

欧洲大气颗粒物污染治理

尹盛鑫, 尹 军

(中国科学技术信息研究所, 北京 100038)

摘 要: 欧洲历史上曾长期遭受大气颗粒物污染问题的困扰, 比如, 发生过 1930 年比利时马斯河谷事件及 1952 年伦敦烟雾事件。但最近几十年来, 经过长期努力, 欧洲对大气颗粒物的治理工作取得了显著成绩。目前, 我国大气颗粒物来源情况与欧洲存在较大的差异, 但欧洲通过在交通和能源等方面对污染源的治理有效减少大气颗粒物排放的经验, 对我国治理“雾霾”具有重要的借鉴意义。

关键词: 欧洲; 空气污染治理; 大气颗粒物; 可吸入颗粒; 雾霾; PM2.5

中图分类号: X513(5) **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2013.09.005

从 2012 年 12 月以来, 我国东部和中部地区多次出现持续“雾霾”天气, 包括首都北京在内的多个城市大气颗粒物污染严重。欧洲工业化发展较早, 历史上也曾遇到过类似的大气污染事件, 著名的 1930 年比利时马斯河谷事件及 1952 年伦敦烟雾事件, 在短期内造成了大量人员伤亡并对经历者的健康留下了长期的负面影响^[1]。经过几十年的不断努力, 欧洲对大气颗粒物的治理取得了显著成绩。

1 大气颗粒物的主要组成及来源

从 1952 年伦敦烟雾事件之后, 欧洲开始关注煤烟等烟尘污染, 之后随着对大气颗粒物对健康影响的研究进步, 研究和治理的对象转向了空气动力学直径较小的总悬浮颗粒物 TSP ($<100\ \mu\text{m}$) 和可吸入颗粒物 PM10 ($2.5\sim10\ \mu\text{m}$)。近年来, 欧洲对大气颗粒物的研究和治理主要关注于能够通过鼻咽进入人体, 对健康造成较大危害的 PM10 和细颗粒物 PM2.5 ($<2.5\ \mu\text{m}$)。

PM10 和 PM2.5 既有来源于地质活动、扬尘、挥发、燃烧、高温过程产生的一次颗粒 (primary particles), 也有在空气中通过化学反应过程产生的二次颗粒 (secondary particles)。二次颗粒包括: 二氧化硫 (SO_2), 氮氧化物 (NO_x), 氨 (NH_3) 在

空气中反应生成的硫化合物、氮化合物和铵盐等二次无机气溶胶 (SIA) 及漂浮的有机化合物 (VOC) 在空气中反应生成的二次有机气溶胶 (SOA)。

欧洲大气颗粒物主要组成包括: 地壳活动释放物 (如火山灰)、海盐、黑炭、灰尘、SIA 和 SOA, 值得注意的是二次颗粒所占比例很高。据 2004 年的研究报告估计, 欧洲 15 国的 PM10 排放量中, 二次颗粒所占比例高达 86% (见图 1 所示)。因此, 欧洲的大气颗粒物污染研究和治理, 不仅关注一次颗粒, 还兼顾了 SO_2 、 NO_x 、 NH_3 和 VOC 等二次颗粒。在大气颗粒物研究中, 将这些二次颗粒污染物称为先驱物 (precursor)。

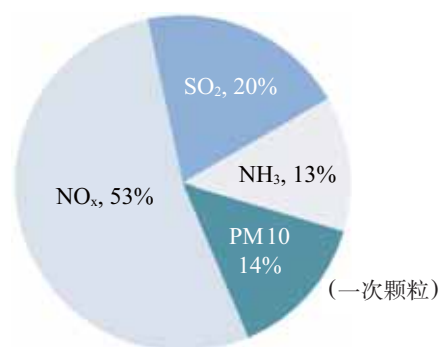


图1 欧洲 15 国一次和二次颗粒对 PM10 排放量的贡献率^[2]

说明: 计算 NO_x 的转化系数为 0.88, SO_2 的转化系数为 0.54, NH_3 的转化系数为 0.64, 没有计算 VOC。

第一作者简介: 尹盛鑫 (1978—), 男, 工程师, 主要研究方向为软件工程与信息技术。

收稿日期: 2013-06-20

根据欧洲环境署的数据（参见图 2），目前，欧洲人类经济活动对大气颗粒物排放影响最大的部

门有：居住（包括人居和商用）、工业、交通、农业和能源。

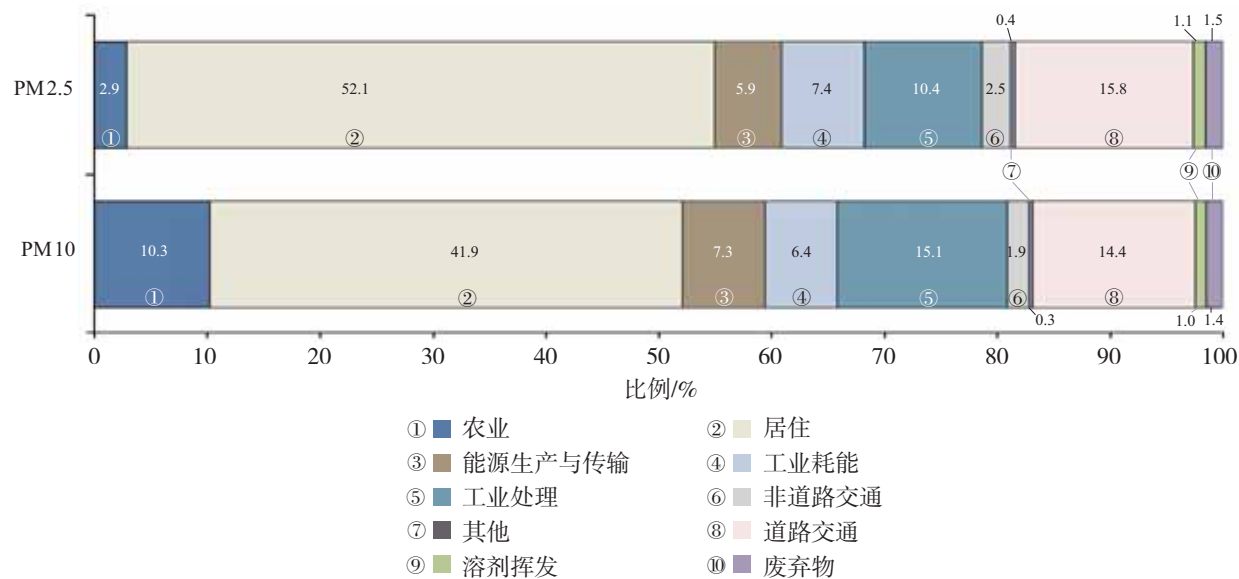


图2 欧洲大气颗粒物（综合考虑一次颗粒和先驱物）的来源比例^[3]

欧洲的研究还表明，地质活动和天气条件等自然因素会对大气颗粒物的产生和聚集产生很大的影响，例如，2008年，冰岛火山爆发导致欧洲大气颗粒物排放量短期内急剧上升。

2 大气颗粒物污染应对举措

2.1 制定环境行动计划和战略目标

从1973年欧共体时代开始，欧洲出台了一系列的环境行动计划（Eviroment Action Programme, EAP）。欧盟的第五环境行动计划（1993—2000年）和第六环境行动计划（2002—2012年），是近20年来欧洲采取一系列与大气颗粒物及其先驱物相关的政策和措施的指导纲领。

2005年，欧盟根据第六环境行动计划推出空气污染主题战略（EU Thematic Strategy on Air

Pollution）^[4]，制定了到2020年相对于2000年空气质量改善的长期治理目标，其中，要将大气颗粒物污染中造成的人类寿命期望损失降低47%，这要求与大气颗粒物大气颗粒物及其先驱物达到如下治理目标：SO₂排放降低82%，NO_x排放降低60%，NH₃排放降低51%，VOC排放降低27%，PM_{2.5}（一次颗粒）排放降低59%。

2.2 设立空气质量标准

自1952年伦敦发生烟雾事件，欧洲在20世纪50年代到70年代开始，对限制不完全燃烧成生的煤灰等黑烟排放进行立法。1980年7月15日，欧盟推出了第一个关于空气质量中SO₂和空气悬浮颗粒物浓度进行限定的指令（80/779/EEC）。欧盟空气质量框架指令（96/62/EC）及其后续指令制定了大气颗粒物相关的空气质量标准，见表1所示。

表1 欧盟大气颗粒浓度限定标准^[5]

项目		浓度/($\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$)	说 明
PM10	日平均	50	于2005年1月1日达到，一年内不能超过35天超过标准限额。
	年平均	40	于2005年1月1日年生效。
PM2.5	年平均	25	于2010年1月1日年生效，目标指标没有强制性。
		25	于2015年1月1日年生效。
		20	于2020年1月1日年生效（将于2013重新评估）。

目前：对 PM10 设立的日平均和年平均的浓度标准，均已生效；对 PM2.5 设立的年平均浓度标准，将于 2015 年 1 月 1 日生效，还未设立 PM2.5 的日平均浓度标准。

2.3 建设监测网络，开展广泛研究

欧洲在较早时期就开始对 SO₂、NO_x、NH₃ 等先驱物进行监测，建立了较为完备的监测机制。经过多年的努力，遍布于欧洲各地的几千个站点已具备了监测 PM10 的能力，形成了规模庞大的 PM10 监测网。虽然近年来才开始重视对 PM2.5 的监测，但发展十分迅速，到 2010 年，欧洲已经有 965 个站点能够监测 PM2.5，比 2009 年新增了 171 个^[6]。

同时，欧洲开展了对大气颗粒物的广泛研究，比较重要的研究方向包括：大气颗粒物排放（污染源、变化趋势、排放标准）、大气颗粒物的影响（对人体健康的影响、对自然生态环境的影响、对建筑和文化遗产的危害、造成的经济损失）、气象条件对大气颗粒物浓度的影响、相关政策与措施的研究及评估等。

2.4 信息公开与共享

欧盟委员会（2001/—/EC）下发调查问卷，要求成员国每年报告空气质量情况。此外，根据欧洲议会决议（97/100/EC）建立相互交换信息和数据的网络，要求成员国的空气污染监测站点将空气质量数据实时提交到公共数据库（Airbase），以使公众可以方便地进行访问。

2.5 主要污染源治理

2.5.1 交通运输

交通运输是大气颗粒物及先驱物的主要来源之一。为减少大气颗粒物及先驱物排放，欧洲在交通运输领域采取了如下措施：

（1）随着对大气颗粒物污染研究认识的不断进步，从 1992 年开始，制定对排放限制越来越严的汽车废气排放标准（Euro 1-6）并逐步予以施行^[7]。

（2）发布指令对燃料质量进行规定，转而使用含硫量较低的燃料。

（3）使用柴油车替代汽油车。与汽油车相比较，柴油车颗粒物排放较小，同时车辆寿命和价格有一定优势。根据 2010 年欧盟 27 国新车市场的数据，柴油车的份额已超过了 50%^[8]。

（4）在车辆上安装颗粒过滤器、催化剂转换器

等减排装置。

（5）发展电动车、混合动力车辆和其他清洁燃料车辆，有预测称，欧洲 2020 年的电动车市场份额将达到 4%^[9]。

（6）推进“智能交通”项目，发展公共交通，控制车辆数量，减少城市拥堵。

2.5.2 工业排放

工业排放是大气颗粒物及先驱物的另一主要来源，欧盟通过发布各种指令，限制工业排放产生的大气颗粒物排放量。如，针对燃烧设备、工业生产、废物处理、化学物挥发等方面的颗粒物排放进行立法，发布了以下指令：大型燃烧设备指令（Large Combustion Plants Directive, LCP）、综合污染防控指令（Integrated Pollution Prevention and Control Directive, IPPC）、废物燃烧指令（2000/76/EC）、溶剂指令（1999/13/EC）和涂料指令（2004/42/CE）等。

在相关政策指令的推动下，欧洲的大型燃烧设备普遍加装了过滤器、除尘器等减少颗粒物排放的装置。

工业燃料减少了煤的使用，天然气占到了相当大的比重。

2.5.3 能源

（1）历史上，英国在伦敦烟雾事件之后减少了对煤的使用，有效地改善了空气质量。从 20 世纪 90 年代以来，欧洲在能源、工业及居住等部门，减少了对煤炭和石油的使用，转而使用更清洁的燃料，天然气的消费大幅上升。

（2）发电站普及安装了过滤器、除尘器等装置。

（3）发展“智能电网”等项目，提高电力使用效率。

（4）对水电、核能、太阳能、风能等可再生能源进行研究和开发。对分布式的太阳能、风能电站，提供了优先入网的政策鼓励。

2.5.4 居住

人类居住主要通过相关的能源消耗，间接导致大气颗粒物排放。欧洲主要从节能入手，采取措施减少居住导致的大气颗粒物排放。

（1）发展节能建筑，节约采暖、照明等消耗的能量。

（2）鼓励购买节能设备，目前在意大利购买节能设备可以获得 55% 的退税。

(3) 利用价格调节,如意大利推行的智能电表项目,可以有效地引导人们节约用电,有助于减少大气颗粒物的排放。

2.6 国际合作

2001年,欧盟通过了国家排放限额指令(NEC Directive),限定各成员国在2010年几种重要空气污染物排放的限额,其中包括 SO_2 、 NO_x 和 NH_3 等几种重要的大气颗粒物先驱物。

大气颗粒物及其先驱物可以在大气中长距离输送,其污染的治理离不开国际合作。1979年,多个欧洲国家在联合国欧洲经济委员会支持下,签署了限制空气污染物长距离输送与沉降的长距离跨界空气污染条约(LRTAP)。经过多次修改后,该条约涉及的污染物已经覆盖了大气颗粒物及其先驱物。

3 治理成果评价

3.1 取得的成绩

经过多年的努力,欧洲已经建立较为完整的与大气颗粒物污染治理有关的政策、法律体系,监测网络日益趋于完备,大气颗粒物减排取得了显著的成绩。

图3所示,是以1990年的排放量为基础的欧洲大气颗粒物(PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$)和先驱物(SO_2 、 NO_x 、 NH_3 、VOC)逐年变化的情况。由图3可见,从1990年一直到2011年,大气颗粒物及其先驱物的总排放量明显地呈现出逐年下降的趋势。以2010年和1990年的数据作比较, PM_{10} 排放量减少了71.1万t, $\text{PM}_{2.5}$ 排放量减少了54.2万t^[10]。

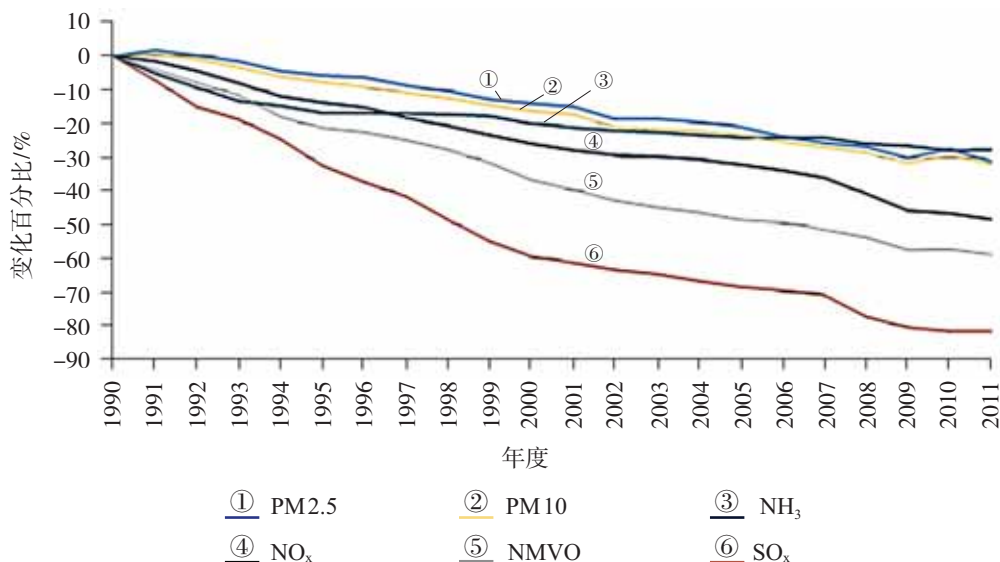


图3 欧洲大气颗粒物及先驱物排放量较1990年的逐年变化情况^[11]

图4所示为欧洲各部门大气颗粒物减排贡献情况。从各部门看,对能源生产和传输、工业和交通等部门进行的治理,取得了最为显著的成果。

在能源生产和传输部门,采取治理措施贡献的 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 减排量,分别占总减排量的39.5%和31.7%。

在工业部门,治理对 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 减排量贡献的比例分别为42.7%和33.6%。

在道路交通部门,治理对 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 的减排贡献比分别为19.8%和30.5%^[3]。

3.2 存在的问题

尽管欧洲对大气颗粒物污染的治理工作取得了显

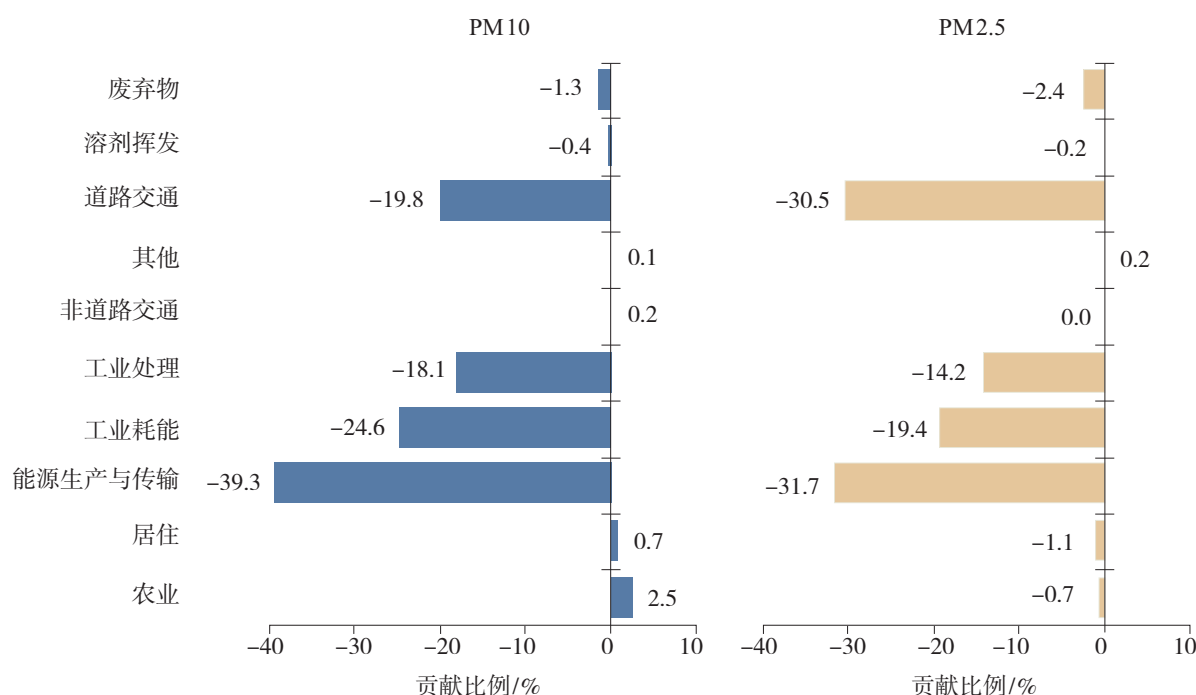
著成绩,但我们也应该看到,欧洲的大气颗粒物污染治理仍然任重道远。以下是欧洲在大气颗粒物污染治理方面存在的一些较为突出的问题:

(1) 相当多的地区仍然存在大气颗粒物污染超标的现象。根据欧盟的数据,2010年,欧盟有21%的城市人口生活在大气颗粒物污染的环境中^[5]。

(2) 大气颗粒物污染仍在给欧洲带来巨大的经济损失。根据较新的数据,2009年,欧洲空气污染导致的健康问题和环境危害造成的经济损失超过了1000亿欧元,人均200~300欧元^[12]。

(3) 各国大气颗粒物污染治理发展不平衡。

(4) 由于经济困难,清洁能源补贴等治理措

图4 欧洲各部门大气颗粒物减排贡献比例^[3]

施受到了影响。

4 思考与借鉴

目前,我国大气颗粒物来源情况与欧洲存在着较大差异(以PM_{2.5}为例,欧洲最大的来源是居住,占总排放52.1%^[12]、其次是工业、能源等。我国参照北京的情况:PM_{2.5}第一大污染源是道路交通,占总排放的22%以上;其次为燃煤,约占总排放的20%^[13]),同时也要注意,数据表明欧洲多年的治理恰恰在交通和能源(包括大量的燃烧污染)等部门取得的减排成绩最为突出,其治理经验对我国而言有着非常宝贵的借鉴意义。

(1) 立足我国实际,正确认识经济发展与大气颗粒物污染治理的关系。从欧洲在20世纪90年代以来长时间持续发展的条件下取得治理成绩的过程,我们可以看到:经济发展与大气颗粒物污染治理不是相互对立的,良好的经济发展能够为治理提供条件;反之,经济上的困难也会对治理工作带来负面影响。

(2) 充分认识治理工作的长期性,标本兼治、防治结合。一方面,运用气象预测手段进行预警,同时,建立严重污染情况下的应急机制,公开共享信息,教育和引导群众正确认识大气颗粒物污染问

题,发展推广科学有效的防护方法和装备,减少污染带来的损失;另一方面,踏实地建设监测网络及开展相关研究,科学地、与时俱进地立法施政,采取措施做好减排工作。

(3) 区域联动,协调治理。由于大气颗粒能够长距离输送,再加之我国各地区发展存在着不平衡,各地区各自为战无法有效治理大气颗粒物污染。因此,我们需要根据气象条件,调整产业布局,设定区域排放和输送限额,协调治理,才能保证实现减排。同时,局地出现严重污染的情况时,周边地区也要联动采取应急措施,才能有效应对。

(4) 尊重经济规律,利用市场机制实施治理措施。从欧洲的经验看,治理措施能否长期推行的关键在于该措施符不符合市场需求,是否经济划算。一方面要研究、实行有市场优势的治理举措,另一方面要量力而行,对探索性的、有发展空间的举措予以补贴,增强其竞争力。

大气颗粒物污染是欧洲长期面对的挑战。20多年来,欧洲采取了立法、政策制定、监测网建设、开展研究、信息公开与共享、污染源治理、国际合作等一系列应对措施,取得了令人瞩目的治理成绩。我国当前的大气颗粒物污染与欧洲十几年前的情况较为接近,欧洲的大气颗粒物污染治理经验对

我国应对“雾霾”有实际的借鉴意义。■

参考文献：

- [1] 薛志钢, 郝吉明, 陈复, 等. 国外大气污染控制经验[J]. 重庆环境科学, 2003, 25(11): 159-161.
- [2] Palmgren F. Comparison of The EU and US Approaches Towards Control of Particulate Matter[R]. Brussels: European Commission, 2004.
- [3] EEA. National Emissions Reported to the Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution(LRTAP Convention)[R/OL].(2013-01-10)[2013-03-26]. [http:// www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/national-emissions-reported-to-the-convention-on-long-range-transboundary-air-pollution-lrtap-convention-6](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/national-emissions-reported-to-the-convention-on-long-range-transboundary-air-pollution-lrtap-convention-6).
- [4] Thematic Strategy on Air Pollution[EB/OL].(2005-12-01)[2013-03-26]. http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/128159_en.htm.
- [5] EEA. Air Quality in Europe-2012 Report[R]. Copenhagen: EEA, 2012.
- [6] EEA. AirBase-the European Air Quality DataBase[DB/OL]. [2013-03-26]. <http://acm.eionet.europa.eu/databases/airbase>.
- [7] EEA. Impact of Selected Policy Measures on Europe's Air Quality[R]. Copenhagen: EEA, 2010.
- [8] Campestrini M, Mock P. European Vehicle Market Statistics [R]. Washington : ICCT, 2011.
- [9] Green Car Congress. Pike Research Forecasts Hybrids and Plug-ins to Grow to 4% of European Market in 2020[EB/OL]. (2013-01-02) [2013-03-26]. <http://www.greencarcongress.com/2013/01/pikeeev-20130102.html>.
- [10] EEA.Emissions of Primary PM2.5 and PM10 Particulate Matter (EEA Member Countries)[DB/OL].(2012-12-21)[2013-03-26]. http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/emissions-of-primary-and-secondary-2/csi003_fig01_oct2010.xls/at_download/file.
- [11] EEA. Air Pollutant Emissions Data Viewer (LRTAP Convention)[DB/OL]. [2013-03-26]. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/air-emissions-viewer-lrtap>.
- [12] Christopher Le Coq. Air Pollution costs Europe Billions: Report[R/OL].(2011-11-24)[2013-03-26]. <http://www.reuters.com/article/2011/11/24/us-cu-air-pollution-costs-idUSTRE7AN0BO20111124>.
- [13] 赵仁伟, 倪元锦. 灰霾之“慌”——七问“大气灰霾溯源”项目组报告执笔人王跃思[EB/OL].(2013-02-19)[2013-06-05]. http://news.xinhuanet.com/politics/2013-02/19/c_124364842.htm.

Atmospheric Particulates Pollution Control in Europe

YIN Sheng-xin, YIN Jun

(Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038)

Abstract: Europe has suffered from the air pollution caused by atmospheric particulates for decades, for instance, Smog Incident in Meuse Valley in 1930, and the Great Smog of London in 1952. However, due to its long-term commitment, Europe has made great achievements on control of this pollution in recent decades. This paper analyzed measures taken by Europe to control the emission of particulate matter via its energy use and transport management, which has great significance to the treatment of particulate matter pollution emerging in China.

Key words: Europe; air pollution control; atmospheric particulate; inhalable particles; haze; PM_{2.5}