

Regulatory Function of Forest on PM<sub>2.5</sub> and Other  
Particulate Matters & Related Technology

# 森林对PM<sub>2.5</sub>等颗粒物的 调控功能与技术

余新晓 张志强 夏新莉 等 著  
王彦辉 王小平 伦小秀



科学出版社

# 森林对 PM<sub>2.5</sub> 等颗粒物的 调控功能与技术

余新晓 张志强 夏新莉 等 著  
王彦辉 王小平 伦小秀



科学出版社

## 内 容 简 介

本书介绍了森林对  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的调控功能监测,探索树木阻滞吸收  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物生理生态机理,比较典型树种阻滞吸收  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的功能差异,分析与评价森林调控  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的功能,提出了增强森林滞留  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的能力调控技术,集成了森林对  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的调控技术模式并开展示范。上述研究成果为系统认识森林防霾治污功能和城市森林营建提供了重要的理论和技术依据,对于更好地发挥森林这一人类“绿色穹顶”的作用具有重要意义。

本书可供环境科学、生态学、林业生态工程等领域的科研人员、研究生、实验技术人员及生态环境建设工作参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

森林对  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的调控功能与技术/余新晓等著. —北京:科学出版社, 2017.11

ISBN 978-7-03-055042-2

I. ①森… II. ①余… III. ①森林—影响—可吸入颗粒物—调控措施—研究 IV. ①S718.5 ②X513

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 264312 号

责任编辑:朱 丽 杨新改 / 责任校对:韩 杨

责任印制:张 伟 / 封面设计:铭轩堂

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2017 年 11 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2018 年 1 月第二次印刷 印张: 21 3/4

字数: 430 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

# 《森林对 PM<sub>2.5</sub> 等颗粒物的调控功能与技术》

主要参编人员（以姓氏汉语拼音为序）：

|     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 宝 乐 | 陈俊刚 | 樊登星 | 甘先华 | 贾国栋 |
| 伦小秀 | 史 宇 | 王 成 | 王小平 | 王效科 |
| 王彦辉 | 王玉杰 | 夏新莉 | 徐晓梧 | 尹伟伦 |
| 余新晓 | 张振明 | 张志强 |     |     |

## 序

近年来我国大部分地区都遭遇了严重的灰霾天气，这些污染事件对公众的正常生产生活造成了严重的影响。灰霾天气主要表现为以大气颗粒物为主的复合型污染特征。目前，对于灰霾污染中国科研人员在大颗粒物排放源、大气颗粒物污染形成机制、大气颗粒物形成的气候、健康及生态效应和防控技术方面都取得了诸多突破性的进展，这为大气颗粒物防治措施的制定和完善提供了一定的科学依据。

生态措施对于大气颗粒物污染的防治是近年来中国科学家关注的焦点，森林作为地球生态系统的重要组成部分，在防治大气颗粒物污染方面发挥了重要作用，是人类可以依赖的绿色穹顶。近年来众多科研院所对森林植被调控大气颗粒物的机制进行了多方面的研究，目前可以肯定的是森林植被能够发挥一定的调控大气颗粒物的作用。北京林业大学余新晓教授团队揭示了森林植被对  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的四种调控机制，这为后续开展相关研究奠定了良好的基础。

该系列著作汇集了国内众多相关领域研究团队的研究成果，内容和数据翔实，科学严谨地阐明了森林调控大气颗粒物的方法、技术和应用，这为认识森林与大气污染之间的关系又提供了一个全新视角。本书着力于统筹不同城市群、城区与郊区，依托监测点和生态站数据，系统全面分析了森林对  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的生态调控机制，提出不同代表区域有效治理  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的适宜树种，在生态系统尺度上定量分析和评价森林阻滞吸收  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的功能，确定森林影响下  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的时空分布特征，最终完成森林对  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的理论调控技术集成模式研究，并基于上述研究理论进行了示范区建设。

2016年11月国务院制定印发了《“十三五”生态环境保护规划》，进一步明确了生态环境保护工作的发展方向。随着目前森林应对大气污染研究的深入，可喜的是相关研究成果已在各类国际高质量期刊上发表，这对于促进相关领域的科学研究交流和增强人们对于森林在防霾治污方面的认识具有重要影响。在绿色发展规划的指导下，新形势下林业建设要充分发挥林业资源在国民经济建设中的作用。该系列著作的出版对于我国生态环境保护、城市森林建设、景观规划等生态

建设领域都会发挥一定的积极指导作用。为此，特向环境科学、生态学、林业生态工程等领域的科研人员、研究生、实验技术人员及生态环境建设工作者推荐这套目前国内系统阐述森林与大气颗粒物污染的专业参考书。

中国工程院院士

A stylized handwritten signature in black ink, consisting of three characters: '李', '文', and '华'.

2017年5月

# 前 言

近年来中国频繁遭遇大范围的雾霾天气,2013年以来,全国338个地级以上城市中,有265个城市环境空气质量超标,占78.4%。其中,京津冀地区13个地级以上城市达标天数比例在32.9%~82.3%之间,平均只有52.4%。 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物已经成为全社会和人民群众关注的焦点,有效调控和消除 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物是急需解决的重大环境问题。

2016年,北京市 $\text{PM}_{2.5}$ 平均浓度较2013年下降18.4%。森林作为生态系统的主体,在防霾治污方面有其独特不可替代的作用,为了厘清森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的调控作用,国家林业局于2013年1月适时应急启动了国家林业公益性行业科研专项经费项目“森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的调控功能与技术研究”。该项目由北京林业大学负责,联合中国林业科学研究院、中国科学院生态环境研究中心、中国环境监测总站、北京市农林科学院、北京市园林绿化局、广东省林业科学研究院等单位的100余名研究人员协同开展项目研究工作。

历时4年多的艰苦攻关,研究团队取得了一系列原创性的成果,并整理编撰成本著作。本书构建了首都圈森林大气环境监测网络,揭示和评价了森林调控 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的机理和功能,筛选了具有防霾治污功能的适宜树种,提出了针对城市典型区域高效滞尘的森林优化配置技术,集成了城市森林调控 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的技术体系并开展示范。上述研究成果为系统认识森林防霾治污功能和城市森林营建提供了重要的理论和技术依据,对于更好地发挥森林这一人类“绿色穹顶”的作用具有重要意义。

目前,北京的各类公园、自然保护区、百万亩平原造林工程、京津风沙源治理工程和“三北”防护林工程所形成的林带,都对北京市的雾霾防护起到一定的作用。因此,植树造林,营造树种多样、结构多样的大中型森林,能更有效地对北京市的整个生态环境和雾霾起到调控作用。同时在首都副中心和雄安新区林业建设中要考虑城市绿地对空气颗粒物的防污作用,合理规划,体现生态优先,打造优美生态环境,促进大气与土壤、水污染协同治理,为打造绿色、森林、智慧、水城一体的新区和京津冀生态环境支撑区提供有力保障。

本书内容由六个部分组成:第1章介绍森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的调控功能监测;第2章介绍树木阻滞吸收 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的机理及生理生态调控;第3章介



绍典型树种阻滞吸收  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的功能差异研究；第 4 章介绍森林调控  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的功能分析与评价；第 5 章介绍增强森林滞留  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的能力调控技术研究；第 6 章介绍森林对  $\text{PM}_{2.5}$  等颗粒物的调控技术集成模式研究。

本书第 1 章由北京林业大学、中国科学院生态环境研究中心组织编写；第 2 和 3 章由北京林业大学组织编写；第 4 章由北京林业大学、中国科学院生态环境研究中心、中国环境监测总站组织编写；第 5 章由中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所、中国林业科学研究院林业研究所、北京林业大学组织编写；第 6 章由北京市园林绿化局、广东省林业科学研究院组织编写。全书由北京林业大学余新晓教授、伦小秀副教授负责统稿，宝乐博士、陈俊刚博士、徐晓梧博士也参与部分统稿工作。

本书由林业公益性行业科研专项（201304301）资助出版。同时本书获得了国家林业局科学技术司和北京林业大学的大力支持，得到了李文华院士和尹伟伦院士的指导。特此感谢！

余新晓

2017 年 4 月





# 目 录

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 第 1 章 森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的调控功能监测 .....                                                        | 1  |
| 1.1 森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的调控功能监测方法 .....                                                        | 1  |
| 1.1.1 森林环境空气颗粒物浓度监测点布设方法 .....                                                                       | 1  |
| 1.1.2 森林空气颗粒物浓度监测方法 .....                                                                            | 3  |
| 1.1.3 森林空气气象监测 .....                                                                                 | 6  |
| 1.1.4 森林植被结构监测 .....                                                                                 | 7  |
| 1.1.5 数据管理 .....                                                                                     | 8  |
| 1.2 城市森林环境空气质量监测网络 .....                                                                             | 9  |
| 1.2.1 蟒山森林公园监测试验基地 .....                                                                             | 9  |
| 1.2.2 生态中心监测试验基地 .....                                                                               | 10 |
| 1.2.3 教学植物园监测试验基地 .....                                                                              | 10 |
| 1.2.4 大兴采育监测试验基地 .....                                                                               | 11 |
| 1.3 树木吸附阻滞颗粒物分析方法 .....                                                                              | 12 |
| 1.3.1 树木吸附阻滞颗粒物测定方法 .....                                                                            | 13 |
| 1.3.2 叶表颗粒物形貌特征分析方法 .....                                                                            | 14 |
| 1.3.3 颗粒物化学成分测定方法 .....                                                                              | 16 |
| 1.4 树木吸附阻滞颗粒物分析方法的验证与应用 .....                                                                        | 17 |
| 1.4.1 叶表颗粒物形貌特征与数量密度分析 .....                                                                         | 17 |
| 1.4.2 细颗粒物中水溶性离子浓度分析 .....                                                                           | 23 |
| 1.4.3 细颗粒物中无机元素含量分析 .....                                                                            | 26 |
| 第 2 章 树木阻滞吸收 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的机理及生理生态调控 .....                                                  | 29 |
| 2.1 树木叶片颗粒物特征 .....                                                                                  | 29 |
| 2.1.1 研究方法 .....                                                                                     | 29 |
| 2.1.2 夏季植物叶片吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 特征分析 .....                                                          | 31 |
| 2.1.3 秋季植物叶片吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 特征分析 .....                                                          | 36 |
| 2.1.4 夏秋两树木叶片吸附颗粒物对比分析 .....                                                                         | 39 |
| 2.2 林木吸收无机盐等离子体的组织适应性及吸收代谢变化 .....                                                                   | 43 |
| 2.2.1 应用 $^{15}\text{N}$ 示踪法进行叶片涂抹模拟实验研究毛白杨和欧美杨<br>叶片对 $\text{PM}_{2.5}$ 中 $\text{NH}_4^+$ 的吸收 ..... | 43 |

|       |                                                                            |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.2 | 欧美杨对 $\text{PM}_{2.5}$ 无机成分 $\text{NH}_4^+$ 和 $\text{NO}_3^-$ 的吸收与分配 ..... | 49  |
| 2.3   | 林木吸收多环芳烃的组织适应性及吸收代谢变化 .....                                                | 58  |
| 2.3.1 | 实验材料与方法 .....                                                              | 60  |
| 2.3.2 | 结果与分析 .....                                                                | 61  |
| 2.3.3 | 讨论 .....                                                                   | 65  |
| 2.3.4 | 小结 .....                                                                   | 67  |
| 2.4   | 林木吸收重金属的组织适应性及吸收代谢变化 .....                                                 | 67  |
| 2.4.1 | 研究背景 .....                                                                 | 67  |
| 2.4.2 | 实验材料与方法 .....                                                              | 68  |
| 2.4.3 | 实验结果 .....                                                                 | 69  |
| 2.4.4 | 讨论 .....                                                                   | 74  |
| 第 3 章 | 典型树种阻滞吸收 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的功能差异研究 .....                               | 77  |
| 3.1   | 污染物浓度对典型树种吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的影响研究 .....                             | 77  |
| 3.1.1 | 北京市区域植被对颗粒物的削减量 .....                                                      | 77  |
| 3.1.2 | 城市森林公园对交通干道两侧大气颗粒物影响的梯度特征 .....                                            | 81  |
| 3.2   | 气象条件对典型树种吸附 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的影响研究 .....                              | 83  |
| 3.2.1 | 北京地区冬春季节 $\text{PM}_{2.5}$ 和 $\text{PM}_{10}$ 污染水平时空分布及其<br>与气象条件的关系 ..... | 83  |
| 3.2.2 | 城市干道防护林带内外大气颗粒物变化及其对气象因素的<br>响应 .....                                      | 88  |
| 3.3   | 典型树种不同生长发育阶段吸附与阻滞 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物动态 .....                           | 98  |
| 3.3.1 | 单位面积叶片滞尘量 .....                                                            | 98  |
| 3.3.2 | 单株树木滞尘量 .....                                                              | 99  |
| 3.3.3 | 单位土地面积树木滞尘量 .....                                                          | 100 |
| 3.4   | 典型树种吸附与阻滞 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的综合评价 .....                                | 101 |
| 3.4.1 | 北京市不同树种吸附阻滞 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物评价 .....                                 | 101 |
| 3.4.2 | 重庆市不同树种吸附阻滞 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物评价 .....                                 | 104 |
| 3.4.3 | 广州市不同树种吸附阻滞 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物评价 .....                                 | 114 |
| 第 4 章 | 森林调控 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的功能分析与评价 .....                                  | 119 |
| 4.1   | 典型森林植被对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的调控 .....                                    | 119 |
| 4.1.1 | 不同季节林带对颗粒物浓度的削减作用 .....                                                    | 119 |
| 4.1.2 | 不同空气质量等级林带对颗粒物浓度的削减作用 .....                                                | 121 |
| 4.1.3 | 林带削减颗粒物浓度有效宽度的确定 .....                                                     | 122 |
| 4.2   | 典型森林植被对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的吸附作用 .....                                  | 123 |

|       |                                                             |     |
|-------|-------------------------------------------------------------|-----|
| 4.2.1 | 北京市常见绿化树种滞尘量分析 .....                                        | 123 |
| 4.2.2 | 北京公园滞尘特点研究 .....                                            | 126 |
| 4.3   | 植物不同器官对颗粒物的吸附分析 .....                                       | 130 |
| 4.3.1 | 植物枝条对不同粒径颗粒物的吸附分析 .....                                     | 130 |
| 4.3.2 | 树皮表面对不同粒径颗粒物的吸附分析 .....                                     | 136 |
| 4.3.3 | 叶片表面对不同粒径颗粒物的吸附效果分析 .....                                   | 145 |
| 4.4   | 降雨和风对叶表颗粒物的影响 .....                                         | 151 |
| 4.4.1 | 降雨对叶表不同粒径颗粒物的影响 .....                                       | 154 |
| 4.4.2 | 风对叶表不同粒径颗粒物的影响 .....                                        | 163 |
| 4.4.3 | 风雨共同作用对叶表不同粒径颗粒物的影响 .....                                   | 169 |
| 第 5 章 | 增强森林滞留 $PM_{2.5}$ 等颗粒物的能力调控技术研究 .....                       | 173 |
| 5.1   | 城市污染环境下的滞尘健康树种选择 .....                                      | 173 |
| 5.1.1 | 不同树种滞留 $PM_{2.5}$ 等颗粒污染物能力的多尺度比较 .....                      | 173 |
| 5.1.2 | 不同城市污染环境下植物叶片滞留 $PM_{2.5}$ 等颗粒物的能力 .....                    | 177 |
| 5.1.3 | 不同城市污染环境下滞尘健康树种的选择 .....                                    | 181 |
| 5.2   | 廊道型林木降低 $PM_{2.5}$ 危害的优化结构与管理技术 .....                       | 187 |
| 5.2.1 | 研究方法与研究过程 .....                                             | 187 |
| 5.2.2 | 林带结构对林内大气颗粒物净化率的影响 .....                                    | 192 |
| 5.2.3 | 基于林带结构的增强滞留大气颗粒物能力的调控技术 .....                               | 194 |
| 5.2.4 | 道路防护绿带减缓空气颗粒污染模式设计 .....                                    | 198 |
| 5.3   | 斑块型景观生态林降低 $PM_{2.5}$ 危害的优化配置与结构管理技术 .....                  | 205 |
| 5.3.1 | 研究方法与研究过程 .....                                             | 205 |
| 5.3.2 | 城市公园内绿地斑块阻滞颗粒物作用分析 .....                                    | 207 |
| 5.3.3 | 基于增强型绿地斑块滞留大气颗粒物的结构优化 .....                                 | 228 |
| 5.4   | 社区绿地散生林木降低 $PM_{2.5}$ 危害的合理结构与管理技术 .....                    | 230 |
| 5.4.1 | 社区绿地散生林木代表性树种滞留 $PM_{2.5}$ 能力的研究 .....                      | 230 |
| 5.4.2 | 社区绿地散生林木增强滞留 $PM_{2.5}$ 等颗粒物能力的树种<br>配置技术模式 .....           | 231 |
| 5.5   | 提高现有林木调控 $PM_{2.5}$ 功能的合理结构与综合管理技术 .....                    | 235 |
| 5.5.1 | 增强交通绿化带滞留 $PM_{2.5}$ 等颗粒物能力的树种选择和<br>结构模式——以安立路为例 .....     | 235 |
| 5.5.2 | 公园绿地增强滞留 $PM_{2.5}$ 等颗粒物能力的树种选择及结构<br>模式——以奥林匹克森林公园为例 ..... | 237 |
| 第 6 章 | 森林对 $PM_{2.5}$ 等颗粒物的调控技术集成模式研究 .....                        | 240 |

|       |                                              |     |
|-------|----------------------------------------------|-----|
| 6.1   | 北京地区森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物调控技术集成 .....   | 240 |
| 6.1.1 | 点形绿地 .....                                   | 240 |
| 6.1.2 | 线形绿地 .....                                   | 244 |
| 6.1.3 | 面形绿地 .....                                   | 249 |
| 6.2   | 北京地区森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 调控技术模式示范 .....     | 254 |
| 6.2.1 | 技术模式示范 .....                                 | 254 |
| 6.2.2 | 新建示范区提质改造 .....                              | 257 |
| 6.2.3 | 成熟示范区调控 $\text{PM}_{2.5}$ 效果评价 .....         | 257 |
| 6.3   | 广州地区森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物调控技术集成 .....   | 267 |
| 6.3.1 | 社区绿地植物对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物调控 .....       | 267 |
| 6.3.2 | 公园绿地对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物调控 .....         | 270 |
| 6.3.3 | 道路交通绿地对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物调控 .....       | 273 |
| 6.3.4 | 城市绿地对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物调控技术优良配置模式 ..... | 276 |
| 6.3.5 | 城市绿地对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物调控技术集成模式 .....   | 302 |
| 6.4   | 广州地区试验示范林营建与推广应用 .....                       | 302 |
| 6.4.1 | 试验示范林营建 .....                                | 302 |
| 6.4.2 | 推广应用 .....                                   | 311 |
|       | 参考文献 .....                                   | 313 |

# 第 1 章 森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的 调控功能监测

## 1.1 森林对 $\text{PM}_{2.5}$ 等颗粒物的调控功能监测方法

### 1.1.1 森林环境空气颗粒物浓度监测点布设方法

#### 1.1.1.1 点状型森林空气颗粒物浓度监测点布设

##### (1) 点状型森林空气颗粒物浓度监测点水平布设

对于点状型森林覆盖区域，监测点位置选择要能够反映整个森林区域的空气颗粒物浓度的总体变化趋势，能够体现出森林内颗粒物浓度与空旷区域的变化差异性。森林覆盖区域内，在水平尺度上布设监测仪器，监测同一高度水平（一般为 1.5m，正常人的呼吸高度）颗粒物浓度变化状况与规律。一般在森林覆盖区域的东、西、南、北、中五个方位各布设一个监测点（如图 1-1 所示），在此基础上可以根据试验、科研、调查目的不同，适当在各个方位之间进行加密布设监测点。对于点状型森林监测点，应在林内和林外至少设置两个监测点，以进行林内外环境空气颗粒物浓度的对比。对于林外布设的监测点，应选择在不受森林影响范围之外的区域，四周应是空旷的区域，尽量避免受到周围污染源以及人为活动的影响，还要保证大气污染物能够通畅地扩散。监测仪器布设高度一般为 1.5m，这是一般正常人的呼吸高度，监测此高度颗粒物浓度变化能够为人们身体健康提供理论指导。

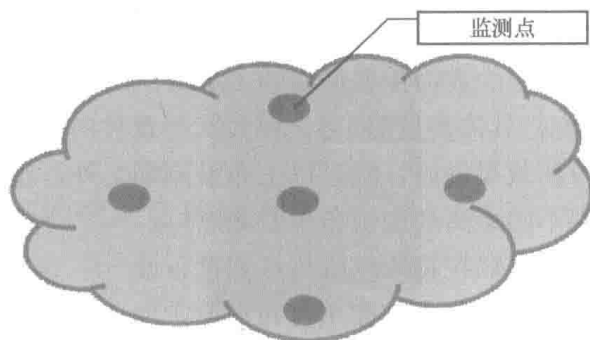


图 1-1 点状型森林空气颗粒物浓度监测点布设示意图

## (2) 点状型森林空气颗粒物浓度监测点垂直布设

点状型森林空气颗粒物浓度监测垂直布设是在森林内不同高度分层布设监测仪器，监测点要根据不同林龄树高，合理设定分层高度。一般在枝下高处、树冠中央处和树冠上方 2m 处布设监测点，在此基础之上也可以根据实际监测需求和研究任务进行加密高度分层布设，具体如图 1-2 所示。点状型森林空气颗粒物浓度垂直布设监测点一般布设在森林中央位置，如果要比较森林不同位置处颗粒物浓度不同高度变化差异，可以在不同位置布设垂直监测点。垂直监测点处，如果森林内已有观测塔，则可以选择在观测塔上布设监测仪器。如果没有观测塔，可以加工临时性的支架来达到监测要求，支架底座要牢固。

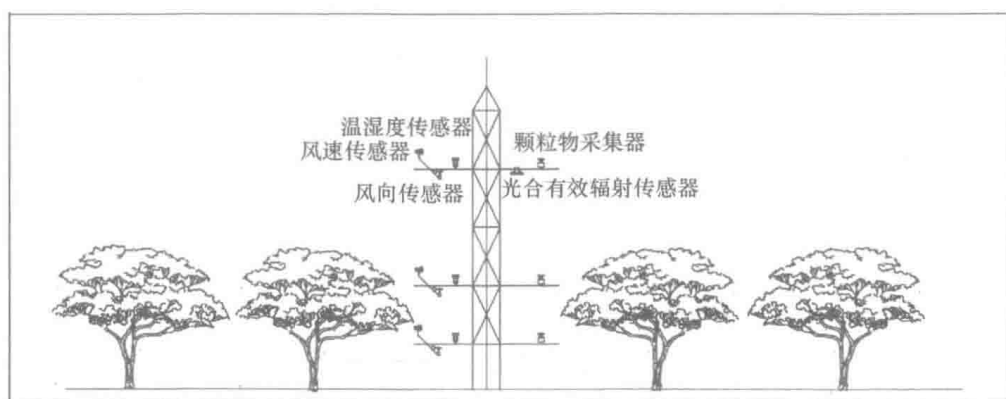


图 1-2 点状型森林空气颗粒物浓度监测垂直布设示意图

### 1.1.1.2 线状型森林空气颗粒物浓度监测点布设

#### (1) 线状型森林空气颗粒物浓度监测点水平布设

线状型森林空气颗粒物浓度监测要结合污染源位置和森林所处的地理位置以及形状结构特点来布设监测点，一般根据污染源的远近和森林所处的地理条件、风向来布设监测点位，至少在沿主要风向的 1/4 处、1/2 处、3/4 处以及前后林缘 2m 处各布设监测点位，具体参见图 1-3。在线状型森林中，若要反映林带多大宽度对于阻滞空气颗粒物效果最好，除过以上布设原则之外，还可根据具体的监测要求在线状森林内部不同距离处加密布设监测点位。

#### (2) 线状型森林空气颗粒物浓度监测点垂直布设

线状型森林空气颗粒物浓度监测垂直布设原则如点状型森林空气颗粒物浓度监测垂直布设。线状型森林也可以根据具体的带状森林的宽度按照水平布设的原

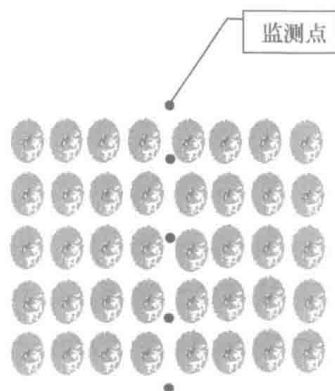


图 1-3 线状型森林空气颗粒物浓度监测点水平布设示意图

则进行垂直点位布设观测。线状型森林中，要反映整片林带不同高度对于空气颗粒物浓度的影响，应选择在林带长和宽中央交点处；若要反映林带不同宽度对于阻滞空气颗粒物效果，可以在林带内按照水平布设的原则布设监测点，也可以根据监测要求进行加密观测。

### 1.1.1.3 面状型森林空气颗粒物浓度监测点布设

通过调查面状型森林覆盖的形状和面积来确定布点的位置和数量。对于面状型森林监测点，应在森林周围东、西、南、北和中心五个方位布设五处监测点，或者采用森林覆盖区加密网格点实测或模式计算的方法，估计所在森林覆盖区污染物浓度的总体平均值。全部森林监测点的污染物浓度的算术平均值应代表所在环境空气颗粒物质量森林监测点的总体平均值。在面状森林空气颗粒物浓度监测中，需要进行加密监测，可以将森林覆盖区均匀划分为若干加密网格点，单个网格的大小要根据森林面积决定，一般为森林面积的 3%~5%，在每个网格中心或网格交叉点上设置监测点，以了解森林所在区域的污染物浓度水平和分布规律，有效监测天数为每月不少于 6 天。面状型森林空气颗粒物监测点应该根据森林所处区域的大气环流特征，反映区域林内外大气污染物浓度差别，并反映林内外由于森林内部复杂空间结构导致的大气湍流变化而造成的污染物输送扩散的变化。

## 1.1.2 森林空气颗粒物浓度监测方法

### 1.1.2.1 森林空气颗粒物监测内容与原理

监测内容见表 1-1。



表 1-1 颗粒物监测内容

| 指标类别 | 监测指标              | 单位                |
|------|-------------------|-------------------|
| 颗粒物  | 总悬浮颗粒物 (TSP)      | μg/m <sup>3</sup> |
|      | PM <sub>10</sub>  | μg/m <sup>3</sup> |
|      | PM <sub>2.5</sub> | μg/m <sup>3</sup> |

采用带有切割头的采样器进行采样，以恒定采样流量抽取定量体积的空气，使空气中的一定粒径的颗粒物留在已知质量的滤膜上。根据采样前后的滤膜的重量差和累计采样体积，计算颗粒物浓度。

1.1.2.2 监测指标

监测指标如表 1-2 所示。

表 1-2 森林颗粒物监测指标

| 指标类别 | 监测指标              | 单位                | 观测频度                                        |
|------|-------------------|-------------------|---------------------------------------------|
| 颗粒物  | TSP               | μg/m <sup>3</sup> | 对于月平均浓度，每月连续观测不少于 6 日；对于日平均浓度，每日采样时间不少于 20h |
|      | PM <sub>10</sub>  | μg/m <sup>3</sup> | 对于月平均浓度，每月连续观测不少于 6 日；对于日平均浓度，每日采样时间不少于 20h |
|      | PM <sub>2.5</sub> | μg/m <sup>3</sup> | 对于月平均浓度，每月连续观测不少于 6 日；对于日平均浓度，每日采样时间不少于 20h |

1.1.2.3 监测仪器与设备

1) TSP 切割器、采样系统：切割粒径  $D_p=(100\pm0.5)\mu\text{m}$ ；捕集效率的几何标准差为  $\sigma_g=(2.0\pm0.1)\mu\text{m}$ 。手工监测 TSP 使用的采样器应取得环境保护部环境监测仪器质量监督检验中心出具的产品适用性检测报告。

2) PM<sub>10</sub> 切割器、采样系统：切割粒径  $D_p=(10\pm0.5)\mu\text{m}$ ；捕集效率的几何标准差为  $\sigma_g=(1.5\pm0.1)\mu\text{m}$ 。其他采样性能和技术指标应符合 HJ/T 93—2003 的规定。

3) PM<sub>2.5</sub> 切割器、采样系统：切割粒径  $D_p=(2.5\pm0.5)\mu\text{m}$ ；捕集效率的几何标准差为  $\sigma_g=(1.2\pm0.1)\mu\text{m}$ 。其他采样性能和技术指标应符合 HJ/T 93—2003 的规定。

4) 流量校准器。采样器孔口流量计或其他符合本标准技术指标要求的流量计，用于对不同流量的采样器进行流量校准。

大流量流量校准器：在 0.8~1.4m<sup>3</sup>/min 范围内，误差≤2%。

中流量流量校准器：在 60~130L/min 范围内，误差≤2%。

小流量流量校准器：小于 30L/min 范围内，误差 $\leq 2\%$ 。

5) 温度计。用于测量森林内部环境温度，校准采样器温度的测量部件：测量范围为 $-25\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，精度： $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

6) 湿度计。用于测量环境相对湿度 (RH)，测量范围为 10%~100%，精度： $\pm 5\%\text{RH}$ 。

7) 气压计。用于测量森林周围环境大气压，校准采样器大气压测量部件：测量范围为 50~110kPa，精度： $\pm 0.1\text{kPa}$ 。

8) 滤膜。采样器可根据监测目的和要求的不同，选用石英滤膜、玻璃纤维滤膜等无机滤膜或聚四氟乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、混合纤维素等有机滤膜。滤膜对 0.3 $\mu\text{m}$  标准粒子的截留效率不低于 99.7%，滤膜的其他指标要求参见 HJ 618—2011《环境空气 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 的测定 重量法》。

9) 分析天平。绝对精度分度值达到 0.1mg。

10) 恒温恒湿箱。为保持滤膜称量准确，箱体内温度和相对湿度都是可调节的。温度可调节范围： $15\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，控温精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。相对湿度可调节范围： $50\%\pm 5\%$ 。恒温恒湿箱可连续正常工作。

#### 1.1.2.4 采样前准备

采样前须对切割器进行清洗，一般在累计采样 124h 后清洁一次，遇到特殊天气如扬尘、沙尘等应该及时清理。清洗时应该用毛刷对切割器进行清洗，不能用硬物进行清洗以免划伤切割器，影响气密性。环境温度、大气压检查和校准按照 GB/T 15432—1995《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》进行。采样前首先对空白滤膜进行称量，按 1.1.2.6 小节将滤膜进行平衡处理至恒重，称量，记录滤膜质量并保存到滤膜盒中。

#### 1.1.2.5 采样

1) 采样时，水平采样一般在 1.5m 高度采样；垂直采样一般在枝下高处、树冠中央处以及树冠上 2m 处布设采样器。采样不宜在风速超过 8m/s 的天气采样，雨天也不宜采样。

2) 采样时滤膜在切割器内的放置：总悬浮颗粒物 (TSP) 按照 GB/T 15432—1995《环境空气 总悬浮颗粒物的测定 重量法》、PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 按照 HJ 618—2011《环境空气 PM<sub>10</sub> 和 PM<sub>2.5</sub> 的测定 重量法》进行。

3) 采样后不能立即称量分析的滤膜，应在 4 $^{\circ}\text{C}$  条件下冷藏保存。

#### 1.1.2.6 滤膜称量

将滤膜放在恒温恒湿箱中平衡 24h，使滤膜质量达到稳定，期间保持恒温恒