

强化市场机制, 改善空气质量

气候变化, 空气质量与 经济

推进中国环境与经济共同繁荣的一体化政策

2015年6月



保尔森基金会
PAULSON INSTITUTE



一体化政策有望让天空更明净，同时不妨碍经济发展，一如此刻夕阳下的北京。



关于保尔森基金会

保尔森基金会由亨利·保尔森先生在2011年创立，是一家“知行合一”的智库，我们的使命是推动环境保护及中美两国的可持续发展，并加强两国的经济互依关系，推进跨界投资。基金会的工作基于以下原则：只有中美两国互补协作，才能应对当今最紧迫的经济和环境挑战。保尔森基金会是一个独立、非党派机构，总部位于芝加哥大学，同时在北京、旧金山、纽约和华盛顿设有工作团队。基金会的工作主要是通过项目、倡导和研究，推动经济增长、创造就业机会、可持续城镇化发展、推行负责任的环境政策。本智库发表的研究报告主要侧重中国当前面临的重要宏观经济、能源战略以及中美经济关系等领域。www.paulsoninstitute.org

前言

尊敬的读者，

我们荣幸地推出《气候变化、空气质量与经济：推进经济和环境共同繁荣的一体化政策》背景研究报告，正式拉开保尔森基金会“气候变化和空气质量项目”2015年的活动序幕。

中国当前所面临的最重要的课题中，空气质量和气候变化赫然在列。必须在中国的经济增长进程中予以解决。与此同时，从任何意义上来讲，如果中国的经济增长要真正实现可持续，必须要将关键的环境问题纳入其经济发展的整体战略中来考虑和解决。

保尔森基金会的气候变化和空气质量项目认为，通过一体化的政策和监管战略，中国可以而且能够从综合层面解决空气质量、气候变化和经济增长问题。在本背景报告中，我们论证了中国的空气质量和气候问题的紧迫性，从环境和经济两方面说明了为什么要从整体上综合解决这些问题，而不是采用相互独立和分离的政策；我们同时对通过强化市场的作用，更有效地配置全国的资源，从而降低排放进行了具体论述。

本文只是一篇背景报告，还不是一套具体的政策建议，但它是我们将在2015年发表的专业领域的系列论文的开篇报告。“强化市场机制，改善空气质量”系列论文的重点议题包括：电力体制改革、需求响应、碳排放权交易和建筑能效公示等领域的政策建议。

总体来说，气候变化和空气质量项目认为：我们可以同步建设繁荣的经济和清洁的环境。洛杉矶等城市在20世纪50年代的雾霾程度与北京现在的情况不相上下，其经验已经证明可以在经济建设的同时同步提高空气质量。虽然洛杉矶及周边地区花了几十年时间才使这些环境问题得以彻底解决，但中国有这些现成的政策经验可以参照，而且现在有很多包括低碳能源在内的新型商业化技术可以借助，因而可以在更短的时间内解决其环境问题，同时创造大量新的就业机会。

未来几个月，气候变化和空气质量项目将研究并提出关于政策和技术机制方面的相关建议，希望能够支持中国、特别是京津冀地区，实现其经济和环境发展目标。我们衷心期望与中国该领域内的政策机构、行业翘楚及业界专家携手共建气候变化和可持续发展的新进程。



Kate Gordon 凯特·戈登
气候变化和可持续城镇化项目副主席



Ellen Carberry 柯凯丽
董事总经理，气候变化和空气质量
项目主任

2015年6月

按效率顺序对燃煤电厂进行调度，而不是为每家电厂分配相同的小时数，这样可以减少排放，节约资金。



目录

前言	1	2.5 其它政策措施：更加注重能效	30
导言	3	2.5.1 工业能效有所提高，但仍有可为	31
执行摘要	5	2.5.2 汽车驾驶和油耗上升使交通运输效率变得日益重要	32
背景：中国应对空气质量和碳排放问题的紧迫性		2.5.3 中国各地都可以大幅提高建筑能效	32
1.1. 简介：大气污染和气候变化的经济后果	5	2.5.4 提高工业、交通运输和建筑业节能成效的建议	33
1.2. 大气污染严重影响公众健康	5	2.6 控制空气污染的其它措施：告别化石燃料	33
1.3. 大气污染正在阻碍中国经济发展	6	2.6.1 中国正在加大可再生能源电力生产	34
1.4. 中国极易遭受气候变化的影响	6	2.6.2 中国正在提高天然气产量和进口量	35
政策差距分析		2.6.3 中国几个省份已设置煤炭消费上限	36
2.1. 简介：中国整合空气质量、气候变化及经济政策的重要性	9	2.6.4 加快告别化石燃料的建议	38
2.2. 迄今为止的政策进展	10	2.7 摘要和结论	39
2.2.1 《大气污染防治行动计划》可以提高经济政策	11	关于作者	52
2.2.2 《国家应对气候变化规划》要求到2020年将高耗能行业的二氧化碳排放总量稳定在2015年的水平	13		
2.2.3 《环境保护法》修订加强了环保部门的权威并提高了处罚标准	14		
2.3. 其它措施：有效的执法	14		
2.3.1 执法：历史背景	14		
2.3.2 环保部门的人员配备和权限	15		
2.3.3 数据监测和报告	16		
2.3.4 关于加强执法的建议和结论	18		
2.4. 其它措施：加强政策协调	20		
2.4.1 多污染物策略	20		
2.4.2 雾霾构成趋势意味着需要进行更系统化的多污染物控制措施	24		
2.4.3 需要加强京津冀地区的区域协调	26		
2.4.4 需要加强空气质量和气候应对机构之间的协调	28		
2.4.5 需要加强环境和经济政策之间的协调	29		
2.4.6 加强区域协调和政策整合来改善环境的建议	30		

导言

保

尔森基金会气候变化和空气质量项目组认为，中国能够在追求经济繁荣的同时解决空气质量和气候问题。眼下，中国正面对这一考验。

长期以来，中国的经济增长一直依赖于重工业投资，这是目前空气质量和气候问题的主要成因。我们认为，在中国，特别是在高度工业化的北京、天津、河北（简称：京津冀）地区，存在着一条不同的发展道路，使中国在继续促进经济发展的同时应对空气质量问题并缓解气候变化。

气候变化和空气质量问题都是中国亟需解决的当务之急，因为它们直接影响着中国及其经济健康和福祉。保尔森基金会建议通过一体化政策来解决这些问题，可以通过提高能效和推进燃料煤改来实现。这样做还有助于处理与能源、创新、经济转型相关的紧迫的政策问题。例如，提高能效不仅有助于减少废气排放，还可以降低电厂和煤矿的用水量。

本报告简述中国空气质量、碳排放量及环境政策现状的背景和相关文献。本文就中国如何同时实现经济和环境目标这个紧迫问题，为环境保护和金融部门的决策者和倡导者们提供背景参考。在接下来的几个月里，保尔森基金会气候变化和空气质量项目组将发表一系列论文，以京津冀地区为重点，对若干经济部门展开深入研究，将该地区视作一个更广泛的可持续经济增长战略的重点示范区。

在2014年，中国74个大城市中只有八个达到了国家空气质量标准。



双重影响：与气候变化相比，中国的空气污染是一个更加显著的问题。这两个问题的紧迫性和解决方案均有所不同。更加重视节能，使用清洁能源替代煤炭，可以降低传统空气污染物和温室气体排放。

执行摘要

气候变化和大气污染都是当今中国面临的紧迫问题。大气污染是中国面临的一项严峻挑战，大多数中国大城市的污染程度远远超出了国际卫生专家认为可以接受的水平。例如，在2014年，中国74个大城市中只有八个达到了国家空气质量标准。¹此外，中国还面临着气候变化带来的重大长短期风险，包括极端天气增多、影响中国粮食供应和农村经济的干旱天气会变得更频繁、持续时间更长。此外，中国有多达6000万人生活在易受洪水侵袭的沿海低地，这一数字超过任何其它国家。²

有关的经济和健康数据都证实了中国的大气污染和气候变化问题的紧迫性：清华大学和北京大学2014年的一项研究表明：2012年，因煤炭消耗引起的环境大气污染导致的死亡人数新增值约为67万。³污染导致的死亡率和发病率上升造成的全年经济损失估计在1000亿美元到3000亿美元之间。⁴

为了全面应对气候变化和空气质量问题，中国必须同步减少多个排放源。针对大气污染来源，包括空气动力学当量直径在2.5微米以下的细颗粒物（PM_{2.5}）、氮氧化物（NO_x）和二氧化硫（SO₂）的科学分析表明，大气污染是一个非常复杂的问题。虽然煤炭是能源机构中最大的环境PM_{2.5}污染来源，而工业则是各部门中最大的污染源，但复杂的大气化学和中国不断变化的天气状况意味着所有部门在不同的时间与季节都对污染起到了推波助澜的作用。通过烟囱和尾气排放控制技术（有时称为“管末处理”方案）来单独处理污染是不够的，原因有以下几点：首先，中国人民银行首席经济学家马骏所做的定量分析表明，即使对这些污染物采用技术上可以实现的最大排放控制，再加上其它现行政策，仍不足以实现政府制订的目标，即到2030年将环境PM_{2.5}浓度控制在30微克/立方米；⁵其次，控制个别污染物排放量通常会增加其它污染物的排放量。⁶在某些情况下，如硫和氨，减少一种污染物（例如硫）的排放量，而不改变另一种污染物（例如氨）的排放量，可能增加其它污染物的形成；⁷第三，实施排放控制成本高，并且往往会锁定目前的生产模式，而综合控制所有排放类别的政策，例如提高能效或采用非化石能源等，往往能更好地优化长期投资。

中国可以将政策措施集中于两个具体领域：提高能效和进行燃料煤改，最大程度解决气候变化和空气质量这两个问题。减排政策及其执行的重点通常都是针对特定行业实施管末处理方案，如针对电站的氮氧化物排放标准，或汽车的尾气排放标准。这些方案通常一次只控制一种或几种污

强化市场机制，改善空气质量

2015年夏天，保尔森基金会的气候变化和空气质量项目组将发表一系列论文，探讨市场机制在减排和提高能效领域发挥的作用。

电力行业

深化改革——降低排放，改善空气质量，促进经济增长

需求响应

降低能源使用、排放和成本的高回报性解决方案

建筑能耗公示

如何运用楼宇的能耗公示降低成本并提高效率

排放权交易

推出成功的碳交易体系

中国有多达6000万人生活在易受洪水侵袭的沿海低地，这一数字比任何其它国家都高。

染物，使能源生产保留在当前模式，甚至可能会导致其它污染物排放量的上升。与此相反，推动提高能效和燃料煤改的政策可以在降低所有污染物排放的同时，实现多项政策目标。通常，能效投资或操作上的变化可以降低成本，实际上还能省钱，例如，采用LED照明和更好的建筑保温材料所节约的资金足以支付其成本，光是简单地改变现有发电机组的利用模式，更多地使用更清洁、更高效的机组，中国每年就可以节省数十亿元人民币。⁸

除了政策措施外，市场机制也可以起到有效分配能源资源以减少排放的重要作用，这符合十八大三中全会制定的目标。

保尔森基金会气候变化和空气质量项目重点关注的具体领域包括：

电力行业：根据各燃煤电厂的效率高低而不是按相同的小时数来分配调度，能在节约资金的同时减少排放。改变电厂的调度制度通常还可以在不添加昂贵的新输电线线的同时增加可再生能源的并网量。

电力需求响应：需求响应是指根据电网的需求来增加或减少电力使用，通常用于减少高峰负荷，但也可以将负荷转移到风能或太阳能供应过多的时



沿海城市：中国有6000万人生活在地势低洼、易受洪水侵袭的沿海低地，这一数字超过任何其他国家。

段。南加州实施电力公司需求响应方案后，仅在新一代能源上投入了少量额外资金，就使圣欧诺弗核电站退役。⁹

排放权交易：美国和欧盟实施的排放权交易方案显示，这种制度能够使决策者实现长期减排目标，同时让企业和其它市场参与者从经济有效的角度发挥减排的灵活性。中国已经开展了排放权交易的试点项目，目前正在积极努力建立全国性的碳市场和碳排放交易体系。

建筑：建筑能源公示——要求建筑物业主们在公开网站披露住宅、商业或政府建筑的能源利用情况——这是一项新的政策实验，纽约、奥斯汀和西雅图等美国城市以及欧盟正在试点。这能为租户和业主们提供有关自身建筑与其它建筑的重要对比数据，同时还能决策者们就如何推动建筑能源升级做出决定提供新信息。

经济繁荣和清洁环境齐头并进：在广泛的碳交易体系下，类似于洛杉矶的城市乃至整个加州的情况都已经证明，在发展经济和维持生活质量的同时，解决当地空气质量问题和全球性碳排放量问题是可能的。此外，采取积极的政策来推动低排放、低碳能源发电，以及提高能效促进创新和新兴产业在美国和中国的发展，是一个能创造就业机会和使经济向更高技术和更优质增长模式转型的过程。最后，可再生能源系统（尤其是太阳能和风能）的成本大幅降低，使得经济转型比五年前更有经济可行性。美国和欧洲的一些城市为清洁空气和经济转型花了几十年时间，而中国可以利用各种现成商用技术（包括排放控制技术、可再生能源技术、节能建筑技术和电动汽车等），创造数以百万计的新就业机会，同时解决空气质量和气候变化问题。

为了全面应对气候变化和空气质量问题，中国必须同步减少多个排放源。

背景： 中国应对空气质量和碳排放问题的紧迫性

大气污染和气候变化正在损害中国经济及公众健康

1.1 简介：大气污染和气候变化的经济后果

中国作为一个发展中国家，在快速发展经济的同时，要做到兼顾治理大气污染和温室气体排放这两个问题尤为困难。身为一个发展中国，中国缺乏资金和技术来承担领导责任，发达国家可能需要扮演更重要的角色。¹⁰ 但是，在过去三年里，中国逐步采取了更为积极的态度和行动，尤其是在空气质量方面，措施和力度更为积极。

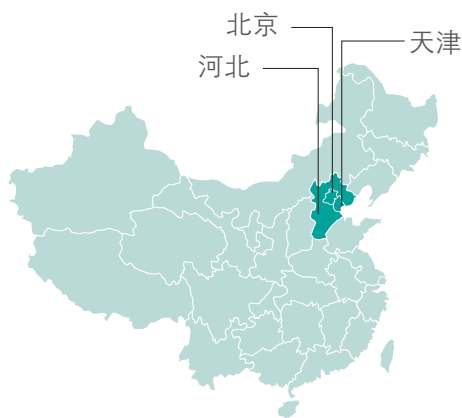
措施和力度更为积极。2013年1月北京遭受严重雾霾长达数周之后，普通民众更加意识到大气污染的负面影响，政府也努力提高污染数据的透明度，并通过改善法律、政策和执法来应对大气污染与气候变化问题。与此同时，政府也以更积极的行动应对气候变化问题，例如2014年11月发表的《中美气候变化声明》，中国在声明中首次提出碳排放绝对总量要在2030年左右达到峰值。

本章概述了中国大气污染和气候变化问题的严重影响和紧迫性的已有研究。对于中国的严重影响和紧迫性。归根结底，这两个问题的紧迫性已经成为中国决策层通过一体化政策应对气候变化和空气质量问题的主要原因之一。而推动政策整合所需的其它因素，比如引起气候变化和空气质量问题的各种排放源，以及更加重视从整体上综合解决这两个问题的必要性，将在第二章讨论。

1.2 大气污染严重影响公众健康

针对中国大气污染的诸多国内外研究报告都指出，大气污染有致命影响，在中国影响范围较广。在许多情况下，很难完全掌握——从全国范围来看，空气污染导致的死亡人数超过最致命的地震和洪水造成的死亡人数。例如，《柳叶刀》杂志2013年发表的《2010年全球疾病负担研究》显示，2010年，大气污染导致中国120万人过早死亡。¹¹ 研究表明，颗粒物污染是伤残调整寿命年的第四大风险因素，仅次于吸烟、高血压和不良饮食习惯。¹² 2013年对淮河（中国燃煤集中供暖区域的分界线）以北死亡率的一项研究发现，淮河以北的颗粒物含量显著提高，公众平均预期寿命缩短了五年半。¹³

* 中国是世界最大的温室气体排放国，并将超过美国，成为1990年以来累积二氧化碳的最大排放国。中国人均排放量高于欧洲，但低于美国。



2012年，煤炭消耗产生的环境大气污染导致的超额死亡人数约为67万。这些超额死亡人数中约有35.5万分布在污染严重的华北平原。

中国的研究也得出类似结果。清华大学和北京大学2014年的一项研究表明，2012年，煤炭消费产生大气污染而导致的超额死亡人数约为67万。¹⁴ 其中约35.5万分布在污染严重的华北平原。报告作者还指出，因污染患慢性病的人数可能要高得多。

中国的公共卫生专家一致认为，大气污染是中国人的主要杀手之一。中国国家自然科学基金委员会主任、全国人民代表大会常务委员会委员杨卫指出，肺癌是中国男性的头号杀手和中国女性的第二大杀手；污染和吸烟也是关键因素。¹⁵ 美国健康效应研究所的Aaron Cohen认为，PM2.5浓度长期增长30微克/立方米与寿命减少1-5年相关，并且每增长10微克/立方米与每年死亡率上升0.25-0.6%密切相关。即使这些数据的不确定性很高，污染加重对死亡率的影响也是显而易见的。¹⁶

大气污染对身体健康的影响远比简单的死亡率数字反映的情况复杂得多。PM2.5可引起呼吸和心血管疾病、中风和癌症。¹⁷ 2015年发表的研究表明，北京的大气污染导致新生儿体重减轻。¹⁸ 也有证据表明大气污染会影响儿童的身体发育并导致成人认知能力下降。¹⁹ 中国人民大学环境政策与环境规划研究所所长宋国君认为，大气污染与所谓的“北京咳”有关，他还指出大气污染与呼吸道疾病有关。²⁰

为了缓解这些健康威胁，中国需要大幅降低污染水平。《2013年全球疾病负担研究》表示，如果将PM2.5浓度降至35微克/立方米，即在中国大部分地区目前的水平上降低50%，在京津冀地区目前的水平上降低67%，²¹ 那么每年的超额死亡人数将从目前的67万降到51.9万。即使进一步降低至15微克/立方米，仍然会导致每年23.6万的超额死亡人数。这说明小幅度缓解大气污染不足以应对这个重大的全国性健康问题。²²

1.3 大气污染正在阻碍中国经济发展

无论是对健康的影响、对生产力造成的损失还是对生态系统的破坏，污染造成的经济成本都在不断上升。据2012年世界银行发布的《2030年的中国》报告，污染导致的死亡率和发病率上升造成的全年经济损失估计在1000亿美元到3000亿美元之间。²³ 绿色和平组织2011年发布数据显示，2005-2010年期间，大气污染造成的与公共健康相关的经济损失估计超过6000亿元人民币。²⁴

公众健康受损并不是污染的唯一恶果。2010年环境保护部环境规划院估计，污染使中国每年遭受1.1万亿元人民币的直接经济损失，相当于2010年GDP的2.5%。如果考虑到对森林、湿地和草地生态系统的破坏等间接损失，估计损失将升至1.54万亿元人民币，相当于2010年GDP的3.5%。²⁵



健康威胁：根据清华大学的一项研究，2012年，中国煤炭消费产生空气污染而导致的超额死亡人数约为67万。

PM2.5可引起呼吸和心血管疾病、中风和癌症。

污染的其它影响还包括农业产出下降、业务中断、工人缺勤、学校停课和房地产贬值等。根据1999年的一项研究，雾霾使华北平原光照减少，可能导致农作物减产30%，如果考虑到对臭氧层的影响，估计减产幅度更高。²⁶ 空气污染还会导致企业职工生病、缺勤，导致企业生产率下降。²⁷ 学校停课的情况也是一样。²⁸ 2012年北京大学的一项研究评估了中国大气污染对当地房地产价格的影响，发现房地产价格会因雾霾而大幅下跌。²⁹

污染的许多负面影响都可以追溯到煤炭，煤是中国最大的大气污染源。³⁰ 北京大学和清华大学2014年开展《煤炭的真实成本》的研究，对心血管疾病、肺病和中风等疾病造成的超额死亡率进行量化分析后发现，2012年中国煤炭生产和消费带来的环境和健康成本约为260元人民币/吨煤。³¹ 这还不包括更难以估算的慢性病的经济负担。该研究预测，目前的PM2.5水平给中国经济造成了每年5300亿元人民币的医疗负担。³²

健康受损、医疗费用上涨、生产率下降、在空气过滤器和口罩上浪费资源、道路交通和航空旅行受阻、停工停课、房地产价值缩水 and 旅游收入减少——这些都是大气污染的真实成本，而且是一项可能继续增长的成本。中国投资于更清洁的环境将产生巨大的经济效益。除了直接的环境效益外，工人和学生的身体更加健康也会促进经济繁荣发展。

据2012年世界银行发布的《2030年的中国》报告，污染导致的死亡率和发病率上升造成的全年经济损失估计在1000亿美元到3000亿美元之间。

1.4 中国极易遭受气候变化的影响

与大气污染一样，气候变化对当今中国的危害日益加重。考虑到地势低洼城市、水资源和耕地状况，再加上人均GDP水平较低，中国是最容易受气候变化影响的国家之一。此外，中国的工业发展至今一直依赖高排放行业。在应对严重的长短期环境问题的同时，又要保持经济增长和财富增加，这是中国在二十一世纪面临的最艰巨的社会和经济挑战之一。

2007年，中国以仅占全球耕地总面积的9%、³³ 仅占全国土地总面积

污染造成的经济成本



¥ 1.1 万亿元

污染使中国每年遭受1.1万亿元人民币的直接经济损失标准

13%的耕地，解决了逾全球人口22%的人民的粮食供应问题。³⁴ 在各种因素中，缺水是限制农业生产的最大问题之一。2013年，农业部门的耗水量达到了392万亿立方米，即当年全国水资源用量的63.4%，相当于每天耗水1.07万亿立方米。

气候变化是中国面临的日益紧迫的问题，在经济快速发展和城镇化过程中尤其如此。中国的沿海发达地区面临洪水和自然灾害的威胁，而食品供应又面临干旱、河川径流减少和气候变化引发的自然灾害风险。鉴于中国所处的地理位置，适应气候变化对中国而言将是一个代价高昂而痛苦的过程，对最容易受经济影响的民众而言尤其如此，所以中国更有必要立即采取强有力的措施来减轻未来气候的影响。

过去半个世纪，中国气候明显变暖。对1961-2007年中国各地每日气温记录的一项研究发现，受人类温室气体排放影响，一年中最热天的气温上升了约1摄氏度，而最冷天的气温上升了2-4摄氏度。³⁵

气候变化也会加剧干旱、风暴和洪水等极端天气事件的烈度。中国农业科学院的许吟隆教授认为，气候变化已经导致超级台风和干旱日益严重。干旱、严重雪灾和超级台风已造成了价值数百亿元的农作物和牲畜损失，与导致农药开支增加的农作物和牲畜病虫害也有关系。³⁶ 中国最近发布的《气候变化第二次国家信息通报》指出，自1950年代以来，干旱成灾面积扩大了近4倍，造成的粮食损失也增加了18倍。³⁷

中国沿海省份的人口占全国总人口的40%，GDP占全国的56%，最容易受气候变化影响，尤其是海平面上升的威胁。中国海平面上升速度一直高于全球平均水平，年均上升大约2.6毫米，而全球海平面年均上升1.7毫米。³⁸ 中国的许多特大城市位于易受海平面上升影响的低洼地区。天津和上海是两个明显例子：这两个城市都经历了经济快速增长，将大量低洼地区改造为大规模新经济区。一项针对沿海城市的量化研究将各城市提供的数据合并，编制了“沿海城市防洪脆弱性指数”。在气候变化相关的沿海洪灾方面，该指数将上海列为最脆弱的城市，排在菲律宾的马尼拉和孟加拉国的达卡等类似城市之前。³⁹ 世界自然基金会（WWF）的一项类似研究将上海所受的威胁排在马尼拉和达卡之后，但预测如果到2050年时海平面上升30厘米，上海将有半个城市的土地面积被淹没。⁴⁰ 上海气象协会还发现，由于全球气候变暖，上海所处的长江三角洲地区很可能遭受更频繁和更剧烈的台风侵袭。⁴¹

上海和天津并非孤案：在厦门、宁波、大连、深圳等沿海大城市，都有数百万人生活在受海平面上升和暴雨洪水威胁的地区。2014年，Climate Central采用截至2100年当地海平面上升情况的预测、海拔卫星数据和LandScan的人口数据进行分析后发现，中国有4000-6000万人居住在容易



工业、农业和不断变化的气候造成了水的严重短缺。根据政府统计，自1950年代以来，干旱成灾面积扩大了近4倍，造成的粮食损失也增加了18倍。

干旱、严重雪灾和超级台风已造成了价值数百亿元的农作物和牲畜损失。

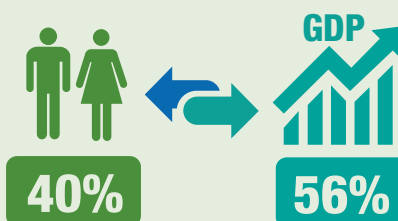
在应对严重的短期和长期环境问题的同时，又要保持国家经济增长和财富增加，这是中国在二十一世纪面临的最艰巨的社会和经济挑战之一。

遭受洪灾的沿海低洼地区，这一数字超过任何其它国家。⁴²

此外，与气候变化相关的升温很可能导致水资源更加匮乏。青藏高原气温上升的速度比中国其它地方更快，冰川融化加速，可能导致亚洲某些最重要水系的流量减少——以长江为例，这样的变化可能会使年流量减少25%。⁴³ 气温升高也会造成地表蒸发增多和径流减少。⁴⁴ 中国大部分人口居住在缺水地区，全国人均淡水资源只有世界平均水平的25%。⁴⁵ 近几十年来，华南的降雨量一直在上升，而在水资源最匮乏的华北地区，降雨量却一直在减少。⁴⁶ 农村和城市人口都将受到缺水的影响，制造业和公用事业行业也是如此，这些行业都依赖于消费性和非消费性用水。虽然有些问题可以通过增加水利基础设施投入来解决，但是如果没有气候变化，这些投入本来是不必要的。

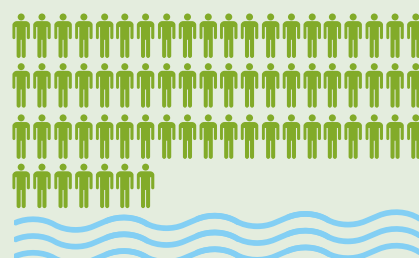
综上所述，大气污染和气候变化是中国面临的两大紧迫问题。大气污染将数百万人置于风险之中，实际经济损失将逐年增加。气候变化威胁天津和上海等脆弱的中国沿海地区，同时危及中国的水和粮食供应。中国幅员辽阔，温室气体排放对全球大气污染和气候变化产生了巨大影响，因此中国应将大气污染和气候变化同时列为对国家福祉的紧迫威胁，并采取相应行动。

气候变化和大气污染都是当今中国面临的紧迫问题。



中国沿海省份的人口占全国总人口的40%，GDP占全国的56%，最容易受气候变化影响

6000万人

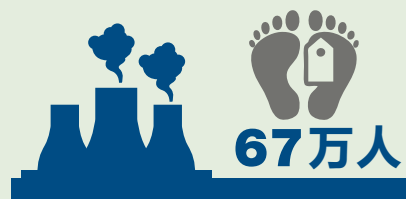


中国逾6000万人居住在容易遭受洪灾的沿海低洼地区



8/74

在2014年，中国74个大城市中只有8个达到了国家空气质量



2012年，因煤炭消耗引起的环境大气污染导致的超额死亡人数约为67万

政策差距分析

处理气候变化和空气质量问题需要更有效的执法、多污染物控制策略、区域协调以及进一步综合的能源和排放政策

由于气候变化和大气污染这两个问题极为紧迫，所以有必要了解最佳应对措施。接下来，本报告将讨论为了解决这两个问题，中国的环境和能源政策已经有了快速发展，但仍然存在一些政策差距。其中最重要的是中国需要采用综合措施来解决气候和空气质量问题，这样在一个问题上的进展就不会拖累另一个问题的进展。最后，中国还必须在整体经济增长模式和应对重大能源和环境挑战的举措之间取得平衡。

其它重要的政策差距包括加大区域协调力度、完善多污染物控制策略，以及更有效地执行能源和环境政策。此外，中国需要采取重大措施，从工业为重心从而导致严重污染的经济模式，转向一种更高效、更立足于低碳能源和燃料的经济模式。

虽然中国在控制电力行业、工业和交通运输的排放量方面已经取得了显著进展，但执行力度仍然是一个薄弱环节。

2.1 简介：中国整合空气质量、气候变化及经济政策的重要性

在中国，大气污染比气候变化问题更明显，在紧迫性和处理方案方面又往往采用相互独立和分离的政策。本章概述一体化政策兼具实用和经济意义的原因所在。虽然某些“管末”处理方案，即能源消耗后进行的排放控制，可以有效控制个别大气污染物，但中国还需要加大投资提高能效和推进清洁能源替代煤炭。与此同时，中国还应避免投资高风险的大型煤气化项目，它们不但浪费稀缺的水资源、煤炭资源和资金，还会产生水污染和大气污染，并且妨碍中国实现新的碳排放目标。

中国在解决环境空气质量问题方面有五大选择：能源消耗之后的减排技术（有时称“末端治理”方案）；以其它燃料替代高排放燃料；提高能效；将高排放设施迁出空气污染严重的地区；纠正侧重高耗能重工业的政策扭曲，调整经济结构。中国正尝试采用综合以上所有策略的政策组合，但我们建议决策层优先考虑清洁能源替代煤炭和提高能效，理由如下：

- 末端治理方案本身不足以解决问题。虽然中国在控制电力行业、工业和交通运输的排放量方面已经取得显著进展，但执行力度仍然是薄弱环节。此外，要解决中国严重的大气污染问题，单靠控制排放所能做到的终究有限。另外，这种排放控制技术通常并不能减少温室气体排放，而这又需要额外的投资。

- 提高能效是减少常规污染物和温室气体排放的最具经济效率的方法之一。在很多情况下，提高能效的措施实际上会导致净成本下降。但有可能遭遇体制或市场障碍。
- 清洁能源替代煤炭符合更广泛的能源政策：中国的能源政策承认煤是一种高排放燃料，有必要寻找替代燃料，包括天然气、可再生能源和核能。在许多情况下，替代燃料不仅更清洁，而且用水更少，这又解决了中国的另一个重大问题。此外，在清洁能源生产中的创新本身就是就业和科技政策的一项重要经济目标。
- 最后，中国可以降低对大型重工业的依赖，提高对服务业和清洁工业等行业的经济和财政支持力度，并从中受益。过去十年中，企业清退和设立明确能源目标的行政措施已经取得显著成就，但最近的一项分析表明，这些领域的现行政策不足以实现2030年前PM2.5浓度降至30微克/立方

中国在解决环境空气质量问题方面有五大选择



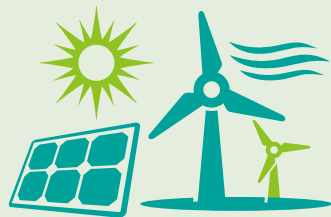
能源消耗之后的减排技术
(有时称“末端治理”方案)



将高排放设施迁出空气污染严重的地区

我们的重点

我们建议决策层优先考虑清洁能源替代煤炭和提高能效



以其它燃料替代高排放燃料



提高能效



纠正侧重高耗能重工业的政策扭曲，调整经济结构

米这一目标。⁴⁷ 偏重高耗能行业的扭曲现象包括廉价的工业用地成本、对重工业的补贴，以及向大型国有重工业企业提供低成本融资等。

2.2 迄今为止的政策进展

中国已经在应对大气污染和气候变化的多个层面取得了进展。最近颁布的各项法律和政策，例如，新修订的《环境保护法》规定了更多惩治违法行为的措施，各行业的情况正因此得到改善。2012年以来，政策方面的主要进展包括：

- 2012年10月，中国公布《**重点区域大气污染防治“十二五”规划**》，⁴⁸ 制定了可再生能源发展和雾霾严重地区PM2.5减排的宏伟目标。
- 一年后，中国在2013年公布《**大气污染防治行动计划**》，对重点区域提出了更加雄心勃勃的PM2.5减排目标，设定了更积极的最后期限。该计划促使各区域和各省相应制订了改善空气质量的行动计划。
- 中国2014年修订的《**环境保护法**》向环保机构赋予更大权力，要求重点排放单位披露排放数据、增加对违法行为的处罚力度，并加强非政府组织在环境治理中的作用。另外，中国正在修订《**大气污染防治法**》，有望在2015年完成。⁴⁹ 这些政策将帮助中国实现全国范围、尤其是在京津冀地区改善空气质量的目标。
- 《**国家应对气候变化规划（2014-2020年）**》提出了降低碳排放强度的目标：到2020年，将高耗能行业的二氧化碳排放量稳定在2015年的水平；并概述了实现这一目标的战略。具体目标是，到2020年，全国经济生产的碳排放强度在2005年的基础上降低最多45%，钢铁和水泥行业的二氧化碳排放量稳定在2015年的水平。⁵⁰ 该计划包括各省、市、部委的碳减排义务，随后将发布针对各行业的详细碳排放标准。⁵¹
- 国家能源政策的其它重点是引导能源发展向低碳能源转移；包括迅速扩大可再生能源（例如风能和太阳能）的规模、改善天然气供应和基础设施，增加核能的利用。此外，政府还优先考虑新能源汽车的部署、需求侧管理以及建筑节能。

提高能效是减少常规污染物和温室气体排放的最具经济效率的方法之一。

这些政策发展与政府牵头提高公众对大气污染认识的步调相一致。报章杂志和电视新闻现在经常报道大气污染问题，媒体也加强了对大城市重度雾霾时期的报道。例如，政府增加了发出重污染预警的频率。⁵² 国家最高领导人也提高了对空气质量问题的认识，例如，李克强总理在2014年3月全国人民代表大会开幕式上提出向污染宣战。⁵³

在环境和能源政策的各个领域，中国都在取得快速进展，但仍有几个方面有待改进。

首先，解决空气质量问题需要加大区域协调力度。大气污染问题很复杂，往往产生于多个区域，这就意味着政策需要涵盖更广泛的地理范围，并关注更多的污染物种类。要有效减少大气污染，就需要科学地进行区域协调，与整个华北平原上空污染的跨区物理传输相适应。

其次，中国可以从更全面的多污染物策略中受益。污染来自多种行业、燃料和前体物。虽然北京等大城市已在电力、工业和交通运输行业实现了PM2.5一次颗粒物减排，但现在PM2.5二次颗粒物在需要应对的污染中所占的比例更大。

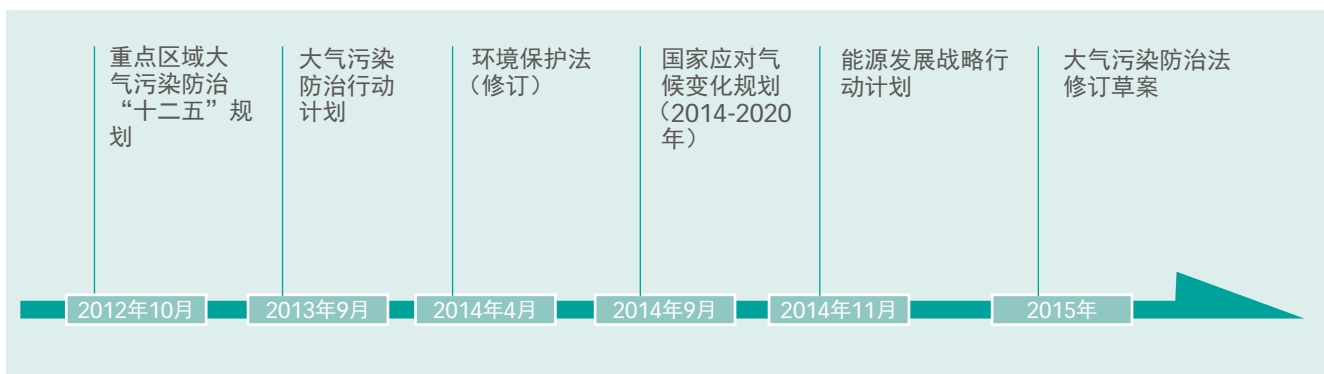
第三，虽然中国在制定个别行业和技术排放标准方面已有显著改善，但在实施和执行方面却有所滞后。中国的环境监管机构缺乏足够的人员、独立性和权威性去严格执行各项标准和处罚，在央企层面执法就更为困难。出于多种因素，例如缺乏举报人保护机制、非政府组织在机构和能力方面的限制，以及可用数据有限等，公众在治理过程中的参与十分有限。

第四，如上所述，中国可以从加大能源、环境和经济政策的协调中受益。虽然中国目前的能源政策认识到提高能效的环境效益，并引导更多金融资源投向非化石能源，但仍需要提高对这些战略的重视，因为这些政策可以同步减少造成区域性雾霾的温室气体和大气污染物排放。缺乏全面整合的大气和能源政策会产生不良后果，例如投资于环境风险高的煤制气基础设施等。能源政策不仅和环保政策密切相关，也和经济政策密切相关。最近的分析结果表明，中国如果能加大努力纠正对重工业和高耗能行业侧重投资的经济扭曲现象，就有更大可能实现治理大气污染的目标。⁵⁴

这些领域的改进有助于中国在减少温室气体排放的同时，实现京津冀地区空气质量改善的目标。

虽然北京等大城市已在电力、工业和交通运输行业实现了对PM2.5的一次颗粒物减排，但现在PM2.5的二次颗粒物污染在需要应对的污染中所占的比例比一次颗粒物污染更大。

2012-2015年有关大气排放的主要政策变化的进程



资料来源：保尔森基金会

中国在过去三年中颁布的有关气候变化和大气污染控制的主要政策

中国的环境监管机构缺乏足够的人员、独立性和权威性去严格执行各项标准和处罚，在央企层面执法就更为困难。

2.2.1 《大气污染防治行动计划》可以提高环保绩效

《大气污染防治行动计划》是中国努力改善空气质量的一个转折点。经该计划由国务院公布，为各重点地区设置了减排目标，并要求对国家一次能源构成进行一系列调整。⁵⁵ 该计划为以下重点地区设置了环境空气PM2.5减排目标：到2017年，与2012年的水平相比，京津冀地区降低25%，长三角地区降低20%，珠三角地区降低15%。到2017年，北京应将年均PM2.5浓度“控制”在60微克/立方米，⁵⁶ 大多数其它大城市要使PM10的浓度比2012年降低至少10%。其它PM2.5减排的约束性目标包括：到2017年，与2012年的水平相比，山西和山东降低20%，内蒙古降低10%。⁵⁷

国务院发布的《京津冀及周边地区落实大气污染防治行动计划实施细则》列出了为减少京津冀地区污染所应采取的具体行动，包括在全国范围内淘汰“黄标车”（即高排放车辆），禁止新建新的重污染工业项目，如钢铁、水泥、铝等，用包括天然气在内的清洁能源发电取代煤电。根据这一目标，京津冀地区的煤炭消费将减少6300万吨。⁵⁸

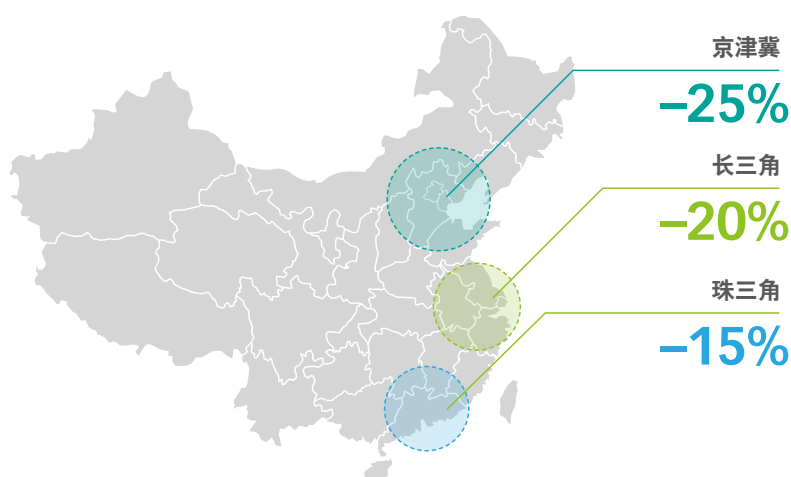
2013年《行动计划》的潜在影响之一是将PM2.5指标纳入各省、市、自治区政府的关键绩效指标（KPI）中。根据2014年4月发布的一项国务院公告，对于京津冀地区政府官员的绩效考核，除了传统办法外，还会增加其他措施，例如在实现PM2.5目标的成绩之外，还会评估旨在减少大气污染所采取的具体措施。⁶⁶ 这些措施有十大重点领域，其中包括清洁生产、可持续交通及绿色建筑等。⁶⁷ 一些政府机构将在官员政绩考核方面发挥作用，包括环境保护部、国家发展和改革委员会、财政部、住房和城乡建设部、国家能源局以及工业和信息化部。⁶⁸

尽管这些新颁布的省级措施将有助于降低京津冀地区PM2.5浓度，但清华大学的模型分析显示，依照这些政策，京津冀地区可能无法实现空气质量目标。分析表明，《行动计划》所述的各项措施只能将北京、天津和河北的PM2.5浓度分别降低25.6%、18.7%和14.7%。⁷⁰ 这项研究认为，能否成功实现削减目标还取决于天气条件，而每年的天气条件都可能出现较大差异。研究发现，京津冀地区在未来三年内减少氮氧化物和二氧化硫排放的同时，氨的排放量会有所增加，尤其是在冬季，可能会导致空气质量恶化。只有采取更严格措施的“强化方案”，京津冀地区才有可能实现2017年环境空气质量目标，强化措施包括河北省煤炭消费量削减目标从4000万吨大幅提高到6000万吨，天津的挥发性有机化合物（VOC）的排放削减30%-40%。⁷¹

2.2.2 《国家应对气候变化规划》要求到2020年将高耗能行业的二氧化碳排放总量稳定在2015年的水平

《国家应对气候变化规划（2014-2020年）》证明中国有能力在一项政

到2017年的减排目标



继国务院颁布行动计划后，北京、天津和河北公布了减排目标

北京

环境空气质量目标：到2017年，PM2.5浓度控制在60微克/立方米，比2012年降低30%。

煤炭：所有四个大型燃煤电厂将被关闭，到2017年，总体煤炭消费控制在1000万吨以下，而2012年为2270万吨。⁵⁹

工业：削减水泥产能600万吨。关停所有能效不达标的工业燃煤锅炉，禁止新建燃煤小锅炉。对高耗能行业（钢铁、水泥、化工、炼油等）实行清洁生产审核，到2017年，高耗能行业的排污强度比2012年下降30%。

交通运输：限制新机动车保有量增长，实施车牌摇号制度，⁶⁰ 到2015年取消黄标车，建立电动汽车基础设施合作伙伴关系，⁶¹ 加快实施国家第五阶段汽车排放标准。

执法：地方各级环保部门对重度雾霾期间没有限制或暂停生产的当地污染企业处以最高50万元的罚款，比之前的10万元有大幅提高。⁶² 屡犯者处以双倍罚款，不设上限，且违规行为还有可能被列入信用记录中。

河北

环境空气质量目标：从2013至2017年期间，PM2.5浓度下降25%（与京津冀地区的总体目标相同）

煤炭：煤炭消费量在2012年3.14亿吨的基础上减少4000万吨。⁶³

工业：钢铁产能削减6000万吨，淘汰水泥落后产能6100万吨，淘汰平板玻璃产能3600万重量箱；淘汰数千座高污染工厂。

交通运输：到2017年，全部淘汰黄标车。⁶⁴

天津

环境空气质量目标：从2013至2017年期间，PM2.5浓度下降25%（与京津冀地区的总体目标相同）。

煤炭：煤炭消耗量在2012年5300万吨的基础上削减1000万吨。

工业：钢铁产能2000万吨封顶，水泥产能500万吨封顶。

交通运输：限制机动车增长，到2015年取消29万辆黄标车，更新公共交通和新能源汽车及公共汽车的标准。⁶⁵

根据《中美气候变化联合声明》，预计中国的碳排放量将在2030年达到峰值，到2030年，非化石燃料将占全国初级能源构成的至少20%。

策措施中综合纳入碳减排和能源目标，以清理重污染行业为政策重点。规划于2014年9月通过国务院批准，制定了中国到2020年减缓碳排放的战略。⁷²在随后于北京召开的2014年亚太经合组织（APEC）会议期间签订的中美气候协议反映了同样的目标。根据《中美气候变化联合声明》，中国的碳排放量将在2030年达到峰值，计划到2030年非化石能源占一次能源消费比重提高到至少20%。⁷³

《国家应对气候变化规划》为全国各省、市政府和特定政府机构设置有了约束力的碳减排目标。规划包含几个主要类别：控制温室气体排放、适应气候变化影响、实施试点示范工程、完善区域应对气候变化政策，以及健全激励约束机制。⁷⁴与常规大气污染物*和碳排放控制最相关的主要目标和方案细节包括：

- 到2020年，将水泥和钢铁行业的二氧化碳排放总量基本稳定在2015年的水平
- 为电力、冶金、钢铁、石化、化工、交通运输及建筑等行业制定温室气体排放标准
- 加强全国范围内温室气体的监测

规划将各项定量目标与一整套具体的行动挂钩。每项任务都会转化为政府和行业的具体目标。

2.2.3 《环境保护法》修订加强了环保部门的权威并提高了处罚标准

2014年4月修订的国家《环境保护法》是中国在加强环境治理方面的一个重大步骤。⁷⁵此次修订在执法方面开辟了新天地，将提起公益诉讼的权利延伸到非政府组织，并授权监管机构对污染违法行为按日处以罚款。这次修订是《环境保护法》自1989年通过以来的第一次更新，为各级环保部门、法院和一般公众提供了更好的工具和流程，使污染者为自身行为负责，并鼓励遵守环保法规。⁷⁶修订实现了以下目标：

- 首先，新修订的《环境保护法》加重了对污染违法行为的处罚。虽然没有明确规定最低罚金，但它授权地方各级环保部门可在违法行为发生次日起连续处罚。第59条规定，对排污者可以按日处以罚款，直到违法活动终止。这与以往相比是一次重大改进，过去的罚款往往是一次性的，而且罚款金额的上限水平过低，难以对违法行为起到威慑作用。⁷⁷
- 其次，修订后的法案提高了数据透明度并拓宽了公众参与渠道。第58条规定，在设区的市级以上人民政府民政部门登记，专门从事环境保护公

* 环境保护部根据6种主要大气污染物测量空气质量，包括PM10、PM2.5、SO₂、NO_x、CO和O₃。

益活动连续五年以上且无违法记录的非政府组织，可以对污染环境、破坏生态，损害社会公共利益的行为提起诉讼。⁷⁸ 该法还提高了对各级政府数据透明度的期望值。第54条规定，各级环保部门应当公布空气质量、污染排放和相关处罚的所有数据。⁷⁹ 强调数据透明度的做法传递了一个强烈的信号，提高了改善环境治理过程中的数据提供和获取的重要性。

过去两年，能源和环境政策进展迅速，并很有可能继续下去。在下面的章节中，本报告将讨论需要决策层进一步关注的其它行动和措施，包括在全国和地方加强排放和能源政策协调，制定多污染物战略，加大执法力度以及对提高能效和推进清洁能源替代煤炭的重视。

2.3 其它措施：有效的执法

不遵守环保法规是中国环境法律和政策不能发挥最大影响力的最主要因素之一。本小节总结最近的一些执法问题，并在结论中提出具体改进建议。虽然中国的环境法律和政策比十年前更为全面，但在很多情况下，在实施和执法方面却有所滞后，原因包括地方各级环保部门势微力薄、执行机制不健全、做出明智决策所需的数据有限，以及各政府机构职责划分不清等。

2.3.1 执法：历史背景

如上所述，中国环保法律的实施和执行采用的是一种地方分权模式，由各地方政府牵头实施具体的战略以实现各项全国目标。然而，经合组织的一项调查表明，这种方式往往导致监督和问责不力。⁸⁰ 在某些情况下，完全由地方各级环保部门自行决定。⁸¹ 中央的环保政策如果与当地关键绩效指标和经济目标不一致的话，就有可能被忽视。

1990年代以来，执法不一阻碍了中国实现五年计划的各项目标。“九五”规划（1996-2000年）期间，中央制定了各重点地区和行业的二氧化硫排放总量控制目标，却没有得到顺利执行，在某些情况下，二氧化硫的水平甚至还超过了往年。⁸² 除了GDP增长和煤炭消费之外，执法不力也是二氧化硫排放增加的原因之一。执法不力的情况一直持续到当前的十年。据四川大学一位教授透露，2011年，高达30%的电厂脱硫设备未正常运行，或者干脆处于关闭状态，直到监查官员来了才开启。⁸³ 另据中国电力企业联合会消息，2014年，多家电力公司尽管并未运行脱硫和脱硝设备，但仍在享受电价补贴。⁸⁴

2.3.2 环保部门的人员配备和权限

中国的国家和地方各级环保机构的人员配备和权限往往低于发达工业

不遵守环保法规是中国环境法律和政策不能发挥最大影响力的最主要因素之一。



执法挑战：自1990年代以来，法律实施不连贯、执法不严妨碍了中国实现五年计划规定的减排目标。

国家的同类机构。美国环保署有近1400人从事与空气质量有关的工作，而在中国环保部仅有几十名。⁸⁵ 此外，在美国各州的环保机构中，平均有83名工作人员专职处理空气政策方面的问题。⁸⁶ 各州也有大笔专项预算用于空气质量政策的各个方面，包括监测、技术支持和执法等。加州就有上千名州级和地方法级空气质量监查员，他们每天都做随机检查，加州空气资源局的百余名监查员会对船舶、火车和飞机进行突击检查，审核燃油质量和排放情况。⁸⁷ 相比之下，整个京津冀地区的监查人员要少得多，这就要求中央政府不时派出高级监查团，其效率必然比不上常态而广泛的实地监查。⁸⁸

虽然地方执法能力有限似乎令人气馁，但是在中国已有执法能力迅速扩大的先例。例如，中国建筑行业在短短几年内就成立了5000多家经认证的监理公司，有超过10万名注册监理人员。这种人员配备能力的激增为“十一五”规划期间全国范围内提高建筑法规合规性起到了推动作用。⁸⁹

在修订后的《环境保护法》于2015年开始生效之前，地方各级环保部门权力有限也阻碍了法律的有效实施。直到最近，中国各级环保部门处罚违法行为的能力一直受到限制，有必要责令企业关停时也是无能为力。有些时候，环保部门执法人员会陷入利益冲突困境，因为他们的工资由地方政府发放，而地方政府从就业和税收角度出发要保护本地排污企业。有时，环保部门执法人员的人身安全也会受到威胁。⁹⁰

尤其在面对央企时，各级环保部门一直力不从心。国有企业享有国家和地方政府给予的财政支持和监管特权，很难通过行政或司法程序来挑战这些巨头。实际上，环保部门的行政级别要低于央企。⁹¹ 有些时候，国有企业即使不缴纳环保罚款，监管部门也会尽量避免将它们告上法庭，因为不能指望得到政府官员的支持。在其它情况下，国有企业一直辩称遵守环保法规的负担会过于沉重。⁹² 绿色和平组织对2014年排放数据的研究显示，在河北和江苏，国家重点监控的设施中有85%违反了排放标准，且经常是一贯性违反，而且远远超出了法定标准。⁹³ 这些设施有许多属于国有大型电力企业、钢铁企业和水泥企业。在北京举行国际性的APEC会议期间，公开披露的国有企业排放数据显示，山东几家国有煤炭和钢铁企业的排放水平一直远远高于监管阈值。⁹⁴

直到最近，即使环保部门可以动用权力来惩处违规者时，也会遇到执法经费有限的难题，而罚款金额一直过低所以起不到威慑作用。⁹⁵ 但有迹象表明这种情况可能会有所改变。国家发改委能源研究所的姜克隽在最近的一次采访中表示，依赖煤炭的企业“还没有意识到环保绩效将决定一个企业的存亡，”他指的是政府日益重视加大罚款力度来打击发电厂的环保违法行为。⁹⁶

需要改变的不仅仅是机构能力建设和加强环保部门权威。机构的有效程度取决于机构内部的能力，但也取决于支配其权威性和影响力的法律和法规。

2.3.3 数据监测和报告

增强环保部门和企业排放监测和报告方面的能力是空气质量管理的关键。持续连贯的排放数据报告有助于确保违规者被绳之以法，有助于执法人员掌握必要信息，判断直接暴露于排放中的民众受到的影响和顺风区域空气质量所受的影响。准确的报告也可以确保在制定整改措施、企业关停及未来政策方面做出明智决策。鼓励披露排放信息说起来容易做起来难。然而，如下所述，政府和非政府组织正在探索鼓励提高透明度的新办法。

提高获取空气质量数据的便利度是中国在加强环境执法方面所取得的最显著成就之一。2012年和2013年的进展最为迅速。触发因素有很多，包括有史以来最严重的空气污染（2013年1月的几天）引起公众关注，美国驻华使馆的推特简讯每小时更新北京PM2.5监测数值，SOHO中国有限公司董事长潘石屹在微博上呼吁制定新的空气清洁法案等。⁹⁸ 最终，更高的环保意识、透明度和政府重视不断相互强化，为空气质量问题的政策发展提供了前所未有的动力。

面对不断增长的公众环保意识和公众需求，2012年环境保护部开始发布北京35个监测点的每小时PM2.5数据。¹¹⁰ 到2014年1月，已有179个城市

美国环保署对违法排放的处罚办法

为了使污染处罚有效遏制违规行为，美国环保署认为至少要收回违法所得，并视违法行为的严重性或规模大小追加处罚（加重罚款）。为了确保执法程序能起到有效的威慑作用，故意违法的企业不应该取得相对于守法企业的经济优势，需要用这些额外的加重罚款来打消污染方“碰运气”、看看自己是否会被抓到的念头。决定处罚轻重时除了考虑从违法行为中获得的经济收益，还要考虑以下因素：

- 违法行为造成危害的严重性；
- 违法行为的历史；
- 支付能力；
- 偏离标准或排放限值的程度；
- 违法者在补救环境损害中的合作情况。

虽然支付能力是考虑因素之一，但重要的是不能让污染者通过违规行为向财务拮据的企业提供帮助。⁹⁷

发布空气质量实时监测数据，其中有161个城市通过环保的“全国城市空气质量实时发布平台”在网上公布监测数据。¹¹¹ 数据的实时披露加快了执法落实，并使公众能以过去难以想象的方式参与其中。一些初创公司开发出多种便于使用的应用程序，汇总空气质量信息并提出健康行动建议。¹¹² 实时数据让地方政府掌握了更好的信息，可以与相邻地区进行协调，在严重污染事件发生时减少排放。¹¹³

中国披露空气质量数据的做法已经优于许多发达国家，但在数据完整性、及时性和准确性方面尚有改进余地。2008年，IPE与自然资源保护协会（NRDC）编制“污染源监管信息公开指数”，显示全国各地在环境数据报告方法上的差异。¹¹⁴ 2013年，IPE将实时披露排放信息列为信息公开指数的衡量标准之一。¹¹⁵

各项设施的排放数据和整改措施都是数据透明度的重要方面。IPE于2014年6月发布“污染地图”应用程序，整合并发布来自全国范围内3000多个高污染工厂的实时大气污染排放数据。¹¹⁶ 公众可以在社交媒体平台上分享

2014年的一项排放数据研究显示，在河北和江苏，国家重点监控的设施中有85%违反了排放标准，且经常是一贯性违反，远远超出了法定标准。

中国近期采取的大气污染治理行动的时间轴

2008年	北京夏季奥运会期间采取非常措施控制污染 ⁹⁹ 北京的美国驻华使馆开始通过推特简讯向美国公民发布每小时PM2.5 监测数值和空气质量指数 ¹⁰⁰
2012年1月	中国环保部开始发布每小时PM2.5数据 ¹⁰¹
2013年1月	SOHO中国有限公司董事长潘石屹在微博上呼吁制定新的空气清洁法案 ¹⁰² 中国74个城市开始发布PM2.5实时监测数据 ¹⁰³
2014年1月	中国179个城市发布PM2.5实时监测数据 ¹⁰⁴
2014年6月	公众环境研究中心（IPE）发布大气污染应用程序，实时披露大型工业设施的排放数据 ¹⁰⁵
2015年1月	新的《环境保护法》生效； ¹⁰⁶ 中国有367个城市发布PM2.5实时监测数据 ¹⁰⁷
2015年4月	环境保护部批评某些地方环保部门PM2.5数据造假，并宣布为纠正数据造假开展为期两年的专项检查行动 ¹⁰⁹

数据，给当地环保部门的微博账户加标签，跟踪环保部门工作人员处置违法行为和整改行动的进展。通过IPE的应用程序，还可以了解一些排放最严重企业的所在位置以及在减排方面的作为和不作为。

中国可以采取更多措施来提高排放数据发布的及时性、完整性和发布频率，例如独立第三方审核。要求企业公布排放信息也同样重要。在美国，一旦实时污染监控器停止运转，监管机构就可以按日处以最高污染罚款，从而鼓励企业确保监控设备在任何时候都正常运转。¹¹⁷ 中国新修订的《环境保护法》（2015年1月生效）强制重点排放企业披露排放数据，朝着更透明的治理体系迈进。然而，要建立一套强大的全国报告系统还有很多工作要做，包括主要污染源的排放数据，通过可信平台访问排放数据，与国家各项环保目标严格比对等。

近年来，中国在编制排放清单方面也有进展。清华大学2012年首次发布的《中国多尺度排放清单模型》（MEIC）是一个重要里程碑，这是一套基于技术的排放清单模型，涉及二氧化硫（SO₂）、氮氧化物（NO_x）、一氧化碳（CO）、非甲烷挥发性有机化合物（NMVOC_s）、氨（NH₃）、二氧化碳（CO₂）、PM10和PM2.5等污染物。¹¹⁸ 模型工具包括一个网格化排放清单，科学家、规划者和政府官员可以用它来模拟政策变化对排放和区域环境空气质量的影响。

数据监测和报告是执法的关键组成部分。监管机构和政策制定者都必须掌握一致、准确的数据，才能处以合理的罚款、责令采取适当的清理措施并做出明智决策。公众可以成为政府执行环保法规的一项宝贵资源。虽然新的环保法有所进步，但公众参与仍有障碍。在7000个已注册的环保类非政府组织中，只有约700个符合提起公益诉讼的条件。¹¹⁹ 资金也是障碍。目前的诉讼相关成本偏高，如果没有外部组织的资金支持，仅靠非政府组织的年度运营预算，很难开展法律行动。¹²⁰ 最高人民法院2015年1月的一份司法解释表明，中国正在采取措施来减轻环保团体提起公益诉讼的成本负担。¹²¹ 确有保护举报人的相关法律也很重要。

2.3.4 关于加强执法的建议和结论

我们的分析结论是，尽管中国在空气质量的政策和相关领域已取得了一些重大进展，政策差距仍然存在，特别是涉及实施和执法不力的领域。这些差距与上述几项能力和资源方面的问题相关，包括人员配备和培训不足、数据不充分（尤其是在排放清单和点源排放方面），另外也需要在空气质量执法方面有更广泛的公众参与。主要结论如下：

执法能力。 加强执法能力是中国减少大气污染的最有经济效率的投入之一。

环境保护部空气质量指数读数(左)和按地区监测的烟囱排放(右)的屏幕截图



资料来源：环境保护部空气质量指数读数和IPE应用程序提供的2014年12月16日数据

过去两年内，公众已经越来越容易获得中国的空气污染数据。左图为环境保护部在整个京津冀地区监视站的空气质量指数（AQI）读数。右图由IPE应用程序汇编，显示在同一地区各工厂的违法烟囱排放源。蓝色表示已与IPE联络正积极解决问题的企业。

监管机构和政策制定者都必须掌握一致、准确的数据，才能处以合理的罚款、责令采取适当的清理措施并做出明智的决策。

由于执法不力和处罚偏低，对于许多企业来说，接受大气污染处罚仍然比遵守相关空气法规更划算。可以采取以下措施来进行执法机构的能力建设并确保更高的达标率：

- 增加执法人员数量，批准地方环保部门增加工作人员和科学家人数；
- 加强环保部对各省实施决策的监督力度；
- 提高环保部门人员培训方案的制度化；
- 加强地方执法机构的权威，特别是针对大型国有企业实施执法行动时。

数据监测和报告。2012年以来，获取中国各地空气质量数据的便利性已有显著提高。到2014年1月，全国公布空气质量实时监测数据的城市超过了160个，但在很多领域仍有待提高，包括数据的及时性和完整性、工业排放的持续监测和公布，以及各管辖区报告方法保持一致等：

- 扩大空气污染点源排放实时披露范围，涵盖更多设施，并通过政府网站公布，同时处罚不准确的数据报告，以威慑违规行为。
- 完善现有排放清单，公布包括总排放量和行业排放量的年度排放清单，判断空气质量趋势并确保做出明智决策。

- 提供资金支持，拓宽非政府组织和一般公众获得法律支持的渠道。中国还可以考虑在公益诉讼胜诉的情况下补偿原告法律费用。2015年1月最高人民法院发布了一项关于减少环保组织诉讼成本的司法解释，表明中国正在朝着这个方向努力。¹²²
- 建立健全举报人保护制度，鼓励民众揭发违法污染活动。

2.4 其它措施：加强政策协调

环保政策的最大挑战之一是环保政策与其它政策领域的重叠。公众常常以为环保归单一政府部门主管，但实际上污染排放与不同政府机构管控的经济和能源政策密切相关。事实上，各行业、能源的生产和使用、污染的排放之间关系复杂，每个国家的决策层都为此大伤脑筋。在认可政策一体化的必要性上，中国在很多方面都已经比其它大多数国家做得更好，但中国的任务在很多方面也比其它国家更艰巨。

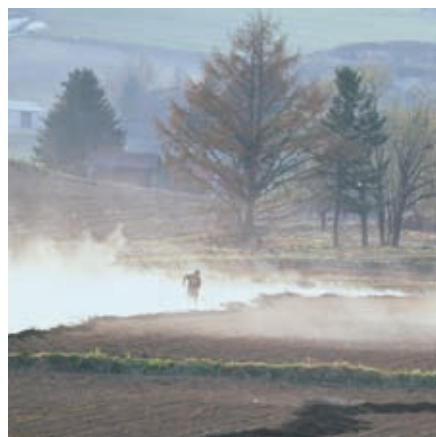
需要政策协调的领域涵盖四个主要方面：

1. 制定一套包含PM2.5及其前体物的多污染物战略；
2. 改善区域协调；
3. 进一步整合气候变化、能源、空气质量和水方面的政策；
4. 更加关注在资金和资源方面偏重高耗能行业的经济政策扭曲现象。了解空气质量政策和其它与能源、水、碳以及经济发展相关的政策目标之间的联系，了解这是以最低的社会总成本实现中国各项政策目标的关键。

2.4.1 多污染物策略

前几年，中国已经采取了针对个别大气污染物的多项措施，包括制定氮氧化物、二氧化硫和PM2.5的标准和目标。了解中国污染最严重的京津冀地区的PM2.5的来源，就能了解中国为什么需要一套同时针对许多行业部门和燃料的多污染物策略，才能有效解决各种空气质量问题。空气污染来源复杂，仅着重于排放量最大的几个类别或几种燃料的策略并不能全面解决大气污染问题。由于各种原因，例如排放的区域性输送和重度雾霾期间污染物成分不断变化等，必须对PM2.5的所有排放源进行控制，才能实现35微克/立方米的空气质量目标。

在京津冀地区，排放量增长最快的行业在中国经济中所占比重较小，随着中国经济重心从制造业和农业向服务业转移，这一趋势很可能会持续下去。例如，施用农用肥料会产生氨排放，说明较小的PM2.5来源能影响空气质量，也说明控制这类排放物能产生效益。



多污染源：在中国污染最严重的京津冀地区，政府需要制定一项多管齐下的战略，同步治理多个行业和多种燃料的污染。污染源包括农业焚烧、交通运输、建筑、重工业，等等。

了解空气质量政策和其它与能源、水、煤以及经济发展相关的政策目标之间的联系是以最低的社会总成本来实现中国各项政策目标的关键。

大气污染的来源多种多样

了解空气质量的第一步是要了解大气污染的来源这个大问题。虽然这个问题问出来很简单，但背后的来源解析相当复杂，需要使用昂贵的仪器，对各种化学反应和空气流动进行建模，还要使用天气数据。使用相同数据源的各类研究也可能以各种方式对来源进行分类，得出看似不同的结论。本节分析将污染源分为以下五大类：工业（尤其是重工业，如钢铁、玻璃、水泥等；不包括电力部门）、发电、建筑（包括住宅和商业建筑）、交通运输（包括所有机动车辆和道路扬尘，但不包括炼油和汽车制造）、农业。

京津冀地区的大气污染主要来源于工业。根据清华大学的一项研究，工业排放占一次PM2.5的54%、氮氧化物的43%、二氧化硫的63%和挥发性有机化合物的64%。¹²³ 京津冀地区PM2.5的很大一部分来自住宅（32%），特别是农村的生物质燃料。¹²⁴ 交通运输和电力行业也是显著来源，尤其是氮氧化物排放造成的二次PM2.5污染。

按燃料分类，煤炭是全国和京津冀地区PM2.5排放的最大来源。这并不奇怪，因为煤炭占2013年中国一次能源供应的68%；¹²⁶ 而且燃煤的排放量往往高于其它燃料。因此，控制燃煤排放已经并将继续成为任何一项改善空气质量战略的重要元素。

中国将煤炭用于发电、工业锅炉燃料、家用和商用采暖，甚至用于烹饪。其中，电力行业的煤炭用量最大，占2012年全国煤炭消费量的近46%。¹²⁷ 在京津冀地区，燃煤占硫排放量的85%和氮氧化物排放量的47%，而这两者都是PM2.5的来源。¹²⁸ 在煤炭排放源中，工业是二氧化硫和氮氧化物的最大排放源。工业生产也是一次PM2.5的最大排放源。¹²⁹ 大型工业设施和电厂对区域污染影响极大，因为它们的高烟囱会将污染物排放到较高层大气中，随之

什么是PM2.5

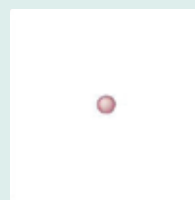
PM2.5是指直径小于2.5微米的颗粒物，是对人体健康最具破坏性的颗粒物。



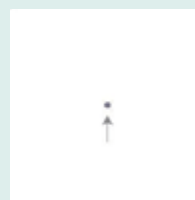
头发



沙子



PM10

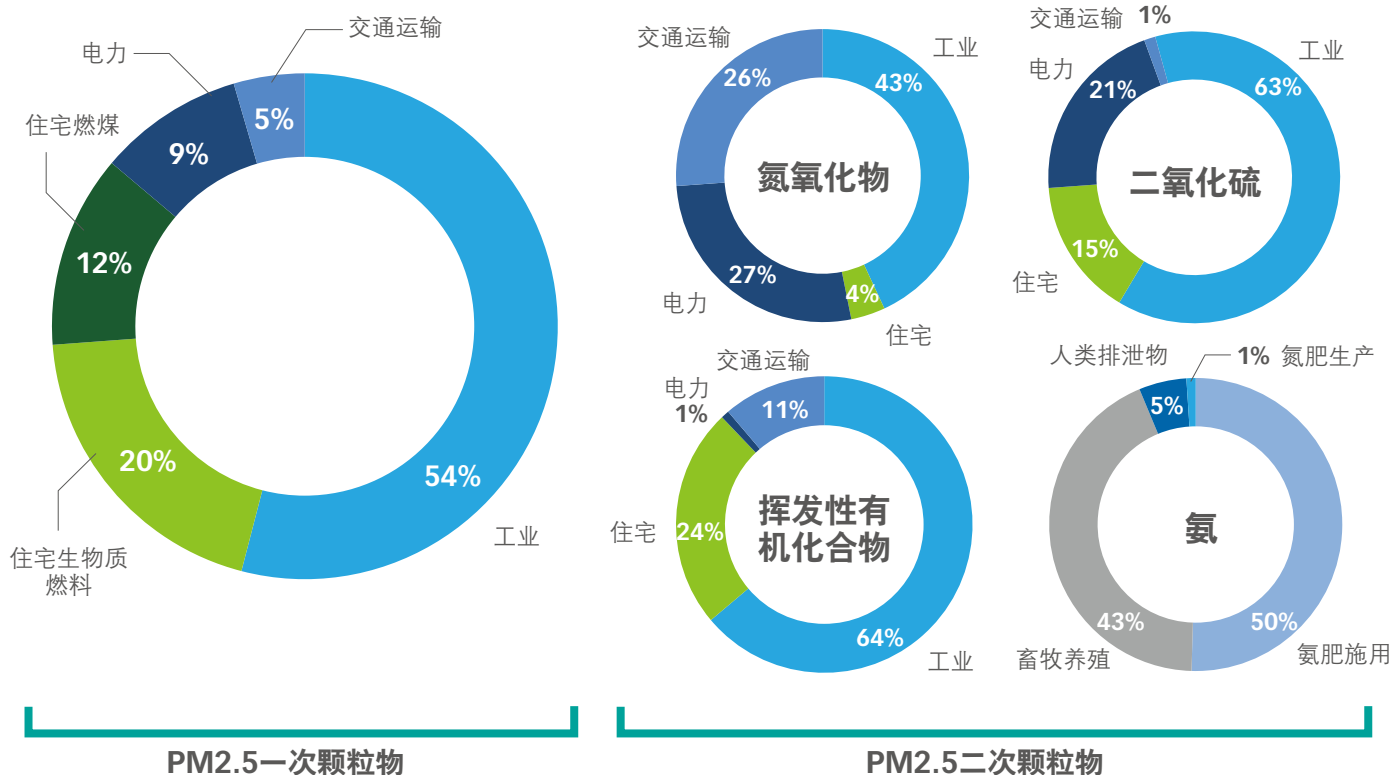


PM2.5

一次和二次PM2.5

颗粒物可分为一次和二次来源。一次PM2.5直接来自诸如灰尘或化石燃料燃烧等来源。二次PM2.5是指通过大气中的化学过程而形成的颗粒物。通常，二次PM2.5源自氮氧化物、二氧化硫和氨的组合。在京津冀地区，大部分的颗粒物来源于一次排放，但有很大一部分来源于二次PM2.5，在北京约占三分之一。¹²⁵

2010年全年京津冀地区PM2.5和其它污染物的来源

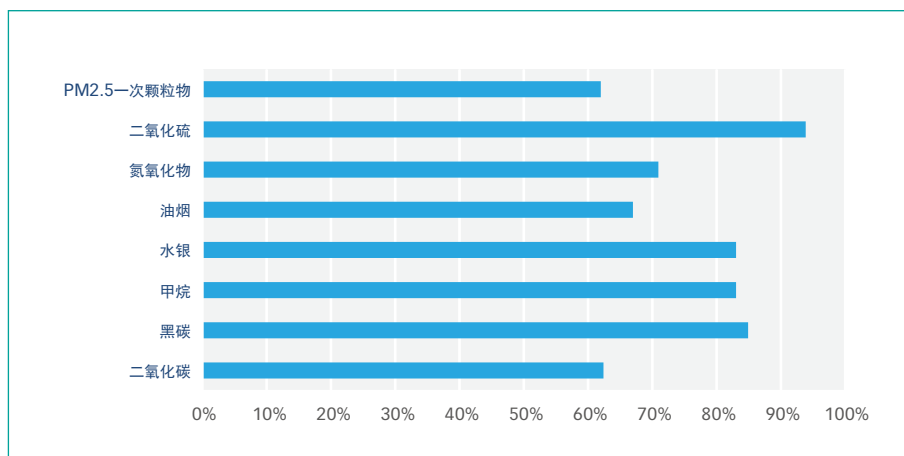


资料来源：贺克斌，清华大学，2013年；王书肖，2011年。

注：氨排放数据来自国家2005年温室气体排放清单。

工业是造成京津冀地区绝大多数环境大气污染的原因，也是一次PM2.5和二次PM2.5的来源。

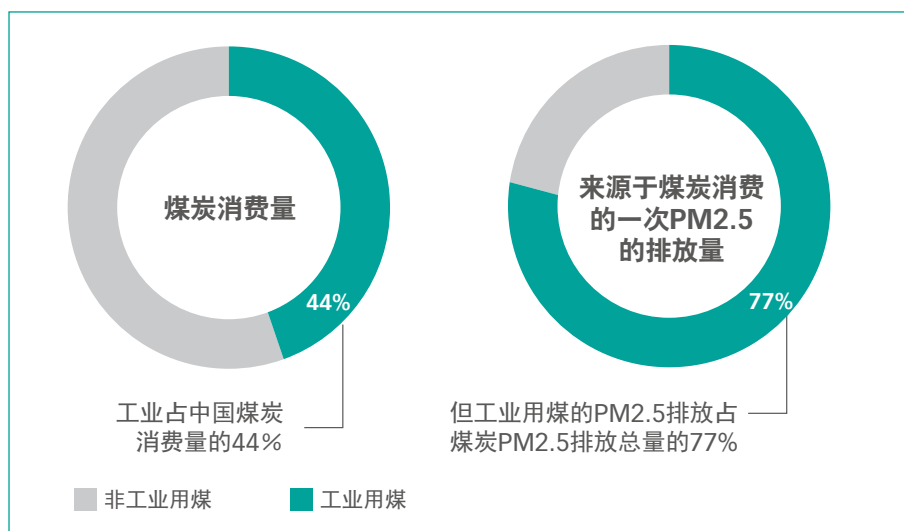
2012年煤炭占中国污染物排放的比例



资料来源：杨富强等，NRDC，2014年

按燃料分类，煤炭是全国最大的空气污染物来源，包括那些参与形成二次PM2.5的污染物。

2012年工业占中国煤炭消耗量和排放量的份额



资料来源：NRDC，《煤炭消费在中国空气污染中的作用》，2014年10月

注：仅说明工业占整个工业和电力行业煤炭消费和排放量的份额，而不是占煤炭消费和排放总量的份额。

工业用煤的排放占煤炭排放总量的比例大大超过了工业用煤占煤炭消费总量的比例。中国的工业用煤（不包括电力行业）占中国煤炭消费总量的44%，但煤炭PM2.5排放总量中有77%都是由工业产生的。这是政府努力提高工业电气化以减少排放的原因。

氨和挥发性有机化合物在形成二次空气污染中发挥了作用，说明全面控制所有空气污染源是有好处的。

传播到更远（数百或数千公里以外）的地方。而且，它们在大气中留存的时间要比车辆或炉灶等较小排放源的污染更长久。¹³⁰

这些年来，中国煤电行业的效率大幅提高，现在大多数新建燃煤电厂使用相对高效的超临界燃煤发电机组*，在超超临界燃煤发电技术方面也处于领先地位。¹³¹ 燃煤电厂也逐步安装了脱硫用的烟气脱硫设备、过滤含尘气体用的袋式除尘器，以及脱硝用的脱硝设备。¹³² 由于这些原因，发电量增加的速度高于排放量增长的速度，而且来自电力行业的硫排放已经迅速下降，尤其是在京津冀地区。¹³³ 但其它工业行业的煤炭减排却落在了电力行业后面，他们在煤炭排放量中所占的份额大大超过了按煤炭使用量该占的份额。¹³⁴

在京津冀地区，虽然工业排放是PM2.5的主要来源，*但交通运输部门的排放也很严重，占该地区一次PM2.5排放的5%和氮氧化物排放的25%以上，这还不算炼油和汽车制造业等交通运输相关的工业来源。交通运输排放包括重型和轻型汽车的尾气排放。据环保部的数据，全国绝大多数汽车排放来自重型车辆，如卡车，尤其是柴油车。¹³⁵ 就北京而言，除了尾气排放，道路扬尘占到PM2.5排放的13%。¹³⁶ 虽然北京等大城市在汽车尾气排放和“黄标车”（高排放车辆）进城方面有更严格的标准，但河北等邻近地区的标准较低，车辆也较旧。来自交通运输的氮氧化物和挥发性有机化合物的排放量

* 超临界或超超临界燃煤发电机在较高的温度下运转，因而比传统燃煤发电机具有更高效率和更低排放。

** 有报告认为交通运输是北京和其它城市PM2.5的最大来源，这些报告通常将排放来源作细分，将工业细分为钢铁、水泥等具体行业，这样单个行业的排放就小于交通运输的整体排放。

空气污染的复杂性

京津冀地区的决策层在采取清洁空气行动时，应当了解该地区空气污染的复杂性。因为污染的来源每天、甚至每小时都可能千差万别，而且解决这个问题不仅需要降低平均污染水平，还需要制定防止严重雾霾爆发的策略。

以下因素都会影响京津冀地区的空气污染水平：



风：京津冀地区城市的污染水平在很大程度上取决于风的条件。一般情况下，南风、西南风和东南风会带来河北、河南、山东和中国其它工业地区的污染。滞流的空气与逆流的空气相结合也可能导致污染积聚。在某些季节，一阵短暂的北风就能将北京的空气迅速吹干净。¹³⁸ 以2014年11月27日北京的雾霾天为例，PM2.5浓度在5小时之内从400微克/立方米以上下降到46微克/立方米。



天气：温度、降雨、相对湿度和阳光都会影响PM2.5浓度，这些因素各自以独特的方式对颗粒物的形成和去除发挥作用。较高的相对湿度会导致二次颗粒物的增加，¹³⁹ 这通常是严重雾霾事件发生的主要因素之一。降水有助于清除污染。¹⁴⁰ 阳光能促进二氧化硫和氮氧化物的反应，从而形成二次硫酸盐和硝酸盐颗粒物。¹⁴¹



季节：从历史上看，北京的冬季一直是污染最严重的季节，部分原因是空气逆流与冬季采暖季节重合。近几年，北京采取措施，已经使冬季的情况有所好转，但有迹象显示夏季有污染加重的趋势，这显然是北京地区以外的污染物排放不断上升所致。¹⁴² 此外，不同季节的PM2.5构成和起因也有所不同，风向、农业焚烧和大气中的化学过程等都有影响。¹⁴³



时间：北京的地面空气污染水平通常在傍晚和夜间更高，这是因为局部连续排放与较低气温相结合，导致对流混合减弱所致。¹⁴⁴



地形：华北平原以北和以西的山脉可以阻止空气流动，使滞流的污染空气容易积聚，¹⁴⁵ 从卫星图像上经常可以看到这种现象。



农业焚烧：6月底和10月初的农业用火可能会导致重度污染事件爆发。¹⁴⁶ 焚烧产生的烟雾可以飘得很远，与工业排放混合后形成二次PM2.5。农业焚烧会导致PM2.5浓度迅速上升，某些时候在受影响地区的空气污染中占到50%左右。¹⁴⁷

综上所述，京津冀地区大气污染背后的科学原理非常复杂，增加了决策层解决这个问题的难度。要解决北京或天津的空气污染问题，就需要制定地区和全国政策，并加强实施，同时应对从大型电厂到成千上万的农田和建筑工地的多种来源的污染。



污染无界线：高耸的工业烟囱（如上图）导致污染扩散到更远的下风城市。大量污染来自本地区以外，因此区域性合作至关重要。

很高，这两者都可以形成二次PM2.5颗粒物。在冬季空气滞流、相对湿度高和空气逆流的时间里，当地氮氧化物的排放滞留在地表附近，尤其是在傍晚时分，这就导致了局部PM2.5的聚集。¹³⁷

2.4.2 雾霾构成趋势意味着需要进行更系统化的多污染物控制措施

通过采用新技术、加强排放标准和改善执法，中国在电力和工业部门的氮氧化物、二氧化硫和颗粒物减排方面已取得巨大进步。在北京和天津这样的城市，由于实行更严格的标准并努力将污染行业迁出城外，减排进展更为迅速。家用采暖和烹饪不再烧煤也起到了重要作用。过去十年来，尽管首都周边的京津冀地区经济快速增长、发电量增加、汽车保有量增长、工业扩张，但北京等城市的年均PM2.5浓度保持了相对平稳，年均PM10浓度也下降了。¹⁴⁸

总体而言，中国的电力、水泥等许多行业都显示出产量稳定增长、总排放量持平或下降的态势。污染控制与资源化研究国家重点实验室2013年的研究表明，在“十一五”规划期间（2005-2010年），多数行业在减少单位产量的排放量方面取得了令人瞩目的成绩。¹⁴⁹就发电行业而言，在2005-2010年期间，装机容量300 MW以上的燃煤电厂的发电量所占比例从50%提高到了80%，但每千瓦时的颗粒物和二氧化硫排放下降了一半以上。¹⁵⁰以电力行业为例，中国在1996-2011年期间多次提高氮氧化物、二氧化硫和颗粒物的排放标准，¹⁵¹现在对新建和现有发电厂的标准和美国标准一样甚至更严格。¹⁵²中国大多数燃煤电厂已经安装了脱硫和静电除尘装置，¹⁵³不过不一定都在运行。¹⁵⁴数以百计的低效和污染的发电厂已被关停。¹⁵⁵

中国在工业减排方面也做出了努力：2005-2010年，采用预分解技术*的水泥厂的市场份额从40%上升到了80%。单位水泥产量的二氧化硫、颗粒物和二氧化碳排放下降了60%以上，但氮氧化物排放上升了30%以上。¹⁵⁶在钢铁行业，2005-2010年间，每单位产量的二氧化硫和颗粒物排放下降了30-40%，而每单位生产的二氧化碳排放下降了15%以上。¹⁵⁷有色冶金行业在2005-2010年之间每单位产量的二氧化硫和颗粒物排放下降约45%。¹⁵⁸在此期间，所有这些行业的产量大幅提高，而整体排放量也随之上升。¹⁵⁹

交通运输行业在尾气排放标准方面也取得了显著进步。中央和地方政府已经通过了汽车和卡车的排放标准，并将其逐渐提高到接近欧洲现行标准的水平。¹⁶⁰北京等大城市也纷纷限制新机动车保有量的增长。¹⁶¹这些行动有助于大城市在车辆保有量和驾驶量迅速上升期间保持尾气排放量整体稳定，同时降低每辆汽车的平均排放量。¹⁶²

* 预分解技术是在水泥生产流程中增加一个分解炉，可提高煅烧温度，并产生显著的脱碳效果。

电力、工业和汽车行业的行动显示，政府已经在解决空气污染方面小有成就，尤其是在北京和天津等大城市。但在某些方面，通过提高排放标准来减排所取得的成功使未来措施面临更大挑战。空气污染的构成正在发生变化，污染源更复杂，尤其是二次污染源，政府解决起来更困难。北京空气污染中不断上升的一部分是通过大气中化学反应而形成的二次PM2.5颗粒。¹⁶³ 机动车辆，特别是重型柴油车，是城市氮氧化物的较大排放源。¹⁶⁴ 由于重工业正在迁出大城市，它们在城市一次PM2.5排放中所占的比例可能会下降，但由硫酸盐产生的二次PM2.5的比例会增加。与氮氧化物相比，硫酸盐通常是由上风处的高大工业烟囱注入到大气中，经过长距离输送到下风城市。¹⁶⁵

氨和挥发性有机化合物在形成二次空气污染中发挥了作用，这说明全面控制所有空气污染源是有好处的。不同于一次PM2.5、二氧化硫和氮氧化物，氨排放主要来自农业：43%来自畜牧养殖，50%来自施肥。¹⁶⁶ 氨是空气中唯一的碱性化学物质，它与硫氧化物和氮氧化物反应而形成硫酸铵和硝酸铵。如上所述，这两者是在总体PM2.5中占相当大份额的二次颗粒物的主要成分。¹⁶⁷ 而氨的排放量正在迅速上升——从1977年到2005年惊人地上升了271%，而同期粮食产量只增加了98%。¹⁶⁸ 以化肥为例，截至2005年，华北平原的农民每公顷使用的氮肥量是美国农民用量的6倍以上。¹⁶⁹ 在中国，大约有40%的氮肥最终被释放到大气中。氧化亚氮（N₂O）气体使全球变暖的潜力是二氧化碳的300倍左右，它的排放量已经在迅速上升。削减60%的氮肥用量会使粮食作物减产2%，但可以使氧化亚氮排放减少50%。¹⁷⁰

由于氨可以与硝酸盐和硫酸盐气溶胶中的任何一个发生反应而形成二次PM2.5，分别控制二氧化硫和氮氧化物的排放比同时控制二氧化硫、氮氧化物和氨的效果要差。¹⁷¹ 最近的一项分析表明，只削减硫排放而不同时解决氨排放，实际上已经导致了二次PM2.5水平升高，彰显了系统性控制所有PM2.5前体物的重要性。¹⁷²

虽然氨排放是个难题，但在这一领域中其它国家已有进展。在美国，许多州已经实施了综合性氮肥管理计划，包括向农民和注册农作物顾问作推广，监测土壤和水井，以及监测氮肥的总销量。¹⁷³ 动物排泄物也得到了妥善管理，因为氮肥同时造成氨和氧化亚氮排放。¹⁷⁴ 一项近期的研究显示，将华北的氮肥施用量削减60%不会造成小麦显著减产，但可以将氧化亚氮的排放量减少50%。¹⁷⁵

另一个需要多污染物控制的领域是产生挥发性有机化合物的行业。挥发性有机化合物是颗粒物的一个重要前体物，与二氧化硫相互作用后形成二次PM2.5。¹⁷⁶ 挥发性有机化合物排放来自石油化工、涂料生产和机动车油耗，后者是北京等大城市挥发性有机化合物的主要来源。¹⁷⁷ 挥发性有机化合物

虽然区域间的输送对于每年环境空气PM2.5的贡献约占三分之一，但在极端雾霾事件期间随风从邻近省份输送过来的污染比例可能更高。

河北、天津和北京已经认识到在空气质量管理方面进行协作的重要性。

直到最近才引起中国的监管行动，在2000年并未列入需要监管的空气污染物名单，¹⁷⁸ “十二五”规划（2011-2015年）也没有制定任何控制或减少挥发性有机化合物排放的目标。¹⁷⁹ 政府只是在最近颁布的《大气污染防治行动计划》中才设立了减排量化目标。¹⁸⁰

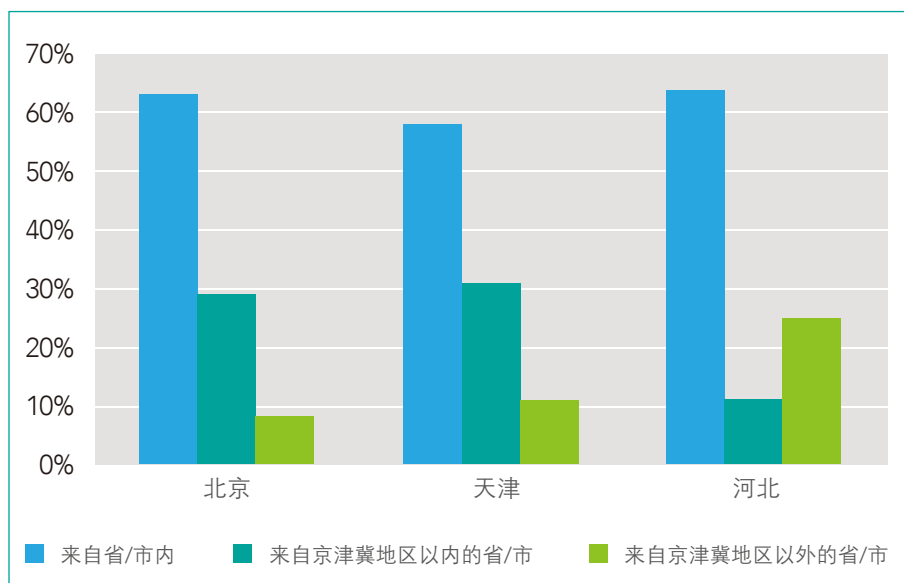
由于对二次PM2.5的作用有了进一步的认识，政府正在研究控制氨和挥发性有机化合物的策略和标准。包括能源基金会中国、清华大学和中国农业大学等在内的各类组织已经提出了一套应对一次PM2.5和二次PM2.5前体颗粒物的多污染物系统性战略建议。在这方面也需要制定一套多污染物系统性战略。

2.4.3 需要加强京津冀地区的区域协调

中国在环保法律的实施和执行方面采用地方分权模式。在中国，虽然法律、政策和国家发展计划由中央政府起草，但如何实现中央制定的各项目标的战略却由地方政府负责。¹⁸¹ 权力下放使各省可以因地制宜地制定相应计划并采取最符合当地需要的措施。

然而，空气污染是跨地方政府界限的。北京和中国的大多数其它大城市的大气污染是一个区域性問題，雾霾积累覆盖的地区远远超出了城市边界。华东大部分地区的空气污染都很严重。中国已经将京津冀地区列为实行特殊的空气质量、排放和能源目标的三个区域之一。京津冀地区的目标是，2013-2017年期间，将PM2.5浓度降低25%，高于对其它两个地区的减排要

2010年全年来自京津冀地区内部和外部的PM2.5传输



京津冀地区的大气污染颗粒物中有大约三分之一来源于该地区之外，体现了排放控制区域性合作的重要性。

求(长三角地区为15%;珠三角地区为10%)。到2013年,京津冀地区的人口将近1.1亿,是政策的重点区域,因此,保尔森基金会的气候变化和空气质量项目也将重点放在该地区的空气质量政策上。

京津冀地区的大气污染颗粒物中有大约三分之一来源于该地区之外。根据2010年度的数据估计,在北京的PM2.5中,36%来自河北,4%来自天津,8%来自京津冀以外的地区。在土地面积更大的河北省,PM2.5中只有11%来自北京和天津,而25%则来自京津冀以外的地区。¹⁸²

虽然区域传输约占每年PM2.5排放的三分之一,但在极端雾霾期间随风从邻近省份传输过来的污染比例可能更高。在北京的几次雾霾期间,大部分污染可能来自北京以外。在经常吹南风的夏季尤其如此:一项研究表明,在2010年夏季的几次雾霾期间,高达90%的PM2.5来自北京以外。¹⁸³ 秋季和冬季的严重雾霾有时也可能是来自北京以外的污染传输所致,其他时候可能是当地污染物在空气滞流和相对湿度较高期间积聚所致。¹⁸⁴

中央和地方政策之间以及能源和环境政策之间的相互作用使空气质量政策变得复杂。所以,即使是大城市也不能单靠自身力量来解决空气质量问题。*从美国加州洛杉矶的案例中可以了解大城市如何在复杂的政治体制内加大空气质量控制的区域合作。洛杉矶早在1940年代就开始了控制雾霾的努力,最终创建了涵盖多个城市的空气质量管理区,这几个城市构成了南加州空气流域,即污染通常流动和积聚的区域。这种区域性方法是解决洛杉矶雾霾问题的关键。¹⁸⁵

与洛杉矶类似,北京和天津如果没有足够的区域协调,就无法实现大气污染防治行动计划的宏伟目标。¹⁸⁶ 河北省的各个城市也同样需要区域协调,特别是与山东、河南省的上风地区的协调。¹⁸⁷ 大气污染物并不受制于城市边界,影响空气质量的因素也超越了任何一个地方辖区的控制。这种情况会导致政策目标与问责机制的错位,政策目标是减少整体大气污染,而问责机制往往局限于单一城市或辖区。在官员政绩考核中创建与空气质量挂钩的关键绩效指标(KPI)就是一个很好的例子。¹⁸⁸ PM2.5的浓度取决于PM2.5前体化学颗粒物的排放量、上风地区的行动以及天气条件;因此,PM2.5浓度并不能完全体现地方政策在减少污染方面的进展。作为一个起点,考核应更多侧重本地减排的具体措施,可以用PM2.5浓度来衡量所取得的进展。¹⁸⁹

河北、天津和北京已经认识到合作开展空气质量管理的重要性。这三个省市已经制定了相关政策,促进从源头控制到提高污染预测能力的多层次

全国空气质量、气候变化和能源目标是一致的,但实施起来却很困难,因为降低二氧化碳和各种常规污染物的排放是由不同级别的不同机构管理的。

* 尽管如此,当地大气污染源也很重要:在重型柴油车后面骑自行车,坐在烟雾缭绕的酒吧里,或站在煤灶炉前做饭,都会影响人体健康。本报告并没有低估这些影响,但主要侧重于城市和地区的空气质量问题及其与能源消费和温室气体排放之间的联系。

2014年中国人民银行马骏所作的一项研究指出，如果中国不解决经济结构问题，就不可能实现2030年环境空气质量目标。

合作。¹⁹⁰ 河北省气象局首席气象服务专家、新闻发言人郭迎春在2014年2月表示，河北正在与天津、北京、山西、河南和山东合作开展几个联合项目，包括开发一套空气污染早期预警系统。该系统首先将区域性的风和温度变化趋势等当地数据与河北环境保护厅的排放数据结合起来，以便更好地预测污染趋势。¹⁹¹

2014年4月，中央政府成立了一个由国务院副总理张高丽领导的工作组，率先启动京津冀地区合作。¹⁹² 国务院发展研究中心发表文章进一步阐述了区域协调的重要性。¹⁹³ 文章指出，应当向地方规划者赋予更大的权力，确保同时考虑区域性减排对经济和社会的正反两方面影响。有效的区域协调还能确保地方规划者在制定区域性减排计划中发挥作用，并致力于长期减排工作。

2.4.4 需要加强空气质量和气候应对机构之间的协调

地方分权模式也会导致气候和空气质量政策的交叉和矛盾。全国空气质量、气候变化和能源目标是一致的，但实施起来却很困难，因为降低碳排放和各种常规污染物的排放是由不同级别的不同机构管理的。例如，地方环保部门的任务是降低PM2.5浓度，而能源价格、大型能源项目审批和气



洛杉矶经验：大城市如何在复杂的政治体制内加大空气质量控制的地区性合作，洛杉矶（见上图）的经验可以提供一些启发。

候变化政策都由国家发改委管辖。¹⁹⁴ 这些现实，再加上人员编制有限，职责交叉重叠，财政资源紧张，都加大了治理难度。

这种职责分工的后果可能很严重，最常提及的例子可能就是煤炭转化领域，包括煤制气、煤制油和煤制化学品。煤炭转化项目可能有助于向北京等大城市提供清洁气体，同时减少对本地燃煤的依赖。

但煤制气会严重污染大气，而且耗水量高，已经在国内外引起了广泛争议。为减少华东地区的污染而在内蒙古、新疆和其它地方建设煤制气项目，可能会导致污染和温室气体排放显著增加，同时增加水资源压力和其它对环境的影响。

截至2014年，中国有两个煤制气工厂投入运营，另有48个建厂计划，主要分布在新疆和内蒙古。如果这些工厂全部按计划投产的话，每年将生产高达2250亿立方米的煤制气，¹⁹⁵ 同时带来每年逾十亿吨的碳排放。根据绿色和平组织的估计，这甚至超过了2013年9月的《大气污染防治行动计划》确立的燃煤碳减排总和。¹⁹⁶

清华大学的电力系统及发电设备控制和仿真国家重点实验室2013年的一项研究发现，与竞争替代的每一种应用（烹饪、发电、采暖和工业蒸汽）相比，煤基合成气的全生命周期能源消耗要高出20%到108%。¹⁹⁷ 与大多数竞争性替代品相比，煤制气要消耗更多能源，全生命周期二氧化碳等效物的排放也更高。因此，虽然煤制气可以帮助北京市和其它地区实现能源目标，但也可能阻碍中国实现能源和排放目标。

水是另一个大问题。根据世界资源研究所的数据，拟建煤制气厂的潜在产量的80%将来自水风险高或极高的地区。¹⁹⁸ 单是内蒙古的一座煤制气厂，每年耗水就可高达2400万吨。¹⁹⁹ 如果内蒙古所有拟建煤制气项目全部建成投产的话，每年的耗水量将超过7亿吨，而目前内蒙古的用水缺口已达每年10亿吨。²⁰⁰ 所有来自化石燃料的能源生产都需要大量用水，尤其是煤转化项目。²⁰¹ 从能源角度计算，煤制气的耗水量远远超过常规煤炭、常规天然气或页岩气生产。²⁰²

由于煤制气和煤制化学品的加工都需要大量用水，水污染就成了一个大问题。2014年秋天，对大唐发电内蒙古煤制气项目的调查显示，虽然该公司声称该项目是一个“零废水排放”项目，但大量严重污染的废水被储存在一个明显没有防护层的排放池中。²⁰³ 这样看来，目前还难以断定煤转化项目如何能与中央和省级的水资源政策目标取得一致。

由于投资成本高，投产周期长，成本回收的计划资产周期长，因此煤制

能源价格并没有充分反映空气污染、水污染和温室气体排放等外部效应。

气对环境的影响有很大的潜在“锁定”效应。工厂开发商、为这些项目提供融资的银行以及决策层可能都没有充分考虑到煤制气投资的环境和财务风险。未来的碳价格、污染处罚、环保税和替代品价格的变化都可能使煤制气项目在财务上难以为继，导致各参与方的资产搁浅风险与财务风险。最大的风险也许是整个煤制气行业与中国能源、水和碳战略的其余部分步调不一致。这充分说明，有必要确保大型高耗能投资项目与全国和地方在能源、排放、水和经济转型等各个方面的目标和政策协调一致。

2.4.5 需要加强环境和经济政策之间的协调

中国目前的环保政策非常强调在现有产业和行政措施范围内采取技术性解决方案，如关停老旧产能。然而，大气污染和碳排放问题在很大程度上是中国经济结构所致，这一结构非常重视第二产业（包括将原材料转化为产品和大宗商品，如制造业、炼油和发电等），特别是重工业。2014年中国人民银行马骏所作的一项研究指出，如果中国不解决经济结构问题，就不可能实现2030年环境空气质量目标。即使第二产业排放量减少80%（这是目前技术水平可以达到的极限），并将工业的增长速度降低到与整体经济增速持平，京津冀地区还是无法实现空气质量目标。²⁰⁴

在许多方面，中国现行经济政策都向重工业倾斜。首先，如上所述，环保执法不力降低了高耗能、高排放（如水泥和钢铁生产）企业的经营成本。即便中央政府长期以来就有防止钢铁和水泥产能过剩的有关政策，但环保执法不力带来的低成本也在短期内让这些重工业具备了竞争优势，同时也降低了投资于污染行业的财务和经营风险。

能源价格并没有充分反映空气污染、水污染和温室气体排放等外部效应，这是一种偏重高耗能行业的经济结构扭曲现象。由于这种价格扭曲，生产厂家决定是否进行设施升级和提高能效的回报率依据并不反映真实的能源和排放成本。投资者和企业根据不同生产方式和不同产业的相对回报率来评估资本配置决策，将环境成本排除在外。这就导致中国经济长期偏重于高耗能、高排放产业。关停高排放设施或老旧过剩产能等行政措施具有短期效果，但不会改变错误定价造成的长期失衡。

导致经济结构扭曲的另一个因素是，与服务业和消费领域相比，重工业更受益于优惠的税收待遇和土地供应。这可能是官员绩效激励机制所导致的，这一机制重视短期经济增长速度，而吸引大型工业投资的政策能最快促进短期经济增长。其它因素也扭曲了服务业相对于工业的规模，例如，服务业适用相对较高的税率，²⁰⁵ 金融行业更愿意向大型国有工业企业提供较低的贷款利率和更多资金，²⁰⁶ 而服务业垄断又阻碍了竞争和新进入者。²⁰⁷

地方土地政策在降低重工业成本方面起了很大作用。中国工业用地的平均成本是商业用地的13%和住宅用地的16%，而在大多数发达国家这些比例从三分之一到二分之一不等。²⁰⁸ 中国工业用地价格低廉的一个原因是，各地方为迅速出售土地和吸引就业和商机而展开竞争。²⁰⁹ 另一个原因是工业用地整体供应量高。在中国的40个大中城市中，工业用地占土地利用面积的40-50%，而住宅用地仅占20%左右。²¹⁰

促使经济活动向高能耗产业投资倾斜的另一个因素是，这些企业多数都是国有企业，被国有银行视为低风险投资。国有企业于是成为中国各大银行的主要贷款客户。今后，如果环境绩效差的国有企业由于处罚和工厂关停而面临更大的监管和经营风险，就会对企业经营和银行贷款决策产生影响。但如前所述，在中国，环保执法不力，处罚较低，都意味着很多高排放的、由国有企业主导的行业面临着极小的监管或营运风险。

要求公司向投资者和贷款人披露排放情况可以使投资者远离高风险行业。对美国《有毒物质排放清单》的影响进行的研究表明，披露污染企业排放信息会导致企业资产价格下降从而影响投资者行为；另一方面，减排决策和投资于低排放业务的决策也会影响公司行为。²¹¹ 美国上市公司的财务报表一般包括对重大环境和监管风险的分析和讨论，还有一些第三方组织向机构和个人投资者提供公司环境绩效信息。这些组织也日益推动公司披露重大气候风险，例如在预计海平面上升或受极热气候影响等区域的投资。

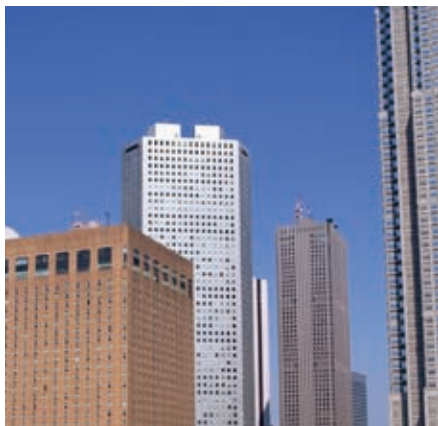
减少向高耗能、高排放生产和行业倾斜的经济扭曲，可以促进金融资源配置向低耗能、低排放的行业、产业、技术和商业模式倾斜。增加对公众和特定投资者的环保实践信息披露，也能在改善资本配置、降低与重大环境影响相关的金融风险中起到重要作用。

2.4.6 加强区域协调和政策整合来改善环境的建议

如前所述，加强政策整合和协调对实现空气质量和气候政策目标至关重要。协调的范围很广，包括针对PM2.5制定一套多污染物战略，对个别空气污染物进行窄层面协调，也涉及最广泛的宏观经济战略协调，纠正京津冀地区投资偏重高耗能行业的扭曲现象。我们在这些领域的建议非常广泛，并且反映了气候变化和空气质量项目组的观点，即决策层必须决定采取综合性更高的实践模式。

- 针对氮氧化物、二氧化硫、挥发性有机化合物、氨和PM2.5制定一套多污染物控制战略。没有对所有污染物的系统性控制，就不可能解决中国城市的PM2.5污染问题。

披露污染企业排放信息会导致企业资产价格下降从而影响投资者行为。



建筑和能源红利：根据最近的一项研究，单是采用节能技术和一体化设计，中国2050年的建筑能耗就可以比基础情景减少近一半。提高工业效率也将带来巨大的效益：中国钢铁业的吨钢能耗比韩国高出约65%。

- 加强区域协调，尤其是在目前空气污染最严重的京津冀及周边地区。由于污染物排放跨区域传输，因此单靠北京这样的城市难以通过控制本地排放来解决空气质量问题。
- 调整当地官员的空气质量关键绩效指标，纳入与官员实际控制的空气质量有关的指标，降低对空气质量的强调。鉴于天气的作用和大气污染物的跨区域传输，一些影响每日空气质量的因素不是任何一个地方辖区就能控制的。因此PM2.5浓度不能完全代表地方政策在减少污染上的进展情况。作为一个起点，应加大对具体减排措施的重视，如执行率和总排放量等。
- 加强气候变化和空气质量政策的协调。化石燃料燃烧，特别是煤炭燃烧，在一次PM2.5及其前体物的来源以及温室气体排放中占了很大份额。然而，能源、排放和碳政策往往难以在地方层面很好地整合，使当地污染物排放减少的同时，其它地方的碳排放却在增加。尽管本报告未涉及水和农业政策，但这两项因素也交织其中。地方对大型高耗能行业（如煤电、钢铁厂和煤制气厂）的投资应当与全国和省级的碳、能源、水和排放目标明确保持一致。
- 加大对地方经济政策扭曲（偏重于燃煤和高能耗产业）的重视。这些扭曲已经影响了河北省的经济发展，尤其是该省环境承载能力虽低，还是成为了钢铁、水泥和玻璃制造中心。消除工业用地价格扭曲，改变对高能耗国有企业的廉价贷款，增加环境风险披露，这些都有助于解决空气质量问题，并鼓励当地经济向高附加值、更清洁的产业转型。

2.5 其它政策措施：更加注重能效

最便宜的能源其实是人们从来不用的能源。多年来的研究表明，提高能效是成本最低的减排方式。中国也不例外。

中国决策层正在积极促进提高能效，过去十年已取得显著成就。国家“十五”规划（2001-2005年）期间，GDP的能源强度恶化了5%，但在“十一五”（2006-2010年）期间，在增加对能效的投资后，能源强度改善了12%。²¹²工业、交通运输和建筑业的成果最为显著。通过这些措施，与保持现状相比，中国节约了10%左右，即数亿吨煤炭消费。²¹³

尽管如此，提高能效在执行方面仍然面临挑战。消费者在做出购买决策时不太重视能效，而建筑开发商和管理人员则缺乏动力在建筑设计和运营中纳入节能减排因素。此外，工业领域往往缺乏有关技术和专门知识来提高能效，或评估在能效方面的投资。中国和其它国家已经取得的进步足以令人期待，详见以下章节阐述。

2.5.1 工业能效有所提高，但仍有可为

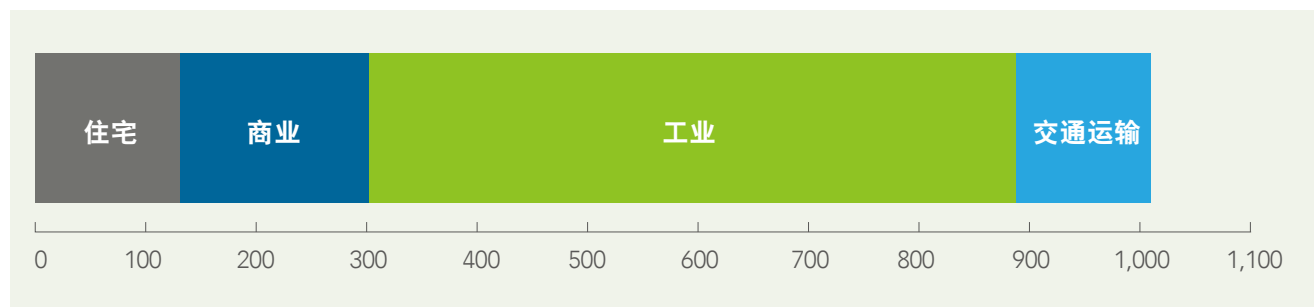
由于工业在中国一次能源消耗中占大头，因此是降低能源强度的主要目标。相关措施显然已有成果：2000-2008年期间，中国钢铁行业的吨钢能耗下降了31%。²¹⁴ 在1990年代，中国钢产量增长一倍，但钢铁行业的能源消耗只上升了约30%。²¹⁵ 这要归功于工艺的改进，许多都是“十一五”规划中的政策推动所致。类似地，1980-2009年期间，中国水泥行业的单位能耗降低了30%，达到了与美国和欧洲相当的水平。²¹⁶ 研究表明，“十三五”规划将继续以提高工业效率为目标。²¹⁷

尽管取得了这些成绩，但无疑仍然有改进的余地。研究表明，中国许多工业部门的能源强度仍远远高于其它国家。例如，中国钢铁行业吨钢能耗比韩国高出近65%。²¹⁸ 2012年中国环境与发展国际合作委员会（CCICED）的一项研究发现，在已采取的措施之外，如果再实施79项减少工业排放和能源消耗的措施，那么到2020年，中国碳排放总量将比2010年62亿吨左右的基线情景减少12亿吨。该报告揭示了能源强度和中国的工业排放与国际最佳实践之间的差距，彰显了产业升级的巨大空间。²¹⁹

2011年CCICED的另一项研究指出了数百项成熟的技术，可以使中国到2020年节约4.5-7.5亿吨碳当量的能源。²²⁰ 同样，2012年劳伦斯伯克利国家实验室（LBNL）的一项研究表明，与实施目前政策的基线情景相比，大幅提高工业能效是可能的。²²¹ 根据LBNL的“技术最大化”情景，与2030年的基础情景（约为全国能耗基线的13%）相比，工业部门可以节约相当于6亿吨标准煤的能源。在该分析中，住宅和商业部门有相当于3亿吨标准煤的节能潜力，而交通运输部门可节约相当于1.5亿吨标准煤的能源。

从工业型经济向服务型经济的整体转型也可以促使效率提高。在过去十年中，中国工业效率的提高在很大程度上直接来自于现有行业内部的效率

在LBNL“技术最大化”情景下2030年按行业分类的一次能源节约情况



资料来源：LBNL，2012年

劳伦斯伯克利国家实验室的“技术最大化”情景是指每吨工业品产出的能源强度在效率方面、技术组合和燃料组合方面均达到高度完善的情况。在这种情况下，通过积极的方案和政策，在工业、商业、交通运输和住宅部门的最终用途中，效率得到最大程度的提高，达到技术潜力所能达到的最高程度。

多年来的研究表明，
提高能效是成本最低的
减排方式。中国也不例外。

改进，而不是向能源强度较低的行业转移。²²² 在过去二十年中，固定资产投资主导了中国的经济增长模式，导致建筑和高耗能制造业（如钢铁、水泥）的增长率高于整体经济增长率。²²³ 在中国经济向增加国内消费和减少固定资产投资转变的过程中，钢铁、水泥和玻璃的需求增长可能会低于消费业的需求增长。

2.5.2 汽车驾驶和油耗上升使交通运输效率变得日益重要

中国的交通运输业在一次能源消费中占据相对较小的10%份额，²²⁴ 但随着汽车驾驶量和保有量的增加，这一份额正在迅速上升。中国已经超过美国成为全球最大的石油进口国，²²⁵ 到2030年还可能成为全球最大石油消费国。²²⁶ 中国现有汽车数量超过2.4亿辆，²²⁷ 2014年全国总销量超过2000万辆，²²⁸ 不过汽车需求增长预计将放缓。²²⁹ 鉴于中国人均汽车保有量仍远低于美国或日本，一些预测认为到2030年中国可能有多达5亿辆汽车。²³⁰ 如果大多数或所有新车辆都使用石油燃料，驾驶量的增长将对中国的能源消费、排放和能源安全产生惊人的影响。

政府已经通过地方大气污染防治计划以及国家五年规划，采取了一些有助于应对这一问题的行动。在能效方面，中国从2004年开始采用燃油效率标准，到2014年，新乘用车的燃油效率提高到了每百公里6.92升（每加仑34英里）。标准还将继续提高，到2020年要达到每百公里5升（每加仑47英里）。²³¹ 为了加快效率提升和淘汰陈旧、高污染车辆，政府已实施了汽车报废计划。政府还制定了对节油混合动力车和其它车型的激励方案，并对液化石油气（LPG）和压缩天然气（CNG）车辆提供补贴。²³² 此外，政府还通过各种方式来推动电动汽车市场的发展。²³³

2012年，LBNL对2030年中国能源状况的研究发现，提高能效在减少交通运输能耗和排放方面具有巨大的潜力。该研究预测，届时包括汽车和卡车在内的所有交通运输部门的效率将加速提高，而电动汽车的普及率将达到25%。²³⁴

中央和地方政府也继续大规模投资公共交通基础设施，多数超大城市正在兴建庞大的地铁网络和密集的公交网络。对很多城际出行而言，高铁比飞机更方便。中国2014年《能源发展战略行动计划》呼吁加大努力，增加规划步行和自行车路线作为汽车驾驶和公共交通的替代选项。²³⁵

尽管如此，改进仍有余地。许多观察家对中国快速的城市化提出了批评，指出新城市的规划多以车辆为中心：道路宽阔，街区庞大，主要就业中心和居住区之间距离遥远。²³⁶ 许多城市规划者认为，新的可持续发展的城市应当“以人为本”，设计原则应鼓励步行和自行车出行，人们可以在短时间内

在城市各集群之间往来。²³⁷ 中国在最近的城市化战略文件中使用了“以人为本的城市化进程”这一说法。²³⁸ 但目前只有少数城市将重点放在行人导向的发展上，深圳是其中之一。

2.5.3 中国各地都可以大幅提高建筑能效

近年来，中国每年建成的建筑面积达到了20亿平方米，约占全球每年建成总数的一半。根据中国城市化发展规划，到2040年，建筑物能源消耗预计上升50%。²³⁹ 虽然中国的建筑由于隔热效果差以及供暖或制冷的效率低，其能效远远低于发达国家，但能耗却比发达国家低得多。这可能是设计和使用模式不同造成的，特别是中国各地的空调使用率极低。²⁴⁰ 不过，中国的建筑能耗模式预计将与发达国家趋同，城市化持续发展，建筑面积不断增加，很可能导致建筑能耗在未来几十年内迅速上升，因此中国有必要解决建筑节能问题。

与其它行业的情况一样，政府已经采取了一些提高能效的措施，包括强化建筑规范和完善执法。²⁴¹ 在过去十年中，中国已有数亿平方米的建筑、尤其是住宅建筑完成了节能改造。²⁴² 中国还通过了国内的绿色建筑标准，并在政府大楼建设中推广绿色建筑。²⁴³ 然而，绿色建筑目前在中国新建筑中的比例还不到1%。²⁴⁴ 此外，北方省份的供热改革进度滞后，建筑改造步伐缓慢。²⁴⁵ 尽管中国有逾10万名建筑规范执法人员，报告的建筑法规执行率也提高到近100%的水平，但建筑节能的执法质量仍然很低。²⁴⁶

此外，中国新通过的建筑规范不如国际标准严格。²⁴⁷ 虽然各种新技术有大幅提高能效的可能，例如被动式房屋设计，即超低能耗建筑，在空间供暖或制冷方面只需要极少能量，但中国目前还缺乏专业知识和产业供应链来采纳这些技术。²⁴⁸

尽管节能减排既有经济价值，也是个人责任，因而获得广泛支持，但中国人仍普遍缺乏能源意识。对建筑业主和物业管理人員的教育特别重要，因为他们对于建筑物的节能运行和维护承担着巨大的责任。

根据2014年LBNL和落基山研究所(RMI)的“重塑能源：中国”项目的研究，在未来几十年，中国建筑行业在提高能效方面有着广阔的空间。根据该研究的基础情景，由于建筑面积增加和能源强度不断上升，建筑能耗到2050年之前都会稳步增长，但“重塑能源”描绘了另一种可能性，即建筑能耗在2030年左右达到峰值。该研究表明，单是采用高效节能技术和一体化设计，2050年的建筑能耗就可以比基础情景减少近一半。能效提高的主要原因在于一体化设计，²⁴⁹ 这是一种协作性、多学科的流程，使节能建材和设备的选择与气候、用途、建筑设计和各种系统相匹配。



宜居城市：中国政府正在促进电动汽车市场的发展，许多城市规划者相信，新的可持续城市应当“以人为本”，设计原则应当鼓励步行和自行车出行。



可再生能源的崛起：中国政府正在支持可再生能源的发展，为可再生能源的制造商和开发商提供低息贷款，制定风能和太阳能发电上网电价，为分布式能源提供补贴。

与其它行业一样，即使不考虑环境效益，能效投资带来的收益通常也可以抵消成本。根据麦肯锡的一项研究，在最具回报吸引力的减排措施中，多数是建筑节能措施，包括高效的LED照明、最佳建筑围护结构和被动式设计。²⁵⁰

中国正处于快速城市化进程之中，现在就应当采取严格的建筑规范和实践，避免新建筑在未来几十年受困于高能耗水平。

2.5.4 提高工业、交通运输和建筑业节能成效的建议

能效应该是中国的减排和能源安全战略的核心内容。这是常规污染物和温室气体减排最具经济效率的方法之一。提高能效的措施在许多情况下还会导致净成本下降。但可能遇到制度障碍或市场壁垒。

中国对燃油效率、建筑乃至工业生产工艺实施了更严格的标准，已经发出了提高能效的明确信号。虽然工业占一次能源消费的比重最大，但在所有行业落实节能措施都是很有必要和很有价值的。气候变化和空气质量项目组提出了一些提高能效的建议，其中许多建议范围较广，说明在加强执行各项标准和实现各项目标上仍有改进空间。

- 工业继续以提高钢铁工业的能效为目标。中国的许多工业部门，尤其是钢铁工业，能源强度仍远远高于其它国家。
- 充分利用各种成熟技术来降低工商业和住宅部门的能源消耗，措施包括继续与企业 and 能源服务公司合作，找出并减少这些投资中的财务和政策障碍。
- 依靠现有的城市交通网络，降低对汽车的依赖，进行适当的城市规划，确保社区内部和跨社区的交通高度顺畅。
- 提高建筑业主和物业管理人员对能效效益的认识，并继续倡导建筑能耗公示和基准，加快制定更严格的标准和目标。

2.6 控制空气污染的其它措施：告别化石燃料

中国应同步控制大气污染和温室气体排放，最明显的理由是两者通常肇因相同：对化石燃料的高度依赖。中国政府基本上已经认识到各种经济和环境问题都来源于对煤炭的依赖。燃料供应多样化是一个长期目标，因此催生了过去几十年来对各种替代能源的投资。目前政府已经在供应面推行了三大策略，以期摆脱对煤炭的依赖：加大开发非化石能源，如风能、太阳能、水力和核能；增加天然气的生产和进口；设置煤炭消耗量上限。

2.6.1 中国正在加大可再生能源电力生产

中国推进清洁能源替代煤炭和燃料供应多元化的做法，已经使中国成为一个可再生能源强国。“十二五”和“十三五”规划包括了推进清洁能源替代煤炭的政策，其中包括增加非化石能源比重的目标。中国的水电装机容量居全球之冠，²⁵¹ 风力发电能力也超过其他任何国家，而且有望成为世界上最大的太阳能国家（中国目前已经是太阳能光伏组件的最大生产国）。²⁵² 中国政府一直从政策上支持可再生能源的发展，并对供应和需求两个方面都提供补贴，包括对制造和开发企业提供低息贷款，制定风能和太阳能发电上网电价，以及向分布式能源提供补贴。²⁵³ 但由于中国的能源需求迅猛增长，煤炭比其它燃料更廉价，因此在非煤炭能源方面的增长尚未带来煤炭消费的持续下降。

中国在开发可再生能源方面起步较早，制造规模扩大带动可再生能源成本下降，因此中国现在可以制定更宏伟的目标，增加非化石能源的绝对容量及其在能源总量中的比重。根据“十二五”规划（2011-2015年），风力发电的目标是到2015年上升300%，至并网容量100 GW；太阳能光伏发电增加3500%至35 GW；水力发电增加50%至330 GW。²⁵⁴ 到2020年的目标要求风力发电达到200 GW、太阳能光伏发电达到100 GW——两者在五年内分别要增至原来的两倍和三倍。²⁵⁵ 然而，到2020年，非化石能源占中国能源总消费量的比重仍然只有15%，²⁵⁶ 到2030年将上升到至少20%。²⁵⁷ 非化石能源包括太阳能、风能、水能、核能和生物质能。

在水能、风能、太阳能和核能目标上，中国在技术部署方面都处于世界前列，政府定期地持续提高这些目标。目前的计划表明，到2020年太阳能和风能发电将达到数百GW，到2030年这些技术的装机容量也许会超过1000 GW。

2.6.2 中国正在提高天然气产量和进口量

在负责任地生产和管理的前提下，天然气能显著降低常规污染物和二氧化

基于当前各项目标的非燃煤发电装机容量 (GW)

	2013年底	2015	2017	2020	2030
天然气发电	44			85	230
水电	257	290	330	350	400
核电	16	40		58	120
风电（已并网）	78	100	150	230	560
太阳能光伏发电	19	35	70	100	308

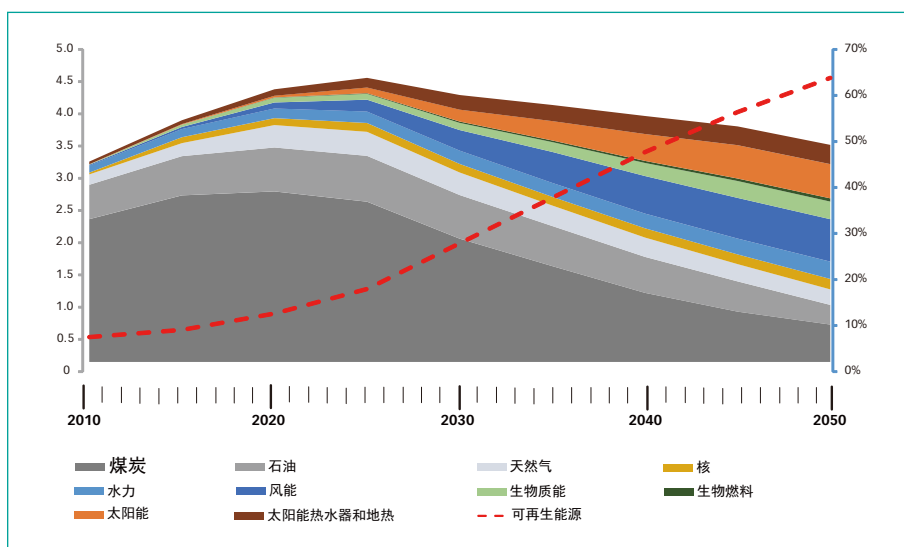
资料来源：国家发改委“十二五”规划，2013年；国家能源局2017年目标，2014年；国家发改委《能源发展战略行动计划》，2014年；国际可再生能源机构，2014年

目前的计划表明，到2020年太阳能和风能发电容量将增加逾百GW，到2030年上述技术的装机容量也许会超过1000 GW。

中国对燃油效率、建筑乃至工业生产工艺实施了更严格的标准，已经发出了提高能效的明确信号。

中国天然气发展将取决于如何解决天然气价格、管道建设和市场准入等关键政策问题。

中国有潜力到2050年将可再生能源燃料占燃料组合的比重提高到60%



资料来源：中国国家可再生能源中心（CNREC）和能源研究所（ERI），2015年4月

2015年4月由国家可再生能源中心牵头的一项研究认为，从技术和经济角度来看，到2050年，中国可再生能源发电可以达到总量的85%，可再生能源占能源总量的比重可以达到60%。

化碳排放。²⁵⁸ 在过去十年中，美国通过能源消费从煤向天然气的转移实现了减排，体现了天然气的诸多优势。但也为不受监管的天然气生产的潜在不利因素提出了警示，即天然气生产可能会导致甲烷泄漏、水污染和其它环境问题。²⁵⁹ 中国在本世纪初的状况完全不同，国内天然气产量较低，天然气管道和燃气电厂寥寥无几。虽然中国拥有丰富的天然气储量，其中包括可能是世界上最大的页岩气储量，²⁶⁰ 但与美国相比，开发难度很可能要大得多。²⁶¹

尤其需要注意的是，中国天然气发展将取决于如何解决天然气价格、管道建设和市场准入等关键政策问题。阻碍天然气发展最重要的因素是国内生产，而生产受到无数监管和市场问题的困扰，例如管道不足，缺乏勘探和生产数据等。²⁶² 由于中国的天然气需求远远超过目前的国内供应量，因此必须依赖液化天然气的进口和国际输气管道。²⁶³ 这就导致中国天然气价格远远高于美国。国内生产、进口和相关基础设施的成本提高了天然气相对于煤炭的成本。目前，煤炭价格过低所以无法对煤改气起到鼓励作用。应该综合运用资源税、排放配额交易和煤炭消费量上限来纠正这种状况。

天然气的另一个障碍是煤制气，这是一种昂贵的天然气替代竞争产品。目前，在资金流向煤制气的地区中，有几个正是中国天然气储量最丰富的地区。提高中央政府政策执行的透明度（包括煤炭消费量上限、排放控制、水资源管理和能源价格等）将有助于资金从煤制气基础设施转向天然气、可再生能源等更清洁的替代能源并提高能效。

尽管存在这些障碍，中国仍决心同时发展天然气与其它煤炭的替代能

源。根据政府的目标，到2020年，天然气占能源消费的比重应从2014年的5.9%提高到7.5%。²⁶⁴ 解决天然气供应的渠道包括，增加液化天然气与管道进口（最近与俄罗斯签订的协议有助于增加供应），增加国内常规天然气、煤层气和页岩气的供应。

2.6.3 中国几个省份已设置煤炭消费上限

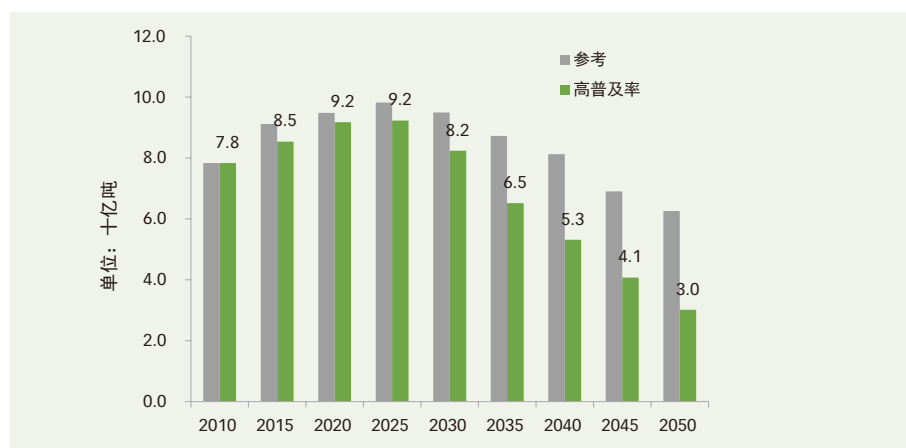
仅仅在几年前，多数专家还认为，除非大幅调整现行政策，否则中国煤炭消费的上升将会势不可挡。但经济增长放缓加上产业结构加速调整已经改变了这种看法。花旗银行在2013年9月发表的研究报告中预测，中国的煤炭消费将在2030年之前达到峰值，报告作者当时还称其“难以想象”。但他们指出，中国朝着这个方向前进的动因包括：政策要求减少大气污染，GDP增长放慢，非化石能源不断发展，煤炭利用效率提高等。²⁶⁵

与此同时，中国逐步在某些省份（特别是东北地区）对煤炭消费设置上限，部分原因是为了应对大气污染问题。2013年9月，国务院公布《大气污染防治行动计划》，为改善全国空气质量制定了十条具体措施，其中特别提出了对煤炭消费上限的要求，随后各省都制定了上限标准。国务院还宣布，禁止在京津冀、长三角和珠三角这三个地区新建燃煤电厂。²⁶⁶



煤炭消费上限：目前仅在省和直辖市一级实行，到2020年可望推广到全国范围。在不到两年的时间里，全国煤炭消费上限的概念已经从难以想象变成了官方政策。

中国可能在下一个十年初期就达到煤耗峰值



资料来源：CNREC、ERI，2015年4月

目前对中国煤炭消费在2030年之前达到峰值有多项情景假设。CNREC的预测显示，中国将在2025年达到煤耗峰值。

华东四省市（其中三个构成了京津冀地区）都通过了到2017年削减绝对煤炭消费量的计划：

- **北京：**在2013年2270万吨的基础上削减1300万吨（削减57%）。
- **天津：**在2013年5300万吨的基础上削减1000万吨（削减19%）。

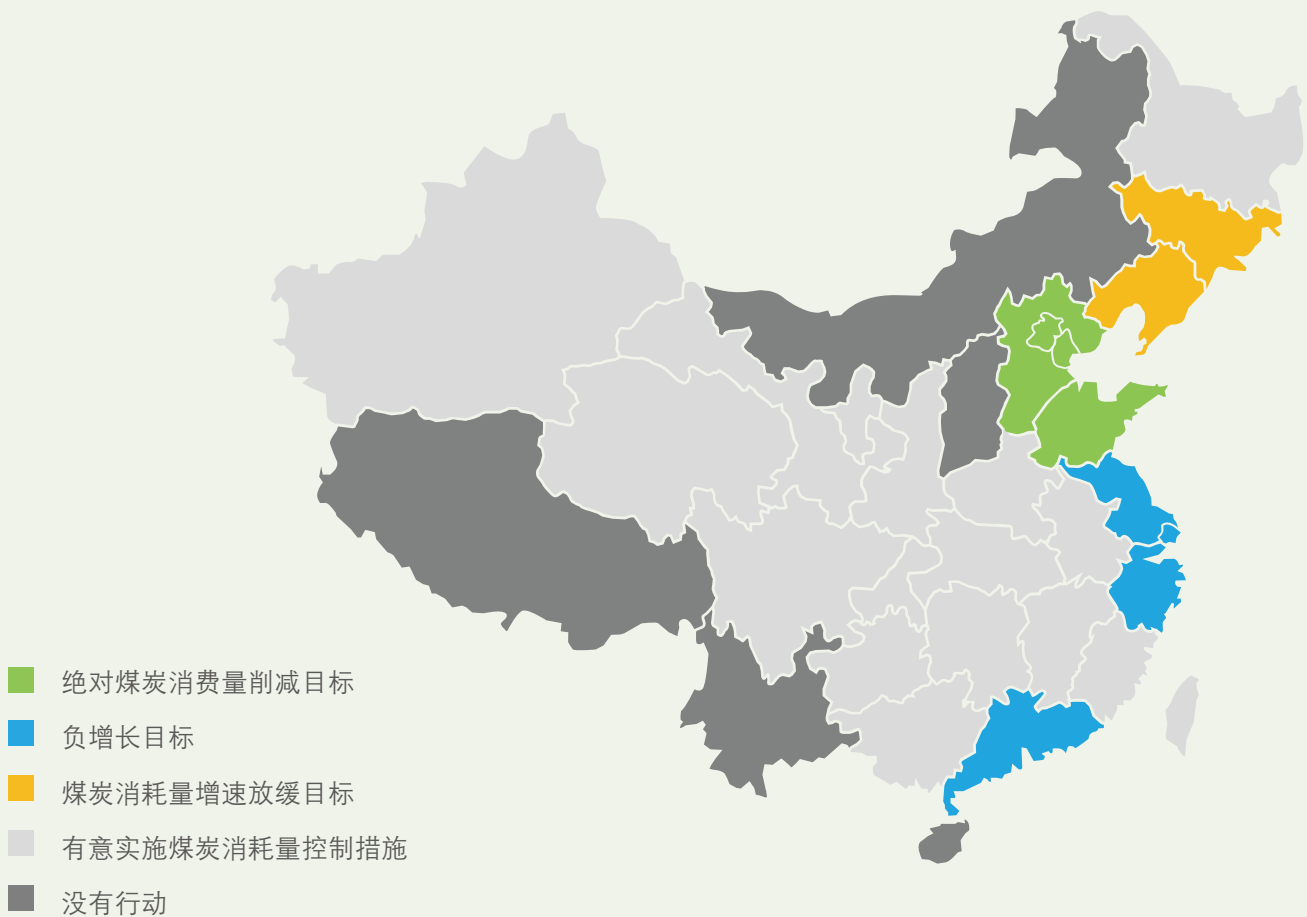
- **河北**：在2013年3.136亿吨的基础上削减4000万吨（削减13%）。
- **山东**：在2013年4.023亿吨的基础上削减2000万吨（削减5%）。²⁶⁷

这些数字显示，与2012年的煤炭消费量相比，到2017年这四个省市的煤炭消费总量将降低10.5%。²⁶⁸ 吉林省和辽宁省计划将煤炭消费量的上限设置在与当前相比不太高的水平上，而上海、江苏和浙江已经将“煤炭消费量负增长”定为目标。另外还有四个省（黑龙江、安徽、福建和江西）有降低煤炭消费量增长的计划。²⁶⁹

绿色和平组织在2014年4月对迄今为止各省煤炭消费量上限的分析指出，在这些政策的推动下，中国的减排水平可能接近国际能源署的要求，即

* 北京、天津和上海是直辖市。

截至2014年中国各省煤炭消费量上限政策概览



资料来源：绿色和平组织，2014年

江苏和浙江已经将“煤炭消耗量负增长”定为目标。另外还有四个省（黑龙江、安徽、福建和江西）有降低煤炭消耗量增长的计划。

把地球变暖的温度控制在2摄氏度内。²⁷⁰

虽然煤炭消费量上限目前仅限于省和直辖市一级，* 但预计会在2020年之前扩大到全国。根据国务院2014年11月公布的《能源发展战略行动计划》，到2020年，全国煤炭消费量的上限为42亿吨标准煤，比2014年的上限高约8%。²⁷¹ 基于这一目标，到2015年，煤炭应占一次能源的65%，²⁷² 到2020年下降到62%。²⁷³ 到2030年，该比例可能下降到50%以下。²⁷⁴ 在不到两年的时间里，全国煤炭消费量上限的概念已经从“难以想象”变成了官方政策。

目前对中国煤炭消费在2030年之前达到峰值有多项情景假设。各研究机构，如国家发改委能源研究所和国家可再生能源中心，已结合目前的各项政策以及各种合理更新，对中国的能源发展道路进行了建模分析。²⁷⁵ 在过去三年中，这些报告的作者们不断提前中国达到煤炭消费峰值、碳排放峰值和能源消费峰值的预测日期。预测日期的调整与中国2014年11月宣布的到2030年达到碳排放量峰值的承诺相吻合。

鉴于煤对大气污染的影响，中央和地方设置煤炭消费量上限是在降低能源和工业污染方面的又一重大进步。但是，贯彻和实施仍然充满挑战。²⁷⁶ 实施煤炭消费量上限及相关产业政策的确切机制将是一个重要的政策选择。过去关停工厂的行政措施已被证明只有部分效果。市场机制，如资源税和排放配额交易等，可以将化石燃料的生产和使用的外部效应纳入定价之中，并更好地引导长期投资决策。

中美能源和环境合作

作为两个最大的能源消费国和全球温室气体排放总量的主要排放国，中国和美国在能源和环境政策方面有许多相同的重点。两国都优先考虑开发风力、太阳能和天然气等低碳能源，加强措施提高能效和需求侧管理，进一步开发储能、电动汽车以及碳捕获与储存领域的先进技术。虽然中国在某些科技领域有许多要向美国学习的地方，但是当今中国蓬勃发展的研发部门和率先投资及扩大新能源技术的能力也是举世公认的。这意味着中美能源合作更多的是双向合作，即在某些领域（如碳捕获和储存）美国向中国转让技术，而在技术转让已经发生的领域（如先进核能），中国可以领导对这些技术的改进和升级。在某些领域，政府间协作和科技合作正在产生两国都能够部署和利用的成果，有各种组织和企业参与的中美清洁能源联合研究中心所作的各项努力就是集中体现。

中美合作是保尔森基金会使命的核心要素。通过与两国政府的合作，保尔森基金会正在将能源和环境领域的专家汇集到一起。气候变化和空气质量项目组今后的工作重点在于促成中美两国政府、企业和专家相互合作，互惠互利，携手解决共同问题。

虽然煤炭消费量上限目前仅限于省和直辖市一级，但预计会在2020年之前扩大到全国。

2.6.4 加快告别化石燃料的建议

中国可以通过燃料转换来减少对化石燃料的依赖，从而大大减少常规污染物和碳排放。负责任地开发天然气资源，将可再生能源有效纳入国家电网和跨区域电网，能减少排放并推动清洁能源的开发创新。中国可以采取几个步骤以确保在过渡到更清洁燃料时，实现温室气体和常规污染物的净削减。

- 在国内天然气发展实施更严格指导方针的同时：要求将每年的甲烷排放数据报告给当地环保部门和环保部，对输气基础设施进行年度检查和维修，以减少输送泄漏，将生产过程中的甲烷泄漏降至最低。
- 在装机容量增长的同时，确保太阳能和风能资源得到充分利用：提高可再生能源的并网量，增加可再生能源发电的传输和发电厂的有效调度。
- 将提高可再生能源发电容量与日益受到重视的需求响应相结合。例如，推进“从车辆到电网”项目实验，改善电网的运行和灵活性，吸收更多可再生能源并网。

2015年夏季，保尔森基金会的气候变化和空气质量项目组将发表两篇论文，分别探讨电力行业改革和需求响应以及两者在减排和加快向清洁能源过渡中的作用。

2.7 摘要和结论

本报告提出，大气污染和气候变化这两者都是中国当前亟需应对的当务之急。大气污染是中国面临的一项严峻挑战，大多数中国大城市遭受的污染远远高于国际卫生专家认为可以接受的水平。中国还面临气候变化带来的巨大的长短期风险，例如，极端天气事件增多，干旱发生频率加快及时间延长影响到粮食供应和农村经济，多达6000万人生活在易受海平面上升导致洪水侵袭的沿海地区，包括数百万生活在深圳和上海等经济中心的人口。

为了充分应对气候变化和空气质量问题，中国必须在政策和执行两个方面继续加大力度。加强执法能力是中国为减少大气污染能做的最有经济效率的投入之一。对许多企业来说，接受大气污染处罚仍然比遵守相关空气法规更划算。为了应对这些挑战，中国需要增加执法人员数量，增强培训，授权执法人员对国有企业进行执法。2012年以来，中国空气质量数据的可获取性已经有了显著提高，但在扩大实时信息披露、改善排放清单和扩大非政府组织在协助执法活动中的作用等方面，还可以有更多作为。

加大政策协调是关系到解决气候变化和空气质量问题的最重要和最突出的问题之一，也是难度最大的问题。中国需要制定一套多污染物的PM2.5战略，加强区域协调，更好地整合能源、排放和水资源政策，加大针对所有

污染物的政策协调；还需要更加关注经济扭曲现象，即在河北等环境承载力低的地区发展高耗能行业这种扭曲现象。在理想的情况下，对地方官员政绩考核不仅要与空气质量等环境目标挂钩，还要考核他们在整合这些领域的举措以实现综合目标的业绩，不要局限于纯粹的短期GDP增长等方面。

除了加强和更好地执行现有法规外，决策层还可以在两个具体领域制定更强有力的措施，以最佳方式同步解决气候变化和空气质量问题，即提高能效和推进清洁能源替代煤炭。减排政策及其执行通常都把重点放在针对特定行业的末端治理方案上，例如制定发电厂氮氧化物排放标准或汽车尾气排放标准。但这些方案通常一次只针对一种或几种污染物，有可能导致能源生产模式停留于现状，甚至导致其它污染物排放量的上升。与此相反，提高能效和推进清洁能源替代煤炭，可以在降低所有污染物排放的同时，实现多项政策目标。通常，能效投资或运营改革具有低成本和实际节省资金的好处，例如，采用LED照明和更好的建筑保温材料所节约的资金足以支付其成本，光是改变现有发电机组的利用模式，采用更清洁、更高效的发电机组，中国每年就可以节省数十亿元人民币。²⁷⁷

能源政策总是在长期不确定性的情况下做出的决策，期望能最大限度地产生经济和环境效益。由于能源涵盖的活动范围较广，相关的监管和投资政策在许多行业和政府部门之间会有分歧。以往的能源政策促进了中国经济的快速增长，但有时付出了清洁空气和长期气候稳定的代价，在京津冀地区就是一例。

展望未来二十年，中国必须采取更多措施，将投资导向低长期成本、高长期收益的经济活动。这些事做起来并不容易，但在过去十年中，可再生能源和天然气规模的逐步扩大已大大降低了风险，并为中国拓展了新的选择。

归根结底，最好的策略是综合、系统地配置资源，实现政府在空气污染、气候和水方面的目标，同时促进清洁产业的发展，使其成为中国经济增长的引擎。在京津冀地区乃至全中国，政府应当制定同步应对空气污染和温室气体排放的经济发展战略。尽管控制大气污染的直接好处比减少温室气体排放更加明显，但同步应对这两个问题仍是最具经济效益的方法，具有最佳效益成本比率。²⁷⁸

在过去五年，中国的能源形势已经发生了显著变化。风能、太阳能和储能成本已经下降，²⁷⁹ 能源消费增长也有望显著放缓。²⁸⁰ 如果这些趋势继续发展下去，通过燃料转换和提高能效来同步控制大气污染和碳排放，其成本效益和实用性很可能会日益提高。总而言之，同步应对大气污染和气候变化问题是中国的当务之急，中国再也等不起了。

作者简介



Anders Hove (侯安德)

侯安德是保尔森基金会的中国研究部副主任。他负责空气质量和气候变化的研究工作，提供与政策、市场和技术解决方案相关的研究思想。他还为基金会的其他项目提供研究支持。侯安德在能源政策和市场方面拥有超过15年的工作经验，其中包括9年华尔街工作经验和4年中国工作经验。他的职业生涯始于在华盛顿特区的兰德公司担任能源政策分析师，后来在德意志银行和杰富瑞投资银行从事电力公司和石油服务行业的股票研究。2007年，在太阳能热潮的初期阶段，侯安德曾为一家对冲基金工作，进行清洁能源技术和项目的私募股权投资，尤其是太阳能领域。2010年，侯安德到中国，开始担任中国绿色科技的研究分析总监。2012年，侯安德加入安元易如，负责管理清洁科技咨询团队，咨询项目的重点领域是储能、太阳能、风能和智能电网技术。侯安德拥有麻省理工学院政治学专业学士学位和硕士学位，他还是一名特许金融分析师。他著有大量关于中国能源行业的研究报告和论文。



Merisha Enoe (尹美霞)

尹美霞女士是保尔森基金会北京代表处的研究部经理，主要负责气候变化和空气质量项目的研究工作，致力于改善京津冀地区的空气质量并提出政策及经济建议。在加入保尔森基金会之前，尹美霞女士曾在中国绿色科技工作，担任高级分析师，领导编制《中国绿色科技报告》以及多个专题的研究工作，其中包括中国的页岩气发展趋势和国家政策对普及采纳清洁技术的影响。尹美霞拥有米德尔伯里学院生物化学与中文双学士学位及耶鲁大学的环境管理专业硕士学位。

致谢

本文作者衷心感谢以下机构和专家为本文提供的支持

付璐

亚洲清洁空气中心，中国区总监

Angel Hsu

耶鲁大学，研究员，讲师

Ken Markowitz

International Network for Environmental Compliance and Enforcement, 董事总经理

Jeremy Schreifels

环境顾问

王书肖

清华大学环境学院，大气污染与控制研究所所长

王彦

自然资源保护协会，中国环境法项目主任

Steve Wolfson

美国环保署，国际环境法律办公室，高级律师

赵立建

能源基金会，环境管理项目主任

马军 和 Matthew Collins

公众环境研究中心，主任及团队成员

同时也感谢保尔森基金会的工作团队成员: Ellen Carberry (柯凯丽)、Chelsea Eakin (艾巧思)、Dinda Elliott (艾鼎德)、付莉霓、Kate Gordon (凯特·戈登)、Hortense Halle-Yang (海棠)、姜新燕、Taiya Smith (史泰雅) 和万婧。

同样感谢东源咨询的Julian Schwabe (朱里安) 在保尔森基金会工作期间对本报告的贡献以及Mango Strategy 的Randall Hancock (汉瑞德) 对报告初稿的指导意见。



APEC蓝：2014年11月亚太经合组织会议期间，北京周边的工业被勒令停工，北京的天空湛蓝如洗（见上图）。但这种短期措施难以持续。

