

Temporary Method to Control Haze

Ping Zhao^{1,2}, Yueping Zhang^{1,2}

¹College of Chemical and Pharmaceutical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang Hebei

²Hebei Research Center of Pharmaceutical and Chemical Engineering, Shijiazhuang Hebei
Email: zhaoping@hebust.edu.cn

Received: Jul. 7th, 2017; accepted: Jul. 24th, 2017; published: Jul. 27th, 2017

Abstract

Current situation was analyzed for temporary method to control haze that has appeared. The methods include basic means and their combination, such as filtration, adsorption, wet dust, absorption, electrostatic precipitation, negative ion and catalysis, which are applied in indoor, outdoor, street side, city region, atmosphere and other areas. There are mature technology and commercial devices indoors after full research. The controlling equipment volume, cost and difficulty increase along with haze area enlarged. To large area haze, it is still a difficult problem and becomes a focal point to control haze quickly at low cost for long duration with convenient method.

Keywords

Air Pollution Control Project, Haze, Controlling, Temporary Method, Dust Removal

灰霾治理之治标方法

赵平^{1,2}, 张月萍^{1,2}

¹河北科技大学化学与制药工程学院, 河北 石家庄

²河北省药物化工工程技术研究中心, 河北 石家庄

Email: zhaoping@hebust.edu.cn

收稿日期: 2017年7月7日; 录用日期: 2017年7月24日; 发布日期: 2017年7月27日

摘要

分析了治理已形成的灰霾空气所用方法的现状, 治理方法包括过滤、吸附、湿法除尘、水溶液吸收、静电除尘、负离子、催化等基本方法及其组合, 应用于室内、室外、街道、城市区域、大气等范围。室内灰霾治理研究充分, 技术成熟, 已有商品化装置。随着灰霾空气治理范围增大, 治理装置体积增大、费

文章引用: 赵平, 张月萍. 灰霾治理之治标方法[J]. 环境保护前沿, 2017, 7(4): 289-296.

DOI: 10.12677/aep.2017.74041

用增加、难度增加。对大范围灰霾治理, 使用方便、起效快、持续时间长、费用低的治理方法仍然是一个难题, 成为研发重点。

关键词

大气污染防治工程, 灰霾, 治理, 治标方法, 除尘

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

灰霾是大量极细微的干尘粒等均匀地浮游在空中, 使水平能见度小于 10 km 的空气普遍混浊现象[1]。灰霾粒子尺度从 0.001 μm 到 10 μm , 平均在 1~2 μm 左右, 主要成分是空气中存在的有机气溶胶粒子和极细的固体颗粒。作为一种自然现象, 灰霾形成有三方面因素: 水平方向静风现象; 垂直方向逆温现象[2], 使大气层低空的垂直运动受到限制; 大气中悬浮颗粒物增加。在稳定的大气环境中, 没有空气流动, 细微颗粒悬浮在大气中平衡稳定, 不能沉积下来形成灰霾。

相应灰霾出现的原因, 治理方法分为两类[3], 治本方法是控制污染物排放, 治标方法是使用外加手段增加大气自净能力, 消减已出现的灰霾。灰霾天气需要标本兼治, 治本是核心, 但以牺牲经济发展为代价, 治标为治本积累经验和提供缓冲时间, 作为出现严重灰霾天气时的紧急预案实施, 及时、快速治理灰霾空气。

2. 室内灰霾空气治理

室内空间有限、气体量小、治理装置小, 要求处理精度高、时间短、速度快, 费用高的方法可以承受。空气净化器使用两种或多种方法组合, 很少使用一种方法, 结构复杂, 有效清除微粒、细菌、异味、有毒气体[4]。对室内灰霾空气治理研究充分, 技术成熟, 已有商品化装置用于会议室、教室、幼儿园、医院、生产车间、体育馆等人员密集的室内场所。

2.1. 用于室内的方法

过滤是常用的气固分离方法, 使用活性炭纤维滤芯、负氧离子发生器[5], 利用活性炭纤维对微粒、有机气体的附着作用强力除尘, 负离子与灰霾粒子结合凝聚成团沉降地面, 净化室内空气。对于粒径越小的微粒, 负离子的作用越好。空气流过电气石质蜂窝体被电极化而产生负离子[6], 负离子与带正电荷的细微颗粒发生中和作用聚集沉降。结合负离子对气体污染物的化学降解和电气石吸附重金属离子和酸根离子, 净化空气。使用滤网过滤灰霾空气的细微颗粒, 滤网孔径需要小于颗粒尺寸, 属于微米级过滤。对应的滤网价格高, 处理费用高, 还必须有足够的压力才能把空气吹过滤网。在过滤网上加静电及负离子[7][8], 静电使颗粒与滤网作用加强, 能使用较大孔径滤网、实现低风阻过滤。灰霾和臭氧空气净化过滤器设有 PM2.5 颗粒物过滤层、有机污染物净化层、臭氧催化过滤层、抗菌过滤层和负离子发生层[9], 增加对有机污染物的催化转化功能、对细菌的杀灭作用。

细微颗粒在大气中的沉降速度小, 落到地面时间长, 容易受到干扰而被重新扬起到空中。通过加湿、加压、降温, 增加空气相对湿度[10], 使雾霾中水气液化, 小水滴粒径变大, 气溶胶粒子吸收水分粒径变

大、霾粒转化为雾滴, 通过自身沉降从空气中快速除去。在大气中喷洒水雾, 使颗粒湿润, 尺寸变大、颗粒间易于粘结在一起形成大颗粒, 沉降速度变大, 能分离出 $0.1 \mu\text{m}$ 的细微颗粒。经过湿法除尘, 已分离出来的固体颗粒进入液体中, 从根本上消除细微颗粒的二次飞扬。室外的污染空气经过活性炭过滤网和喷溅有重金属纤维过滤网过滤、吸附、杀菌, 再和水充分混合过滤[11], 空气中的雾霾、有害气体和微粒溶解到水里, 处理干净的空气送入室内。建筑物室内新风系统[12]用初效过滤去除大颗粒, 淋水预处理洗涤亲水型的 $\text{PM}_{2.5}$ 及其它杂质, 增加空气湿度, 静电除尘捕集憎水型的 $\text{PM}_{2.5}$ 及其它杂质。静电除尘能捕集 $0.1 \mu\text{m}$ 甚至更小的尘粒, 除尘效果好, 但费用高。在湿法除尘中加入酸、碱, 消除碱性、酸性污染物[13], 空气经酸洗、碱洗、水洗后进入静电除尘器、负离子发生器, 净化室内空气。

2.2. 室内外均可用的方法

由于室内外均可使用, 空气处理量变大、装置变大, 相比室内方法简化, 是简单方法组合。

过滤网连接电极[14], 或过滤器与静电净化器分开[15], 在空气中产生电场, 电离 $\text{PM}_{2.5}$ 灰尘和细菌, 在滤网与电场的共同作用下, 收集处理灰尘和细菌。在风道内安装过滤网、降尘吸附装置、喷雾装置[16], 将过滤、吸附、湿法除尘结合在一起。污染空气经超微气泡发生装置、水雾发生装置进行净化, 截留颗粒物及有毒有害物质, 再经水雾截留装置排放[17], 适用于家庭、单位、学校、公交站、化工厂、施工隧道等场所的雾霾及粉尘治理。利用水溶液对室内外公共区域空气中污染物的吸收、溶解以及化学反应[18], 将污染物从气体中分离。

高分子粘液[19]、固体[20]均可作为吸附介质, 置于气体通道表面, 粘附空气中的细微颗粒。使用光触媒纳米二氧化钛喷涂在室内、室外[21], 与雾霾空气接触时, 可分解雾霾中的有机物, 使其降解成水、二氧化碳等, 剩余无机部分形成易溶于水的硝酸盐、硫酸盐, 从空气中沉积下来。

3. 室外灰霾空气治理

室外空间大、气体体积量大、治理装置体积大、装置设备费用、运行费用增高, 应使用简单、成本低的方法, 需要考虑环保、安全、耐用等问题。

3.1. 车载移动式

车载装置结构紧凑, 适合在道路上使用, 处理方法简单。

1) 过滤。利用车辆行驶时, 空气流通产生的风力为驱动力, 过滤通过车载装置的空气中细微颗粒[22] [23]。

2) 水洗湿法。新型环保除尘风送式喷雾机[24]应用在港口、煤矿、电厂、消防、施工工地、堆场、拆迁现场等场所, 向空气中喷射水雾, 吸收空气中的细颗粒物、降低扬尘。车载式自然风空气净化器[25]有效过滤、喷水洗涤空气中的灰尘, 净化城市道路空气。

3) 液体吸收。将水、食盐、甘油和改性丙烯酸聚合物装入车载式雾化除霾喷雾装置[26], 均匀喷洒于大气中, 起到湿润、粘接、凝结的作用, 捕捉、吸附、团聚大气中的粉尘、微粒、气溶胶等粒子。使用车载设备[27]收集污染气体, 逐级通过清洗液, 经过溶解、吸收、反应、分离等方法处理污染物, 排放干净气体。

4) 固体吸附。在移动式交通工具外表面、进气通道中设置雾霾吸附材料涂层[28] [29], 吸附雾霾颗粒, 涂层表面能清洗再生。

5) 催化。纳米级二氧化钛在紫外光照射下, 发生光触媒效应[30], 产生氧化能力极强的氢氧自由基和活性氧分子, 使有害物质转换成二氧化碳和水, 大量吸附 $\text{PM}_{2.5}$, 达到杀菌、除臭、净化空气、消除粉尘的作用。 $\text{PM}_{2.5}$ 除霾车[31] [32]过滤空气中灰尘、花粉、微生物等悬浮颗粒, 将不易溶于水的氮氧化

物催化分解成无害的氮气和 water 蒸气。净化后的洁净空气将天然抑尘剂水溶液雾化为水幕, 破坏雾霾的气溶胶结构, 捕获空气中的颗粒物, 使悬浮粉尘迅速凝结下落到地面上, 快速降低 PM2.5 和 PM10 数值。除霾车适用于大范围城市区域, 如社区、学校、医院、街道等人口密集的半开放区域。

3.2. 利用城市道路设施

在道路上空喷水对空气净化[33], 路灯顶部设置超高压喷雾头[34]、超声波喷雾装置[35], 提高喷射水雾的高度, 用水吸收悬浮在空气中的烟、灰尘等污染物质。

借助藤蔓植物和其他绿色植物净化被污染的空气[36], 解决汽车尾气和马路雾霾。城市机动车道路上[37]设置水喷淋除尘系统、气体加热系统、水雾发生系统、紫外消毒系统和植物净化系统。

3.3. 城市区域

在城市区域使用的治理方法, 小型化可用于室内, 大型化可用于大气治理。

1) 过滤。折反式空气污染物过滤吸附装置[38], 对污染空气进行过滤吸附净化。

2) 喷水湿法。水雾化后结合和粘附空气中不同粒径的粉尘, 通过水的表面张力作用不断聚集下降[39][40][41][42], 达到降尘和洗涤空气的作用。利用高楼大厦的有效高度, 从数十米、上百米高的楼顶向四面八方喷射水雾[43], 喷嘴自动旋转[44], 使超低空间的悬浮物降落地面。在工业区上空用飞机喷水雾[39], 去除大气中颗粒物和细颗粒物的前体物, 如 SO₂、NO_x、NH₃ 等水溶性气态污染物, 使颗粒物随着水滴沉降到地面, 增加地面湿度防止扬尘。污染空气加压后与高压水混合由涡旋喷射管喷出[45], 产生龙卷风, 消除特定区域雾霾。

循环水高压雾化形成水雾幕帘[46], 雾霾空气穿过时, 颗粒物随水雾降落在沉降室内, 清洁空气排出喷淋室外。喷嘴向上喷淋溶液[47], 液滴上升过程吸收空气雾霾粒子, 然后落入集水装置内。

将雾霾空气引入地下水管道[48], 在吸气管、地下水管道内喷淋洗涤。洗涤污水直接进入下水道, 但把下水道臭气带入空气中中了。

3) 过滤、湿法。用太阳能驱动治理装置[49][50], 使用过滤、湿法除尘。

4) 静电除尘。在城区绿地设置静电除尘装置[51]清除大气中的细微颗粒, 使用城市电网低谷供电, 绿地植被消化静电除尘副排的臭氧, 排放的尘粒营养周边植被。把铜线圈埋置在城市公园草坪等场所的地下[52], 通电后形成弱静电场来吸附空气中的细微颗粒, 实现局部除灰霾。

在空气加入直流电场, 负极释放的电子使固体颗粒带负电向阳极移动, 电极间空气变得干净。静电除尘已用于室内除尘灭菌, 但城市雾霾涉及的面积和高度远大于室内[52], 用静电来吸附悬浮于几十平方公里面积、几百米高度的雾霾颗粒, 必然形成高压静电区域, 对生物体危险。高压静电场工作时, 空气被电离形成臭氧, 对动物体有危害。维持高压静电场, 需要能量支持。从安全性、经济性上看, 大范围静电除霾即使成功, 也不实用。

5) 喷水、水雾荷电。水雾荷上电荷后能更好地与大气中的污染物结合[53][54], 提高水雾除尘效率[39], 对细微颗粒尤为显著, 能有效捕集 0.1~2 μm 的颗粒。

6) 喷水、磁化。磁化水粘度、表面张力降低, 吸附、溶解能力增强, 雾化程度提高。高压喷雾雾滴粒径减小、分布均匀、荷质比增大, 磁化水高压喷雾技术[55]显著提高对粉尘尤其是 PM2.5 的捕集效率。

7) 水溶液吸收。比空气轻的混合气体通过表面活性剂水溶液时[56]产生大量气泡, 气泡上浮到空中, 吸附空气中细微颗粒, 重量增加直至破裂, 细微颗粒团聚成较重颗粒落到地面。此想法中比空气轻的气体不容易获得, 成本高。使用弱碱性盐类或醇类防冻溶液喷淋洗涤空气[57], 洗涤液过滤处理杀菌消毒后循环使用, 另一种水溶液是壳聚糖雾霾沉降剂[58]。

8) 负离子。负离子雨发生器安装在城市楼顶上[59], 产生大量的负离子像雨一样与低空污染物, 尤其是灰霾颗粒凝并, 使其变大而沉降。水经过涡轮喷雾器、负离子发生器[60]喷洒到空气中降尘治霾。

9) 催化。铝制风机盘管翅片进行阳极氧化处理, 形成具有纳米级孔隙的氧化铝层, 表面沉积一层敏化剂桥联聚倍半硅氧烷层[61]。翅片表面吸附雾霾, 在催化剂、可见光、氧气、电磁波的共同作用下, 雾霾降解为水溶液和气体, 分别流向地面和扩散到空中。建筑物特殊外墙[62]在日光照射下, 通过化学反应分解接触墙体表面的有机颗粒。

10) 植物。园林植物[63]可有效吸附阻滞粉尘, 吸收转化有害气体, 降低周围环境温度, 通过蒸腾作用增加湿度, 有利于大气颗粒物的凝结。将地面绿化、建筑物墙体绿化、高架路垂直绿化、高层建筑物顶端绿化[64], 配置水喷雾系统, 种植多层植物拦截 PM_{2.5}。建筑屋顶绿化[65]增加城市绿化面积, 过滤与吸附雾霾中的二氧化硫、氮氧化物及可吸入颗粒。

将直流负高压通连到植物上[66], 植物向空气中大量释放负离子, 提高植物的大气净化能力。此想法应考虑高电压对植物生长的影响。

4. 大气灰霾治理

治理范围超出城市区域, 针对天空大气, 相比室外灰霾治理, 问题更加严重, 在达到除霾效果的前提下必须使用简单方法降低费用。

1) 过滤。雾霾空气经空气净化装置[67]过滤后, 返回原高度气层中。利用太阳能发电或风力发电[68], 驱动空气通过过滤系统去除雾霾颗粒。在雾霾天没有太阳光与大气流动, 治理装置动力来源还需要考虑。

2) 过滤、催化。太阳能驱动风机抽吸空气[69], 结合物理过滤和光催化去除环境大气颗粒物及形成雾霾的关键前体物。

3) 水洗湿法。飞行器在 500 米以上的空中喷淋细水雾或带电细水雾[70], 对空中的固体颗粒进行捕获、使颗粒沉降。用太阳能驱动净化塔的风机和水循环装置[71], 空气从下端进入塔内, 对空气喷水降尘处理, 净化后的空气排出塔外。多台净化塔组合使用, 实现对大范围的大气治理。

吸入式强制流动灰霾治理方法[72], 从灰霾最严重的位置高度吸入空气, 在气室内经过沉积作用除去部分颗粒物, 灰霾空气经过气体喷头成为气泡进入水池与水充分混合, 气泡内细微颗粒进入水中。净化后的洁净湿润空气从地面高度进入大气, 增加灰霾治理效果的直观感受, 对稳定大气造成扰动, 引起局部区域的大气强制流动。湿润空气使大气湿度增大, 细微颗粒湿润聚集形成大颗粒, 在大气中自然沉积到地面。

4) 水溶液吸收。在高度 200~500 m 处喷洒含有伏霾剂与臭氧的溶液[73], 捕集细微颗粒, 分解有害物质。此想法中需要使用环境友好的伏霾剂, 防止臭氧对空气二次污染。

5) 正负离子。利用太阳能人为制造大量空气负离子去综合大气中的正离子[74], 让空气离子平衡而使污染物得到有效沉降。从高塔或高压输电线路向雾霾空气释放正电荷[75], 破坏形成雾霾气溶胶的稳定结构, 使形成雾霾的细微颗粒加速沉降到地面, 便于大范围使用。

6) 大气置换。将海拔 1000 米以上区域的干净大气通过输气管道直接引于地表[76], 置换污染空气, 稀释和吹散地表污染物。此想法装置大、成本高, 停用期间应及时清理管道内沉积的颗粒物。

5. 人工干预天气

1) 喷水。人工干预天气系统[77]以人工高空喷水机组群体构成区域之间联防、联控、联治的长久水循环机制, 在大气环流运动状态下机组群体向空中输送水分, 构成区域之间“水分”相互作用成云致雨的天气系统。只是在有大气环流运动时, 不会形成灰霾天气, 此想法有待考察。

2) 人工降水。人工降雨[78]是给天上的云加入干冰、碘化银、盐粉等催化剂, 提供一个形成雨滴结晶的核, 使云层降水或增加降水量, 将大气中的细微颗粒以及可溶性酸性气体一起清洗下来。人工降雨需要特定天气条件[79], 对湿度、温度有要求, 降雨后短时期有效果。人工降雨一次 400 多万元费用过高, 另外要考虑降雨量控制、对空中飞行器影响、化学药剂污染空气对环境的影响, 只能偶尔为之, 作为主要方法不可行。

人工影响消减雾霾[80]就是减少环境中雾霾颗粒浓度, 抑制雾霾产生源并加强物理化学清除过程。降水后空气变清新, 主要是雨(雪)水加强了空气中雾霾颗粒的湿沉降并抑制地面扬尘进入大气。雨后雾霾消散主要靠伴随在降雨过程中的风, 仅仅靠雨水冲洗, 没有风吹, 人工降雨的消霾效率可能不会太高。人工消减干霾, 针对空气中灰霾遍布却没有雾的天气, 由于大气干燥、水汽少, 目前还没有有效手段, 已经引起公众关注, 提出了一些想法。

3) 刮风。通过强化城市空间管制和绿地布局, 利用城市主导风向及山体河谷等自然条件, 形成有利于大气污染物扩散的城市区域空间格局, 把郊外的清爽空气吹进来, 把主城区的热空气置换出去, 缓解热岛效应、驱散雾霾。北京构建新风道[81], 引清新空气进城区, 但可行性不高, 受已有建筑物的影响城区原有风道已经不存在了, 要建新的风道不太可能。城市风道引导风向运动[82], 在小范围局地雾霾时对城市内部的通风状况起到改善作用, 对大范围区域的雾霾没有效果。虽然城市风道为新鲜空气进入城区提供了通道, 但是在静稳无风的气象条件下如何推动空气的流动没有解决。

治理灰霾和污染[3], 获得蓝天白云, 还要依靠风雨作用来实现。但人工打破逆温层法和人造大风吹走雾霾法耗费巨大[80], 不适合大规模应用和实践。大范围消除空气中的细微颗粒, 人工仍然无法实现。大风把灰霾从一个地区转移到另一个地区, 没有把细微颗粒从大气中分离出来。华北地区的灰霾颗粒被西风吹到东海、太平洋的现象已经有过报道。

6. 结语

灰霾治理治本是核心, 实现根治灰霾之前的这一时期需要标本兼治。有多种治标方法适合去除灰霾空气中的细微颗粒, 包括过滤、吸附、湿法除尘、水溶液吸收、静电除尘、负离子、催化等基本方法及其组合。随着治理范围增大, 由室内、车载式、街道、小区、城区到区域大气, 装置体积增大、费用增加、难度增加。室内空间小, 要求治理精度高、速度快, 可以使用费用高的方法, 技术成熟。室外空间大, 应使用简单、成本低的方法。对大范围的灰霾治理, 使用方便、起效快、持续时间长、费用低的实用治理方法仍然是一个难题, 受到公众重视, 近年专利申请数量多于室内[83] [84], 成为研发重点。

参考文献 (References)

- [1] QX/T 113-2010, 霾的观测和预报等级[S].
- [2] “环境科学大辞典”编辑委员会. 环境科学大辞典[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 467.
- [3] 张田勘. 治理雾霾献策和行动胜过嘲讽[EB/OL]. http://opinion.china.com.cn/opinion_59_89959.html, 2014-01-03.
- [4] 刘慧娟. 室内空气污染治理方法分析[J]. 科技致富向导, 2012(3): 252.
- [5] 曾罗麟. 强力除尘除灰霾净化通风器[P]. 中国, 201220362780.0. 2013-01-23.
- [6] 曹南萍. 用电气石质蜂窝体治理雾霾和室内空气污染的方法[P]. 中国, 201410083978.9. 2014-06-04.
- [7] 谢锡满. 隔音防灰霾自然通风器[P]. 中国, 201020615422.7. 2011-08-17.
- [8] 谢锡满. 隔音防灰霾动力通风器[P]. 中国, 201120226875.5. 2012-03-21.
- [9] 王宝柱, 范洪波, 张腾云, 等. 灰霾和臭氧空气净化过滤器[P]. 中国, 200820047557.0. 2009-03-18.
- [10] 孙天宇, 任建兴, 王庆阳, 等. 雾霾天气治理的理论分析[J]. 能源与节能, 2014(1): 1-3.
- [11] 胡明建. 一种室内空气综合治理的设计方法[P]. 中国, 201410110135.3. 2016-05-04.

- [12] 陶陪, 郑德伟. 室内高效节能空气净化综合处理技术探析[J]. 浙江工商职业技术学院学报, 2015, 14(3): 88-91.
- [13] 王志和. 一种可以治理雾霾的室内空气净化系统[P]. 中国, 201410178202.5. 2014-08-13.
- [14] 谢佳丽, 苏西安. 雾霾过滤网[P]. 中国, 201310686149.5. 2015-06-17.
- [15] 张涛. 一种雾霾灰霾治理设备[P]. 中国, 201410157112.8. 2015-11-04.
- [16] 史娅婷, 史广喜. 一种风道式雾霾治理装置及治理方法[P]. 中国, 201610022404.X. 2016-06-08.
- [17] 李青云, 赵良元, 林莉, 等. 一种适用于雾霾及粉尘环境的水基空气净化装置[P]. 中国, 201410634455.9. 2016-03-09.
- [18] 常涛涛. 一种气体中污染物清洗净化装置[P]. 中国, 201410081285.6. 2015-09-09.
- [19] 顾怀宇. 用于清除 PM2.5 的气体净化装置[P]. 中国, 201310095531.9. 2015-11-18.
- [20] 刘一凡, 刘振民. 一种仿生空气净化方法及其专用仿生肺装置[P]. 中国, 201410028512.9. 2014-06-18.
- [21] 雾霾天气危害巨大, 如何能快速消除[N/OL]. <http://www.bmlink.com/gzjr88/news/434034.html>, 2014-04-01.
- [22] 张晓晗, 吴引江, 段庆文. 一种车载式大气净化及细颗粒回收装置及其净化回收方法[P]. 中国, 201410359562.5. 2015-11-18.
- [23] 张立新, 李博. 汽车车顶空气净化装置[P]. 中国, 201410391413.7. 2015-04-29.
- [24] 重庆街头新型降温喷水车外形酷似“大炮”[N/OL]. <http://www.chinanews.com/tp/hd2011/2014-07-30/383823.shtml>, 2014-07-30.
- [25] 李传勤. 车载式自然风空气净化器[P]. 中国, 201420809152.1. 2015-08-26.
- [26] 周丽花, 盛艳花. 一种抑制大气中雾霾的方法[P]. 中国, 201610076018.9. 2016-06-08.
- [27] 陈富贵, 王云芳, 陈谱朵, 等. PM2.5 治理方法[P]. 中国, 201410012688.5. 2015-07-15.
- [28] 唐修国, 郭承志, 夏益民. 减少雾霾的方法及移动式交通工具[P]. 中国, 201410634627.2. 2015-02-25.
- [29] 唐修国, 郭承志, 夏益民. 移动式交通工具[P]. 中国, 201420672789.0. 2015-03-18.
- [30] 孙学政. 光触媒治霾板、应用及设置有光触媒治霾板的汽车[P]. 中国, 201610201343.3. 2016-06-15.
- [31] 百度百科. PM2.5 除霾车[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/12517115.htm>, 2016-01-19.
- [32] 治霾神器 PM2.5 除霾车惊艳 2014 北京节能环保展[N/OL]. http://news.china.com.cn/shehui/2014-06/09/content_32614636.htm, 2014-06-09.
- [33] 焦彦青. 露天雾霾净化器[P]. 中国, 201410115735.9. 2014-06-18.
- [34] 余众, 齐俊钢, 袁卓亚, 等. 一种用于治理雾霾的城市加湿器[P]. 中国, 201520548587.X. 2016-01-20.
- [35] 徐爱华, 章帅, 林玲, 等. 一种便捷式治霾装置[P]. 中国, 201420720556.3. 2015-04-01.
- [36] 张宝宝. 公路上空生态发电空气净化器的立体装置[P]. 中国, 201410287079.0. 2016-06-22.
- [37] 潘虎. 一种雾霾空气净化器及其应用[P]. 中国, 201510922148.5. 2016-03-09.
- [38] 王全龄. 一种折返式空气污染标本兼治装置[P]. 中国, 201410335077.4. 2016-08-24.
- [39] 刘齐. 工业区上空飞机喷雾去除颗粒物的探讨[J]. 工业安全与环保, 2012, 38(10): 4-6.
- [40] 周明忠. 喷水治理雾霾机械装置[P]. 中国, 201310473283.7. 2015-04-15.
- [41] 杨红雄. 一种新型城市雾霾治理协同系统[P]. 中国, 201510403894.3. 2015-12-09.
- [42] 何卓强. 一种小区雾霾治理简易装置[P]. 中国, 201520888379.4. 2016-03-23.
- [43] 刘星良, 吴玉山, 刘影棠, 等. 一种缓解灰霾的应急方法[P]. 中国, 201310139560.0. 2013-07-24.
- [44] 陈军, 杜培军, 谭琨, 等. 一种高层建筑周边雾霾治理装置[P]. 中国, 201420369990.1. 2014-11-05.
- [45] 欧阳国华, 欧阳林曦. 大规模雾霾消除装置及方法[P]. 中国, 201310571538.3. 2014-02-19.
- [46] 聂宇霏, 乜忠利, 李广智. 水雾喷淋除霾方法[P]. 中国, 201510116116.6. 2015-07-01.
- [47] 崔海蛟, 黄国和, 成剑林. 一种向上喷淋式除霾水汽收集器设计方法及其装置[P]. 中国, 201510476118.6. 2015-11-04.
- [48] 马刚. 雾霾治理装置及系统[P]. 中国, 201420236358.X. 2014-10-01.
- [49] 段玉丹, 郭妍妍, 王权势. 一种大气雾霾治理装置[P]. 中国, 201521067179.9. 2016-05-11.

- [50] 乔婉贞, 称丹佛, 乔晨露. 一种雾霾治理装置[P]. 中国, 201521067195.8. 2016-05-04.
- [51] 耿婧. 基于智能电网的中心城市大气细颗粒物污染治理方法及系统[P]. 中国, 201310372967.8. 2016-05-04.
- [52] 静电除霾能否重现蓝天[J]. 发明与创造(大科技), 2014(1): 51.
- [53] 俞绍才, 王斯, 金海洋. 用于治理公共开放空间大气污染及雾霾的装置[P]. 中国, 201510205817.7. 2015-08-05.
- [54] 不公告发明人. 一种有效消除城市扬尘和雾霾污染的荷电雾炮[P]. 中国, 201410259489.4. 2016-08-24.
- [55] 何淼, 刘胜强, 曾毅夫, 等. 磁化水高压喷雾除尘技术治理城市 $PM_{2.5}$ [J]. 中国环保产业, 2015(11): 24-27.
- [56] 朱小平, 冯浩, 吴元发, 等. 一种快速净化城市雾霾的方法及实施装置[P]. 中国, 201410107644.0. 2015-06-24.
- [57] 王全龄. 一种全水洗式大气污染标本兼治系统[P]. 中国, 201510065120.4. 2015-05-06.
- [58] 杨琥, 李海江, 蔡涛, 等. 壳聚糖雾霾沉降剂的制备方法及其应用[P]. 中国, 201410185349.7. 2016-02-03.
- [59] 尹协谦. 负离子雨发生器[P]. 中国, 201210089412.8. 2012-08-01.
- [60] 吴立, 华元钦, 郑宏, 等. 一种智能监控降尘治霾装置[P]. 中国, 201510159594.5. 2016-02-24.
- [61] 王世亮. 一种治理雾霾的方法及其专用应用系统[P]. 中国, 201410232546.X. 2015-12-23.
- [62] 走出“霾”伏各国国有招[OL]. <http://www.shcb.net/html/licaizk/xlj/html/20131219/20131219012416.htm>, 2013-12-19.
- [63] 祁舒展, 魏家星, 姜卫兵. 园林植物消霾机理及其应用研究进展[J]. 湖南农业科学, 2016(1): 104-107.
- [64] 刘红娟. 一种北京 $PM_{2.5}$ 的治理方法[P]. 中国, 201510174357.6. 2015-11-25.
- [65] 王继开, 王新军. 雾霾条件下城市屋顶绿化设计新探讨[J]. 品牌, 2015(11): 249-250.
- [66] 方维. 一种治理雾霾的方法和装置[P]. 中国, 201510097691.6. 2015-06-10.
- [67] 辛国兴. 一种大气雾霾污染监测治理装置[P]. 中国, 201521046554.1. 2016-05-04.
- [68] 杨丙振. 一种大范围治理雾霾的空气净化器[P]. 中国: 201410428631.3. 2016-04-06.
- [69] 曹军骥, 裴有康, 陶文铨. 一种利用太阳能主动清除空气污染物的清洁系统[P]. 中国, 201420643599.6. 2015-03-25.
- [70] 郭山, 岑岩. 广域大气水雾混合吸附净化方法及装置[P]. 中国, 201410066351.2. 2015-09-02.
- [71] 张育仁, 帕提曼热扎克, 张研. 一种太阳能雾霾净化塔[P]. 中国, 201511033090.5. 2016-03-23.
- [72] 赵平, 张月萍. 吸入式强制流动灰霾治理的方法和装置[P]. 中国, 201410445687.X. 2016-08-24.
- [73] 刘红娟. 一种北京郊区 $PM_{2.5}$ 的治理方法[P]. 中国, 201510174343.4. 2015-11-25.
- [74] 齐精超. 大气雾霾治理机[P]. 中国, 201410742485.1. 2015-03-25.
- [75] 吉少波. 一种除霾技术[P]. 中国, 201510900176.7. 2016-05-04.
- [76] 黄建阳, 张雨哲. 治理空气雾霾的送气方法及其送气系统[P]. 中国, 201410143593.7. 2014-06-25.
- [77] 认知规律. 人工干预天气系统, 治理雾霾可行性及有效性[EB/OL]. <http://bbs1.people.com.cn/post/2/1/2/136835010.html>, 2014-01-22.
- [78] “环境科学大辞典”编委会. 环境科学大辞典[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1991: 526.
- [79] 人工降雨除霾不靠谱[J]. 科学大观园, 2014(15): 5-6.
- [80] 孔君, 苏正军. 关于人工影响消减雾霾的思考[J]. 科技导报, 2015, 33(6): 86-90.
- [81] 邓琦. 社科院建议建“新风道”治霾[N]. 新京报, 2014-07-21.
- [82] 沈立. 治霾靠风是场梦[J]. 环境, 2014(10): 68-69.
- [83] 曾孟祥, 桑丽娜, 朱晶亮. 全球雾霾专利申请分布状况研究[J]. 厦门理工学院学报, 2015, 23(6): 56-61, 98.
- [84] 冯飞. 治理雾霾亟需专利亮剑[J]. 发明与创新(大科技), 2014(3): 40-41.

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：aep@hanspub.org