

文章编号:1003-7578(2003)01-054-06

# 大气降尘监测研究

王赞红

(北京大学城市与环境学系 北京 100871)

**摘要:** 大气粉尘降落是地球表层地—气系统物质交换的一种形式,降尘过程有重要的环境指征意义。在沙尘暴事件发生频繁、生态环境质量日益得到关注的今天,大气降尘的研究更为重要。目前国内外的降尘监测方法各异,根据降尘取样器内有无存水可将监测大致分为干法和湿法两种。据笔者的监测结果,干法取样量为湿法取样量的76%。干法、湿法各模拟一定的自然降尘过程,但两者皆有缺陷。建议统一大气降尘取样器的材质和规格,标定取样周期,提高监测数据精度,并组成全球陆域和海域降尘监测网络。

**关键词:** 大气降尘,监测方法,干法与湿法,监测网络

中图分类号:X831

文献标识码:A

大气降尘是指自然降落于地面的空气颗粒物,其粒径多在 $10\mu\text{m}$ 以上。计量指标单位为一定时间内单位面积上地表沉降物质的量,表示为 $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}\text{d}^{-1}$ 或 $\text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{m}^{-1}$ 。大气粉尘自然沉降量的监测是开展较早的大气污染物例行监测项目。随着北方沙尘天气频率和危害程度的增加,大气降尘的研究日益得到重视<sup>[1]</sup>。现有的大气降尘监测水平能否适应当前研究趋势、是否需要做适当调整与改进,将是本文试图探讨的内容。

## 1 大气降尘的环境指示意义

从地球系统角度出发,地表起尘和大气降尘是地壳表层与大气圈之间物质交换的过程之一,该过程从地质历史时期以来一直延续至今。地壳表层物质较细颗粒随气流上升、悬浮、运移,构成大气气溶胶组分,最终在地球重力场作用下降落至地表(陆地和海洋)。据气溶胶观测研究,全球四大尘暴中心之一的中亚干旱半干旱地区每年向大气中释放约800Tg的沙尘物质,其中约有50%被输往遥远的北太平洋地区,30%沉降在中国沙漠,20%沉降在黄土高原及我国东部地区<sup>[2]</sup>。目前对大气气溶胶粉尘的观测进行得较充分。开展了气溶胶粉尘颗粒的浓度、成分以及颗粒物对太阳辐射的影响等方面研究,据此可确定大气尘对气候变化的贡献率。然而,对大气粉尘的地面排放源强和地表沉降量的监测数据缺乏,无法进一步探讨地气系统物质交换的机制、数量及其在全球变化中的作用。相对而言,固体粒子被风从地面吹起的过程极其复杂,在气流现场直接测定起尘量难度很大。而测定大气降尘则相对容易许多。通过收集降尘可进行物质的成分分析,判断颗粒粒子的来源,为确定起尘源区提供有效信息。因此,大气降尘的监测对研究全球气候及环境变化的意义重大。

第四纪以来,大气圈西风环流加强和东亚季风环流的建立,使我国北方大部分地区不同程度地接受了大量气携粉尘沉积,形成巨厚黄土地层。风积黄土堆积序列较完整地记录了最近240万年来的环境变化信息<sup>[3]</sup>。自然风积过程今天仍在进行,现代大气降尘是古代大气降尘过程的延续。虽研究认识到中国西北部沙尘向东部搬运和沉积不只限于沙尘暴一种形式,也不限于春季<sup>[2]</sup>。但对该过程机制的更详尽探

三方数据

\* 收稿日期:2001-10-21;修改稿:2002-04-09

作者简介:王赞红(1967~),女,讲师,北京大学城市与环境系在读博士研究生,主要从事第四纪环境及演变研究。

讨需要建立在风尘搬运和沉积作用的数量化认识基础上。系统监测大气降尘有助于探讨黄土堆积及其演变过程。

大气降尘颗粒中的不同成分对地表系统产生不同影响，并被认为是地表生态系统中营养元素的重要输入来源。研究表明，降尘从大气中消除部分  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  离子，及  $\text{Pb}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{Zn}$  等重金属，将其带入土壤或水域<sup>[4]</sup>，引起土壤酸化及其他反应，导致地表生态系统变化<sup>[5]</sup>。有研究表明欧洲南部高山湖泊没有向北部湖泊一样发生酸化的原因，可能归功于大气降尘的影响<sup>[6]</sup>。

## 2 大气降尘监测状况简述

历史文献表明，早在 3000 年<sup>[7]</sup>前我国就有大气降尘的记录。如“黄雾四塞”、“天雨黄砂”等描述字句。根据文献的降尘记录可以绘制出古代降尘地域分布图<sup>[8]</sup>。虽然这些记录没有数量规范，但是能提供大气降尘的长期空间分布与变化状况，是难得的宝贵资料。作为空气污染物因子的大气降尘测量始于 20 世纪初，各国环境保护部门纷纷采用气溶胶取样方式监测悬浮于空中的细粉尘颗粒，用容器承接法获取大气中靠重力自然降落的较粗粉尘颗粒。有些国家制定了本区域的降尘环境标准<sup>[9]</sup>（表 1）。

表 1 一些国家制定的降尘标准（据 H. W. Vallack<sup>[9]</sup>）

Tab. 1 The standard of aerolion dust in some countries

地 点	时间单位	降尘量标准 ( $\text{mg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ )
Argentina	年平均	333
Canada Alberta	年平均	180
Canada Ontario	月平均	200
Finland	年平均	333
Spain	年平均	200
U. S. A kentucky	年平均	196
U. S. A Mississippi	月平均	175

大气降尘包括干降尘和湿降尘。干降尘形式包括自然灰尘和尘暴。湿降尘则为降雨、雪雹等形式从大气中清洗下来的粉尘。其中，对湿沉降的研究开展的较多，可获得较可靠的精度<sup>[10]</sup>。1994 年美国开展了一项全国降尘计划/国土范围降尘趋势网络(NADP/NTN)的研究工作，在研究区布置了 280 个监测点，对大气湿降尘进行了长期监测。欧洲一些国家(如英国、意大利)也对本区域的大气湿沉降进行了网络监测。

在一些粉尘主要源区的盛行下风向也开展了一些大气干降尘的监测<sup>[11][12]</sup>。但基于各自研究目的不同，这些监测为期时间短，采样布点上局限性很大。

由于沉降方式的复杂性增加了大气降尘野外监测的难度。目前总的来说干沉降过程的研究明显弱于湿沉降，对大气粉尘干沉降的认识是不充分的<sup>[4][10]</sup>。

我国大气降尘的例行监测由环保部门完成，是大气环境质量监测项目之一。1986 年国家环保局制定环境监测技术规范(第二册)大气和废气部分中明确规定降尘量为必测项目。由于我国地域辽阔，自然和人文条件差异显著，降尘量的区域性变化较大，因此没有统一的国家标准。国家环保局《环境质量报告书编写技术规定》中建议降尘量的评价标准是，秦岭淮河以北城市在当地清洁点实测值的基础上增加  $7 \text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{m}^{-1}$ ，以南城市则增加  $3 \text{t} \cdot \text{km}^{-2} \cdot \text{m}^{-1}$ 。

随着对沙尘现象研究的深入，对尘暴粒子采样分析的研究增多。搜集尘暴期间大气粉尘、对其进行成分分析是近年来尘暴研究较普遍的做法<sup>[13]</sup>。但这些研究都以气溶胶采样器作为取样手段，获得的样品并不是降落于地表的粉尘。也有少数研究专门对我国中西部干旱地区大气干降尘进行监测<sup>[14][15][16]</sup>，但是这些监测数据短期行为(不超过 1—2 年)，所获得的数据不能代表长期状况。

总之，大气降尘监测未形成网络化、长期化，关于降尘的系统数据缺乏。

### 3 大气降尘监测的方法

所谓大气降尘监测,就是确定大气中自然降落的粉尘的数量及成分。监测方法包括:取样器(包含取样介质)的选择、取样地点的布置、取样周期制定以及样品处理方式等。

#### 3.1 取样器选择

自然界中大气降尘堆积的发生地貌多为围合形态的低地、粗糙度大的平地及被风向坡地等。用模拟自然地貌条件的容器接取大气中降落的粉尘是普遍的监测做法,但容器规格和材质的选择差别很大。基本要求是取样器容积固定、内壁光滑。例如我国环境监测站采用玻璃或塑料材质、底部平整、内壁光滑的容器做集尘缸,规格一般为内径 15cm,高 30cm。放置于距地面 5—12m 的建筑物,距取样平台 1—1.5m。取样周期为 30 天,并保持集尘缸内有水。此方法监测限为  $0.2t \cdot km^{-2} \cdot 30d^{-1}$ <sup>[17]</sup>。

国外环保监测部门使用方法与我国类似,英国规定标准集尘器是具金属网盖的玻璃漏斗下直接连接集尘瓶<sup>[17]</sup>。

Evyatar Erell<sup>[18]</sup>在研究以色列内盖夫沙漠北缘地区的降尘时,使用内径 22cm 的浅底圆碟型塑料容器搜集样品; Tomas Nihlen<sup>[19]</sup>在地中海克利特岛监测来自撒哈拉沙漠降尘,设计了专门的降尘取样器采集干、湿降尘。该采样器为一内径 30cm 的有网盖塑料漏斗,网盖孔密度为  $3 \times 3mm$ ,漏斗底部由 1.8m 的塑料管连接一 20~50l 的容器。

#### 3.2 取样介质

取样器的围合形状可以捕获一定量的粉尘,但不能保证降尘不被再次吹扬。因此为固定粉尘可在取样器内添加能粘滞粉尘的介质。取样介质通常为水,也有使用丙三醇试剂<sup>[12]</sup>。我国环保部门皆采用水作为降尘取样介质。G. H. McTainsh<sup>[12]</sup>, Evyatar Erell<sup>[18]</sup>, Diek Goossens<sup>[20]</sup>在取样器底部铺放一至两层直径为 12cm 或 16cm 的玻璃球帮助固定降尘。这种放置玻璃球的做法被认为简单、廉价而在国外较常用<sup>[20]</sup>。

在我国北方干旱半干旱地区的风沙降尘研究中,因蒸发量大,多采用空容器直接搜集法获得大气降尘量。师育新<sup>[14]</sup>等研究兰州尘暴降尘时直接在建筑物上搜集黄色粉砂进行分析。孙东怀<sup>[15]</sup>等研究黄土高原天然降尘使用深度为 15cm 的内空的塑料箱。肖洪浪<sup>[16]</sup>等研究腾格里沙漠南缘降尘采用尘埃收集箱、集尘桶、集尘仪。其集尘仪为漏斗式垂直型容器,进尘口直径为 25cm。

根据上述取样介质可将大气降尘监测大致分为干法和湿法。显而易见水液体能捕获任何与之接触的粉尘颗粒,用水或其他试剂作为取样介质(湿法)所搜集的降尘量大于其他介质(干法)。笔者在北京大学逸夫楼顶平台设立大气降尘取样点,用 1000ml 烧杯作取样器,4 个烧杯用空气介质,4 个用水介质,

表 2 降尘监测干法与湿法取样量比较

Tab. 2 Comparison of aerolian dust samples by dry method and moisture method

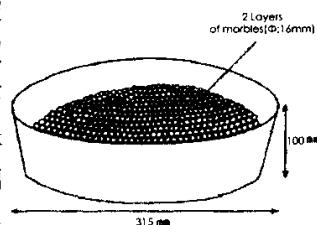


图 1 铺放玻璃球做介质的取样器  
(据 Dirk Goossens<sup>[20]</sup>)

进行干法、湿法取样量对比,平均值如下表。结果表明取样期间干法取样量平均是湿法的 76%。另据 G. H. Ma Tainsh 研究结果,干法沉降量是湿法的 64%<sup>[12]</sup>。

### 3.3 取样点布置

环保部门进行监测的取样点布置依据区域环境功能区划,分别在工业区、商业区、居民区及近郊区、清洁对照区布点。取样器安放在距取样平台 1.5m 处。其他专项研究则根据各自的研究目的选择区域布点。具体地点多设置在建筑物顶。如 Evyatar Erell<sup>[18]</sup>在研究城市(以色列)Be'er—Sheva 降尘时,选定城内四个建筑物,在距地面 3.5—45m 不同高度分别固定取样器;并在距研究城市 13Km 和 27Km 处的空地设定两个取样器作为自然降尘对照点。Tomas Nihlen<sup>[11]</sup>在其研究区(希腊)Crete 岛屿选择 6 个当地气象站点,分别设置取样器。孙东怀<sup>[15]</sup>等按黄土高原现代气候场的最大剃度线,由西北到东南选择 7 个点,每个点都远离城市及人口密集区,取样器安装在高约 8—12m 的建筑物顶。肖洪浪<sup>[16]</sup>等所研究的降尘监测区位于腾格里沙漠东南缘沙坡头无灌溉人工植被固沙带内,沿沙丘 NE—SE 走向布置 20 个降尘采集仪,相邻采集仪之间最大高差 9.2m,最大水平间距 120m。

### 3.4 取样周期

除环境监测的取样周期为 30 天,并且长年监测外,其他相关研究取样周期皆属短期。

Evyatar Erell<sup>[18]</sup>在研究以色列内盖夫沙漠北缘地区的降尘时进行降尘总量、降尘颗粒物粒度分布、化学及矿物成分分析,取样期限在春季、夏季和秋季各为一个月,尘暴期间单独取样。取样时间期限为 6 年,每年 2 月和 6 月搜集样品。孙东怀<sup>[15]</sup>等研究黄土高原天然降尘时,其中从西北至东南方向的 5 个点取样时间以季节为单位,西部 2 个点以月为准。取样时间期限为 1 年。笔者在北大做大气降尘监测时以周(7d)为取样周期,后为了与当地气象资料配合周期改为 10d。

### 3.5 样品处理

用水冲洗容器内收集的粉尘物质,浊液转入蒸发皿;湿法取样的样品直接转入蒸发皿,再用水反复冲洗容器。蒸发皿入烘箱烘干,称重。处理后的粉尘干样品再用于其他分析。由于研究目的不同,烘干样品的温度有很大差异。环保部门使用烘箱温度为 105℃,烘干时间 2 小时<sup>[17]</sup>恒重。而有的研究则采用其他温度范围和时间。如因要对样品做磁化率测定,孙东怀<sup>[15]</sup>等收集的黄土高原降尘样品处理温度为 40℃。在降尘数量较小情况下,烘干温度差异可能造成误差加大。

## 4 相关问题

大气中的粉尘颗粒物降落于地表,或者被植物、地形、水体等适宜环境条件捕获而沉积下来,并为上层降尘所覆盖;或者在风力作用下被再次吹扬起来;或者被流水等携带至他处。粉尘降与否、降多少都受自然环境因子的综合影响。现行的大气降尘监测方法是否能反映真实的降尘过程?干法取样模拟的是围合形态的微地貌特征,湿法取样模拟的是水面降尘特征。两种方法都不能绝对代表自然界真实状况。应该说,大气降尘监测只是用于发现、了解降尘变化和发展趋势的一种手段。虽然现有方法不能真正演示降尘状况,但如果能把下述问题解决好,监测的数据还是能为我们提供大气降尘的相关变化特征和规律。

### 4.1 数据的比较与统一

目前有关大气降尘的监测方法虽然大体上可分为干法和湿法两类,但具体到取样器规格和材质、取样介质、取样周期以及样品处理等方面差异很大。因此数据的可比性差。除了干法和湿法取样量存在明显差异外,同样的取样介质也可能造成误差。如湿法中水的体积与容器体积比例不同是否会造成所捕获降尘量的差异?在干法取样中有的加入一至两层玻璃球帮助固定粉尘<sup>[12][18][20]</sup>,与空容器取样相比这样做会造成降尘量的增加。但增加差量的数据目前还没有。虽然环保部门统一采用水介质的湿法取样,但其取样周期为月(30d),无法满足分辨率更高的降尘研究。有的专项研究中可以对取样周期加密,但其他取样因子<sup>又不一致</sup>。建议统一大气降尘监测方法,确定取样器规格与材质、取样介质、取样周期和样品前期处理方式。在无法采取相同取样方法的地方,应进一步测算不同取样因子造成的降尘量差异,制

定换算标准,便于数据的应用和比较。

#### 4.2 干降尘和湿降尘的监测

干降尘是在重力作用下自然沉降的大气粉尘颗粒物,通常粒径较粗。湿降尘是被降水、降雪等过程从大气中清除下来的粉尘,含有较多细粒物质。干、湿降尘的粒度分布、化学成分等特性不同,采用干法取样期间如遇降水过程,取得的样品就是干沉降和湿沉降的混合。实际监测中往往不注意区分干湿过程。样品处理方法中更无法将其分开。混合干、湿降尘模糊了对两种降尘机制的认识。在降尘监测中应该对其加以区分。

建议在取样期间加入降水过程的单独监测。降水初始即打开专门的大气降水取样器,关闭干沉降监测取样器。降水结束时反之。分别处理样品以获得干、湿降尘的不同数据。

#### 4.3 大气降尘监测的网络化和长期化

降尘作为地气交换形式存在着时间和空间上的变化。降尘量的季节变化最明显。就我国北方而言,冬末春初降尘量最大,夏季最小。降尘的年际和更长时间尺度的变化决定于气候波动。空间上,通常在干旱、半干旱地区降尘量较湿润区大;城市、工矿区较偏远清洁对照区大。降尘的这种非均匀性要求建立全球或大尺度区域大气降尘监测网络,在更大的时间、空间尺度上连续进行监测,获得更加系统的数据。在某些时段、某些地点还应对监测过程进行加密。如北京地区,春季一个月降尘量就可占全年的30%<sup>[21]</sup>。需要有足够精确的监测时段来反映这种突变过程。

目前各级环保部门能够进行大气降尘监测网络化和长期化活动。此外,应配合各种气象台站的网络基础,增强降尘监测的力度。同时,在降尘较频繁的区域和时间段上加密取样网点和周期,提高降尘监测的分辨率。

### 参考文献

- [1] 中国科学院地学部. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策[J]. 地球科学进展, 2000, 15(4): 361~364
- [2] 张小曳. 亚洲粉尘的源区分布、释放、输送、沉降与黄土堆积[J]. 第四纪研究, 2001, 21(1): 29~40
- [3] 刘东生等. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 303~348
- [4] Walter Ruijgrok, Cliff I. Davidson, Ken W. Nicholson. Dry deposition of particles[J]. Tellus, 1995, 47B: 587~601
- [5] 张金良, 于志刚, 张经. 大气的干湿沉降及其对海洋的影响[J]. 海洋环境科学, 1999, 18(1): 70~76
- [6] Psenner R. Living in a dusty world: Airborne Dust as a Key Factor for Alpine Lakes[J]. Water Air and Soil Pollution[J], 1999, 112 (3~4), 217~227
- [7] 王嘉荫. 中国地质史料[M]. 北京: 科学出版社, 1963. 110~117
- [8] 张德二. 我国历史时期以来降尘的天气气候学初步分析[J]. 中国科学, 1984, (3): 278~287
- [9] H. W. Vallack, D. E. Shillito, Suggested Guidelines For Deposited Ambient Dust[J]. Atmospheric Environment[J], 1998, Vol. 32, No. 16, 2737~2744
- [10] Jan Willem Erisman, Claus Beier, Geert Draaijers et al, Review of Deposition Monitoring Methods[J]. Tellus, 1994, 46B, 79~93
- [11] Tomas Nihlen, Jano Mattsson, Anders Rapp. Monitoring of Saharan Dust Fallout on Crete and Its Contribution to Soil Formation [J]. Tellus, 1995, 47B, 365~374
- [12] G. H. MaTainsh, W. G. Nickling, A. W. Lynch. Dust Deposition and Particale Size in Mali, West Africa[J]. Catena, 1997, 29, 307~322
- [13] 庄国顺, 郭敬华, 袁蕙. 2000 年我国沙尘暴的组成、来源、粒径分布及其对全球环境的影响[J]. 科学通报, 2001, Vol. 46, No. 3, 191~197
- [14] 师育新, 戴雪荣, 李节通, 等. 兰州“930505”特大尘暴沉积物特征研究[J]. 沉积学报, 1995, 13(3): 76~82
- [15] 孙东怀, 苏瑞霞, 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
- [16] 肖洪浪, 张继贤, 李金贵. 腾格里沙漠东南缘降尘粒度特征和沉积速率[J]. 中国沙漠, 1997, 17(2): 127~132
- [17] 吴鹏鸣. 环境空气监测质量保证手册[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1989. 115~116
- [18] Evyatar Erell, Haim Tsoar. Spatial variations in the Aeolian deposition of dust—the effect of a city: a case study in Be'er—Sheva, Isreal[J]. Atmospheric Environment, 1999, 33: 4049~4055
- [19] Tomas Nihlen, Jano. Mattsson, Anders Rapp, et al. Monitoring of Saharan dust fallout on Crete and its contribution to soil formation [J]. Tellus, 1995, 47B: 365~374
- [20] Diek Goosens, Zvi Y. Offer. Wind Tunnel and Field Calibration of Six Aeolian Dust Samplers. Atmospheric Environment [J].

2000, 34, 1043—1057

[21] 贺大良. 北京地区风沙活动的监测. 中国沙漠[J]. 1992, Vol. 12, No. 2, 27—33

# The Research on the Aerolian Dust Deposition Monitoring

WANG Zan-hong

(Urban and Environment Department of Peking University, 100871)

## Abstract

Aeolian dust deposition is one of the main processes for the exchange between atmosphere and earth—surface, which indicates important environmental information. But now the monitoring of Aeolian dust deposition is insufficient for relating research. Based on current monitoring procedure, the methods to measure dust deposition could be classified into tow: dry and wet way, according to different sampling medium. Compared on the monitor results carried on the flat roof of Yifu2 # building in Peking university, sampling amount by dry way is 76% of the wet way. Any way by vessel, no matter dry or wet, could not simulate natural dust deposit completely. Therefore the data should be rectified grounding on the regional geography. Establishing the monitoring network for Aeolian dust deposition is discussed at the end of this paper.

**Key Words:** Aeolian dust deposition, monitoring, dry and wet way, network