



城市绿色发展科技战略研究
北京市重点实验室系列成果

2014—2015城市绿色发展科技战略研究报告

Science and Technology Strategic Research Report for Urban Green Development 2014—2015

城市绿色发展科技战略研究 著
北京市重点实验室



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

城市绿色发展科技战略研究
北京市重点实验室系列成果

2014-2015城市绿色发展科技战略研究报告

Science and Technology Strategic Research Report for Urban Green Development 2014-2015

城市绿色发展科技战略研究 著
北京市重点实验室



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

2014—2015城市绿色发展科技战略研究报告 / 城市绿色发展科技
战略研究北京市重点实验室著. —北京: 北京师范大学出版社,
2015.5 (2016.1重印)

ISBN 978-7-303-19075-1

I. ① 2… II. ① 城… III. ① 城市环境 — 生态环境建设 —
研究报告 — 北京市 — 2014—2015 IV. ① X321.21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 093960 号

营 销 中 心 电 话 010-58805072 58807651
北师大出版社学术著作与大众读物分社 <http://xueda.bnup.com>

2014—2015CHENGSHI LÜSE FAZHAN KEJI ZHANLUE
YANJIU BAOGAO

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com

北京市海淀区新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印 刷: 三河市兴达印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 890mm × 1240mm 1/16

印 张: 16.25

字 数: 350 千字

版 次: 2015 年 5 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 月第 2 次印刷

定 价: 98.00 元

策划编辑: 马洪立

责任编辑: 戴 轶

美术编辑: 袁 麟

装帧设计: 袁 麟

责任校对: 陈 民

责任印制: 马 洁

版权所有 侵权必究

反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

印制管理部电话: 010-58805079

序 言

2009年，北京师范大学委托我组建了学校“985”经济可持续发展研究基地。根据“985”项目要求，我组织了校内外相关研究机构，协调了经管片和与资源环境相关的理工科院系，共同设计和完成了《中国绿色发展指数报告——区域比较》。从2010年到2014年先后完成了5本年度报告。2011年，北京市政府与北京师范大学共同组建了首都科技发展战略研究院，主持设计和组织了《首都科技创新发展报告》，先后完成了3本年度报告。在编纂这两类报告的过程中，课题组深切地感受到了中国经历着因传统粗放式发展导致的污染之痛，也感受到了科技创新对首都乃至对国家绿色发展的重大意义。正是在这样的背景下，我们申报并于2013年6月获批建立“城市绿色发展科技战略研究北京市重点实验室”。

绿色发展已成为国家的重大发展战略，北京市也早在2008年提出了“人文北京、科技北京、绿色北京”的发展战略。城市绿色发展已成为社会的亟须，科技的关注，政府的战略。为了深入破解北京市绿色发展面临的现实和亟须解决的问题，实验室成立了城市雾霾问题、城市垃圾处理、城市污水处理、城市绿色建筑、城市绿色能源、城市绿色产业6个研究小组。研究团队充分发挥北京师范大学经济与资源管理研究院、北京师范大学生命科学学院、北京市决策咨询中心3家共建单位各自的研究优势，围绕北京市绿色发展问题撰写子报告22篇，合编完成《2014—2015城市绿色发展科技战略研究报告》。可以说，《2014—2015城市绿色发展科技战略研究报告》是城市绿色发展科技战略研究北京市重点实验室推出的第一本报告，也是城市绿色发展科技战略系列报告的第一本著作。《2014—2015城市绿色发展科技战略研究报告》分为6个部分，汇集了实验室研究人员对城市雾霾、垃圾处理、污水处理、绿色建筑、绿色能源和绿色产业6个方面的研究成果。

城市绿色发展科技战略研究北京市重点实验室是由国内外专家共同组建的，它的目标是力争向国内外成功的实验室学习和看齐。实验室学术委员会也是由国内相关领域资深专家组成的。专家们的真知灼见指导着实验室向正确的方向努力。城市绿色发展科技战略研究北京市重点实验室可能是北京高校中首个文理交叉的北京市重点实验室。理工学科在重点实验室建设中已经有多年的实践和丰富的经验，值得

我们学习。目前，社会经济以及科学技术发展提出的各种问题，不仅仅是单一学科可以解决的，它要求多学科的协同研究，也需要文理学科的结合。正是在这个意义上，我们的实验室既生逢其时，也深感压力。我们现在所做的工作仅仅是一种探索，如何和理工科合作推出成果也是我们下一步努力的方向。《2014—2015 城市绿色发展科技战略研究报告》的完成，离不开学校及相关部门领导的指导关怀，专家学者的鼎力合作，师生们的辛勤劳动。在报告撰写过程中，我们既召开了全体成员讨论会，也分小组进行了多次研讨。

北京市科学技术委员会、北京市科学技术研究院、北京师范大学领导和相关处室、实验室、共建单位等对我们重点实验室的工作给予了很多的帮助和指导，在此一并表示感谢！

我们相信，在各方的支持下，在实验室师生的努力下，城市绿色发展科技战略研究北京市重点实验室会探索出一条文理合作、贡献社会的新路，为首都绿色发展和全面建设科技创新中心做出应有的贡献！

实验室主任



2015 年 1 月 10 日

2014—2015 实验室研究小组及研究子报告

分组	姓名	研究课题题目
城市雾霾问题 研究小组	王 诺 朱 蕊 程 蒙	京津冀地区环境污染治理的经济学分析——PM2.5 治理的成本效果(CEA)分析
	林永生	北京市工业废气减排：分解效应与治理对策
	范丽娜	北京市人口规模对雾霾的影响及对策分析
	王 颖	跨区域联防治理雾霾的研究——以北京市为例
	周晔馨	专题：斯德哥尔摩的空气污染治理及其对北京市的借鉴意义
城市垃圾处理 研究小组	荣婷婷	北京城市垃圾处理的体制机制研究
	邵 晖	大都市生活垃圾处理的困境与对策——以北京市为例
	张江雪	北京市生活垃圾处理的初步探索
	赵 峥	北京市“地沟油”问题的成因及对策分析
城市污水处理 研究小组	白瑞雪	北京市污水再生的生物技术处理研究初探
	郑艳婷 马金英	北京市污水资源化利用现状及对策分析
城市绿色建筑 研究小组	张 琦 冯 涛 赵 伟	北京市绿色建筑发展的现状及对策建议
	宋 涛	北京市建筑垃圾回收处理的现状及国内外经验借鉴
城市绿色能源 研究小组	刘一萌	北京市能源消费结构演变、问题及对策研究
	林卫斌 罗时超 谢丽娜	国际化大都市能源消费方式比较分析
	张生玲 郝泽林	北京市天然气发展与冷热电三联供利用模式初探
	董晓宇	绿色北京新支撑：电动汽车智能充换电服务网络的发展
城市绿色产业 研究小组	王海芸	PPP 模式在环保治理行业的应用分析及发展建议
	章永洁 叶建东 李成龙	走节约、低碳、高效之路——北京市工业余热利用产业发展研究
	王 峥 武霏霏	首都民生科技的“全面起步”：科技促进城市可持续发展评价
	韩 晶	中国制造业环境效率、行业异质性与最优规制强度
	范世涛	从美国州际环境合作组织论京津冀跨行政区的环境合作机制

目 录

城市雾霾问题研究

京津冀地区环境污染治理的经济学分析——PM2.5 治理的成本效果(CEA)分析	3
北京市工业废气减排：分解效应与治理对策	27
北京市人口规模对雾霾的影响及对策分析	35
跨区域防治治理雾霾的研究——以北京市为例	45
专题：斯德哥尔摩的空气净化治理及对北京市的借鉴意义	55

城市垃圾处理研究

北京城市垃圾处理的体制机制研究	63
大都市生活垃圾处理的困境与对策——以北京市为例	71
北京市生活垃圾处理的初步探索	79
北京市“地沟油”问题的成因及对策分析	88

城市污水处理研究

北京市污水再生的生物技术处理研究初探	97
北京市污水资源化利用现状及对策分析	108

城市绿色建筑研究

北京市绿色建筑发展的现状及对策建议	121
北京市建筑垃圾回收处理的现状及国内外经验借鉴	131

城市绿色能源研究

北京市能源消费结构演变、问题及对策研究	143
国际化大都市能源消费方式比较分析	154
北京市天然气发展与冷热电三联供利用模式初探	163
绿色北京新支撑：电动汽车智能充换电服务网络的发展	174

城市绿色产业研究

PPP 模式在环保治理行业的应用分析及发展建议	191
走节约、低碳、高效之路——北京市工业余热利用产业发展研究	200
首都民生科技的“全面起步”：科技促进城市可持续发展评价	214
中国制造业环境效率、行业异质性与最优规制强度	225
从美国州际环境合作组织论京津冀跨行政区的环境合作机制	237

表 目

表 1	2000—2012 年北京市工业废气排放量、GDP 及工业结构份额	28
表 2	2001—2012 年北京市工业废气排放量变化率及其分解效应	30
表 3	1990—2012 年北京市常住人口变动情况	36
表 4	1990—2012 年北京市城乡人口数及城镇化率变动情况	37
表 5	北京市历年家庭户规模情况	38
表 6	北京市历年家庭户规模所占比重	38
表 7	2000—2012 年北京市能源消费情况	40
表 8	2007—2013 年北京市空气中主要污染物年均浓度值	52
表 9	2014 年度绿色建筑评价标示项目	122
表 10	2008—2010 年北京市民用建筑节能改造数据表	123
表 11	国内外住房建造劳动生产率比较	125
表 12	2011—2012 年北京市各区县能源消费及能耗变化	147
表 13	能源消费方式的比较指标及其性质	157
表 14	几大都市能源消费总量与密度	158
表 15	几大都市分部门能源消费结构	159
表 16	几大都市能源消费强度	160
表 17	几大都市能耗强度与产业结构	161
表 18	几大都市分品种能源消费结构	161
表 19	2012 年北京市功能区能源使用情况	168
表 20	每立方米天然气供热经济性比较	169
表 21	各类型车辆中央财政补助标准	177
表 22	公交、环卫车每年收费标准	178
表 23	北京市电动汽车充换电设施建设分布情况	179
表 24	“十二五”期间北京市电动汽车保有量预测	183
表 25	“十二五”期间北京市电动汽车配套设施规模	183
表 26	城际互联规划方案	184
表 27	广义的 PPP 模式分类	192
表 28	依照温度划分的不同余热资源	201
表 29	中国余热资源主要集中的行业余热利用情况	204
表 30	工业余热的利用方式	204
表 31	北京市余热资源分布	205

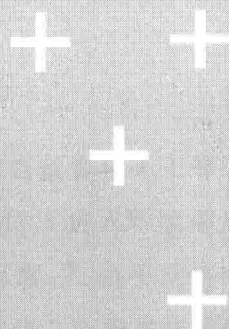
表 32	北京市工业余热回收利用产业典型企业和科研机构介绍	206
表 33	具有发展前景的北京市工业余热利用技术汇总表	211
表 34	首都民生科技发展指标体系及权重	217
表 35	2009—2012 年首都人口健康改善三级指标情况	220
表 36	2009—2012 年首都生态环境改善三级指标情况	220
表 37	2009—2012 年首都公共安全改善三级指标情况	221
表 38	2009—2012 年首都文化教育改善三级指标情况	222
表 39	制造业各行业污染物排放划分结果	227
表 40	2002—2011 年制造业各行业环境效率均值	228
表 41	环境规制影响环境效率的 SYS-GMM 回归结果	231
表 42	门槛效果检验	232
表 43	门槛估计值及置信区间	232
表 44	面板门槛模型回归结果	233
表 45	制造业各行业规制强度分类	234

图 目

图 1	2000—2012 年中国 GDP 与能源消耗量	4
图 2	2013 年中国空气质量与空气质量标准的比较	5
图 3	1980—2010 年死亡率、慢性疾病患病率、呼吸系统患病率与空气浓度之间的关系	9
图 4	2000—2012 年北京市工业废气排放份额变化趋势	29
图 5	2001—2012 年北京市工业废气减排过程中的技术效应	32
图 6	北京市 2013 年超标日首要污染物比例	39
图 7	PM _{2.5} 浓度平均值	39
图 8	斯德哥尔摩的 PM _{2.5} 值统计表	58
图 9	20 世纪 50 年代以来北京市污水总量与污水处理能力的发展	98
图 10	城镇污水二级处理厂污泥处理典型流程	101
图 11	2001—2012 年北京市水资源总量、供水(需水)总量及年末常住人口数量	109
图 12	2003—2012 年北京市再生水利用量及其增长率	111
图 13	2012 年中国各地再生水利用量	111
图 14	2012 年中国各地再生水利用量占用水总量比重	112
图 15	1988—2014 年北京市新建节能住宅一览	123
图 16	1980—2012 年北京市与全国人均能源消费量比较	144
图 17	2005—2011 年北京市分产品能源消费结构	145
图 18	1980—2012 年北京市分产业能源消费结构	146
图 19	北京市按照功能区划分的能源消费结构	148
图 20	几大都市人均生活能源消费与人均 GDP 散点图	159
图 21	2012 年北京市能源消费结构图	164
图 22	北京市历年天然气销售量和供应量	165
图 23	北京市历年天然气销售量和供给量增长率	165
图 24	2012 年北京市天然气使用结构图	166
图 25	智能充换电服务网络运营管理功能架构	182
图 26	余热资源分布情况	202
图 27	主要产热行业	203
图 28	北京市工业余热利用产业链	206
图 29	2009—2012 年首都民生科技环境指标得分	218
图 30	2009—2012 年首都民生科技驱动指标总得分	218
图 31	2009—2012 年首都民生科技成果指标得分	219

图 32	2009—2012 年首都人口健康改善指标得分	219
图 33	2009—2012 年首都生态环境改善指标得分	220
图 34	2009—2012 年首都公共安全改善指标得分	220
图 35	2009—2012 年首都文化教育改善指标得分	221
图 36	生产可能性边界和距离函数	226
图 37	面板门槛检验 LR 趋势图	233

城市雾霾问题研究



京津冀地区环境污染治理的经济学分析 ——PM_{2.5}治理的成本效果(CEA)分析

王 诺 朱 蕊 程 蒙

>>一、导论<<

雾霾的组成部分包括当量直径小于等于 10 微米的粗糙颗粒物(PM₁₀)和当量直径小于等于 2.5 微米的颗粒物(PM_{2.5})，PM₁₀被认为是一种基本的空气污染物，而 PM_{2.5}进入呼吸道后可以渗透到细支气管和肺泡，被认为比 PM₁₀对公众健康的影响更大、更有害。^①由于空气中 PM_{2.5}的产生主要是人为造成的，因此世界卫生组织将空气中 PM_{2.5}的浓度作为衡量空气质量的重要指标。^②

英国是最早开始雾霾研究的国家。1952 年 12 月 5—9 日，英国伦敦发生的烟雾事件是一次严重的大气污染事件。这次事件造成多达 12 000 人因为空气污染而丧生，并推动了英国环境保护立法的进程^③，同时也引起了现代空气污染科学家的关注，研究发现雾霾会引起死亡率的上升。20 世纪 70 年代，美国以及欧洲一些国家开始了对雾霾的研究，主要是研究雾霾与健康之间

① Lippmann M. The US EPA standards for particulate matter and ozone. *Issues in Environmental Science and Technology*, 1998(10): 75-100; Schwartz J, Neas LM. Fine particulate are more strongly associated than coarse particles with acute respiratory health effects in schoolchildren. *Epidemiology*, 2000(11): 6-10

② T. Mate, R. Guaita, M. Pichiule, C. Linares, and J. Daiz. Short-term effect of fine particulate matter (PM_{2.5}) on daily mortality due to diseases of the circulatory system in Madrid (Spain). *Science of the Total Environment*, 2010(408): 5750-5757

③ 1956 年英国颁布了大气污染防治法案《清洁空气法案》。该法案规定：城镇需使用无烟燃料，全面推广电和天然气，冬季采取集中供暖的方式，发电厂和重工业等高污染行业迁址到郊外。1974 年颁布的《控制公害法》列出了一系列从空气到土地和水域的保护条款，并添加了控制噪声的条款。1989 年英国政府宣布关闭被认为是工业时代象征的巴特西发电站。在一系列的措得到严格执行之后，英国现在的绿色经济产业已成为其国内为数不多的经济增长领域之一。

的关系, 以及经济周期对雾霾和健康的影响。

中国经济在过去 30 年经历了飞速发展, 但由于其粗放型的经济增长方式, 消耗了大量的化石燃料, 其中主要是固体燃料, 特别是煤炭占整个固体能源消耗量的 75%(见图 1)。由于我国工业化水平较低, 煤炭的不完全燃烧和燃烧过程中产生的硫氧化物、氮氧化物、粉尘等悬浮颗粒物是我国空气中两大主要污染源之一。而另外一大污染源是机动车尾气排放, 这主要是在城市化进程中, 人口不断向城市迁移及城市中机动车保有量越来越高等原因造成的。

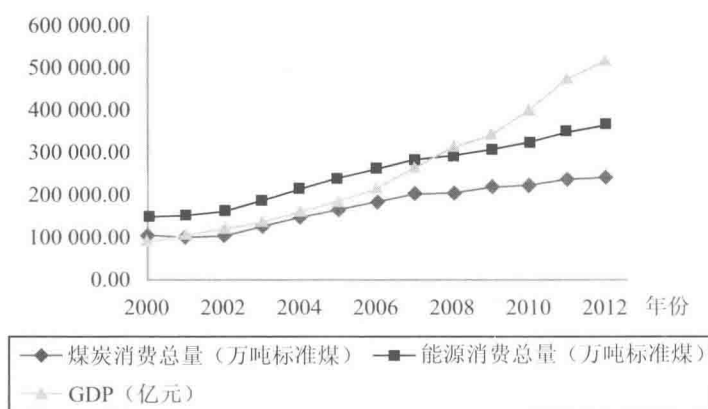


图 1 2000—2012 年中国 GDP 与能源消耗量

数据来源: 中国国家统计局网站。

北京, 作为中国的首都, 其经济增长速度、城市化进程、人口密度和机动车的使用量都较其他城市的发展更为迅速, 雾霾越来越成为频繁事件。世界卫生组织^①(WHO)对空气中颗粒物含量的国际标准是每年不超过 7 天空气中颗粒物的平均浓度在 150~230 微克/立方米, 空气中颗粒物的年平均浓度少于 60~90 微克/立方米。北京 2001—2004 年 PM_{2.5} 的平均浓度在 96.5~106.7 微克/立方米, 远高于世界卫生组织规定的标准(见图 2)。^②

对流行病的研究表明, 空气中的细颗粒物与住院率和死亡率有很大的关系。美国环保机构的数据表明, 每年多达 60 000 例的死亡与空气污染有关。世界卫生组织已经确认城市的空气污染是引起全球死亡率增加的重要原因, 每年约有 700 000 人的过早死亡是由空气污染物引起的。^③ 处在空气污染物中的时间越长, 心血管疾病的发病率和死亡率越高, 特别是对于那些高危人群, 即年龄大于等于 75 岁的老人、妇女和患有高血压和慢性阻塞性肺病的人群。^④

① Kirk R. Smith. Fuel combustion, air pollution exposure, and health: The situation in developing countries. *Annu. Rev. Energy Environ.* 1993(18): 529-566

② Haidong Kan, Renjie Chen, Shilu Tong. Ambient air pollution, climate change, and population health in China. *Environment International*, 2012(42): 10-19

③ Franchini M, Mannucci PM. Thrombogenicity and cardiovascular effects of ambient air pollution. *Blood*, 2011(118): 2405-2412

④ Anna Koulova, MD and William H. Fishman, MD. Air pollution exposure as a risk factor for cardiovascular disease morbidity and mortality. *Cardiology in Review*, 2014(22): 30-36

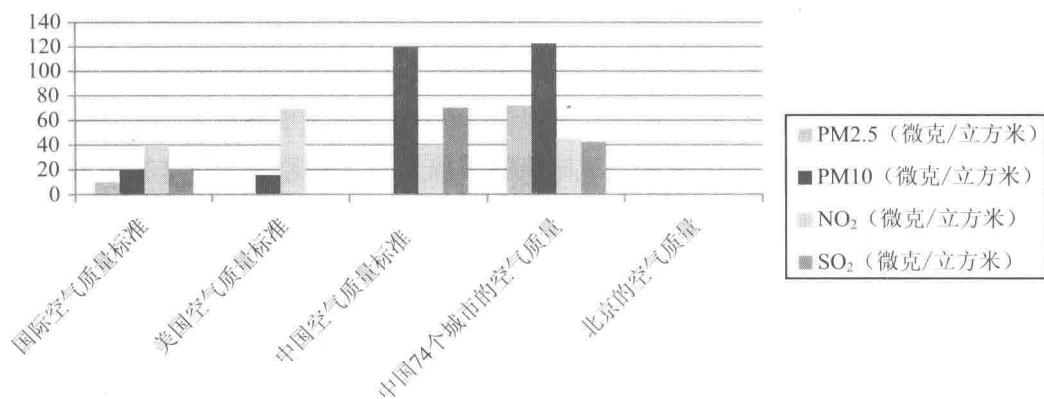


图 2 2013 年中国空气质量与空气质量标准的比较

数据来源: 中国国家环保局网站; 我国空气质量日报; WHO. Air quality guidelines and interim targets for particulate matter: annual mean concentration; EPA. National Ambient Air Quality Standards(NAAQS); 美国 EPA 没有公布 2012 年 PM10 和 SO₂ 的年均浓度标准, 中国国家环保局没有公布 PM2.5 的年均浓度标准。

本文选取 PM2.5 的浓度作为衡量空气质量的指标。对 1979—2000 年的死亡率与 PM2.5 浓度的数据研究表明, 空气中 PM2.5 的平均浓度每增加 10 微克/立方米, 死亡率上升 6%, 心血管疾病的死亡率上升 9%。^① 空气中 PM2.5 浓度减少 1% 在国家层面上会使得婴儿的死亡率下降 0.35%。^② PM2.5 的日均浓度每增加 10 微克/立方米, 缺血性心脏病的相对危险度上升 1.002%, 脑血管疾病的相对危险度上升 1.025%, 急性心肌梗死的相对危险度上升 1.066%。当 PM2.5 的日均浓度增加 10 微克/立方米时, 上述三种疾病的归因危险度分别上升 2.16%、2.47% 和 6.21%。^③

中国目前许多城市都达不到世界卫生组织提出的空气质量标准。^④ 作为发展最快、人口密度最大的国家之一, 中国的空气污染水平高于世界平均空气污染水平。^⑤ 中国 PM2.5 的风险水平、化学成分以及随之而来的毒性特征与发达国家的颗粒物有很大的不同, 因此, 不能简单地将发达国家的 PM2.5 的浓度与健康的关系应用到我们国家。^⑥

① Pope CA 3rd, Burnett RT, Thun MJ, et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA*, 2002(287): 1132-1141; Stone PH, Godleski JJ. First steps toward understanding the pathophysiologic link between air pollution and cardiac mortality. *Am Heart J*, 1999(138): 804-807

② Chay K and Greenstone M. The impact of air pollution on infant mortality: Evidence from geographic variation in pollution shocks induced by a recession. *QJ Econ*, 2003(118): 1121-1167

③ T. Mate, R Guaita, M. Pichiule, C. Linares, and J. Daiz. Short-term effect of fine particulate matter(PM2.5) on daily mortality due to diseases of the circulatory system in Madrid(Spain). *Science of the Total Environment*, 2010(408): 5750-5757

④ Kirk R. Smith. Fuel combustion, air pollution exposure, and health: The situation in developing countries. *Annu. Rev. Energy Environ*, 1993(18): 529-566

⑤ Gao H, Chen J, Wang B, Tan S-C, Yao X, et al. A study of air pollution of city clusters. *Atmos Environ*, 2011(45): 3069-3077

⑥ Health Effects Institute (HEI). *Outdoor air pollution and health in the developing countries of Asia: A comprehensive review*. Special Report 18. Boston, USA: HEI, 2010