

雾霾

“那是一种沁入人心深处的黑暗”，狄更斯 1850 年在《荒凉山庄》开篇如此描述伦敦大雾。2013 年，远在地球另一端的中国民众也领教了这“沁入人心深处的黑暗”。自 2013 年年初以来，全国中东部地区陷入严重的雾霾天气中，中央气象台将大雾蓝色预警升级至黄色预警，从华北到中部导致黄淮、江南地区出现了大范围的重度和严重污染。1 月 13 日 10 时北京甚至发布了北京气象史上首个霾橙色预警。2013 年全年我国平均雾霾天数达 29.9 天。进入 2014 年，雾霾天气似有常态之势。那么，这不请自来的雾霾到底为何物？从何而来？如何才能驱散？其中“万夫所指”的机动车排放又该承担怎样的责任？本期，中国化工学会联合《中国化工信息》周刊为您拨开迷雾，透析真相。

1 何为雾霾？

雾是近地面空气中凝结的水汽。霾是指大量烟、尘等非水微粒均匀地悬浮在空气中，使水平能见度小于 1 公里的空气普遍混浊所形成的现象，使远处光亮物略带黄、红色，黑暗物略带蓝色，气象学上称之为霾。

雾虽然以灰尘作为凝结核，但总体无毒无害。霾的核心物质是悬浮在空气中的细颗粒物、烟、灰尘等物质，细颗粒物 (PM_{2.5}) 容易直接进入并粘附在人体下呼吸道和肺叶中，对人体健康有伤害。霾

的组成成分非常复杂，目前所知的主要成分为硫酸盐、硝酸盐、铵盐、含碳颗粒 (包括元素碳和有机碳，元素碳主要产生于高温燃烧过程，有机碳主要来自相对低温的燃烧过程)、重金属微粒等，这些有害物质大部分都富集在细颗粒物 (PM_{2.5}) 上。

雾霾是雾和霾的混合物。近期我国不少地区把雾与霾一起作为灾害性天气预警预报，统称为“雾霾天气”。

4 汽车尾气排放对雾霾的“贡献”

机动车尾气中有 100 种以上化学成分，主要有 SO₂、碳氢化合物 (HC)、NO_x、CO、CO₂、碳、锰等细颗粒物 (PM) 等，大部分对 PM_{2.5} 以及光化学烟雾的形成有贡献。其中 HC 主要包括烷烃、环烷烃、烯烃和芳烃，绝大多数属于挥发性有机污染物 (VOCs)，这些污染物都将严重影响环境质量和人体健康。

无论是柴油车还是汽油车，在使用过程中都会产生 PM_{2.5}，只不过柴油车产生的 PM_{2.5} 要多得多。柴油车使用的是压燃式发动机，其燃烧过程是典型的扩散燃烧，柴油的燃烧与裂解同时进行，即便有过量的氧气来形成稀薄燃烧，但由于受时间、空间限制，油气仍不能充分混合，而在气、液两相情况下燃烧，柴油会因局部高温缺氧而部分发生脱氢裂解反应，形成碳颗粒物，严重时甚至出现尾气冒黑烟。相比较而言，汽油机中油气混合时间充裕，混合均匀，因而其产生的碳烟比柴油机少得多 (表 1 为无尾气后处理装置的同排量汽、柴油车排放量水平比较)。因而，柴油车尾气排放污染治理成为治理雾霾的重点。

根据环保部发布的《2012 年中国机动车污染防治年报》，随着机动车保有量的快速增加，我国城市空气开始呈现出煤烟和机动车尾气复合污染的特点，直接影响群众健康。2011 年，全国机动车排放污染物 4607.9 万吨，比 2010 年增加 3.5%。2011 年全国柴油车排放的 NO_x 接近汽车排放总量的 70%，全国柴油车排放的 PM 在汽车排放 PM 总量中超过 90%；而汽油车 CO 和 HC 排放量则较高，超过排放总量的 70%。

排放物	汽油车排放量	柴油车排放量
PM	1	10
NO _x	1	3
CO ₂	1	0.75
CO	1	0.5
HC	1	0.5

2 雾霾的成因

雾霾天气的形成因素包括以下几方面：一是相对湿度比较大，就是空气中要有相当的水汽，水汽含量比较高；二是大气处于相对静止的稳定状态，大气中悬浮颗粒物不易被扩散稀释，容易

在城区和近郊区周边积累；三是垂直方向上出现辐射逆温，空气中悬浮颗粒物难以向高空飘散而被阻滞在低空和近地面；四是要有降温条件等。上述气象因素是形成雾霾污染的外因，大气中的细颗粒物 (PM)、SO_x、NO_x、O₃ 等污染物是形成雾霾天气的内因。现在已经清楚，在雾霾天气的形成中，PM_{2.5} 无疑是“元凶”。

PM_{2.5} 是指大气中空气动力学当量直径小于或等于 2.5 微米的固体细颗粒，它在大气中的停留时间长、输送距离远，因而对人体健康和大气环境影响巨大。PM_{2.5} 的“PM”为英语单词 particulate matter 的缩写；PM_{2.5} 的“2.5”，是指 2.5 微米，相当于头发丝直径的 1/20 (见图 1)。所以，直径 2.5 微米的细颗粒物是肉眼看不见的。

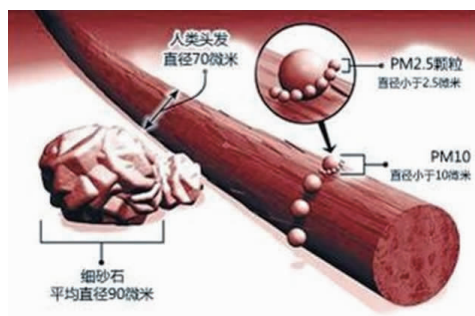


图 1 PM_{2.5} 直径示意图

3 形成雾霾的污染物来源

气象因素作为形成雾霾污染的外因，当前人们对其还难于控制，那么人们应当对形成雾霾天气的内因给予更大的关注，即对大气中的细颗粒物 (PM)、SO_x、NO_x、O₃ 等污染物实施严格监控。

为此，首先要搞清作为形成雾霾的内因的细颗粒物 (PM)、SO_x、NO_x、O₃ 等污染物的来源。

依据国情，我国细颗粒物等污染物的来源主要有五部分：燃煤排放、机动车尾气排放、餐饮厨房排放、工地扬尘及生物质燃烧 (秸秆)。其中燃煤排放主要来源由火电厂、企业燃煤动力站、取暖用燃煤锅炉以及城乡结合部居民的日常燃煤灶具炉具构成。餐饮厨房排放来源主要是饭店、宾馆及家庭厨房。工地扬尘主要由建筑工地施工和渣土无遮盖转运引起。秸秆燃烧发生在农田。机动车尾气排放来源主要由汽油车和柴油车辆构成。

研究表明，机动车排放是 PM_{2.5} 的重要来源之一，机动车不仅直接排放 PM_{2.5}，而且尾气排放的 SO_x、NO_x、HC 等挥发性有机物 (VOCs) 会经过复杂的物理化学作用过程转化为二次细颗粒物 PM_{2.5}。据测算，在各种来源的 PM_{2.5} 中，机动车尾气排放的 PM_{2.5} 约占 1/4，2012 年北京市机动车排放对 PM_{2.5} 浓度的贡献率为 22.2%，是当地最主要的污染源之一。



科普解读

5 降低汽车尾气排放——治理雾霾的解决方案之一

要降低汽车尾气排放，提高汽柴油质量水平是关键。2002~2010年，我国车用汽柴油陆续升级至国Ⅲ标准，汽油苯质量分数限值为1%，硫质量分数限值为150 $\mu\text{g/g}$ ；车用柴油硫质量分数限值350 $\mu\text{g/g}$ ，多环芳烃（PAHs）限值11 $\mu\text{g/g}$ 。此外，北京2008年1月1日起实施京标Ⅳ车用汽油、京标Ⅳ车用柴油标准；上海、广州等地市也陆续实施沪Ⅳ、粤Ⅳ车用汽油和车用柴油标准；2012年5月31日北京又开始实施京标Ⅴ车用汽油和车用柴油标准，两个月完成置换期的过渡。

在环保压力倒逼下，近期我国油品质量升级进程进一步加快。政府决定从2014年1月1日起在全国使用国Ⅳ质量标准的汽油，中石化、中石油等炼油央企均已经采用吸附脱硫或选择性加氢脱硫等先进技术改造了汽油组分生产装置，保证了全国加油站1月1日起改加硫含量降低为50 $\mu\text{g/g}$ 的国Ⅳ汽油。政府还部署推出了加快油品质量升级的新举措，近期正式公布了国Ⅴ车用汽油国家标准，并定于2018年1月1日起在全国范围内强制使用。国Ⅴ车用汽油标准总体上与欧洲现行的欧Ⅴ标准水平相当，硫含量降低为10 $\mu\text{g/g}$ ，烯烃含量也有所降低，并且不再允许人为加入添加剂羰基锰。

车用柴油的质量升级节奏也在步步加快，政府规定车用柴油国Ⅳ标准2015年1月1日开始实施；国Ⅴ车用柴油标准将于2018年1月1日与国Ⅴ车用汽油标准同步实施，要求车用柴油硫含量不大于10ppm，这一指标已达到目前欧盟标准的水平。国Ⅴ车用柴油标准要求炼油企业采用新的

清洁柴油生产技术和装置，例如采用选择性加氢脱硫、选择性加氢改质等新技术来进一步降低硫含量、芳烃含量以及提高十六烷值。我国政府还于2013年7月1日发布了国Ⅲ标准普通柴油，规定硫含量限值由原国Ⅱ标准的2000ppm直降到350ppm。这样由于柴油标准双轨制给环境造成的影响有所减缓，今后仍应当关注这一问题。



柴油车作为治理雾霾的重要对象，其内燃机排放标准的提高也是重要的一环。我国柴油车内燃机排放于2001年4月实施国Ⅰ标准；2004年实施国Ⅱ标准；2007年7月1日实施国Ⅲ标准，强制要求安装OBD（车载诊断系统）；2013年7月1

日起实施国Ⅳ标准。在国Ⅰ至国Ⅲ阶段，通过提高内燃机的燃油燃烧效率，减少污染物生成，即采取机内净化就可以满足排放要求。但随着排放要求的日益严格，到了国Ⅳ阶段，在进行机内净化的同时，还必须采用尾气后处理装置，以降低排放尾气中的NO_x含量。从近期发展趋势来看，我国的重型柴油车将主要采用机内净化+选择性催化还原技术（SCR）。SCR是针对柴油车尾气排放中NO_x的一项处理工艺，即在排放前向尾气中喷入还原剂氨或尿素，随即在催化剂的作用下，仍具较高温度的尾气中的NO_x被还原成无害的N₂和H₂O。柴油车尾气处理液是浓度为32.5%的尿素水溶液，是SCR系统的必备消耗品，其原料为车用级尿素和超纯水。我国的车用尿素溶液产品开发起步较晚，目前仅有少数研究机构及企业根据市场需求进行小批量生产，2012年全国市场年销售量只有1万吨左右。北京是国内最早实施柴油车国Ⅳ标准的城市，年需求约6000吨，主要是公交车使用。上海市运行的欧Ⅳ柴油车不足1000辆，年需求量约1000吨。但是，随着国Ⅳ排放标准的强制推行，预计车用尿素溶液用量将迎来快速增长。

近年，一些新能源的出现，也为降低汽车尾气排放提供了新的契机。新能源汽车是指除使用汽油、柴油之外的所有其它能源的汽车，包括动力电池汽车、燃料电池汽车、LNG（液化天然气）汽车、CNG（压缩天然气）汽车以及混合动力汽车（指内燃机动力与电池动力相结合）等，其废气排放量比较低，有的甚至能实现使用现场零排放。

6 国外治霾经验借鉴

“雾都伦敦”当仁不让将英国推上了治霾先行者之列。1956年，英国颁布了《清洁空气法案》，主要立足点在减少煤炭用量，法案划定了“烟尘控制区”，区内的城镇只准烧无烟燃料，同时大规模改造城市居民的传统炉灶，推广使用电和天然气等；冬季由居民燃煤或燃油分散采暖转为采取集中分片供暖；发电厂和重工业设施被迁至远郊外。到20世纪80年代，伦敦又将治理污染的重点转为治理汽车尾气，政府大力推动公共交通，并鼓励居民购买小排量汽车，还对车用燃料的清洁程度不断加以升级，较早就下决心规定使用欧Ⅴ标准的汽油和柴油，与此同时，大力推广高效率、清洁的发动机技术以及鼓励使用天然气、电力或燃料电池的低污染汽车。今日的伦敦，大雾天气已经从100余年前的每年90天，减少为不到10天。

20世纪下半叶，数次严重的雾霾使纽约也赢得了“雾都”之名。为此，1970年美国出台了《清洁空气法》，环保署1997年设立了专门针对限制大气PM_{2.5}含量的标准，对PM_{2.5}的管理重点

是严密监控、实时公开、立法规范。藉此，美国多次提高汽车排放标准和油品质量标准。纽约市还改变了公交用车结构，大量燃油汽车被电动汽车取代，零排放的电动出租车也已于2013年开始投入试运营。纽约还使用更洁净的能源改变建筑物供暖方式；风能、太阳能等清洁能源也得到大面积的推广利用。同时，纽约市皇后区、布鲁克林区的工业企业实行了关停并转，雾霾污染问题得到逐步改善。加强绿化也是美国政府治理大气污染的重要手段，截至2013年，纽约市增加了229个社区公园、800英亩绿地、20英亩人行道和步行街。“纽约雾霾”如今已经成为了过去时，根据近期的一份调查结果，纽约市的空气质量处于50年来的最好水平。

巴西作为新兴经济体之一，在世纪六七十年代环境也受到过严重的污染和破坏，其化工基地库巴唐市由于大量冶金和化工等企业的进驻，使工厂工人和附近居民呼吸道和心脑血管疾病逐渐增多。在此背景下，巴西将环境保护写入宪法，纳入行政、刑事和民事范围，严格执法和惩处。

同时，政府、企业和民众共同参与和协作，推行严格的环保官监察制和环保许可制，拒绝将经济发展置于社会发展之上。1985年至1994年的治理第一阶段，库巴唐市重点控制主要污染源头企业的“三废”排放；1994年起，库巴唐市将治理重心转到恢复植被和城市重新规划上，并启动了针对环境事故的应急预案。在20多年时间里，当地企业共投入10亿美元用于治污。如今库巴唐工业园区内有54家从事石油化工、冶金和化肥生产的企业，每月的大气颗粒物排放量骤减至300吨，仅为当年的1%。

通观全球成功治理空气污染国家的经验，不难发现都有共同之处：一是严格的立法和执法及惩处，确保环保的权威性。如巴西在1981年8月公布了《国家环境政策》，为环境保护确定了基本法则，建立了国家的环境管理体制。二是成立专业职能部门，确保有法必依，执法必严。三是政府、企业和民众三方共同参与和协作，使环境治理成为全社会参与的事业。四是重视生产设备的更新换代和科技含量的提升，减少排放的同时降低能耗，实现了环保效益与经济效益的兼顾。