

Research on Low Carbon Development of Electric Power Industry Respond to Haze Prevention and Control in Beijing

Erdong Zhao¹, Sichen Dai^{1*}, Haijing Zong², Chaoran Guo¹

¹School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing

²School of Urban Management, Beijing Open University, Beijing

Email: *daisc2015@163.com

Received: Apr. 7th, 2017; accepted: Apr. 27th, 2017; published: Apr. 30th, 2017

Abstract

With the rapid development of Beijing's economy, serious environmental pollution problems accompanied, especially in recent years. Frequent haze air pollution has become the resistance of economic development. The cause of haze is complicated. Not only the weather, but also the discharge of a large number of pollutants is the root cause. It has been made a lot of efforts in the low-carbon development of Beijing power industry. But there is still a gap from the national standard. At present, haze governance is still one of the important issues that the city needs to address. On the macroscopic and microscopic aspects, this paper analyzes the relationship between the development of power industry and the haze in Beijing, and provides the theoretical basis for further low carbon clean development and Beijing haze management.

Keywords

Haze, Low Carbon, Power Industry, Beijing

应对北京雾霾防治的电力行业低碳发展研究

赵洱崇¹, 代思晨^{1*}, 宗海静², 郭超然¹

¹华北电力大学经济与管理学院, 北京

²北京开放大学城市管理学院, 北京

Email: *daisc2015@163.com

收稿日期: 2017年4月7日; 录用日期: 2017年4月27日; 发布日期: 2017年4月30日

*通讯作者。

文章引用: 赵洱崇, 代思晨, 宗海静, 郭超然. 应对北京雾霾防治的电力行业低碳发展研究[J]. 可持续能源, 2017, 7(2): 41-48. <https://doi.org/10.12677/se.2017.72005>

摘要

北京市经济飞速发展的同时,严重的环境问题随之而来。尤其是近几年,雾霾天气频发,大气污染已经成为经济发展的阻力。雾霾污染成因复杂,气象原因只是其中的外因,大量污染物的排放是雾霾形成的根本原因。在积极应对雾霾的背景下,北京市电力行业在低碳发展的道路上做出了很大的努力,雾霾防治初见成效,但是离国家标准还存在一定差距,雾霾治理仍是北京市亟待解决的重要问题之一。本文从宏观和微观两个层面深度解析北京市电力行业发展与雾霾之间的关系,为其进一步低碳清洁化发展和北京雾霾防治提供理论依据。

关键词

雾霾, 低碳, 电力行业, 北京市

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

雾霾,主要是指雾和霾的混合物,当相对湿度在 80%~90%之间时,其主要成分是雾,属于自然现象,无毒无害;当相对湿度低于 80%时,其主要成分是霾[1],即大家所说需要防治的部分。因为霾气体中的悬浮颗粒物 PM10 与 PM2.5 能直接进入并粘附在人体下呼吸道和肺叶中,产生一系列致病风险。有相关研究表明,其中粒径更小、含毒量更大、运输距离更远的 PM2.5,其浓度增高可显著增加人体致癌与非致癌风险,导致肺部疾病及心脑血管疾病等死亡率上升[2]。据 2010 年全球疾病负担研究的数据显示,2010 年中国的室外空气污染导致 120 万人过早死亡,几乎占全球此类死亡总数的 40% [3]。现在的中国已成为全球 PM2.5 浓度最高的国家[4],作为首善之都,在 2012 年,北京被列为中国唯一“中度重污染城市”。据北京市环境状况公报统计,2015 年北京市空气质量达标天数 186 天,占全年天数的 51%,其中重污染共 46 天,占 13%,PM2.5 年均浓度为 80.6 微克/立方米,这一数值超出国家标准 1.3 倍,是世界卫生组织建议的最大年均值 10 的八倍多[5],在同年 12 月前后发布了两次霾红色(最高)预警,促使当局通过停工、停产、停驶等措施,人为对重污染空气进行削峰,抑制空气重污染加剧。

根据北京市环保局发布的数据显示,2010~2016 年北京市 PM2.5 的年均浓度整体呈现下降趋势,如图 1 所示。北京市雾霾问题有所好转,说明北京市加大力度治霾有一定成效。但是正如图中所示,PM2.5 浓度还是没有达到国家标准浓度限值,离国际标准还有很大差距。降低 PM2.5 大气浓度,使其达到国家标准,进一步加强雾霾治理,改善大气污染状况,营造良好的城市居住环境依旧是北京市亟待解决的气候问题。

2. 雾霾成因分析

北京市环保局曾公开表示,PM2.5 区域传输、极端不利的气象条件以及污染物排放大是造成北京市空气严重污染的三大原因[6]。通过文献梳理了解到,大多数文献也大致是从这三个角度分析雾霾的形成原因。

(1) 区域传输

根据2014年北京市PM_{2.5}来源解析的研究成果,北京市全年PM_{2.5}来源中区域传输贡献约占28-36%,本地污染排放贡献占64%~72%。区域传输进京的PM_{2.5}最高会占到50%以上。在本地污染贡献中,机动车、燃煤、工业生产、扬尘为主要来源,分别占31.1%、22.4%、18.1%和14.3% [7]。如图2。

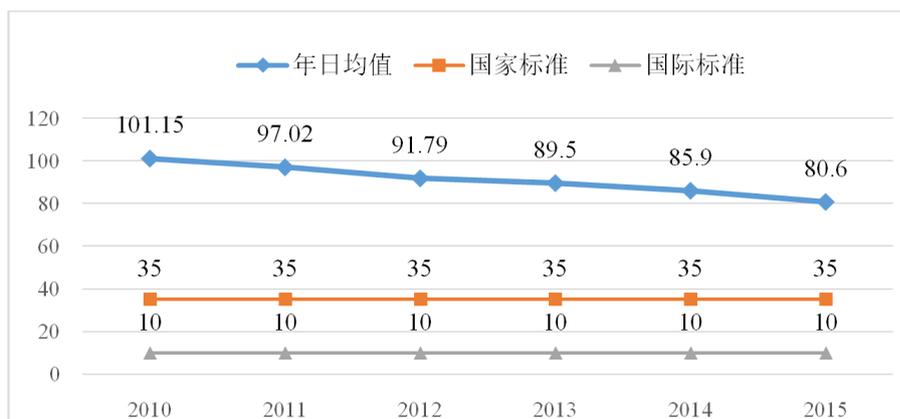
(2) 气象条件

孙巍、潘本锋等认为在一定条件下,污染物的生成、积累和扩散主要取决于气象条件[8] [9],风速、相对湿度和日照时数等气象条件对于细颗粒物的污染程度有着较显著的影响。风速低,相对湿度高时,会导致PM_{2.5}的积累。北京市东、西、北三面环山,近似半盆地地形,空气中的污染物不易扩散易堆积而形成重污染。中国科学院大气物理研究所研究员王庚辰也曾表示,本市地理环境三面环山,风向总是北转南、南转北,污染物“走来走去,跑不出去”。

(3) 污染物排放

张小玲、张小曳等认为雾霾的形成原因是空气中污染物含量的升高。有相关研究发现较高的气溶胶水平会引起可见度的降低,霾天气出现频率的上升[10] [11]。

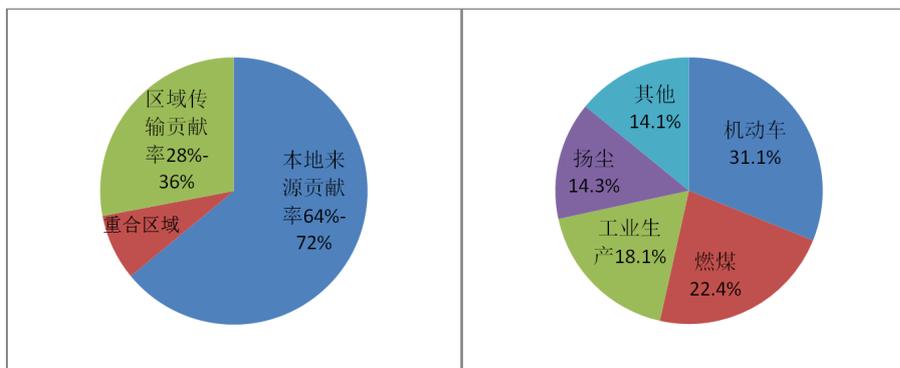
本文认为,气象因素只是北京雾霾形成的外因条件。要弄清楚北京雾霾形成的根本原因,研究雾霾



(数据来源:北京市环境状况公报)

Figure 1. Beijing PM_{2.5} annual average concentration with the Chinese and the international standard comparison chart for 2010~2016

图 1. 2010~2016 年北京市 PM_{2.5} 年日均浓度与国家、国际标准对比图



(数据来源:北京市环保局)

Figure 2. Sources of PM_{2.5} of Beijing in 2014

图 2. 北京市 2014 年 PM_{2.5} 源解析图示

气体中 PM_{2.5} 污染物的组成成分以及这些成分的来源才是关键。张原、王志轩等研究表明电力行业是产生 PM_{2.5} 的重要行业之一，彭应登、关大博等通过数学方法测算 2010 年及 2013 年的数据发现燃煤发电是 PM_{2.5} 的主要贡献源。联合国环境规划署(UNEP)和北京市环保局曾联合发布的《北京大气污染治理历程：1998~2013》报告表明，燃煤和机动车污染治理措施对北京市空气质量改善发挥了积极的作用。可以看出，电力行业尤其是燃煤发电对雾霾的形成有重要影响作用。下面我们来具体分析北京市电力行业与雾霾之间的关系。

3. 北京市电力行业与雾霾的关系分析

3.1. 北京市电力行业对雾霾的宏观影响

电力工业是国民经济发展的基础产业，电力设施作为城市的重要基础设施，在社会发展中起着至关重要的作用[12]。随着电力工业的不断发展，作为二次能源，电力对改善环境质量的贡献越来越大，电力的科学发展将是解决 PM_{2.5} 的强大物质基础和技术手段[13]。从宏观角度上对比北京市火力发电与雾霾的变化趋势(图 3)可发现，北京市火力发电量整体保持上升趋势，雾霾天数也在随其增加，并且与火发电量有大体一致的变化。我们通过数理统计分析原理来进一步验证两个变量之间的关系。计算北京市火力发电量与年雾霾天数的相关系数¹为 0.8634。依据相关系数绝对值大于 0.8 时为高度相关的判断，我们认为二者之间具有较强的线性相关关系。同时，从 2013 年开始，北京市开始逐步关停燃煤电厂，虽然火力发电量在增加，而实际上燃煤发电是在减少的，在燃煤发电量减少的同时雾霾天数也有所减少。因此我们认为，二者之间存在着一定宏观上的协同关系。

3.2. 北京市电力行业对雾霾的微观影响

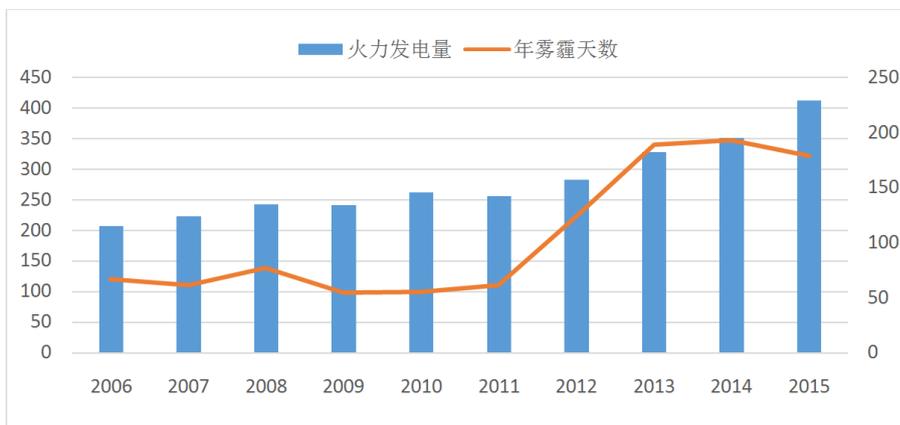
笔者从微观层面对各行业的 PM_{2.5} 贡献率进行了梳理与分析，进一步探究雾霾与北京市电力行业发展的关系。PM_{2.5} 并非是某一种单一成分的污染物，而是不同化学组分组成的一种复杂的污染物合集。PM_{2.5} 的来源有两种，即直接排除的一次颗粒物和由气态 NO_x、SO₂ 等污染物通过大气反应而生成的二次颗粒，具体组成见图 4。

从排放总量上看，依据 PM_{2.5} 的组分，北京市二次源污染物二氧化硫和氮氧化物对雾霾的贡献率与一次 PM_{2.5} 的贡献率同等重要，甚至会高于一次 PM_{2.5} 的贡献。依据关大博[14]等对 2010 年北京市污染物排放的测算，其中一次 PM_{2.5} 的排放量、二次源二氧化硫和氮氧化物对雾霾的贡献率分别是 18.57%，42.86%，38.57%。依据王锦¹等测算对北京市 2013 年数据的测算，一次 PM_{2.5} 的排放量、二次源二氧化硫和氮氧化物对雾霾的贡献率分别为 5.88%，32.35%，61.77%。比较 2010 和 2013 年的数据可知，各项污染物排放有所减少，但是排放量依然很大，二次源排放所占比例更高。

从排放源行业贡献划分，燃煤电厂、机动车、工业是 SO₂ 和 NO_x 的主要排放源，也是一次 PM_{2.5} 的重要排放源。依据 2013 年的数据对不同行业的贡献，如图 5 所示，北京市 SO₂ 的主要来源是燃煤电厂和工业，其贡献率分别为 50.16% 和 43.75%；机动车是北京市 NO_x 的主要来源，占排放总量的 42.98%；其次是燃煤电厂 20.68%，一次 PM_{2.5} 贡献率最高的是机动车为 53.72%；燃煤电厂 19.81%。

从宏观和微观两个角度分析结果来看，北京市电力行业与雾霾二者之间存在着较强的相关关系，电力行业是雾霾的重要排放源，针对电力行业污染物排放的治理以及电力行业低碳化发展将对北京市雾霾治理有积极作用。

¹ 相关系数 $\rho_{xy} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$ ，其中， $\sigma_{xy} = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{n}$ ， $\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n}}$ ， $\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum(y-\bar{y})^2}{n}}$ 。



(数据来源: 北京市统计年鉴)

Figure 3. Comparison of trends in thermal power and haze in Beijing
图 3. 北京市火力发电与雾霾变化趋势对比图

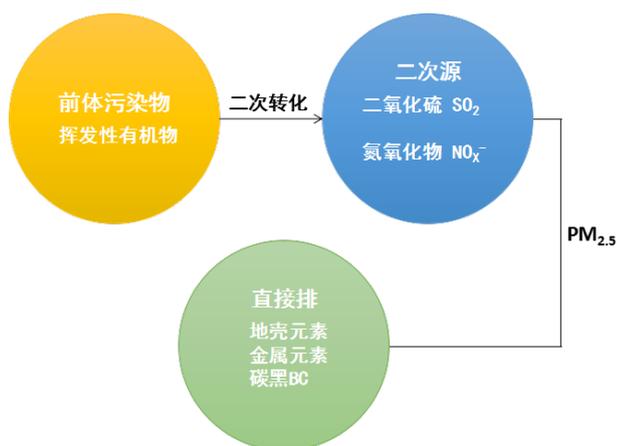


Figure 4. Compositions of PM2.5
图 4. PM2.5 的组成

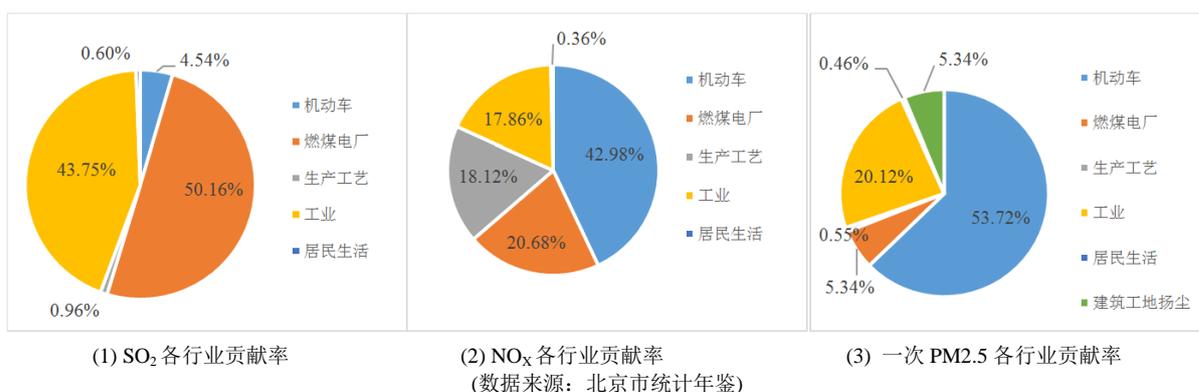


Figure 5. Contribution rate of PM2.5 in various industries in Beijing in 2013
图 5. 2013 年各行业 PM2.5 贡献率

4. 北京市电力行业应对雾霾防治的措施

对于北京市空气污染的问题,政府和相关部门早在上个世纪 80 年代就已经开始了整治工作。然而随

着北京经济的飞速发展，城镇化率的加快提升，环境的污染问题也逐渐凸显出来，其中大气污染尤为严重，雾霾天气在近几年的频繁爆发，针对雾霾的治理也在相继开展中，北京市电力行业在治理雾霾方面的具体措施体现在以下几个方面：

4.1. 政策调控

2014年，习近平总书记在北京考察时指出：应对雾霾污染、改善空气质量的首要任务是控制PM2.5，要从压减燃煤、严格控车、调整产业、强化管理、联防联控、依法治理等方面采取重大举措，聚焦重点领域，严格指标考核，加强环境执法监管，认真进行责任追究[15]。在市政协举行了“经济发展专题座谈会”上，北京市将投入7600亿治理PM2.5。由此可见政府对雾霾治理的力度。近几年，为了应对大气污染问题，政府先后出台了一些重要的法规文件，具体的相关政策详见表1。

4.2. 具体做法

(1) 电力能源结构清洁化

1998年以来，北京市持续推进电力能源结构调整，截至2014年底，北京地区共有发电厂27座，发电机组1825台，总装机容量10720MW；其中火电厂13(含燃气)座，发电机组46台，装机容量9422MW；水电厂(含抽水蓄能)6座，发电机组18台，装机容量1013MW；风电厂1座，发电机组100台，装机容量150MW；垃圾、沼气及核电厂7座，发电机组18台，装机容量135MW[16]。2014年首次有太阳能发电厂投产并发电并网，使得北京市的电源结构更加多元化。随着国家政策的转变，开始扶持清洁能源和新能源发电并网，水电、风电、太阳能等发电形式将获得进一步的发展。

截至2015年底，东南、东北、西南和西北四大燃气热电中心建设已经全部完成，2014年7月，大唐高井热电厂关停；2015年3月，京能石景山热电厂、国华燃煤热电厂相继关停。至此全市4家燃煤电厂已全面关停了3家，基本实现核心区无煤化和城六区无燃煤锅炉的目标。四大热电中心全部投运后，北京市将新增燃机供热能力8400万平方米，替代煤机供热能力6000万平方米，预计每年可压减燃煤920万吨，可新增北京清洁发电能力720万千瓦[17]。环境监测结果表明，全市二氧化硫年均浓度值由1998年的120微克/立方米逐年下降，于2004年首次达到国家二级标准(60微克/立方米)，2015年降至13.5微克/立方米，累计降幅达89%[5]。对比2005年与2015年北京市的电源结构装机比例(图6)，可以看出北京市电力能源结构正在朝着绿色清洁化发展。

(2) 节能减排技术化

对于改善大气污染，发展低碳经济，国内外学者有了基本共识，通过开发和使用低碳技术是减少排放的重要途径[18]。所有能实现低碳经济的技术手段都可称之为低碳技术。“十一五”期间，新城供热资源整合全面推进，燃煤电厂全部完成高效除尘脱硫脱硝改造，建成全国首座电厂二氧化碳捕集示范装置。

“十二五期间”，充分利用各种新能源和新技术，建设区域性供热中心或分散清洁供热系统。优化燃气电厂运行模式，非采暖季调峰发电、采暖季“以热定电”。以天然气为主体、外埠电厂余热和工业废热等为补充，推进远郊区各类燃煤设施清洁能源改造。华能(三期)燃气热电机组成投入使用，燃煤发电机组关停，实现全市发电用能清洁化。同时对在用燃气锅炉实施了低氮燃烧技术改造或高效脱硝治理。统筹重点产业功能区供热、制冷、热水、电力等能源需求，高起点建设一批区域能源中心[19]。建成东南、东北、西南和西北四大燃气热电中心，发展一批燃气尖峰锅炉房，形成“1+4+N”的中心大网。前期为了治理雾霾，北京市通过对煤电厂的除尘脱硫脱硝技术，大大消减了二氧化硫和氮氧化物的排放，为了进一步加强治理效果，以清洁能源为燃料的燃气电厂代替燃煤电厂，在燃煤电厂全部关停，四大燃气中心投运后，通过对燃气电厂进行低氮燃烧技术改造以及高效脱硝治理技术优化，北京市电力行业对雾

Table 1. Atmospheric Governance Policies on power industry in Beijing
表 1. 北京市出台大气治理的有关电力行业的政策

时间	政策名称	电力行业发展要求
2000.4.29	《中华人民共和国大气污染防治法》	<ul style="list-style-type: none"> 燃煤电厂应当采用清洁生产工艺，配套建设除尘、脱硫、脱硝等装置，或者采取技术改造等其他控制大气污染物排放的措施。 电力调度应当优先安排清洁能源发电上网。
2006.3.16	《北京市第十二阶段控制大气污染措施》	<ul style="list-style-type: none"> 2006 年底前，华能、大唐高井热电厂，京丰、京能热电公司和首钢电力厂脱硫设施要全部完成建设并投入运行。 大唐高井热电厂 6 号和 8 号炉布袋除尘及 1 号炉脱氮等工程要竣工并投入运行。 京能热电公司要加大龙口灰场粉煤灰治理力度，解决污染问题。
2012.3.21	《北京市 2012~2020 年大气污染防治治理措施》	<ul style="list-style-type: none"> 加快输变电路及燃气管网等基础设施建设，继续加大各类燃煤设施清洁能源改造力度，将本市建成以使用电和天然气等清洁能源为主的城市。 建成四大燃气热电中心，关停国华、京能、高井电厂燃煤机组。
2013.9.13	《北京市 2013-2017 年清洁空气行动计划》	<ul style="list-style-type: none"> 加强清洁能源供应保障，到 2017 年，外调电比例达到 70% 左右。 实现电力生产燃气化，市发展改革委、市重大项目办加快推进四大燃气热电中心建设。
2014.1.22	《北京市大气污染防治条例》	<ul style="list-style-type: none"> 大气污染防治，应当以降低大气中的细颗粒物浓度为重点，坚持从源头到末端全过程控制污染物排放，严格排放标准，实行污染物排放总量和浓度控制，加快削减排放总量。

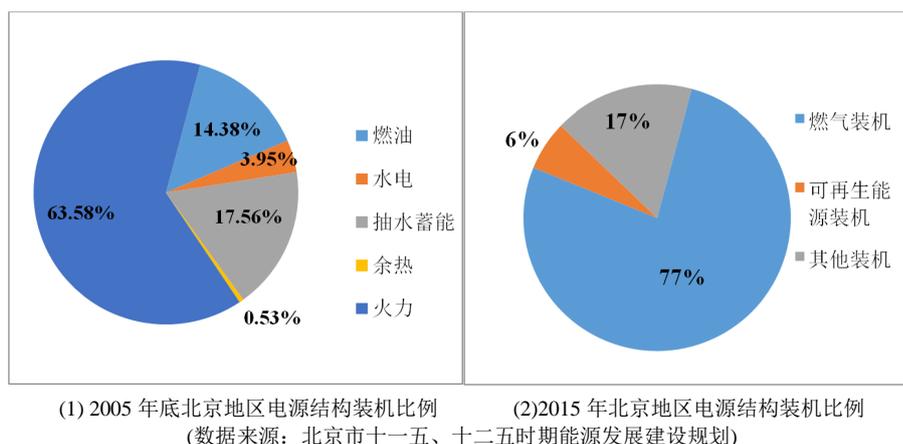


Figure 6. Beijing power structure proportion map in at the end of 2005 and 2015
图 6. 北京市 2015 年年底电源结构比例图

霾污染的贡献将继续减少。

5. 总结

在治霾过程中，北京市电力行业依据相关政策法规不断调整电源结构，2015 年前，电源结构主要以火电为主的，消耗大量煤炭能源，产生大量污染物的排放，而发展到当前，燃气发电已经基本代替了火力发电，雾霾污染情况有所缓解，但是问题依然存在。本文在深刻剖析了北京市雾霾防治和电力行业发展之间的关系的基础上，对未来北京市电力行业的发展以及雾霾防治提出以下几点建议：

(1) 进一步加快对新建燃气电厂实施烟气脱硝治理。虽然燃气发电要比燃煤发电更清洁，但是燃气发电所产生的氮氧化物仍然是雾霾的组成成分，对燃气电厂的脱硝以及提高其利用效率是北京市乃至全国火力发电需要做的重点。

(2) 进一步提高可再生能源电力在北京市电力消费总量中的比例。提高北京市分布式能源尤其是太阳能的推广力度和使用比例，鼓励居民自发电，自给自足。

(3) 提高城市外用电比例，将北京市污染转移到发电源头集中处理。自 1980 年起，北京自有发电厂

已不能满足自身经济发展的需要, 已开始需要从本区域外受电, 根据《北京市 2013~2017 年清洁空气行动计划》, 到 2017 年, 北京市的外用电比例已经达到近 70% [20]。

(4) 在调整北京市电力发展的同时, 还要注意加强与京津冀及周边地区的合作。北京城市规模大, 能源消费总量高, 但资源有限, 不能满足全市较高的绿色能源使用需求。而河北省及周边地区风能、太阳能等新能源和可再生能源资源丰富, 特别是张家口市正在建设国家级可再生能源示范区, 发展空间很大。京津冀地区作为首都经济圈, 其能源消费和碳排放与经济、社会的可持续发展问题紧密相关。通过“内优外引”, 加快推进电力行业的清洁低碳发展, 为改善首都雾霾问题积极做出贡献。

致 谢

本文是基于北京市社科基金“基于 IPAC-SGM 模型的北京电力能源发展模式与雾霾防治的评估及政策研究”(项目编号: 15JGB092)的研究成果。

参考文献 (References)

- [1] 王锦, 吉奕康. 北京市主要大气污染源清单及火电厂排放污染物对雾霾天气的影响[J]. 北京交通大学学报: 自然科学版, 2015, 39(1): 78-82.
- [2] 绿色和平. 京津冀地区燃煤电厂造成的健康危害评估研究[EB/OL]. <http://www.greenpeace.org.cn/jingjinji-coalplant-health-rpt/>, 2013-6-17.
- [3] 《2010 年全球疾病负担评估》显示 PM_{2.5} 污染成我国第四大致死风险因子[J]. 科技传播, 2013(7): 15.
- [4] van Donkelaar, A. (2010) Global Estimates of Ambient Fine Particulate Matter Concentrations from Satellite-Based Aerosol Optical Depth. *Environmental Health Perspectives*, **118**, 847-855. <https://doi.org/10.1289/ehp.0901623>
- [5] 北京市环境保护局. 《2015 年北京市环境状况公报》[EB/OL]. <http://www.bjepb.gov.cn/bjepb/413526/413663/413763/413975/4387663/index.html>, 2016-4-13.
- [6] 王寅. 谁是雾霾的祸首? [J]. 中国报道, 2013(11): 72-73.
- [7] 北京市“十一·五”时期电力发展规划[EB/OL]. <http://www.docin.com/p-527246919.html>, 2016-12-30.
- [8] 王琪, 孙巍, 张新宇. 北京地区 PM_{2.5} 质量浓度分布及其与气象条件影响关系分析[J]. 计算机与应用化学, 2014, 31(10): 1193-1196.
- [9] 潘本锋, 汪巍, 李亮, 等. 我国大中型城市秋冬季节雾霾天气污染特征与成因分析[J]. 环境与可持续发展, 2013, 38(1): 33-36.
- [10] 张小玲, 赵秀娟, 蒲维维, 等. 北京城区和远郊区大气细颗粒 PM_(2.5) 元素特征对比分析[J]. 中国粉体技术, 2010, 16(1): 28-34.
- [11] 张小曳, 孙俊英, 王亚强, 等. 我国雾-霾成因及其治理的思考[J]. 科学通报, 2013(13): 1178-1187.
- [12] 王志轩. 直面雾霾[M]. 北京: 中国电力出版社, 2014.
- [13] 孙玉才. 科学治理雾霾是电力行业的重要责任——评《直面雾霾——中国电力发展与环境保护新思考》[J]. 当代电力文化, 2014(9), 13-15.
- [14] 雾霾真相——京津冀地区 PM_{2.5} 污染解析及减排策略研究[J]. 低碳世界, 2013(22): 21-23.
- [15] 习近平: 治雾霾首要任务是控制 PM_{2.5} [N]. 新京报, 2014-2-27.
- [16] 《中国电力年鉴》委员会. 2015 中国电力年鉴[M]. 北京: 中国电力出版社, 1900.
- [17] 赵一, 杜敏. 北京四大燃气热电中心全部并入北京电网[N]. 中国电力报, 2015-12-14.
- [18] 王蓓. 低碳技术: 发展低碳经济的关键[J]. 中国经贸导刊, 2011(3): 56-57.
- [19] 北京市“十二五”时期能源发展建设规划[EB/OL]. <http://zhengwu.beijing.gov.cn/ghxx/sewgh/t1194196.htm>, 2017-1-25.
- [20] 北京市人民政府. 北京市 2013-2017 年清洁空气行动计划[Z].

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：se@hanspub.org