

附件 3

《环境空气 颗粒物来源解析 开放源扬尘 采样技术规范（二次征求意见稿）》

编制说明

《环境空气 颗粒物来源解析 开放源扬尘采样技术规范》

标准编制组

2024 年 10 月

标准名称：《环境空气 颗粒物来源解析 开放源扬尘采样技术规范》

项目统一编号：

承担单位：中国环境监测总站、南开大学、西安市环境监测站、

天津市生态环境监测中心、福建省福州环境监测中心站

编制组主要成员：王超、毕晓辉、宋文斌、陈魁、金致凡、张霖琳、陈焯、

薛荔栋、朱红霞、袁懋

环境标准研究所技术管理负责人：

大气环境司项目负责人：

目 录

1 项目背景	1
2 标准制订的必要性分析	3
3 国内外扬尘采样方法进展	4
4 技术规定制订的基本原则和技术路线	11
5 标准主要技术内容	12
6 参考文献	27
7 现场验证性实验	30
8 标准实施建议	34

《环境空气 颗粒物来源解析 开放源扬尘采样技术规范（二次征求意见稿）》等 4 项标准规范编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

为促进环境空气颗粒物来源解析（以下简称“源解析”）研究工作的业务化，促进各地科学、规范地开展源解析研究工作，2018 年，受生态环境部大气司委托，中国环境监测总站承担“大气颗粒物源解析监测技术体系构建及业务化技术支持”项目，组织开展环境空气颗粒物来源解析“开放源扬尘颗粒物采样技术规范”、“颗粒物滤膜自动称量技术规范”、“颗粒物中左旋葡聚糖、甘露聚糖和半乳聚糖的测定 离子色谱法”、“颗粒物中左旋葡聚糖、甘露聚糖和半乳聚糖的测定 衍生化/气相色谱-质谱法”的研究，编制相应的技术规范和标准方法。

2018 年 9 月 17 日，鉴于源解析工作标准化和规范化的迫切需求，大气司提出“关于将《开放源扬尘颗粒物采样技术规范》等 4 项大气颗粒物源解析技术文件纳入国家环保标准制修订项目的建议”，得到部领导的批准，同意将 4 个技术文件通过走绿色通道转化为标准规范。

1.2 工作过程

根据工作内容，成立标准编制组，由中国环境监测总站、南开大学、西安市环境监测站、天津市生态环境监测中心、福建省福州市环境监测中心站相关技术人员组成。

标准编制组分别查阅国内外相关的标准方法和技术规范，调研相关的方法研究进展和各地源解析工作实际情况等，对所收集的资料进行整理和汇总，编写了初稿。

2018 年 4 月 20 日，项目组在北京召开技术研讨会，生态环境部大气司和监测司相关负责人参会，标准编制组报告了研究内容、技术路线、技术手段等内容。与会专家进行技术研讨，提出修改意见，形成会议纪要。

2018 年 5 月—8 月，根据专家意见，标准编制组进一步梳理标准技术难点和疑点问题，继续开展方法研究，优化确定关键技术参数，并结合各地的实际应用经验，对技术文件进行完善，形成征求意见稿。

2018 年 8 月 21 日，项目组在北京召开专家研讨会，邀请来自中国环境科学研究院、中国科学院青藏高原研究所、北京市环境保护科学研究院、上海市环境监测中心、济南市环境监测中心站、广州市环境监测中心站等 6 家单位的专家参会。与会专家认真听取了项目组汇报，审阅了相关材料并进行质询和讨论，形成以下意见：

(1) 项目组在充分调研国内外源解析相关监测方法研究进展的基础上，针对存在技术难点和

疑点问题进行研究，编写了《开放源扬尘颗粒物采样技术规范（试行）》等4项技术文件，内容完整，格式规范，可为我国源解析工作的业务化提供重要支持。

（2）鉴于当前源解析业务化的迫切需求，建议尽快修改完善后上报生态环境部。

（3）主要修改意见如下：

1）明确开放源扬尘颗粒物采样技术规范的适用范围；明确城市扬尘定义，与其他扬尘进行区分；细化扬尘的采样及质控要求。

2）细化颗粒物质量浓度的测定；自动称重法技术规范中天平选择、温湿度、称重间隔时间等条件，与最新标准保持一致；仪器检定和校准分开，单独成节；修改方法原理。

3）明确颗粒物中左旋葡聚糖、甘露聚糖和半乳聚糖的测定；离子色谱法、衍生化气相色谱质谱法的适用范围等。

根据专家意见，编制组进行修改完善，形成了征求意见稿。

2018年9月17日，为了满足源解析工作标准化和规范化的迫切需求，4个技术文件被生态环境部批准转化为标准规范。接到标准制修订任务后，编制组进一步根据标准制修订要求，修改形成标准文本及编制说明。

2018年11月14日，生态环境部环境标准研究所讨论了4个标准文本及编制说明，分别对4个标准征求意见稿提出修改意见。标准编制组根据意见对标准文本和编制说明进行详细修改，将修改后的征求意见稿报送至生态环境部。

2019年4月16日，生态环境部办公厅发布《关于征求〈开放源扬尘颗粒物采样技术规范(试行)(征求意见稿)〉等4项标准意见的函》（环办标征函[2019]12号），向地方有关部门、科研机构、高等院校、有关企业及其他单位、生态环境部有关业务司局征求意见，并通过生态环境部政府网站公开向社会征求意见。截至2019年5月23日共收到40家单位的回函。标准编制组在收到回函后对回复意见进行了汇总、处理，根据意见进行了修改，对重要的技术性修改建议或意见进行了认真考虑，部分意见给予采纳，未采纳的在征求意见稿汇总表中给予说明和解释。在此基础上，形成了《开放源扬尘颗粒物采样技术规范（试行）》标准送审稿和编制说明送审稿，并提交环境标准研究所。

2019年12月5日，生态环境部大气司主持召开“《开放源扬尘颗粒物采样技术规范（试行）》等4项国家环境保护标准送审稿技术审查会”，监测司、环境标准研究所参会。专家审查委员会听取了标准主编单位关于标准送审稿的主要技术内容、编制工作过程、征求意见及对征集意见的处理情况的汇报，经质询、讨论，通过该标准的审议，通过了4项国家环境保护标准送审稿的审议，同时提出了修改意见和建议。

2019年12月5日至2019年12月25日，标准编制组根据专家意见，分别进行了修改完善，并提交给生态环境部环境标准研究所。

2020年1月20日，标准编制组将报批稿报送生态环境部大气司。

2024年4月~7月，按照生态环境部大气司要求，根据颗粒物来源解析技术及标准进展，标准编制组进一步修改完善报批稿。

2024年7月，大气司征求法规司、科财司、监测司、执法局和中国环科院意见，根据意见，标准编制组进一步修改完善报批稿。

2024年10月，大气司组织召开司务会，编制组根据意见对标准进行了再次修改完善，形成了《环境空气 颗粒物来源解析 开放源扬尘采样技术规范（二次征求意见稿）》，拟再次征求意见。

2 标准制订的必要性分析

环境空气颗粒物来源解析工作是科学、有效开展大气污染防治工作的基础和前提，是制定环境空气质量达标规划和重污染天气应急预案的重要依据，是开展大气污染防治措施效果评估的重要手段。为更好地支撑大气污染防治工作，有必要构建源解析标准体系，推动源解析工作由研究性向业务化转变，提高源解析结果的科学性和可比性。目前，生态环境部通过颁布标准和下发技术文件，初步形成了一套围绕广泛应用的基于手工监测的受体模型解析法源解析标准体系，可满足源解析工作的基本需求。该源解析标准体系仍需要不断完善，为我国源解析业务化提供支持。

在源解析工作中，扬尘是一类重要的颗粒物来源。采集扬尘源颗粒物样品的目的是为了得到扬尘颗粒物中各类化学组分信息，构建各类扬尘的源谱。由于扬尘源自身排放规律的特殊性，原地采样十分困难。常用的扬尘样品采集方法一般包括两个部分：（1）现场采样部分：在现场采集扬尘源颗粒物样品，（2）实验室再悬浮采样部分：将现场采集的颗粒物样品带回实验室，通过再悬浮采样技术，模拟扬尘的排放情况，采集一定粒径的颗粒物样品。

对于现场采样部分，目前国外还没有专门针对源解析工作需求的多种扬尘源颗粒物样品标准采样方法。一些相关的推荐性方法满足其他工作需求，而且多以研究探讨为目的，没有对采样技术本身进行系统详细的规定。EPA在1995年出版了《Compilation of Air Emissions Factors》（AP-42），该汇编主要包含了200多种污染源的排放因子，里面的附件C.1推荐了道路积尘的采样方法（Procedures for Sampling Surface/Bulk Dust Loading），该方法用于对道路积尘的排放因子进行测试。国内也没有针对源解析工作需求的多种扬尘源颗粒物样品标准采样方法。《防治城市扬尘污染技术规范》（HJ/T 393-2007）在附录B中提供了道路积尘负荷的监测方法，没有提供其他扬尘（施工扬尘、土壤扬尘等）的采样方法。原环保部印发的《环境空气颗粒物来源解析监测技术方法指南》（监测函〔2020〕8号）对扬尘颗粒物采样进行了较为详细的规定，但是该指南未上升为标准，指导各地源解析扬尘采样工作。

因此，有必要开展开放源扬尘采样的标准制订工作，确定常见的土壤扬尘、道路扬尘、施工扬尘、堆场扬尘、混合扬尘采样的技术要求，统一和规范各地的扬尘采样工作。

3 国内外扬尘采样方法进展

(1) 扬尘采样方法

在源解析工作中，扬尘分为土壤扬尘、道路扬尘、施工扬尘、堆场扬尘、混合扬尘等。每种扬尘颗粒物采样方法不尽相同。虽然国内还没有相关的标准方法，但是为了开展源解析工作，全国监测系统和相关研究机构对扬尘样品采集开展了较多的研究和应用。对这些研究应用进行细致分析，发现各地做法不够统一，甚至有些方面存在冲突，有必要制定标准来统一采样方法。

以下对几类主要扬尘源的采集技术进展，分别简要综述。

1) 土壤扬尘

目前现有的土壤扬尘源大多通过筛分和再悬浮采样两种方法获得不同粒径的尘样品，随后进行化学组分分析。筛分的方法不能获得特定粒径的样品，因此主要还是通过再悬浮采样方法获得。国内研究多使用铁锹（铲）或竹片采集表层土壤，然后进行再悬浮获得特定粒径的颗粒物样品（Zhao et al., 2006; 马召辉, 2015; 王燕, 2016; 彭杏, 2016; 武媛媛, 2017）。土壤尘采样布点的方法一般参考土壤质量监测方法，在城市郊区，多采用梅花型布点法，土壤扬尘样品采集现场见图 1。



图 1 土壤扬尘样品采集现场

2) 道路扬尘

道路扬尘源的采集方法主要通过选择不同类型的道路，采用吸尘器或者笤帚扫方式收集尘粒，

同点位样品等比例混合自然阴干后，通过实验室再悬浮获得道路扬尘源样品（马召辉，2015；王燕，2016；陈筱佳，2015；武媛媛，2017），道路扬尘样品采集现场见图 2。



图 2 道路扬尘样品采集现场

3) 施工扬尘

国内研究主要通过收集水泥厂和建筑工地的水泥粉尘样品（Zhao，2006；滕加泉，2015；彭杏，2016；武媛媛，2017），或将不同标号水泥等比例混合（马召辉，2015），然后通过再悬浮采样系统分级采样获得特定粒径的源样品。

4) 堆场扬尘

堆场扬尘是指堆放的各种工业料堆（煤堆、沙石堆以及矿石堆等）、建筑料堆（沙石、水泥、石灰、建筑渣土等）、工业固体废弃物料堆（冶炼渣、化工渣、燃煤灰渣、废矿石、尾矿和其他工业固体废物等）由于堆积和风蚀作用下造成的扬尘。在各地开展的源解析工作中，较少开展堆场扬尘采样工作。对于存在较大堆场的城市，其堆场扬尘采样一般参考《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166），选择梅花点法、棋盘式法或蛇形法等进行布点采样，以四分法混合为一个样品。

5) 混合扬尘

混合扬尘是能够反映城市长期颗粒物化学组成特征的重要源类，其采集关键在于采样点位的代表性。目前国内布点方法是在受体监测点位周边选取数个不受局地排放影响的文教居住区域。国内研究主要通过扫尘法（采样现场见图 3）采集混合扬尘，将原始样品经过尼龙筛筛分后使用再悬浮采样法得到特定粒径的混合扬尘排放颗粒物的样品（Zhao et al., 2006；马召辉，2015；王燕，2016；彭杏，2016）。



图 3 混合扬尘样品采集现场

(2) 吸尘器采样技术

扬尘源样品收集方法包括吸尘器收集、毛刷收集、铁锹或竹片收集等方法，其中吸尘器采样适用于收集一定面积上的扬尘样品，在道路扬尘采集中应用较多。吸尘器的工作原理是利用串激电机作为原动力，在接通电源的前提下，电动机带动风机叶轮高速旋转，产生吸气的的作用，使叶轮在空气中得到能量，并利用极高的速度从风机排出。这时，位于风机前端吸尘部内的空气，源源不断地补充到风机中去，形成了吸尘部内瞬时真空，使吸尘部内与外界产生很高的负压差，即形成了空气吸力，通过吸口、导管使充满尘埃和脏物的空气吸入吸尘器的集尘室内，经过滤尘器的过滤，使尘埃和脏物留在集尘室内，而使过滤后的清洁空气从风机、电机的后部出气口排出，重新逸入室内。

下面就吸尘器种类、集尘方式和道路扬尘采样应用分别进行介绍。

1) 吸尘器种类

A. 按照功率分类

吸尘器的输入功率主要表示耗电量大小。通常来说，同一品牌的吸尘器吸力与功率成正比，吸尘器的功率越大，吸力也越强。但不同品牌的同样功率的吸尘器，吸力却是不同的，这是因为吸尘器的吸力大小还与密封性、电机效率有关。如果产品密封性不好，有可能造成功耗高吸力低的问题，真正重要的指标应该是吸入功率或者效率。而国家标准中并未对该指标的标注进行要求，仅要求企业标注产品功率（桑雪骐, 2010）。在铭牌上标注的吸尘器功率即是指吸尘器的平均输入功率（郑利东, 2013）。

吸尘器在性能上辨别是依据输出功率，也称为吸入功率。吸尘器在运作时产生的吸力是依靠风力和真空力的合力，风力大时真空力变弱，这两者合力的极大值，就表示吸尘器的吸入功率。吸入

功率越大，吸尘器的工作性能也就越强。国际上统一规定的吸入功率单位是瓦（W），也是真空度的数值。

按照吸尘器的电机容量大小分为大型功率吸尘器、中型功率吸尘器和小型功率吸尘器。大功率吸尘器为传统吸尘器，一般功率在 3000~4500 W 之间，大功率吸尘器的吸尘力很强，适合面积较大的居室使用。中型吸尘器的功率一般在 300~2000 W 之间，吸尘能力相对较弱，适合清除地面、墙面和地毯上的积灰。小型功率吸尘器的功率在 60~200 W 之间，吸尘能力弱，只能适用于清洁衣服、电脑等，但是很省电。市场上的吸尘器以 250 W、400 W、600 W、800 W 为数居多。

B. 按照造型结构分类

a. 卧式吸尘器

卧式吸尘器的外形大小一般为长：40~50 cm，宽：30~40 cm，高：25~35 cm，其外形特征见图 4 所示。卧式吸尘器的电动机安装是与地面平行的，主要部件，电机、风机、过滤器、和集尘桶都是按顺序沿着水平方向安装在壳内。卧式吸尘器的应用领域：地毯、车内的清洁、电器、家居等。特点是外形小巧，存放方便。卧式吸尘器在集尘方式上也分为“尘盒式吸尘器”和“尘袋式吸尘器”。

在市场上较为常见的就是卧式吸尘器，一般的卧式吸尘器的吸头是可拆卸的，可以根据不同场所的清洁需求换不同的吸头，有清洁地面的专用地板刷头，有清洁沙发、窗帘织物的扁毛刷头，有清除死角昏兑灰尘的小型吸头。卧式吸尘器都配有软管，灰尘在吸力的作用下通过长长的软管进入集尘桶内，完成清洁过程。

卧式吸尘器的外形以小车型和长方形居多，结构上分为前壳、后壳和附件三大部分，前壳体积小适合安置集尘桶，后壳稍大适合安置电动机和风机，中间一般采用密封的胶条连接。附件包括软管、吸头、长管和配置的刷头。

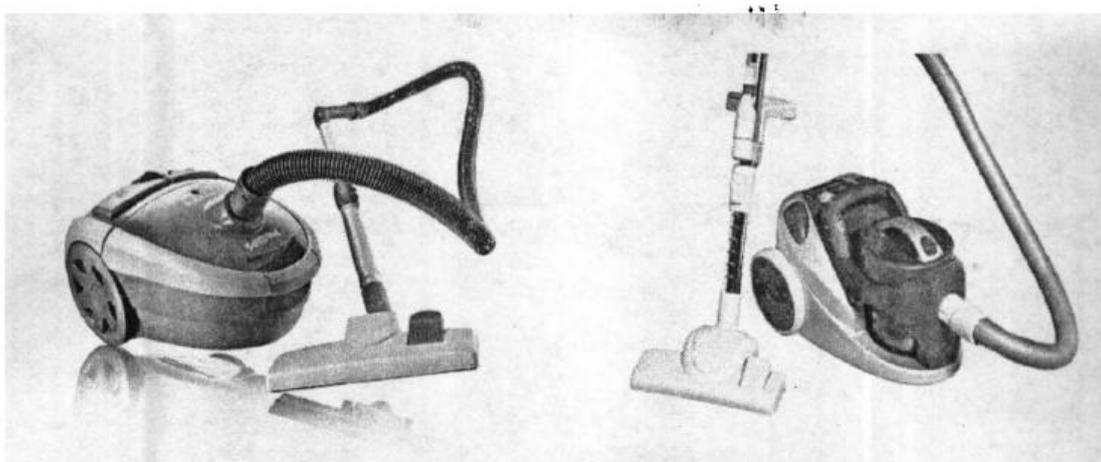


图 4 卧式吸尘器

b. 立式吸尘器

立式吸尘器的外形大小一般为，外径：30~40 cm，高：30~50 cm，主要的组成部分是电动机、离心式风机、过滤器和附件，功率为400~1000 W，其外形特征见图5所示。立式吸尘器的应用领域：地毯、车内的清洁、电器、家居等。特点：立式吸尘器通常体型庞大、功率大、工作量大、不方便移动，需要设计长而灵活的吸尘管道。立式吸尘器的电动机主轴安装是垂直于地面的，电机、风机、过滤器、集尘桶按顺序由上至下安装在壳内。在工作时，立式吸尘器是垂直放置在地面上的，所以要加以移动时用的滑轮和人操作的把手。立式吸尘器多为圆筒形和方形，结构上分为上部、中部、下部和附件四大部分。上部安置电动机和风机，中部设有密封胶条，下部安置过滤器和集尘袋。附件包括软管、吸头、长管和配置的刷头。立式吸尘器在美洲市场占有率较高，吸力大除尘力强，多用于大面积的居室和地毯清洁。

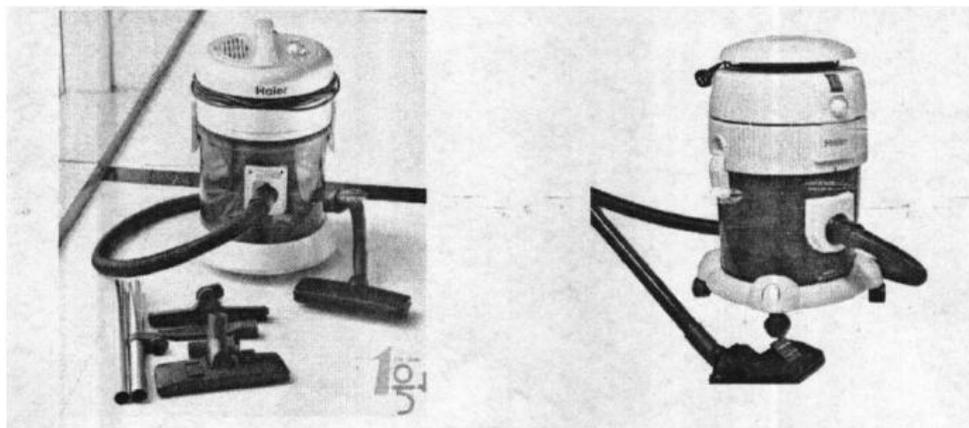


图5 立式吸尘器

卧式吸尘器和立式吸尘器是目前家用吸尘器里使用较多的种类，除了结构安置的不同，最大的区别就是集尘桶大小的不同，对一般家庭来说比较适合选用卧式吸尘器，对于居室面积稍大或是单位的使用来说则适合选用立式吸尘器。

c. 手持式吸尘器

手持式吸尘器的外形特点见图6所示。特点是体型小巧，携带及使用非常方便，但功率较小，吸力不够强劲。手持式吸尘器的应用领域主要用于车内的清洁，对键盘，电器等也有良好效果。手持式吸尘器分为直接接电源式和充电式两种。操作方式是直接握在手中使用，省去了软管部分，直接装工作吸头就能使用。手持式吸尘器在结构上来说比较简单，没有附件，功率小所以吸尘效率也较低，在300 W以内，只适用于小面积的清洁，但是因为其体积小，便于携带，价格较低，也受到家庭的喜爱。

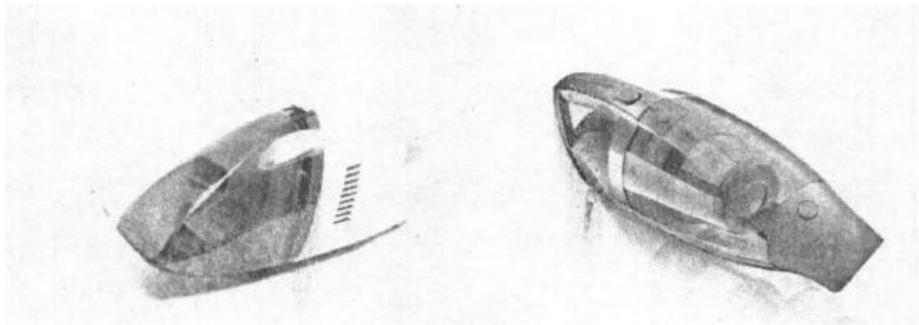


图 6 手持式吸尘器

d. 杆式吸尘器

杆式吸尘器的外形特点见图 7 所示。杆式吸尘器是清洁房顶和墙壁的首选。特点：体型小巧，使用方便。杆式吸尘器外形上像一根杆，上端为把手，下端为吸头。动力多为充电式，它的导管是直接连接在吸尘器的吸口处和工作刷头处，在清洁地面、地毯、墙角时不用弯腰，方便了清洁低矮出的灰尘，功率较小，一般都低于 400 W。



图 7 杆式吸尘器

2) 集尘方式

家用吸尘器在集尘装置上分为两种，尘袋式和尘仓式。尘袋式是在吸尘器内安装了尘袋，尘仓式则没有尘袋。装有尘袋的吸尘器在吸尘之后可以把尘袋直接扔掉，不必清洗，这避免了灰尘的二次污染也省去了清洗集尘袋的麻烦，这种吸尘器在国外很受欢迎。在国内，限于纸制集尘袋的成本问题，使用的还是无纺布制作的集尘袋，这就增加了清洗集尘袋这道工序，所以，这样的吸尘器在市场并不是很受欢迎。尘仓式的吸尘器是将灰尘直接吸入集尘桶，去掉了集尘袋这一环节，在清理垃圾时只需要倒出灰尘再冲洗集尘桶便可，这种方式减轻了清洗集尘袋的麻烦。

A. 布制过滤器法

布制过滤器是在动力部分和集尘桶之间设置一个用绒布制成的过滤器，如图 8，这是最普遍的

集尘法。布制过滤器是利用空气吸力把灰尘吸入机器内再被过滤器阻隔，让灰尘垃圾进入集尘桶内。等使用一段时候之后，需要及时的清理桶内的垃圾并清洗过滤器。这个方法不足的地方就是在清理集尘桶时会再次污染空气，让灰尘又一次的进入到环境中，并且增加了清洗集尘桶和过滤器的麻烦。

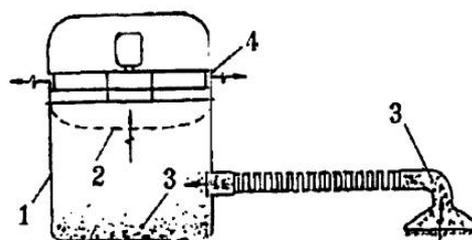


图 8 布制过滤器法

(1. 吸尘桶; 2. 绒布过滤器; 3. 尘土垃圾; 4. 排气)

B. 一袋集尘法

一袋集尘法是在前一种方法上加以改进，把过滤器与集尘袋进行一个加法，将过滤层装在了集尘袋的入口处，如图 9 所示。当有垃圾被吸入时直接进入集尘袋，使用一段时间之后，直接把袋内的垃圾倒掉，防止灰尘进入桶内，但这个方法仍然不可避免需要定时的清理垃圾和清洁集尘袋的麻烦。

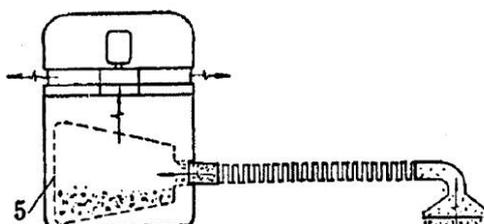


图 9 一袋集尘法

(5. 集尘袋)

C. 一次性集尘袋

一次性集尘袋是在一袋集尘法的基础上再次的进行改造，这免除了清理集尘袋的麻烦，把集尘袋做成一次性的，在清理垃圾时把集尘袋一起抛弃，使用一个新袋子。为了降低袋子的使用成本，在布料的选择上应采用了价格低廉的材质，这种方式在国外市场运用的较多。

3) 吸尘器应用于道路扬尘采样的可行性

根据美国环保局 (EPA) 发布的 AP-42 中铺装道路扬尘现场采样规范要求，采样方法有两种：
(a) 对于道路表面较清洁的采样道路可用吸尘器 (吸尘器可分为无线吸尘器和有线吸尘器两种，其

中有线吸尘器还需另准备发电机或电瓶)进行采样;(b)对于道路表面较脏的采样道路可用簸箕和扫把进行采集(程健,2015)。目前,国内有很多研究使用吸尘器采集道路扬尘。王帅杰(王帅杰,2006)利用真空收集法监测道路积尘量,制定了道路积尘量限定标准环境效益的评估方法;张亚飞(张亚飞,2015)基于真空吸尘法建立了天津市道路扬尘排放清单;黄嫣旻(黄嫣旻,2006)基于真空吸尘法采集道路扬尘,从而确定了上海市和吴淞工业区道路的起尘总量。

选择采样吸尘仪器可遵循以下原则(张亚飞,2015):

(1) 吸尘器输出功率应足够大,以保证路面尘土被收集,但考虑到道路采样电源供应不便,因此吸尘器功率也不能太大。即在选择吸尘器时应同时考虑收集效率及电力供应两方面因素。

(2) 吸尘器管路不应太长否则会造成管路尘土残留过多,降低准确性。

(3) 吸尘器地刷大小应适宜。

(4) 吸尘器工作时应保证不会产生尘土二次扬起,因此要求地刷应与地面之间的缝隙较小。

(5) 吸尘器性能稳定,对不同清洁程度及路面类型的道路收集率都应保持在较高水平。

综上所述,针对于颗粒物源解析中扬尘采样工作,国内外尚无相关的标准规范。各地扬尘采样工作主要通过部分参考其他标准规范,同时结合已有的工作经验和文献材料来开展,有一些相同的做法,也存在许多不同的做法。因此,需要开展扬尘采样技术研究,解决存在的技术问题,统一采样要求,为颗粒物源解析中扬尘采样提供技术支持。

4 技术规定制订的基本原则和技术路线

4.1 标准制订的基本原则

面向源解析工作的需求,本着科学性、先进性和可操作性等原则,总结我国源解析工作中扬尘源采样实践,结合已有的研究成果,通过进一步的研究和完善,制定本标准。

4.2 标准制订的技术路线

本标准的资料性概述要素、规范性一般要素、规范性技术要素等技术内容的编排、陈述形式、引导语等遵循《环境保护标准编制出版技术指南》中的有关规定。

通过对国内外扬尘采样法的标准及资料调研、扬尘相关采样仪器的研发情况调研、扬尘采样技术的应用情况调研,编写土壤扬尘布点和采样方法、道路扬尘布点和采样方法、施工扬尘布点和采样方法、堆场扬尘布点和采样方法、混合扬尘布点和采样方法以及质量控制和质量保证,针对一些技术疑点和难点问题,开展室内实验和现场实验相结合的验证方式,进一步完善技术规定文本和编制说明,经过专家研讨修改,最终形成并提交技术规定及编制说明。

本技术规定制订的技术路线如图 10:

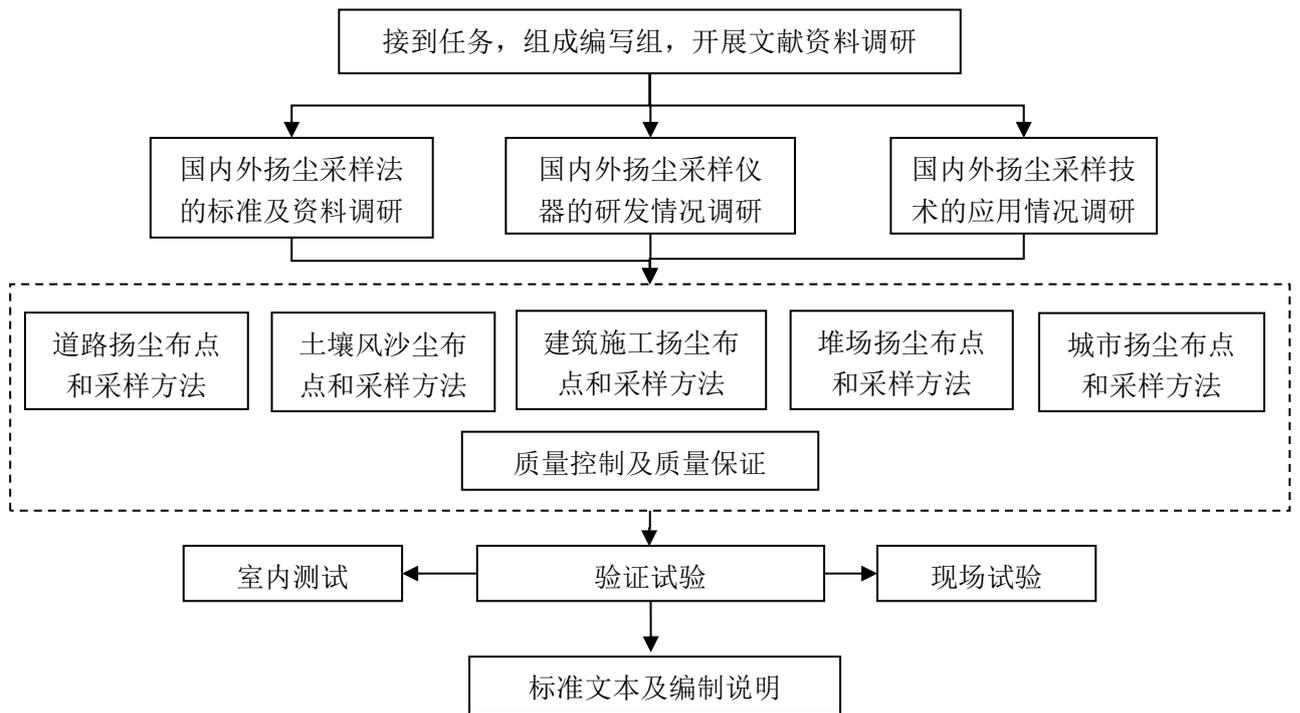


图 10 技术路线

5 标准主要技术内容

5.1 适用范围

本标准是在《环境空气颗粒物来源解析监测技术方法指南》（监测函〔2020〕8号）、《大气颗粒物来源解析技术指南（试行）》（环发[2013]92号）的基础上，对开放源各类扬尘的布点、现场采样方法、采样设备技术指标、采样质量保证等做了较为细致的规定。

本标准编制目的是为环境空气颗粒物来源解析研究中开放源扬尘颗粒物采样提供技术指导，适用于各级环境监测站及环境科学研究部门等开展环境空气颗粒物来源解析工作。

在环境空气颗粒物源解析工作中，一般将扬尘分为土壤扬尘、道路扬尘、施工扬尘、堆场扬尘、混合扬尘等，分别进行采样。因此，本标准具体规定了土壤扬尘、道路扬尘、施工扬尘、堆场扬尘、混合扬尘的采样方法。

5.2 规范性引用文件

本标准引用《防治城市扬尘污染技术规范》（HJ/T393）、《土壤环境监测技术规范》（HJ/T 166）、《环境空气颗粒物来源解析监测技术方法指南》（监测函〔2020〕8号）、《大气颗粒物来源解析技术指南（试行）》（环发[2013]92号）、《空气和废气监测分析方法》（第四版增补版）。

部分术语和定义引用和参考了《环境空气颗粒物来源解析监测技术方法指南》、《防治城市扬尘

污染技术规范》(HJ/T393)、《大气颗粒物来源解析技术指南(试行)》中的内容。

土壤扬尘、堆场扬尘的布点和采样方法参考了《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166)。

道路扬尘的布点采样方法部分参考了美国EPA的《AP-42, Appendix C.2, "Procedures For Laboratory Analysis Of Surface/Bulk Dust Loading Samples"》以及《防治城市扬尘污染技术规范》(HJ/T393)。

5.3 术语和定义

本标准共引用7条术语,其中开放源定义参考了《环境空气颗粒物来源解析监测技术方法指南》(监测函(2020)8号);扬尘、道路扬尘、土壤扬尘、施工扬尘、堆场扬尘定义参考《防治城市扬尘污染技术规范》(HJ/T 393);混合扬尘定义参考相关学术论文和博士学位论文等研究成果。

5.4 设备和材料

对于土壤扬尘和堆场扬尘,参考《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166),土壤扬尘采样涉及采样工具包括铁锹(铲)、竹片等;采样器材包括GPS、卷尺、照相机、样品袋、弹簧秤、现场混合土样用塑料布、采样记录表、样品标签等。

对于道路扬尘,根据实践工作总结,采样工具包括吸尘器(主要技术指标:输入功率大于等于500 W,尘袋式储尘方式)、吸尘器用集尘袋,采样器材包括密封袋、发电机、GPS、卷尺及标线、锥形警示牌、反光背心、样品标签、照相机、台秤(感量 ≤ 0.1 g)等。关于吸尘器,充电式便携吸尘器已比较普及,方便携带,比较适合采集道路扬尘,但是考虑道路扬尘采样时间较长,野外采样时不方便充电。因此并不规定采用充电式便携吸尘器,技术人员可能根据实际,选择充电式或非充电式吸尘器,在“设备和材料”的最后列上发电机,括号说明“必要时”。监测人员可根据实际情况进行选择使用。

对于混合扬尘和施工扬尘,根据实践工作总结,采样工具包括毛刷子、簸箕,采样器材包括密封袋、GPS、样品标签、照相机、台秤(感量 ≤ 0.1 g)等。

对于样品制备过程,需要20目尼龙筛、150目尼龙筛,若采用冷冻干燥方式,则需要冷冻干燥机。

5.5 采样方案的制定

从源解析工作的需求出发,在采样前根据已有的污染源清单,再结合深入的污染源调查,识别与本地区颗粒物来源相关的主要污染源类别,选取本地区代表性的污染源进行采样。根据本地区各类扬尘的分布特点,确定采样点位、采样时间、采样频次等。

需要根据采样目的和调查资料,制定切实可行的采样方案。采样方案应至少包括污染源概况、选取原则、采样目的、采样内容、采样位置、采样时间及频次、采样方法、样品存储要求、质量保

证措施等内容。对于经常重复的采样任务，方案可适当简化。

确定采样的污染源类和采样时间频次后，再根据采样目的和调查资料，编制切实可行的采样方案。方案的内容应至少包括污染源概况、选取原则、采样目的、采样内容、采样位置、采样频次及采样时间、采样方法、样品存储要求、质量控制和保证措施等。对于经常性重复的采样任务，方案可适当简化。

5.6 布点要求

(1) 土壤扬尘

土壤扬尘是指由于自然力或人力作用把裸露地面、农田，干枯的河道、湖底的土壤扬起并扩散到空气中形成的扬尘。土壤扬尘是一个复杂的源类，它一方面是大气颗粒物的源，即土壤扬尘会通过风蚀和搬运作用而由土壤表面悬入空中并可能从一个地区进入另一个地区；另一方面也是大气颗粒物的汇，大气中的颗粒物由于大气沉降而吸附在土壤表面进而影响土壤扬尘的组成及其含量（即成分谱）（王文兴等, 2005）。也就是说土壤扬尘元素来源相当广泛，有的直接来源于母岩母质，受自然因素的影响，有的来源于其他地区（如沙尘天气作用），还有的来自人类的活动，这些来源均与风沙尘所在地区密切相关，具有区域性。

由于城市内部的裸地很容易受到其他源的影响，因此通常将土壤扬尘的采样点设置在城郊，按照不同的方位均匀布置在城市周边（刘珊等, 2015），用不同采样点上土壤扬尘化学组成的等权平均值代表一个地区土壤扬尘的源成分谱（姬亚芹等, 2006）。因此本标准要求在城市东、南、西、北4个方向距离市区10~20 km左右范围的城市郊区布点，要求每个方向至少设3个点。由于区域土壤成分相对稳定，布点时不考虑土壤利用类型进行分类采样。

国内还有一些研究除了在城市的四周均匀布点外，还在常年主导风向上下风向加密布点，采样点尽量远离工业区（陈静生等, 1984）。由于在主导风向上容易产生土壤扬尘，所以为增加样品的代表性，有必要在主导风向的上风向布设采样点位。因此本标准要求对于主导风向与上述4个方向不同的情况，在主导风向的上风向至少布设3个点。

为提高采样代表性和可操作性，总结实践经验确定采样点之间距离不小于500 m。为减少其他源类的影响，采集到真正来源于土壤的扬尘，本标准要求采样点周围（500 m范围内）无其他显著人为污染源（如厂矿、村落、商业和居民聚集区、交通道路、建筑工地等）。

(2) 道路扬尘

道路扬尘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)的作用下进入空气中形成的扬尘（防治城市污染技术规范, 2007）。道路扬尘作为一种复杂的混合源，具有受体和污染源两重性。一方面它是其他尘源类（土壤扬尘、施工扬尘、燃煤尘、钢铁尘、机动车尾气尘等）所排放颗粒物的受体（陈筱佳, 2015），另一方面它又会在风力、车辆碾压等作用下重新扬起进入到

大气环境中，成为大气颗粒物的排放源。

根据《城市道路工程设计规范》(CJJ 37—2012)，城市道路根据其承担交通功能的不同，可以分为快速路、主干道、次干道和支路。其中快速路在特大城市或大城市中设置，是用中央分隔带将上，下行车辆分开，供汽车专用的快速干路，主要联系市区各主要地区、市区和主要的近郊区、卫星城镇、联系主要的对外出路，负担城市主要客、货运交通，有较高车速和大的通行能力，快速路的设计行车速度为 60~100 km/h。主干路是城市道路网的骨架，联系城市的主要工业区、住宅区、港口、机场和车站等货运中心，承担着城市主要交通任务的交通干道，主干路的设计行车速度为 40~60 km/h。主干路沿线两侧不宜修建过多的行人和车辆入口，否则会降低车速。次干路为市区内普通的交通干路，配合主干路组成城市干道网，起联系各部分和集散作用，分担主干路的交通负荷。次干路兼有服务功能，允许两侧布置吸引人流的公共建筑，并应设停车场，次干路的设计行车速度为 30~50 km/h。支路是次干路与街坊路的连接线，为解决局部地区的交通而设置，以服务功能为主。部分主要支路可设公共交通线路或自行车专用道，支路上不宜有过境交通。支路的设计行车速度为 20~40 km/h。

为保证道路扬尘的代表性，本标准要求分别采集快速路、主干道、次干道和支路的道路扬尘。对于每种类型的道路，至少选择 2 条道路进行采样，避开附近施工以及其他显著污染源的道路上。

道路扬尘的采样方法目前主要包括降尘法、积尘负荷法等。降尘法根据收集容器内所加入的介质不同又分为干法、湿法和玻璃球法三种。安塞等(安塞, 2017)采用干法收集，在石家庄市选择快速路、主干道、次干道、支路 4 种类型道路，每种类型道路各两条，每条选择 8 个采样点，对称布设道路两侧。樊守彬等(樊守彬, 2010)采用湿法收集装置，对北京城八区的快速路、主干道、次干路和支路共计 40 条道路进行道路降尘监测，每条道路布置 2 个降尘监测点，同时选择 14 个公园或绿地进行背景降尘检测。降尘法采集的颗粒物容易受到其他污染源的影响，且采样时间长，在源解析工作中应用较少。

积尘负荷法是目前应用较多的一种采样方法，主要分为两种。一是美国环保局(EPA)公布的 AP-42 表面采样测定积尘负荷的方法，依据所采典型路段的长度来规定采样点位的位置以及数量。如果采样路段的长度大于 2.4 km，采样点的第一个位置确定在距离路口小于 800 m 的位置，然后从第一个采样点往后间隔 800 m 后再确定 1 个采样点。一般情况下，每个采样路段共设置 3 个采样点位。如果采样路段长度小于 2.4 km，在布点时将会随机选择 3 个采样点位，但应注意避开施工路段、公交站、路口等有明显局部污染源或者明显对积尘负荷有影响的设施或者建筑。二是根据《防治城市扬尘污染技术规范》，对每一条路，每隔 3 km 采集一个样品。每个样品至少需要三个子样品混合(即每隔 0.5~1 km 采一个子样，然后将这 3 km 内采集的子样品混合成一个样品)。对于长度小于 2 km 的路，整个路段推荐采集 3 个样品，不做混合处理。

由于在实际源解析工作中，很难找到两路口之间距离大于 2.4 km 的路段，在部分参考上述两种

方法的基础上，本标准确定每条采样道路设置 3 个采样区域，第 1 个采样区域设置在距离路口至少 50 m 的位置，然后从第 1 个采样区域沿道路延伸依次间隔 800 m 左右确定第 2 和第 3 个采样区域。

对于每种类型的道路，由于相比非机动车道、辅路，主路上车辆行驶多，对路面扰动厉害，产生更多的道路扬尘。因此选择在主路上进行采样。考虑实际采样的可操作性和安全性，选择靠近路缘石的主路进行采样。靠近路缘石的主路往往会涉及下水口，容易受到绿化带土壤等影响，因此要求采样区域距离路缘石 0.5 m 以上，确定一个 1 m×5 m 的采样区域（见图 11）。在设置采样区域时，需要注意避开施工路段、公交站、路口等有明显局部污染源或者明显对道路扬尘有影响的设施或者建筑，确保路面无明显的抛洒物（如土壤、水泥、煤粉等），能采集到真实的道路扬尘。

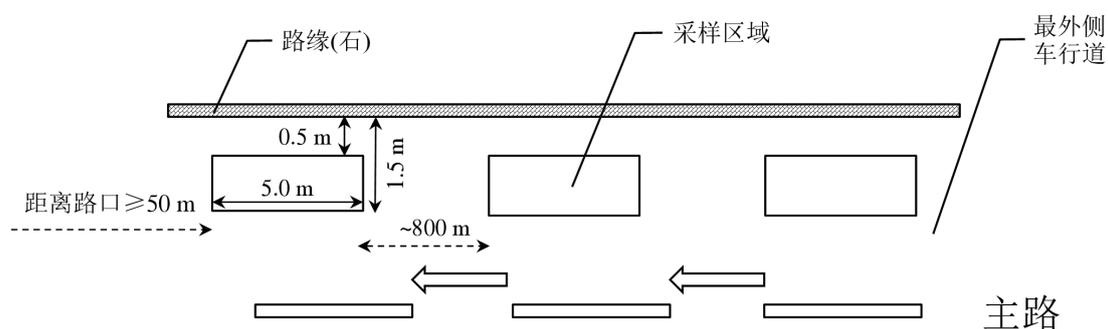


图 11 道路积尘采样点布置图

根据道路力学分类，城市道路主要分为柔性路面和刚性路面两大类。其中柔性路面以沥青路面为代表，刚性路面是以水泥砼路面为代表。为了研究同一区域不同的道路类型得到的道路扬尘源成分谱的差异，不同种类道路对道路扬尘化学组分的影响，本报告对比了某市通过采集沥青道路和水泥道路样品获得的道路扬尘 $PM_{2.5}$ 成分谱（图 12）。通过上述两种方式获得的道路扬尘 $PM_{2.5}$ 成分谱中 Si 的百分含量均最高，其次为 Ca。水泥道路扬尘 $PM_{2.5}$ 成分谱中化学组分的含量均高于沥青道路。通过计算可知，通过上述两种方式获得的道路扬尘 $PM_{2.5}$ 成分谱的分歧系数为 0.12 (<0.2)，表明通过采集沥青道路和水泥道路样品获得的道路扬尘 $PM_{2.5}$ 成分谱相似，差异不显著。因此，本标准不要求专门针对沥青道路和水泥道路进行分别采样。

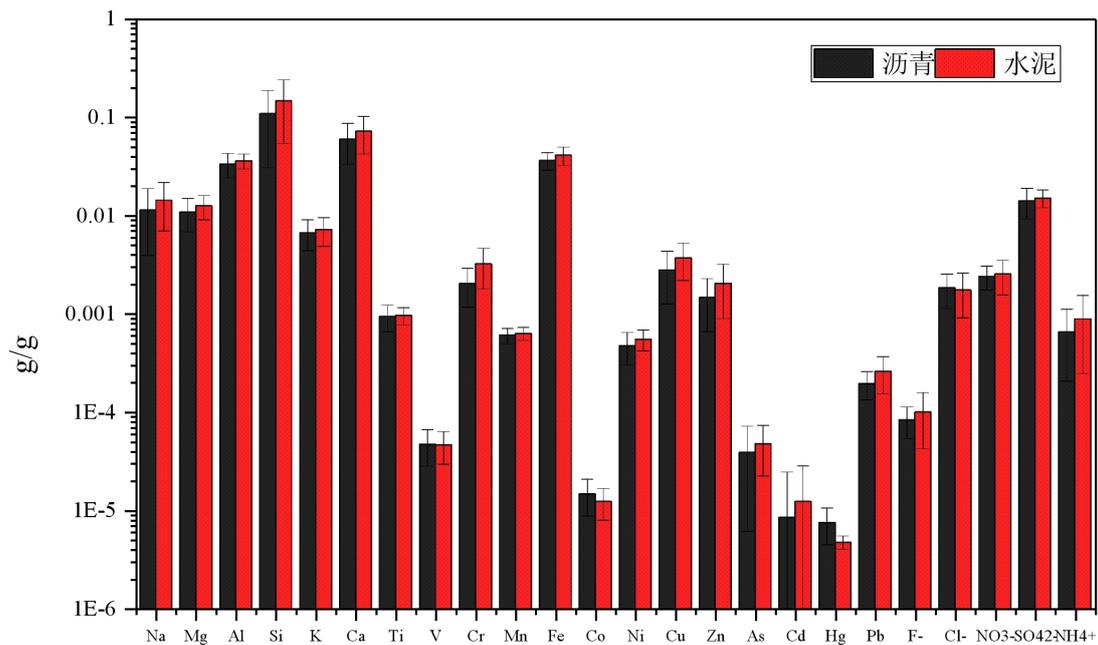


图 12 某市沥青以及水泥道路扬尘 PM_{2.5} 源成分谱

为了研究同一区域不同道路类型得到的道路扬尘源成分谱的差异，本报告总结了某市不同类型道路扬尘 PM₁₀ 源成分谱，包括主干道、次干道、支路以及隧道。由图 13 可知，各种类型道路颗粒物中地壳类元素含量较高，其中 Si 元素占比最高，其次为 Ca、Al 和 Fe 元素。由图 13 可知，通过采集隧道样品获得的 PM₁₀ 成分谱和通过采集其他尘获得成分谱中组分含量差异较大，尤其是 SO₄²⁻、Cd、Pb、Zn。

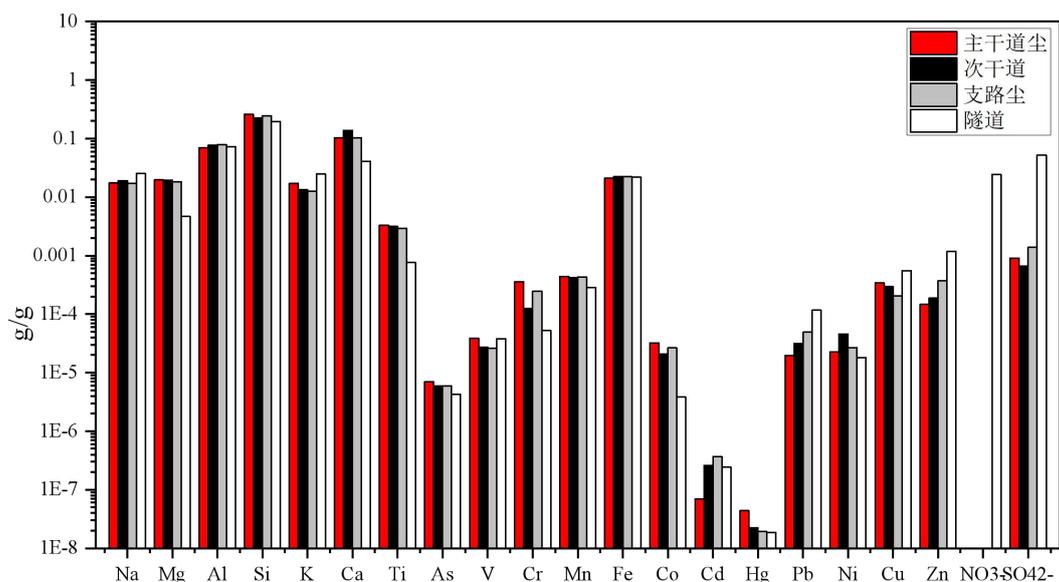


图 13 某市各种道路扬尘 PM₁₀ 源成分谱

由分歧系数结果可以看出（见表 1），隧道与其他类型道路的 CD 值均较高（0.4~0.5），主干道、次干道与支路间的 CD 值相对较小，表明隧道与其余类型道路的源成分谱差异显著，在源样品采集过程中应注意区分。由于城市里隧道在道路中的占比很小，且对道路扬尘贡献也较小，为提高采集的道路扬尘代表性，在源解析中应避免采集隧道中的道路扬尘。

表 1 不同道路类型道路扬尘 PM₁₀ 源成分谱分歧系数

CD 值	主干道	次干道	支路	隧道
主干道	0	0.23	0.25	0.50
次干道		0	0.17	0.45
支路			0	0.43
隧道				0

（3）施工扬尘

施工扬尘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活动中产生的扬尘。广义的施工扬尘主要来源于以下主要排放过程，现场的土方施工，如挖掘机进行土方挖掘；运输车辆行驶过程中扬起地面的扬尘；现场施工机械及运输车辆的尾气排放；现场的建筑材料加工，如水泥的搅拌、钢筋材料、木板的加工等；模板的拆卸及墙面的打磨等（杨杨, 2014）。由于土方挖掘产生的扬尘以及现场施工机械及运输车辆的尾气尘与其他施工扬尘成分相差很大，且源解析中无法将其与其他扬尘区分，因此本标准中施工扬尘暂不包括上述施工扬尘。

目前，在颗粒物来源解析研究中，通常有两种方法采集施工扬尘：①利用建筑水泥来代表施工扬尘；②在建筑工地随机采集路面或地面的积尘作为建筑尘的源样品。赵普生等（赵普生等, 2009）对施工全过程进行采样研究，分析施工扬尘化学组成特点和粒径分布特征，认为在城市的环境空气颗粒物来源解析研究中，仅利用水泥尘不能很好代表建筑施工过程排放扬尘的整体状况；另外建筑施工过程排放扬尘的化学组成特征与具体施工阶段、施工操作和建筑材料等密切相关，扬尘中地壳元素含量基本与起尘物质相当，仅利用水泥尘不能很好代表建筑施工过程排放扬尘的整体状况。

为研究两种采样方法得到的施工扬尘是否存在差异，选择 3 个城市进行比较研究。图 14 对比了包头、天津、开封三个城市通过采集纯水泥样品与施工现场样品 PM₁₀ 源成分谱。可知，通过采集纯水泥样品与施工现场样品 PM₁₀ 源成分谱差异较为明显，施工现场样品中 OC 和 EC 相对于水泥样品多，而水泥样品中的 Ca 明显高于施工现场样品。因此，对于施工扬尘采集，不仅要采集水泥尘样品，还要考虑在施工阶段采集施工现场样品，包括施工建筑内部的地面及各种台面，使采集的样品更具代表性。

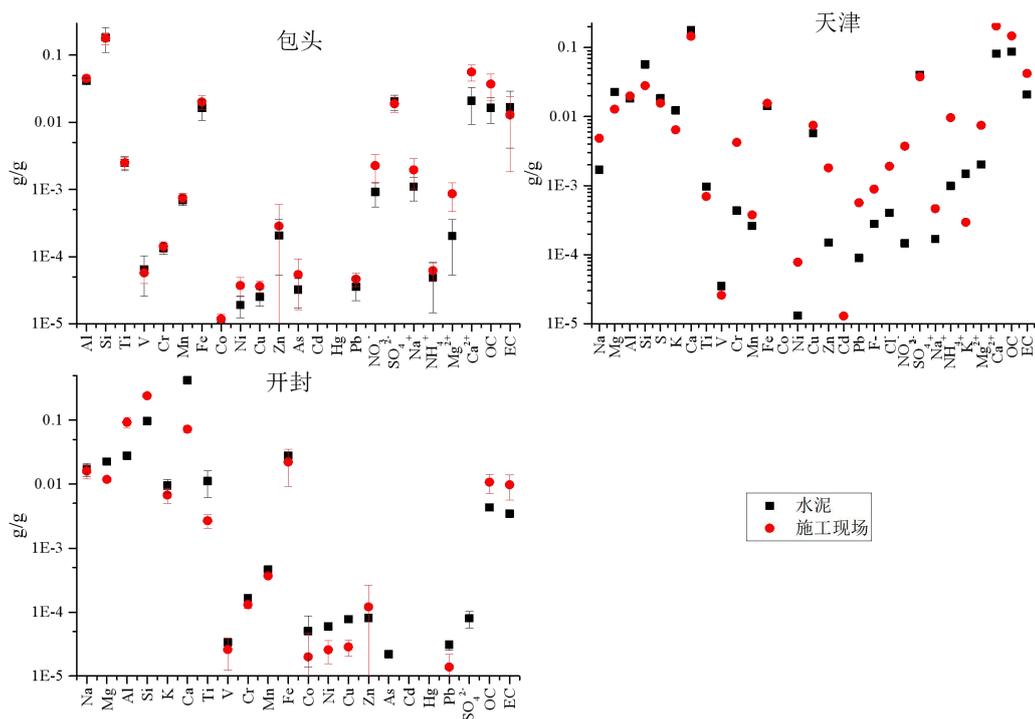


图 14 不同城市纯水泥样品与施工现场样品 PM₁₀ 源成分谱比较

考虑采样代表性和可操作性，本标准规定选择至少 4 个正在作业的施工现场，施工现场可以包括建筑主体施工现场、装饰现场和拆除现场等，收集散落在不同建筑楼层水泥地面、楼梯等在施工作业面上（包括）的施工扬尘。

根据国家标准《水泥的命名、定义和术语》（GB/T 4131）规定，水泥按其用途及性能可分为通用水泥、专用水泥以及特性水泥三类（见表 2）。我国建筑工程中常用的是硅酸盐水泥，它是以硅酸盐熟料和适量的石膏及规定的混合材料制成的水硬性胶凝材料。考虑不同品牌水泥成分可能存在差异，本标准规定对所在城市建筑施工所使用的水泥种类和消耗量进行调查，采集至少 4 个消耗量较大的不同品牌的水泥样品。

表 2 通用水泥的代号和强度等级

水泥名称	简称	代号	强度等级
硅酸盐水泥	硅酸盐水泥	P·I、P·II	42.5、42.5R、52.5、52.5R、62.5、62.5R
普通硅酸盐水泥	普通水泥	P·O	42.5、42.5R、52.5、52.5R
矿渣硅酸盐水泥	矿渣水泥	P·S·A、P·S·B	
火山灰质硅酸盐水泥	火山灰水泥	P·P	32.5、32.5R、42.5、42.5R、
粉煤灰硅酸盐水泥	粉煤灰水泥	P·F	52.5、52.5R
复合硅酸盐水泥	复合水泥	P·C	

注：强度等级中，R 表示早强性。

(4) 堆场扬尘

堆场扬尘是各种工业料堆、建筑料堆、工业固体废弃物、建筑垃圾及渣土、生活垃圾等由于堆积、装卸、传送等操作或风蚀作用，以及采石、采矿等活动产生的扬尘。预先进行城市堆场的调研，了解堆场物料类型和粒径大小等，分析其对周围空气的影响情况，重点关注在城市内和附近郊区的各类大型堆场，尤其是环境受体采样点位附近的堆场。根据堆场中的堆料不同，综合考虑矿山、建材等堆场，确定采样的堆场。为保证采样的代表性，规定每种类型堆场至少选择2个堆场进行采样。

布点方法可参考《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166)，选择梅花点法、棋盘式法或蛇形法等布点进行布点采样，以四分法混合为一个样品。每个堆场采集1个样品。

(5) 混合扬尘

混合扬尘是指从单一污染源类排放到环境空气的颗粒物在大气扩散传输过程中沉降到城市各类载体表面并混合在一起，再次或多次被扬起形成的扬尘。在环境空气颗粒物来源解析中，混合扬尘可用于反映各类污染源对城市环境空气颗粒物的长期影响。混合扬尘是各单一源类(土壤扬尘、煤烟尘、施工扬尘、汽车尾气尘、海盐粒子等)排放的初始态颗粒物沉降部分的混合物(郭光焕, 2009)。在城市内不仅包括固定源类，比如煤烟尘、钢铁尘、机动车尾气尘等的各单一源类排放后落在地面的尘易形成混合扬尘外，还有许多开放源更容易形成混合扬尘(滕加泉, 2015; 方小珍, 2014)。混合扬尘源的集合被称为混合扬尘源类，属于开放源类(王蕾, 2007)。

混合扬尘既是各单一源类所排放的颗粒物的接受体，也是环境空气中悬浮颗粒物的供体(郭光焕, 2007)。混合扬尘源具有二重性(王燕, 2016)，具有源强不确定性和排放不连续性等特点(王帅杰, 2004)。在城市中承载着混合扬尘的载体表面被称为混合扬尘源。

目前国内外很多研究采集了混合扬尘。常州市混合扬尘的采集主要是在市内各区分别选取一个高3~15 m的顶端进行(滕加泉, 2015); 天津市用毛刷、簸箕收集高3~15 m的建筑物顶端表面尘土作为混合扬尘样品，每个样品采集量500 g以上(王海婷, 2018); 在宁波市采集混合扬尘中，分别在四个中心点位的500 m内为采样区域，设14个采样点，共采集52个混合扬尘样品(肖致美, 2012); 柳林县城区范围布设10个采样点位，用洁净的毛刷收集较长时间未打扫的窗台或平台上的积灰，每个采样点采集6个样品，每个样品0.25 kg左右，共采集60个样品(王海京, 2017)。综上所述混合扬尘一般选择临街两侧的居住区、商业区、工业区等区域的建筑物，选择的建筑物应远离锅炉烟囱、城区主干道及正在施工的建筑工地，分别采集建筑物窗台、阳台、台架等平台处长期积累的灰尘，一般采样高度为5~20 m。综上不同的地区当地实际情况不同，因此根据不同情况选择合理的采样点采集一定合理数量的样品。

为了研究同一区域不同的采样点位得到的源成分谱的差异，本报告总结对比了某市九个点位获得的混合扬尘PM₁₀成分谱(图15)。由图可知，这九个点位混合扬尘PM₁₀成分谱无明显差异，均

表现为 Ca 含量最高，其次 SO_4^{2-} ，Fe、Al、Si、S 元素的含量相对较高。可见，从可行性和经济性上考虑，无需在全部受体点位周边采集混合扬尘样品。

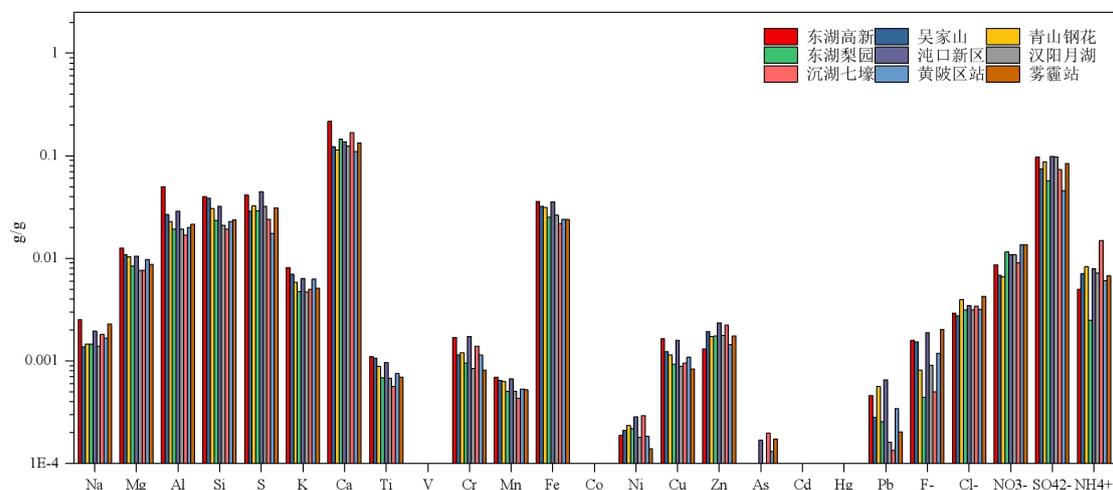


图 15 某市九个点位混合扬尘 PM_{10} 源成分谱

为研究不同城市间混合扬尘源成分谱的差异，本报告总结对比了武汉、深圳、菏泽、包头以及天津市五个城市获得的混合扬尘 PM_{10} 成分谱（图 16）。由图可知，混合扬尘 PM_{10} 中 Al、Si、Ca、As、 SO_4^{2-} 的含量较高。对比各城市间混合扬尘 PM_{10} 成分谱可知，包头市混合扬尘 PM_{10} 中各组分量均较低；菏泽市的 Al、Si、Ca 相对较高，而深圳市 Si 含量最高；而天津市混合扬尘 PM_{10} 中组分量整体较高，特别是 Al、As、 NH_4^+ ，总之这五个城市的源成分谱差异比较大。

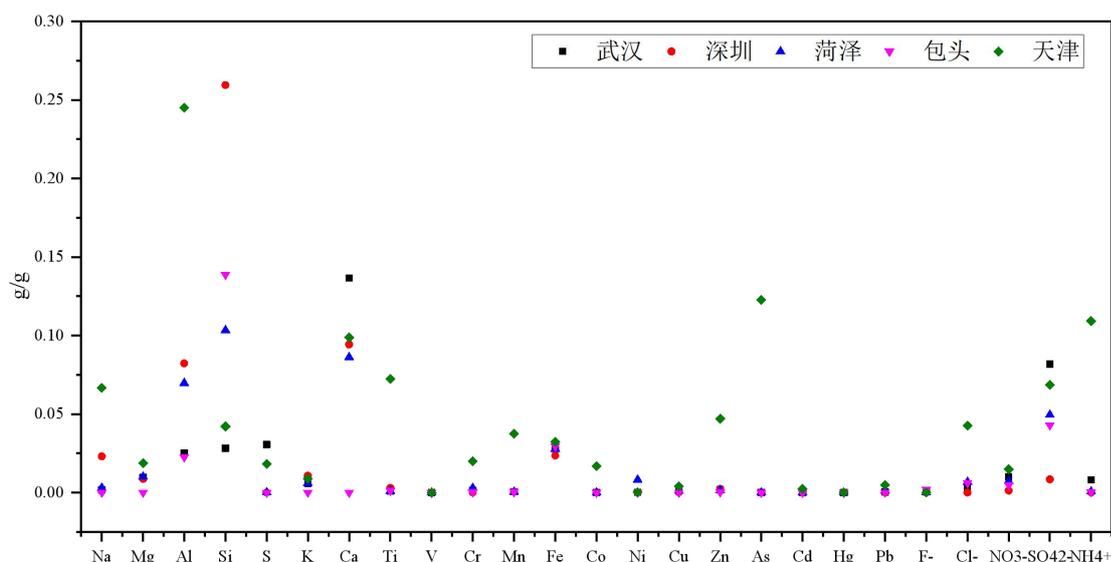


图 16 五城市混合扬尘 PM_{10} 源成分谱

通过分析不同城市间混合扬尘源 PM_{10} 成分谱的分歧系数（表 3），可知武汉与菏泽混合扬尘

源成分谱的 CD 值最小，为 0.37 (>0.2)，且天津与其余各城市间的混合扬尘源成分谱的 CD 值均在 0.5 以上，表明不同城市间混合扬尘源存在明显差异，彼此借鉴的可行性不强。在源解析工作中，各城市有必要专门开展混合扬尘的采样工作。

表 3 不同混合扬尘 PM₁₀ 源成分谱分歧系数

CD 值	武汉	深圳	菏泽	包头	天津
武汉	0	0.59	0.37	0.46	0.64
深圳		0	0.54	0.45	0.73
菏泽			0	0.42	0.63
包头				0	0.71
天津					0

综合考虑采样的可行性和代表性，本标准规定各城市需采集混合扬尘样品，以城市环境受体采样点位为中心，选择周边临街两侧的居住区、商业区、工业区等区域的建筑物，布设 2 个以上的采样点位，采集 2 个以上的样品，采样点位尽可能照顾到不同功能区。在同一个建筑物采集的样品混合为一个样品。

5.7 采样程序

(1) 采样准备

采样前需要做好人员、资料收集、现场调查、采样器具等四个方面的准备工作。

人员准备：选择具有野外调查经验、掌握采样技术规程或要求的技术人员组成采样组，确定人员分工。

资料收集：包括：a. 采样区域的土壤图、地质图、地形图、交通图、建筑施工图等资料，作为采样工作图或用于标注采样点位；b. 采样区域的环境空气质量资料及气象资料（风向、温湿度和降水）等；c. 采样区域土壤信息资料。

现场调查：进行现场勘查，收集现场信息，丰富采样工作图。

采样器具准备：准备相关的采样工具和器材，采用去离子水清洗铁锹（铲）、竹片、毛刷、簸箕以及吸尘器管道和集尘袋等，晾干备用。

(2) 采样步骤

1) 土壤扬尘

土壤扬尘研究中采集的基本都是表层土，但是具体的取样深度有所差别。有的取的是表层土 0~20 cm（冯银厂, 2002）或表层土 0~10 cm（朱坦等, 1995），有的取的是剔除 2~3 cm 表层土后的表层土（谢弊等, 1998）。对于土壤扬尘的采样数量，现有研究差异较大，从 1 个（银川）到十几个（深

圳) 不等 (姬亚芹等, 2006)。图17总结了我国不同地区城市 (洛阳、邯郸、开封和乌鲁木齐) 通过在城市不同方向和上下风向上采集不同数量样品获得的土壤扬尘PM₁₀源成分谱情况。由图17可知, 采集不同样品数量获得的土壤扬尘PM₁₀源成分谱差异并不明显, 均表现出Si含量最高, 其次为Al、Ca、Fe和K。可见, 在能够保证采样地点不受局地排放影响的情况下, 采集5到10个土壤扬尘样品能够代表研究区域的情况。

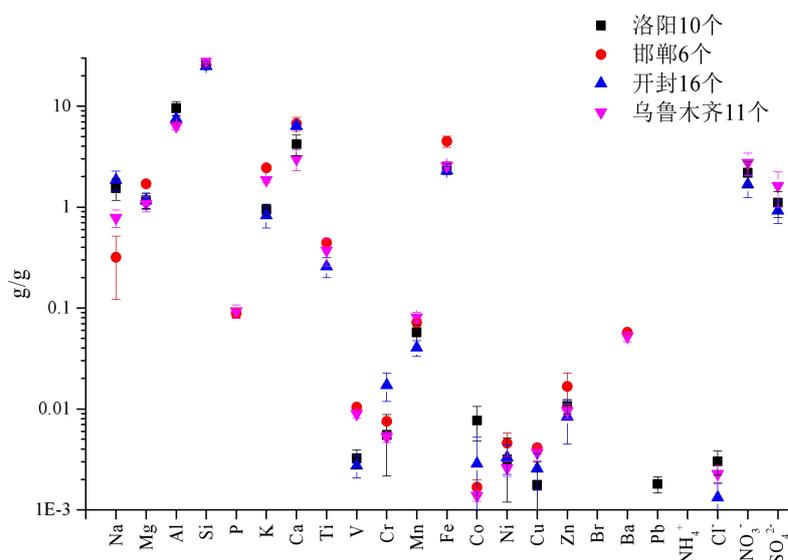


图17 采集不同样品数量获得的土壤扬尘PM₁₀源成分谱

为了研究不同的采样深度得到的源成分谱差异, 比较了安阳、邯郸、深圳、乌鲁木齐四个城市采集的地表和地下30 cm处获得的土壤扬尘PM₁₀源成分谱 (图18)。可知, 这四个城市采集不同采样深度获得的土壤扬尘PM₁₀源成分谱差异并不明显, 均表现出Si含量最高, 其次为Al、Ca、Fe和K。故无需在不同深度采集土壤扬尘样品。

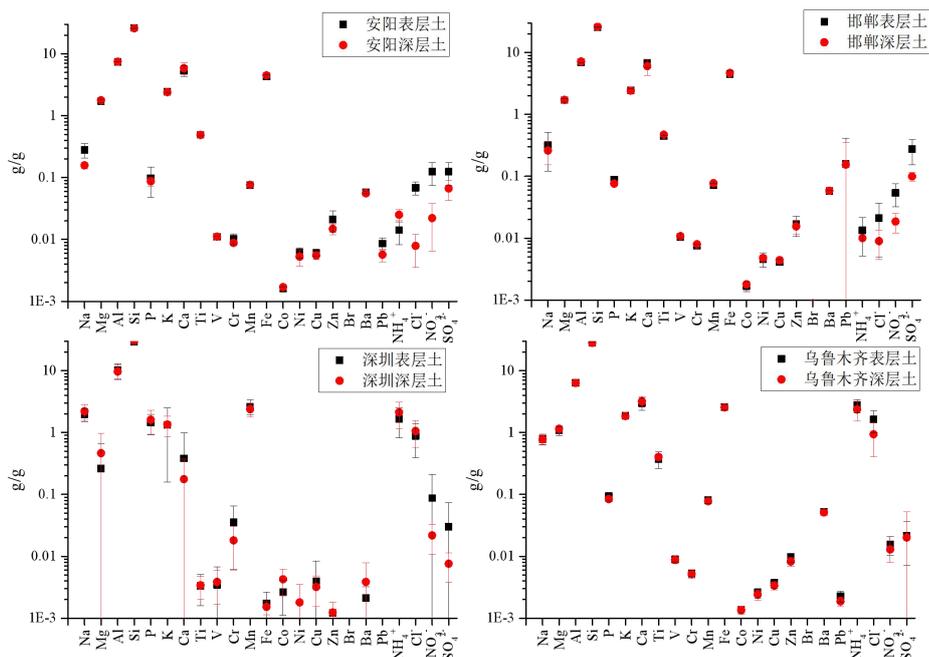


图18 通过不同采样深度获得的土壤扬尘PM₁₀源成分谱

为了更深入地比较上述土壤扬尘PM₁₀成分谱的差异性，采用分歧系数（coefficient divergence, CD）来分析不同采样点数目和不同采样深度获得的土壤扬尘PM₁₀成分谱的相似程度，其计算公式为：

$$CD_{jk} = \sqrt{\frac{1}{p} \sum_{j=1}^p \left(\frac{X_{ij} - X_{ik}}{X_{ij} + X_{ik}} \right)^2}$$

式中， p 为参与计算的颗粒物中化学组分个数； X_{ij} 为 j 类源成分谱中第 i 类组分的质量分数； X_{ik} 表示 k 成分谱中第 i 类组分的质量分数。CD值越接近于0，表明两成分谱之间组成相似；当CD=0时，两成分谱必定相似；CD值越接近于1，表明两成分谱相差越大，当CD=1时，两成分谱完全不同。但对于成分谱的相似程度的划分，尚未有统一的标准。有研究[Wongphatarakul et al.,1998]指出，CD值为0.27的两成分谱组成相似。有研究（姬亚芹等, 2006）将不同城市的环境受体成分谱按照不同的CD值带入CMB受体模型中进行解析，解析结果表明，CD值小于0.2的两个成分谱源解析结果大体相同，并指出CD值介于0~0.2时两成分谱必定相似，CD值介于0.2~0.5时两成分谱可能相似，CD值介于0.5~1时两成分谱必定不相似。

这里将对分歧系数区间的划分结果，作为判断不同的采样点数目和采样深度采集的土壤扬尘PM₁₀源成分谱是否相似的依据。由图18和表4可知，不同的采样点数目和采样深度采集的土壤扬尘成分谱的分歧系数均处于0~0.2之间，表明采集的成分谱相似。通过以上分析可知，不同的采样点数目和采样深度采集的土壤扬尘成分谱较为相似，差异不显著。参照《土壤环境监测技术规范》

(HJ/T 166), 规定土壤扬尘的采样深度为0~20 cm。

表4 各城市表层土和深层土PM₁₀源成分谱分歧系数

城市	安阳	邯郸	深圳	乌鲁木齐
CD值	0.064	0.029	0.059	0.006

城市的土壤扬尘主要来源于其内部及周边的裸地、农田、干涸的河滩以及各类工程。风速和降雨等气象因素都是土壤扬尘形成的因素 (Philip J S et al., 2000)。一般风速越大, 就会有越多的土壤扬尘颗粒物进入到空气中; 另外, 降雨提高了土壤湿度, 使土壤起尘的风力就需要增加, 形成土壤扬尘的制约因素就越大; 土壤扬尘的形成还与空气的相对湿度、温度、降雨的频率和强度等因素有关。因此, 本标准要求在风速平稳、降雨量较少、容易产生土壤扬尘的时期, 采集土壤扬尘样品。另外必须在晴天进行采样, 如果出现下雨天气, 须待地面干燥后方可采样。

综合考虑采样的可行性和代表性, 参考《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166), 本标准要求土壤扬尘的采样点选取 50~100 m 边长的土地, 采用梅花型布点法采集 5 个的初始样品, 采样前清除点位表面枯枝败叶等杂物, 采集 0~20 cm 的表层土, 剔除大土块后每个样品 0.5 kg, 现场将初始样品放置于塑料布上混匀, 采用四分法采集混匀样品 1.0 kg 左右。需在晴天进行采样, 如果出现降水天气, 须待土壤表层基本风干后方可采样; 应保持土壤样品的原状, 采样时切勿碾压或粉碎土样。

2) 道路扬尘

由于道路扬尘样品相对较少, 一般需要收集较大面积道路的扬尘, 毛刷收集较为不便, 而且收集效率有限, 因此推荐采用吸尘器进行收集。在采样前检查确认吸尘器的集尘袋无破损, 并将集尘袋平整地安装在尘袋卡扣上。连接好吸尘器各管段, 在不安装地刷的情况下, 确认有明显的抽吸力, 同时检查系统各管段是否有明显漏气。

为了保证采样安全, 需要在所要采样的路段设置交通警示牌, 采样人员需要穿着醒目的衣服。每隔 0.8 km 设立一个采样点位, 分别量取 1 m×5 m 矩形 3 个, 采用吸尘器 1 m²/min 匀速吸取方格内路面积尘, 重复 1 次。在第一个矩形采样之前, 选择相邻 1 m×3 m 矩形区域进行采样, 用于清洗采样系统, 更换此次吸尘器收集盒, 然后开始进行正式采样。考虑道路扬尘较少, 频繁更换集尘袋很难采集到足够的样品, 因此每条道路可以使用同一个集尘袋对选定的区域进行采样, 混合成 1 个样品。采样完成后将吸尘器内样品去除其中的毛发、石块等杂质, 用台秤称量样品, 样品量不少于 30 g, 若低于 30 g, 则适当等距离增加采样区域数量。将样品转移至自封袋中, 将口封紧并贴上样品标签, 查看经纬度, 填写采样记录表。

道路扬尘采样受天气影响很大, 采样需在晴天进行, 且避开沙尘天气, 如果出现降水天气或道路洒水作业, 须待路面干燥后方可采样; 如果采样时使用发电机, 应将发电机置于采样区域下风向,

避免发电机排气对样品采集的影响；采样应避免在水流冲击泥沙沉积区、井盖及隔离物放置区；采样区域注意避开有花木飞絮和花粉污染的区域。

3) 施工扬尘

收集散落在建筑楼层内水泥地面、窗台、楼梯等施工作业面上的扬尘，进行等比例混合，采集样品量大于 300 g。在同一个施工现场采集样品混合为一个样品。将样品放置密封袋内，并贴上样品标签，查看经纬度，填写采样记录表。

采集在建筑施工中使用较多的不同标号或品牌水泥，进行等比例采集混匀，使采集样品量大于 300 g。将样品放置密封袋内，并贴上样品标签，查看经纬度，填写采样记录表。水泥样品容易受潮板结，注意一定要密封保持干燥。

4) 堆场扬尘

参照《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166)，选取适宜的采样工具，按选择梅花点法、棋盘式法或蛇形法等进行布点采样点位，采集堆场表层 0~20 cm 样品，以四分法混合成整个堆料的综合样品，装袋密封，每袋样品不少于 500 g，做好采样记录。

5) 混合扬尘

源解析工作中采集混合扬尘是为了查看各类颗粒物排放源对城市颗粒物的长期影响。由于室外采集的混合扬尘样品受自然因素影响较大，例如一次沙尘或大风就会改变室外混合扬尘的组分，而室内混合扬尘可以减少单一因素的影响，是长期缓慢的积累，更有代表性。因此考虑混合扬尘的代表性和可操作性，在源解析工作中规定采集室内混合扬尘。

考虑样品代表性，以及满足源解析需求，本标准要求在环境空气颗粒物来源解析工作中设置的环境受体采样点位附近，至少选择 2 个建筑物，选择建筑物内部的窗台、家具顶部、空调冰箱顶部、消防设施等载尘平台，要求载尘平台距离建筑所在地面的高度大于 5 m，载尘平台表层平整密实、不易脱落。先去除载尘平台上水泥屑、木渣等与混合扬尘无关的杂质，然后用干净毛刷扫集其上长期累积的灰尘。同一建筑物的样品混合为 1 个样品，要求每个样品不低于 6 g。将样品装入密封袋中，将口封紧并贴上样品标签，查看经纬度，填写采样记录表

为保证样品的特征性，选择的载尘平台应避开明显的污染源，如油烟排放等；采集样品中若有墙皮脱落的杂质等应重新采样，并更换采样器具。因为混合扬尘易粘连，所以避免在样品运输保存中受到挤压。

5.8 样品保存和制备

源解析工作中需要至少对样品的无机元素、阴阳离子和 EC/OC 进行分析测试。为了提高源解析结果的精准性，可增加有机物单体的分析测试，比如多环芳烃、正构烷烃、左旋葡聚糖等。颗粒物中的铵盐、硝酸盐以及有机组分比较容易挥发或降解。因此采集的扬尘样品需要在第一时间放入冰盒 4℃ 以下冷藏保存，尽快运回实验室。如果不能立刻进行样品制备，应置于 -18℃ 以下冷冻避光

密封保存，保证样品中各组分的稳定。

在制备的过程中，首要的原则是保持样品中各种粒径颗粒物的初始状态，使得再悬浮采样能真实模拟各种开放源产生的颗粒物。因此，对样品不能进行研磨，保持样品中颗粒物的粒径分布不变。第二，需要避免样品在制备过程中受到污染。因此，制备中用到的工具和器皿需要用去离子水冲洗干净，并晾干，避免交叉污染。采用尼龙材质的标准筛，避免金属材质的标准筛引入金属元素。第三，需要避免收集的样品中各组分的损失，比如易挥发损失的硝酸盐、有机碳等。所以，本标准对收集的样品不进行研磨，通过冷冻干燥去除水分，部分样品需先过 20 目（0.85 mm）尼龙筛进行粗筛，再过 150 目标准尼龙筛，获取粒径 $\leq 100 \mu\text{m}$ 的颗粒物，待后续进行再悬浮采样。过筛后的样品如果不能立刻进行再悬浮采样，应在 -18°C 以下冷冻避光密封保存。

5.9 附录

本标准提供5类扬尘的采样记录表格和样品标签。表格里需要填写采样日期、采样人员、采样编号、采样地点、经纬度、样品量、样品外观以及和污染源等相关的信息，以及采样天气状况、气温气压、风力风向。关于污染源相关的信息，可以为源解析中源谱的分析判断提供重要信息。对于表A.1 土壤扬尘采样记录表，需要填写土地类型（农田、植被、城市裸地等）、土壤类型（紫壤、红壤、黄壤、黑壤等）等信息。对于表A.2 道路扬尘采样记录表，需填写道路类型（快速路、主干道、次干道等）及长度、道路性质（沥青、水泥、未铺砌道路）等信息。对于表A.3 施工扬尘采样记录表，需填写施工阶段（砼主体、装修等）、采样位置（地面、窗台、楼梯等）等信息、水泥类型（标号、品牌等）。对于表A.4 堆场扬尘采样记录，需填写表堆场大小（占地面积、物料量等）、物料类型（煤堆、冶炼渣、砂石、建筑渣土等）等信息。对于表A.5 混合扬尘采样记录表，需填写采样位置（窗台、橱窗、台架等）、所属功能区（居住、工业、文教等）等信息。

6 参考文献

- [1] Bi X, Feng Y, Wu J, etc. Source apportionment of PM_{10} in six cities of northern China[J]. Atmospheric Environment, 2007, 41(5): 903-912.
- [2] Zhao P, Feng Y, Zhu T, et al. Characterizations of resuspended dust in six cities of North China[J]. Atmospheric Environment, 2006, 40(30):5807-5814.
- [3] Zhang Q, Shen Z, Cao J, et al. Chemical profiles of urban fugitive dust over Xi'an in the south margin of the Loess Plateau, China[J]. Atmospheric Pollution Research, 2014, 5(3):421-430.
- [4] Shen Z, Sun J, Cao J, et al. Chemical profiles of urban fugitive dust $\text{PM}_{2.5}$ samples in Northern Chinese cities. [J]. Science of the Total Environment, 2016, s 569-570:619-626.

- [5] Sehyun Han, Jong-Sang Youn, Yong-Won Jung. Characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} source profiles for resuspended road dust collected using mobile sampling methodology[J], Atmospheric Environment, 2011, 45: 3343-3351.
- [6] Chow J C, Watson J G, Houck J E, etc. A laboratory resuspension chamber to measure fugitive dust size distributions and chemical compositions[J]. Atmospheric Environment, 1994, 28(21): 3463-3481.
- [7] Chow J C, Watson J G, Ashbaugh L L, etc. Similarities and differences in PM₁₀ chemical source profiles for geological dust from the San Joaquin Valley, California[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(9): 1317-1340.
- [8] Chow J C, Watson J G, Kuhns H, etc. Source profiles for industrial, mobile, and area sources in the Big Bend Regional Aerosol Visibility and Observational study[J]. Chemosphere, 2004, 54(2): 185-208.
- [9] Watson J G, Chow J C, Houck J E. PM_{2.5} chemical source profiles for vehicle exhaust, vegetative burning, geological material, and coal burning in Northwestern Colorado during 1995[J]. Chemosphere, 2001, 43(8): 1141-1151.
- [10] Watson J G, Chow J C. Source characterization of major emission sources in the Imperial and Mexicali Valleys along the US/Mexico border[J]. Science of the Total Environment, 2001, 276(1): 33-47.
- [11] Cao J J, Chow J C, Watson J G, etc. Size-differentiated source profiles for fugitive dust in the Chinese Loess Plateau[J]. Atmospheric Environment, 2008, 42(10): 2261-2275.
- [12] Ho K F, Lee S C, Chow J C, etc. Characterization of PM₁₀ and PM_{2.5} source profiles for fugitive dust in Hong Kong[J]. Atmospheric Environment, 2003, 37(8): 1023-1032.
- [13] 段恒轶, 钱冉冉, 吴水平, 等.再悬浮装置在大气 PM_{2.5}源谱分析中的应用[J]. 环境科学, 2012, 33(5):1452-1456.
- [14] 马召辉, 梁云平, 张健, 等. 北京市典型排放源 PM_{2.5}成分谱研究[J]. 环境科学学报, 2015, 35(12): 4043-4052.
- [15] 滕加泉, 王唯, 蒋少杰, 等. 常州市大气 PM_{2.5}主要排放源的成分谱研究[J]. 环境科技, 2015, 28(6):56-59.
- [16] 王燕. 大气颗粒物开放源尘成分谱特征分析及重金属风险评价[D]. 太原理工大学, 2016.
- [17] 彭杏, 丁净, 史国良, 等. 呼和浩特市源成分谱特征研究[J]. 环境污染与防治, 2016, 38(9):57-61.
- [18] 陈筱佳, 程金平, 江璇, 等. 上海市中心城区主干道道路扬尘组分特征及来源解析[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(6):10-13.

- [19] 武媛媛, 李如梅, 彭林, 等. 运城市道路扬尘化学组成特征及来源分析[J]. 环境科学, 2017, 38(5):1799-1806.
- [20] 陈魁, 白志鹏. 颗粒物再悬浮采样器研制与应用[J]. 环境工程, 2006, 24(5): 67-68.
- [21] 姬亚芹, 朱坦等. 天津市土壤扬尘元素的分布特征和来源研究[J]. 生态环境学报, 2005, 14(4):518-522.
- [22] 王文兴, 童莉, 海热提. 土壤污染物来源及前沿问题[J]. 生态环境, 2005, 14(1): 1—5.
- [23] Philip J S, Richard A C, Kimberly A P. Single particle analysis of suspended soil dust from Southern California[J]. Atmospheric Environment, 2000, 34: 1811-1820.
- [24] 刘珊. 吕梁市土壤扬尘成分谱特征分析及重金属元素环境风险评价[D]. 太原理工大学, 2015.
- [25] 姬亚芹. 城市空气颗粒物源解析土壤扬尘成分谱研究[D]. 南开大学, 2006.
- [26] 陈静生, 邓宝山, 贾振邦关于“外来尘”对北京大气质量影响的研究, 中国环境科学, 1984(1):10-17
- [27] 冯银厂, 关于化学质量平衡受体模型应用中若干技术问题的研究, 南开大学博士研究生学位论文, 2002年4月:42,15-20,50-51,73
- [28] 朱坦, 白志鹏, 陈威秦皇岛市大气颗粒物来源解析研究, 环境科学研究, 1995, 8(5):49-55.
- [29] 谢弊, 黄世鸿, 李联盟, 等. 陕西气溶胶总悬浮颗粒物来源解析[J], 气象, 1998, 24(7):25-29.
- [30] Wongphatarakul V, Friedlander S K, Pinto J P. Comparative study of PM_{2.5} ambiente aerosol chemical databases[J]. Environmental Science & Technology, 1998, 32(24):3926-3934.
- [31] 杨杨. 珠三角地区施工扬尘排放特征及防治措施研究[D]. 华南理工大学, 2014.
- [32] 赵普生, 冯银厂, 金晶, 等. 建筑施工扬尘特征与监控指标[J]. 环境科学学报, 2009, 29(8):1618-1623.
- [33] 孙敬敏. 污染源成分谱分析及CMB应用研究[D]. 兰州大学, 2011.
- [34] 2007 HJ/T393-2007. 防治城市扬尘污染技术规范[D].
- [35] 陈筱佳, 程金平, 江璇, 等. 上海市中心城区主干道道路扬尘组分特征及来源解析[J]. 环境污染与防治, 2015, 37(6):10-13.
- [36] 彭康. 珠江三角洲铺装道路扬尘源污染物排放及特征研究[D]. 华南理工大学, 2013.
- [37] 张诗建. 基于快速检测法的天津市道路扬尘排放清单研究[D]. 南开大学, 2016.
- [38] 安塞, 肖捷颖, 刘娟, 等. 石家庄市夏季道路交通扬尘排放特征研究[J]. 环境污染与防治, 2017, 39(9):1010-1016.
- [39] 樊守彬, 田刚, 秦建平, 等. 北京道路降尘排放特征研究[J]. 环境工程学报, 2010, 4(3):629-632.
- [40] 郭光焕, 吴建会, 刘洁. 城市道路尘的二重源解析方法与应用实例[J]. 城市环境与城市生态, 2009(2):35-37.
- [41] 滕加泉, 王唯, 蒋少杰, 等. 常州市大气PM_{2.5}主要排放源的成分谱研究[J]. 环境科技, 2015, 28(6):56-59.

- [42] 方小珍, 孙列, 毕晓辉,等. 宁波城市扬尘化学组成特征及其来源解析[J]. 环境污染与防治, 2014, 36(1):55-59.
- [43] 王蕾, 姜曙光, 夏多田. 绿色生态建筑指标体系及其评价的研究[J]. 工程管理学报, 2007(1):30-33.
- [44] 郭光焕, 吴建会. 城市扬尘及其来源解析技术[J]. 城市环境与城市生态, 2007(4):31-33.
- [45] 王帅杰, 朱坦, 冯银厂,等. 改变城市下垫面类型及控制道路尘环境效益评估方法[J]. 安全与环境学报, 2004, 4(5):52-55.
- [46] 王燕, 彭林, 李丽娟,等. 晋城城市扬尘化学组成特征及来源解析[J]. 环境科学, 2016, 37(1):82-87.
- [47] 王海婷, 温杰, 徐娇,等. 天津市城市扬尘及土壤尘单颗粒质谱特征[J]. 环境科学研究, 2018(5).
- [48] 肖致美, 毕晓辉, 冯银厂,等. 宁波市环境空气中PM₁₀和PM_{2.5}来源解析[J]. 环境科学研究, 2012, 25(5):549-555.
- [49] 王海京, 武媛媛, 彭林,等. 柳林城市扬尘化学组成特征[J]. 环境化学, 2017(4):799-804
- [50] 王帅杰. 扬尘污染防治理论初探[J]. 安全与环境工程, 2006, 13(3):9-12.
- [51] 张亚飞. 基于真空吸尘法建立天津市道路扬尘排放清单[D]. 南开大学, 2015.
- [52] 黄嫣旻. 城市地面扬尘的估算与分布特征研究[D]. 华东师范大学, 2006.
- [53] 程健. 重庆市主城区铺装道路扬尘排放因子与特征研究[D]. 重庆工商大学, 2015.

7 现场验证性实验

7.1 总体情况

在全国范围内选择3个典型城市天津（代表京津冀地区）、西安（代表汾渭平原）和福州（代表南方地区），参照本技术规范，开展土壤扬尘、道路扬尘、混合扬尘、施工扬尘、堆场扬尘等实际采样工作（见图19、图20和图21），对本标准进行了验证性实验，重点考察本标准扬尘采样方法的科学性和可操作性，以及质控措施的适用性。根据验证目的，编写了验证方案。3个城市根据验证方案，进行了实地验证，编写方法验证报告（见图22）。

3个城市的验证结果显示，本标准中扬尘采样点位布设、采样方法、采样设备、质量控制措施等是可行的，可满足源解析工作的需求。编制组根据3个城市的验证结果和建议，对标准进一步修改完善。

道路扬尘: 4条道路

二次扬尘: 3栋建筑

土壤扬尘: 3个点位

施工扬尘: 3个工地

堆场扬尘: 1个堆场



图19 西安市扬尘验证性实验现场情况

道路扬尘: 4条道路

二次扬尘: 3栋建筑

施工扬尘: 4个工地

堆场扬尘: 3个堆场

样品筛分



图20 福州市扬尘验证性实验现场情况

道路扬尘: 4条道路

二次扬尘: 3个建筑

土壤扬尘: 3个点位

施工扬尘: 3个工地

堆场扬尘: 3个堆场



图21 天津市扬尘验证性实验现场情况



图22 西安、福州和天津验证性实验报告

7.2 西安市验证性实验结论和建议

西安验证性试验显示标准所述的点位布设、采样方法、采样设备、质量控制措施等基本是可行的。同时提出几点建议。

(1) 目前城市道路交叉路口较多，在实际的布点中，很难寻找到较长的无交叉路口的采样路段，建议对于道路类型、车流量、道路宽窄等无显著变化的道路，可不考虑交叉路口，但采样点位应距离十字路口至少 50 m~100 m，关于技术规定中所提的距路口小于 800 m 的要求表述不明确，建议修改。

(2) 对于道路类型、车流量、道路宽窄等无显著变化的较长道路，如西安的三环路、西部大道，可适当选择其中一段典型路段进行点位布设及样品采集代表该路段道路扬尘状况，可不考虑全路段采样以减少工作量；

(3) 通过道路扬尘样品采集试验结果来看，规定中所述的采样面积为 1 m×3 m 矩形框不能满足采样量要求，采样区域面积建议由 1 m×3 m 的矩形框扩大至 1 m×5 m 或更多。

(4) 对支路-建业三路、快速路-南三环及其平行采样路段的采集结果可知，各采样区域第 3 次采样量与三次采样总质量的百分比仅为 2%~5%，即前两次采样质量已占三次采样总质量的 95%~98%，建议将各采样区域的采样次数调整为两次。统计数据见表 5。

表 5 道路扬尘累计采集质量百分比统计表

道路名称	监测点位	第一次质量/总质量×100%	前两次质量/总质量×100%
建业三路	1#	85.8	96.0
	2#	97.5	99.1
	3#	90.6	97.1
南三环	4#	96.3	98.7
	5#	97.7	99.3
	6#	93.9	99.4
南三环（平行）	4' #	96.1	99.5
	5' #	96.8	99.1
	6' #	93.0	99.5

(5) 对于建筑尘，在实际的调研和采样过程中发现，大多数建筑均采用商品混凝土和商品预拌砂浆，而现场直接使用水泥的量有限，因此建筑扬尘样品采集应充分考虑这一实际情况。

(6) 对于每个堆场，建议采用梅花型布点法进行布点，以四分法混合为一个样，每个堆场采集一个混合样即可。采集 3 个样品在分析、数据处理等方面易引入不确定因素。

(7) 对于混合扬尘，规定中要求载尘平台高度距离地面 5~20 m，建议调整载尘平台高度大于 5 m，高度不设限制以满足采样量的要求。

(8) 再悬浮采样技术导则中提出的箱体空白 $\leq 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 难以实现，建议将箱体空白浓度调整至 $\leq 100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ；对于同种滤膜通道平行性相对误差可控制在10%以内，而对于不同材质滤膜，通道平行性相对误差较大，建议对于不同材质滤膜通道平行性相相对误差可适当放宽。

7.3 福州市验证性实验结论和建议

通过试验验证，标准所述的点位布设、采样方法、采样设备、质量控制措施等基本是可行的。同时提出几点建议。

(1) 目前城市道路交叉路口较多，很难找到较长的无交叉路口的采样路段，建议可不考虑交叉路口，但采样点位应距离十字路口 100 m 以上。关于技术规定中所提的距路口不小于 800 m 的要求建议删除。

(2) 现场进行样品再悬浮过程中发现，再悬浮采样器的进样流量大小对滤膜的增重有较大的影响，建议明确进样流量设置要求；

(3) 目前福州市大部分建筑工地均采用商品混凝土和商品预拌砂浆，现场直接使用水泥的量较

少，水泥样品在建筑扬尘中不具代表性。

(4) 对于每个堆场采样布点，现场采样过程中发现采用梅花布点无法实施，堆场顶部无法采样，易发生坍塌事故。

7.4 天津市验证性实验结论和建议

通过现场试验验证，可参考标准所述的点位布设、采样方法、采样设备、质量控制措施等进行扬尘采样。同时提出几点建议。

(1) 扬尘样品的晾干制备过程，采用传统阴干制备，部分样品阴干过程超过3天，可能会造成挥发性物质的损失，建议根据分析结果验证是否可以忽略。

(2) 再悬浮样品按照悬浮规程采集 10 min，但滤膜着色较浅，滤膜负载质量相对较小，可能对分析造成不便。为便于分析，本次在悬浮过程中，为保障分析效果，部分样品加大进样量至悬浮上限 1.0 g，建议根据分析结果，考虑甄别。

8 标准实施建议

《环境空气 颗粒物来源解析 开放源扬尘采样技术规范》作为颗粒物源解析工作的配套方法，是对现有源解析标准技术体系的重要补充，可为全国各级环保部门开展源解析工作提供技术支持，进一步促进我国源解析工作的科学性、规范性和可比性。