

Separation Method for Dust Gas

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: Oct. 18th, 2016; accepted: Nov. 6th, 2016; published: Nov. 9th, 2016

Copyright © 2016 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

Abstract

Gas Solid separation is an important part of heterogeneous mixture separation. New Gas Solid separation methods and equipments appear with the social development and technology progress, as their foundation is still filtration, membrane separation, settlement, electrostatic precipitation, adsorption, wet precipitation etc. in unit operation. Different requirement is proposed to separation method under different condition. Separation difficulty and cost increase with processed gas range increases and dust diameter decreases.

Keywords

Gas Solid Separation, Unit Operation, Controlling Haze

含尘气体分离方法

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: 2016年10月18日; 录用日期: 2016年11月6日; 发布日期: 2016年11月9日

文章引用: 赵平, 张月萍. 含尘气体分离方法[J]. 化学工程与技术, 2016, 6(6): 124-128.

<http://dx.doi.org/10.12677/hjct.2016.66016>

摘要

气固分离是非均相物系分离中的重要部分。随着社会发展与科技进步, 出现了许多新的气固分离方法与设备, 但是其依据的依然是化工原理中的过滤、膜分离、沉降、电除尘、吸附、湿法除尘等单元操作。不同环境下对分离方法有不同要求, 随着处理气体范围增大、颗粒粒径减小, 含尘气体分离难度、费用随着增大。

关键词

气固分离, 单元操作, 灰霾治理

1. 引言

尘指细微固体颗粒, 粒度在微米级及其以下。含尘气体分离要求把气体中的尘粒去除, 得到洁净的气体。含尘气体简单分为工业生产过程气体、室内空气与室外大气, 根据不同的气体对象、固体颗粒与气体之间性能差异, 使用袋滤、深床过滤、微滤膜分离、重力沉降、惯性分离、离心沉降、电除尘、吸附、湿法除尘、气体置换等方法除去气体中的固体颗粒[1] [2] [3]。对气固分离在近年的化工原理教材中介绍了适合大颗粒分离的降尘室与旋风分离器, 简单提及适合尘粒分离的内容, 如电除尘器、袋滤器等。

气固分离中颗粒直径是关键参数, $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 是分离难易的分界线, 直径小于分界线的尘粒难以从气体中分离[2]。大量极细微的干尘粒均匀地浮游在空气中形成灰霾, 灰霾天气是近年来严重的气象灾害, 也是公众与学术界关注的社会热点问题之一[4]。灰霾的核心物质是空气中悬浮的尘粒, 其中含有数百种大气化学颗粒物。灰霾粒子的尺度比较小, 从 $0.001\ \mu\text{m}$ 到 $10\ \mu\text{m}$, 平均直径大约在 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 左右, 肉眼无法分辨, 悬浮在空气中形成浑浊现象[5]。消减灰霾的具体治标措施有人工降雨、人工气流、高空喷水、水雾大炮、空气过滤、静电吸附、墙体吸附、光触媒等方法, 使用外加手段增加大气自净能力。

2. 分离方法

2.1. 过滤

工业生产过程气体过滤常用袋滤器, 袋滤器使用致密的滤布把气体中的固体颗粒截留住, 透过的气体变得干净[1] [3]。袋滤器的滤布截留颗粒形成架桥作用后对后续的气体起过滤作用, 截留颗粒粒径能达到 $1\ \mu\text{m}$ 或更小, 但滤速明显降低, 处理大量气体需要大设备, 气体含湿量大时容易堵塞滤布。燃煤锅炉烟气是典型的生产过程排放的废气, 含有大量的烟尘颗粒, 是引起灰霾天气的重要原因, 普遍使用袋滤器处理。滤袋即要求对烟尘高效截留, 又要求高的烟气通透率[6]。

深床过滤使用较厚的过滤介质处理含固量较低的气体, 尘粒吸附在过滤介质孔道表面上[7], 如天然纤维层、合成纤维层、活性炭滤芯等过滤介质, 比表面积大、流动阻力小、容污能力强。

微滤膜足够致密, 比滤布或过滤介质层的孔径小得多, 能截留微米级的尘粒, 已广泛用在生产过程中的空气过滤除尘除菌等场合[8]。由于膜的价格比滤布高得多, 膜分离费用较高, 微滤膜分离也可以用于室内空气净化, 不适于大气灰霾治理。

2.2. 沉降

降尘室利用重力沉降原理工作, 气固混合物流过时, 固体颗粒沉降下来, 气体变得干净[2] [3]。气体

中固体颗粒较大时, 使用降尘室处理方便、快捷、经济、实用, 工业生产中常用, 对室内空气与室外大气同样适用。惯性分离利用气流路径发生突然转折, 固体颗粒惯性大于气体, 撞击在障碍物上被扑集下来, 适合去除 $10\ \mu\text{m}$ 以上颗粒。对气体中尘粒的分离, 降尘室与惯性分离器不适用, 需要使用离心力代替重力或增大固体颗粒尺寸进行气固分离[2]。旋风分离器能分离气体中 $5\sim 10\ \mu\text{m}$ 以上的颗粒, 甚至 $2\ \mu\text{m}$ 的颗粒, 常见于工业生产中, 未见用于空气中固体颗粒分离。

由于尘粒在空气中的重力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。而空气的任何风吹草动都会使尘粒的自由沉降受到干扰, 沉降速度会变得更小或不再向地面沉降而被重新扬起到空中, 城市中的人来车往使得灰霾久久不能散去。解决方法是先增大固体颗粒尺寸, 然后利用重力沉降分离。如含尘气体与过饱和水汽接触, 发生以粒子为核心的冷凝[1]。引入超声场中增大粒子的震动能量, 粒子碰撞并附聚为大颗粒。

2.3. 电除尘

电除尘能捕集空气中 $0.1\ \mu\text{m}$ 甚至更小的尘粒[1] [3]。在空气加入高压直流电场, 空气分子被电离为正离子和电子, 电子奔向正极过程中吸附到尘粒上。带负电的尘粒移动到阳极上沉积下来, 电极间空气变得干净。电除尘器除尘效果好、气体处理量大、费用高, 常用于收集烟尘、冶金过程金属氧化物, 也用于室内空气净化[9]。用静电吸附原理尝试治理局部大气灰霾[10], 把铜线圈埋置在地下, 通电制造弱静电场, 吸落空气中漂浮的灰霾粒子。

2.4. 吸附

吸附原指分离均相混合物的操作, 流体中的组分选择性的附着在固体吸附剂表面上[11], 引申为尘粒从气体中粘附在吸附介质上, 气体变干净。适合做吸附介质的材料如前述深床过滤介质、植物等, 吸附尘粒的同时还能吸附废气。除物理吸附外, 还有化学吸附、生物吸附, 实现被吸附尘粒的无害化。

使用带负电荷的胞外多糖吸附空气或水中的固体颗粒[12], 用硅基高分子黏液粘附流经装置室内气体中的尘粒[13], 用活性炭、PP 棉滤芯去除室内空气的固体颗粒, 建筑物特殊外墙在日光照射下通过化学反应分解吸附在墙体表面的有机颗粒, 有效清除空气中的多种污染物[14]。

2.5. 湿法除尘

湿法除尘过程中尘粒与水接触, 尘粒湿润而聚结长大或吸水长大, 利用重力沉降或离心沉降除去。在含尘气体中把水喷成细雾、含尘气体吹过水幕或将含尘气体通入水池中, 使含尘气体与水混合, 能分离出 $0.1\ \mu\text{m}$ 的尘粒[1]。含尘气体分离过程中已分离出来的固体颗粒会被气流重新卷起进入气体, 颗粒越细, 这个问题越严重[2]。采用湿法除尘, 固体颗粒进入液体中, 从根本上消除了这一问题。

工业生产中用湿法除尘治理井下柴油机尾气污染, 文丘里管抽吸尾气进入水箱, 净化尾气油烟碳黑[15]。汽车尾气通过湿法除尘净化处理, 降低直接排入大气的污染物[16]。

出现灰霾天气时, 在空气中喷洒水雾, 打破原有的空气平衡, 使尘粒变大、自由沉降速度变大, 易于沉降到地面上。通过人工加湿使空气相对湿度变大, 干气溶胶粒子吸水、长大, 容易由霾粒转化为雾滴[17]。室内空气经加压、加湿, 增加空气的相对湿度后, 降温使空气中的水蒸气液化, 小水滴粒径变大, 吸附更多的气溶胶粒子, 沉降下来变成污水, 空气得以净化[17]。

使用车载式水雾大炮向空气中喷射水雾, 降低城市道路车辆扬尘、建筑工地扬尘, 吸附漂浮在空气中的尘粒[18], 应用在港口、煤矿、电厂、消防、施工工地、堆场、拆迁现场等领域。利用高楼大厦的有效高度, 在高楼顶面安装喷洒设施, 灰霾降临时启动喷射水雾[19], 作为缓解灰霾的应急方法。在大气环

流运动状态下以人工高空喷水机组向空中输送水分, 构成区域之间的长久水循环机制, 诱发成云致雨的天气系统, 清除大气中所有污染物[20]。一部分 PM_{2.5} 来源于气态污染物转化而来的硫酸盐、硝酸盐、氨盐, 这些气态污染物 SO₂、NO_x、NH₃ 等均易溶于水[21]。在工业区上空用飞机喷雾, 增加空气的相对湿度, 去除颗粒物, 同时去除 PM_{2.5} 的前体物。人工降雨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, 将大气中的尘粒以及可溶性酸性气体一起清洗下来。人工降雨对大气湿度、温度有要求, 只能在局部范围内进行[22]。根据已有的科技水平, 人工方法都只能在局部小范围内清除大气灰霾, 作为主要方法还得依靠降雨或降雪, 把大气污染物清除干净[23]。

2.6. 气体置换

使用干净气体置换含尘气体, 并没有实现含尘气体分离的目的, 不适合非均相物系的分离。在工业生产中用惰性气体置换反应釜中空气, 药物制剂生产洁净区气体置换, 开门开窗置换室内空气属于相同的操作, 这种方法也尝试用于灰霾天气治理中。下雨前大风把雾霾吹走了, 漂洋过海, 跨国间、跨洲际间移送。刮风下雨后天气晴朗, 这样大范围清除空气中尘粒的方法, 人工仍然无法企及。有尝试形成人工气流, 将笼罩城市的灰霾吹散, 但费用过高、效果尚不明显[14]。在城市规划中考虑大气扩散条件, 构建城市风道, 引清新空气进城区, 减轻灰霾。但受已有建筑物的影响, 建新的风道不太可能[24]。

2.7. 不同方法组合

对含尘气体的分离, 将几种方法组合在一起效果更好。

电袋复合式除尘器将电除尘与袋滤器结合, 电除尘收集烟尘中大部分粉尘, 并使未被收集下的尘粒荷电。由于尘粒荷电后在滤袋上沉积速度加快, 带有相同极性的尘粒在滤袋表面有序排列, 形成的尘粒层透气性好、空隙率高、剥落性好, 提高了尘粒在滤袋上的过滤特性[25]。湿法电除尘在静电除尘器集尘极用水冲洗粉尘, 保证高除尘效率。

室内空气净化器有活性炭纤维滤芯、负氧离子发生器、静电过滤网、PM_{2.5} 尘粒过滤层、有机污染物净化层、臭氧催化净化层的不同组合, 净化室内空气[26] [27] [28]。

针对公园、社区、学校、工作园区等人口密集的半开放区域空气净化[29], 将空气吸入净化系统, 过滤空气中的灰尘、花粉、微生物等悬浮颗粒, 净化后的洁净空气将抑尘剂水溶液雾化为水幕, 有效破坏雾霾的气溶胶结构, 捕获悬浮在空气中的尘粒。将水雾预荷上电荷后能大大提高普通水雾除尘系统的除尘效率, 有效捕集直径为 0.1~2 μm 的尘粒[21]。吸入式强制流动灰霾治理的装置[30]在适宜高度吸入灰霾空气, 通过惯性沉积、湿法除尘、强制空气流动、破坏灰霾存在的稳定大气条件、湿润灰霾粒子使其聚集长大自然沉积治理局部区域内灰霾空气。

3. 结语

含尘气体属于气固非均相物系, 分离方法有袋滤、深床过滤、微滤膜分离、重力沉降、惯性分离、旋风分离、电除尘、物理吸附、化学吸附、湿法除尘等单元操作及其组合。新的单元操作组合将不断提出, 以满足新的气固分离要求, 解决实际分离问题。

随着含尘气体范围增大、粒径减小, 分离难度、费用随着增大。工业生产过程气体要求快速、稳定、高精度、经济的分离方法, 对尘粒实现干净、彻底处理。室内含尘气体由于空间有限、气体量小, 费用高的方法可以承受, 要求处理精度高、时间短、速度快。室外大气空间大、气体量大, 处理费用高, 应使用经济、方便的方法处理。

参考文献 (References)

- [1] 姚玉英, 主编. 化工原理(上册)[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1992: 143-205.
- [2] 陈敏恒, 丛德滋, 方图南, 等编. 化工原理(上册, 第三版)[M]. 北京: 化学工业出版社, 2006: 115-157.
- [3] 陈树章, 主编. 非均相物系分离[M]. 北京: 化学工业出版社, 1993: 1-40.
- [4] 张秋兰, 马回, 郑颖. 国外雾霾治理的经验及其对我国的启示[J]. 鄱阳湖学刊, 2014(2): 40-47.
- [5] 百度百科. 霾[OL].
http://baike.baidu.com/link?url=WSKRO7xRvGfbRIUKKnULw099ksmX4w4q0vix6ZTEbKAimAxJUzNKKkR7u-cy4_f4GENPJbGBIL5OvqCmk9mpq, 2016-01-08.
- [6] 车玉坤. 烟粉尘净化装置的探究与开发[J]. 科技视界, 2013(35): 316.
- [7] 齐鸣斋, 熊丹柳, 刘玉兰, 编. 化工原理(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2013: 110.
- [8] 任建新, 主编. 膜分离技术及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2002: 28-32.
- [9] 谢锡满. 隔音防灰霾自然通风器[P]. 中国专利, CN 201020615422.7. 2010-11-19.
- [10] 中国科技网. 静电除霾蓝天能否重现, 室内试验在国外已获成功[N/OL]. <http://www.wokeji.com/>, 2013-11-15.
- [11] 柴诚敬, 主编. 化工原理(下册, 第二版)[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 297-306.
- [12] P·查维兹·克罗克尔, J·M·薇拉·阿拉亚, J·E·卡斯特罗·庞塞, 等. 减少悬浮在空气或水中的颗粒材料的量的方法[P]. 中国专利, CN 201310004312. 2013-01-06.
- [13] 顾怀宇. 用于清除 PM2.5 的气体净化装置[P]. 中国专利, CN 201310095531. 2013-03-22.
- [14] 直观中国-图片故事. 盘点各国雾霾治理方法[OL]. <http://www.chineendirect.com/>, 2013-12-09.
- [15] 高文翔, 余学昌, 戴云鸥, 等. 多功能自洁式射流诱导雾化除尘吸污器[P]. 中国专利, CN 201310171679. 2013-07-24.
- [16] 苏立暖. 一种汽车尾气灰霾净化装置[P]. 中国专利, CN 201310365890.1. 2013-08-21.
- [17] 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.
- [18] 中国新闻图片网. 重庆街头新型降温喷水车外形酷似“大炮”[N/OL]. <http://www.cnsphoto.com/>, 2014-07-30.
- [19] 刘星良, 吴玉山, 刘影棠, 等. 一种缓解灰霾的应急方法[P]. 中国专利, CN 201310139560.0. 2013-04-22.
- [20] 人民网. 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.
- [21] 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.
- [22] 百度百科. 人工降水[OL]. <http://baike.baidu.com/view/>, 2014-07-31.
- [23] 邹进上, 莫天麟, 江怒. 论雾霾天气的形成条件及其治理途径[J]. 环境教育, 2013(9): 67-69.
- [24] 邓琦. 社科院建议北京引风入市治霾, 专家称可行性不高[N]. 新京报, 2014-07-21.
- [25] 贺泓, 王新明, 王跃思, 等. 大气灰霾成因与控制[J]. 中国科学院院刊, 2013, 28(3): 344-352.
- [26] 曾罗麟. 强力除尘除灰霾净化通风器[P]. 中国专利, CN 201220362780.0. 2012-07-25.
- [27] 谢锡满. 隔音防灰霾动力通风器[P]. 中国专利, CN 201120226875.5. 2011-06-30.
- [28] 王宝柱, 范洪波, 张腾云, 等. 灰霾和臭氧空气净化过滤器[P]. 中国专利, CN 200820047557.0. 2008-05-09.
- [29] 百度百科. PM2.5 除霾车[OL].
http://baike.baidu.com/link?url=yv2wllqy8zu3Bbp_a85TXIUdRgZNKjvgAV7-K2qJWlqSod-3iCB_d_DaOnxolMT5XOE1vXzVhfL6gppqf4ut8ahEK64rOHKaTrjCLKMJUwm8Ny7tMWyWudXl21ISy8eoS, 2016-01-19.
- [30] 赵平, 张月萍. 吸入式强制流动灰霾治理的装置[P]. 中国专利, CN 204121910U. 2015-01-28.

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：hjctet@hanspub.org