

附件 1

城市扬尘源排放清单编制技术指南（试行）

（征求意见稿）

第一章 总则

1.1 编制目的

为贯彻落实《国务院关于加强环境保护重点工作的意见》和《大气污染防治行动计划》，推进我国大气污染防治工作的进程，增强城市扬尘污染防治工作的科学性、针对性和有效性，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国大气污染防治法》、《环境空气质量标准》(GB 3095-2012)及相关法律、法规、标准、文件，编制《城市扬尘源排放清单编制技术指南(试行)》(以下简称“指南”)。

1.2 适用范围

本指南规定了城市扬尘源排放清单编制的技术方法、技术流程、质量管理等内容。

本指南适用于指导在城市、城市群及区域尺度开展城市扬尘源排放清单编制工作。

1.3 编制依据

《中华人民共和国环境保护法》

《中华人民共和国大气污染防治法》

《国务院办公厅转发环境保护部等部门关于推进大气污染联防联控工作改善区域空气质量的指导意见的通知》

《重点区域大气污染防治“十二五”规划》

《中华人民共和国环境保护行业标准（HJ/T393-2007）：防治城市扬尘污染技术规范》

《中华人民共和国行业标准（CJJ 37-90）：城市道路设计规范》

《中华人民共和国建筑行业标准（JGJ 146-2004）：建筑施工现场环境与卫生标准》

《城市道路管理条例》（中华人民共和国国务院令 1996 第 198 号）

《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令 1998 第 253 号）

《环境空气细颗粒物污染综合防治技术政策》

当上述标准和文件被修订时，使用其最新版本。

1.4 术语与定义

下列术语和定义适用于本指南。

城市扬尘：是指城市范围内的地表松散颗粒物在自然力或人力作用下进入到环境空气中形成的一定粒径范围的空气颗粒物。

城市扬尘源：是指各种不经过排气筒、无组织、无规则排放的颗粒物排放源。

城市扬尘源排放清单：是指各种排放源在一定的时间跨度和空间范围内以城市扬尘形式向大气中排放的颗粒物的量的集合。

活动水平：是指用于描述与城市扬尘排放相关的各类起尘活动的定量数值。

排放系数：是指单位活动水平的城市扬尘排放量。

表面积尘负荷：是指道路或地面等下垫面单位面积上能够通过 200 目标准筛（相当于几何粒径 < 75 微米）的那部分积尘的质量。

表面有效积尘率：是指利用 200 目标准筛筛分尘样品，得到的几何粒径小于 $75\mu\text{m}$ 的干燥颗粒物在路面或地面积尘中所占比例。

粒径分布：是指城市扬尘某一粒径范围内颗粒个数（或质量）占颗粒总个数（或质量）的比例。

1.5 编制原则

（1）因地制宜原则：城市扬尘污染防治是一项需要多部门协同、全社会参与的综合性工作。应遵循因地制宜的原则，根据当地污染特征、气候条件、生态环境建设规划、经济发展水平、城市环境管理需求等实际情况，结合本指南要求，对主要的土壤扬尘源、道路扬尘源、施工扬尘源和堆场扬尘源进行源排放清单编制。

（2）科学实用原则：城市扬尘源排放清单的编制工作要严格按照相关科学方法的要求，科学有序地开展；同时，所编制的城市扬尘源排放清单要具有较强的可操作性，能够为城市扬尘的综合整治工作提供实用信息，能够直接服务于相关污染防治工作。

（3）与时俱进原则：与其它源类相比，城市扬尘源排放的动态变化较大。城市环境保护行政主管部门要根据本地扬尘污染源特点、技术条件和管理需求，定期对城市扬尘源进行动态调查，

建立相应的动态污染源数据库，持续更新扬尘污染源信息，对扬尘源实行系统高效的管理。

1.6 组织编制单位

本指南由环境保护部科技标准司组织，南开大学起草编制。

第二章 城市扬尘源分类分级体系

本指南涵盖的我国城市扬尘排放源包括土壤扬尘源、施工扬尘源、道路扬尘源和堆场扬尘源四大类。编制城市扬尘源排放清单时应当首先确定排放源的分类分级体系。

针对城市扬尘产生机理和排放特征的差异，在编制城市扬尘源排放清单时，不同的扬尘源需要考虑的影响因素不同。在进行排放系数和排放量计算时，应当基于四大类城市扬尘排放源各自的特征进行分级，选择对应的计算方法，结合编制城市的实际情况，确定相关参数取值。

2.1 土壤扬尘源分级体系

土壤扬尘源是指直接来源于裸露地面的颗粒物在自然力或人力的作用下形成的扬尘。

土壤扬尘源的第一分级为土地利用类型，包括农田、荒地、裸露山体、滩涂、干涸的河谷、未硬化或绿化的空地等六个类型；第二分级为土壤起尘因子，其影响因素包括土壤扬尘源的土壤质地、植被覆盖率、地面粗糙级别、区域内的屏蔽情况、颗粒物粒径分布，决定了土壤的起尘速率；第三分级为土壤扬尘源的控制措施，包括裸地绿化、裸地硬化、实施城郊或周边地区的绿化工程、实现山体绿化、农田林网化、河岸绿化或硬化，开展保护性耕作、喷洒生态环保型抑尘剂等。表 2.1 是土壤扬尘源的分级体

系。

表 2.1 土壤扬尘源分级体系

级别	分级项目		项目选项
第一级	土地利用类型		农田，荒地，裸露山体，滩涂，干涸的河谷， 未硬化或绿化的空地
第二级	起尘因子	土壤机械组成	砂土（砂地，壤质砂土） 壤土（壤土，沙壤土，砂质粘壤土，粉质壤土，粘壤土，粉砂质粘壤土，粉土） 粘土（粘土，粉砂质粘土，砂质粘土）
		植被覆盖因子	0~1（= 裸露面积/总计算面积）
		地面粗糙因子	1.0（表面光滑）；0.5（表面粗糙）
		无屏蔽宽度因子	0.7（无屏蔽宽度≤300m） 0.85（300m<无屏蔽宽度<600m） 1（无屏蔽宽度≥600m）
		颗粒物粒径分布	采集源样品进行测量
第三级	控制措施		裸地绿化、裸地硬化、河岸山体绿化工程、 农田林网化、开展保护性耕作等。

2.2 道路扬尘源分级体系

道路扬尘源是指道路积尘在一定的动力条件（风力、机动车碾压、人群活动等）的作用下进入环境空气中形成的扬尘。

道路扬尘源的第一分级按照道路铺设情况划分，包括铺装道路和未铺装道路；第二分级按照道路使用类型划分，包括城市道路、公路、工业区道路、林区道路和乡村道路等五个类型，其中城市道路又细分为快速路、主干道、次干道和支路四小类；第三分级是道路扬尘源的控制措施，包括普通刷扫、刷扫加真空吸尘、

纯真空吸尘、湿扫、铺设砾石路床、动态清扫、道路硬化、道路绿化、喷洒抑尘剂等。铺设砾石路床仅对粘滞泥土道路实施；动态清扫是指一旦发现风和水带来的沙尘沉积，在 24 小时内清理完毕。表 2.2 是道路扬尘源的分级体系。

表 2.2 道路扬尘源分级体系

级别	分级项目	项目选项
第一级	道路铺设情况	铺装道路 未铺装道路
第二级	道路使用类型	城市道路 公路 工业区道路 林区道路 乡村道路
第三级	控制措施	普通刷扫、刷扫加真空吸尘、纯真空吸尘、湿扫、铺设砾石路床、动态清扫、道路硬化、道路绿化、喷洒抑尘剂等。

2.3 施工扬尘源分级体系

施工扬尘源是指城市市政基础设施建设、建筑物建造与拆迁、设备安装工程及装饰修缮工程等施工场所在施工过程中产生的扬尘。

施工扬尘源的第一分级按照施工类型划分，包括城市市政基础设施建设、建筑物建造与拆迁、设备安装工程及装饰修缮工程等四类施工活动；第二分级按照施工阶段划分，包括土方开挖、地基建设、土方回填、主体建设和装饰装修等 5 个阶段；第三分级是施工扬尘源的控制措施，包括设置围挡、围栏、防溢座、抑

尘的密目防尘网（不低于 2000 目/100 平方厘米）或防尘布等以及洒水压尘、密闭存储或者采用防尘布苫盖建筑材料等。表 2.3 是施工扬尘源的分级体系。

表 2.3 施工扬尘源分级体系

级别	分级项目	项目选项
第一级	施工类型	城市市政基础设施建设 建筑物建造与拆迁 设备安装工程 装饰修缮工程
第二级	施工阶段	土方开挖 地基建设 土方回填 主体建设 装饰装修
第三级	控制措施	设置围挡、围栏、防溢座及有效抑尘的密目防尘网或防尘布；洒水压尘；密闭存储或者采用防尘布苫盖建筑材料等。

2.4 堆场扬尘源分级体系

堆场扬尘源是指各种工业料堆、建筑料堆、工业固体废弃物、建筑渣土及垃圾、生活垃圾等由于堆积、装卸、输送等操作以及风蚀作用造成的扬尘。此外，采石、采矿等场所和活动中产生的扬尘也归为堆场扬尘。

堆场扬尘源的第一分级按照堆放物料种类划分，包括工业料堆、建筑料堆、工业固体废弃物、建筑渣土及垃圾、生活垃圾等 5 类；第二分级按照操作程序划分，包括物料装卸与输送、物料堆放 2 个阶段；第三分级为堆场扬尘源的控制措施，包括密闭存

储、密闭作业、喷淋、覆盖、防风围挡、硬化稳定、绿化等。表 2.4 是堆场扬尘源的分级体系。

表 2.4 堆场扬尘源分级体系

级别	分级项目	项目选项
第一级	物料种类	工业原料堆 建筑原料堆 工业固体废弃物 建筑渣土及垃圾 生活垃圾
第二级	操作程序	装卸与输送、堆放
第三级	控制措施	密闭存储、密闭作业、喷淋、覆盖、防风围挡、硬化稳定、绿化等。

第三章 城市扬尘源排放清单编制的技术流程

3.1 排放源分类及影响因素的确定

编制城市扬尘源排放清单时，应首先对清单编制区域内的排放源进行初步摸底调查，明确当地排放源的主要构成，按照城市扬尘源分类，对照表 2.1 至表 2.4 提供的城市扬尘源分级体系，确定源清单编制过程中的活动水平数据调查和收集对象。

3.2 排放清单计算空间尺度的确定

土壤扬尘源、道路扬尘源、施工扬尘源和堆场扬尘源均属于面源类的污染源，在编制城市扬尘源排放清单前需确定计算空间尺度。该尺度可以为省、市、区以及根据区域联防联控划定的重污染区域和地理大区等。

3.3 数据调查收集和质量控制

编制排放清单时，应当针对四类城市扬尘排放源逐一制订活动水平调查方案，建立活动水平调查清单，确定调查流程，明确

数据获取途径。

编制清单时应当明确数据获取的基准年份，调查活动水平时尽可能收集与基准年份相对应的数据。基准年份数据缺失的，可采用相邻年份的数据，并根据社会经济发展状况决定是否进行适当调整。

数据的调查收集过程应与现有数据统计体系结合，优先从环境统计、污染源普查等数据库中获取相关信息。

获得的水平数据应采取统一的数据处理方法和数据存储格式，保证数据收集和传递的质量。应安排专人对数据进行检查和校对，对可疑的异常数据进行核实。

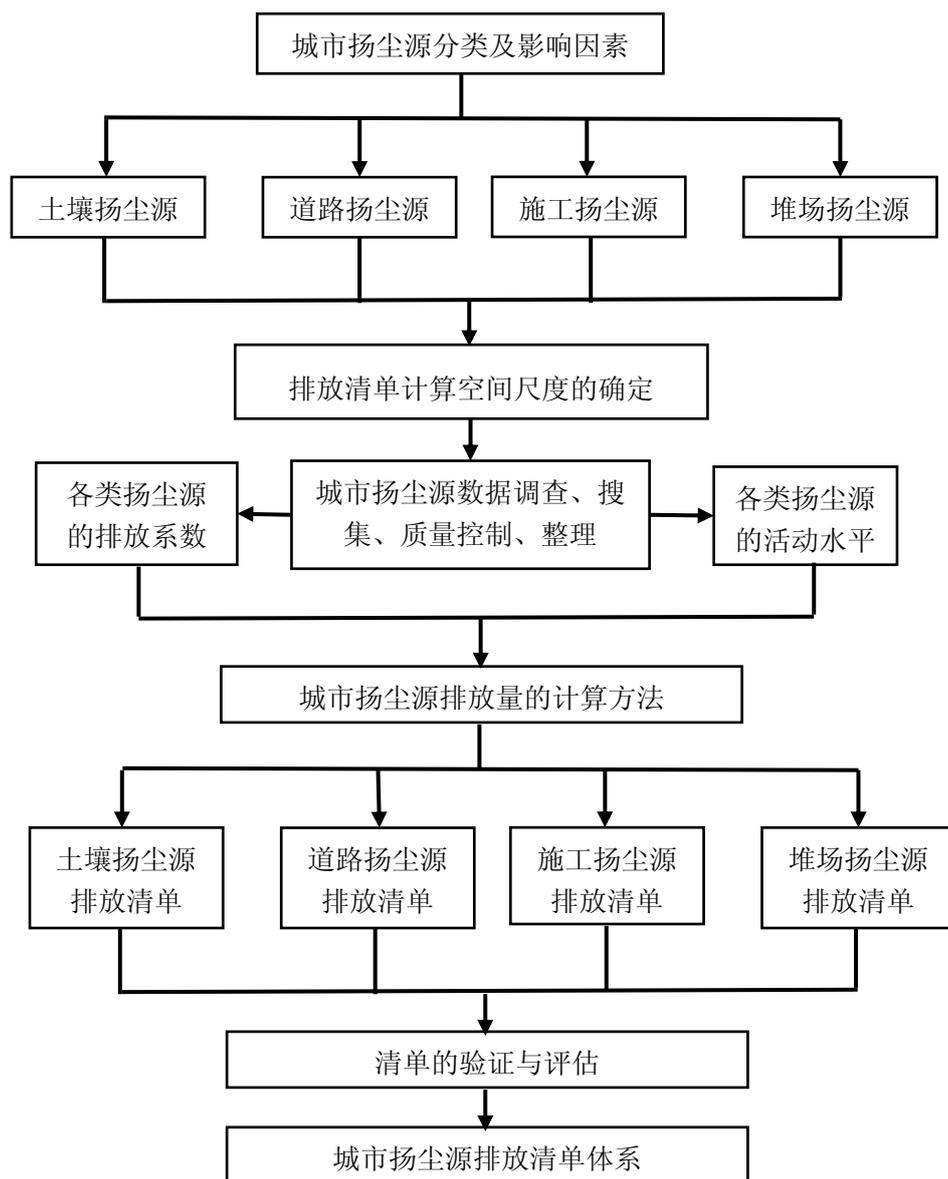
在数据调查和收集阶段应当涵盖排放源的排放量计算中涉及的所有信息，在数据整理过程中根据当地排放源的特点确定源清单覆盖范围。

3.4 城市扬尘源排放量的计算方法

城市扬尘源排放量的计算应在综合所有主要影响因素后的具体排放源层面完成。对于某个给定的最低级排放源，城市扬尘的排放量由下式计算：

$$W = E \times A \times T \quad (3-1)$$

- 1) W 为某个给定的排放源的城市扬尘排放量。
- 2) E 为排放源对应的单位活动水平的排放系数，一般为单位时间单位面积（道路扬尘源为单位道路长度）的城市扬尘源排放量。
- 3) A 为城市扬尘源的活动水平因子。
- 4) T 为活动时间跨度。



3.5 排放清单编制的技术流程

城市扬尘源排放清单编制的技术流程如图 3-1 所示：

图 3-1 城市扬尘源排放清单编制的技术流程

第四章 城市扬尘排放量计算方法和活动水平获取途径

城市扬尘的排放量计算方法优先考虑选用实测法和模拟测定法，条件有限的城市可以采用检索排放系数数据库法。

4.1 城市扬尘排放量计算方法

本指南推荐使用基于实测的排放系数法进行排放量估算。

4.1.1 土壤扬尘排放量

土壤扬尘排放量计算公式如下：

$$W_{Si} = E_{Si} \times A_S \quad (4-1)$$

1) W_{Si} 为土壤扬尘中 PM_i (空气动力学粒径在 $0 \sim i \mu m$ 间的颗粒物, 下同) 总排放量, 吨/年。

2) E_{Si} 为土壤扬尘源的 PM_i 排放系数, 吨/(平方米·年)。

3) A_S 为土壤扬尘源的面积, 平方米。

土壤扬尘源的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放量可根据土壤扬尘中相关粒径分布情况估算获得。

4.1.2 道路扬尘排放量

铺装道路和未铺装道路的扬尘排放量, 计算公式如下：

$$W_{Ri} = E_{Ri} \times L_R \times N_R \times (1 - \frac{n_r}{365}) \times 10^{-6} \quad (4-2)$$

1) W_{Ri} 为道路扬尘源中颗粒物 PM_i 的总排放量, 吨/年。

2) E_{Ri} 为道路扬尘源中 PM_i 平均排放系数, 克/(千米·辆)。

3) L_R 为道路长度, 千米。

4) N_R 为道路扬尘源 t 时段内车辆在该段道路上的平均车流量, 辆。

5) n_r 为一年中降雨量大于 $0.254mm/d$ 的天数, 在有降雨发生时, 如果当天平均降水量达到了 $0.254mm/d$, 路面湿润, 道路通常难以起尘。在这样的天气下, 道路扬尘排放量可以忽略不计。

4.1.3 施工扬尘排放量

由于排放系数获取方法的差异, 施工扬尘排放量有三种计算

方式，编制施工扬尘源排放清单时，三种计算方法可根据实际条件选择，在条件有限的城市，可选择第一种计算方法；在条件允许城市，推荐选择后两种方法：

(1) 对于整个施工工地，基于排放系数的施工扬尘中 PM_{30} 排放量的计算公式如下：

$$W_{C30} = E_{C30} \times A_C \times T \quad (4-3)$$

- 1) W_{C30} 为施工扬尘源中 PM_{30} 总排放量，吨/年。
- 2) E_{C30} ，整个施工工地 PM_{30} 的平均排放系数， 2.69×10^{-4} 吨 / (平方米·月)。
- 3) A_C 为施工区域面积，平方米。
- 4) T 为工地的施工活跃月份数，一般按施工天数/30 计算。

施工扬尘源的 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 排放量根据施工积尘的粒径分布情况估算获得。

(2) 对于具体建筑施工过程的 PM_{10} 排放量：

$$W_{C10} = E_{C10} \times A_C \times t \quad (4-4)$$

- 1) W_{C10} 为施工扬尘源中 PM_{10} 总排放量，吨
- 2) E_{C10} 为施工扬尘源中 PM_{10} 的排放速率，吨 / (平方米·小时)
- 3) t 为工地的施工小时数，小时。

除了上述两种排放系数计算方法，施工扬尘还可以选用四维通量法进行计算。

(3) 四维通量法是一种应用实测数据计算施工扬尘排放量的数学模型。基于四维通量法的施工扬尘排放量计算公式为：

$$W_{CTSP} = t \times u \times C \times M \times K \times h_0^{-1} \quad (4-5)$$

$$M = \Delta \bar{C}_{DF}(h) \times (h + h_0)^2 \quad (4-6)$$

$$K = \Delta C_{TSP}(h) / \Delta C_{DF}(h) \quad (4-7)$$

- 1) W_{CTSP} 为堆场扬尘总排放量，吨/年。
- 2) t 为监测周期，秒。
- 3) u 为 t 时段内的平均风速，m/s
- 4) C 为工地周长，m。
- 5) M 为降尘（粒径 $> 10\mu\text{m}$ 的颗粒物）排放强度系数， 10^{-6} ·吨·(30天) $^{-1}$ 。
- 6) K 为 TSP 和降尘浓度的相关系数，30天·(10³·km) $^{-1}$ 。
- 7) h_0 为工地围挡高度，m。
- 8) h 为工地边界颗粒物监测点与围挡上沿的垂直距离，m。
- 9) DF 为降尘（Dust Fall）的缩写。
- 10) $\Delta \bar{C}_{DF}(h)$ 为围挡正上方 h (m) 处的平均施工降尘量， $t \cdot (\text{km}^2 \cdot 30 \text{天})^{-1}$ 。
- 11) $\Delta C_{DF}(h)$ 为工地区域内降尘量， $t \cdot (\text{km}^2 \cdot 30 \text{天})^{-1}$ 。
- 12) $\Delta C_{TSP}(h)$ 为工地区域内大气总悬浮颗粒物浓度， $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

根据公式 (4-5)、(4-6) 和 (4-7) 可以计算出工地 TSP 的排放量，再根据施工扬尘的粒径分布情况获得 PM_{10} 、 $\text{PM}_{2.5}$ 分别占 TSP 的比例，从而分别计算不同粒径的扬尘排放量，参考粒径系数为：TSP 为 1.0、 PM_{10} 为 0.49、 $\text{PM}_{2.5}$ 为 0.1。

4.1.4 堆场扬尘排放量

根据堆场扬尘的排放系数，可以计算堆场扬尘的排放量，计算公式如下：

$$W_Y = \sum_{i=1}^m E_h \times G_Y \times 10^{-3} + E_w \times A_Y \times 10^{-6} \quad (4-8)$$

- 1) W_Y 为堆场扬尘源中颗粒物总排放量，吨。
- 2) E_h 为堆场扬尘的装卸运输过程的颗粒物排放系数，千克/吨。
- 3) G_Y 为每次装卸过程的物料装卸量，吨。
- 4) E_w 为料堆受到风蚀作用的颗粒物排放系数，克/平方米。
- 5) A_Y 为料堆表面积，平方米。
- 6) m 为料堆物料装卸次数。

以上涉及到的4类扬尘源排放的颗粒物的粒径分布，可以根据标准筛、巴柯型离心式粉尘分级仪或再悬浮实验进行实测获得，具体方法见附录A。

4.2 活动水平的获取

土壤扬尘源、道路扬尘源、施工扬尘源以及堆场扬尘源都推荐采用实地调查的方法直接获取活动水平和相关排放系数计算参数。不同季节的城市扬尘源活动水平差异较大，对大气颗粒物浓度的贡献比例亦存在明显差异，应对城市扬尘的各类来源进行分季节统计，对应的排放系数和排放量计算公式中的参数也需要作相应的调整，由年均值变更为季节均值，以获取更加准确全面的城市扬尘源排放清单；从源类型变化看，不同类型的城市扬尘源活动水平获取途径不同。相关调查参数见表4.1，详细统计信息见附表1、2、3、4。

表4.1 城市扬尘源活动水平调查参数表

季节	土壤扬尘源	道路扬尘源	施工扬尘源	堆场扬尘源
----	-------	-------	-------	-------

(春/夏/秋/冬)				
排放源地理信息	裸露土壤源 所在区域	道路 所在区域	施工场所 所在区域	堆场 所在区域
活动水平指标	土地利用类型 土壤机械组成 植被覆盖因子 地面粗糙因子 无屏蔽宽度因子	路面铺设情况 道路积尘负荷 积尘含水率 机动车平均重量 车流量 道路长度	施工类型 施工阶段 施工面积	操作程序 物料堆放量 堆场面积 物料含水率
排放量的时间分布信息	季平均气候因子(平均风速、降雨量、潜在蒸发量、温度)	行驶时间	施工时间	操作时间
控制措施信息	裸地绿化率 裸地硬化率	道路清扫、冲洗频率 道路绿化率 道路硬化率	抑尘剂和水的喷洒频率 防尘网覆盖率 围挡、围栏及防溢座的使用情况	洒水或喷淋稳定剂频率 固化处理情况 防风围挡使用情况
获取途径	当地各级农业、国土资源、统计、气象等部门	当地各级交管、市政、环保、环卫等部门	当地各级建设、市政、环保等部门	当地各级建设、市政、环保等部门

4.3 城市扬尘源的排放系数计算方法

4.3.1 土壤扬尘源排放系数计算方法

土壤扬尘源排放系数即土壤扬尘的起尘速率，受土壤表层的颗粒物粒径分布、土壤机械组成、地面粗糙度、植被覆盖率、周

围屏蔽条件以及气象因素的影响，其排放系数的计算公式为：

$$E_{Si} = D_i \times C \times (1 - \eta) \times 10^{-4} \quad (4-9)$$

$$D_i = k_i \times I_{we} \times f \times L \times V \quad (4-10)$$

$$C = 0.504 \times u^3 / PE^2 \quad (4-11)$$

- 1) E_{Si} 为 PM_i 的起尘速率，吨/(平方米·年)。
- 2) D_i 为 PM_i 的起尘因子，吨/(10^4 平方米·年)。
- 3) C 为气候因子，表征气象因素对土壤扬尘的影响，由年平均风速、降水量、蒸发量和温度共同决定。
- 4) η 为污染控制技术对城市扬尘的去除效率，%，下同。
- 5) k_i 为 PM_i 在土壤扬尘中的百分含量，需实地测量，具体监测方法见附录 A，%。
- 6) I_{we} 为土壤风蚀指数。已有研究得到的土壤风蚀指数如表 4.2 所示，其它类型土壤的风蚀指数可以选择质地接近的土壤类型代替或者进行实地测量获得。

表 4.2 土壤风蚀指数

土壤质地	主类	/	细类	土壤风蚀指数 t / (10^4 平方米·年)	TSP 比例 (%)
砂土			砂土	544	0.9
			壤质砂土	331	1.0
壤土			壤土	138	6.6
			砂质壤土	213	2.1
			砂质粘壤土	138	6.6
			粉砂质壤土	116	4.1
			粘壤土	116	2.5
			粉砂质粘壤土	94	4.1
			粉土	94	0.8

	粘土	213	0.8
粘土	粉砂质粘土	213	0.8
	砂质粘土	138	1.0

7) f 为地面粗糙因子, 反映风与地表之间的摩擦力大小。对于光滑的地表, f 取 1, 对于粗糙的地表, f 取 0.5。

8) L 为无屏蔽宽度因子, 显示研究区域的开阔程度, 即没有明显的阻挡物 (如建筑物或者高大的树木) 的最大范围。当无屏蔽宽度小于等于 300 米时, $L=0.7$; 当无屏蔽宽度大于 300 米, 小于 600 米时, $L=0.85$; 当无屏蔽宽度大于等于 600 米时, $L=1.0$ 。

9) V 为植被覆盖因子, 反映了地表覆盖情况, 在这里即是裸露土壤面积占总计算面积的比例, 地面完全裸露时 V 等于 1。计算公式如下:

$$V = \text{裸露土壤面积} / \text{总计算面积} \quad (4-12)$$

10) PE 为桑氏威特降水—蒸发指数, 计算公式如下:

$$PE = 100 \times (p/E^*) \quad (4-13)$$

$$E^* = [0.5949 + (0.1189 \times T_a)] \times 91 \quad (4-14)$$

式中, p 为年降水量 (mm); E^* 为年潜在蒸发量 (mm); T_a 为年平均温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

4.3.2 道路扬尘源排放系数计算方法

道路扬尘需要根据路面铺设与否分为铺装道路和未铺装道路分别计算排放系数。

对于铺装道路, 道路扬尘排放系数计算公式:

$$E_{Pi} = k_i \times (sL)^{0.91} \times (W)^{1.02} \times (1 - \eta) \quad (4-15)$$

1) E_{Pi} 为铺装道路的扬尘中 PM_i 排放系数, g/VKT (机动

车行驶 1 千米产生的颗粒物质量)。

2) k_i 为产生的扬尘中 PM_i 的粒度乘数, 参照美国 EPA 通过实验和回归分析而得的数据, 见表 4.3。

表 4.3 铺装道路产生的颗粒物的粒度乘数

粒 径	粒 度 乘 数 (g/VKT)
PM _{2.5}	0.15
PM ₁₀	0.62
PM ₃₀	3.23

3) sL 为道路积尘负荷。具体监测方法见《防治城市扬尘污染技术规范》(HJ/T 393-2007) 中的附录 B。

4) W 为平均车重, 吨。平均车重表示通过某等级道路所有车辆的平均重量。通过对典型道路现场调研获取不同等级道路的车流量和各车型比例等相关数据, 并通过在交通管理部门调研得到各车型的车重信息, 根据各车型的车重和比例数据计算出各等级道路的平均车重。

对于未铺装道路, 道路扬尘排放系数计算公式:

(1) 工业区未铺装道路的扬尘中 PM_i 排放系数:

$$E_{UPi} = k_i \times \left(\frac{s}{12}\right)^a \times \left(\frac{W}{3}\right)^b \times (1 - \eta) \quad (4-16)$$

(2) 公共道路上未铺装道路扬尘中 PM_i 排放系数:

$$E_{UPi} = \left(\frac{k_i \times (s/12)^a \times (v/30)^d}{(M/0.5)^c} - C_i \right) \times (1 - \eta) \quad (4-17)$$

计算上述未铺装道路扬尘排放系数, 需要确定粒度乘数、道路表面有效积尘量和平均车重等参数。

1) E_{UPi} 为未铺装道路扬尘中 PM_i 排放系数, g/VKT。

2) k_i 为产生的扬尘中 PM_i 的粒度乘数, 与系数 a、b、c、

d 均参照美国 EPA 通过实验和回归分析而得的数据，见表 4.4。

表 4.4 未铺装道路产生的颗粒物的粒度乘数及系数 a、b、c、d 的取值

未铺装道路	工业区			公共道路		
	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM ₃₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM ₃₀
k (g/VKT)	42.285	422.85	1381.31	50.742	507.42	1691.4
a	0.9	0.9	0.7	1	1	1
b	0.45	0.45	0.45	-	-	-
c	-	-	-	0.2	0.2	0.3
d	-	-	-	0.5	0.5	0.3

3) s 为道路表面有效积尘率，%。利用 200 目标准筛筛分尘样品，得到的几何粒径小于 75 微米的干燥颗粒物在路面或者地面积尘中所占比例。

4) W 为平均车重，同公式 (4-15) 中的统计方法。

5) v 为平均车速，km/h。平均车速表示通过某等级道路所有车辆的平均车速。通过对典型道路现场调研获取不同等级道路的车流量和各车型比例等相关数据，并通过在交通管理部门调研得到各车型的车速信息，根据各车型的车速和比例数据计算出各等级道路的平均车速。

6) M 为道路积尘含水率。将采集到的尘样品取一定量称重，记录初始重量，然后在 50℃ 条件下烘 24 小时后进行重量测定，记录烘干处理后的重量，取其差值，测定物料含水率。

7) C_i 为汽车尾气、刹车磨损和轮胎磨损时的排放系数，参照美国 EPA 通过实验和回归分析而得的数据，见表 4.5。

表 4.5 未铺装道路汽车尾气、刹车磨损和轮胎磨损带来的排放系数

粒径范围	C_i (g/VKT)
PM _{2.5}	0.102

PM ₁₀	0.133
PM ₃₀	0.133

4.3.3 施工扬尘源排放系数计算方法

对于整个建筑施工区域的扬尘排放总量的估算，使用公式（4-18）进行计算：

$$E_{C30} = 2.69 \times 10^{-4} \times (1 - \eta) \text{ 吨 / (平方米} \cdot \text{月)} \quad (4-18)$$

式中： E_{C30} 为 PM₃₀ 的排放系数。该公式适用于估算整个建筑施工区域的扬尘排放总量。对于建筑施工过程中的扬尘中 PM₁₀ 排放系数定量模型如下：

$$E_{C10} = 0.02534 \times D \times u^{1.983} \times M^{-1.993} \times sL^{0.745} \times N^{0.684} \times (1 - \eta) \quad (4-19)$$

- 1) E_{C10} 为建筑施工过程中的 PM₁₀ 排放系数，g/m²·h。
- 2) D 为采样施工工地的起尘面积率，%。
- 3) u 为地面 2.5m 处的风速，m/s。
- 4) M 为工地表面积尘含水率，%。
- 5) sL 为工地路面尘积负荷，g/m²。
- 6) N 为建筑工地每小时运行的机动车数量。

对于施工过程中具体操作环节的排放系数，可参考美国 AP-42 中的相关标准，将施工过程分解成具体操作环节，根据类似操作过程的排放系数进行分别估算，建筑施工过程 PM₁₀ 的排放系数如表 4.6 所示：

表 4.6 建筑施工 PM₁₀ 排放系数

基本排放信息	PM ₁₀ 排放系数
工地面积和持续时间	0.27 t/10 ⁴ m ² /month（平均情况）
	1.04 t/10 ⁴ m ² /month（较严重情况） ^a
工地面积、持续时间	0.027 t/10 ⁴ m ² /month（一般建设过程）

和动土量	0.077 t/1000 m ³ (工地内动土量) ^b 0.288 t/1000 m ³ (工地内动土量) ^b
	0.059 kg/work-hr (一般建设过程) 22.23 kg/铲土机-hr (工地内操作) (或者 11.27 kg/(10 m ³ 铲土机)-hr; 26.7 kg/(20 m ³ 铲土机)-hr; 29.08 kg/(30 m ³ 铲土机)-hr; 49.83kg/(45 m ³ 铲土机)-hr) 42.64 kg/h (工地外操作)
动土操作和输送其它 材料过程持续时间	
施工车辆的具体数量 和行驶距离	0.15 kg/10 ⁴ m ² /work-hr (一般建设过程) 0.06 kg/t-km (工地内操作) 0.17 kg/t-km (工地外操作)

注：^a较严重情况指工地内有较大范围的动土操作；

^b假设一个铲土机(scraper)一个月移动约 5.34 万立方米的土，一辆卡车一个月移动约 2.67 万立方米的建筑材料，如果工地内和工地外的动土量比例未知，假设均为工地内；

^c以上排放系数是基于具备洒水等控制措施，若无则需翻倍。

4.3.4 堆场扬尘源排放系数计算方法

堆场的扬尘来源有两个方面：一是装卸、运输引起的扬尘，二是堆积存放期间的风蚀扬尘。

(1) 装卸、运输物料过程扬尘排放系数的估算

$$E_h = k \times 0.0016 \times \frac{\left(\frac{u}{2.2}\right)^{1.3}}{\left(\frac{M}{2}\right)^{1.4}} \times (1 - \eta) \quad (4-20)$$

- 1) E_h 为堆场装卸扬尘的排放系数 (千克/吨)。
- 2) k 为物料的粒度乘数，见表 4.7。
- 3) u 为地面平均风速，m/s。
- 4) M 为物料含水率，见表 4.8。

表 4.7 装卸过程中产生的颗粒物粒度乘数

粒径/ μm	< 30	< 10	< 2.5
粒度乘数/无量纲	0.74	0.35	0.053

表 4.8 各种行业堆场的物料的典型尘积负荷和含水率

行业	材料	尘积负荷 (%)		物料含水率 (%)	
		范围	均值	范围	均值
钢铁冶炼	球团矿	1.3-13	4.3	0.64-4.0	2.2
	块矿	2.8-19	9.5	1.6-8.0	5.4
	煤炭	2.0-7.7	4.6	2.8-11	4.8
	炉渣	3.0-7.3	5.3	0.25-2.0	0.92
	烟道灰	2.7-23	13	-	7
	碎焦炭	4.4-5.4	4.9	6.4-9.2	7.8
	混合矿石	-	15	-	6.6
	烧结矿	-	0.7	-	-
采石加工	陈年石灰石	1.3-1.9	1.6	0.3-1.1	0.7
	各种石灰石产品	0.8-14	3.9	0.46-5.0	2.1
铁燧石采集 与加工	芯球	2.2-5.4	3.4	0.05-2.0	0.9
	尾矿	-	11	-	0.4
煤炭露天开采	煤炭	3.4-16	6.2	2.8-20	6.9
	表土	3.8-15	7.5	-	-
	接触地面	5.1-21	15	0.8-6.4	3.4
燃煤电厂	煤炭	0.6-4.8	2.2	2.7-7.4	4.5
城市固体 垃圾填埋场	沙地	-	2.6	-	7.4
	炉渣	3.0-4.7	3.8	2.3-4.9	3.6
	掩盖物	5.0-16	9.0	8.9-16	12
	粘土/泥土混合	-	9.2	-	14
	粘土	4.5-7.4	6.0	8.9-11	10
	飞灰	78-81	80	26-29	27

	混杂填充材料	-	12	-	11
--	--------	---	----	---	----

(2) 堆场风蚀扬尘排放系数的计算方法

料堆表面遭受风扰动后引起颗粒物排放的排放系数可以用下式计算：

$$E_w = k \times \sum_{i=1}^n P_i \times (1 - \eta) \quad (4-21)$$

$$P = 58 \times (u^* - u_t^*)^2 + 25 \times (u^* - u_t^*) \quad (4-22)$$

$$P = 0 \quad u^* \leq u_t^*$$

- 1) E_w 为堆场风蚀扬尘的排放系数 (g/m^2)。
- 2) k 为物料的粒度乘数，当粒径为 $<10\mu\text{m}$ 、 $<2.5\mu\text{m}$ 时，对应的 k 值分别是 0.5、0.2。
- 3) n 为料堆每年受扰动的次数。
- 4) P_i 为第 i 次扰动中观测的最大风速的风蚀潜势， g/m^2 ，干燥暴露表面的风蚀潜势通过公式 (4-22) 求得。
- 5) u^* 为摩擦风速， m/s 。
- 6) u_t^* 为阈值摩擦风速，即起尘的临界摩擦风速，低于此值时，就认为不起尘， m/s 。

风蚀潜势函数 P 是非线性的，对于每一次侵蚀事件要分别处理。方程(4-22)中的摩擦风速 (u^*)可参考方程 (4-23) 计算：

$$u(z) = \frac{u^*}{0.4} \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) \quad (z > z_0) \quad (4-23)$$

- 1) $u(z)$ 为地面风速， m/s 。
- 2) z 为地面风速检测高度， m 。
- 3) z_0 为料堆表面粗糙度，即风速谱图中风速为 0 的高度，

m。

4) 0.4 为卡门常数，无量纲。

计算参数的确定：

a. 扰动周期和最大风速

在计算排放系数时，遭受不同扰动频率的可风蚀表面的每一个面积将被分别计算，因此需要确定扰动周期。例如对于每日都扰动的表面， n 为每年 365 次；而对于每 6 个月扰动一次的表面， n 为每年 2 次。计算时需要根据料堆实际作业情况确定扰动频率 n 。

扰动周期确定后，就需要获得扰动周期期间的风速，然后找出其中的最大风速。以此最大风速计算出料堆的颗粒物排放量就是此料堆在该扰动周期的排放量。可见，该方法认为受扰动料堆暴露的干燥表面仅起尘 1 次，如果料堆没有再次被扰动就不会有新的表面暴露，也不会再次产生风蚀扬尘。

b. 摩擦风速与阈值摩擦风速

获得扰动周期期间的最大风速后，就可以应用方程 (4-23) 转化为相对应的地面摩擦风速。需注意，方程 (4-23) 仅适用于较大的相对平坦的料堆或暴露面积仅少量处于地面风速层的料堆。如果料堆明显超过地面风速层，即当料堆的高与底部半径的比率大于 0.2 时，料堆各个部分受到的风侵蚀程度就有明显差异。此时需要将料堆表面积划分成为若干个不同程度的风侵蚀的子表面，然后分别计算其摩擦风速。

第五章 城市扬尘源排放清单的应用与评估

5.1 城市扬尘源排放清单的应用

用于大气颗粒物污染特征分析。排放清单作为空气质量模型的输入，可进行时空连续变化的污染特征分析，弥补监测和观测在时空分辨率方面的不足。

确定城市扬尘控制源的重点区域和重点排放源。通过城市扬尘及其它大气颗粒物排放源清单，得到分区域、分排放源的排放量汇总统计，分析城市扬尘的重点排放区域、重点排放源对当地大气颗粒物排放总量的分担率和对浓度的贡献率。

用于大气颗粒物污染控制方案的制定与预评估。通过减排情景设计，借助空气质量模型，对政策实施效果进行预评估，明确城市扬尘污染防治的方向，帮助制定合理有效的控制方案和达标规划。

5.2 城市扬尘源排放清单的评估与验证

城市扬尘源排放清单的准确性可通过不确定性分析方法评估。不确定性分析可以选用的方法是蒙特卡洛方法，评估的内容是排放总量的置信区间。不确定性分析可用于重要污染源信息的甄别，评估排放清单的可靠性。

排放清单的可靠性还可结合模型、观测等手段进行验证。具体方法是利用空气质量模型模拟并与同时段空气质量观测结果比较，对排放清单进行间接验证。

附表

附表 1 土壤扬尘的基本信息

土壤扬尘源活动水平调查表					
负责人		调查时间			
地理位置					
具体位置(所在街道/乡镇/村)			所属功能 区	经度	纬度
土壤扬尘源的面积 (平方米)					
土地利用类型					
<input type="checkbox"/> 农田	<input type="checkbox"/> 裸露 山体	<input type="checkbox"/> 滩涂	<input type="checkbox"/> 干涸 的河谷	<input type="checkbox"/> 未硬化或 绿化的空地	<input type="checkbox"/> 其他
土壤机械组成					
<input type="checkbox"/> 砂土		<input type="checkbox"/> 壤土		<input type="checkbox"/> 粘土	
细类		细类		细类	
风蚀指 数		风蚀指数		风蚀指 数	
地表的覆盖、粗糙度及周围屏蔽情况					
植被覆盖因 子		地表粗糙因子		无屏蔽宽度 因子	
气候因子					
季降水量 (mm)		季潜在蒸发量 (mm)		季平均温度 (°C)	

控制措施及效率			
控制措施		控制效率	
责任单位			
备注:			

附表 2 道路扬尘的基本信息

道路扬尘源活动水平调查表								
负责人				调查时间				
地理位置								
具体位置(所在街道/乡镇/村)								
起点经度		起点纬度		终点经度		终点纬度		
道路铺设情况								
<input type="checkbox"/> 铺装道路				<input type="checkbox"/> 未铺装道路				
道路类型								
<input type="checkbox"/> 城市道路				<input type="checkbox"/> 公路		<input type="checkbox"/> 工业区道路	<input type="checkbox"/> 林区道路	<input type="checkbox"/> 乡村道路
<input type="checkbox"/> 快速路 <input type="checkbox"/> 主干道 <input type="checkbox"/> 次干道 <input type="checkbox"/>								

支路								
道路上行驶的车辆信息								
平均车重 (吨)			平均车速(km/h)			平均车流量 (辆/小时)		
道路积尘参数								
积尘负荷		有效积尘率		积尘 含水 率				
气象参数								
降雨量大于 0.254mm/d 的天数								
控制措施					控 制 效 率			
责任管理单位								
备注:								

附表 3 施工扬尘的基本信息

施工扬尘源活动水平调查表					
负责人		调查时间			
地理位置					
具体位置(所在街道/乡镇/村)			所属功能 区	经度	纬度
施工类型					

<input type="checkbox"/> 城市市政基础设施建设	<input type="checkbox"/> 建筑物建造与拆迁	<input type="checkbox"/> 设备安装工程	<input type="checkbox"/> 装饰修缮工程	
建筑施工面积（平方米）				
规划施工面积	开工面积	竣工面积		
建筑施工阶段				
<input type="checkbox"/> 土方开挖	<input type="checkbox"/> 地基建设	<input type="checkbox"/> 土方回填	<input type="checkbox"/> 主体建设	<input type="checkbox"/> 装修施工
工地表面积尘参数				
工地表面积尘含水率（%）		工地路面尘积负荷（g/m ² ）		
气象参数				
距离地面 2.5m 处的风速（m/s）				
控制措施			控制效率	
施工时间分布情况				
开始时间		结束时间		施工活跃月份数
责任管理单位				
备注：				

附表 4 堆场扬尘的基本信息

堆场扬尘源活动水平调查表

负责人		调查时间	
地理位置			
具体位置(所在街道/乡镇/村)		所属功能区	经度 纬度
物料种类			
<input type="checkbox"/> 工业原料堆	<input type="checkbox"/> 工业固体废物	<input type="checkbox"/> 建筑原料堆	<input type="checkbox"/> 建筑渣土及垃圾 <input type="checkbox"/> 生活垃圾
料堆参数			
物料装卸量 (吨)		料堆表面积(平方米)	
物料含水率 (%)		料堆表面粗糙度 (m)	
气象参数			
地表平均风速 (m/s)		地面风速检测高度 (m)	
料堆受风扰动次数/季			
控制措施			控制效率
责任单位			
备注:			

附录 A 源样品粒径分布的测定

对于城市扬尘源类，采集样品时通常直接获取代表性的源构成物质，所获得的样品均为全粒径。为了获得与环境空气中颗粒物粒度相匹配的真实的源样品，需掌握源样品的粒径分布，其测定方法有显微镜法、筛分法、沉降法和细孔通过法等，具体使用的仪器分别有：①泰勒标准筛；②巴柯型离心式粉尘分级仪；③再悬浮采样器等。

其中，筛分法可以非常快速、简便地对尘样品粒径分级，但由于颗粒的吸附团聚，对于粒径小于 $40\mu\text{m}$ 的粒子，测量误差较大，不能应用（见表 B-1 部分标准筛对应的筛孔孔径）。在实际应用过程中，由于其精度达不到要求，不将其单独作为一种源样品粒径分布的测定方法，而是与其他方法联合使用，将其作为源样品的一种前处理方法。常用的源样品粒径分布的测定方法有标准筛与巴柯型离心式粉尘分级仪的联合使用、标准筛与再悬浮实验方法的联合使用，下面就这两种方法作简要介绍。

表 A-1 部分标准筛

筛子目数	筛孔孔径 (μm)	筛子目数	筛孔孔径 (μm)
320	48	190	80
300	54	180	88
280	55	170	91
260	57	160	97
250	63	150	100
240	65	100	150
220	70	40	450
200	75	20	840

(1) 标准筛与巴柯型离心式粉尘分级仪的联合使用

巴柯型离心式粉尘分级仪是气体沉降法中的一种—离心力沉降法，一般只能对于粒径小于 $100\mu\text{m}$ 粒子进行分级。

巴柯离心机的原理是：粉末样品加入进样槽，经给料漏斗送（吸）至转盘中心处，由于离心力的作用，尘粒被甩向转盘边缘并继续向外周运动，这时它与从离心机下部进口抽入的空气相遇，在环缝处向外周运动的尘粒受到反向气流的摩擦力。当某一尘粒的离心力大于气流对它的阻力时，尘粒即被甩向外周，最后被收集在下部的储尘容器中，当气流对它的阻力大于尘粒的离心力时，尘粒则被抽向轴心，随气流向外周运动。此后由于气流速度逐渐降低，大部分尘粒被收集在离心机上部的转盘护圈上，极小的尘粒被风带走。根据力的平衡原理可以推导出：在环缝处分离出的尘粒，其直径和该处气流速度的平方根成正比。在环缝处的气流速度越大，在该处分离出的尘粒的粒径也越大。在巴柯离心机装上不同的隔距片来控制进气口面积，即可控制进入离心机的风量，从而可以分离出不同粒径的尘粒。图 A-1 为巴柯型离心式粉尘分级仪结构图。

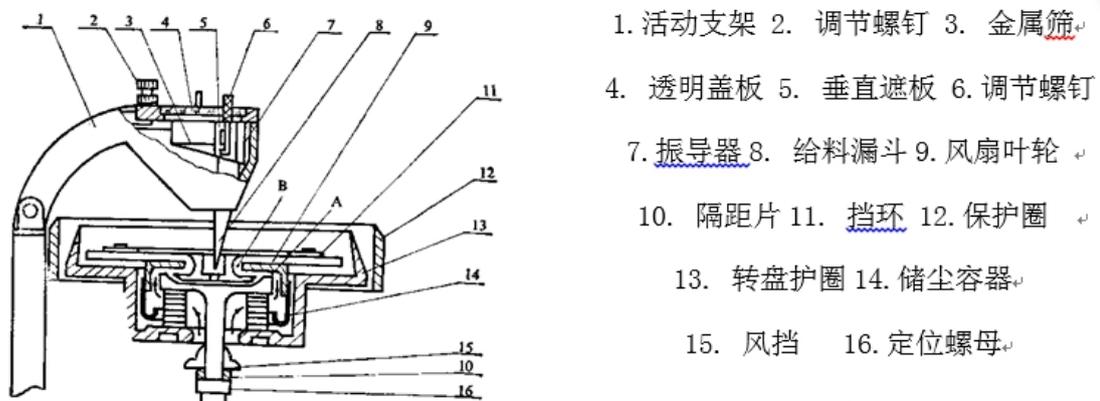


图 A-1 巴柯型离心式粉尘分级仪结构图

标准筛与巴柯型离心式粉尘分级仪联合使用时，使用 150 目

标准筛对大颗粒 ($>100\mu\text{m}$) 尘粒进行分级, 使用巴柯型离心式粉尘分级仪对 $100\mu\text{m}$ 以下的尘粒进行分级。

(2) 标准筛与再悬浮实验方法的联合使用

再悬浮采样器一方面可以模拟污染源样品进入环境中的过程, 完成对开放源样品的采集, 便于进行相关化学分析; 另一方面, 可以同时粉末样品进行 TSP、 PM_{10} 和 $\text{PM}_{2.5}$ 等多粒径的采集。

图 A-2 是标准筛与再悬浮实验方法联合使用的处理过程。

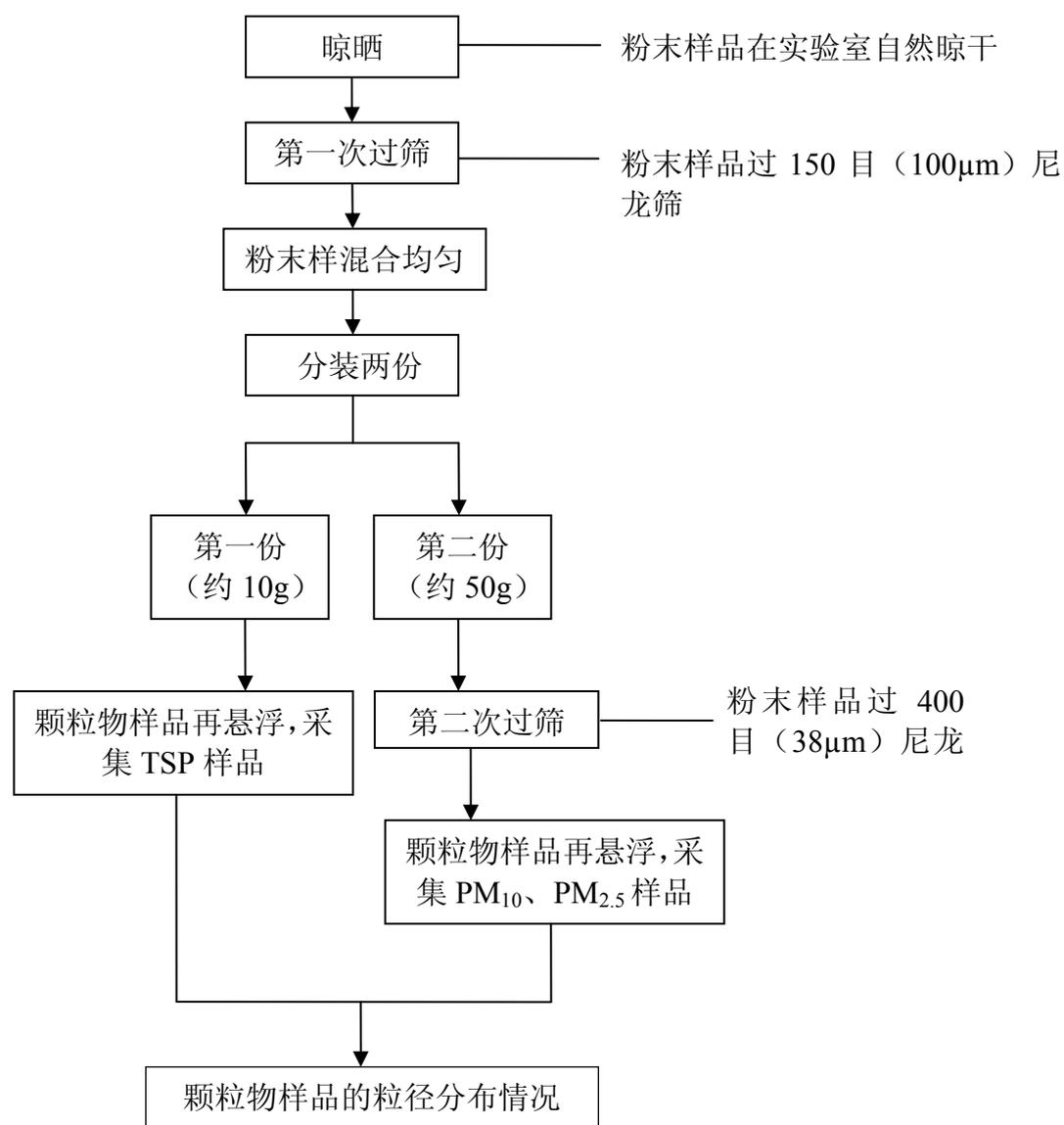
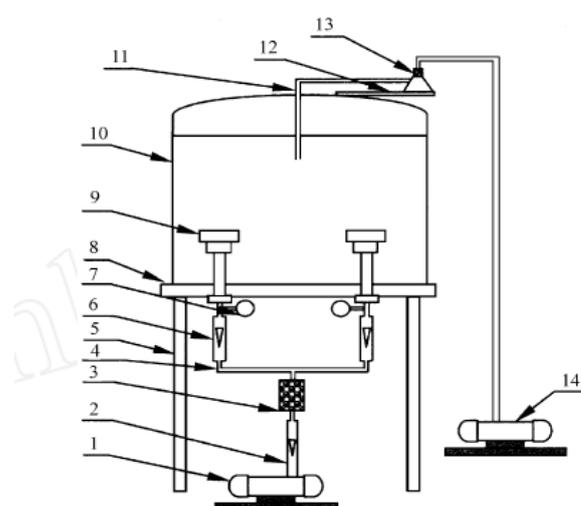


图 A-2 粉末源样品处理程序

颗粒物再悬浮采样器（图 A-3）一般包括送样系统、再悬浮箱、切割器以及采样气路，其中送样系统是将已干燥、筛分好的颗粒物进行悬浮并送至再悬浮箱中和洁净空气混合，为颗粒物再悬浮采样过程提供原始样品，再悬浮箱是悬浮颗粒物的容纳场所，通过顶部开口向采样器提供洁净空气，切割器是进行分级采样的执行元件，由不同切割头来完成对原始样品中 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 样品的采集。



1—采样泵；2—总流量计；3—过滤器；4—采样气路；5—支架；
6—分支流量计；7—真空表；8—采样平台；9—切割器；
10—再悬浮箱；11—送样气路；12—平板；
13—送样瓶；14—送样泵。

图 A-3 颗粒物再悬浮采样器结构示意图

具体操作步骤如下：

- 1) 样品经自然风干或冷冻干燥后过 150 目筛；
- 2) 将过完筛的尘样品（0.5 g 左右）放入 250 mL 带有测孔的锥形瓶中，并由过滤后的洁净空气吹入再悬浮舱，流量一般在 5 L/min；
- 3) 不同型号的再悬浮仪器存在流量不同或滤膜直径不同的情况，其对应的尘样品采集时长也不同。确定采样时长的

原则是应保证滤膜上的尘重既要能保证后续分析的需要，又要避免超重过载，一般在 5-30mg 之间。

目前还存在其它一些测定粒径的方法，例如激光粒度仪法、显微镜法等，由于这些方法得到的不是空气动力学直径，本指南不做推荐。