

问题探讨

杭州市灰霾相关大气污染物减排潜力初探

何斯征

(浙江省能源与核技术应用研究院,浙江 杭州 310012)

摘要:杭州市灰霾相关大气污染物的主要来源是化石燃料燃烧。本文以杭州市 2015 年三种主要大气污染物为分析对象,并结合浙江省和杭州市的相关政策安排,分别对几类关键化石能源消费过程大气污染物减排潜力进行分析,对杭州市 2020 年和 2030 年的这三种主要大气污染物的排放情况做出估算。

关键词:杭州,灰霾,大气污染物,减排潜力

中图分类号:X51

文献标识码:B

文章编号:1006-8759(2017)02-0040-05

PRELIMINARY STUDY ON EMISSION MITIGATION POTENTIAL OF HAZE-RELATED AIR POLLUTANTS

HE Shi-zeng

(Zhejiang Energy And Radiation Technology Research Institute, Hangzhou 310012, China)

Abstract:Fossil fuel combustion is the major cause for atmospheric pollutants that produce haze in Hangzhou. By analyzing the key haze-related fossil fuel consumption process and taking into consideration policy arrangements of Zhejiang provincial government and Hangzhou municipal government, the potential for reducing three major air pollutants were estimated, with projections for 2020 and 2030 being made.

Key words:Hangzhou, haze, air pollutant, emission reduction potential

灰霾已成为全社会最为关注的环境空气质量问题。根据中国科学院“大气灰霾溯源”项目研究成果,我国的灰霾只有 10%左右是来自于自然排放,其余的 90%与经济社会活动密不可分,其中主因是化石燃料燃烧,包括工业燃煤、燃油和机动车燃油排放等等,其次建筑扬尘、周边输送等也会构成灰霾的部分来源。

1 杭州市主要灰霾来源

根据《2014 年杭州市环境状况公告》,杭州市 PM_{2.5} 来源中,本地排放对市区环境空气中 PM_{2.5} 浓度的贡献占 62%~82%,区域传输的贡献率为 18%~38%;在市区本地源排放贡献中,机动车对 PM_{2.5} 贡献最大,占 28%,另外依此

为工业生产(工业锅炉、窑炉、生产工艺过程排放):22.8%、扬尘:20.4%、和燃煤(燃煤电厂、居民散烧):18.8%、其他(生物质燃烧、餐饮、海盐沙子、农业生产等):10%。换言之,化石燃料燃烧(锅炉、窑炉燃煤和机动车燃油等)对杭州市本地源排放贡献达到近 70%,是防治灰霾的关键。

2 杭州市灰霾状况

2.1 灰霾现状

杭州市经济活动活跃、人均机动车数量高(根据杭州市政府 2014 年公布的数据,杭州市千人机动车保有量居全国之首),因此能源消费量大、能源消费强度高,再加上群山环绕、污染物扩散不易,这些不利因素导致杭州市成为浙江省灰霾最为严重的城市。

近几年杭州市对大气污染日益重视,对工业、交通、城市建设中的大气污染管控日益严格,取得了一定成效:2008年到2014年,杭州雾霾天数分别为158 d、160 d、129 d、159 d、157 d、239 d和154 d,雾霾天数有反复,但总体有下降趋势。

杭州市当前雾霾状况尚不乐观,仍有较大提升空间。以PM_{2.5}为例,2014年,全市PM_{2.5}的浓度64.6微克每立方米,而北京11月份的APEC会议期间PM_{2.5}平均浓度为43微克/立方米,一些欧美国家的PM_{2.5}更是大多在年均浓度25微克/立方米左右,减排仍任重道远。

2.2 杭州市大气污染物超载状况

杭州市的大气污染物排放量超载较为严重。根据薛文博等人基于全国城市PM_{2.5}达标约束开展的大气环境容量模拟计算结果:按照各省市SO₂、NO_x、PM_{2.5}及NH₃超载率大小将超载程度分为五个等级。据该研究估算,长江三角洲地区为一般超载区域,浙江省的SO₂超载率介于50%到100%之间,NO_x、PM_{2.5}超载率介于1000%到150%之间。

同时,参考杭州市环境专家研究建立的2010年杭州市区1 km × 1 km大气污染物排放清单,结合上文各主要污染物超载情况,将杭州市各类主要大气污染物的主要来源及其比例列明如下(表1):

表1 2010年浙江省主要大气污染物超载率及杭州市区大气污染物来源构成

大气污染物	超出环境容量的超载率%(浙江省)	主要来源(杭州市)		
		电厂锅炉 %	工业锅炉、炉窑及散烧 %	机动车尾气
SO ₂	50-100 %	37	49.8	-
NO _x	100-150 %	28.7	25.7	40.3
一次PM _{2.5}	100-150%	13.1*	24.4*	21.4*

* 为包括一次PM_{2.5}在内的PM_{2.5}来源构成

上表的数据为2010年数值。为研究方便,经合理假设折算为2015年数值,折算分别以《浙江省2014年主要污染物总量减排计划》中的二氧化硫和氮氧化物减排目标、以及《浙江省大气污染防治

行动计划(2013-2017年)》中的PM_{2.5}削减目标作为参考。

据此估算,在2015年,杭州市这三类污染物排放量仍然严重超出环境容量,超载率分别达到SO₂:27~70%;NO_x:70~125%;一次PM_{2.5}:27~70%。由于杭州市是浙江省内大气污染物排放超标最严重地区,因此在分析中对杭州市的环境容量超载率按上述超载率的上限取值,即,对杭州市SO₂、NO_x、一次PM_{2.5}的大气环境容量超载率分别取值70%、125%、125%。

3 杭州市灰霾相关大气污染物减排潜力分析

由于大气污染物浓度同时受到空气扩散条件和排放来源的影响,在进行能源消费方式调整对大气污染物削减分析时作简便处理,按超载率上限来分析空气质量达标约束下能源消费需要做出的调整。

按前文分析,杭州市2015年SO₂、NO_x、一次PM_{2.5}的环境超载率分别按70%、125%、125%取值,因此在以下的估算中,我们以这三种污染物分别需要削减40%、56%和56%为目标,以符合环境承载力的要求。

二氧化硫

杭州2015年二氧化硫排放超出环境容量70%,其中主要来源:电厂锅炉37%,工业锅炉、炉窑及散烧49.8%;在假定上述排放源排放条件不变的前提下,削减需求为40%。

氮氧化物

杭州2015年氮氧化物排放超出环境容量120%,其中主要来源:机动车尾气40.3%,电厂锅炉28.7%、工业锅炉、炉窑及散烧25.7%;在假定上述排放源排放条件不变的前提下,削减需求为56%。

PM_{2.5}

杭州2015年一次PM_{2.5}排放超出环境容量120%。由于PM_{2.5}实际包含一次颗粒物和二次气溶胶反应生成的二次颗粒物。根据《自然(Nature)》杂志在2014年发表的中国科学院地球环境研究所和瑞士保罗谢勒研究所共同署名的论文结论,我国重霾污染中二次气溶胶对PM_{2.5}浓度的平均贡献达到30~77%。参考这个结果,表1中的

杭州市PM_{2.5}实际超载率估计已经达到200%左右。因此在下文的估算中,对PM_{2.5}按照200%的超载率数据进行估算。

杭州市PM_{2.5}(包括一次和二次PM_{2.5})的主要来源有:工业锅炉、炉窑及散烧(24.4%),机动车尾气(21.4%)、电厂锅炉(13.1%);在假定上述排放源排放条件不变的前提下,削减需求为67%。

主要大气污染物减排措施削减贡献分析

依照各类关键排放大气污染物的终端能源利用环节,重点分析在这些环节采取清洁技术应用(如燃煤电厂超低排放技术)和能源替代(如天然气电厂逐步替代燃煤电厂、清洁能源汽车替代燃油汽车)等措施对大气污染减排的贡献。

根据上文的分析结果,电厂锅炉减排、工业锅炉、炉窑及散烧的减排和机动车尾气减排这三类减排领域构成分析重点。

电厂锅炉减排

从清洁技术应用和能源替代两个角度考虑,电厂锅炉减排措施包括三个关键方面:燃煤电厂超低排放技术的应用、天然气电厂对燃煤电厂的替代和非化石燃料电厂对燃煤电厂的替代。

从浙江省能源领域的发展规划目标分析,可再生资源与核电等非化石能源装机比重上升、燃煤电厂在总电力装机中比重下降、燃煤电厂中清洁煤电装机比重上升是浙江省发电领域中长期发展方向,这三项措施都有利于燃煤发电造成的大气污染物减排。

根据浙江省“十二五”及中长期电力发展规划目标,浙江省燃煤电厂比重将持续下降,预计从2010年的59.5%下降到2015年的56.4%,并将在2020年和2030年分别下降到48.6%和38.6%;浙江省气电总装机将保持增长,但占电力装机总比重在较长时期内基本稳定在15%左右;非化石能源装机比重将有大幅上升,其中核电规划目标是从2010年的6.5%将上升到2015年的8.7%,并将在2020年和2030年分别上升到14.1%和19.7%,非水可再生能源发电装机将从2013年的1.4%上升到2015年的2.5%,并将在2020年和2030年分别上升到4.5%和6.7%。

从以上形势分析,到2020年和2030年,煤电装机比重可在2015年基础上分别下降14%和32%,煤电总装机则将比2015年小幅上升(根据

相关规划,2020年较2015年上升14%;2020年左右浙江省煤电装机容量消费量将达峰,因此估计2030年煤电总装机与2020年基本相当)。

另外,既有电厂的超低排放改造可以大幅削减大气污染物排放量。据王临清等人对2012年火电厂在实施燃煤电厂超低排放前后主要大气污染物减排的模拟研究结果,在实施超低排放后,二氧化硫可减排91.6%、氮氧化物减排70%、PM_{2.5}减排92.3%。综合国内其他一些开展超低排放改造电厂前后污染物排放对比,这三类大气污染物的减排比例基本达到60%、70%、90%左右,减排成效显著。

2014年,浙江已经启动实施20台燃煤机组超低排放技术改造;2015年浙江省要求,50%的省统调燃煤机组启动实施超低排放技术改造,30%实现超低排放。结合浙江省创建清洁能源示范省指标,到2020年浙江省清洁煤电比重将达到85%左右,到2030年可达到100%。

初步估算,杭州市SO₂、NO_x、PM_{2.5}排放量可在2015年基础上分别削减6.6%、5.1%、3.0%;到2030年,杭州市SO₂、NO_x、PM_{2.5}排放量可在2015年基础上分别削减7.8%、6.0%、3.5%。

工业锅炉、炉窑及散烧的减排

工业锅炉污染物排放量大且贴近地面,对环境空气质量影响很大。因此,大幅度提高煤炭用于发电的比例,实施煤电超低排放与“以电代煤”,关停小锅炉,是实现环境改善的根本途径。

杭州市目前在用工业锅炉5000多台,年耗用标准煤800万吨左右,燃煤锅炉约占60%,热效率平均值不足70%,热效率明显偏低。

《浙江省大气污染防治行动计划》、《杭州市高污染燃料小锅炉淘汰改造实施方案》等政策出台后,浙江省10蒸t以下燃煤(重油)锅炉(窑炉)将基本淘汰或完成向燃气、用电和集中供热等更清洁供热方式的改造。

以上污染防治政策的实行将显著减少杭州市工业锅炉、窑炉和散烧的大气污染物排放,经初步估算,预计在上述减排措施影响下,将可以使杭州市2020年SO₂、NO_x、一次PM_{2.5}排放量在2015年基础上分别削减15.0%、7.7%和7.3%;到2030年这三类污染物可以分别减排25.0%、12.8%、12.2%

机动车尾气减排

机动车尾气减排途径包括:

汽、柴油油品质量升级。油品升级可以大幅减少汽车尾气中二氧化硫的排放量,而且可以显著减少氮氧化物和碳氢氧化物的排放。全省在2015年底前完成全面供应国Ⅴ标准的车用汽、柴油,据估算从国Ⅳ升国Ⅴ可使浙江全省一年减少尾气硫排放800 t。

提高清洁能源(天然气、电力)汽车的应用比例。《浙江省大气污染防治行动计划(2013-2017年)》中已经提出:全省每年新增或更新的公共汽车中清洁能源汽车的比例将达到30%以上,其中杭州、宁波、温州、湖州、嘉兴、绍兴、金华、台州等国家和省确定的大气污染防治重点城市达到50%以上。全省在用营运公交车每年完成清洁能源改造10%左右。

淘汰黄标车及老旧车辆。按照《浙江省大气污染防治行动计划(2013-2017年)》规定,全省在2015年底前将全面淘汰黄标车。

优化交通体系、提高公交分担率、提升交通能源效率。以能源效率的观点出发,公共汽车和地铁是高效的出行方式:按照百公里人均能耗比较,公共汽车一般仅为小汽车的10%、地铁仅为小汽车的5%。我国城市的公交分担率一般仅位于10%~30%区间,杭州市目前的公交分担率大约在20%左右。反观亚洲的一些人口密集的国际大都市,香港、东京、新加坡城的公交分担率已经分别达到90%、80%和60%以上。小汽车出行为主的交通方式仅适合于低密度人口地区的出行。以杭州市的人口密度,为了实现降低交通能耗及排放和减少交通拥堵的目的,公交分担率仍需要持续大幅提高。

从2015年开始,杭州市多条轨道交通线路开始发挥网络优势,随着各条线路相继投入运营和公交、地铁立体交通对接体系日益完善,杭州的公交分担率有望显著提高。当前,日本和欧美一些大城市的公交分担率一般可达40~50%,杭州市2013年的“两会”上也通过议案,有计划到2021年将杭州市公交分担率提高至50%以上。公交出行率提高还可以有效缓解地面道路拥堵,提高地面交通效率,亦有利于减少污染物排放。

考虑到NO_x和PM_{2.5}污染主要来自柴油车,

因此以下对NO_x和PM_{2.5}减排的分析仅考虑柴油车的污染物减排。根据杭州市环保局机动车排气污染管理处的数据,杭州现有(2014年)柴油车数量占全省机动车数量10%左右,但氮氧化物排放量占杭州机动车氮氧化物排放量的70%以上,PM_{2.5}排放占比可能更高。当前杭州的柴油车中,国Ⅳ排放标准柴油车也只有两成上下,预期2015年也仅能达到30%左右。若替代成国Ⅳ标准柴油车,并添加尾气处理液,保守估计每车的大气污染物排放可降低30%。

根据上述分析,初步估算机动车提高燃油效率、更新换代和公交出行率提高等举措对NO_x和PM_{2.5}减排潜力,预计到2020年:机动车排放的NO_x和PM_{2.5}分别较2015年下降9.8%和5.0%;到2030年,机动车排放的NO_x和PM_{2.5}分别较2015年下降14.9%和8.0%(表3)。

表3 杭州市能源利用减排主要大气污染物减排潜力

	SO ₂ /%		NO _x /%		PM _{2.5} /%	
	2020年	2030年	2020年	2030年	2020年	2030年
电厂锅炉	6.6	7.8	5.1	6.0	3.0	3.5
工业锅炉、窑炉	15.0	25.0	7.7	12.8	7.3	12.2
机动车	-	-	9.8	14.9	5.0	8.0
总计	37.7	47.7	30.3	41.4	22.6	31.0
较环境容量要求超载率	5.9	-11	53.3	29	132	107
当前(2015)超载率	70		120		200	
为达到环境容量要求的排放削减目标	40		56		67	

4 结论

根据以上初步估算结果,我们认为:杭州市二氧化硫的减排已经取得成效,预计到2020年左右基本可以将杭州市的二氧化硫排放控制在环境容量负荷水平内;由于杭州市发电领域减排工作开展较早、天然气替代和超低排放已有一定进展,因此虽然未来在技术进步带动下依然存在二氧化硫进一步减排潜力,但相对而言,工业锅炉、窑炉及散烧是进一步减排重点。

氮氧化物减排仍有很大压力,同时也存在较

大潜力,重点主要在于机动车减排,特别是柴油车的减排,其次在于工业锅炉、窑炉减排。由于氮氧化物主要源于机动车排放,需要严格控制货车尾气排放、加大公交车清洁能源替代力度和积极发展轨道交通、提高公交分担率,以及促进工业锅炉、窑炉的清洁燃烧技术应用、加大天然气使用量。通过这些措施,预期可以显著减少氮氧化物排放。经过初步测算认为,在上述领域共同减排努力下,杭州到2030年可将氮氧化物环境负荷超载率从120%降低到29%左右,大幅缓解当前的严重超标状况,基本接近环境负荷上限。

PM_{2.5}污染减排形势依然严峻:按初步测算:按当前的减排趋势预测,杭州市的PM_{2.5}排放总量到2020年还将超标132%,到2030年超载率仍接近100%。近期看工业锅炉、窑炉和机动车都是减排重点领域,未来减排重点将是能源供应结构的清洁化机动车尾气减排。未来随着能源结构的低碳化、清洁化的推进以及清洁能源汽车技术进步和突破,煤炭和油品燃烧排放的显著下降和机动车大幅减排将带来PM_{2.5}排放量持续下降,同时氮氧化物排放量也将随之减少。

从研究估算结果分析,杭州市当前制订的大气污染物减排目标和举措可以在近期(5~15年)显著减少二氧化硫,控制氮氧化物和一次PM_{2.5}的排放量,特别是基本可以将二氧化硫排放降至环境允许水平,因此减排措施对灰霾会有明显的减轻作用,但距离氮氧化物和细颗粒物环境容量

的减排要求尚有一定差距。在当前政策情景下,到2025年左右,二氧化硫排放量将基本达标,但是氮氧化物和细颗粒物排放量即使在2030年也预计将显著高于环境容量允许水平,减排工作仍将任重道远。在中远期,将寄望于能源结构清洁化程度的持续提高和清洁能源汽车技术进步,需要进一步推动清洁能源利用,继续减少燃煤等高污染燃料的利用量,从燃料清洁化、交通系统智能化等方面加强交通减排,由此形成能源供给侧和能源消费侧的清洁化,根本上遏制灰霾;同时,在非能源消费的灰霾影响因素方面,包括建筑、道路扬尘和外来灰霾输入方面也需要进一步努力,从多个方面彻底根治灰霾。

参考文献

- [1] 薛文博,付飞,王金南,等. 基于全国城市PM_{2.5}约束的大气环境容量模拟. 中国环境科学,2014,34(10):2490~2496.
- [2] 叶贤满,徐昶,洪盛茂,等. 杭州市大气污染物排放清单及特征.
- [3] Ru Jin Huang, Yanlin Zhang, Carlo Bozzetti, et al. Nature (2014), 514(7521).
- [4] 浙江省"十二五"及中长期能源发展规划.
- [5] 王临清,朱法华,赵秀勇. 燃煤电厂超低排放的减排潜力及其PM_{2.5}环境效益. 中国电力,2014,47(11).
- [6] 王思文,张钟平,周宇昊,刘垒. 浙江省电力行业天然气利用及发展前景. 发电与空调,2014(06)
- [7] 浙江省灰霾应对和治理研究,积极应对和治理浙江灰霾污染[J]. 浙江经济,2013,15:20-23.
- [8] 杭州市发展和改革委员会.2013年杭州市能源发展报告[R]. 2014.
- [9] 鞠美庭,朱坦. 对我国规划环境影响评价中几个重要问题的思考. 上海环境科学,2003(S2)
- [10] 肖华山. 规划环境影响评价指标体系及评价方法探讨. 金属矿山,2003(12)
- [11] 李明光. 规划环境影响评价的工作程序与评价内容框架研究. 环境保护,2003(7)
- [12] 朱坦,吴婧. 当前规划环境影响评价遇到的问题和几点建议. 环境保护,2005(4)
- [13] 谢华生,朱坦. 环境影响评价理论体系的建设. 农业环境科学学报,2004(4)
- [14] 毛文锋, Peter Hills. 环境影响评价,战略环境评价与可持续发展. 中国环境科学,2000,20(suppl.)90-94
- [15] 高焰,孔庆珍,李大秋. 从《环境影响评价法》看我国当前环境影响评价制度的进步与不足. 中国环境管理,2003(6)
- [16] 王庆礼,邓红兵,钱俊生. 略论自然资源的价值. 中国人口、资源与环境,2001(2)
- [17] 罗亚玲. 环境伦理作为责任伦理. 道德与文明,2005(1)
- [18] 中华人民共和国环境影响评价法,2016
- [19] 规划环境影响评价技术导则 HJ130-2014
- [20] Lee N, Walsh F. Strategic environmental assessment: an overview [J]. Project Appraisal,1992,7(3)
- [21] 廉有轩,陈振民. 环境评价中几个容易忽视的问题及处理. 郑州经济管理干部学院学报,2003(9)
- [22] 梁学功,刘娟. 中国实施规划环评可能出现的问题及其解决方法. 环境科学,2004(6)
- [23] 张红珍. 规划环境影响评价探讨. 环境污染与防治,2004(4)

(上接第54页)