

京津冀及周边地区大气重污染成因更为清晰

蓝天保卫战，精准施策加油干

本报记者 孙秀艳 刘毅 寇江泽



二氧化硫、氮氧化物等气态污染物在大气中发生氧化等化学反应，形成硝酸盐、硫酸盐等PM2.5的主要成分。气象条件和空气重污染之间，存在着怎样的关联？

攻关专家运用多个模型系统，分析了2000年—2017年气象条件对空气质量的影响。结果显示，由于气象条件的年际差异，京津冀及周边地区“2+26”城市PM2.5年均浓度的波动幅度可达10%，个别城市可达15%；由于气象条件的月际差异，城市PM2.5月均浓度的波动幅度可达30%以上。

中国工程院院士、中国气象科学研究院研究员徐祥德，中国气科院大气中心研究员柳艳菊等组成攻关团队，对这一问题开展了深入研究。徐祥德介绍，京津冀及周边地区位于太行山东侧“背风坡”和燕山东侧的半封闭地形中，受青藏高原大地形“背风坡”效应所导致的下沉气流和“弱风效应”影响，冬季京津冀及周边地区为显著的下沉气流区，这不利于大气对污染物扩散和清除。这个地区是我国冬季大气污染最重、季节差异最为显著的区域，PM2.5浓度冬季普遍偏高，污染最重、秋、春季次之，夏季最轻。

“从目前统计分析结果来看，在京津冀及周边地区，符合以下条件时容易产生本地累积型重污染：风速小于2米/秒，对污染物水平扩散极不利；大气处于静稳状态，垂直扩散能力较差；近地面逆温，混合层高度低于500米；大气相对湿度达60%以上，导致气态前体物向颗粒物加速转化。”徐祥德说，“在空气污染过程中，污染累积到一定程度后还会导致气象条件进一步转差，重污染和不利气象条件之间形成显著的‘双向反馈’效应。”

看污染来源：燃煤、工业、机动车、扬尘这四大来源是主要的，占比达到90%左右。

看排放强度：这一区域产业结构偏重，能源结构以煤为主，运输结构以公路为主，钢铁、焦炭、玻璃、原料药等产量均占全国40%以上，单位国土面积煤炭消费量是全国平均水平的4倍，大宗物料80%依靠油轮车运输，排放强度高。

看时间分布：受采暖影响，这一区域秋冬季一次PM2.5和有机碳、黑碳等组分的月均排放水平，是非采暖季的1.5—4倍，而保定、濮阳、太原、阳泉、长治、晋城等散煤用量大的城市，上述污染物在秋冬季的排放水平更高。

看行业分布：钢铁及焦化行业主要分布在唐山和晋冀鲁豫交界地区，玻璃行业集中在邢台、淄博等地，石化工业主要集中在烟台、沧州、石家庄等地。

联合攻关的一大突破，是实现了为重污染过程的精细化定量描述。攻关联合中心副主任、中国环境科学研究院大气环境首席科学家柴发合告诉记者，2015年以来，京津冀及周边地区重污染过程发生频次、持续时长和峰值均呈下降趋势。2017年10月至今年3月初的秋冬季期间，京津冀及周边地区共出现23次区域重污染过程。攻关联合中心对23次污染过程都进行了精细化定量化解析，一一分析比对污染全过程的污染物组分、来源数据。

以今年1月10—14日污染过程中北京市的空气质量变化为例，10—12日晚间均出现了PM2.5浓度快速增长的现象。专家们利用空气质量模型进行模拟，结果表明，沿西南通道的污染物传输“贡献”最大。此外，北京12日晚间污染最重时段，硝酸盐、硫酸盐、铵盐浓度明显上升，占比合计超过50%。这表明北京及周边地区气态污染物的二次转化，也是推高北京PM2.5浓度的关键因素。气态污染物的二次转化，是指二

一直把控制二氧化硫排放总量作为大气污染治理的头等工作。攻关专家认为，京津冀及周边地区散煤“双替代”、燃煤锅炉和“散乱污”企业综合整治成效显著，使得硫酸盐浓度及占比大幅降低。

硝酸盐污染十分突出。观测期间的数据分析显示，京津冀及周边地区硝酸盐区域性污染十分突出，硝酸盐绝对浓度和占比大幅度超过硫酸盐，成为PM2.5中最主要的二次无机组分，其浓度快速上升已成为PM2.5爆发式增长的关键因素之一。这表明，加强氮氧化物的控制非常重要、非常紧迫。

中国环境科学研究院研究员薛志钢告诉记者，“2+26”城市氮氧化物最重要的来源是道路移动源，也就是机动车，占比32%；非道路移动源即工程机械、农业机械、船舶和飞机等的排放占比17%；电力和供热行业排放占比17%；其他工业排放占比20%。抓住重点领域、推进氮氧化物减排成为当务之急。

铵盐排放须引起重视。PM2.5组分“黑名单”中铵盐排在第四位。联合攻关专家、中国农业大学教授刘学军表示，铵盐主要由氨气通过二次转化而来，其来源主要是农业氨排放，占比高达85%，其中畜禽养殖占57%，氮肥使用占20%。从时间分布上看，秋冬季氨排放量低，夏季排放量高。另外，秸秆焚烧等生物质燃烧、垃圾填埋场、污水处理厂等也有氨排放。

各个城市产业、能源、运输结构不同，城市化水平及消费水平不同，污染呈现不同特点。中国工程院院士、清华大学环境学院院长贺克斌介绍，根据城市污染源结构特征，可探索性地将“2+26”城市分为6种类型：

天津、石家庄、唐山、邯郸、沧州、济南、淄博、安阳等城市为综合工业污染类；北京、郑州等城市为偏机动车及溶剂类（装修涂料、干洗剂、发胶、染发剂等）；邢台、太原、长治、阳泉、晋城、聊城、滨州等城市为偏煤焦铁类；廊坊、衡水、济宁、德州、新乡等城市为偏溶剂使用类；保定、鹤壁、焦作等城市为偏建材污染类；菏泽、濮阳、开封等城市为偏农业及石化化工类。

区域传输影响有多大？

区域传输加重污染快速累积，全年平均“贡献”约20%—30%

两年多前，一张在北京市西红门拍摄的大气污染团从南边滚滚来袭的照片，在很多人的微信朋友圈中刷屏，至今让人印象深刻。

“事实上，攻关期间，每次重污染我们都开展走航观测，采用新技术密切关注重污染过程。”中国科学院院士、中国科学院合肥物质科学研究院研究员刘文清说。

京津冀及周边地区的特殊地形，使得污染物区域传输对污染快速累积产生显著影响。攻关研究表明，西南通道（太行山前输送带）、东南通道（济南—沧州—天津输送带）和偏东通道（燕山前输送带）均影响较大。京津冀及周边地区各城市污染程度受到整个区域的传输影响，全年平均“贡献”约为20%—30%，重污染期间的“贡献”还会再提升约15%—20%。

对北京市而言，在重污染期间区域传输“贡献”最高可达60%—70%，其中西南通道、东南通道和偏东通道都有较

大影响。西南通道的定量分析显示，在典型污染过程的起始阶段，向北京的输送通量最高可达500—800微克/平方米·秒，污染形成阶段的输送通量在100—200微克/平方米·秒左右。

中国科学院大气物理研究所研究员王自发告诉记者，输送通量是表示污染物输送强度的物理量，数值越大，代表输送强度越大。“根据定量分析结果，按照近地面大气混合层500米高计算，在污染过程起始阶段，周边地区每小时每公里最高向北京输送0.9吨—1.5吨PM2.5，影响非常明显。”

有人认为，北京的蓝天受到了周边地区的拖累。但北京跟踪研究工作组专家、清华大学教授王书肖并不这样认为。她说，如果因此将北京空气污染完全归咎于周边地区，那可就错了。

王书肖表示，大气污染是区域性问题，京津冀及周边地区在同一空气流场内，各城市的污染物相互影响，北京既受其它城市影响，也影响其它城市，空气质量一荣俱荣、一损俱损，谁也难以独善其身。

区域内空气质量相对较好的地方，对区域传输“贡献”会小一些，这是大家的普遍印象。但专家们对各城市细致的“体检”，推翻了这样的误解。

“天津市去年PM2.5年均浓度为52微克/立方米，其中一个原因是得益于相对较好的扩散条件。”中国环境科学研究院研究员孟凡说，天津污染物排放量很大，但一次PM2.5直接排放并不是很高，只有唐山市的1/3，对本地造成的影响比较小。不过，天津的二氧化硫、氮氧化物、挥发性有机物排放较高，排名“2+26”城市前列。这些PM2.5前体物转化成硫酸盐、硝酸盐和颗粒物有机组分需要一定时间，输送过程中伴随着转化，对区域污染影响较大。空气质量模型模拟计算显示，天津的污染物对区域传输的“贡献”在“2+26”城市中排名靠前。

攻关研究显示，区域排放总量位居前列的5个城市，河北占了3个。西南通道也就是冀中南太行山沿线方向，包括河北石家庄、保定、邢台、邯郸等城市，工业产业结构偏重、能源结构偏煤、运输结构偏公路等问题突出，污染物排放总量较高，远超环境容量。东部的唐山市，工业污染特征也十分突出。

“河北空气质量相对较差，只有大幅削减污染物排放，才能提升本地空气质量，促进京津冀及周边地区空气质量持续改善。”河北省生态环境厅厅长高建民说。生态环境部大气环境管理司司长刘炳江强调：“区域大气污染防治过程中，各个城市首先要‘自扫门前雪’，把本地污染排放降下来。”

蓝天保卫战“战术”需要调整吗？

大气污染防治措施需适时完善，要下大力气调整产业、能源、运输、用地结构

攻关专家认为，治污不断深入，区域污染源占比也在不断变化，相应的措施必须跟上形势，适时加以调整完善。

专家组建议，今后要更加注重科学应对重污染天气。“研究成果对重污染天气减排工作具有很高的参考价值，相应方案要及时调整，保证更有效地降低污染峰值，缩短污染时间。”柴发合说，比如，分析出污染团的来源和传输方向，有针对性地做好源头及通道的应急减排，效果将更加显著。

针对秋冬季区域各城市污染程度普遍受到传输影响的问题，柴发合表

示，晋冀鲁豫交界地区地形条件先天不足，大气扩散条件较差，常常成为污染的“热点地区”。在重污染天气应对工作中，今后要注重这一地区的3个问题：应急预案中的企业减排量要与预警等级完全匹配；启动应急措施的时间要尽可能提前，提前两天甚至更早启动；应急减排措施要100%落地。

气态污染物二次转化往往是推高PM2.5浓度、导致污染加剧的重要原因。面对PM2.5组分占比的新变化，专家们认为，必须更加重视氮氧化物污染防治。“氮氧化物既是硝酸盐的前体物，也是形成硫酸盐的氧化剂。”贺克斌表示，应对空气重污染时，在多种污染物协同管控的基础上，把氮氧化物排放降得更低一点，效果更明显。

日常减排是治本之策。专家组对症下药，针对各地情况开出了具体“药方”。

调整产业结构。区域内钢铁产能巨大，冶金企业扎堆，钢铁、焦化、冶金、水泥等高污染、高能耗产业在唐山和晋冀鲁豫交界地区高度集中，晋冀鲁豫交界地区小冶金企业扎堆，装备、治理、管理水平落后，而且焦炭—钢铁、焦炭—电解铝产能的配比不合理，是下一步产业结构调整的重点区域。

调整能源结构。区域内能源消费结构较为单一，煤炭消费量较大，山西、河南、河北属于煤炭依赖型，北京属于油气综合型，天津、山东属于煤油气综合型，都需要做出相应优化。

调整运输结构。区域内柴油车氮氧化物和颗粒物排放，分别占汽车排放总量的65%和99%，是下一步运输结构调整的重点。

补上治理短板。京津冀及周边区域挥发性有机物污染治理的重要性日益凸显，需要加大力度治理苯、甲苯、二甲苯、乙烯、甲醛等重点污染物，而其关键在于控制汽油轿车、橡胶品制造、炼焦、沥青铺路、化学原料制造、涂装等污染源头。

“氨排放也是造成颗粒物污染的原因之一，大气治理应将氨减排考虑进来。”刘学军说，种植业和养殖业的氨减排潜力较大，氮肥机械深施、水肥一体化等技术，能降低一半以上的农田化肥氨排放，养殖业可以通过采用低蛋白配方饲料、改善动物饲养环境等措施实现氨减排。

疏解北京非首都功能。对北京而言，机动车尾气已经成为本地污染源排放的大头。王书肖说，北京今后的减排措施要集中在移动源和生活源上，但这还不足以支撑PM2.5浓度大幅度下降。北京PM2.5浓度要进一步下降，加快疏解非首都功能的进度是根本。

从2013年“大气十条”实施以来，蓝天保卫战持续推进。“目前，许多能用的、好用的措施都得到了应用，空气质量改善的难度在增大，边际成本在提高，污染治理进入深水区，越来越触及深层次问题。”柴发合说，除北京以外，京津冀及周边地区的产业、能源、运输、用地结构还没有发生根本性转变，区域内秋冬季空气质量仍不能摆脱对气象条件的依赖，一旦遭遇不利天气条件，就会发生空气重污染。大气污染防治往下走，重点还是结构调整。

刘炳江表示，目前京津冀及周边地区结构调整，面临不少难题：

产业结构调整难度很大。结构不不合理是长期发展的结果，短期内难以根本改变。调整产业结构、化解过剩产能影响面较广，涉及就业等民生问题，目前经济激励政策不足，实施难度较大。能源替代成本较高。京津冀及周边地区消耗了全国33%的煤炭，清洁燃煤集中供暖比例较低，散烧煤取暖用量仍较大。在“煤改气”“煤改电”工作

推进过程中，天然气供应需求量大，基础设施改造和运行成本高，地方财政补贴压力大等问题较为突出。

公路运输依赖度高。京津冀及周边地区公路货运量占货运总量的80%以上，比全国高出10个百分点。研究表明，一辆重型柴油车的污染物排放量相当于750辆轻型汽油车，区域内柴油货车排放超标问题尤为突出，导致氮氧化物和PM2.5排放量居高不下。

“这些确实都是硬骨头，要按照打赢蓝天保卫战三年行动计划的部署，下更大力气啃下来。”刘炳江说。

蓝天白云何时常驻？

再经过10多年努力，“2+26”城市的PM2.5年均浓度可逐渐达标

调整结构，总量减排，强化应急，促进联动……攻关专家的“药方”很务实，各地各部门正在抓落实。

“把污染总量减下来是实现区域空气质量持续改善的必由之路。”刘炳江表示，京津冀及周边地区产业结构调整，主要是针对高能耗、高排放企业。要严控“两高”行业产能，深化工业污染治理，巩固“散乱污”企业综合整治成果。

河北的大气污染防治，关乎整个区域空气质量改善。“正像专家们分析的那样，我省的石家庄、唐山、邢台、邯郸等几个大气污染较重城市，都存在主要产业行业的大气污染防治问题。我们要充分利用专家研究成果，瞄准‘靶心’科学施治。”高建民说，调结构很艰难，但河北将严控“两高”行业新增产能，坚定不移调整产业结构，大力化解过剩产能、淘汰落后产能，对钢铁、焦化、煤电等排放大户，加快推进超低排放改造和深度治理。

徐祥德表示，联合攻关研究表明，全球变暖趋势导致我国北方地区，特别是京津冀地区冬季静稳天数明显增多。气候变暖和人类温室气体排放有关，减缓气候变暖的进程，要靠减排。通常在减排二氧化碳等温室气体的过程中，会同时减排大气污染物，这对治理大气污染和缓解气候变暖都有益处。

应急，强化联防联控。攻关专家建议，进一步强化区域联防联控，降低整个区域污染物排放强度，尽可能减轻传输影响。在夯实应急减排措施方面，不断推进各地修订重污染天气应急预案，细化应急减排清单，做到涉气污染源全覆盖，把应急减排措施落实到具体生产工序和生产线，实施减排措施清单化管理，不断提高环境管理精细化水平。

秋冬季污染物浓度在短时间内快速升高、爆发式增长的现象，在京津冀及周边地区多个城市出现。刘炳江表示，针对这种现象，生态环境部将严格要求地方落实重污染天气应急预案，继续指导各地强化重污染天气应对，开展应急联动。

提高空气质量预报能力，是应对空气重污染过程、减轻污染的重要举措。徐祥德认为，在一个时段内排放量相对固定的情况下，气象条件是重污染事件是否发生的关键因素，几天之内就可能有从蓝天白云转变为“爆表”。

下一步要加强、深化气象影响和大气污染成因关联性的研究，做好重污染天气的精准预报预测；另外，要加强不同地形与气象条件背景下排放源布局影响与区域输送“贡献”等问题的研究，为精准防治大气污染提供科学依据。

记者了解到，生态环境部将继续与中国气象局密切合作，完善中长期（40天）、短期（15天）和邻近（7—10天）预报相结合的业务化预报模式，逐步提升区域和各省级预报中心能力，提升预报的时效性和准确性，为提前采取措施提供有效支撑，尽可能减少污染物累积。

去年入冬以来，京津冀及周边地区已发生10多次大气污染过程。人们期盼，蓝天白云、繁星闪烁的日子更多一些。

贺克斌表示，只要坚持不懈、综合施治，蓝天就会越来越多。例如，根据专家研究，推广燃煤锅炉综合整治，可使“2+26”城市PM2.5浓度下降1%—15%；完善重污染应急措施，可使PM2.5浓度下降4%—21%。

郝吉明说，基于蓝天白云常驻的目标，攻关项目团队提出了“2+26”城市空气质量达标时间和改善路径。各地各部门正在攻坚克难，精准治污。目前，在全社会的共同努力下，老百姓已经看到空气质量明显改善，蓝天白云比过去显著增加。相信再经过10多年努力，“2+26”城市PM2.5年均浓度可逐渐达标。

上图：河北秦皇岛海港区金沙湾湾。

曹建雄摄
本版责编：朱伟 魏春蕾 吴君