

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE



第34卷 第2期

Vol.34 No.2

2013

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目 次

- 16届亚运会期间广州城区PM_{2.5}化学组分特征及其对霾天气的影响 陶俊,柴发合,高健,曹军骥,刘随心,张仁健(409)
北京地区秋季雾霾天PM_{2.5}污染与气溶胶光学特征分析 赵秀娟,蒲维维,孟伟,马志强,董璠,何迪(416)
上海市秋季大气 VOCs 对二次有机气溶胶的生成贡献及来源研究
..... 王倩,陈长虹,王红丽,周敏,楼晨荣,乔利平,黄成,李莉,苏雷燕,牟莹莹,陈宜然,陈明华(424)
杭州市大气超细颗粒数浓度谱季节性特征 谢小芳,孙在,付志民,杨文俊,林建忠(434)
保定市大气气溶胶中正构烷烃的污染水平及来源识别 李杏茹,杜熙强,王英锋,王跃思(441)
春节期间西安城区碳气溶胶污染特征研究 周变红,张承中,王格慧(448)
华东区域高山背景点PM₁₀和PM_{2.5}背景值及污染特征 苏彬彬,刘心东,陶俊(455)
基于电子鼻土壤与地下水污染修复现场TVOC和恶臭的评估 田秀英,蔡强,刘锐,张永明(462)
积融雪控制下土壤大气间汞交换通量特征 张刚,王宁,艾建超,张蕾,杨净,刘子琪(468)
靖海湾重金属污染及铅稳定同位素溯源研究 徐林波,高勤峰,董双林,刘佳,傅秀娟(476)
正构烷烃及单体碳同位素记录的石臼湖生态环境演变研究 欧杰,王延华,杨浩,胡建芳,陈霞,邹军,谢云(484)
干旱区城市昌吉降雪及积雪中PGEs含量分布及其影响因素 刘玉燕,刘浩峰,张兰(494)
降尘收集方法对降尘效率的影响 张正偲,董治宝(499)
海河流域水生态功能一级二级分区 孙然好,汲玉河,尚林源,张海萍,陈利顶(509)
长江中下游浅水湖泊水下辐照度漫射衰减特征研究 时志强,张运林,王明珠,刘笑菡(517)
内陆水体叶绿素反演模型普适性及其影响因素研究 黄昌春,李云梅,徐良将,杨浩,吕恒,陈霞,王延华(525)
溶氧对富集培养的河口湿地表层沉积物氨氧化菌多样性及氨氧化速率的影响 邱昭政,罗专溪,赵艳玲,颜昌宙(532)
自然条件下盐城海滨湿地土壤水分/盐度空间分异及其与植被关系研究
..... 张华兵,刘红玉,李玉凤,安静,薛星宇,侯明行(540)
淮河流域农业非点源污染空间特征解析及分类控制 周亮,徐建刚,孙东琪,倪天华(547)
高岗河不同降雨径流类型磷素输出特征 崔玉洁,刘德富,宋林旭,陈玲,肖尚斌,向坤,张涛(555)
城市雨水径流水质演变过程监测与分析 董雯,李怀恩,李家科(561)
复合人工湿地系统强化处理单元的运行特性与效果 任峰,陆忆夏,刘琴,汤杨杨,王世和,高海鹰,乔红杰,王为进(570)
给水管网中耐氯分枝杆菌的灭活特性及机制研究 郑琦,陈超,张晓健,陆品品,刘源源,陈雨乔(576)
1株溶藻菌的部分生物学特性及溶鱼腥藻作用 李三华,张奇亚(583)
水生植物热解生物油对中肋骨条藻抗氧化酶活性的影响 姚远,李锋民,李媛媛,单时,李杰,王震宇(589)
TiO₂光催化联合技术降解苯酚机制及动力学 张轶,黄若男,王晓敏,王齐,丛燕青(596)
皮革废水有机污染物生物降解特性研究 王勇,李伟光,杨力,宿程远(604)
链霉菌FX645对偶氮染料红AR30的降解机制研究 谢练武,方继前,郭亚平(611)
一种负载型生物载体的制备及性能研究 杨基先,曾红云,周义,邱珊,马放,王蕾,肖大伟(616)
基于污泥资源化利用的蛋白核小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)培养研究 嵇雯雯,夏会龙,方治国,刘惠君(622)
温和热处理对低有机质污泥厌氧消化性能的影响 陈汉龙,严媛媛,何群彪,戴晓虎,周琪(629)
天然和水热合成针铁矿对有机物厌氧分解释放CH₄的影响 姚敦璠,陈天虎,王进,周跃飞,岳正波(635)
蚀刻废液及其回收后生产的铜盐产品中PCDD/Fs含量水平及分布特征 青宪,韩静磊,温炎燊(642)
基于特定场地污染概念模型的健康风险评估案例研究 钟茂生,姜林,姚珏君,夏天翔,朱笑盈,韩丹,张丽娜(647)
区域地下水污染风险评价方法研究 杨彦,于云江,王宗庆,李定龙,孙宏伟(653)
地下水有机污染源识别技术体系研究与示范 王晓红,魏加华,成志能,刘培斌,纪轶群,张干(662)
祁连山不同海拔土壤有机碳库及分解特征研究 朱凌宇,潘剑君,张威(668)
黑土有机碳、氮及其活性对长期施肥的响应 骆坤,胡荣桂,张文菊,周宝库,徐明岗,张敬业,夏平平(676)
根茬连续还田对镉污染农田土壤中镉赋存形态和生物有效性的影响 张晶,于玲玲,辛术贞,苏德纯(685)
长期施肥措施下稻田土壤有机质稳定性研究 罗璐,周萍,童成立,石辉,吴金水,黄铁平(692)
外源Cr(Ⅲ)在我国22种典型土壤中的老化特征及关键影响因子研究 郑顺安,郑向群,李晓辰,刘书田,姚秀荣(698)
某林丹生产企业搬迁遗留场地土壤中六六六的残留特征 潘峰,王利利,赵浩,尤奇中,刘林(705)
大型炼锌厂周边土壤及蔬菜的汞污染评价及来源分析 刘芳,王书肖,吴清茹,林海(712)
天津成人头发指甲中有机氟污染物的残留特征 姚丹,张鸿,柴之芳,沈金灿,杨波,王艳萍,刘国卿(718)
沉积物中雌激素及壬基酚、辛基酚、双酚A的测定 吴唯,史江红,陈庆彩,张晖,刘晓薇(724)
动物饲料中砷、铜和锌调查及分析 姚丽贤,黄连喜,蒋宗勇,何兆桓,周昌敏,李国良(732)
氟虫双酰胺在水稻和稻田中的残留动态研究 王点点,宋宁慧,吴文铸,由宗政,何健,石利利(740)
2株降解菲的植物内生细菌筛选及其降解特性 倪雪,刘娟,高彦征,朱雪竹,孙凯(746)
嗜盐拟香味菌Y6降解硝基苯的特性研究 厉闻,钱坤,肖伟,王进军,邓新平(753)
固定化条件对苯系物细胞传感器检测效果的影响 唐阔,马安周,于清,邓雪梅,吕迪,庄国强(760)
16S rDNA克隆文库分析高含盐生物脱硫系统细菌多样性 刘卫国,梁存珍,杨金生,王桂萍,刘苗苗(767)
氨氮浓度对CANON工艺功能微生物丰度和群落结构的影响 刘涛,李冬,曾辉平,畅晓燕,张杰(773)
筒青霉(*Penicillium simplicissimum*)对木质纤维素的降解及相关酶活性特征
..... 沈莹,胡天觉,曾光明,黄丹莲,尹璐,刘杨,吴娟娟,刘晖(781)
石油污染土壤微生物群落结构与分布特性研究 杨萌青,李立明,李川,李广贺(789)
土霉素在鸡粪好氧堆肥过程中的降解及其对相关参数的影响 王桂珍,李兆君,张树清,马晓彤,梁永超(795)
生活垃圾填埋过程含水率变化研究 李睿,刘建国,薛玉伟,张媛媛,岳东北,聂永丰(804)
动物消化机制用于木质纤维素的厌氧消化 吴昊,张盼月,郭建斌,吴永杰(810)
《环境科学》征订启事(447) 《环境科学》征稿简则(493) 信息(508,588,610,731) 专辑征稿通知(788)

降尘收集方法对降尘效率的影响

张正偲，董治宝

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所沙漠与沙漠化重点实验室, 兰州 730000)

摘要: 大气降尘收集方法较多, 但目前还没有通用的野外观测方法, 由于降尘收集方法的多样性以及降尘缸收集效率的不同, 所观测的结果很难进行对比。目前对各类降尘缸收集降尘效率的研究较少。在腾格里沙漠地区, 利用国家标准规定降尘缸, 对干法、湿法、过滤网法、过滤网+玻璃球法和减速沿法这5种降尘收集方法进行对比研究, 旨在探讨不同降尘收集方法的收集效率, 为准确评价区域降尘量提供依据。干法收集的降尘量仅占湿法的5%~62%; 减速法仅占湿法的50%~95%; 过滤网法仅占湿法的43%~89%; 玻璃球+过滤网法仅占湿法的40%~80%。不同的降尘收集方法, 风速明显影响降尘效率, 平均风速<2.5 m·s⁻¹时, 降尘效率随平均风速增加而降低; 但在平均风速>2.5 m·s⁻¹时, 降尘效率与平均风速之间无明显规律。湿法收集的降尘粒度最细, 依次为减速法、玻璃球+过滤网法、过滤网法和干法。平均风速,>5 m·s⁻¹的平均风速与湿法, 减速法收集的降尘量之间可以用指数函数表示。不同降尘方法观测的数据可以相互转化, 干法、过滤网、过滤网+玻璃球法、减速沿法与湿法收集的降尘量之间为线性相关。在干旱及半干旱地区, 减速法能够作为一种替代湿法进行收集降尘的有效方法。

关键词: 降尘; 降尘缸; 效率; 野外观测; 方法

中图分类号: X830.2 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2013)02-0499-10

Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency

ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao

(Key Laboratory of Desert and Desertification, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: There are lots of dust deposition collection methods on dust deposition, but there is no standard field observation method. At present, researchers have studied dust deposition using different methods in this issue, but due to the different observation method and collection efficiency, the research results are incomparable. The efficiency of the standard dust deposition gauge including dry, wet, net, net and glass ball and slowing speed methods was studied in the Tengger Desert. The amount of the dry method collected material was only about 5% to 62% of the wet method, the net method was only about 43% to 89% of the wet method, the net and glass ball method was only about 40% to 80% of the wet method. Wind speed obviously affected the dust deposition efficiency in all observation methods, the dust deposition efficiency decreased with increasing wind speed when the wind speed was smaller than 2.5 m·s⁻¹, but the dust deposition efficiency had no clear trend with wind speed when the wind speed was larger than 2.5 m·s⁻¹. The particle size of collected material by wet method was the smallest, followed by the slowing speed method, the net and glass ball method, the wet method and the dry method. There are relationships between the averaged wind speed, the averaged larger than 5 m·s⁻¹ wind speed and the amount of dust deposition collected by the wet and the slowing speed methods, which can be expressed as exponential function. There are also linear relationships between the amount of collected material by the wet and dry, net, net and glass ball and slowing speed methods. The wet method is the best dust deposition collecting method, followed by the slow wind speed method. Therefore, in the arid and semi-arid regions, the slowing wind speed method can be used to replace the wet method to collect dust deposition.

Key words: dust; dust deposition gauge; efficiency; field experiment; method

近年来, 对大气降尘的研究比较多^[1~20], 内容涉及了降尘的理化性质^[2,6,10,11,15,17,19]、沉降速率^[14,15,17~19]、粒度分布^[3,6,14~18]、时空分布^[5,8,9,16]、影响因素^[3,15,16]以及降尘收集方法^[4,21~26]。尽管前人对大气降尘进行了大量研究, 但对降尘收集方法的研究相对比较薄弱。降尘收集方法及降尘缸的收集效率是降尘研究的基础, 如果降尘缸的收集效率低, 必然影响收集的降尘物质的组成、成分等, 从而影响分析结果。

国外学者对降尘收集方法及降尘缸收集效率进行了对比研究^[17,21~23], 但目前还没有适用于野外的

降尘观测国际通用标准^[23], 尽管国际标准建议的降尘缸为高40 cm, 直径为20 cm的圆柱体, 但在地球科学的研究领域, 采纳的学者并不多。不同的学者提出了各自的降尘收集方法, 并进行了野外的观测与风洞实验, 表1为近年来部分降尘收集方法统计表。在美国和澳大利亚, USGS (United States Geological Survey) 降尘缸利用较广^[23]。在我国, 降尘缸的国家

收稿日期: 2012-04-20; 修订日期: 2012-05-30

基金项目: 国家自然科学基金项目(41101007, 41130533, 41171010)

作者简介: 张正偲(1979~), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为风沙物理及风沙仪器研制, E-mail: zhangzhi@ sina. com

标准为高 30 cm、直径为 15 cm 的圆柱体^[4],但在实际的研究中,所用的规格也不尽相同^[1~9].而在其他国家,采用不同的降尘缸进行收集降尘,如

MDCO(marble dust collector)降尘缸^[21,22]、倒置的飞碟(inverted frisbees)^[21,24,26]以及改进型的倒置飞碟^[27,28]、正方形的降尘缸^[17,18]和碗状降尘缸^[17].

表 1 不同研究者所采用的降尘收集方法¹⁾

Table 1 Sampling methods of dust deposition used by different researchers

收集方法	收集装置	收集地点	降尘缸高度	文献
干法	$D = 20, H = 70$, 圆柱形集尘缸	新疆和田	0.7、1.8、10 m 建筑物顶, 距建筑物顶 1.5 m	[1]
湿法	$H = 15$, 塑料箱, 加蒸馏水	甘肃、陕西	8~12 m 建筑物顶	[2]
干法	$D = 25, H = 35$, 圆柱形集尘器	宁夏中卫	1.9 m	[3]
干法、湿法、玻璃球法	$D = 15, H = 30$, 圆柱形集尘器	宁夏中卫	2 m	[4]
干法	$D = 20, H = 40$, 圆柱形集尘器	新疆和田	0.7、1.8、10 m 建筑物顶, 距建筑物顶 1.5 m	[5]
干法	$D = 15, H = 30$, 圆柱形集尘器	西北	2~3 m 建筑物顶	[7]
湿法	灯芯式沙尘垂直收集仪	民勤	0~50 m	[8]
湿法	$D = 15, H = 30$, 圆柱形集尘器	宁夏中卫	0~50 m	[9]
干法	$D = 30, H = 70$	甘肃	4 m	[10]
湿法,膜法	$D = 15, H = 30$, 圆柱形集尘器	京津冀地区	地表或楼顶	[11]
湿法	圆柱形盆	甘肃	8~12 m 建筑物顶, 距建筑物顶 1.5 m	[12]
玻璃球法,石蜡	$D = 8.15, H = 6$, 圆柱形	马里	3 m 建筑物顶	[14]
玻璃球法	$D = 11, H = 39$, 圆柱形 $L = 47, W = 31, H = 11$, 正方形	死海	0.5~5 m	[15]
湿法、垫子、网栅	碗形: $H = 40, S = 0.23$; 正方形托盘: $L = 90, W = 60$;	加纳	1 m; 6~10 建筑物顶	[17]
玻璃球法	正方形, $S = 0.113$	澳大利亚	2 m	[18]
干法	$D = 15, H = 30$, 圆柱形集尘器	艾比湖	—	[19]
带变流装置、玻璃球法、干法、带玻璃球+变流装置	$D = 30, H = 3.6$, 变流装置内径 38.4, 外径 64; 倒置的飞碟	风洞实验	—	[21]
玻璃球法	$L = 52.5, W = 31.5, H = 10.0$, 正方形降尘缸带过滤网	风洞实验	—	[21,29]
干法、湿法、玻璃球法	托盘: $D = 24.4, H = 10.4$,	风洞实验	—	[22]
玻璃球法	托盘: $D = 24.4, H = 10.4$,	风洞实验	—	[23]
隔板法,湿法,湿/隔板	环境监测方法	南京	—	[25]
湿法	$D = 9, H = 20$, 圆柱形集尘器	北京	23 m 建筑物顶, 距建筑物顶 1.5 m	[30]
干法+阻尼网	$D = 21, H = 3$, 圆形托盘	利比亚	2.5 m	[32]
玻璃球法	$D = 15, H = 30$, 圆柱形集尘器	柴达木盆地	1.5 m; 3.5 m 建筑物顶	[31]
干法+泡沫	$D = 25, H = 4.3$, 倒置的飞碟	新西兰	1.4 m	[33]
干法+垫子	$D = 24.5, H = 3.4$, 倒置的飞碟	比格斯普林	<2 m	[34]

1) D 为集尘缸的直径, H 为集尘缸的高度, L 为长度, W 为宽度, d 为玻璃球直径, 单位 cm; S 为集尘盆开口面积, 单位 m^2

利用降尘缸收集降尘时,方法不同,降尘缸效率不同,收集的降尘量也不同^[17].降尘收集方法包括干法(空的降尘缸)、湿法(在降尘缸内加蒸馏水或其他溶液)、玻璃球法(在降尘缸内加玻璃球)、减速法(在降尘缸外沿安装减速沿^[21,23]或加垫子^[17]).影响降尘缸效率的除收集方法外,还包括沉积物的水平通量、粒度的重量、空气湍流、沉积物的“二次运动”以及“尘影”这 5 个要素^[21].降尘缸在收集降尘时,其本身是一个障碍物,在下风向形成一个“尘影”,尘影的大小及位置影响了降尘缸的效率,随着风速和粒度的增加,降尘缸的收集效率降低^[23].在降尘缸内增加玻璃球能够防止降尘的二次运动,从而增加降尘缸的效率^[22,23].添加了蒸馏水的碗形降尘缸要比添加垫子收集的降尘多,同时,碗

形的要比正方形的收集的多^[17].由于不同学者所采用降尘缸不同,所以研究结果很难形成对比.

综上所述,尽管前人对降尘收集方法及效率进行了一些探讨,但对不同规格降尘缸的效率研究不够均衡,如对我国国家标准降尘缸的降尘效率的研究比较少.因此,本研究在前人工作的基础上,对我国国家标准的降尘缸的效率进行探讨,旨在说明降尘收集方法对降尘效率的影响,为提高降尘缸的收集效率,准确估算区域降尘提供理论依据.

1 研究区域及方法

1.1 研究区概况

研究区位于腾格里沙漠东南缘,实验场地位于中卫市西北 13 km 处($37^{\circ}33'N, 105^{\circ}01'E$)的中国

科学院风沙科学观测场(简称观测场). 该区既是沙尘物质的源区, 也是由巴丹吉林沙漠和河西释放沙尘向华南及更远地区输送的通道. 研究区主要以格状沙丘为主, 沙丘高度3~20 m, 沙丘表面的沙粒平均粒径为0.22~0.26 mm; 根据研究区2005~2008年实测气象资料, 该地区年平均风速为2.48~2.79 m·s⁻¹; 风向以西北风为主, 其次为东北风; 年均相对湿度为36.51%~45.40%; 年均温度为11.21~12.65°C; 年降水量为71.44~116.60 mm.

1.2 研究方法

根据研究目的不同, 降尘缸安装高度不同, 如研究降尘的时空分布时, 降尘缸一般安装在1.5 m左右(表1); 在研究降尘通量时, 降尘缸安装在不同的高度^[5,8,9,17]. 本研究目的在于对比不同降尘收集方法之间的关系, 同时为了避免跃移沙粒进入降尘缸, 所以降尘缸安装在2 m高度. 本研究的降尘缸为我国的国标降尘缸(直径15 cm, 高30 cm的圆柱形平底玻璃容器).

本实验的降尘收集方法包括干法(D)、湿法(W)、过滤网法(N)、过滤网+玻璃球法(GN)和减速沿法(S). 干法即在降尘缸内无任何介质; 湿法即在降尘缸内添加蒸馏水(春夏秋季)或酒精(冬季), 添加的蒸馏水/酒精占整个降尘缸的1/6, 在降尘缸内无蒸馏水/酒精时再添加至1/6高度; 过滤网法即在降尘缸内5 cm高度安装一个过滤网, 过滤网网孔直径为5 mm的正方形不锈钢网; 过滤网+玻璃球法即为过滤网上布置20个玻璃球, 玻璃球直径为10 mm; 减速沿法为在降尘缸外圈安装直径为170 mm的减速沿, 减速沿与降尘缸之间有20 mm的空隙, 用于保证空气流通, 减速沿自降尘缸向外高度逐渐降低. 由于整个实验只有一种降尘收集方法为湿法, 同时由于在西北地区, 降雨较少, 空气湿度较小, 所以每次在称重时, 并没有对降尘进行烘干, 而是在降尘物质为干的状态时进行称重.

降尘缸布置在推平的流动沙丘区, 地表平坦并覆盖砾石, 砾石直径<5 cm; 降尘缸间距2.5 m, 呈“品”字形布置(图1). 每种降尘收集方法分别进行两个重复, 一个降尘缸安装在第一排, 另一个安装在第二排. 降尘量为前后两次重量之差, 带回观测场的实验室进行称重, 天平的精度为0.01 g. 统计数据为两个降尘缸收集降尘量的平均值. 观测时间为2011-04-13~2012-04-07, 共16次, 观测频率不定. 由于降尘收集量较小, 所以在称重之后, 不取出降尘, 而是直接安装上进行下一次测量. 在观测期间, 共收集

降尘4次, 分别为2011-04-13~2012-06-13、2011-06-13~2012-08-31、2011-08-31~2012-11-02和2011-11-02~2012-04-07.

粒度分析采用Malvern 2000进行分析, 即用H₂O₂和HCl去除样品中的有机质和钙质胶结物, 再加入10 mL (NaPO₃)₆溶液作分散剂, 使样品充分分散后加入测试槽进行上机测试. 颗粒大小或粒级采用Udden-Wentworth粒度分级标准(以2为基数), 根据Krumbein^[35]公式[式(1)]进行对数转化, 将粒径表示为Φ值:

$$\Phi = -\log_2 d \quad (1)$$

式中, d 为颗粒直径. 根据粒度累积曲线以及文献[36]提出的公式, 图解计算粒度参数(平均值 M_z 、分选系数 δ_l 、偏度 Sk_l 和峰度 K_G); 同时, 根据文献[36]提出的粒度参数分级标准, 探讨粒度参数特征, 具体的分级标准及定义见文献[36].

风速风向资料来源于安装在降尘缸西北5 m处的观测点, 风速风向传感器安装高度为2 m, 数据采集频率为1 min, 风速风向传感器为长春气象仪器厂生产, 数据采集仪为美国Campbell公司生产. 前两次降尘的风速数据由于丢失而采用沙坡头气象站10 min的气象数据, 其余数据均为观测点的数据.

为了探讨影响降尘缸收集效率的风速因素, 进行了降尘缸垂直断面流场风洞实验. 实验是在中国科学院沙漠与沙漠化重点实验室风沙颗粒动力学风洞完成, 风洞总长10 m, 实验段长4 m, 截面规格为0.4 m×0.4 m. 风速利用PIV进行测量, 实验风速14 m·s⁻¹.

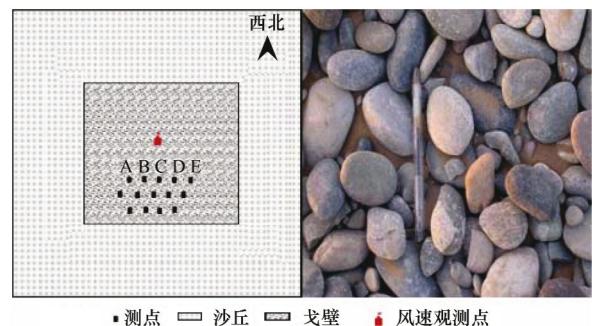


Fig. 1 Plots of dust deposition gauges and land surface character

2 结果与分析

2.1 观测期间的风况

风速风向是影响尘埃物质沉降的一个重要因素. 风速, 特别是风速的湍流特征, 直接影响尘埃物质的沉降和二次运动. 对于圆形的降尘缸, 风向对降

尘几乎没有影响,但对于其他形状的降尘缸,如正方形的 MDCO,风向会影响降尘缸的收集^[21]。表 2 为观测期间的风速特征。平均风速反映了观测期间的风速整体变化,一般来说,平均风速越小,气流对沙尘物质的搬运能力越弱,此时,降尘缸内收集主要是以悬移运动的粉尘物质。 $>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的风速和最大风速能够反映气流对沙尘物质的搬运能力,当风速 $>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,地表的沙粒开始运动,运动的沙粒在风速的脉动作用下,有可能搬运到较高的位置, $>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速的平均风速越大,说明气流的搬运能力

越强,此时,降尘缸内收集除悬移运动的粉尘物质外,还包括部分跃移运动的沙粒物质。

在整个观测期间,平均风速较小(表 2),在 $1.1 \sim 3.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间;最大风速在 $8.2 \sim 16.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间; $>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速的平均风速在 $5.3 \sim 7.0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间。春冬季平均风速最大,夏秋季节较小。 $>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速所占观测期间总风速的频率不同,春冬季节所占比例较大,夏秋季节较小。由于降尘缸为圆柱体,所以风向对降尘缸的效率没有影响,所以本研究对观测期间的风向不进行统计分析。

表 2 2011-04-13 ~ 2012-04-07 观测期间的风速/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

Table 2 Wind speed and direction in the observation period from 2011-04-13 to 2012-04-07/ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

观测时间 (月-日)	天数 /d	最大风速	平均风速	$>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 平均风速	$>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 频率/%
04-13 ~ 05-16	32	11.9	3.4	7.0	19.3
05-16 ~ 06-13	28	11.7	3.3	6.2	21.1
06-13 ~ 07-25	42	16.5	2.9	6.4	16.0
07-25 ~ 08-10	16	12.8	2.6	5.9	11.7
08-10 ~ 08-31	21	13.0	2.7	6.1	8.1
08-31 ~ 09-28	28	9.2	2.0	5.9	3.3
09-28 ~ 10-21	23	11.9	1.9	6.9	6.8
10-21 ~ 11-02	20	9.2	2.1	6.0	6.2
11-02 ~ 11-22	20	10.2	1.9	6.2	5.5
11-22 ~ 12-07	15	6.8	1.8	5.5	1.8
12-07 ~ 12-28	21	8.9	1.4	6.0	3.1
12-28 ~ 01-16	20	8.2	1.1	6.2	1.2
01-16 ~ 02-04	19	5.8	1.3	5.3	0.1
02-04 ~ 02-24	20	9.1	1.8	5.9	4.2
02-24 ~ 03-14	19	9.1	1.8	6.0	4.2
03-14 ~ 04-07	24	12.7	2.9	6.5	20.2

2.2 降尘量及降尘收集效率

不同降尘收集方法所收集的降尘量不同,表 3 为 2011-04-13 ~ 2012-04-07 不同收集方法所收集的降尘量。从中可以看出,湿法收集的降尘量最多,其次为减速法,过滤网和玻璃球 + 过滤网较少,干法收集的最少。如果假定湿法收集的降尘量为标准降尘量,干法收集的降尘量仅占湿法的 5% ~ 62%;减速法仅占湿法的 50% ~ 95%;过滤网法仅占湿法的 43% ~ 89%;玻璃球 + 过滤网法仅占湿法的 40% ~ 80%。总体来看,湿法收集降尘最好,其次为减速法,过滤网法,玻璃球 + 过滤网法,最后为干法。

前人对干法与湿法的收集效率进行了研究,但研究结果不同。Mc Tainsh 等^[14]认为干法收集的降尘量仅为湿法的 64%;王赞红等^[30]认为干法收集的降尘量仅为湿法的 76%;钱广强等^[4]研究表明干法收集的降尘量为湿法的 73%,玻璃法收集的降尘量为湿法的 77%,干法与玻璃球法的效率差别不是很大。但本研究结果表明:干法收集的降尘量远小于湿法,同时,也比玻璃球法小的多。造成这种差别

的原因可能在于降尘缸安装的下垫面不同,文献[4]的降尘缸安装在沙坡头地区人工防护林内,地表为灌丛沙丘,而本研究在平坦的砾石覆盖区。在人工防护林内部,受防护林的影响,地表风速减小,降尘缸收集的降尘主要以微尘为主,跃移沙粒较少,而在砾石覆盖的沙丘区,地表沙粒在风速较大时,脱离地面,进入降尘缸。降尘缸的收集效率受多种因素的影响,如降尘的水平通量、粒度的重量、空气湍流、降尘的二次运动、“尘影”、地形等。所以,即使是同一个类型的降尘缸,不同地区所观测的降尘效率也可能不同。

2.3 降尘粒度特征

不同降尘收集方法不仅影响降尘量,而且影响收集的降尘物质的粒度特征。表 4 为 5 种降尘收集方法收集的降尘粒度特征。从中可见,干法收集的降尘物质的粒度最粗(Φ 值越大,粒度越细),依次为过滤网法、玻璃球 + 过滤网法、减速法和湿法,湿法的平均粒径比干法细 0.38Φ 。降尘的分选性也不同,干法的分选性属于分选最好,过滤网法,玻璃球 + 过滤网法

和减速法属于分选较好,而湿法属于分选较差。降尘的偏度也不同,干法、过滤网法和玻璃球+过滤网法

属于近对称;减速法属于正偏,湿法属于极正偏。峰度除湿法属于很窄外,其余均属于很宽。

表3 2011-04-13~2012-04-07 不同收集方法所收集的降尘量¹⁾

Table 3 Amount of dust deposition in different collection methods from 2011-04-13 to 2012-04-07

观测时间 (月-日)	降尘量/g					D、N、GN 和 S 与 W 法对比/%			
	D	W	N	GN	S	D	N	GN	S
04-13 ~ 05-16	1.41	5.86	3.01	2.55	3.71	24.1	51.4	43.5	63.3
05-16 ~ 06-13	0.80	2.19	1.46	1.17	1.63	36.3	66.7	53.4	74.4
06-13 ~ 07-25	0.11	1.99	1.00	1.02	1.10	5.5	50.3	51.3	55.3
07-25 ~ 08-10	0.11	1.68	0.80	0.85	1.05	6.5	47.3	50.6	62.8
08-10 ~ 08-31	0.33	1.48	0.85	0.65	1.09	22.4	57.6	44.1	73.6
08-31 ~ 09-28	0.18	0.77	0.40	0.33	0.44	23.4	51.9	42.9	57.8
09-28 ~ 10-21	0.25	0.80	0.38	0.36	0.40	31.3	47.5	45.0	50.0
10-21 ~ 11-02	0.18	0.52	0.24	0.21	0.30	34.6	46.2	40.4	56.7
11-02 ~ 11-22	0.03	0.07	0.04	0.06	0.06	42.9	57.1	78.6	85.7
11-22 ~ 12-07	0.35	0.79	0.52	0.56	0.68	44.5	65.2	70.9	86.1
12-07 ~ 12-28	0.12	0.29	0.21	0.21	0.24	41.4	70.7	72.1	81.0
12-28 ~ 01-16	0.05	0.51	0.35	0.41	0.46	9.8	67.6	80.4	90.2
01-16 ~ 02-04	0.40	0.64	0.57	0.52	0.55	62.5	89.1	80.5	85.9
02-04 ~ 02-24	0.08	0.42	0.26	0.04	0.37	18.1	62.7	80.4	88.0
02-24 ~ 03-14	0.08	0.31	0.14	0.14	0.22	25.8	43.5	45.2	71.0
03-14 ~ 04-07	0.31	2.19	1.56	1.62	2.08	14.2	71.0	73.7	95.0

1) D 为干法, W 为湿法, N 为过滤网, GN 为玻璃球 + 过滤网法, S 为减速法, 下同

表4 不同降尘收集方法收集的降尘粒度参数

Table 4 Parameters of dust deposition in different collection methods

方法	平均粒径 (Φ 值)	分选系数	偏度	峰度
D	2.46	0.49	0.00	0.44
W	2.84	1.09	0.39	1.78
N	2.57	0.55	0.04	0.56
GN	2.66	0.55	0.07	0.56
S	2.76	0.60	0.11	0.66

观测方法不同,尘埃物质在降尘缸内的运动方式不同。对于湿法,降尘在降落在水面时,随即在重力作用下沉降在降尘缸的底部,所收集到的降尘为空气中的几乎所有尘埃物质,所以降尘物质的平均粒径最小。而对于其他收集方法,尽管采取了不同的措施,但还是不能完全避免尘埃的二次运动。干法由于没有采取任何降低降尘缸内气流速度的措施,所以气流将降尘缸内部分已经沉积的细颗粒尘埃和气流自身携带的细颗粒尘埃又带出降尘缸,导致降尘缸内细颗粒物质减少,粒度较粗;减速法、过滤网和玻璃球+过滤网采用了一定的减速措施,降低了降尘缸内部的气流速度,所以部分细颗粒物质能够沉积在降尘缸底部,收集的沉积物的粒径要比干法的细,但比湿法的粗。

对于减速法、过滤网和玻璃球+过滤网这3种方法,减速法主要是通过降低进入降尘缸内部气流速度的方式来降低降尘缸内部气流,所以所收集的

沉积物粒度最细;玻璃球+过滤网采用两种措施来降低降尘缸内部的气流速度,其内部的气流要比单一的过滤网法大,所以沉积物的粒度要比过滤网法细。由此可见,在收集降尘时,降低降尘缸外部气流的速度要比降低内部气流对降尘收集效果更有效。

综上所述,从收集的降尘粒度的角度考虑,湿法是最理想的降尘收集方法,除此之外,减速法也可作为一种较为理想的降尘收集方法。

2.4 平均风速与降尘量

由不同降尘收集方法的降尘量和粒度特征可知,湿法和减速法是比较理想的降尘收集方法,所以此处仅讨论各观测时段平均风速与湿法和减速法收集的降尘量之间的关系。图2为湿法、减速法与平均风速、 $>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的平均风速的关系。从中可以看出,无论是平均风速还是 $>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的平均风速,降尘量总体表现为随风速的增加而增加。

降尘在运动过程中,受风速影响较大。小颗粒的尘埃物质在风速较小时,降落到地表,但在风速较大时,随风运动;地表大颗粒的物质在小风速时静止不动,但在大风速时,会脱离地表进入较高的位置,所以随着风速增加,降尘量也相应增加。平均风速, $>5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的平均风速与湿法、减速法收集的降尘量之间可以用指数函数表示:

$$W = a + b \exp(-x/c) \quad (1)$$

式中,W 为降尘量(g),x 为风速($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$),a、b、c

为拟合系数(表5)。

2.5 不同方法之间的转换关系

不同的降尘收集方法,所收集的降尘量不同,已

有研究表明,不同的降尘收集方法之间可以互相转换^[4]。图3为干法、过滤网、过滤网+玻璃球法、减速沿法与湿法收集的降尘量之间的关系。从中可以

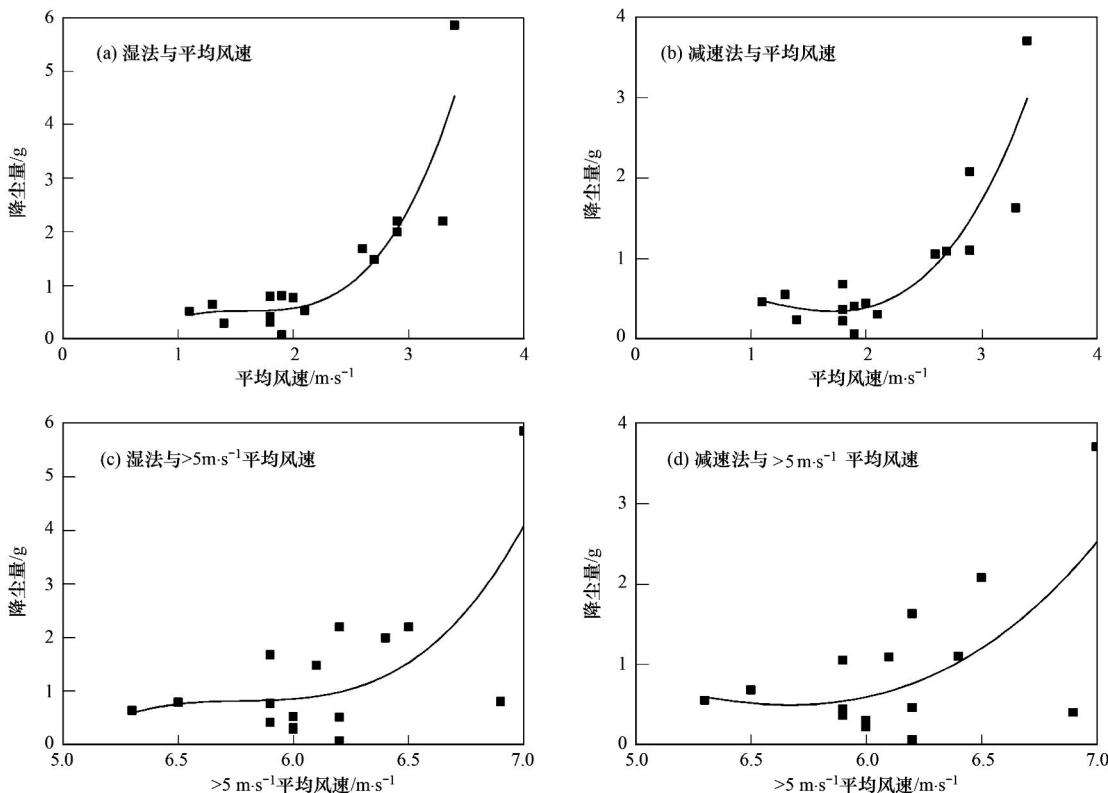


图2 降尘量与平均风速和 $>5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 平均风速之间的关系

Fig. 2 Relations between dust deposition and averaged wind speed, averaged larger than $5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ wind speed

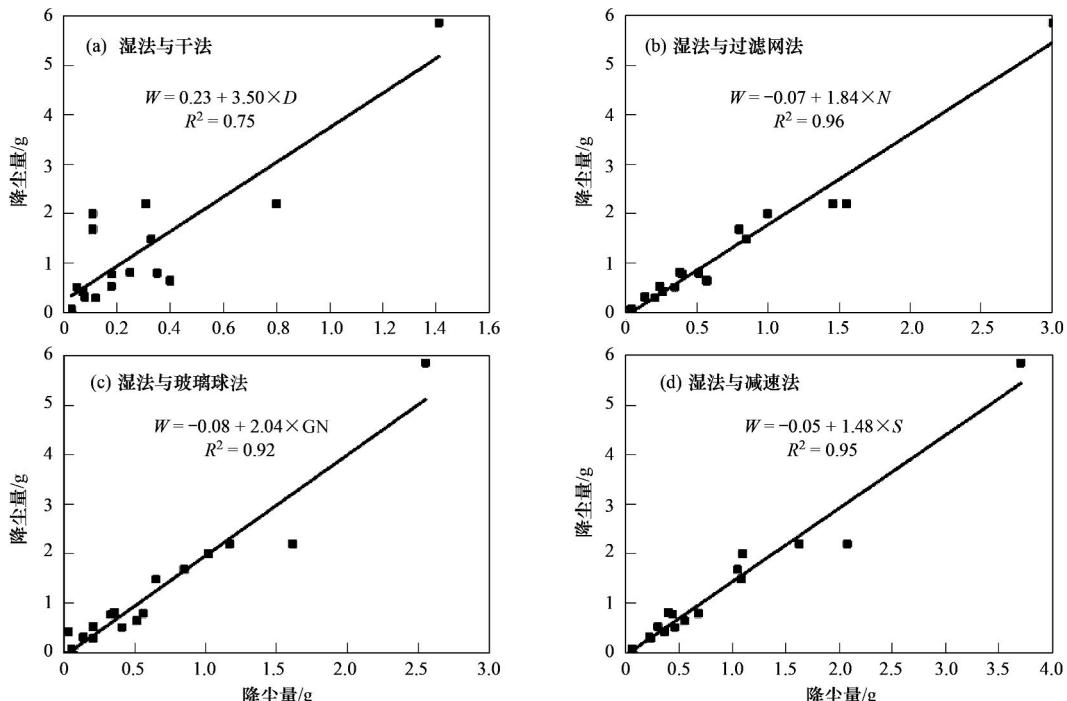


图3 干法、过滤网、过滤网+玻璃球法、减速沿法与湿法收集的降尘量之间的关系

Fig. 3 Relations between dry, net, net + glass, slow speed methods and wet method

表 5 降尘量与平均风速拟合公式的系数

Table 5 Coefficients of the fitting equation on dust deposition and averaged wind speed

类型	项目	a	b	c	R^2
平均风速	湿法	0.442	0.002	-0.449	0.83
	减速法	0.273	0.004	-0.525	0.82
>5 m·s ⁻¹ 的平均风速	湿法	0.661	3.339	-0.337	0.51
	减速法	0.410	2.413	-0.437	0.42

看出,除干法与湿法的关系较差外,其余3种方法与湿法的关系较好, $R^2 > 0.90$.

3 讨论

降尘的水平通量、粒度的重量、空气湍流、降尘的再悬移以及“尘影”这5个要素均可影响降尘的收集效率^[21]. 当降尘缸布置在空气中时,对于运动气流来说,其是一个障碍物,影响了空气中气流的运动. 野外和风洞实验表明,障碍物的下风向能够产生一个降尘相对低的区域(尘影区,dust shadow),这个尘影区的大小和位置决定了降尘缸收集降尘的多少^[23,37,38]. 图4为降尘缸对周围气流的影响示意图. 图4(a)为水平气流经过降尘缸垂直断面时的流场图;图4(b)为垂直气流经过降尘缸垂直断面时的流场图,从中可以看出,气流在降尘缸顶部形成高速运动的压缩气流,这样导致含沙尘的气流沿降尘缸顶部输送,而无法降落在降尘缸内. 同时,在降尘缸顶部迎风测,垂直气流在此形成一个高速区,气流的方向向上,高速区的范围可以延伸到降尘缸顶部的1/4位置[图4(b)]. 由此可见,对于降尘缸来说,在不同的风速情况下,降尘缸收集的沙尘物质不同,在无风时,收集到的是在重力作用下降落的悬移物质,而在有风时,空气中沙尘物质随风漂移,无法降落在降尘缸内.

风速影响降尘缸的效率,一般认为,降尘缸收集效率随风速增大而减小^[21,22],风速影响降尘缸效率的原因在于风速导致降尘缸内尘埃的二次运动和在降尘缸周围形成“尘影”^[21]. 降尘缸的效率与风速之间存在一定的关系:对于USGS和倒置飞碟的降尘缸,风速与降尘缸效率可以用6次多项式来表示^[21,23],但对于MDCO降尘缸,其与风速的关系比较复杂,主要是由于MDCO降尘缸为长方体,因此,在研究风速与降尘缸效率时,必须考虑降尘缸布置方向与风向的关系^[21]. 以往关于降尘缸效率与风速之间关系的研究,主要依赖于风洞实验,风洞实验是理想的状态,风速和沙尘传输量均可控,但在野外自然状态,风速和沙尘传输量是不确定的. 所以风洞的

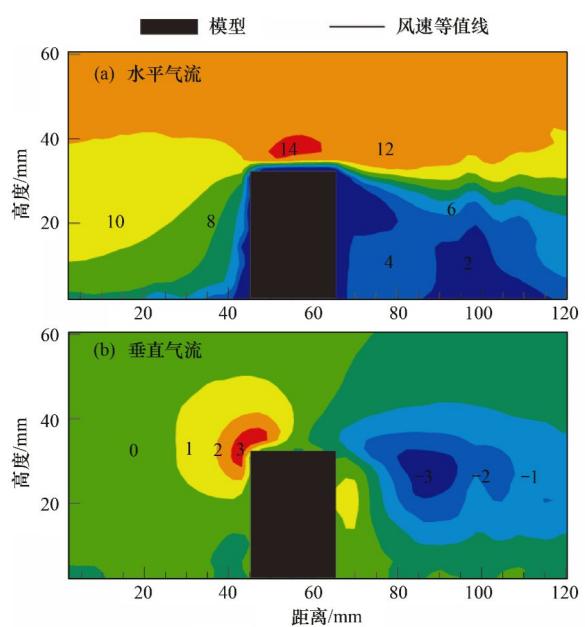


图4 水平和垂直气流经过降尘缸垂直断面时的流场图

Fig. 4 Air flow around dust deposition gauge

实验结果不一定能与野外相吻合. 降尘量随平均风速的增加而增加(图2),这主要是由于平均风速越大,瞬时风速也可能越大,地表跃移沙粒脱离地表的几率越大,降尘缸内收集到得粗颗粒物质越多,所以降尘量越大,反之亦然. 图5为降尘缸效率与平均风速相关图,从中可以看出,对于不同的降尘收集方法,降尘效率随平均风速增加而变化的趋势相似. 平均风速<2.5 m·s⁻¹时,降尘效率随平均风速增加而降低的幅度比较明显;但在平均风速>2.5 m·s⁻¹时,降尘效率与平均风速无明显规律. 造成这种现象的原因可能是,在平均风速较小时,随着风速的增加,空气中的尘埃物质极易受风速的影响而随风运动,从而降低了降尘缸的收集效率;但在平均风速较大时,地表的粗颗粒物质容易进入更高的位置,从而影响降尘效率.

粒度影响降尘缸的效率,对于相同的降尘缸,细颗粒的收集效率要大于粗颗粒^[21],这可能还是由于“尘影”大小的原因造成的^[37]. Hall等^[24]的研究表明,降尘缸内的尘埃只有在风速达到一定程度时,会发生二次运动. 对于倒置的飞碟降尘缸,在风速达到5 m·s⁻¹、粒径<100 μm时,降尘缸内的尘埃才开始二次运动;但Sow等^[21]在2006年发现,在风速为5 m·s⁻¹时,相同的降尘缸内的尘埃并没有发生二次运动. 因此,目前,对降尘缸内尘埃的起动研究还存在一定的争议. 不同的降尘缸和降尘收集方法,降尘的粒度大小不同,总的表现为,随风速的增加,

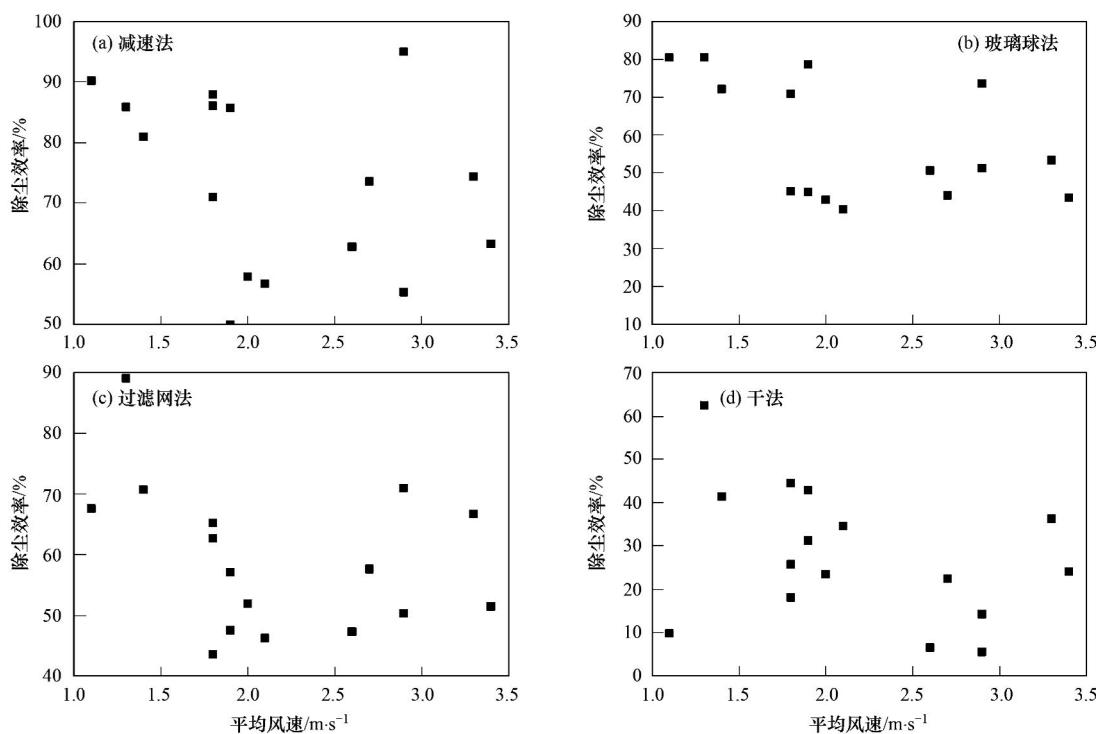


图 5 降尘效率与平均风速

Fig. 5 Relationship between dust deposition gauge efficiency and averaged wind speed

中值粒径减小，在风速较小时，粒径减小幅度较大，其原因还是由于存在“尘影”^[23]。湿法收集的降尘粒度要比其他方法细^[17]。在本研究中，湿法收集的降尘粒度最小，这与前人的研究结果相似^[17]。风速 $< 12.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时，增加减速沿对降尘缸效率的影响是积极的^[21, 26]。

增加玻璃球对降尘效率的影响还存在争议，一些研究结果表明，在风速 $< 5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时，玻璃球并没有增加降尘收集效率，但在大于起沙风速时 (deflation threshold)，可能会增加降尘缸的收集效率^[21]；但也有研究表明，玻璃球能增加降尘缸的收集效率^[23]。本研究表明，虽然增加玻璃球(同时安装过滤网)能够增加降尘缸的收集效率，但其还不是比较理想的收集方法。在降尘缸内安装过滤网的同时安装玻璃球，其并不能明显的提高降尘缸的效率，这有可能是由于安装了过滤网和玻璃球后，降尘缸内部的收集高度降低，发生了尘埃的二次运动。由此可见，降尘缸的高度也是影响降尘缸收集效率的一个原因。

Goossens 等^[22]对 6 种不同降尘收集方法和 2 种理论计算方法进行了讨论，发现直接在地表进行降尘收集效果最好，其次为 MDCO 和倒置飞碟的方法；指出所有的观测方法都有优点和缺点，至于采

用哪一种降尘缸，主要依赖于研究目的和环境；同时，对不同降尘缸的观测结果要进行转化，这样才具有可比性。Breuning-Madsena 等^[17]研究表明，湿法(降尘缸内为水)可以作为一种收集区域所有沉积物的方法，湿法的降尘缸内的降尘量要比其他方法收集的多，同时湿法所收集的沉积物的粒度要比其他方法的细。我国西北干旱区，由于人烟稀少，在进行野外长期降尘观测中，采用湿法收集降尘还存在一定的难度，所以，通过对不同降尘收集方法的对比，寻求一种较为理想的降尘收集方法，为准确评价区域的降尘量提供依据。

4 结论

(1) 不同降尘收集方法收集的降尘量不同：干法收集的降尘量仅占湿法的 5% ~ 62%；减速法仅占湿法的 50% ~ 95%；过滤网法仅占湿法的 43% ~ 89%；玻璃球 + 过滤网法仅占湿法的 40% ~ 80%。

(2) 不同降尘收集方法所收集的降尘物质粒度特征不同：湿法收集的降尘粒度最细，其它依次为减速法、玻璃球 + 过滤网法、过滤网法和干法。

(3) 风速明显影响降尘效率：平均风速 $< 2.5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 时，降尘效率随平均风速增加而降低；但在平

均风速 $>2.5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 时,降尘效率与平均风速之间无明显规律。平均风速、 $>5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的平均风速与湿法、减速法收集的降尘量之间可以用指数函数表示。

(4)不同降尘收集方法之间可以相互转化:干法、过滤网、过滤网+玻璃球法、减速沿法与湿法收集的降尘量之间为线性相关。

(5)减速法能够作为一种替代湿法进行收集降尘的方法。

参考文献:

- [1] 关欣,李巧云,文倩,等.南疆西部降尘对土壤性质的影响[J].土壤,2000,32(4):178-182.
- [2] 孙东怀,苏瑞侠,陈发虎,等.黄土高原现代天然降尘的组成、通量和磁化率[J].地理学报,2001,56(2):171-180.
- [3] 樊恒文,肖洪浪,段争虎,等.中国沙漠地区降尘特征与影响因素分析[J].中国沙漠,2002,22(6):559-565.
- [4] 钱广强,董治宝.大气降尘收集方法及相关问题研究[J].中国沙漠,2004,24(6):779-782.
- [5] 赵丹丹,关欣,李巧云,等.新疆和田降尘的时空分布与影响因子[J].新疆农业大学学报,2005,28(2):14-17.
- [6] 刘蔚,王涛.我国沙尘暴变化及降尘特征研究[J].干旱区资源与环境,2004,18(1):26-32.
- [7] 李晋昌,董治宝,王训明.中国北方东部地区春季降尘量及其环境意义[J].中国沙漠,2008,28(2):195-201.
- [8] 张锦春,赵明,方峨天,等.民勤沙尘源区近地面降尘特征研究[J].环境科学研究,2008,21(3):17-21.
- [9] 张正偲,董治宝,赵爱国.腾格里沙漠东南部近地层沙尘水平通量和降尘量随高度的变化特征[J].环境科学研究,2010,23(2):165-169.
- [10] 田世丽,夏敦胜,余晔,等.西北地区河谷城市大气降尘环境磁学特征及其环境意义[J].环境科学,2011,32(9):2761-2768.
- [11] 潘月鹏,王跃思,杨勇杰,等.区域大气颗粒物干沉降采集及金属元素分析方法[J].环境科学,2010,31(3):123-130.
- [12] Ta W Q, Xiao H L, Qu J J, et al. Measurements of dust deposition in Gansu Province, China, 1986-2000 [J]. Geomorphology, 2004, 57(1-2): 41-51.
- [13] Gillette D A, Fryrear D W, Xiao J B, et al. Large-scale variability of wind erosion mass flux rates at Owens Lake: Part 1. Vertical profiles of horizontal mass fluxes of wind-eroded particles with diameter greater than $50\mu\text{m}$ [J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(D22): 25977-25987.
- [14] Mc Tainsh G H, Nickling W G, Lynch A W. Dust deposition and particle size in Mali, West Africa[J]. Catena, 1997, 29(3-4): 307-322.
- [15] Singer A, Ganor E, Dultz S, et al. Dust deposition over the Dead Sea[J]. Journal of Arid Environments, 2003, 53(1): 41-59.
- [16] Offer Z Y, Goossens D. Thirteen years of aeolian dust dynamics in a desert region (Negev desert, Israel): analysis of horizontal and vertical dust flux, vertical dust distribution and dust grain size[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 57(1): 117-140.
- [17] Breuning-Madsen H, Awadzi T W. Harmattan dust deposition and particle size in Ghana[J]. Catena, 2005, 63(1): 23-38.
- [18] Cattle S R, McTainsh G H, Elias S. Aeolian dust deposition rates, particle-sizes and contributions to soils along a transect in semi-arid New South Wales, Australia [J]. Sedimentology, 2009, 56(3): 765-783.
- [19] Liu D W, Abduwaili J, Lei J Q, et al. Deposition rate and chemical composition of the aeolian dust from a bare saline playa, Eebinur Lake, Xinjiang, China [J]. Water, Air and Soil Pollution, 2011, 218(1-4): 175-184.
- [20] GB/T 15265-94, 环境空气 降尘的测定重量法[S].
- [21] Sow M, Goossens D, Rajot J L. Calibration of the MDCO dust collector and of four versions of the inverted Frisbee dust deposition sampler[J]. Geomorphology, 2006, 82(3-4): 360-375.
- [22] Goossens D, Offer Z Y. Wind tunnel and field calibration of six aeolian dust samplers[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34(7): 1043-1057.
- [23] Goossens D. Wind tunnel calibration of the USGS dust deposition sampler: sampling efficiency and grain size correction [J]. Aeolian Research, 2010, 2(2-3): 159-170.
- [24] Hall D J, Upton S L. A wind tunnel study of the particle collection efficiency of an inverted Frisbee used as a dust collector [J]. Atmospheric Environment, 1988, 22(7): 1383-1394.
- [25] 邹万年.大气降尘收集方法比较[J].环境监测与管理技术,1989,1(3):41-42.
- [26] Wiggs G F S, Leys J, McTainsh G H, et al. A wind tunnel study of the collection efficiency of an aerodynamically improved 'Frisbee' dust trap [A]. Proc. ICAR5/GCETE-SEN Joint Conference [C], Int. Center for Arid and Semiarid Land Studies, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA, 2002, 133-141.
- [27] Reheis M C, Kihl R. Dust deposition in southern Nevada and California, 1984-1989: relations to climate, source area, and source lithology [J]. Journal of Geophysical Research, 1995, 100(D5): 8893-8918.
- [28] Reheis M C. A 16-year record of eolian dust in southern Nevada and California, USA: controls on dust generation and accumulation[J]. Journal of Arid Environments, 2006, 67(3): 487-520.
- [29] Ganor E. Atmospheric dust in Israel-Sedimentological and Meteorological Analysis of Dust Deposition[D]. Israel: Hebrew University of Jerusalem, 1975.
- [30] 王赞红,夏正楷.北京2002年3月20~21日尘暴过程的降尘量与降尘粒度特征[J].第四纪研究,2004,24(1):95-99.
- [31] Qiang M R, Chen F H, Zhou A F, et al. Impacts of wind velocity on sand and dust deposition during dust storm as inferred from a series of observations in the northeastern Qinghai-Tibetan

- Plateau, China[J]. Powder Technology, 2007, **175**(2): 82-89.
- [32] O'Hara S L, Clarke M L, Elatash M S. Field measurements of desert dust deposition in Libya[J]. Atmospheric Environment, 2006, **40**(21): 3881-3897.
- [33] Marx S K, McGowan H A. Dust transportation and deposition in a superhumid environment, West Coast, South Island, New Zealand[J]. Catena, 2005, **59**(2): 147-171.
- [34] Hagen L J, Van Pelt S, Zobeck T M, et al. Dust deposition near an eroding source field [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2007, **32**(2): 281-289.
- [35] Krumbein W C. Size frequency distributions of sediments and the normal phi curve[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1938, **8**(8): 84-90.
- [36] Folk R L, Ward W C. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters[J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1957, **27**(1): 3-26.
- [37] Goossens D. Aeolian deposition of dust over hills: the effect of dust grain size on the deposition pattern [J]. Earth Surface Processes and Landforms, 2006, **31**(6): 762-776.
- [38] Goossens D, Offer Z Y. Eolian deposition of dust over symmetrical hills: an evaluation of wind tunnel data by means of terrain measurements [J]. Zeitschrift Für Geomorphologie, 1993, **37**(1): 103-111.

《环境科学》再获“百种中国杰出学术期刊”称号

2012年12月7日,中国科技论文统计结果发布会在北京举行,会议公布了“百种中国杰出学术期刊”获奖名单。《环境科学》连续11次荣获“百种中国杰出学术期刊”称号。“百种中国杰出学术期刊”是根据中国科技学术期刊综合评价指标体系进行评定。该体系利用总被引频次、影响因子、基金论文比、他引总引比等多个文献计量学指标进行统计分析,对期刊分学科进行评比,其评价结果客观公正,为我国科技界公认,并具有广泛影响。

CONTENTS

Characterization of Chemical Compositions in PM _{2.5} and Its Impact on Hazy Weather During 16 th Asian Games in Guangzhou	TAO Jun, CHAI Fa-he, GAO Jian, et al. (409)
PM _{2.5} Pollution and Aerosol Optical Properties in Fog and Haze Days During Autumn and Winter in Beijing Area	ZHAO Xiu-juan, PU Wei-wei, MENG Wei, et al. (416)
Forming Potential of Secondary Organic Aerosols and Sources Apportionment of VOCs in Autumn of Shanghai, China	WANG Qian, CHEN Chang-hong, WANG Hong-li, et al. (424)
Study on Number Concentration Distribution of Atmospheric Ultrafine Particles in Hangzhou	XIE Xiao-fang, SUN Zai, FU Zhi-min, et al. (434)
Pollution Characteristics and Source Identification of Atmospheric Particulate Matters <i>n</i> -Alkanes in Baoding City	LI Jing-ru, DU Xi-qiang, WANG Ying-feng, et al. (441)
Study on Pollution Characteristics of Carbonaceous Aerosols in Xi'an City During the Spring Festival	ZHOU Bian-hong, ZHANG Cheng-zhong, WANG Ge-hui (448)
Characteristics of PM ₁₀ and PM _{2.5} Concentrations in Mountain Background Region of East China	SU Bin-bin, LIU Xin-dong, TAO Jun (455)
Assessment of TVOC and Odor in the Remediation Site of Contaminated Soil and Groundwater Using Electronic Nose	TIAN Xiu-ying, CAI Qiang, LIU Rui, et al. (462)
Characteristics of Mercury Exchange Flux Between Soil and Atmosphere Under the Snow Retention and Snow Melting Control	ZHANG Gang, WANG Ning, AI Jian-chao, et al. (468)
Study on Heavy Metal Contaminations and the Sources of Pb Pollution in Jinghai Bay Using the Stable Isotope Technique	XU Lin-bo, GAO Qin-feng, DONG Shuang-lin, et al. (476)
Eco-environmental Evolution Inferred from <i>n</i> -Alkanes and δ ¹³ C Records in the Sediments of Shijiu Lake	OU Jie, WANG Yan-hua, YANG Hao, et al. (484)
Distribution of PGEs Contents and Its Factors in Snowfall and Snow Cover over the Arid Region in Changji City	LIU Yu-yan, LIU Hao-feng, ZHANG Lan (494)
Effect of Dust Deposition Collection Methods on Collection Efficiency	ZHANG Zheng-cai, DONG Zhi-bao (499)
Regionalization of the Freshwater Eco-regions in the Haihe River Basin of China	SUN Ran-hao, JI Yu-he, SHANG Lin-yuan, et al. (509)
Characteristics of Diffuse Attenuation Coefficient of Underwater Irradiance in the Lakes in the Middle and Lower Reaches of Yangtze River	SHI Zhi-qiang, ZHANG Yun-lin, WANG Ming-zhu, et al. (517)
Study on Influencing Factors and Universality of Chlorophyll-a Retrieval Model in Inland Water Body	HUANG Chang-chun, LI Yun-mei, XU Liang-jiang, et al. (525)
Effect of Dissolved Oxygen on Diversity of Ammonia-Oxidizing Microorganisms in Enrichment Culture from Estuarine Wetland Surface Sediments and Ammonia-oxidizing Rate	QIU Zhao-zheng, LUO Zhuan-xi, ZHAO Yan-ling, et al. (532)
Spatial Variation of Soil Moisture/Salinity and the Relationship with Vegetation Under Natural Conditions in Yancheng Coastal Wetland	ZHANG Hua-bing, LIU Hong-yu, LI Yu-feng, et al. (540)
Spatial Heterogeneity and Classified Control of Agricultural Non-Point Source Pollution in Huaihe River Basin	ZHOU Liang, XU Jian-gang, SUN Dong-qi, et al. (547)
Phosphorus Output Characteristics Under Different Rainfall-Runoffs in Gaolan River	CUI Yu-jie, LIU De-fu, SONG Lin-xu, et al. (555)
Monitoring and Analysis on Evolution Process of Rainfall Runoff Water Quality in Urban Area	DONG Wen, LI Huai-en, LI Jia-ke (561)
Characteristics and Contribution of the Strengthening Units of Composite Constructed Wetland for Treating Urban Sewage	REN Feng, LU Yi-xia, LIU Qin, et al. (570)
Inactivation of <i>Mycobacteria mucogenicum</i> in Drinking Water; Chlorine Resistance and Mechanism Analysis	ZHENG Qi, CHEN Chao, ZHANG Xiao-jian, et al. (576)
Partial Biological Characteristics and Algicidal Activity of an Algicidal Bacterium	LI San-hua, ZHANG Qi-ya (583)
Effects of Macrophytes Pyrolysis Bio-oil on <i>Skeletonema costatum</i> Antioxidant Enzyme Activities	YAO Yuan, LI Feng-min, LI Yuan-yuan, et al. (589)
Mechanism and Kinetics of Phenol Degradation by TiO ₂ Photocatalytic Combined Technologies	ZHANG Yi, HUANG Ruo-nan, WANG Xiao-min, et al. (596)
Biodegradation Characteristics of Organic Pollutants Contained in Tannery Wastewater	WANG Yong, LI Wei-guang, YANG Li, et al. (604)
Microbial Degradation Mechanism of Disperse Azo Dye Red 30 by <i>Streptomyces</i> sp. FX645	XIE Lian-wu, FANG Ji-qian, GUO Ya-ping (611)
Study on Preparation and Performance of a Biological Carrier with Tourmaline	YANG Ji-xian, ZENG Hong-yun, ZHOU Yi, et al. (616)
Study on the <i>Chlorella pyrenoidosa</i> Cultivation Technology Based on the Excess Sludge Utilization	JI Wen-wen, XIA Hui-long, FANG Zhi-guo, et al. (622)
Effects of Mild Thermal Pretreatment on Anaerobic Digestibility of Sludge with Low Organic Content	CHEN Han-long, YAN Yuan-yuan, HE Qun-biao, et al. (629)
Effect of Natural and Hydrothermal Synthetic Goethite on the Release of Methane in the Anaerobic Decomposition Process of Organic Matter	YAO Dun-fan, CHEN Tian-hu, WANG Jin, et al. (635)
Concentrations and Distribution Characteristics of PCDD/Fs in Spent Etching Solution and Its Copper Salt Recycling Products	QING Xian, HAN Jing-lei, WEN Yan-shen (642)
Case Study on Health Risk Assessment Based on Site-Specific Conceptual Model	ZHONG Mao-sheng, JIANG Lin, YAO Jue-jun, et al. (647)
Study on the Risk Assessment Method of Regional Groundwater Pollution	YANG Yan, YU Yun-jiang, WANG Zong-qing, et al. (653)
Groundwater Organic Pollution Source Identification Technology System Research and Application	WANG Xiao-hong, WEI Jia-hua, CHENG Zhi-neng, et al. (662)
Study on Soil Organic Carbon Pools and Turnover Characteristics Along an Elevation Gradient in Qilian Mountain	ZHU Ling-yu, PAN Jian-jun, ZHANG Wei (668)
Response of Black Soil Organic Carbon, Nitrogen and Its Availability to Long-term Fertilization	LUO Kun, HU Rong-gui, ZHANG Wen-ju, et al. (676)
Phytoavailability and Chemical Speciation of Cadmium in Different Cd-Contaminated Soils with Crop Root Return	ZHANG Jing, YU Ling-ling, XIN Shu-zhen, et al. (685)
Study on Mechanism of SOM Stabilization of Paddy Soils Under Long-term Fertilizations	LUO Lu, ZHOU Ping, TONG Cheng-li, et al. (692)
Aging Process of Cr(Ⅲ) in 22 Typical Soils of China and Influence Factors Analysis	ZHENG Shun-an, ZHENG Xiang-qun, LI Xiao-chen, et al. (698)
Residual Characteristics of HCHs in Soils of a Former Lindane Production Enterprise	PAN Feng, WANG Li-li, ZHAO Hao, et al. (705)
Evaluation and Source Analysis of the Mercury Pollution in Soils and Vegetables Around a Large-scale Zinc Smelting Plant	LIU Fang, WANG Shu-xiao, WU Qing-ru, et al. (712)
Residue of Organic Fluorine Pollutants in Hair and Nails Collected from Tianjin	YAO Dan, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, et al. (718)
Analysis of Estrogens, Nonylphenol, 4-tert-Octylphenol and Bisphenol A in the Sediments	WU Wei, SHI Jiang-hong, CHEN Qing-cai, et al. (724)
Investigation of As, Cu and Zn Species and Concentrations in Animal Feeds	YAO Li-xian, HUANG Lian-xi, JIANG Zong-yong, et al. (732)
Residue Dynamics of Flubendiamide in Paddy Field	WANG Dian-dian, SONG Ning-hui, WU Wen-zhu, et al. (740)
Isolation of Two Endophytic Phenanthrene-Degrading Strains and Their Degradation Capacity	NI Xue, LIU Juan, GAO Yan-zheng, et al. (746)
Biodegradation of Nitrobenzene by a Halophilic <i>Myroides odoratissimus</i> Strain Y6	LI Tian, QIAN Kun, XIAO Wei, et al. (753)
Effect of Immobilization on Biosensor for Benzene Derivates Detection	TANG Kuo, MA An-zhou, YU Qing, et al. (760)
Investigation of Bacterial Diversity in the Biological Desulfurization Reactor for Treating High Salinity Wastewater by the 16S rDNA Cloning Method	LIU Wei-guo, LIANG Cun-zhen, YANG Jin-sheng, et al. (767)
Assessment of the Effect of Influent NH ₄ ⁺ -N Concentration on the Abundance and Community Structure of Functional Bacteria in CANON Process	LIU Tao, LI Dong, ZENG Hui-ping, et al. (773)
Biodegradation of Lignocellulose by <i>Penicillium simplicissimum</i> and Characters of Lignocellulolytic Enzymes	SHEN Ying, HU Tian-jue, ZENG Guang-ming, et al. (781)
Microbial Community Structure and Distribution Characteristics in Oil Contaminated Soil	YANG Meng-qing, LI Li-ming, LI Chuan, et al. (789)
Degradation of Oxytetracycline in Chicken Feces Aerobic-Composting and Its Effects on Their Related Parameters	WANG Gui-zhen, LI Zhao-jun, ZHANG Shu-qing, et al. (795)
Research of Moisture Content Variation in MSW Landfill	LI Rui, LIU Jian-guo, XUE Yu-wei, et al. (804)
Anaerobic Digestion of Lignocellulosic Biomass with Animal Digestion Mechanisms	WU Hao, ZHANG Pan-yue, GUO Jian-bin, et al. (810)

《环境科学》第6届编辑委员会

主编：欧阳自远

副主编：赵景柱 郝吉明 田刚

编委：(按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田刚 田静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄霞
黄耀 鲍强 潘纲 潘涛 魏复盛

环 环 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2013年2月15日 34卷 第2期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 34 No. 2 Feb. 15, 2013

主 管	中国科学院	Superintended by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华 大学 环 境 学院	Co-Sponsored by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远 编 辑 《环境科学》编辑委员会 北京市 2871 信箱(海淀区双清路 18号,邮政编码:100085) 电话:010-62941102,010-62849343 传真:010-62849343 E-mail:hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn	Editor-in -Chief Edited by	OUYANG Zi-yuan The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871 , Beijing 100085 , China Tel:010-62941102 , 010-62849343 ; Fax:010-62849343 E-mail:hjkx@rcees.ac.cn http://www.hjkx.ac.cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail:journal@mail.sciencep.com	Distributed by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail:journal@mail.sciencep.com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京 399 信箱)	Foreign	China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国 内 定 价: 90.00 元

国外发行代号: M 205

国 内 外 公 开 发 行