映的地铁通勤者的基本社会经济特征与整个地铁通勤群体的实际社会经济特征不可等同，但仍然可以作为我们了解通勤者社会经济特征的有价值的参考，也可以作为我们分析通勤者在空气污染问题上的认知水平和应对行为的基础。

## 注释:

1. 我们根据地铁公司公布的地铁客运量由高到低，确定了调查的十条地铁线路：1 号线，2 号线，4 号线，5 号线，6 号线，8 号线，9 号线，10 号线，13 号线和 14 号线。
2. 2016 北京交通发展年报。
3. 李丽，钱春燕，张海云，等. 上海市轨道交通系统车站空气质量状况调查 [J]. 环境与职业医学，2011, 28(5): 277-280.
4. 刘冰玉. 地铁车厢环境空气质量研究 [D]. 北京市市政工程研究院, 2016.

## 应对地铁内空气污染最简单有效的方法：佩戴口罩

### The most effective method to deal with air pollution in the metro: Wearing masks

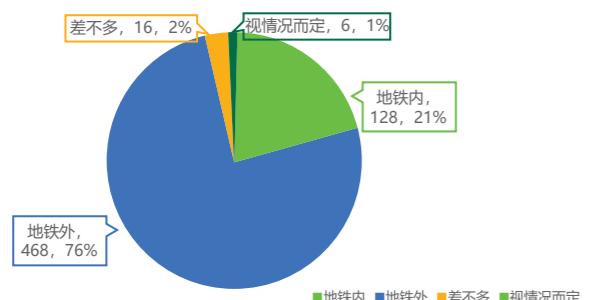
赵昂、马悦 / Zhao Ang , Ma Yue

#### Summary

The air pollution monitoring device, Air Beam is used to record the PM<sub>2.5</sub> levels in the cars of the 10 metro lines in Beijing. The monitoring results show the opposite to the public common knowledge. The most effective way to protect from air pollution in the metro cars is to wear masks. A study by a research team in Shanghai supports the suggestion.

#### 地铁内空气质量怎么样？

图1：地铁内和室外相比，您认为哪里的空气质量更严重？（人数，占被访问人数的比例）



数据来源：磐之石环境与能源研究中心

#### 戴口罩有用吗？

鉴于对地铁内空气质量的担忧，佩戴口罩似乎是理所当然的选择。然而在佩戴口罩是否有防灰霾效果这一问题上，仍有相当数量的被访者认为佩戴口罩对防护空气污染的效果微乎其微，占 618 个受访人的 15.7%。近期一项在上海复旦大学进行的为期一个月的随机控制交叉实验 (randomized controlled crossover trial) 的研究<sup>2</sup> 或许会改变那些认为佩戴口罩的效果微乎其微的人的想法。

实验内容是给 30 位年轻大学生（无吸烟和酗酒史、无心肺系统疾病史、无传染病史）佩戴可以阻挡 PM<sub>2.5</sub> 细颗粒物的口罩（型号为：3M-8210V），来评估其带来的潜在心血管健康收益。学生被随机平分为两组，在第一个干预阶段，一组学生佩戴 48 小时的口罩，

在每次进行“北京地铁通勤上班族空气污染暴露水平差异及相应健康影响评价”项目的访谈时，<sup>1</sup> 志愿者都使用 Airbeam 便携式空气质量 (PM<sub>2.5</sub>) 监测仪记录下所测 10 条地铁线地铁内的 PM<sub>2.5</sub> 的浓度值 (210 个监测样本的均值为 150 微克 / 立方米)，与同时间的室外北京市 PM<sub>2.5</sub> 浓度值 (均值为 86 微克 / 立方米) 相比，地铁内空气质量远远比室外糟糕。然而这和被访者的认识恰恰相反。76% 的受访者认为地铁外的空气质量更糟糕 (如图 1 所示)。

而另一组作为控制组 (control group) 并不做任何干预。之后经过 3 周时间 (期间没有任何干预，如戴口罩)，两组角色互换完成第二干预阶段。心率变异性 (HRV) 和动态血压 (ambulatory BP) 在每个干预的第二个 24 小时内持续监测。在每个干预期结束的时候采集血液样本，于此同时，测量炎症状况 (inflammation)，血管收缩 (vasoconstriction) 和凝血 (coagulation) 的循环生物标记 (circulating biomarkers)。在干预期间，学生被要求走出校园，在外面沿马路行走 1 个小时，干预组 (the intervention group) 被要求在户外一直佩戴口罩，而在室内尽可能多戴口罩。

室内与室外的空气污染浓度在实验期间使用基于

光散射法 (light-scattering method) 的空气颗粒物监测仪来持续监测。从 5 个男生宿舍和 5 个女生宿舍中随机选择 2 个男生宿舍与 2 个女生宿舍来作为 PM<sub>2.5</sub> 浓度室内监测点。空气监测仪安装在男生宿舍的屋顶上来监测室外空气质量。

30 位学生中有 24 位最终成功完成两个阶段的干预实验。这些学生平均佩戴口罩的时间在室外超过 90%，在室内为 82%。在干预期间，日平均 PM<sub>2.5</sub> 浓度室外为 74.2 微克 / 立方米，室内为 85.2 微克 / 立方米。考虑到口罩的过滤效率和佩戴时间的比率，佩戴

#### 此项实验研究的局限性

此项实验研究也存在一些局限。例如，由于样本量较小，此项研究本质上是探索性的；由于没有检测到个人的 PM<sub>2.5</sub> 暴露程度，测量暴露时产生误差在所难免；监控装置并不是通过重力测量 (gravimetric measurements) 来校准，并且一些室内因素 (indoor sources) 例如人类活动，会影响被试者个体的 PM<sub>2.5</sub>

#### 结语

心血管疾病危害是大气污染暴露导致的主要健康风险之一。<sup>4</sup> 由于治理大气污染需要较长的时间，在大气质量根本扭转之前，从个体来讲，最有效的防护手段恐怕就是常常佩戴口罩，尤其是在乘坐地铁时。

口罩的被试者所估计的 PM<sub>2.5</sub> 时间加权暴露水平 (time-weighted exposure levels) 在室外平均为 7.1 微克 / 立方米，在室内平均为 19.3 微克 / 立方米。

实验结果表示，在短时间内佩戴口罩，能提高心率变异性 (heart rate variability, HRV)<sup>3</sup> 和降低动态血压、循环生物标志物，表明佩戴口罩或可缓解空气污染对心血管疾病的危害。相反，不戴口罩，所吸入的颗粒物增加，导致 HRV 参数的降低，对心血管疾病有潜在危害。

的暴露浓度。

尽管存在一些局限，这个随机控制交叉实验仍然提供了初步的证据，佩戴口罩可以作为一个实用的工具去保护个体的心血管方面的健康，抵抗空气污染的危害。

#### 注释：

1. 除非特别说明，本文所用数据均来自此项目的调查结果。熊秀琴为数据的整理和分析提供了支持。
2. Jingjin Shi, et al., 2017. Cardiovascular Benefits of Wearing Particulate-Filtering Respirators: A Randomized Crossover Trial. Environmental Health Perspectives. Volume 125, number 2, 175-180.
3. HRV 是一种测量连续心跳速率变化程度的方法。其计算方式主要是分析借由心电图或脉搏量测所得到的心跳与心跳间隔的时间序列。
4. Donaldson K, et al., 2013. Nanoparticles and the cardiovascular system: a critical review. Nanomedicine 8: 403-423.

## 知易，行难——空气污染认知与应对行为之间的差距值得深思

### The gap between air pollution awareness and protection actions

赵昂、马悦 / Zhao Ang , Ma Yue

#### Summary

By analyzing the metro commuters' perceptions of air pollution and related protection actions, the study finds that despite of relatively high awareness of air pollution, there exists a low level of protection actions such as using masks and air purifiers.

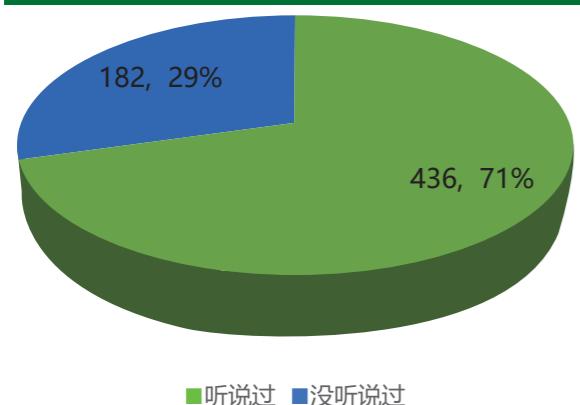
在“北京地铁通勤上班族空气污染暴露水平差异及相应健康影响评估”项目问卷调查中，我们就以下三类问题完成了对 618 位地铁乘客的访谈：1) 对空气污染的认知及应对行为特点；2) 对于购买防灰霾用具（口罩和空气净化器）的支付意愿；3) 个人基本社会经济情况。本系列文章的第四篇——《北京地铁内空气污染健康风险调查：被访者特征》一文已经扼要介绍了被访者的基本社会经济特征。本文（系列文章第六篇）和下一篇（系列文章第七篇）将分别描述对第一类和第二类问题的访谈分析结果。

#### 受访者对空气污染的认知

受访者被问及消费者是否应该承担空气污染的一部分责任时，71.2% 认为应该，28.8% 的受访者认为消费者不应该承担责任。

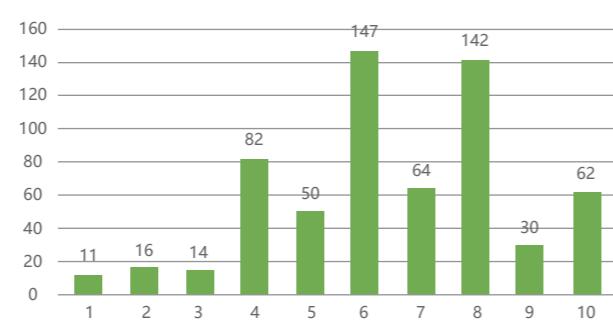
在问到是否知道空气质量指数（AQI）时，听说过的占比 70.6%。在听说过的人中，每天查看 AQI 和每周查看次数的比例之和为 72.9%，绝大多数人是用手机查看数据。

图1：是否知道空气质量指数



数据来源：磐之石环境与能源研究中心

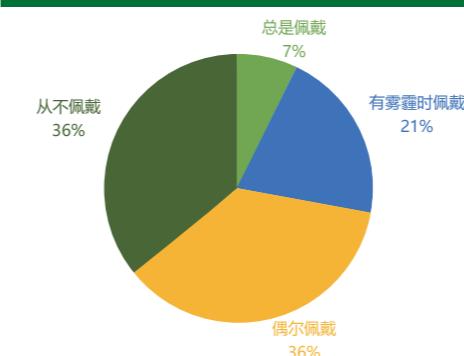
图2：空气污染对生活的综合影响程度



数据来源：磐之石环境与能源研究中心（1表示没什么影响，4表示有一定程度的影响，8表示影响非常大，10表示影响最大）

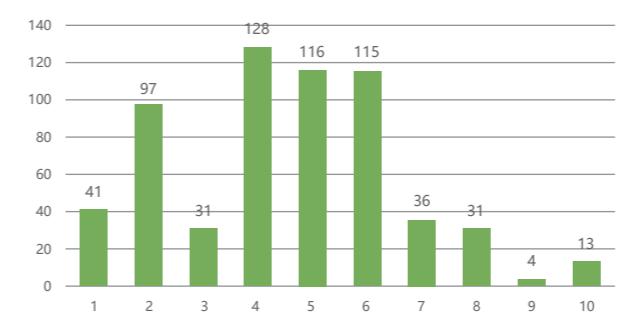
#### 受访者应对行为

图3：您在乘坐地铁时是否佩戴口罩



数据来源：磐之石环境与能源研究中心

图4：您觉得口罩对于人们防护空气污染有多大效果？



数据来源：磐之石环境与能源研究中心（1分为没有效果，10分效果最大）

既然多数人认为空气污染对生活有不可忽视的影响，但乘坐地铁时佩戴口罩的比例在受访者中并不算高。乘坐地铁时，从不佩戴口罩占比高达 36%，总是佩戴的仅有 7%（在 618 位受调研者中，有 449 位选择当自己受到了影响会采取佩戴口罩的方式进行空气污染防护，36%、7% 是在采取口罩进行防护的人中的比例），如图 3 所示。这种认知和行为上的不一致，在很大程度上与人们不了解地铁内空气质量比室外更差的现实有关。另一方面，也与人们对佩戴口罩的污

#### 结语

通过分析地铁通勤者对于空气污染认知和相关防护行为，我们发现受访者对于空气污染是有较高的认知的，但是对于基本的灰霾防护手段如佩戴口罩和使用空气净化器却处于较低水平。为什么对空气污染的较高认识水平不能转化成应对空气污染的积极行为呢？或者说，认识水平与行为之间有较大的距离。这样的现象是否受到人们的收入和教育水平等因素的影响呢？本系列文章将在下一篇关于支付意愿的讨论中分析这个问题。

染防护效果判断有关。如图 4 所示，有超过三分之二的受访者的评分都在 5 分之下，也就是并不认为口罩有明显的防护效果。

口罩是人们在移动过程中防护灰霾的主要应对措施，而空气净化器是人们在非移动状态下（办公室或家中）防护灰霾的主要手段。表 1 和表 2 给出了受访者所使用的空气净化器所处的价格区间和使用频率。从访谈数据来看，618 位受访者中，301 位平常使用空气净化器，还不到受访总人数的一半；接近一半受访者一年中对于空气净化的使用都在 100 天以下，也就是说一年中有超过三分之二的时间是没有在用的。受访者所使用的空气净化器的价格在 1000–3000 元这个区间的最多，占到总人数的 43.2%；使用 3000–5000 元这个档次空气净化器占到了三分之一。

表1：您使用的空气净化器大概在什么价格区间

价格	人数	比例
<1000 元	33	11.0%
1000–3000 元	130	43.2%
3001–5000 元	101	33.6%
>5000 元	37	12.3%
Total	301	100. 0%

表2：您平均一年使用空气净化器的天数

天数	人数	比例
100 天以内	151	50.2%
100–200 天	99	32.9%
201–300 天	32	10.6%
300 天以上	19	6.3%
Total	301	100. 0%

数据来源：磐之石环境与能源研究中心

## 相关性分析：从支付意愿理解“知易行难”的困境

Relevance analysis: To understand the gap between awareness and action from Willingness-to-Pay

赵昂 / Zhao Ang

### Summary

This article centers on the convergence of behaviors and the correlation between respondents' Willingness-to-Pay for masks and air purifiers and other contributing socio-economic variables. Behavioral science tries to clarify factors affecting people's cognitive and behavioral inconsistencies while proposing solutions that promote consistent knowledge and behavior. The Willingness-to-Pay is also influenced by gender, families structure, education, and income. However, there is a degree of inconsistency between variables influencing the interpretation of the correlation between knowledge and practice.

在文章《知易，行难：空气污染认知与应对行为之间的差距值得深思》中，我们发现在地铁通勤上班族中，对空气污染的较高认识水平与应对空气污染的积极行为之间存在较大差距。当然我们这里假设人们的认知和行为之间应当是趋于一致的，这是我们在这个问题上的分析基线。行为科学研究的一个重要问题，就是发现和阐明究竟哪些因素影响人们认知和行为之间趋于不一致，并提出促进知行一致性的解决方案。借助本次调研当中所搜集的受访者的性别、年龄、职业、收入、教育等基本社会经济数据，我们采用卡方检验简要分析了受访者在购买口罩和空气净化器的支付意愿问题上与其他社会经济变量之间的相关性。本文介绍相关性分析的部分结果。

### 从支付意愿看购买的价格偏好

就购买防灰霾口罩和空气净化器的支付意愿，我们分别问了两个问题：1) 如果要为家里购置空气净化器，您愿意花多少钱？2) 您愿意为一个防雾霾( $PM_{2.5}$ )的口罩花多少钱？618位受访者的回应分别如图1和图2所示：

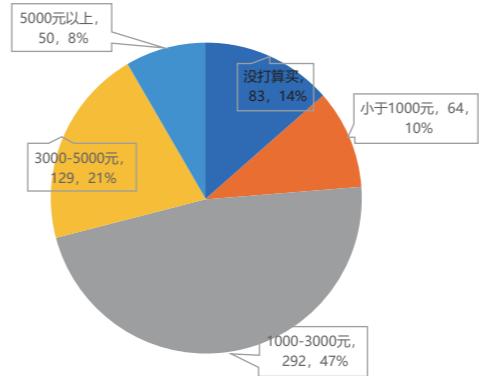
在这两个问题上回答“没打算买”的人数分别为83和52。这一部分受访者应该包括那些对空气污染了解程度最低的人群或者那些认为口罩和净化器对于防灰霾效果很低的人群。

对于有意愿购买的人群来说，在口罩方面，绝大多数人（占比82%）认可那些价格不超过50元的口罩；在空气净化器方面，主流人群（47%）选择

1000-3000元水平的空气净化器，其次有21%的人群选择在3000-5000元之间。

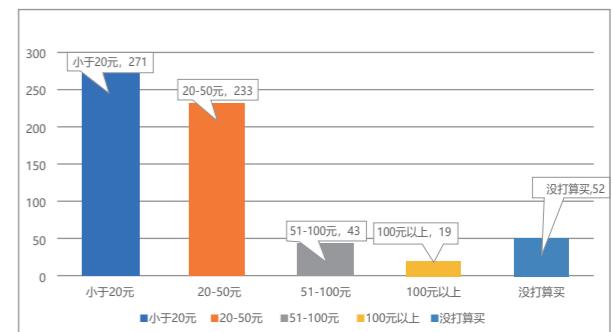
支付意愿很难直接解释最终的实际购买行为，但它是理解现实购买行为的重要切入口，尤其当我们没有掌握实际发生的购买行为的数据的时候。当我们把其他变量/因素与支付意愿放在一起进行相关性分析时，一方面可以说明支付意愿是否与这些变量存在相关性，另一方面，也可以帮助我们理解这些变量/因素是否对“知行一致性”产生影响，即这些因素是促进还是抑制“对空气污染的较高认识水平导致较积极的购买防灰霾用具的行为”这一过程。

图1：购买一个空气净化器的支付意愿



数据来源：磐之石环境与能源研究中心

图2：购买一个防雾霾口罩的支付意愿



### 相关性：折射理解“知行关系”的复杂性

我们在调研中有直接涉及行为的问题，如，是否佩戴口罩及佩戴频率；是否在家里使用空气净化器及使用频率。对于这两个应对空气污染的主要行为，我们发现它们与以下两个因素存在相关性：1) 性别，性别差异与佩戴口罩的行为有相关性，女性比男性更倾向于佩戴口罩。2) 家庭拥有小孩，是否拥有未成年子女与使用空气净化器的行为有相关性，有孩子的受访者比起没有孩子的受访者更加倾向于使用空气净化器。

由此看，性别和家庭结构（是否拥有低龄子女）对空气污染的知行关系有显著影响。类似的，收入水平和受教育程度是否也影响知行关系呢？让我们通过分析支付意愿与收入、教育的相关性来看一下。

分析收入水平和受教育程度与购买防灰霾口罩和空气净化器支付意愿之间的相关性，我们发现收入水

平和受教育程度与购买空气净化器支付意愿之间有显著正相关性，即受教育程度越高或收入水平越高，购买空气净化器的支付意愿也越高。而这两个因素与购买防灰霾口罩支付意愿之间没有相关性，我们认为这很可能是因为口罩的低成本难以体现人们的支付意愿倾向，或者说口罩的成本与空气净化器比起来，占收入的比例可以忽略不计。

对于是否吸烟与购买口罩和净化器的支付意愿的相关性，我们的分析显示，不吸烟的受访者，购买口罩和空气净化器的支付意愿最高，吸烟的受访者，购买口罩和空气净化器的支付意愿最低。

相关性分析仅是理解知行关系的开始，而且各种变量之间相互影响的错综程度决定了解释知行关系的复杂性。

### 结语

知行关系是决策科学和行为科学的重要领域，我们在分析调研数据时，看到受访者在了解空气污染和应对行为之间的不一致性，也了解到有众多因素对知行关系发挥着影响。希望包括本文在内的“北京地铁通勤上班族空气污染暴露水平差异及相应健康影响评估”项目系列文章能够帮助读者拓展对这一议题的理解，并且尝试使用这样的方法和视角分析自己身边的新鲜而多样的案例。<sup>1</sup>

### 注释：

1. 除非特别说明，本文所用数据均来自此项目的调查结果。熊秀琴为数据的整理和分析提供了支持。

## “我愿意多掏钱帮助治理空气污染”——决策者如何考虑每年几十亿元的支付意愿

**Why policy makers shall take Willingness-to-Pay into account in renewable energy development**

赵昂 / Zhao Ang

### Summary

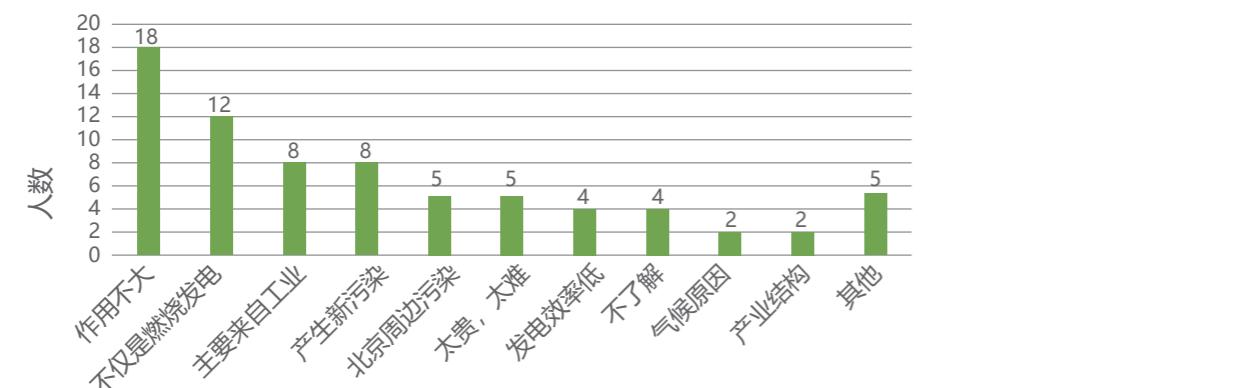
This article is focused on how the subway commuters understand the role of renewable energy in the treatment of air pollution and the use of renewable energy. The majority of the respondents agree on the positive role of renewable energy in improving the air quality in Beijing. The public's willingness to pay for renewable electricity is an important factor in the electricity price reform and decision-making. The survey shows that the majority of respondents are willing to spend more on renewable electricity. This willingness can be taken into account in supporting renewable energy development.

治理空气污染（无论室外还是室内）的根本路径是对能源系统进行变革，放弃化石能源消费，转而使用可再生能源（风能、太阳能、水能、地热等）。在转型的开始阶段，可再生能源的成本要高于传统的化石能源，但随着系统的转变和可再生能源技术规模化发展后成本的快速下降，可再生能源在资源可获得性上的巨大优势（资源永不枯竭、获取成本极其便宜）会愈加明显，可再生能源主导的能源系统将是清洁、高效、成本可控，并且有强大和可持续的环境效益（如对空气质量的正面影响）。

为了解地铁通勤上班族如何认识可再生能源在治理空气污染过程中的作用以及使用可再生能源电力的支持意愿，我们在“北京地铁通勤上班族空气污染暴露水平差异及相应健康影响评估”项目问卷调查中，特别设计了几个与支付意愿相关的问题。

### 受访者认同可再生能源电力对改善空气质量的积极作用

图1：可再生电力对于帮助缓解北京空气污染没有帮助的原因



数据来源：磐之石环境与能源研究中心

我们的调查结果显示，尽管绝大多数受访者认同可再生能源的正面影响，但对我们的问题持否定观点的人所提出的具体理由，正体现了治理空气污染的复杂和困难。我们给出的第一个问题是：您觉得增加可再生能源电力消费（如风电和太阳能电力）对缓解北京的空气污染有帮助吗？618位受访者中，88.2%（545人）认为有帮助，11.8%（73人）认为没有。显然，认为可再生能源电力消费对缓解北京空气污染有帮助的受访者占绝对多数。笔者认为，这可能在一定程度上反映出北京常住人群在这个问题上的观点。

受访者对接下来一个问题的回答，为我们了解公众对可再生能源本身及其影响的认识提供了很丰富的信息。问题是：如果您认为没有帮助，为什么？请给出原因。如图1所示，认为没有帮助的73位受访者给出了非常多样的解释。

1. 作用不大：占比最大的人群担心“作用不大”，毕竟在大众当前的日常生活中，与可再生能源的接触

### 正向支付意愿能够促进可再生能源发展

对于那些在第一个问题上持正面回答的受访者，我们进一步问到：“如果您认为有帮助，那么，为了使用更高比例的可再生能源电力，作为消费者，您愿意每月多支付多少钱呢？”

统计结果如图2显示，不愿意支付的人数为103，占比17%，愿意支付的有515人，占比83%。每月愿意多支出25、50、100元的受访者各自占比较接近，三者相加达到79%。可以说，从公众的支付意愿来看，为了改善北京的空气质量，大家还是愿意在每月电费上增加支出的。我们假设北京每户家庭愿意多支出50元/月来支持可再生能源电力消费，根据北京市2016年国民经济和社会发展统计公报，北京有燃气家庭用户907万户，我们以此数算为北京常住居民的家庭总数，那么北京一年在增加可再生能源电

并不是那么频繁，虽然每年有不断增加的风电和太阳能装机，但公众不能从自己的电力消费中分辨出来；

2. 不仅是燃煤发电：12位受访者在给出原因时谈到造成空气污染的因素不仅是燃煤发电。的确，治理交通工具污染排放在北京这样的城市也许更重要；

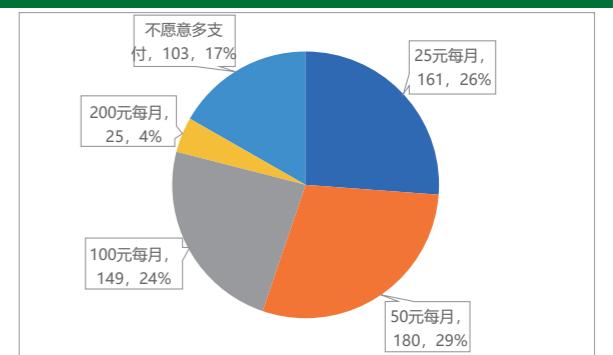
3. 产生新污染：有部分受访者也担心可再生能源设备的生产也会产生污染。这涉及到如何对能源技术的环境影响进行全生命周期评价；

4. 北京周边污染：还有5位受访者谈到北京周边地区对空气污染的影响。这在讨论北京空气污染治理中又是一个重要的问题。

尽管这些持不同观点的人群仅有11.8%，但他们的回答反映出他们对此问题有过深入思考，对于调查来讲有很重要的价值，另一方面这恰恰反映出治理空气污染的复杂性。

力消费的支付意愿总计约54.4亿元。这对于促进更多的可再生能源电力消费有积极的作用。

图2：对可再生电力的支付意愿



数据来源：磐之石环境与能源研究中心

### 结语

公众的电力消费支付意愿是围绕电价改革和决策的一个重要因素，我们的调查显示，绝大多数受访者还是有意愿通过提高电力消费的支出水平，支持更高比例的可再生能源电力系统的实现。这或许可以为决策者加大在可再生能源电力发展上的投入提供有意义的参考。对于公众来说，也可以利用2017年7月1日刚刚发布的中国绿色电力证书机制来自愿认购可再生能源电力，将支付意愿落实到实际的电力消费行动中，从而通过支持可再生能源电力发展来帮助空气污染的治理。

## 地铁避“霾”功能的开启到底离我们有多远？

Can subway system addresses PM<sub>2.5</sub> pollution?

林佳乔 / Lin Jiaqiao

### Summary

An assessment of PM<sub>2.5</sub> pollution in Oct. 2016–Apr. 2017 in Beijing subway lines shows that the PM<sub>2.5</sub> levels in Beijing's 10 subway lines are always worse than the outdoors PM<sub>2.5</sub> levels. Despite of the complexity of factors causing the air pollution in the subway system, the subway companies shall take the major responsibility of improving the air quality in the subway cars and on the platforms.

在进行“北京地铁通勤上班族空气污染暴露水平差异及相应健康影响评估”项目<sup>1</sup>问卷调查的同时，志愿者也利用便携空气质量监测仪对人流量比较大的10条地铁线路的PM<sub>2.5</sub>分别进行了20余次测量<sup>2</sup>。本文主要展示监测期内（2016年10月至2017年4月）地铁内外空气质量监测数据的初步分析结果。

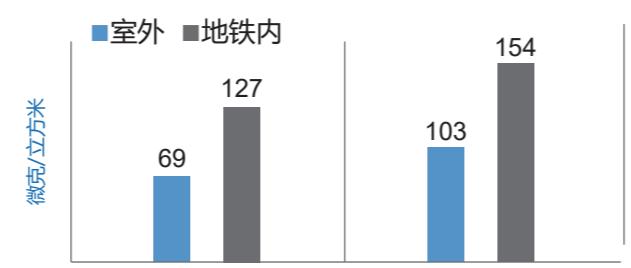
### 地铁内空气无论采暖季与非采暖季都比室外空气质量糟糕

在6个月的监测期内，室外空气质量在采暖季<sup>3</sup>和非采暖季具有统计学上的显著差异，采暖季PM<sub>2.5</sub>的均值为94微克/立方米（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），非采暖季为71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。这与我们通常认知相符，大多数人对灰霾的了解也是从冬春采暖季北京经常出现的大范围、高浓度重污染事件开始的。地铁内的空气质量，采暖季和非采暖季的PM<sub>2.5</sub>浓度水平具有统计学的极显著差异，空气中PM<sub>2.5</sub>浓度分别为162 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和127 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

根据调查结果，76%的受访者认为室外的空气质量比地铁内更糟糕，但实际情况却是无论在采暖季还是非采暖季，地铁内的PM<sub>2.5</sub>浓度更高，空气质量更差，如图1所示：非采暖季地铁内的PM<sub>2.5</sub>浓度要比室外高79%，采暖季要高71%。这与调查中市民对空气污

染的认知是不符的，也是需要公众额外加强意识的一个方面。

图1：地铁内与室外空气质量非采暖季和采暖季差异



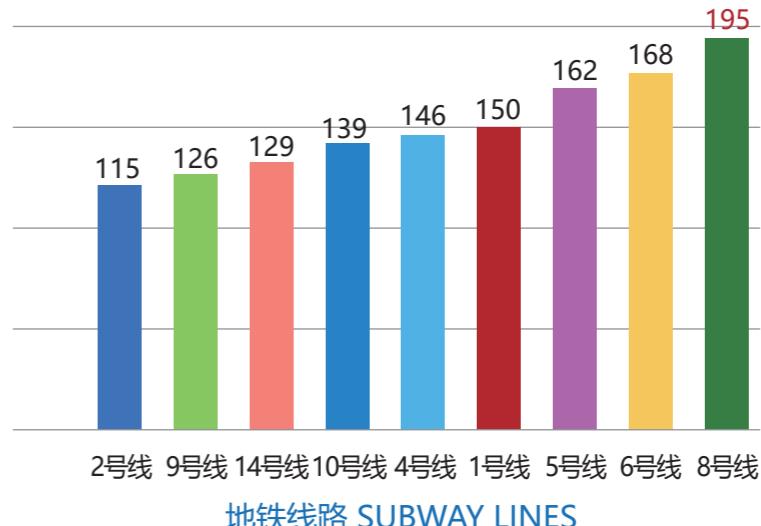
数据来源：磐之石环境与能源研究中心

### 不同线路地铁内空气质量差异明显

不仅地铁内空气普遍要比室外糟糕，而且线路之间的差异还很明显。通过对不同线路地铁内PM<sub>2.5</sub>浓度均值进行横向比较，我们发现项目监测的半年时间内，13号线的空气质量最好，8号线空气质量最差（如图2）。根据统计分析，2号线和13号线作为PM<sub>2.5</sub>浓

度最低的两条线路，他们都与8号线的PM<sub>2.5</sub>浓度有显著差异。这次的监测结果与2015年我们的“犄角旮旯测空气”项目中地铁空气监测结果类似，当时的13号线和2号线也是PM<sub>2.5</sub>浓度最低的两条线，而8号线和6号线是最高两条线路。<sup>4</sup>

图2：北京不同地铁线路内PM<sub>2.5</sub>浓度6个月平均值 (2016.10-2017.04)



地铁线路 SUBWAY LINES

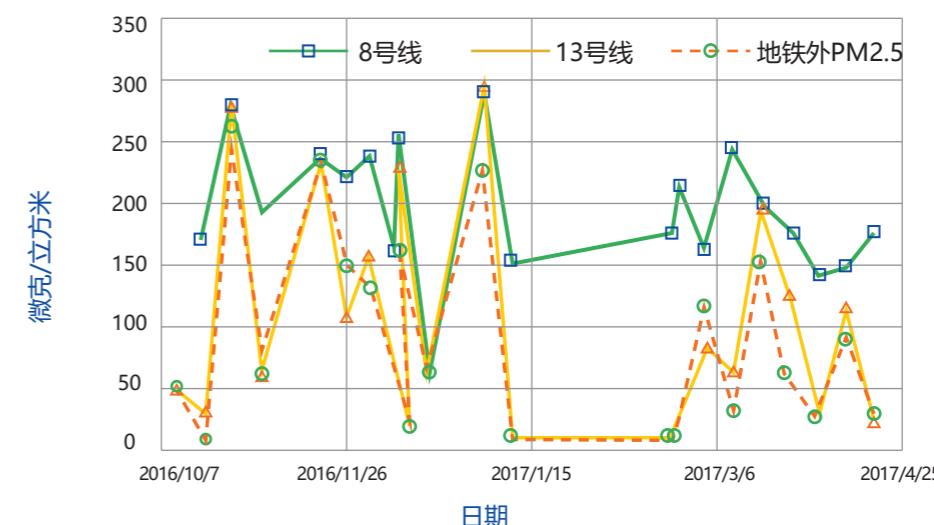
数据来源：磐之石环境与能源研究中心

### 空气质量越差的地铁线路与室外空气质量差异越大

如果将空气质量最好的13号线与最差的8号线同室外空气质量做对比，可以发现，13号线的PM<sub>2.5</sub>浓度水平在这6个月的监测期内与室外接近，尤其是在非采暖季，这可能与其线路室外部分较长、通风较好、车速相对较慢有关；而8号线内PM<sub>2.5</sub>浓度则一

直高于室外，无论是采暖季还是非采暖季，在2017年1月中旬和2月下旬有两次室外PM<sub>2.5</sub>浓度处于30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之下，但是8号线内浓度仍然在150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之上。同样，空气质量较差的6号线也表现出与室外空气质量差异更大的情况。<sup>5</sup>

图3：两条北京地铁线路内与室外空气质量动态对比



数据来源：磐之石环境与能源研究中心<sup>6</sup>

## 结语

采暖季的空气质量要比非采暖季糟糕，我们的监测结果也印证了这点（统计学上显著差异），这也是符合公众认知的。然而，地铁内的空气质量无论在采暖季还是非采暖季都要比室外糟糕，这是超出大多数受访者预期的。不同地铁线路内的空气质量差异明显，但是这种线路差异恰恰说明了地铁内空气质量有较大的改善空间。当然，车厢通风、车站的设计与装修材料、客流量、车速等因素都有可能影响空气质量，对于北京地铁来说，具体的原因尚不清楚，我们也期望能通过与地铁公司的接触找到主要原因，并寻求共同促进地铁内整体空气质量提升的方法和措施。

## 乘地铁戴口罩，您还犹豫什么？

Please wear a mask when you ride subway

赵昂、熊秀琴 / Zhao Ang , Xiong Xiuqin

## Summary

Wearing a mask can alleviate the exposure to air pollution by 50 to 90 percent, a reduction of about one-third to two-thirds of the daily average exposure. Since air pollution cannot be reduced significantly within a short time, commuters can protect their health against high PM<sub>2.5</sub> concentration by wearing mask.

上篇文章详细介绍了志愿者在调查中使用 AirBeam 所测量的北京 10 条地铁线路内环境空气 PM<sub>2.5</sub> 浓度，依据 2016 年 10 月至 2017 年 4 月所进行的 20 多次覆盖 10 条线路的监测结果，地铁内的 PM<sub>2.5</sub> 浓度在冬季采暖季和非采暖季分别为 154 微克 / 立方米和 127 微克 / 立方米，而同期室外北京日均值分别为 103 微克 / 立方米和 69 微克 / 立方米。地铁内相对较高的空气污染究竟会给通勤上班族带来多大的健康风险呢？

## 乘坐地铁会吸入多少 PM<sub>2.5</sub>

人在安静时，每分钟呼吸的空气总量约 5—10 升，这里我们取中间值 7.5 升，即 0.0075 立方米。根据我们的调查，北京地铁通勤上班族平均每天乘坐地铁的时间约 2 小时，为了避免高估，我们使用非采暖季地铁内环境空气 PM<sub>2.5</sub> 浓度值（127 微克 / 立方米）作为暴露水平，对于一个没有采取任何防护举措的乘客，在一年内乘坐地铁的过程中所吸入的 PM<sub>2.5</sub> 大约

为 28600 微克。<sup>1</sup>

PM<sub>2.5</sub> 也就是细颗粒物一旦进入体内，约有 50%—90% 将会沉积在肺泡数周甚至数年，假设按照 2/3 的沉积比例计算，无防护措施的地铁通勤者在乘坐地铁一年呼吸的会产生沉淀进肺泡无法排出的量为 28600 微克 × 2/3 ≈ 18900 微克。

## 吸入的 PM<sub>2.5</sub> 多大程度上影响了我们的健康

美国学者 Pope 等对美国 1979—2000 年间死亡的 50000 人与空气污染之间的关系进行了实证研究，<sup>2</sup> 得出如下结论：PM<sub>2.5</sub> 日均浓度每增加 10 微克 / 立方米，即 PM<sub>2.5</sub> 吸入量每年增加 39420 微克（10 微克 / 立方米 × 0.0075 立方米 / 分钟 × 60 分钟 × 24 小时 × 365 天），心肺疾病死亡率升高 6%，肺癌死亡率升高 8%。

根据 PM<sub>2.5</sub> 对健康影响的研究，PM<sub>2.5</sub> 与人群总死亡率之间存在的线性暴露 - 反应关系在 PM<sub>2.5</sub> 浓度低

于 2 微克 / 立方米的时候仍然存在。<sup>3</sup> 这就意味着，在空气污染治理目标的设定上，PM<sub>2.5</sub> 浓度越低越好，并没有一个安全阈值。

中国近年也在空气可吸入颗粒物对健康影响方面做了很多研究，一项关于颗粒物污染对呼吸系统疾病死亡率短期影响的研究显示，PM<sub>2.5</sub> 浓度升高 10 微克 / 立方米，所有年龄人群呼吸系统疾病死亡率上升 0.51%、心血管系统疾病死亡率上升 0.44%。<sup>4</sup>

## 注释：

1. 除非特别说明，本文所用数据均来自此项目的调查结果。熊秀琴为数据的整理和分析提供了支持。

2. 项目测量采用的便携式空气质量监测仪为 AirBeam，监测的空气质量指标是 PM<sub>2.5</sub>，单位为微克 / 立方米 (μg/m<sup>3</sup>)。

3. 北京供暖时间为每年的 11 月 15 日左右，至次年 3 月 15 日左右停暖。

4. 2015 年“犄角旮旯”测空气项目共计测量了 12 条线路，除本次地铁调研项目包含的北京人流量较大的十条地铁线路外，还包含亦庄线和 7 号线。15 年监测结果，PM<sub>2.5</sub> 浓度最低的三条线路依次为：13 号线、亦庄线、2 号线。因“北京地铁通勤上班族空气污染暴露水平差异及相应健康影响评估”项目调查未涉及到亦庄线，得出的结论 PM<sub>2.5</sub> 浓度最低的两条地铁线路分别为 13 号线与 2 号线，与 15 年的监测结果相符。

5. 该监测属于公众自测活动，结果仅供在具体场景下活动的人群参考，与官方公布的空气污染指数数据不具直接可比性。如想了解北京市实时空气质量监测数据，请查询北京市环境保护监测中心数据 <http://zx.bjmemc.com.cn/>。

6. 地铁外 PM<sub>2.5</sub> 数据来自北京市环境保护监测中心，链接：<http://zx.bjmemc.com.cn/>。

## 你知道佩戴口罩的健康收益吗？

乘坐地铁时佩戴口罩的人仍然是少数，主要原因

在于没有认识到佩戴口罩带来的健康收益。如前所述，

$PM_{2.5}$  日均浓度每增加 10 微克 / 立方米，即  $PM_{2.5}$  吸入量每年增加 39420 微克。我们假设在乘坐地铁时佩戴防雾霾口罩，可以阻挡 50%—90% 的  $PM_{2.5}$ ，根据前面的计算，根据前面的计算，一年可以少吸入  $PM_{2.5}$  约在 14300 微克 至 25740 微克之间，大约占到 39420 微克的 36.3%—65.3% 之间。可以这么理解，乘坐地铁

## 结语

北京 2016 年的  $PM_{2.5}$  年均浓度为 73 微克 / 立方米，按照刚才的计算方法，假设一个人全年的  $PM_{2.5}$  暴露（无论室外、室内）都是这个水平，那么一个北京居民一年所吸入的  $PM_{2.5}$  为 287766 微克。而现实中，人们的空气污染暴露水平变化很多，时空分布非常复杂，因为人们处于不同的空间环境。但无论怎样，人们可以选择各种方式减少暴露，从一年花费几百元的口罩到几千元的空气净化器，直至投入更多的家庭新风系统。<sup>5</sup> 以上的分析显示，仅仅是乘坐地铁时佩戴口罩就可以为每位乘客降低显著的健康风险。在地铁空气质量还没有改善之前，面对如此简单易行的应对举措，常年乘地铁的通勤者还要犹豫吗？

佩戴口罩可以降低约三分之一至三分之二范围的日均  $PM_{2.5}$  浓度每增加 10 微克 / 立方米所对应的健康风险，这里的健康风险就是上文所提及的美国和中国的研究结果：心肺疾病死亡率升高 6%，肺癌死亡率升高 8%；所有年龄人群呼吸系统疾病死亡率上升 0.51%、心血管系统疾病死亡率上升 0.44%。

注释：

1. 我们假设一个人一年有 250 个通勤日，因此 127 微克 / 立方米 \*0.0075 立方米 / 分钟 \*60 分钟 \*2\*250= 28600 微克。
2. CA Pope III, RT Burnett, MJ Thun etc, Lung Cancer, Cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution, The Journal of the American Medical Association, 2002
3. 郭新彪 杨旭主编《空气污染与健康》P27-28. 湖北科学技术出版社. 2015 年
4. 郭新彪 杨旭主编《空气污染与健康》P19 and P22. 湖北科学技术出版社. 2015 年
5. 这里假设每周更换一个价值 10 元的口罩，一年下来更换 40-50 个；净化器投入包括购买仪器和滤网更换。

## 第二部分：中国碳市场

### China's Carbon Market

国内的碳交易试点从 2013 年起相继上线，经过四年多的地方试点碳排放权交易，2017 年 12 月 19 日全国碳市场终于正式宣布启动。在欢庆中国或将成为全球最大碳市场之时，我们还是需要反思，究竟碳交易是否是我国的更优政策选择，我们现有的碳市场监管以及信息公开等配套工作是否能让其有效和高效地运作？如何把经济、环境和社会方面的考量纳入到碳市场评估中？

在此背景下，磐石环境与能源研究所开展中国碳市场项目，通过工作坊建立多方参与的讨论机制，以促进碳市场的可持续发展。产出 7 篇“中国碳市场”系列文章及《碳市场工作手册》，带领大家认识碳市场，并讨论其中的潜在问题。

#### 碳交易是碳减排的更优政策选择吗？

Is carbon trading a better policy choice for carbon emission reduction?

林佳乔 / Lin Jiaqiao

#### Summary

Carbon trading is a carbon pricing system to achieve low cost and effective carbon reduction by setting a price on its emission. The national carbon market was officially introduced in December 2017. This article discusses whether carbon trading is a better policy option for China and whether the existing environment of carbon market supervision and information disclosure can help to facilitate its full implementation. It also offers an introduction into China's carbon market while asking how to incorporate economic, environmental, and social considerations into the carbon market assessment. This market-based mechanism allows companies to profit from the innovation and implementation of green solutions, motivate companies to enhance their innovation capabilities, and to achieve lower carbon emissions. Carbon trading only succeeds if a sound market supervision and open and transparent information system are in place.

中国目前已有“五市两省”七个碳交易试点，年度发放配额总量在 12 亿吨左右，大约相当于目前中国能源相关二氧化碳总排放的 12% 以上；这让中国已成为仅次于欧盟的全球第二大碳市场。当全国碳市场在 2017 年底之前运行之后，中国或将成为世界上最大的碳市场；不过 2017 年中的政策变化导致目前覆盖的行业较之

前计划的 8 个重点行业有显著减少，很有可能就只包括电力、电解铝和水泥这 3 个行业。

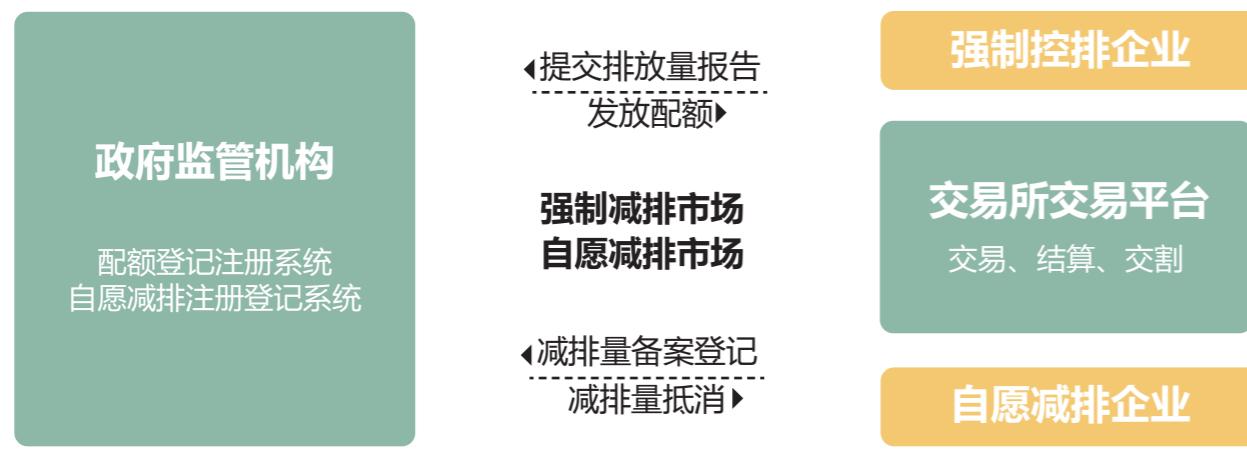
## 什么是碳交易

我们经常读到的碳交易，这其实是碳排放权交易体系的简称，是一种给碳定价的形式，另外一个常见的碳定价是碳税。碳交易是为了实现低成本且有效的碳减排，因其借助市场手段来降低碳排放，所以也经常将碳交易活动简称为碳市场。一个精心设计的碳市场要为控排企业达成减排提供经济诱因，并设定碳排放总量限制以及交易限制价格，制定不鼓励高碳排放的政策环境，以促使企业主动增加对于低碳解决方式的投资。

碳市场必须制造一个可以交易的单位，这通常称为排放配额、排放许可证或排放信用、碳抵消、抵消信用。因为碳排放交易产品是虚拟的，并没有涉及到实物的交易，所以碳排放交易机制需要特别高的监管需求，以确保这些减排单位能真正地代表排放量的减少，以保证市场参与者对于碳市场的信心。

根据对减排单位的需求及交易场所，碳市场主要分为两类：1) 自愿性碳市场。自愿性碳市场代表了那些为了履行其企业责任的承诺，可能是为了吸引有

图 1：碳市场的构成



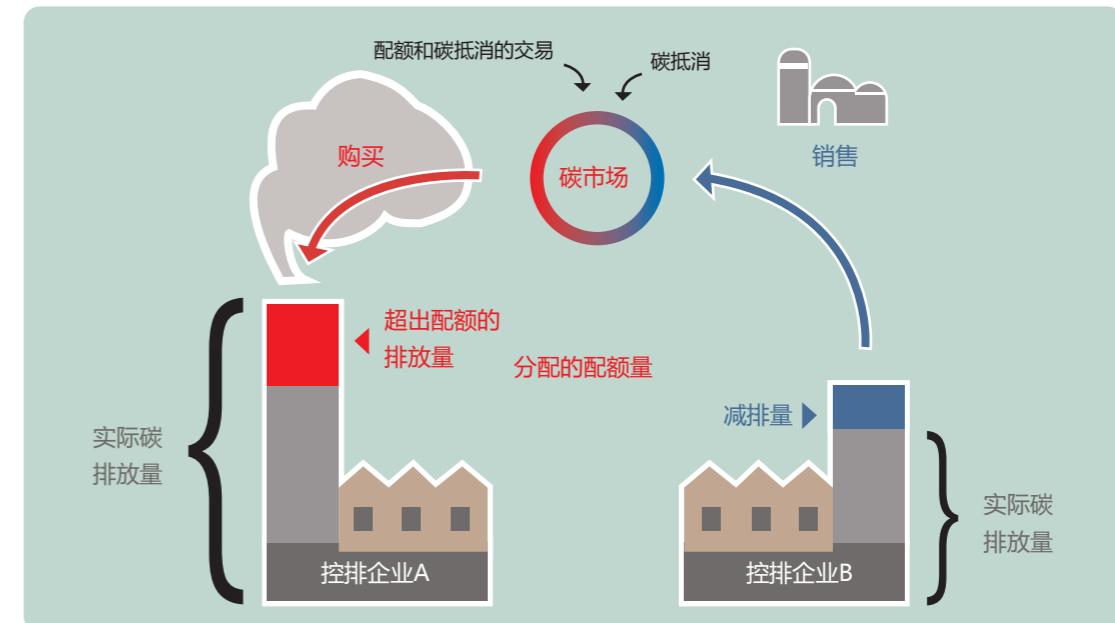
来源：碳金库

## 如何进行交易

碳排放交易体系的机制设计一般包括两个部分：  
1) 碳排放权交易，也就是在总量控制下的配额分配和交易；2) 允许对基于碳减排或碳汇项目产生的碳

绿色意识的消费者，这些企业对其活动所产生的排放做自愿性补偿，他们并没有参与市场的法律责任。自愿性碳市场的产生是由于有责任感的企业或个人对于减少碳排放的需求，而不是由于政府的介入，他们使用的减排单位为碳抵消，字面意思理解就是抵消其自身的排放。然而，自愿体系发挥的作用有限，这是因为它们吸引的是那些已经有环保意识的机构和个人；更重要的是，减排单位的购买者用这个办法来抵消其排放，但是他们的总排放量仍有可能在增加。2) 强制性碳市场。强制性碳市场则是通过建立一个“总量与交易”市场，通常包括碳排放量较大的发电厂和重工业企业等。通过分配给它们比实际需要还少的排放配额，由此而限制住了这些企业的排放总量，他们必须依法减少其排放或从市场中购买他方多余的配额，以满足其法定的履约需求；这是强制性碳市场最重要的特征。强制性做法的好处就是能将那些不愿意自主减排的企业纳入其中，并且通过事先设定总减排程度，来保证国家或区域减排目标的达成。

图 2：图解碳排放交易机制



来源：<http://cleanenergycanada.org/wpcontent/uploads/2017/03/cap-and-trade.png>

碳市场的逻辑就是，基于一个由国家主管部门确定的碳排放总量 (Emission Cap)，然后根据历史排放或行业基准对控排企业所允许的碳排放量进行分

配；排放量超过配额量的控排企业需要从其他企业或交易机构购买配额或一定比例的碳抵消，当然如果控排企业的排放量减少，也可以将剩余的配额卖出。

## 结语

出于对气候变化的考虑，中国近些年来也积极参与到国际谈判，并在全球气候领导力方面展现出越来越重要的角色。其次，在中国开展碳市场还能促进电力生产的去碳化、提高可再生电力的比例、促进所有行业能源和资源利用效率以及增加陆地生态系统碳汇量。而且，能源使用是温室气体最大的来源，也同时是空气污染物的主要来源之一，所以绿色低碳发展对于遏制中国日益严重的空气污染问题是有帮助的。碳市场能体现污染者对于所排放温室气体责任的承担，体现了“谁污染，谁治理，谁付费”的原则；相比于碳税，碳排放交易对于排放总量进行了限制并逐年减少，然而碳税则允许能负担得起的污染者一直无限制地排放。碳税经常被认为是碳交易的替代物，中国的气候变化政策制定者也在考虑应用碳税，可是产业对税收的态度是抵触的，企业往往不会直接尝试减少污染程度，反而会花费精力制造和利用避税漏洞或免税方式。碳排放交易这种基于市场的机制则允许公司从绿色解决方式的创新和实施中获利，激励公司增强其创新能力实现以更低的成本减少碳排放量。不过碳交易所有这些优势都要基于完善的市场监管以及公开透明的信息，我们将在后续文章中进行讨论。

## 具有中国特色的碳抵消项目发展之路

### The development of carbon offset projects with Chinese characteristics

林佳乔 / Lin Jiaqiao

#### Summary

Built upon the previous paper, this one introduces a flexible and low-cost supplementary mechanism in the carbon market, carbon offsets. The carbon offsetting project mechanism was designed to provide a low-cost option to the controlled entities for offsetting their greenhouse gas emissions and support the underdeveloped areas. Companies use carbon offset credits, within a certain percentage, to fulfil their carbon reduction obligations. They are helpful in the maintenance of absolute GHG emission reduction to sustain the 2°C target. As for the Chinese carbon offset project, China Certified Emission Reductions (CCER) projects, can be used to meet the compliance requirements for the emitters, yet it is now still in a state of suspension announced by national authority. This raises concerns of about the continuity and stability of carbon market policies.

我们在碳市场系列文章的第一篇探讨了碳排放交易是否是更优选择，以及中国碳市场的整体发展情况。本篇将介绍碳市场中的一个灵活且低成本的补充机制——碳抵消项目，它在中国碳市场的情景下就是指中国温室气体自愿减排项目。

#### 中国温室气体自愿减排项目

碳抵消项目的逻辑就是在什么地方的碳减排量或碳汇量经过审核和注册，可以在其他地方抵消相同数量的碳排放。从 2005 年兴起至今的清洁发展机制 (CDM) 在京都碳市场中发挥了重要的作用，截止到 2013 年 8 月底，在全世界范围内已经有 7200 多个项目获得注册，数量方面可再生能源类最多，不过签发的 CER (Certified Emission Reduction, 核证减排量) 中工业气体类项目占到了一半以上。碳抵消项目也是中国碳市场的重要组成部分。国家发改委于 2012 年 6 月发布了《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》，给出中国温室气体自愿减排项目的备案、开发和管理的规则，这些减排项目产生的碳抵消被称作 CCER，即中国核证减排量。

CDM 以及 CCER 等碳抵消项目机制都可以看成是

碳市场中为配额交易提供的补充机制，通过开发具有减排或增汇效益的项目而获取碳抵消信用，允许受控企业使用碳抵消信用完成自身的碳减排义务。碳抵消项目机制在设计之初就是为温室气体排放者提供了一个低成本的温室气体减排的选择，并且在支持落后地区的减排努力的同时，兼顾当地的可持续发展。然而，现实发展中却经常出现碳抵消项目与最初的设计准则背道而驰的现象。

虽说碳抵消在受控企业履行其减排义务时相当于配额，但是配额的使用是不受限制的，而碳抵消只允许使用特定比例；此外，配额实际上相当于主管部门对受控企业设置的排放限额，而碳抵消实际是主管部门允许受控企业或设施在排放限额外完成减排义务的灵活以及低成本机制。

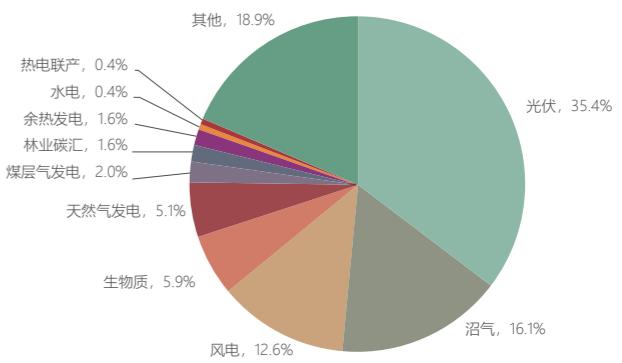
#### CCER 项目开发现状

根据世界银行碳市场观察报告以及国际碳行动伙伴组织 (ICAP) 碳市场进展报告显示，截止到 2016 年底，中国自愿减排交易信息平台公示 CCER 审定项目累计达到 2742 个，备案项目 861 个，签发项目 254 个，签发减排量共计 52,832,846 tCO<sub>2</sub>e (具体占比见图 1)。在签发项目中，第一类<sup>1</sup> 和第三类项目数量最多，分别为 139 个和 98 个，第二类项目 17 个，并没有第四类项目获得签发。

尽管以 CDM 项目为首的碳抵消项目取得了一定的成绩，对于推动发展中国家产业结构转型提供了资金，然而碳抵消项目的设计也决定了其与生俱来的缺陷，因为作为抵消机制来讲，碳抵消项目并不能带来全球 GHG 排放量净减少，因为项目带来的碳减排和碳汇量被用来抵消控排企业的排放量。但是如果要保持全球气温上升幅度不高

于 2°C，碳抵消可能还是我们所需要的，因为毕竟保持温室气体排放绝对量不增加，也是完成保守气候变化目标所必需的基础。

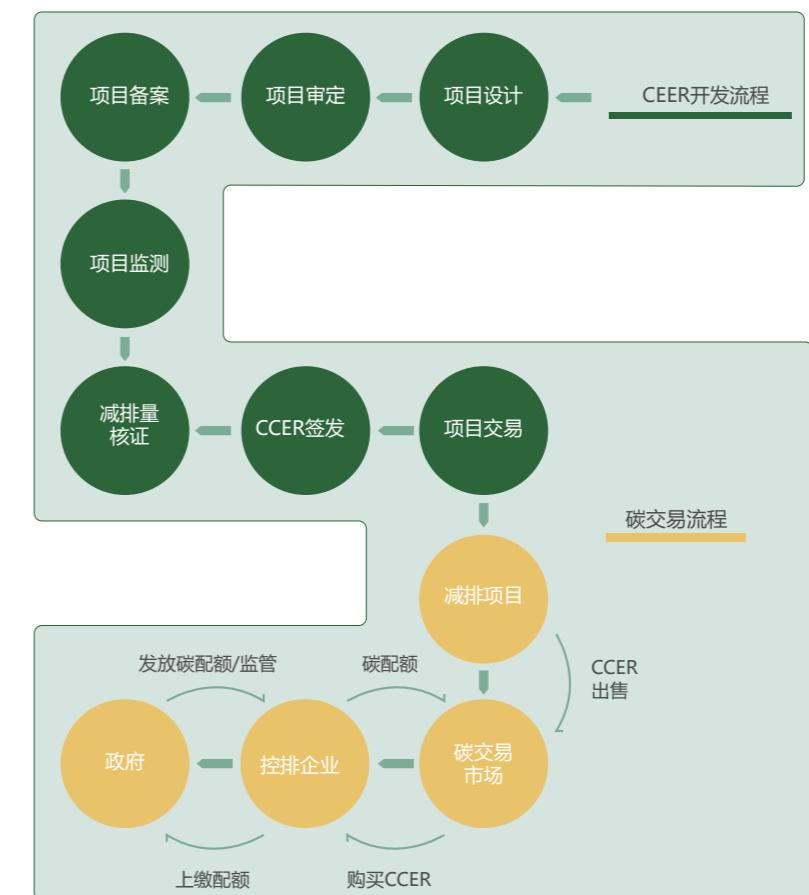
图 1：CCER 项目类型占比（按签发项目数量）



数据来源：磐之石环境与能源研究中心

#### CCER 项目的开发流程

图 2：CCER 项目的开发流程



来源：北京京能碳资产管理有限公司

根据国家《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》的有关规定，具有温室气体减排增汇潜力的项目按照国家主管部门批准的方法学要求，经国家发改委批准备案，产生的核证减排量（CCER）可用于满足控排企

业的履约要求。CCER 项目的开发流程包括对潜在项目进行评估，编制项目设计文件、审定、主管机构备案、项目监测、核查、减排量备案、减排量交易等步骤，具体流程详见图 2。

## 结语

目前 CCER 项目其实是处于暂停状态，这源于 2017 年 4 月国家发展改革委发布的一则公告，该公告暂缓了温室气体自愿减排交易方法学、项目、减排量、审定与核证机构、交易机构备案申请的受理。这次“暂缓”动作让人对碳市场政策的连续性和稳定性产生质疑，但是发改委也表明已经应用了 4 年多的《温室气体自愿减排交易管理暂行办法》在施行中确实存在着温室气体自愿减排交易量小、个别项目不够规范等问题。这体现出来国家碳市场主管部门对于碳抵消项目本身的质量是有一定担忧的，这也是我们未来会持续关注的一个话题，也就是如何提高中国碳抵消项目的质量，让更多能满足可持续性原则且真正具有额外性的项目得到备案，以获得来自碳交易的收益。

## 碳市场为什么要给碳汇项目开绿灯——因为不属于“灰色”碳抵消项目吗？

**Why does the carbon market give green light to carbon sink projects?**

林佳乔 / Lin Jiaqiao

### Summary

This paper discusses the sustainability of carbon offset projects. For example, carbon sink projects had been considered as a controversial project category, and the EU-ETS does not allow such offsets project to enter the transaction, mainly due to the concern of the permanence of their carbon sequestration. The author's position on carbon sink projects is relatively tolerant due to its novelty, and contribution to sustainable development. For carbon offset projects having significant problems with sustainability, we therefore called them "gray" carbon offsets. Preliminary assessment is done by analyzing the projects in the CCER project pipeline and the potential issues are listed. Carbon offset projects such as large hydropower are called "gray" carbon offsets due to their controversial environmental and social impacts. Also, waste incineration projects violate the sustainability criteria. The discussion on the sustainability of the CCER project is still relatively weak in China. The problems existing in CDM projects could also appear in China's carbon offset projects. Therefore, these gray offset projects should be concerned.

在德国波恩进行中的《联合国气候变化框架公约》第 23 次缔约方大会（UNFCCC COP 23），中国气候变化事务特别代表解振华提到全国碳排放权交易市场的各项准备工作已经就绪，目前已进入国务院最后审批阶段，正在准备启动。而且他也特别举例说碳汇项目会被纳入碳市场，进而有人推测碳汇类碳抵消项目将可能受到碳市场参与方的青睐，一时间关于碳汇项目的讨论也多了起来。

实际上碳汇项目在国际上也是存在着争议的，而且欧盟碳市场并不允许此类项目进入交易，主要是考虑到其固碳持久性问题。我们对于碳汇项目的立场是比较宽容的，而且这类碳抵消项目在中国的发展还是要给予一定时间进行观察。本篇会聚焦于那些在可持续性方面有明显问题的碳抵消项目，引出“灰色”碳抵消项目这一概念，并对 CCER 渠道中的项目进行了总结，就其潜在问题进行分析。

### 灰色碳抵消项目

碳抵消项目在理论上应该是一个为欠发达地区吸引节能减排及碳汇项目资金投入的手段，并带动先进技术转移至欠发达地区，对项目当地的可持续发展做出贡献。不过国际以及地区的碳抵消交易实践表明，在碳交易体系中存在着减排量巨大但环境和社会有效性很低的碳抵消项目，如大水电、垃圾焚烧发电、氧化亚氮（N<sub>2</sub>O）、以及火电厂燃料替代等类型；我们称

这类项目为灰色碳抵消项目，即环境和社会有效性较低的项目类型（不具有额外性，不可持续或对当地居民造成健康影响的项目）。灰色项目由于其碳抵消产量巨大且价格低廉，曾经在国际市场上很受欢迎，例如在 2008-2011 年 EU-ETS 中，N<sub>2</sub>O 和 HFC-23 项目产生的核证减排量（CER）被受控企业设施的使用量占到所有 CER 使用总量的 80% 以上；2012 年，欧盟航空

### 注释：

1. 对申请备案的自愿减排项目的要求是：项目应于 2005 年 2 月 16 日之后开工建设，且属于以下四类之一：
  - 1) 采用经国家主管部门备案的方法学开发的自愿减排项目；
  - 2) 获得国家发展改革委批准作为 CDM 项目，但未在联合国 CDM 执行理事会注册的项目；
  - 3) 获得国家发展改革委批准作为 CDM 项目在联合国 CDM 执行理事会注册前就已经产生减排量的项目；
  - 4) 在 CDM 执行理事会注册但减排量未获得签发的项目。

业被纳入体系的第一年的 CER 使用量为 1250 万，其中 88% 是来自于以上两类项目。

EU-ETS 作为国际碳交易体系的代表，对碳抵消项目类型和来源做出了限制，因为欧盟意识到一方面碳抵消的供求不平衡会使抵消市场持续低迷；另一方面这些灰色项目可能带来的可持续性方面的问题。欧

## CCER 渠道中灰色项目情况

2013 年 3 月初公布了第一批中国温室气体自愿减排方法学备案清单中的 52 个方法学，其中包括氧化亚氮 ( $N_2O$ )、氢氟碳化物 (HFCs) 等工业气体类碳抵消项目类型。2013 年 10 月份，CCER 交易信息平台已经可以访问，第一批 11 个项目已经处于审定阶段向社会公示，其中大多数是可再生能源类风电和太阳能发电项目，有两个工业余热回收利用项目和一个天然气热点联产项目。截止到 2017 年 4 月底，在 CCER 交易信息平台列出的方法学共有 200 个，垃圾焚烧项目相关方法学也都在列。

根据 CCER 的交易管理办法，如果没有在联合国

盟一直不允许来自森林碳汇项目的碳抵消，从 2013 年起已经禁止大水电、HFC-23 以及  $N_2O$  项目产生的抵消。并且要求在 2012 年底之前未注册的项目要进入 EU-ETS，那么它们就一定要是来自于最不发达国家 (Least Developed Country, LDC) 的项目。

获得注册的 CDM 渠道中项目，都可以选择在 CCER 注册成 CCER 项目。这会直接导致两个可能的问题：1) 重复计入的可能性增大。即在两个或以上的注册体系内注册并签发碳抵消量，CCER 体系中提到审核机构要核实项目是否在其他地方取得注册；2) 问题项目回流至国内。因为这部分所谓的“灰色”项目在国际上不允许交易或需求较低，大部分已经回流到国内。这些灰色项目所使用的方法学目前都已经出现在 CCER 方法学备案清单上了，可见 CCER 方法学备案并未充分考虑项目本身的环境和社会效益，可能更多的是站在项目的角度，维护项目业主的利益。

以上提到的这些灰色项目的大部分中，垃圾焚烧项目有 3 个是原来 CDM 渠道中的项目，其他是在 CCER 之下新开发的抵消项目。而大水电中有一半 (54 个) 是已经在 CDM 渠道中回流到国内 CCER 寻求备案的项目。而工业气体类项目 (HFC-23 和  $N_2O$ ) 目前渠道中还没有，但如果未来出现这类项目，由于其减排量巨大，将可能会压低中国国内碳交易权价格，而这类碳抵消在欧盟、澳大利亚及新西兰碳交易市场已遭到禁用。

从数量上来看，如果这些灰色项目都备案了，每

## 结语

关于 CCER 项目可持续性的讨论在国内还是比较少的，我们也希望通过这一系列的分析文章提高对于此议题的关注。如何识别并评估 CCER 项目的可持续性，并且把控进入中国试点碳交易体系中的碳抵消项目的环境完整性是政策制定者需要充分考虑的。因为我们的 CCER 体系对于上述灰色项目的方法学都是几乎直接拿来用的，CDM 项目中存在的问题也同样会出现在中国的碳抵消项目交易中。对于这些灰色项目的态度应该是谨慎的，政策制定者是应该禁止使用特定类型的项目，还是在国家层面鼓励如林业碳汇等项目类型呢？我们认为市场主管部门做出哪种决定都应该是建立在经得起推敲的评价准则的基础上，后续文章会就此进行讨论。

表 1：CCER 项目渠道中灰色项目统计

项目类型	项目数量和减排量	潜在的问题
垃圾焚烧	渠道中 31 个项目获得备案，有 83 个项目在审定中。年均减排总量将近 1370 万 tCO <sub>2</sub> e。	这些垃圾焚烧发电项目以资源回收和绿色电力之名获取可再生电价补贴以及碳抵消收入；不过他们产生的环境和社会问题已经在各地显现，二噁英、多环芳烃、重金属污染都潜在威胁着附近居民的健康以及区域大气和食品安全。
大水电	共有 109 个项目（20 兆瓦以上）；年均减排总量将近 3900 万 tCO <sub>2</sub> e。	大水电项目会产生移民问题以及对生态环境产生不良影响，如洄游鱼类产卵场所隔绝与野生动物栖息地淹没；而且大水淹没的植被和安置移民等产生的碳排放数量巨大。目前欧盟等地的碳市场已限制未经世界水坝委员会认可的大水电项目。
三氟甲烷 (HFC-23) 分解	目前没有	来自 CDM 项目的大收入鼓励项目业主产生更多的氯二氟甲烷 (HCFC-22)，也就产生了更多可以焚烧处理的 HFC-23，即更多的潜在减排量。而 HCFC-22 本身是消耗臭氧层物质，应尽量减少使用量，鼓励更有效的制冷剂替代技术，显然不是追求更高利润而提高 HCFC-22 的产量。
氧化亚氮 ( $N_2O$ ) 分解	目前没有	碳抵消的潜在利润驱使非碳抵消工厂利用注册项目的己二酸工厂生产线，以销毁更多的 $N_2O$ ，这会造成泄露。硝酸工厂似乎不涉及碳泄露问题，但目前的硝酸工厂 $N_2O$ 减排项目对采用更高效的技术，即产生更少 $N_2O$ ，有着反作用，因为项目业主更乐于看到更多的来自于 $N_2O$ 销毁产生的碳抵消项目收益。
煤电厂	目前没有	新建的低碳排放煤电厂如果获得碳抵消收入，就等于鼓励了对煤炭的使用，这些新建的电厂还会增加二氧化碳的排放，更会恶化火电厂的大气污染物排放已经带来的巨大健康和环境问题。
总结	5270 万 tCO <sub>2</sub> e	

来源：中国自愿减排交易信息平台截止到 2017 年 4 月底的数据

## 注释：

- 全国碳市场恐要年底启动。碳道。链接：<http://www.ideacarbon.org/archives/39092>。

年的减排量接近 5300 多万 tCO<sub>2</sub>e。碳抵消项目允许使用的比例应该在交易总量的 5-10%，按照国家碳市场覆盖 50 亿 tCO<sub>2</sub>e 这样一个规模来看<sup>1</sup>，理论上对于 CCER 的需求量在 2-4 亿。这些灰色碳抵消的市场供应量会占到总需求量的 1/4 到 1/8 之间。这个比例应该是很高了，而且由于灰色碳抵消项目往往都是单个项目 CCER 产生量巨大，根据各碳市场的发展经验，它们无疑会拉低整个 CCER 的市场价格。那这些国内碳市场的价格靠什么支撑？

## 垃圾管理与碳市场：垃圾焚烧发电项目不可持续且不低碳

**Waste management and carbon market: Waste-to-Energy incineration projects are neither sustainable nor low carbon**

毛达、林佳乔 / Mao Da , Lin Jiaqiao

### Summary

This article focuses on the analysis of Waste-to-Energy incineration projects using the methodological feasibility studies. Waste incineration does not meet the principle of sustainable development and is not a preferred measure for carbon emission reduction in the solid waste sector. To reform and improve the national carbon market, “gray” projects such as the Waste-to-Energy incineration projects need to be removed.

因为沿袭了“清洁发展机制”(CDM)的主要运行机制和方法学体系，我国碳市场也顺理成章接受垃圾焚烧发电项目申请备案注册成为碳抵消项目，相关项目产生的“核证自愿减排量”(CCER)也可以进入市场交易。在上一篇分析文章中，已经对于“灰色”碳抵消项目进行了介绍，其中的垃圾焚烧发电项目会作为本文及下一篇文章的案例分析项目类别，我们将从以下几个方面来论证垃圾焚烧发电项目不应该被纳入到中国的碳市场：

- 1、垃圾焚烧这种处理方式不可持续；
- 2、碳减排的优选垃圾管理措施并不是垃圾焚烧发电；
- 3、项目“基准线”选取错误；
- 4、垃圾焚烧项目已经不具“额外性”

这一篇我们主要讨论前两点：也就是垃圾焚烧发电项目的可持续性和垃圾管理的优选措施。

### 垃圾焚烧不可持续

碳抵消项目的初衷应该是一个为欠发达地区吸引节能减排及碳汇项目资金投入的手段，并带动先进技术转移至欠发达地区，对项目当地的可持续发展做出贡献。然而，与其他众多“灰色项目”类似，垃圾焚烧发电项目在满足碳市场基本准入条件上存在着严重的问题。某些项目虽然可以通过特定方法学证明其有一定的“减碳”效益，但因存在其他难以忽视的社会、环境、健康或经济方面的负面影响，总体上不能促进，甚至反而损害可持续发展目标的实现。

2015年9月，世界各国领导人在一次具有历史意义的联合国峰会上通过了2030年可持续发展议程，

该议程涵盖17个可持续发展目标(Sustainable Development Goals, SDGs)<sup>1</sup>，于2016年1月1日正式生效。这些新目标适用于所有国家，也应当被看作是潜在碳抵消项目是否可以获准进入国际、国内碳市场的重要参考标准。

纵览联合国17个可持续发展目标，有至少8个是与生活垃圾管理有关的。表1列举了相关目标的内容，并简述它们与生活垃圾管理的关联性。

比照下述8个可持续发展目标，生活垃圾焚烧技术不仅欠缺可持续性，甚至会损害某些目标的达成。

表1：与生活垃圾管理相关的联合国发展目标

目标	主题	内容	关联
目标2	农业	到2030年，逐步改善土地和土壤质量。	土地和土壤质量改善，需要有机质回补，而生活垃圾中有机质的高效循环利用会对此产生重大贡献。
目标3	健康	到2030年，大幅减少危险化学品以及空气、水和土壤污染导致的死亡和患病人数。	目前，生活垃圾本身可能含有大量有毒化学品，其处置过程也可能产生化学品污染，因此，生活垃圾管理本身的重要目标就是减少危险化学品污染，降低环境健康伤害。
目标7	能源	到2030年，大幅增加可再生能源在全球能源结构中的比例。	生物质在一定的条件下可被视为可再生能源，生活垃圾中生物质的能源利用也应当满足相应的条件才能成为可再生能源。
目标10	平等	确保机会均等，减少结果不平等现象，包括取消歧视性法律、政策和做法，推动与上述努力相关的适当立法、政策和行动。	垃圾管理过程，特别是垃圾处理设施的选择，很可能伴随社会平等问题。
目标11	城市	到2030年，减少城市的人均负面环境影响，包括特别关注空气质量，以及城市废弃物管理等。	与生活垃圾管理直接相关，侧重垃圾处理产生的污染问题。
目标12	消费与生产	到2030年，通过预防、减排、回收和再利用，大幅减少废物的产生；到2020年，根据商定的国际框架，实现化学品和所有废物在整个存在周期的无害环境管理，并大幅减少它们排入大气以及渗漏到谁和土壤的机率，尽可能降低它们对人类健康和环境造成的负面影响；对鼓励浪费性消费的低效化石燃料补贴进行合理化调整。	与生活垃圾管理直接相关，测中废弃物在其全生命周期内对环境和健康的影响。
目标13	气候变化	略	与目标7范围里垃圾的能源利用有关，也与本章讨论的垃圾管理领域的碳抵消项目有关。
目标16	正义	确保各级的决策反应迅速，具有包容性、参与性与代表性。	垃圾管理过程也需要增强决策的反应速度、更包容、更具多元参与性和代表性。

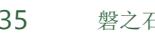
来源：联合国可持续发展目标 / 磐之石环境与能源研究中心

### 碳减排的优选措施不是垃圾焚烧

2013年，联合国环境署(UNEP)和联合国训练研究所(UNITAR)在其《国家废弃物管理战略指南：将挑战化作机遇》(Guidelines for National Waste Management Strategies: Moving from Challenges to Opportunities)报告中提出，一个国家垃圾管理宏观政策和战略应有的整体目标是：“遵循废弃物管理的优先次序原则：在源头将废弃物产生量减到最小；将可用物料尽量导向重复使用、回收利用、循环再生过程，目的是将送往填埋和废物能源利用处置设施的废物总量减到最少。”

这一论述清楚地表明，垃圾管理的优选措施，既不是填埋，也不是焚烧，更不是这两者的互相替代，而是要通过源头预防、前端减量、中端分类、后端回收利用同时减少垃圾的填埋和焚烧量。欧洲联盟确立的垃圾管理优先次序原则同样强调，即便能够提取一部分能源，焚烧和填埋仍然是整个管理体系中最应当抑制的措施；要落实这一原则，就必须保证更优措施获得更多利好的政策优惠和经济激励，而非相反。

从碳排放核算的角度，同样可以说明在固废管理领域，垃圾焚烧对于“碳减排”的作用非常有限。根



据联合国政府间气候变化专门委员会（IPCC）公布的全球碳排放清单，固废末端处理所占全球碳排放总量仅 3%。也就是说，如果只在末端处理具体技术的变换上做文章，固废行业对全球整体的减排贡献无论如何都是很小的。

如果考虑了更优的源头和前端措施，情况则大大不同。2015 年，联合国环境署与国际固废管理协会（ISWA）在其《全球废弃物管理展望》报告中指出：从整个生命周期的视角看，综合垃圾管理带来的碳减排可达全球排放的 10–15%；如果考虑预防产生措施，

## 结语

对于不符合可持续发展原则并且不具备低碳属性的垃圾焚烧发电项目，中国碳市场应该保持谨慎的态度。诚然，根据目前获得中国碳市场备案的《CM-072-V01 多选垃圾处理方式》方法学（第一版）<sup>2</sup>，垃圾焚烧项目是有可能被“计算”出具有“碳减排”作用的。但是，这一方法学的基本前提是用“焚烧来替代填埋”，从可持续垃圾管理理念来看，无非就是用一种劣选方案替代另一种劣选方案。倘若中国碳市场乃至全球范围的 CDM 机制的崇高目标是真正地促进可持续发展，那么将有限的碳市场资金投向劣选方案的互相替代，其结果不仅大大伤害了碳市场机制的崇高性，也会影响垃圾管理领域优选措施的推进。

## 注释：

1. 联合国可持续发展目标。链接：<http://www.un.org/sustainabledevelopment/zh/sustainable-development-goals/>.

2. CM-072-V01 多选垃圾处理方式。链接：  
<http://cdm.cchina.gov.cn/archiver/cdmcn/UpFile/Files/Default/20140123143306450584.pdf>.

可达 15–20%。同年，欧洲的独立环境智库 Eunomia 在其《固废管理对低碳经济的潜在贡献》报告中也通过大量的数据分析揭示出：与垃圾有关的碳排放主要在于生产阶段；循环利用的减排效果非常明显；填埋与焚烧之间的相互替代没有显著差别。

因此，通过碳市场机制为垃圾焚烧项目提供碳抵消收入，从根本上既不能实质贡献于全球气候变化应对，还有可能对垃圾管理和碳减排更优措施的发展构成“此消彼长”的抑制作用。

## 垃圾管理与碳市场：垃圾焚烧发电项目不满足、不符合碳市场规则

**Waste management and carbon market: Waste-to-Energy incineration projects do not meet the carbon market rules**

毛达、林佳乔 / Mao Da , Lin Jiaqiao

### Summary

This article focuses on the analysis of Waste-to-Energy incineration projects using the methodological feasibility studies. One of reasons why waste incineration projects should not be included in China's carbon market, is that "baseline" selection error is evident. The problem of carbon emissions from waste disposal derives from the large amounts of greenhouse gas emissions mainly from landfill gas. If 90% of methane is collected and converted to carbon dioxide, its greenhouse gas emissions of volume will not necessarily be higher than that of waste incineration. The landfills in China do not meet the national standards and the waste management and environmental pollution control have major defects in the rule of law.

“垃圾管理与碳市场：垃圾焚烧发电项目不可持续且不低碳”对于垃圾焚烧发电项目的可持续性以及垃圾管理层级体系进行了讨论；由于该类“灰色”碳抵消项目在中国碳市场中是应用《CM-072-V01 多选垃圾处理方式》方法学来进行备案注册的，本文将着重分析垃圾焚烧发电项目在使用该方法学论证项目是否合格时存在的问题。

### 项目设计“基准线”选取错误

即使目前垃圾焚烧项目仍可进入中国的碳市场，且其合理性尚未得到谨慎评估，但不少已经提交申请或通过备案的项目在方法学的论证上却已被发现存在严重的问题，“基准线”选取错误便是其中最突出的。

我们在 CCER 项目资料库中<sup>1</sup> 选取了北京地区两个典型垃圾焚烧项目的项目设计文件（PDD）作为分析对象：一个是“北京首钢生物质能源项目”，另一个是“北京高安屯垃圾焚烧项目”，前者已经获得备案，后者则仍在审核当中。在垃圾焚烧项目适用的 CM-072 方法学所列的众多可选基准线情景中，这两个项目不约而同地选择了 M3——即“在没有 LFG 捕获系统的 SWDS 处理新鲜垃圾”，作为其“实际可行的基准线替代方案”。这里的“LFG”和“SWDS”分别指的是“填埋气”和“固体垃圾处理场”的意思。而“基准线”的涵义则是：一种能够合理代表在不开展拟议项目活动情况下的温室气体人为源排放量的假设

情况。

在确认 M3 为可行基准线的同时，上述 PDD 还需说明其他候选基准线情景不可行的原因，它们着重否定的是 M2，即“在带有捕获一部分 LFG，并焚毁捕获的 LFG 的 SWDS 处理新鲜垃圾”。北京首钢生物质能源项目 PDD（2014 年 8 月 21 日完成）这样论证 M2 不可行：“根据《生活垃圾填埋场污染控制标准（GB16889-2008）》，填埋场应采取措施减少甲烷排放。但安装填埋气收集利用设备需要大量的投资而且不能产生利润，因此这些规定并没有在中国得到广泛应用，只有 3% 的填埋场拥有填埋气回收和利用装置。因此，M2 不是实际可行的基准线替代方案。”北京高安屯垃圾焚烧项目 PDD（2015 年 8 月 19 日完成）的理由则是：“目前，北京市周围已批准的垃圾处理设施的填埋气均未被收集。因此，M2 不是本项目现实可行的基准线替代方案。”

实际上，以上论述皆违背当时的现实。首先，根据 2014 年发表在学术期刊的论文《生活垃圾填埋气体释放特征及收集效率研究》，早在 2008 年时，全国 547 座填埋场就已有 43 座有填埋气收集，比例达 7.9%，此数据与首钢项目所说的“3%”相去甚远。其次，

### 违法“基准线”不会一直存在下去

前述北京首钢和高安屯两个垃圾焚烧项目在 PDD 文件中基准线造假嫌疑的存在，并非偶然。因为如果被它们否定的 M2 情景存在，尤其是现行的《生活垃圾填埋场污染控制标准（GB16889-2008）》得到切实执行，很可能意味着焚烧项目不会产生实际的碳抵消结果，在经济上不能带来效益。所以，只要有可能，项目设计者就会尽力否定 M2，有时甚至连不实的信息都会编造出来。

上述国家标准的 9.2.2 节中要求：“生活垃圾填埋场应采取甲烷减排措施；当通过导气管道直接排放填埋气体时，导气管排放口的甲烷的体积百分比不大于 5%。”根据科研文献的介绍，填埋气中甲烷体积一般占比 50% 左右，如果要使排放口甲烷体积百分比不大于 5%，通过收集措施达到的减量率应达到 90%。

熟悉垃圾处理碳排放问题的人士都应当清楚，垃圾填埋场产生的大量温室气体排放主要来自于填埋气中的甲烷，其气候变暖潜势值是二氧化碳的 25 倍。如果 90% 的甲烷被收集且转化成二氧化碳，其温室气体排放量并不一定会比垃圾焚烧高，一方面的原因是焚烧处理过程同时将生活垃圾中的生物源和化石源碳

即便是在北京本地，自上世纪 90 年代阿苏卫垃圾卫生填埋场建成运行以来，该市合法垃圾填埋场就有填埋气收集，包括高安屯垃圾焚烧项目选址紧邻的高安屯卫生填埋场。

转化成了二氧化碳排放，而填埋场的排放则绝大多数都来自于生物源的碳。所以，一旦国家标准成为填埋场运营的常态，垃圾焚烧的碳抵消合格性论证可能完全不可行。

不过，应当承认的现实是，我国相当多的填埋场的确仍达不到国家标准的要求，这实际意味着“违法运营”现象的存在。也就是说，一些焚烧项目 PDD 所青睐的 M3 基准线是一种“违法”情景。尽管碳市场方法学在确定项目基准线情景时遵循的是“实际”情况，并不以法规要求为参照，使得相关 PDD 的论证符合碳市场的规则，但其结果却无意间揭示出我国生活垃圾管理和环境污染控制存在着重大的法治缺陷。

然而，一项已经发布并实施将近 10 年的国家标准会一直成为“空文”下去吗？当然不会，尤其在生态文明建设成为中国特色社会主义建设的关键一环，环境法治成为环境保护工作重中之重的今天，更加不会。因此，以正常的预期来看，中国碳市场垃圾焚烧碳抵消项目方法学中的 M3 基准线，即一种“违法”情景一定会很快被消除，在这种预期之下，碳市场管理者应尽快检讨垃圾焚烧项目准入的适合性。

### 垃圾焚烧项目已经不具“额外性”

“额外性”是碳市场中碳抵消项目应具备的另一必要条件。早在 2007 年，便有张研彦等人发表的学术论文《垃圾焚烧发电 CDM 项目额外性及方法学研究》这样论述垃圾焚烧项目的额外性问题：

虽然城市生活垃圾焚烧在控制温室气体方面有诸多优点，但是作为 CDM 项目，首先必须满足其减排效益额外性要求，所谓的额外性是指 CDM 项目活动所产生的减排量相对于基准线是额外的，即这种项目活动在没有外来的 CDM 支持下，存在诸如财务、技术和政策方面的竞争优势和 / 或障碍因素，靠国内条件难以实现，因而该项目的减排量在没有 CDM 时就难以产生。反言之，如果某项目活动在没有 CDM 的情况下能够正

常商业运行，也即无减排量的额外性可言。

城市生活垃圾焚烧发电作为 CDM 项目受地区经济条件限制，其对于沿海城市缺乏必要的额外性需求；对于我国中部等欠发达区域，由于经济、技术等方面的原因，通过 CDM 机制能够有效地避免这些区域生活垃圾露天填埋所带来的地下水污染和大量温室气体排放。

虽然以上论述针对的是 CDM 项目，但由于中国碳市场的准入规则在额外性要求上与 CDM 一致，所以同样适合本文所讨论的垃圾焚烧 CCER 碳抵消项目。我们有理由推断：十年过去，随着中央和地方政府不断

增加对垃圾焚烧行业的各方面支持，包括将焚烧项目纳入国家和地方的环卫发展规划，并匹配以相应的投资计划、财政补贴、融资优惠等，相关碳抵消项目不仅在东部沿海城市继续缺乏额外性，在很多中西部地

区同样也可能不再具有额外性。而让明显不具额外性的项目继续进入碳市场，并获得碳减排或碳汇收入，无疑是对那些真正需要通过碳市场融资才能够获得发展的真正碳减排项目的一种伤害。

### 结语

综上所述，垃圾焚烧因不符合可持续发展的原则，不是固废领域碳减排的优选措施，在合法“基准线”下不具“碳抵消”的可行性，以及不具有“额外性”，完全不适合进入碳市场，并获得碳市场资金的支持。中国碳市场的改革和完善，需要将更多的“灰色”项目剔除出去，这项工作应当从垃圾焚烧发电项目开始。

#### 注释：

1. 中国自愿减排交易信息平台备案项目。链接：<http://cdm.ccchina.gov.cn/zyblist.aspx?clmId=164>

## 电力行业与碳市场：是值得期待的“八分之一”吗？

### Power industry and the national carbon market: Opportunities and Challenges (1)

林佳乔 / Lin Jiaqiao

#### Summary

As the power industry will be one out of eight covered industries for the national carbon market, the discussions between the power industry and the carbon market are essential given that it's the first industry to be included in the national carbon market. This article discusses the first four out of seven aspects by analyzing the opportunities and challenges of integrating the power industry into the national carbon market. Aspects are (a) the reasons for the advancement of the power industry, (b) the benchmarks for allowance allocation in the power industry, (c) free distribution of quotas, as well as (d) potential problems for the power industry and the potential for emission reductions in the power industry. The power industry should be chosen as the first pilot industry as it covers the largest share of carbon emission. However, after the implementation of energy-saving measures, China's power plants have limited room for efficiency improvement as it will be a too much endeavor. The emission reduction potential of the power industry after its integration into the carbon market will depend on the future carbon price and the development of innovative technologies.

全国碳市场如果仍然要在 2017 年底之前上线，那剩下的时日可真是屈指可数了。前文也提到了，电力行业将是此前公布的八个覆盖行业中仅存的一个，显然讨论是否应该纳入更多行业已经为时已晚，但是对于电力行业和碳市场的讨论应该继续，毕竟这是第一个要纳入全国碳市场的行业。

在 12 月 6 日，中创碳投与德国国际合作机构（GIZ）和国际碳行动伙伴组织（ICAP）在杭州召开了碳交易电力市场监管国际研讨会。与会的欧盟专家强调了碳市场下纳入电力行业应该遵循的准则，也指出欧盟碳排放交易体系（EU-ETS）的经验和教训应该让中国的碳市场管理者尤其注意，如免费配额发放、复杂行业基准值等方面，这些问题在中国电力市场目前市场化程度并不高的情况下可能更需要谨慎实行。

接下来两篇文章就用以下几个问题作为主线来分析将电力行业纳入全国碳市场后存在的机遇及挑战：

- 1、全国碳市场为什么电力行业先行？
- 2、电力行业是按照什么基准进行分配配额的？
- 3、免费分配配额给电力行业会有什么潜在问题？
- 4、虽然是电力行业碳排放占比最大，但是这意味着它的减排量是最大的吗？
- 5、电力市场改革对碳市场有什么影响？
- 6、当前低市场化的中国电力部门如何向下游传导成本？
- 7、电力行业的其他政策对于碳市场有什么影响吗？

这一篇我们主要讨论前四各方面：电力行业先行的原因、电力行业进行配额分配的基准、免费分配配额给电力行业的潜在问题和电力行业减排量潜力。

#### 为什么电力行业先行？

虽然电力行业是原有计划中覆盖行业的“八分之一”，但是就排放量来讲，其他七个行业加总起来也仅仅是电力行业的一个零头。根据不同来源的统计，中国目前的电力部门大约每年排放量在 35-40 亿吨二氧化碳，这意味着电力行业的排放大约占中国所有能源消耗排放的一半<sup>1</sup>。如果对于全国碳市场原有八个覆盖行业总量在 45-50 亿吨二氧化碳这样的一个规模来讲，很显然电力行业占比无疑是绝对大头。

除了排放量大之外，电力行业的其他特征让碳市场主管部门更加坚定地将其选定为首批行业，从技术层面讲，电力行业集中度高、产品单一、数据基础较好、MRV 相对容易实施、管理成本较低；由于以上特点，

电力行业的配额分配具有采用基准值法的基础，而这种分配方法在其他行业遇到了阻力，然而他们所青睐的采用历史排放计算的方法有可能出现配额过量分配的风险，这也是没有将更多的行业纳入的一个原因。此外，首先纳入电力行业的可能也考虑到其国有企业占比比较高，并且国内的电力行业基本不参与国际竞争。

出于以上考虑，将电力行业作为首批试点行业是在情理之中，既覆盖了最大的排放部门，也保证中国仍将成为全球最大的碳市场，规模还是会接近两倍于 EU ETS；同时，也可以先从电力部门获取足够的经验，然后逐渐增加对于其他部门的覆盖。

#### 电力行业是按照什么基准分配配额的？

2017 年 5 月的《全国碳交易市场配额分配方案（讨论稿）》（以下简称《讨论稿》）初步确定了电力、电解铝、水泥三个行业的配额计算方案，并面向部分企业及专

家征求了意见。当前电力行业内进行配额计算所参考的方法文件就是该讨论稿中列出的计算公式和行业基准参考值<sup>2</sup>。

$$\text{企业配额量} = \frac{\text{国家行业基准}}{\text{国家发改委}} \times \frac{\text{地方行业调整系数}}{\text{地方发改委}} \times \frac{\text{企业当年产品实际产量}}{\text{企业}}$$

表 1：电力行业配额分配基准值对照表

行业	划分基准	配额分配基准值	单位
电力行业 (供电)	超超临界1000MW机组	0.8066	
	超超临界600MW机组	0.8267	
	超临界600MW机组	0.8610	
	超临界300MW机组	0.8748	
	亚临界600MW机组	0.8928	
	亚临界300MW机组	0.9266	tCO <sub>2</sub> /MWh
	高压超高压300MW以下机组	1.0177	
	循环流化床IGCC300MW及以上机组	0.9565	
	循环流化床IGCC300MW以下机组	1.1597	
	燃气F级以上机组	0.3795	
电力行业 (供热)	燃气F级以下机组	0.5192	
	燃煤机组	0.1118	tCO <sub>2</sub> /GJ
	燃气机组	0.0602	

数据来源：《全国碳交易市场配额分配方案（讨论稿）》

控排电力企业的配额量确定是由国家发改委确定的国家行业基准、地方发改委确定的行业调整系数以及企业当年产品实际产量三个数值相乘得到，关于配额未来的调整也预留了空间，提到需要综合考虑国家减排目标、行业配额缺口、企业压力测试模拟结果等因素。

### 配额免费分配给电力行业会有什么潜在问题？

电力行业的初始配额分配采取免费分配的方式应该是可以肯定的了。这就涉及到了一个绕不过去的问题，欧盟当年的免费分配导致了电力行业获取的巨额利润(windfall profits)以及配额过量分配的问题，这些是否会在中国碳市场中出现类似的情况。欧盟专家也不断的提到，免费分配配额会造成市场的扭曲，为了避免潜在的负面市场影响，应该对配额采取有偿分配如拍卖，然后逐渐提高拍卖的比例。

由于免费获得配额，控排企业并没有因此而付出

### 虽然是电力行业碳排放占比最大，但是这意味着它的减排量是最大吗？

降低燃煤电厂的碳排放主要是以下三种方式：用碳排较低的燃料替代煤炭（如天然气甚至是生物质）、提高能源使用效率、以及碳捕获与储存(CCS)<sup>3</sup>。由于过去几个“五年计划”中节能减排政策的实施效果，以及火电行业的技术进步，中国燃煤电厂在发电能耗方面已经是接近国际先进水平了。未来在碳市场的排放总量控制下，碳减排的空间来自于能效提高应该很有限，因为节能措施已经实施多年，找到继续提高能

应有成本，这会让企业将免费获得的配额视作自身的资产，并不会主动投资到减排措施中。同时，免费分配还会对于未来电力投资释放了一个不良信号，也就是说鼓励电力集团对于高碳电力（煤炭或天然气）的投资，而不是投向可再生电力。在中国电力市场化程度较低的现实之下，企业不能向下游传导增加的碳成本，这也给了电力企业跟碳市场主管部门更大的议价空间。

### 结语

国内的七个碳交易试点都将电力行业作为控排部门纳入，在国家碳市场的先行试点行业中，电力部门也不出意外的成为主管部门认为应该首先覆盖的行业。虽然从原来的八个行业缩进至目前的一个，可是这“八分之一”是含金量最高的，其排放占比最大，行业碳核算优势明显；尤其是在国家碳市场的完备程度还不高的情况下，发改委这一谨慎态度也不失为一个明智之举，既完成对外的承诺建立全国市场，又将排放最大的行业纳入，体现其控排决心。因为中国的电力行业目前正面临着市场化改革的关键阶段，下一篇文章会分析电力市场改革与碳市场相关的几个问题。

### 注释：

1. 排放交易在中国——电力行业碳排放交易模拟。链接：<https://www.iea.org/media/translations/chinese/cbeex.pdf>.
2. 全国碳市场初期规模或超 50 亿吨。来源 <http://www.ideacarbon.org/archives/39385>.
3. Reducing Emissions from Coal Plants. 链接：<http://www.canadiancleanpowercoalition.com/files/2912/7299/7032/3%20Ways%20to%20Reduce%20Emissions%20from%20Coal%20Plans%20-%20Factsheet.pdf>.

## 电力行业与碳市场：关系错综复杂、机遇与挑战并存

### Power industry and the national carbon market: Opportunities and Challenges (2)

林佳乔 / Lin Jiaqiao

### Summary

China's power industry is facing a crucial stage of market-oriented reforms. Thus, this paper analyzes several questions related to power market reform and the carbon market. Currently, the national carbon market covers only the power industry. The power market reform will create an effective and competitive market structure and market system to improve the efficiency of the power sector and to increase safety by letting the market decide electricity prices. The carbon market intends to promote the market-based tool of the carbon emissions trading system to achieve a low-carbon power system. However, current policies cannot coordinate miscalculations of the current power market reform and the slowly evolving carbon market. A coordinated policy mix between the electricity market and carbon market is needed to better integrate the power industry into the national carbon market.

随着国家发改委印发关于《全国碳排放权交易市场建设方案(发电行业)》的通知<sup>1</sup>（简称“建设方案”），中国碳市场于 12 月 19 日通过发改委新闻发布会正式宣布启动。如此前预期，全国碳市场覆盖范围目前只纳入了电力行业。我们上一篇文章讨论了电力行业为何先行、配额分配方法、减排潜力等问题。本篇将分析电力市场与碳市场的关系。

### 电力市场改革对碳市场有什么影响？

中国本轮电力市场改革是要还原电力的商品属性、构建有效竞争的市场结构和市场体系、形成主要由市场决定电力价格的机制，这是国家领导层对于国家能源体系改革道路的明确指示<sup>2</sup>。这些措施和机制背后的目标其实是为了提高电力部门的效率、提高安全性、促进社会公平性、以及提升环境质量等。

考虑到目前中国的电力市改革所处的阶段及其复杂性，以及碳市场也才初具雏形，这两个市场的相关政策还做不到充分协调，应该说在现阶段不相互制约就算是不错了。例如，中国目前的电力调度机制并没有遵从市场需求，因此碳交易无法有效助力电力系统低碳化的目标；所以碳市场主管部门有必要参与到完善电力调度机制的工作中。电力市场改革对于碳市场

的影响会主要体现电价方面，相比于管制度较高的电力体系，基于市场的电价形成机制会更有利于碳市场配额价格的稳定。

碳市场对于电力体制改革的意义在于让火电企业的环境外部性（温室气体排放）得以计入，促进实现火电行业的优胜劣汰，淘汰落后老旧的高排放机组，发展高效率、低排放的新型机组，为火电供给侧改革提供动力。此外，纳入全国碳市场对于电力行业来说产生了碳成本，这种成本约束会倒逼电力结构优化，改善发电结构、提高发电效率，促进电力行业朝着更低碳的方向发展；通过碳市场的有效运作，也会释放明确的低碳投资，确保更多的可再生能源电力能优先上网。

## 中国电力行业如何向下游传导碳成本？

由于目前电力部门的市场化程度较低，发电企业的成本并不能顺利向下游传导。电价市场化是电力体制改革的核心之一，如果本轮电改还原了电力的商品属性，电力市场化交易比重在未来将会逐步提高；随着市场化电价所占的比例越多，碳市场向下游的传导的可能性会更大。

需求侧的用电成本在高度市场化的电力市场中是会降低的，主要得益于电力体制改革带来的电力部门整体效率提高以及社会福利的公平分配。在这种未来情境下，碳市场带来的碳成本是更加容易向下游传导

的，对于促进全社会低碳发展也是很有意义的。

影响电力价格的因素之一是可再生电力的比例及其发电成本，如果在容纳更多可再生能源的电力体系里，电力市场效率提高带来的电价降低可能被可再生能源的高成本所抵消。这会导致的一个问题就是，在碳价格较高的情况下，碳成本向下游传导可能会遇到阻力。然而考虑到未来可再生能源在成本方面会越来越具有竞争力，而且社会对于清洁电力增加的成本可能是会更宽容的，未来的碳成本向下游传导也应该不存在大的障碍。

## 电力行业的其他政策对于碳市场有什么影响吗？

《建设方案》中也提到碳市场的建设要“按照供给侧结构性改革总体部署，加强与电力体制改革、能源消耗总量和强度‘双控’、大气污染防治等相关政策措施的协调”。可见如何协调碳市场与电力改革以及其他节能减排政策之间的关系也是被重点强调了，体现了政策制定者也期待这些组合政策能带来更好的协同实施效果。不过这并不是一个简单的事情，有专家提到要以碳定价作为能源转型的主线来制定一系列的组合政策，从长远来看这未必不是一个更优选择。

一旦碳市场正式启动，市场监管部门就应考虑到这些配套政策对于碳价的影响，如果配额价格始终处于较低水平，这些配套政策可能会减少对于低碳技术或设施的投资，而对于高碳设施的继续运行产生了鼓

励效应。

此外，应该如何处理那些与碳排放交易体系有重叠的政策，如可再生能源目标、碳排放强度目标等？需要区别哪部分减排是来自于碳市场而额外于其他重叠政策的（额外性体现），这样才能更清楚知道碳市场机制是如何促进电力行业碳减排的。

总结来说，凡是有利于低碳技术、能效提高、可再生能源发展的政策都会对碳市场产生协同效应，促进碳市场的有效性（但是要考虑到政策重叠导致的额外性问题）。反之，那些与碳市场所推行的行业低碳化相抵触的政策是应该移除或者重新调整的。

## 结语

中国电力行业的复杂性让电力体制改革推进缓慢，碳排放交易体系这个基于市场的工具是否能促进中国更加低碳的电力体系发展，我们将拭目以待。在市场化电力占比逐步提高的过程中，我们也将会看到碳市场的更有效运作。电力市场与碳市场二者互相影响，关系错综，这就需要更有协调性的政策组合，所以接下来的两年对于这两个市场来说应该都是非常关键的，将面对前所未有的机遇，当然也会迎来更多的挑战。

### 注释：

1. 国家发展改革委关于印发《全国碳排放权交易市场建设方案（发电行业）》的通知。链接：[https://qhs.ndrc.gov.cn/qjfzjz/201712/t20171220\\_871258.html](https://qhs.ndrc.gov.cn/qjfzjz/201712/t20171220_871258.html).
2. 习近平主持召开中央财经领导小组会议。链接：[http://www.nea.gov.cn/2014-06/17/c\\_133413362.htm](http://www.nea.gov.cn/2014-06/17/c_133413362.htm).