

A Method to Control Haze in Local Area

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: Aug. 2nd, 2017; accepted: Aug. 17th, 2017; published: Aug. 28th, 2017

Abstract

Inhaled air forced flow to control haze was proposed according to haze phenomenon without air flow in low altitude atmosphere and fine particle descending difficultly. Haze in local area was controlled through inhaling haze air, natural sedimentation, wet dust removal, gathering particles sedimentation and air forced flow. The method theory, practical device, running process, processing capacity, expense and feature were discussed.

Keywords

Haze, Controlling, Sedimentation, Wet Dust Removal, Forced Flow

一种局部区域灰霾治理方法

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8月2日; 录用日期: 2017年8月17日; 发布日期: 2017年8月28日

摘要

针对灰霾天气低空大气没有空气流动与细微颗粒难以自然沉降的现象, 提出吸入式强制流动灰霾治理方法, 经过高空抽气、自然沉降、湿法除尘、颗粒聚集沉积、空气强制流动, 治理局部区域已出现的灰霾大气。讨论了方法原理、实用装置、装置运行过程, 以及处理能力、费用、特点等。

关键词

灰霾, 治理, 沉降, 湿法除尘, 强制流动

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[1], 使空气普遍浑浊的现象, 颗粒大小从 $0.001\mu\text{m}$ 到 $10\mu\text{m}$, 平均在 $1\sim 2\mu\text{m}$ 左右。出现灰霾的根本原因是污染物排放, 其次是大气自净能力衰减。由于大气层低空水平方向与垂直方向没有空气流动, 低空和近地面细微颗粒稳定地悬浮在静稳大气中, 不能自然沉积到地面而形成灰霾。目前灰霾天气治理措施主要是减少污染源、限制污染物排放, 但治理灰霾的同时影响经济发展。在采取限制排放措施而颗粒物浓度还不达标的情况下, 应采取人工方法降低颗粒物浓度、消减已出现的灰霾、增加大气自净能力。人工方法包括空气过滤[2] [3]、高空喷水[4] [5]、水洗湿法[6] [7]、水溶液吸收[8]、催化[9]、正负离子[10] [11], 大气置换[12], 城市风道[13], 人工干预天气[14], 人工降雨[15]等。随着灰霾治理范围增大, 人工方法治理难度、治理费用随着增大, 对于大范围的灰霾治理, 实用、方便、简单、费用低的方法还未见报道。根据已有的科技水平, 治理机场、大型企业、工业园区、城市区域等局部区域灰霾, 需要多种方法综合作用, 其中湿法除尘使用水做介质成本低、来源方便、不会在空气中增加新的污染物, 对空气中细微颗粒除尘效果好, 成为灰霾治理使用最多的方法。已有的湿法除尘方法均为把水提升一定高度后喷入空气中, 吸入式强制流动灰霾治理方法[16]使灰霾空气流动起来, 能耗远低于使水运动起来的能量, 降低操作费用。使静稳大气产生开放式的强制循环流动, 不断吸入灰霾空气、排出洁净空气, 增加大气中水汽含量。这些措施破坏灰霾存在的大气条件, 去除空气中细微固体颗粒, 使治理装置周围出现自然的湿法除尘作用, 适用于局部区域灰霾治理。

2. 局部区域灰霾治理方法

2.1. 限制因素

大气中颗粒重力沉降速度与颗粒尺寸平方成正比, 灰霾中细微颗粒尺寸小、沉降速度小, 悬浮在静稳大气中久久不散。降落地面的细微颗粒容易受到外界干扰产生二次飞扬, 重新进入大气中。

灰霾天气治理范围大、气体体积量大、治理装置大, 装置设备费用、运行费用高, 在达到除霾效果的前提下必须使用简单方法降低费用。

灰霾天气没有太阳光与大气流动, 灰霾治理装置不能使用太阳能、风能驱动, 需要用其它能源驱动。

2.2. 吸入式强制流动灰霾治理方法

针对灰霾天气低空大气没有空气流动、细微颗粒难以自然沉降与容易产生二次飞扬的现象, 提出开放式强制流动循环、使空气流动起来的湿法除尘方法。经过高空抽气、自然沉降、湿法除尘、颗粒聚集沉积、空气强制流动, 使局部区域大气质量好转。

从灰霾最严重的高度吸入污染空气, 先经过自然沉降作用除去部分颗粒物。空气流动限制于层流状态, 保证颗粒自然沉降效果。然后通过水层将灰霾空气中悬浮的细微颗粒捕集下来成为干净空气, 颗粒

吸收到水中不再产生二次飞扬。被水汽饱和的干净空气溢出水面, 与周围灰霾空气混合, 增加空气湿度, 破坏稳定的气溶胶体系, 细微颗粒聚集成大颗粒, 自然沉降到地面。不断离开水面的干净空气强制大气产生水平与垂直方向流动, 破坏静稳大气状态, 产生局部区域空气强制流动, 增大装置治理范围。处理后的干净空气进入地表空气层中, 增加直观感受, 提高处理效果。为便于干净空气向四周流动扩散, 装置周围避免高大建筑物。

2.3. 治理方法原理

2.3.1. 自然沉降

有多种方法把固体颗粒从大气中分离下来, 最方便、不需要外加能量的方法是依靠固体颗粒在大气中的自然沉降。由于细微固体颗粒尺寸在微米级或更小, 在大气中的自然沉降速度太小属于斯托克斯定律区或爬流区, 需要相当长的时间才能落到地面上, 形成了稳定的气溶胶体系。而大气的任何风吹草动都会使细微固体颗粒的自然沉降受到干扰, 沉降速度变得更小或不再向地面沉降。气固分离中颗粒尺寸是关键参数, 1~2 μm 是分离难易的分界线[17], 小于分界线的细微固体颗粒难以从气体中分离。自然沉降分离灰霾大气细微颗粒的另一个困难是已分离出来的颗粒会被气流重新卷起进入大气, 颗粒越细, 这个问题越严重。

2.3.2. 细微颗粒聚集

解决灰霾大气细微固体颗粒分离的常用方法是先增大颗粒尺寸, 然后自然沉降分离。通过加湿、降温、加压等措施, 增加大气相对湿度[18], 打破原有的稳定平衡状态, 使大气中水气液化, 气溶胶粒子吸收水分尺寸变大, 灰霾颗粒转化为雾滴, 同时湿润的固体颗粒相互碰撞, 通过水的表面张力作用易于粘结在一起而聚结长大。秋冬季节华北的灰霾要比华南的灰霾严重得多, 原因之一华北地区空气干燥, 华南地区空气湿润。

2.3.3. 湿法除尘

在空气中喷洒水雾、空气吹过水幕或空气流过水层, 使含尘气体与水接触、混合, 均能实现湿法除尘, 固体颗粒溶于水中而与气体分离, 或颗粒湿润、吸水变大, 自然沉降速度变大。采用湿法除尘, 固体颗粒进入液体中, 从根本上消除已分离出来的固体颗粒重新进入气体的问题。湿法除尘不仅可以去除大气中的固体颗粒, 还可去除细颗粒物(PM2.5)的前体物(如 SO_2 、 NO_x 、 NH_3 等)。水滴沉降到地面后, 增加地面湿度, 防止地面因作业、施工和交通引起的扬尘。

灰霾大气与水接触, 将细微固体颗粒由空气转入水中, 要求气液两相充分接触、接触时间长、路径长。气体为连续相、液体为分散相的接触方式中, 虽然液滴在气体中运行时间长、路径长, 液体浓度变化大, 但气体与液滴接触时间短、浓度变化小。气体为分散相、液体为连续相的接触方式中气泡在液体中运行时间长、路径长, 气体浓度变化大。

在相同的接触高度上, 使气体流动起来需要的能量远小于使液体流动起来需要的能量。

3. 吸入式强制流动灰霾治理装置

3.1. 装置组成

实现吸入式强制流动灰霾治理方法的装置见图 1, 除图中所注外, 还包括管路、阀门、显示仪表、灰霾检测器等。厂区内包括贮水池、淤泥堆积区, 控制室和备件存放在办公室, 见图 2。

3.2. 装置运行过程

通过气室内自然沉降、水池内湿法除尘、大气中灰霾颗粒凝聚与自然沉降、大气强制循环流动, 实

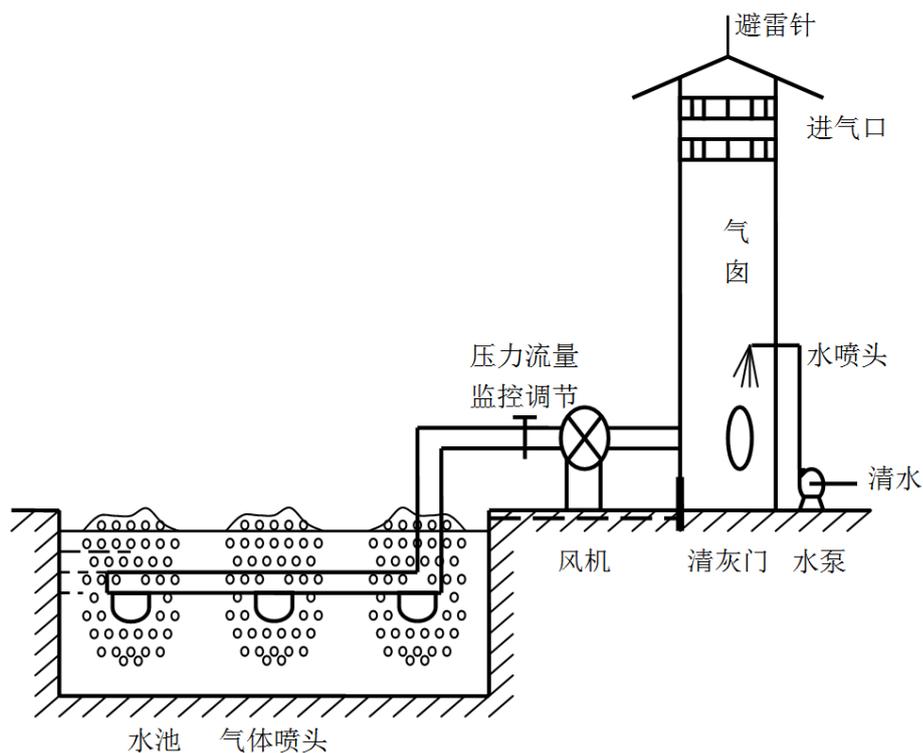


Figure 1. The device to control haze with inhaled air forced flow
 图 1. 吸入式强制流动灰霾治理装置

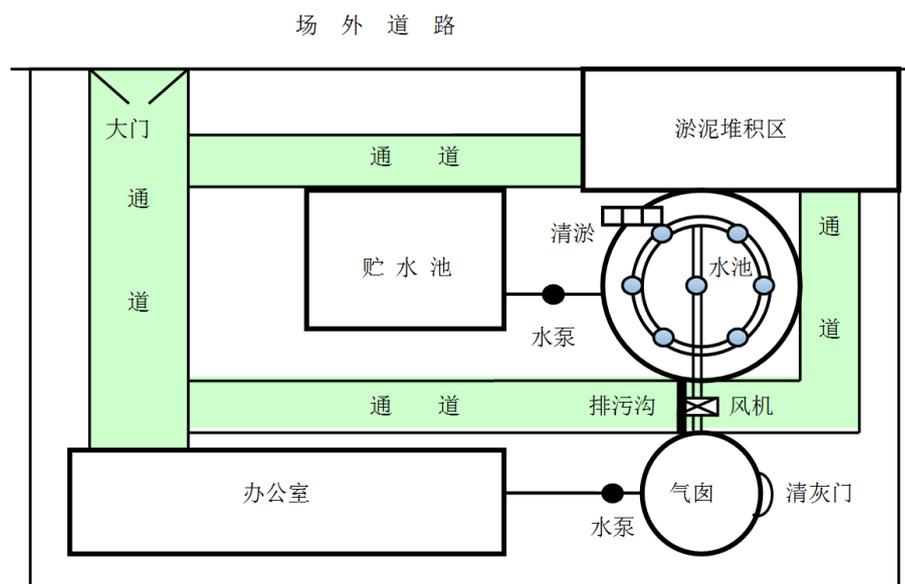


Figure 2. Plane layout
 图 2. 平面布置图

现对局部区域灰霾治理。

1) 装置从灰霾最严重的高度将空气吸入气窗, 预计在 200 米左右[19]。在气窗上部设置多层吸气口, 以适应灰霾层高度变化。灰霾空气在气窗内向下流动, 较大颗粒由于惯性作用落到气窗底部, 灰尘积累

到一定量后从底部清理出去。气囱下部设置清灰门和水喷头, 水喷头位置高度 2 米。清理灰尘时先向气囱底部喷水, 使灰尘变成泥膏状淤泥, 防止向气囱外飞扬。清理出的淤泥放到淤泥堆积区。清理气囱底部形成的污水通过排污沟引入水池, 气囱底部有插入式排污阀门, 控制污水流动, 防止堵塞。清灰门、排污阀门常闭, 保证装置运行时不漏气。

2) 靠近气囱底部位置连接空气管路, 管路上安装引风机。管路进口高于气囱底部的灰尘, 防止把已沉积到气囱底部的灰尘吸入空气管路。引风机进口产生的负压使气囱内保持负压状态, 将灰霾空气从吸气口吸入气囱。引风机后的管路上装有空气压力、流量的监控、调节装置, 监控信号引到控制室显示、记录、自动调节管路阀门开度, 维持空气管路压力、流量恒定。

3) 压力、流量恒定的灰霾空气通过管路引入水池中的气体喷头, 气体喷头在水池水面下方 2 米左右位置, 由环形缓冲室与喷头组成。空心的缓冲室容积大, 含尘气体进入后流速降低, 动能变为静压能。设置缓冲室防止进入各喷头的气体流量不均匀, 影响气泡的均匀性。喷头气体出口向下, 水中的固体颗粒不容易进入喷头, 喷头中的固体颗粒容易被气流冲刷出来。

4) 空气从气体喷头喷出进入水层中, 并断裂为小气泡在水中上浮。气体的出口方向向下, 增加气泡在水层中的停留时间。小气泡在水层内与水充分混合, 时间足够长、接触面积足够大, 大部分的颗粒被捕集到水中形成淤泥。空气被水洗涤后从水中逸出, 固体颗粒含量大大降低, 成为湿润的清洁空气。

5) 小气泡在水层中与水充分接触, 气泡中水汽饱和, 增大了对水汽的携带能力。小气泡从水中逸出时夹带着水沫进入水池上方空气中, 破裂后表面水膜分裂为细小水珠形成水雾。进入空气中的大量水雾自然扩散使空气湿润, 对大气中灰霾颗粒起湿润、溶胀、粘结作用, 细微颗粒聚集成大颗粒自然沉降到地面上。

6) 逸出水池的洁净空气进入地面上方大气中, 挤压周围空气, 强制大气产生水平与垂直方向的流动, 对静稳的大气产生扰动, 破坏有利于灰霾存在的平衡稳定大气条件。

7) 从宏观看, 装置周围局部区域的大气在气囱进口与水池表面之间形成强制流动循环, 随着洁净空气在大气中流动扩散, 灰霾得以稀释, 使局部区域大气质量好转。

8) 水池中淤泥达到一定厚度, 需要清理淤泥。清淤时先停止装置运行, 水池中颗粒沉积到底面, 上层为清水。清水通过水泵倒入贮水池, 剩下淤泥层。从水池中清理出来的淤泥与气囱中清理出来的淤泥一起集中到淤泥堆积区存放, 清淤结束后将贮水池清水倒回水池继续使用。淤泥堆积区上方覆盖苫布, 定期喷水, 防止风吹扬尘, 对大气形成二次污染。

9) 灰霾天气结束后, 吹干净空气以清理装置内固体颗粒。

10) 装置间歇运行, 灰霾天工作。连续工作后及时检查水池与气囱, 对气囱清灰、系统吹灰、水池清淤。

3.3. 其它考虑

3.3.1. 除尘效率

灰霾治理装置除尘效率由水层厚度与气泡尺寸控制, 装置正常运行过程中需要保证气体喷头浸入水中的深度。

3.3.2. 空气处理量

装置空气处理量增大, 气囱中气速升高, 对固体颗粒夹带能力增大, 造成气囱中固体颗粒沉积量减少。水池中气体喷头出来的气泡直径增大, 细微固体颗粒到达气泡表面距离增加、时间延长, 气泡内水汽达到饱和时间延长。水池中气泡数量增加, 小气泡容易聚并成大气泡, 除尘效率下降。甚至水中含气量增大, 平均密度降低, 水面溢出水池顶部, 出现气泛现象。

装置空气处理量按空池气速计算, 空池气速最大值为气泛速度, 操作气速控制到 75%~85% 气泛速度。

3.3.3. 费用

设备投资包括气囱、管道、风机、阀门、显示仪表、风量调节装置、气体喷头、水喷头、水泵、灰霾检测器等。运行费用包括水、电消耗、人工, 其中空气强制流动能耗远低于水流动能耗。其它费用包括土地、基建、办公室、水池、贮水池等。

由于治理装置简单、设备投资小、运行费用低, 有效降低了灰霾治理费用。

3.3.4. 附属设备

为简化装置、减少附属设备, 采取了如下措施。

治理系统中只引入了空气和水, 没有使用特殊试剂, 除去了试剂的制备、回收处理过程。除风机、水泵外无其它运转设备。使用电能驱动空气流动, 减少附属设备。

3.3.5. 冬天使用

在水池中设置可移动的电加热器, 保证冬天低温环境下装置正常运行。

3.3.6. 大气中酸性气体

大气中存在硫氧化物等酸性气体时, 随时检测水池中水的 pH 值, 用石灰水调节, 使水保持中性下使用。酸性气体与水中钙离子形成钙盐沉淀, 进入淤泥中。

3.3.7. 三废排放

灰霾治理过程中使用水作为介质, 配以石灰水调节 pH 值, 没有使用其它化学药品, 不会产生废气、废液排放。灰霾中细微固体颗粒形成的淤泥, 是制砖原料, 不用粉碎, 直接使用。淤泥还可以堆肥处理, 作为农作物肥料使用, 或填埋后表面覆盖植被。

3.4. 治理方法特点

灰霾大气治理无直接经济效益, 有显著社会效益和环境效益。治理过程中使用水、电, 甚至待拆除的烟囱代替新建气囱, 装置简单、工作人员少, 容易推广应用。

治理方法缺点是空气湿度增大后, 细微固体颗粒长大, 与水雾结合在一起, 沉降到地面之前影响能见度。为保证洁净空气的流动扩散效果, 增大装置治理范围, 装置周边 15 亩范围避免高大建筑物。

4. 展望

此方法不能解决大范围(如整个石家庄地区)灰霾大气的治理问题, 有望解决局部区域(如石家庄市), 特别是人口密集的城区或特殊区域(如机场、大型企业、工业园区)等已形成灰霾的治理。

灰霾治理是一项长期、艰巨的战斗, 国外三十多年解决的问题, 中国有望十几年解决。在近十年内需要对灰霾标本兼治, 本方法适用于这一特殊时期, 作为出现严重灰霾天气时的紧急预案实施, 消减大气中污染物浓度, 及时、快速治理局部区域灰霾大气。

参考文献 (References)

- [1] QX/T 113-2010. 霾的观测和预报等级[M]. 北京: 气象出版社, 2010.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.

- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 齐精超. 大气雾霾治理机[P]. 中国, 201410742485.1. 2015-03-25.
- [11] 吉少波. 一种除霾技术[P]. 中国, 201510900176.7. 2016-05-04.
- [12] 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.
- [13] 邓琦. 社科院建议建“新风道”治霾[N]. 新京报, 2014-07-21.
- [14] 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.
- [15] “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.
- [16] 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.
- [17] 陈敏恒, 丛德滋, 方图南, 等. 化工原理(上册, 第四版) [M]. 北京: 化学工业出版社, 2015: 111-154.
- [18] 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.
- [19] 杨龙, 贺克斌, 张强, 等. 北京秋冬季近地层 PM_{2.5} 质量浓度垂直分布特征[J]. 环境科学研究, 2005, 18(2): 23-28.

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