

## 中国能解决空气污染与气候变化问题吗？

迈克尔·迈克艾罗伊 (Michael B. McElroy)

作为联合国气候变化框架公约 (UN Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) 的参与方, 来自196个国家的代表于2015年12月在巴黎会面, 以商谈解决人类活动所造成的气候变化问题。燃烧化石燃料 (包括煤、石油和天然气) 所排放的二氧化碳就是这一问题的主因。中国则是最大的排放国。如果缺乏解决这一问题的全面策略, 中国乃至全世界都将被迫面对不确定和具有潜在危险的气候前景, 很可能增加破坏性极端天气现象的出现, 包括热浪、洪水和旱灾。与此同时, 中国还面临更急切的问题: 空气污染正危害国民的健康。这两个问题有着密不可分的联系。要应对气候变化问题, 最终还是需要中国彻底改变其能源经济, 从目前依赖化石燃料转向危害更少的选项, 如风能、太阳能、核能与水能。如果中国能够成功转型, 其空气质量也将有望回复到之前的健康水平。当然, 中国要成功转型并不是一件易事。

联合国气候变化框架公约各缔约方均同意设定一个目标, 限制未来全球平均表面温度的升幅不超过前工业时代摄氏2度的标准。要实现这一目标, 各国就必须在许多方面作出艰巨和前所未有的改变, 以达至未来的能源需求。首要处理的是必须限制二氧化碳的排放。它是温室气体中最主要的一种, 在调节

从地球表面释放到太空中的红外线辐射中有着举足轻重的角色。在其他因素相同的条件下，温室气体浓度上升将导致地球吸收的太阳能的净增加。这不仅会导致地球表面的平均温度上升，还会增加储存在海洋中的热量。结果很可能是未来的气候会出现巨大变化，而我们可能对此严重缺乏准备：极端气温和降雨量、洪水与旱灾出现频率增加、更猛烈的风暴，以及海平面的毁灭性上升等。化石燃料的燃烧是过去几个世纪中在大气层内产生的额外二氧化碳的主要来源。

对南极中心地带冰层中隔绝的空气样本的分析表明，在过去85万年的大部分时间里，二氧化碳浓度一直在百万分之180—280 (ppm) 之间波动——在冰川期处于较低水平，在温暖的冰川间隔期处于较高水平，每十万年左右在地质记录中交替出现。二氧化碳浓度在150年前因工业革命所带来的能源需求增长而开始上升，从而偏离了其长期趋势。在20世纪后半期，二氧化碳浓度的增速大大加快，而目前的水平已超过400ppm。即使采用巴黎气候大会中关于限制二氧化碳排放量的最乐观预测，二氧化碳浓度在未来几十年可能仍会继续上升，达到自6500万年前的恐龙时代以来未曾有过的水平。

赶在巴黎气候大会之前，中国于2014年11月11日在北京展开一项关键的发展行动计划，以解决气候变化问题。习近平主席和奥巴马总统承诺限制自己国家未来的温室气体排放量。自2006年超越美国之后，中国是目前全球最大的温室气体排放国。习近平主席承诺中国的排放量将在2030年或更早达至顶峰，而非化石能源届时将占中国全部的初级能源消费的20%。需要说明的是，2012年，煤炭占中国初级能源消费的73%。奥巴马总统则承诺美国至2025年的碳排放总量将比2005年减少26—28%。两个承诺都非常宏大，敦促其他国家像那时准备巴黎气候大会一样提出相应的计划。正如白宫发表的一份情况简报所述：“习主席的承诺要求中国至2030年新增800—1000吉瓦 (GW) 的核能、风能、太阳能及其他零排放性质的发电量——超过中国现有的全部煤炭发电厂的发电量，同时也接近美国目前

的总发电量”。

习近平主席的声明可以被视为是中国继早前“十一五”和“十二五”经济发展规划所提出的合理延伸措施。中国随后制定和公布更为迫切的目标，要求为煤炭消耗量设定42亿吨的上限，天然气占初级能源总供给量的10%，核能发电量将提高至58吉瓦，另有有30吉瓦正在建设中，水能发电能力将提高至350吉瓦，风能发电量增加至200吉瓦，太阳能光伏发电量增加至100吉瓦，非化石燃料占初级能源总消耗量的15%—所有这些目标将在2020年前实现。假如能够达成这些宏大的目标，中国实现习主席宣布的长期目标的前景也会变得合理和明朗。

如前文所述，除对气候变化的担忧之外，中国还有其他重要理由削减化石燃料的消耗量。中国需要解决严重的空气污染威胁到国民健康的问题。这种空气污染的来源可以划分为直接和间接两类。因为燃烧低品质和未经处理的煤炭而产生的烟尘就是前一类污染源的例子。除了因燃烧不完全所产生的一系列碳化合物（统称为煤烟）外，烟尘中可能还含有各种有害气体，包括二氧化硫（SO<sub>2</sub>）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）与一氧化碳（CO）等。这一污染源通常比较明显，我们可以直接看到从工厂、发电厂和烧煤供暖住宅的烟囱所排出的烟，或是从往来汽车和卡车所排放的废气。其解决方案通常也较为显而易见，可以通过采取一系列措施来减少污染物的排放。当然，这往往需要通过极端污染事件来触发相关减排行动。

1952年，英国伦敦有超过四千人因为直接排放引起的空气污染事件而丧生，有些人甚至命丧在大街上。那场灾难就是因为有大量直接排放的污染物积聚在空气中而引起的。同时，英国出现罕见的天气现象，即气温与海拔之间的关系为逆相关。当地的这种异常稳定的天气环境，令城市的工厂和民居所排放出来的烟尘和有害气体在12月4-8日这四天之中难以消散。发生污染事件后，很快便引发了政治回响。议会禁止在伦敦使用烟煤，法案随后被进一步扩展，禁止英国所有的城市居民在家

中燃烧煤炭。中国目前面临的不仅是与引发伦敦雾霾事件类似的空气污染物问题，还受到空气中因发生次级反应所形成的产物的间接影响。解决后者的问题相对来说更加困难。

中国终于在2013年1月敲响警号。首先主要关注的是空气中直径小于2.5微米的微细悬浮粒子（统称PM<sub>2.5</sub>，或雾霾）。随着美国驻北京大使馆屋顶上仪器测量的PM<sub>2.5</sub>数据通过社交媒体扩散，人们的担忧加剧了。这些数据显示，中国的PM<sub>2.5</sub>浓度明显高于官方发布的水平。问题变得非常严重，以至于某些时候甚至已难以辨认只是一街之隔的物体。相对于对能见度造成的影响，更严重的是此类有害混合物会危害人的健康。这些微细悬浮粒子非常细小，可以直接深入人体的肺部并进入血管，对长期暴露在外和体质较差的人带来严重、甚至危及生命的心血管和呼吸系统疾病。

情况在2013年加剧，1月的大部分时间里，中国东部地区出现大面积气象逆温，在更大范围和更长时间内再出现导致伦敦60年前灾难的气象条件。《洛杉矶时报》（Los Angeles Times）在1月13日的报道中，评论中国那次的严重事件，并称当时的污染“导致高速公路封闭，航班与体育赛事被取消，无数出现呼吸症状的人被送往医院”。中国官方的《中国日报》（China Daily）也评论说：“如果更重视高楼大厦的密度，按照住宅区的面积比例种植更多树木，并严格控制汽车数量，大城市的空气质素会变得更好”。公众的反应非常急切，迫使中央政府采取相当进取的措施来处理此问题，包括新颁布的《大气污染防治行动计划》（Air Pollution Prevention and Control Action Plan, APPCAP）。测量PM<sub>2.5</sub>浓度的中国城市数量增加了一倍多，结果会实时在政府网站上公布。中央政府能否缓解这个受到高度关注的问题，确实关系到其自身的声誉。对普通民众而言，空气污染问题显然比气候变化所带来的威胁更值得关注。

矛盾的是，中国式的污染可能对气候变化反而有积极效应。中国的污染事件中包含的部分细颗粒物颜色较为明亮。此外，

它们可能会增加成云过程所需的成核剂浓度：愈多的成云粒子会形成愈多具反射作用的云层。其净效果可能是增加对阳光的反射，某程度上降低由于温室气体浓度上升而增加的地球温度。然而，我们当然不应以此为由推迟行动，不去解决导致地方和区域性污染的有害混合物的问题。

产生此类间接污染源的物理和化学因素可能相当复杂。如果缺乏对相关过程的详细了解，解决特定问题的行动可能适得其反，带来更多的危害，而非帮助。美国在1950-1960年代处理光化学烟雾（photochemical smog）的经历可以提供佐证。当时的政府机构花了一段时间才得出结论：臭氧浓度的上升是洛杉矶市民出现肺部不适症状的主要原因。间接证据表明，汽车是重要的促成因素，然而臭氧却不是直接由车辆排出，而是因为空气中的氮氧化物与碳氢化合物混合体在阳光照射下产生光化学作用而成的。汽车废气是氮氧化物的主要来源。碳氢化合物则来自多种人为和自然的源头，后者包括树木和植物等可能十分重要的来源。臭氧的大量增加主要取决于氮氧化物与碳氢化合物来源的相对排放量。在某种模式中，减少氮氧化物的排放可能导致臭氧浓度上升，在化学上被称之为碳氢化合物受限。在另外一种模式中则可能出现相反的结果：增加氮氧化物会导致臭氧浓度上升（处于氮氧化物受限）。在应对PM<sub>2.5</sub>水平上升带来的挑战时，中国的政策制定者也可能遭遇类似的两难处境。

中国的PM<sub>2.5</sub>污染物中包含多种化学成分，如有机碳、元素碳、硫酸盐、硝酸盐等。这些粒子的组成物质与浓度会根据时间和地方有显著不同。先导排放物则包括二氧化硫、氮氧化物与氨气（NH<sub>3</sub>）等气体。燃烧煤炭及数量更少的石油和天然气是二氧化硫和氮氧化物的主要来源；而氨气的产生和排放则与农业、畜牧业乃至人体排泄物有关。特定污染事件的严重程度涉及多个因素。首先是污染物的成分和浓度。其次是主导的气象条件，会影响这些污染物是在空气中扩散，还是停留不散。第三是污染物排放时候空气中的光化学状态。这可能会加速或延

迟二氧化硫和氮氧化物转化为硫酸盐与硝酸盐粒子的速度。如果情况严重，则有可能进入自我强化状态。光化学烟雾的成分吸收阳光，可以使上层大气升温，同时减弱抵达地球表面的阳光强度。其净效应可能是造成地球表面温度较低，而大气温度较高，导致大气稳定性得以提高，从而更有效地阻止污染扩散。问题显然是很复杂的，但必须加以解决或至少得以缓解。

回到本文标题所提出的疑问：中国能否成功解决空气污染与气候变化问题？我的结论是肯定可以的，但过程并不容易。目前的优先任务应该是解决空气污染。限制氮氧化物、二氧化硫与微粒等传统污染物排放量的技术方案是存在的，应该尽可能广泛而迅速地实施。同样重要的是促进研究，增加对污染背后的物理和化学过程的认识，以便日后在政策制定方面提供有效的指导作用。长远而言，如果我们能成功解决气候变化的难题，空气污染问题就可以迎刃而解。大部分与空气污染有关的问题都涉及化石燃料的使用。有见及此，如果我们转向使用结合风能、太阳能、水能、核能与地热能的新能源系统，而不再是煤炭、石油和天然气，那将大大有助净化空气。