

**《大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法技术指南（试行）（征求意见稿）》
编制说明**

《大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法技术指南（试行）（征求意见稿）》编制组

二〇一七年八月

目录

1	项目背景.....	- 136 -
1.1	任务来源.....	- 136 -
1.2	工作过程.....	- 136 -
1.2.1	成立指南编制组和查询国内外相关资料.....	- 136 -
1.2.2	编写指南草案和调查问卷.....	- 136 -
1.2.3	技术研讨.....	- 136 -
1.2.4	征求意见稿和编制说明编写.....	- 137 -
1.2.5	专家论证.....	- 137 -
2	指南制修订的必要性分析.....	- 137 -
2.1	PM _{2.5} 的环境危害.....	- 137 -
2.2	指南需要适应环保工作的需要.....	- 137 -
2.3	标准制定的必要性.....	- 139 -
3	国内外相关分析方法研究.....	- 139 -
3.1	主要国家、地区及国际组织相关分析方法.....	- 139 -
3.1.1	相关标准.....	- 139 -
3.1.2	美国 PM _{2.5} 传感器研究.....	- 140 -
3.1.3	美国 PM _{2.5} 传感器应用.....	- 142 -
3.2	国内相关研究及进展.....	- 144 -
3.2.1	相关标准.....	- 144 -
3.2.2	国内 PM _{2.5} 传感器研究.....	- 145 -
3.2.3	国内 PM _{2.5} 传感器应用.....	- 148 -
3.3	与本指南关系.....	- 149 -
4	指南的基本原则和技术路线.....	- 150 -
4.1	指南制修订的基本原则.....	- 150 -
4.2	制修订的技术路线.....	- 150 -
4.2.1	主要内容.....	- 151 -
4.2.2	标准适用范围.....	- 152 -
4.2.3	大气 PM _{2.5} 网格化监测技术的说明.....	- 152 -
5	方法研究报告.....	- 152 -
5.1	外观要求.....	- 152 -
5.1.1	设备铭牌.....	- 152 -
5.1.2	设备外观.....	- 153 -
5.1.3	设备重量.....	- 153 -
5.2	工作条件.....	- 153 -
5.2.1	工作温度.....	- 153 -
5.2.2	工作相对湿度.....	- 153 -
5.3	安全要求.....	- 153 -

5.3.1	一般要求.....	- 153 -
5.3.2	接地保护.....	- 153 -
5.3.3	绝缘电阻.....	- 154 -
5.3.4	绝缘强度.....	- 154 -
5.3.5	防护等级.....	- 154 -
5.3.6	防盐雾腐蚀.....	- 154 -
5.4	功能要求.....	- 154 -
5.4.1	整机功耗.....	- 154 -
5.4.2	供电方式.....	- 155 -
5.4.3	监测频次.....	- 155 -
5.4.4	GPS 定位.....	- 155 -
5.5	通信要求.....	- 155 -
5.6	质控要求.....	- 155 -
5.7	主要性能指标.....	- 155 -
5.7.1	浓度测量范围.....	- 155 -
5.7.2	测量误差.....	- 156 -
5.7.3	时钟误差.....	- 156 -
5.7.4	温度测量示值误差.....	- 156 -
5.7.5	湿度测量示值误差.....	- 156 -
5.7.6	大气压测量示值误差.....	- 156 -
5.7.7	网格化监测设备平行性.....	- 156 -
5.7.8	标准监测方法比对测试.....	- 156 -
5.7.9	通信可靠性.....	- 157 -
5.7.10	质控模型.....	- 157 -
6	相关厂家适用性意见.....	- 157 -
6.1	组织.....	- 157 -
6.2	相关结论.....	- 157 -
7	专家意见及修改.....	- 157 -
7.1	增加数据传输数据指标.....	- 158 -
7.2	明确算法对数据的影响.....	- 158 -
8	参考文献.....	- 158 -

《大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法技术指南（试行）》编制说明

1 项目背景

1.1 任务来源

2017年6月23日，环境保护部下达编制“大气 PM_{2.5} 网格化监测点位布设技术指南”“大气 PM_{2.5} 网格化监测系统安装和验收技术指南”“大气 PM_{2.5} 网格化监测系统质保质控与运行技术指南”“大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法技术指南”的项目计划（《关于请组织编制大气网格化监测相关技术指南的函》（环测便函〔2017〕181号）），北京市环境保护局承担了该系列技术指南的编制工作，具体编写单位为北京市环境保护监测中心，合作单位为中国环境科学研究院。

1.2 工作过程

1.2.1 成立指南编制组和查询国内外相关资料

北京市环境保护监测中心接到《大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法技术指南（试行）》标准制修订的任务后，立即联合中国环境科学研究院成立了标准编制工作组，召开了标准制修订工作启动会。随后标准编制组查阅了国内外相关标准文献资料，结合我国网格化监测的实际情况确定了标准制订技术路线。

1.2.2 编写指南草案和调查问卷

2017年7月，北京市环境保护监测中心联系了国内提供网格化监测服务的主要厂家，进行电话与问卷调研，并召开技术指南初稿论证会。共有15家厂家参与了调研与论证会，收回问卷12份。通过厂家调研与论证会，明确了网格化监测所使用设备种类为激光粒子计数器，以及所需要的质保质控措施等内容。

1.2.3 技术研讨

2017年6月至7月，《大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法技术指南（试行）》编制期间，编制组共召开12次内部会议，平均每2-3天进行一次进度与技术研讨。技术研讨会内容包括国内外调研情况交流、技术路线确定、技术指南框架制定、厂家问卷内容修改讨论、调研总结、技术指南修改讨论等。

1.2.4 征求意见稿和编制说明编写

2017年6月至8月，技术指南编制组依据制定的技术路线，合理安排厂家调研、技术指南初稿编写、厂家论证、内部讨论、技术指南修改、编制说明编写等工作，编写完成《大气PM_{2.5}网格化监测技术要求和检测方法技术指南（试行）》指南文本和编制说明。

1.2.5 专家论证

2017年7月31日，《大气PM_{2.5}网格化监测技术要求和检测方法技术指南（试行）》初稿提交多名专家函审，并组织召开专家论证会，编制组根据专家函审与论证会提出的意见进一步修改完善后，于2017年8月提交技术指南试行稿和编制说明。

2 指南制修订的必要性分析

2.1 PM_{2.5}的环境危害

PM_{2.5}对人体健康的危害仔细研究，不难发现PM_{2.5}污染所造成的人类身体健康危害存在于多个方面，主要是呼吸系统和心血管系统。这类危害成的主要原因在于PM_{2.5}污染可以吸附有毒物质，并透过人体呼吸道的防御毛发状结构直接深入体内，造成危害，引发各类疾病。同样也会对心血管系统产生损害和毒害，具体来看，这部分负面影响主要通过炎症反应所产生的继发高凝状态，或是改变自主神经功能所造成的。

事实上，人体在吸入PM_{2.5}会造成机体内的一系列的急性应激反应，并会造成循环系统功能的变化，最终引发心血管系统的疾病产生。从国内外的大量流行病学研究来看，可吸入细颗粒物在浓度上升后很容易造成疾病发病率和死亡率的联动性提升，尤其是呼吸系统疾病和心血管系统疾病。

例如，燃煤取暖等空气污染会在某种高程度上损害儿童的心肺功能。因为PM_{2.5}容易在进入肺部后产生沉积，而且这类粒子越小越容易吸附各类物质，并增加对呼吸系统和心血管系统的影响。例如吸附重金属物质、有机物、细菌和病毒等等。现代社会常见的病例，例如肺癌、气管癌等等均离不开PM_{2.5}的影响。

2.2 指南需要适应环保工作的需要

当前，中国大气中PM_{2.5}污染形势严峻。从全国大气污染形势及其变化趋势看，大气PM_{2.5}污染与国民经济发展有密切关系，经济的持续高速发展使中国重点区域PM_{2.5}污染、重污染有常态化的趋势。2013年，在全国纳入监测范围的74座城市中，达标城市比例仅4.1%。

从监测结果看，京津冀、长三角、珠三角区域是大气污染相对较重区域，尤以京津冀区域污染最重。在前 10 名大气质量相对较差的城市中，PM_{2.5} 年均浓度几乎是国家标准的 3 倍以上。严重的大气污染不仅发生在中国发达地区，中西部省份也凸显大气污染问题，西安、郑州、武汉、成都、乌鲁木齐、合肥、太原等城市 2013 年的 PM_{2.5} 年均浓度也都达到了国家标准的两倍以上。

2017 年 6 月 2 日，北京市环境保护局发布了《2016 年北京市环境状况公报》（以下简称《公报》），对 2016 年全市环境状况进行了总结和回顾。2016 年是“十三五”开局之年，《公报》显示，经过全市共同努力，大气环境质量持续改善。京津冀及周边地区大气污染防治协作机制不断完善，治理效果逐步释放，全市空气质量持续改善。但空气质量改善任务依然艰巨，2016 年全市 PM_{2.5} 年均浓度虽比上年度下降 9.9%，年平均浓度值为 73 微克/立方米，仍超过国家标准 1.09 倍。

近年来，为改善环境空气质量，我国不断加大环境整治力度，颁布了《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国大气污染防治法》等政策与法规。为有效治理我国 PM_{2.5} 污染，2012 年 2 月新修订的《环境空气质量标准》（GB3095-2012）将 PM_{2.5} 的质量浓度纳入其中，PM_{2.5} 业务化监测工作在全国迅速开展，已初步建立环境空气 PM_{2.5} 的质量浓度监测网络。目前国内外环保部门监测 PM_{2.5} 普遍采用的方法有滤膜称重法、β 射线吸收法和微量振荡天平法等，这些监测方法的高成本、高运维工作量等特点，导致监测点位数量受到限制，主要为环境空气质量评价点。北京市的传统环境监测网络由 35 个固定监测子站提供数据支撑，这 35 个子站主要分布在北京市的各个城区、郊区县、边界、以及交通干道上。虽然每个站点都是严格的按照监测规范布点选出，具有较强的代表性，但是北京市面积较大，以 1.6 万平方公里的面积计算，平均每 45 平方公里才有一个监测子站，覆盖范围有限，监测数据已不能完整地反映出一个子站的监测区域污染物变化情况。距离监测点较远，地势复杂的区域则属于监测网络中的“盲点”。

随着环境管理需求的变化，为实时监测“散、乱、污”污染源、道路交通、建筑工地、区域边界、污染物传输通道、城市居民区、农村乡镇、重点工业企业等对象，高密度的环境空气质量网格化监测系统被提出，并在提出后迅速在各地开展网络建设工作。从北京市的经验看，新技术应用成为大气环境精细化管理的重要抓手。促进了环保压力向基层传导，提升了“散、乱、污”清理整顿效能，实现了环保“最后一公里”责任的落实。但从世界范围来看，小型化传感器应用于空气质量监测监管仍属于崭新领域。

由于环境空气质量网格化监测系统采用了新的监测技术与手段，对质量保证与质量控制，以及设备运行维护提出了新的要求，因此《大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法技术指南》（试行）的编制对网格化监测系统相关工作具有重要的现实意义。

2.3 标准制定的必要性

2012年3月2日，国务院发布新的《环境空气质量标准》（GB3095-2012），直接将PM₁₀和PM_{2.5}的连续自动监测提上了日程表。2013年7月30日环境保护部发布《环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及检测方法》（HJ653-2013），国内针对PM_{2.5}连续自动监测系统技术要求的相关标准，规范了PM₁₀和PM_{2.5}连续自动监测系统的技术要求与性能。但由于采用的监测技术方法差异较大，并不能适用于环境空气质量网格化监测系统。

北京、天津及河北省石家庄、保定、沧州、唐山、廊坊及深圳等市，近年来陆续开展了大气网格化监管工作，取得一些成功经验。从北京市的经验看，新技术应用成为大气环境精细化管理的重要抓手。促进了环保压力向基层传导，提升了“散、乱、污”清理整顿效能，实现了环保“最后一公里”责任的落实。而国内目前还没有针对大气 PM_{2.5} 网格化监测系统技术要求的相关标准，为了服务我国环境空气大气 PM_{2.5} 网格化监测的实施，适应目前的环境监测技术和管理的迫切需求，特编制《大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法技术指南》。

3 国内外相关分析方法研究

3.1 主要国家、地区及国际组织相关分析方法

3.1.1 相关标准

目前，空气污染传感器仍处于技术开发的早期阶段，许多传感器尚未被评估，因此，在编制组调研过程中没有找到国外关于大气网格化监测系统的标准、指南。技术指南编制组重点调研了国际上对与PM_{2.5}传感器采用相同原理的激光粒子计数器已发布的标准规范。目前国际上对激光粒子计数器已有较为系统的标准体系，主要有《ISO 21501-4 Determination of particle size distribution- Single particle light interaction method- Part 4: Light scattering airborne particle counter for clean spaces（粒度分析单颗粒光学测量法第4部分洁净间光散射尘埃粒子计数器）》与美国《IEST RP-CC014.2-2010 Calibration and Characterization of Optical Airborne Particle Counters（校正光学尘埃粒子计数器与表征）》。这两项标准均对激光粒子计数器的校准方法与技术指标等内容进行了详细规定。

美国EPA和欧盟于2013年左右开始关注小型传感器在空气质量监测和管理方面的应用，主要对空气质量传感器颁布了一些指导人们对传感器使用与研究的指南、路线和性能测试等文件。分别以发布“下一代空气监测路线图”和成立专门的科学协作组织的方式，积极开展设备研发比对，探索应用环境，培育相关产业。美国EPA针对不同应用场景提出对下一代空气传感器数据质量要求，提出新兴监测手段的三级定位要求：（1）用于临时的监管，数据可靠性高，成本10万美元以上；（2）用于污染源调查和研究目的的小型监测站，数据可靠性中等，成本0.1-1万美元；（3）用于高密度传感器网络及公众教育的极小和极低成本的设备，数据可靠性不确定，成本100-1000美元。

2015年8月美国EPA建立了监控认证计划（MCERTS），以提供一个标准框架，用于监控影响环境的物质。MCERTS包括：监控设备必须满足的性能标准；员工必须具备的资格；认证实验室和测试场所符合欧洲和国际标准。该文件基于国际和欧洲标准，规定了指示性环境灰尘监测器的性能标准。

3.1.2 美国PM_{2.5}传感器研究

对于高密度传感器网络及公众教育的极小和极低成本的设备，目前国外研究主要在传感器性能测试、评估以及带有科研性质的城市局部区域小范围试用方面。

美国南海岸空气质量管理区（SCAQMD）创立了空气质量传感器性能评估中心（AQ-SPEC），对多种传感器进行了大量测试工作，旨在成为低成本空气监测传感器的测试中心，以建立评估传感器的性能标准。该程序在受控的实验室条件和现场评估传感器。在现场，传感器与一个或多个SCAQMD现有的空气监测站一起测试，使用传统的联邦参考或等效方法来测量总体性能；然后将现场显示可接受性能的传感器送到AQ-SPEC实验室，在受控的大气室中进行更详细的测试。以下面的传感器作为例子，介绍AQ-SPEC现场测试过程。

（1）测试背景

2015年2月10日到4月14日，三台RTI MicroPEM颗粒物传感器与联邦等效方法（FEM）仪器并行放置在监控站之一的加利福尼亚州的鲁比杜，测量相同的污染物。

对比仪器：RTI MicroPEM是颗粒物传感器（光学原理），测量PM_{2.5}（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），成本价格：\$2,000，时间分辨率：10分钟，仪器型号：60N，65N，72N。

参考仪器：MetOne BAM是 β 射线衰减监测仪，测量PM_{2.5}（ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ），成本价格：\$20,000，时间分辨率：1小时。

(2) 不同型号对比

如图所示：将三个不同型号的空气质量传感器放置在同样条件下，可以发现，测量数据的一致性较好。

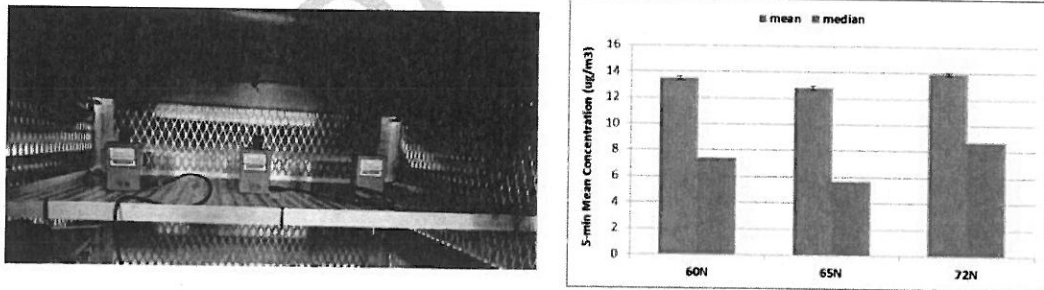


图 3-1 传感器放置方式和一致性测试

(3) MicroPEM 与 BAM 测量 PM_{2.5} 小时均值对比

如图所示：60N 和 72N 与 BAM 测量 PM_{2.5} 质量浓度的一致性较好，相关系数在 0.78 以上，而 65N 与 BAM 测量 PM_{2.5} 质量浓度的相关性相对较差，相关系数仅为 0.67。

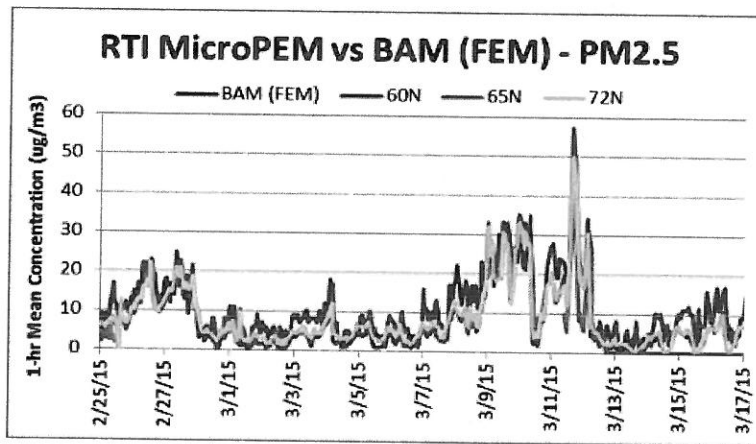


图 3-2 测试期间时间序列图

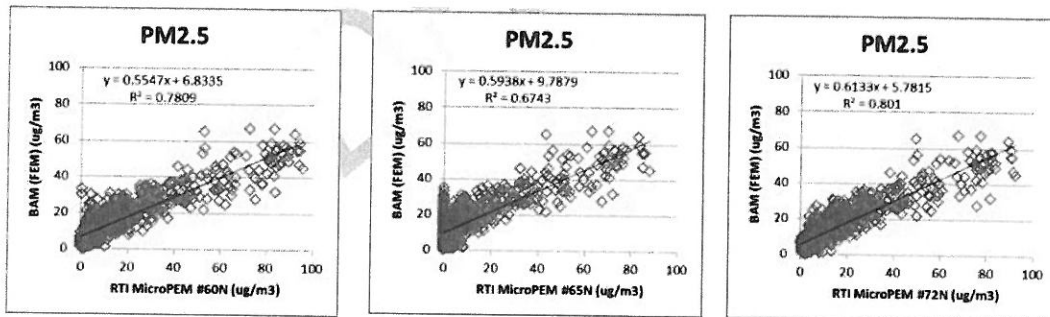


图 3-3 测试期间相关性分析图

(4) MicroPEM 与 BAM 测量 PM_{2.5} 日均值对比

与小时均值对比相同，下图可见，60N 和 72N 与 BAM 测量 PM_{2.5} 质量浓度的一致性较好，相关系数在 0.89 以上，而 65N 与 BAM 测量 PM_{2.5} 质量浓度的相关性相对较差，相关系数为 0.77。

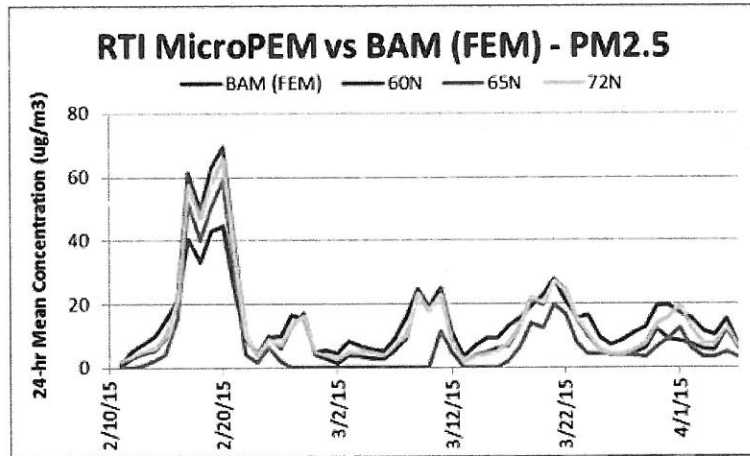


图 3-4 测试期间时间序列图

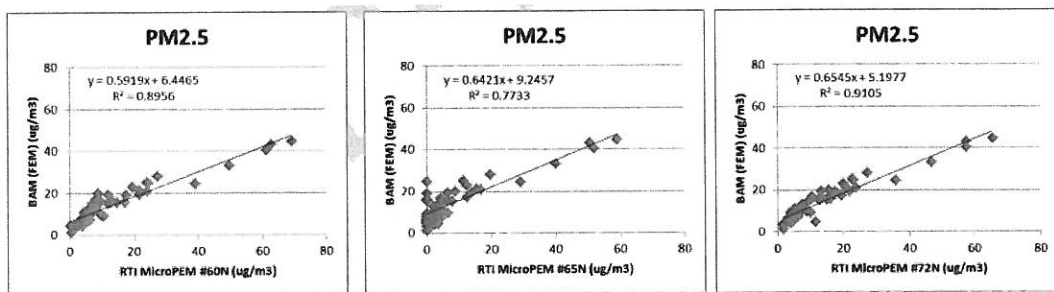


图 3-5 测试期间相关性分析图

(5) 讨论

1) 三个 MicroPEM 传感器表现较好

- ①大约两个月的监测时间，停机时间较短。
- ②三个 MicroPEM 传感器测量数据一致性较好。
- ③与 BAM 测量结果相关性较好。

2) MicroPEM 通常高估 PM_{2.5} 的质量浓度，尤其是在颗粒物浓度较高的时候。但是在测试之前，MicroPEM 未经过校准。

3.1.3 美国 PM_{2.5} 传感器应用

(1) 绿色村庄项目

村绿色项目是基于社区的活动，展示新的实时监测技术的能力，使居民和公民科学家了解当地的空气质量。该项目的目标是向公众和社区提供以前没有的有关当地空气质量的信

息，并让社区人员提高空气污染意识。

该站是由再生材料制成的公园长椅结构，包括用于测量两种常见空气污染物（称为 PM_{2.5} 和臭氧的细颗粒污染）和气象条件（如风速，温度和湿度）的精密仪器。

数据通过网络实时流式传输，每分钟更新一次。用户可以在线或通过智能手机访问数据。数据通过蜂窝调制解调器从站无线传输，质量检查，然后发布到网站。

村绿色站数据正用于研究，以提高对空气质量的了解，并提高社区对当地空气质量状况的认识。研究报告告诉我们，当地的空气污染水平可能受到位于附近和远处的污染源的影响。例如，EPA 的近路研究表明，直接在公路下风的污染水平可能高于远离公路的地方。降低成本的空气监测技术，如村庄绿色项目，可以使研究人员和公民监测当地空气质量，了解空气污染如何随地域变化。除了测量空气和天气，村绿色项目还涉及与邻近地区的环境和公众在网络上的互动。该站可以作为一个社区聚集地点，了解新技术、环境，或只是坐下来读一本书。村绿色站示意图：

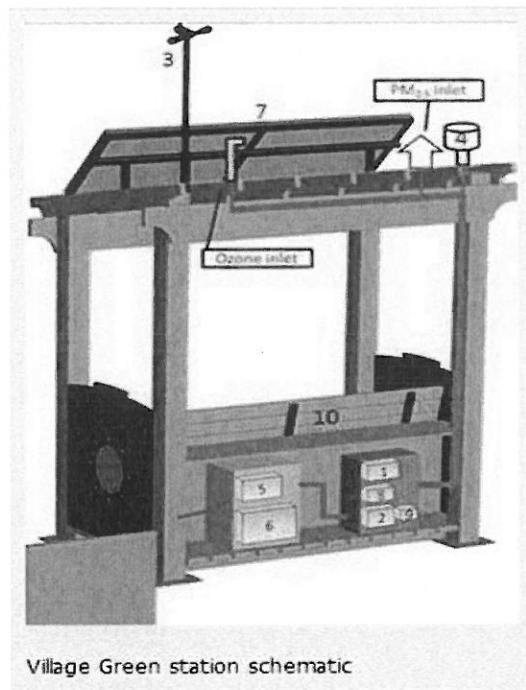


图 3-6 村绿色站示意图

(2) Aclima 和谷歌用街景车辆绘制室外空气质量地图

Aclima 是一家位于三藩的公司，设计和部署环境传感器网络，2015 年 7 月 28 日宣布与谷歌地图建立新的合作伙伴关系，以便更好地了解城市空气质量。合作伙伴关系是指：通过为街景车配备 Aclima 的移动感应平台，以前所未有的方式观看周围的空气，从而实现人们

对环保意识的转变。三个街道视图汽车测量了二氧化碳、一氧化氮、臭氧、一氧化碳、二氧化氮、甲烷、黑碳、颗粒物和挥发性有机化合物（挥发性有机物）-空气污染物，它们可能影响人类健康或气候变化。

Aclima 研究总监 Melissa Lunden 说：“丹佛实验是一个科学驱动的过程，用于验证 Aclima 的系统用于谷歌街景车的移动环境感测，并证明移动传感在街道级是可能的。我们想要得到这个权利。这就是为什么我们要求一个国家认可的空气和气候科学家团队审查我们的方法。”

2014 年 8 月，Aclima 的科学家和工程师团队在美国航空航天局和美国环保署进行的 DISCOVER-AQ 研究期间，装备了三台 Google Street View 汽车在丹佛都会区进行了为期一个月的系统测试。EPA 通过提供科学专业知识和指导，作为与 Aclima 的合作研究与开发协议（CRADA）的一部分，帮助确保高质量的数据和系统性能。

Aclima 的团队可以观察环境数据被处理和从汽车到定制的可视化工具和地图的流向的全过程。测试验证了 Aclima 的方法和研究方法。它还展示了移动传感的有效性，使 Google 和 Aclima 能够将努力扩展到更多的城市。

3.2 国内相关研究及进展

3.2.1 相关标准

技术指南编制组对国内主要网格化监测服务提供厂家进行了调研，调研结果显示，目前国内用于大气PM_{2.5}网格化监测的设备绝大多数为基于光散射法的激光粒子计数器传感器，仅有个别厂家采用光散射法粉尘仪，且粉尘仪具有设备成本高、需配置采样切割头从而导致运维工作量大等问题，不适用于高密度大气PM_{2.5}网格化监测系统。因此，技术指南编制工作将监测技术与方法定为基于光散射法激光粒子计数器传感器的网格化监测设备。

国内已经发布的国家级相关标准有：《环境空气质量标准》（GB 3095）、《环境空气质量自动监测技术规范》（HJ/T193）、《环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ 653）、《环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动监测系统安装和验收技术规范》（HJ 655）以及《尘埃粒子计数器性能试验方法》（GB/T 6167）等。其中，前四项标准为常规环境空气质量监测站点相关标准，第五项标准为与PM_{2.5}网格化监测传感器同原理设备的相关要求，这些标准对本技术指南的编制均有参考与借鉴意义。

国内已经发布的地方相关标准主要有河北省颁布的《大气污染防治网格化监测系统安装验收与运行技术规范（征求意见稿）》等大气网格化监测相关系列技术规范。这些技术规范对多种大气污染物的网格化监测进行了规定。

3.2.2 国内 PM_{2.5} 传感器研究

国内已有研究人员将光散射法PM_{2.5}传感器与其他原理PM_{2.5}在线监测设备进行了对比研究。比如王永敏等人(王永敏, 2017)为考察光散射法和β射线衰减-光散射联用法的适用性,以β射线衰减法颗粒物自动监测仪(BAM)为标准,于2016年2月4日至4月18日,在中国环境科学研究院利用β射线衰减-光散射联用法颗粒物自动监测仪(MP-CPM)与光散射法传感器对ρ(PM₁₀)和ρ(PM_{2.5})测量结果进行了对比。结果表明,①MP-CPM与BAM测量ρ(PM₁₀)的结果具有较好的一致性,相关系数为0.92,平均相对偏差为0.04%;ρ(PM_{2.5})结果一致性较差,相关系数为0.69,MP-CPM测量ρ(PM_{2.5})整体较高于BAM,平均相对偏差为45.8%。②光散射法传感器与BAM测量ρ(PM_{2.5})结果一致性较好,相关系数为0.85,平均相对偏差为11.24%,但ρ(PM₁₀)远低于BAM,平均相对偏差为-44.64%。在特殊污染情景下,光散射法将因受到较大影响而严重错估颗粒物浓度。烟花燃放期间,MP-CPM和光散射法传感器严重低估颗粒物浓度,与BAM测量颗粒物浓度的平均相对偏差均低于-50%;沙尘污染过程中,MP-CPM严重高估ρ(PM_{2.5}),与BAM测量ρ(PM_{2.5})结果平均相对偏差为79.27%,光散射法传感器严重低估ρ(PM₁₀),与BAM测量ρ(PM₁₀)结果平均相对偏差为-59.35%。研究显示,不同原理的仪器,在不同的使用场景下应该区别对待。

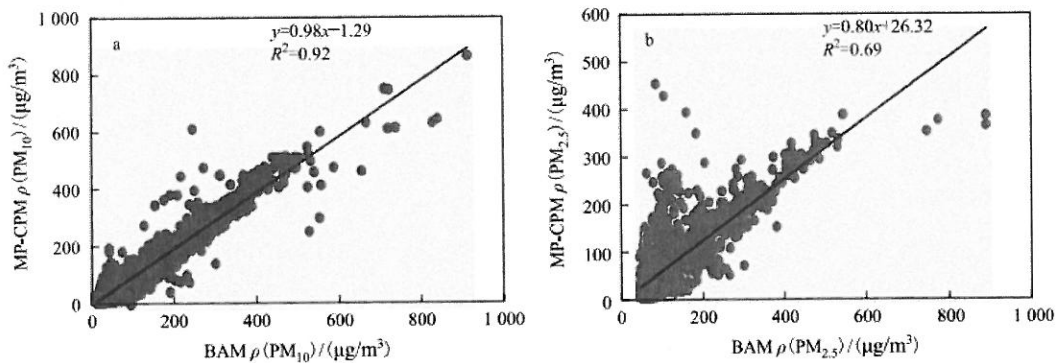


图3-7 MP-CPM和BAM所测颗粒物浓度的相关性

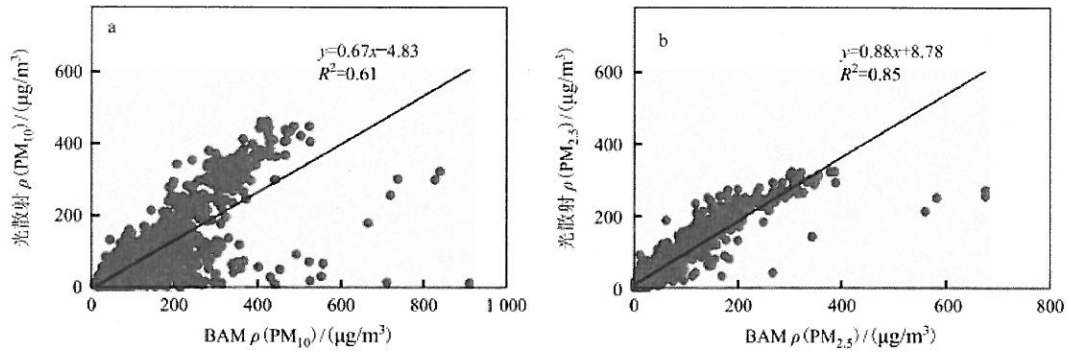


图3-8 光散射法传感器和BAM所测颗粒物浓度的相关性

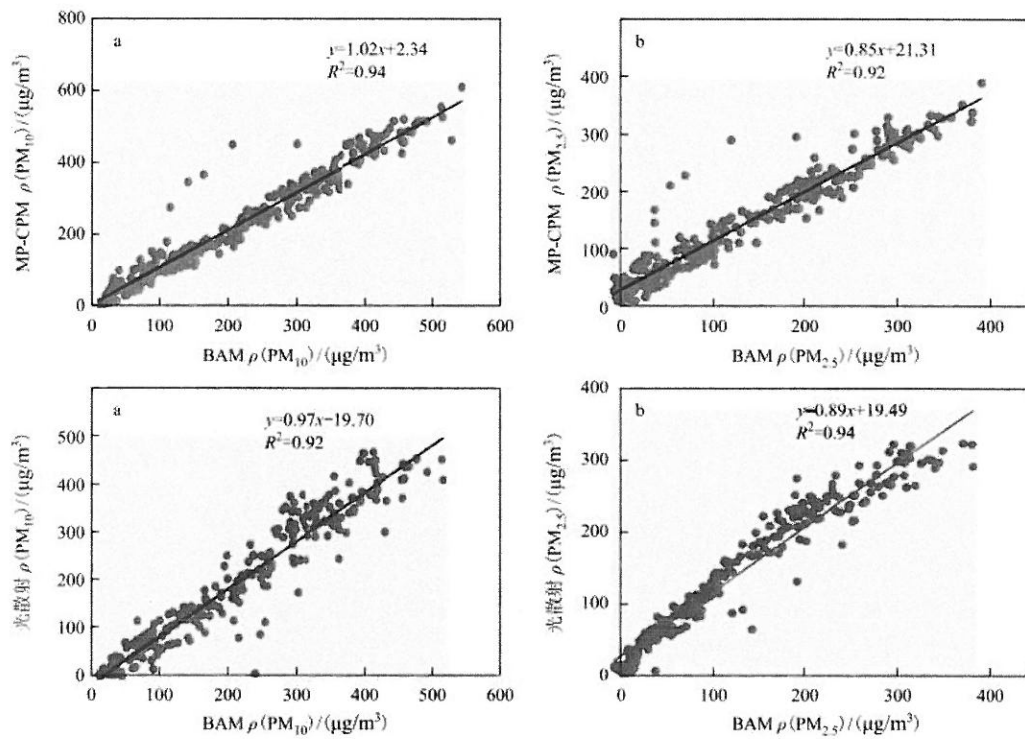


图3-9 重污染个例期间3种方法所测颗粒物浓度的相关性

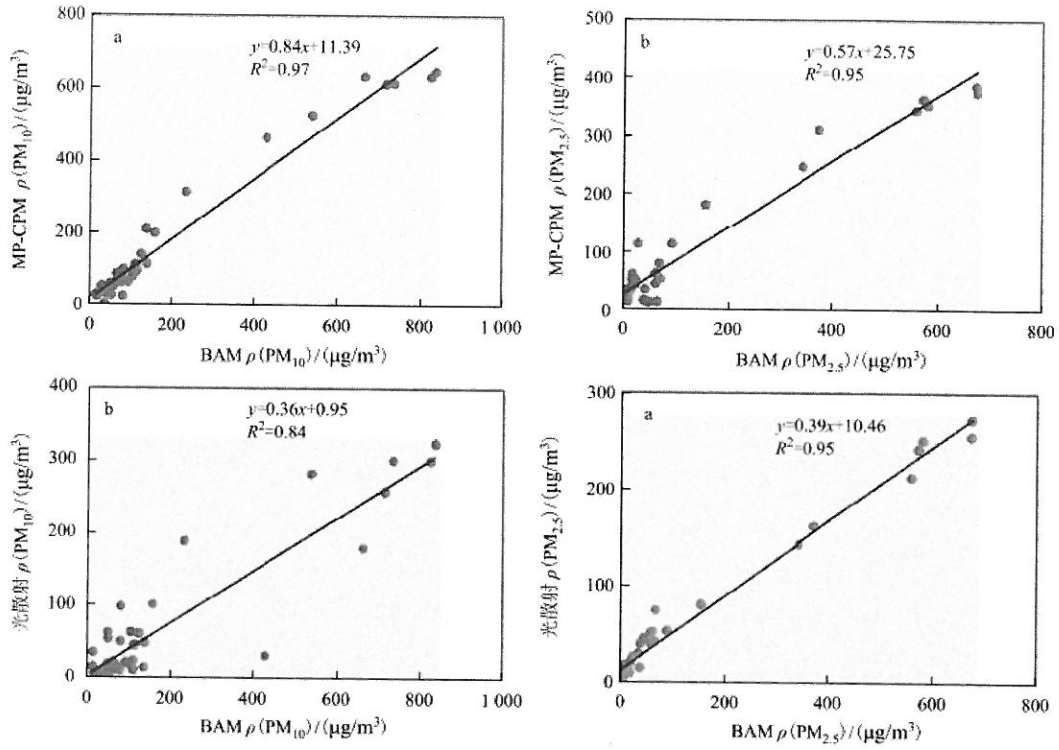


图3-10 烟花燃放个例期间3种方法所测颗粒物浓度的相关性

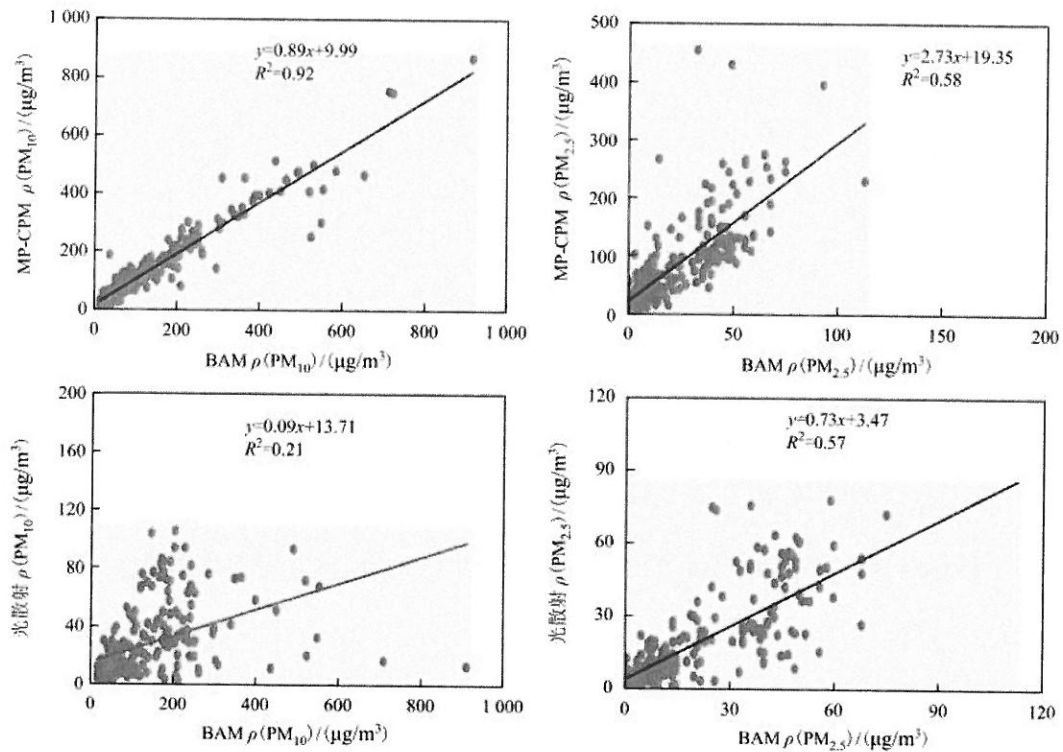


图3-11 沙尘个例期间3种方法所测颗粒物浓度的相关性

3.2.3 国内 PM_{2.5} 传感器应用

北京、天津及河北省石家庄、保定、沧州、唐山、廊坊及深圳等市，近年来陆续开展了大气网格化监管工作，取得一些成功经验。

北京市自 2015 年底建设基于小型颗粒物传感器的高密度监测子网，作为全市空气质量监测体系的有机组成部分，同步建设、双向质控、综合应用。该子网络以平原地区 3×3 公里网格、山区 8×8 公里网格、重点地区加密的形式布设，由小型化颗粒物智能监测终端、物联网传输系统、数质转换模型、认知计算云质控系统等组成。目前，网络已完成 1300 多个点位的布设，监测数据质量可控，并尝试开发了街乡镇级别空气质量报表、高污染区识别等功能，为城市环境精细化管理提供技术支持。

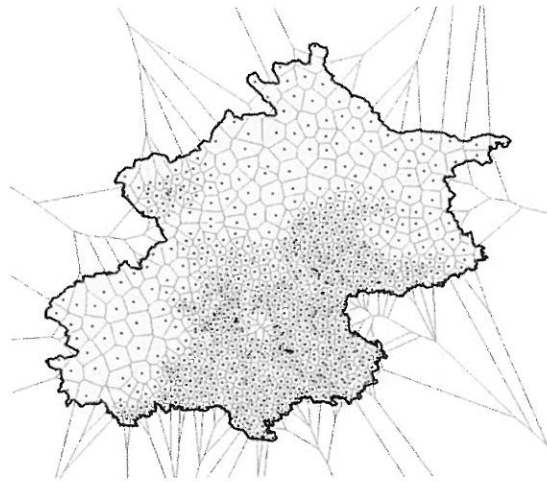


图 3-12 北京市小型 PM_{2.5} 网格化监测点位布设

2017 年 2 月至今，北京市在顺义区开展了“网格化管理”应用示范，从构建“科技网格”做起，加密小型监测站点、筛选确定 PM_{2.5} 高值片区，以“科技网格”倒逼“管理网格”，进一步构建了“网格长、网格员、网格、污染源”四统一的有效网格监管体系，建立健全“散、乱、污”企业台账。在实施网格化监管示范后，顺义区累计清理 PM_{2.5} 高值点位周边污染源 4629 家，高污染区面积显著缩小，空气质量同比排名也有明显进步。

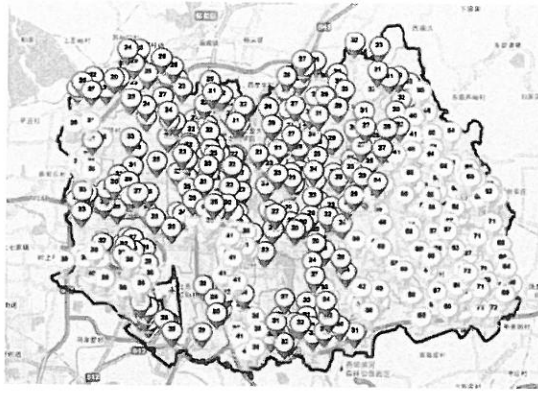


图 3-13 顺义区小型 PM_{2.5} 网格化监测点位布设

2016 年开始，环境保护部在河北沧州开始试点，采用热点网格的方式，针对城市区域网格，综合使用地面环境监测数据、卫星遥感、气象数据、地理信息、环境统计、经济表征数据（工商、电力）等进行数据统计，运用多种模型交叉量化分析，综合评估城市的所有区域的污染程度、污染源规模与数量等多项指标，选出需要重点实施监管排查的热点网格，重点监控和监督，并划定网格长，责任到最底层。



图 3-14 河北沧州小型 PM_{2.5} 网格化监测点位布设

从目前的经验看，新技术应用成为大气环境精细化管理的重要抓手。促进了环保压力向基层传导，提升了“散、乱、污”清理整顿效能，实现了环保“最后一公里”责任的落实。但从世界范围来看，小型化传感器应用于空气质量监测监管仍属于崭新领域，大规模应用仍需要进一步合理制定点位布设等相关技术规范，加强技术创新应用配套研究，进一步提升监测监管的科学合理性、针对性和有效性。

3.3 与本指南关系

目前国内还没有针对大气 PM_{2.5} 网格化监测技术要求和检测方法的技术指南，《环境空气颗粒物（PM₁₀和 PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ653-2013）是针对环境

空气PM₁₀和PM_{2.5}自动监测技术的规范，不是针对网格化小型设备的。本标准中也参考了《环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ653-2013）中与自动监测系统相应要求与指标，如：仪器外观、大气温度、大气压力、大气湿度的技术要求和检测方法。

4 指南的基本原则和技术路线

4.1 指南制修订的基本原则

本编制组本着易实现、易操作和科学性原则，以《环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ653-2013）为依据，结合京津冀及周边区域“2+26”城市已开展大气网格化监管试点工作情况，参考北京、天津及河北省石家庄、保定、沧州、唐山、廊坊的大气PM_{2.5}网格化监测技术。结合大气PM_{2.5}网格化监测技术特点，制定本指南。

4.2 制修订的技术路线

本技术指南主要是在调研国内外相关标准规范和已实施项目与厂家的基础上，结合我国当前开展大气PM_{2.5}网格化监测的实际需要，制定技术路线，讨论确定主体框架，编制《大气PM_{2.5}网格化监测系统质保质控与运行技术指南（试行）》并召开厂家论证会与专家论证会等征求修改意见，修改完善后提交。技术路线图如下：

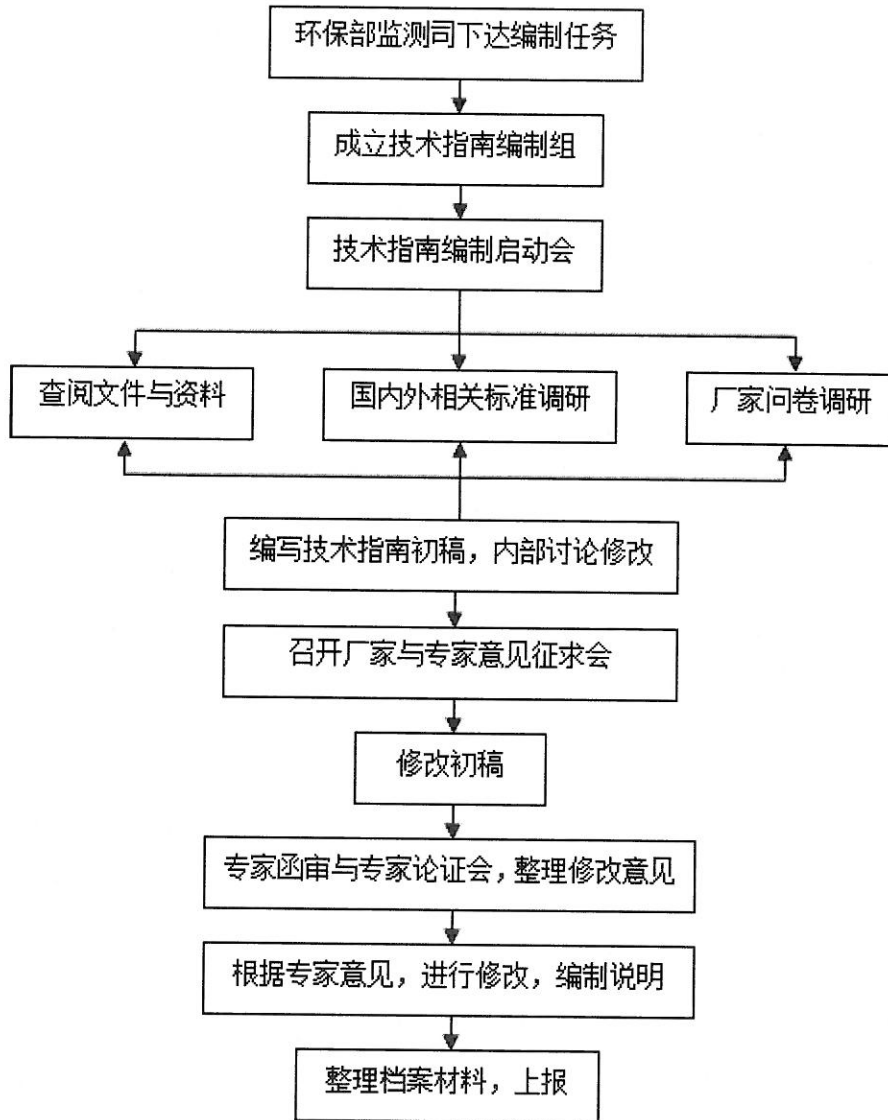


图 4-1 技术指南编制的技术路线图

4.2.1 主要内容

指南的内容主要包括适用范围、规范性引用文件、术语和定义、技术要求、性能指标和检测方法。

技术要求对大气PM_{2.5}网格化监测设备的外观、工作条件、安全、功能、通讯、质控提出了要求。为了方便阅读，性能指标则对大气PM_{2.5}网格化监测设备分别地提出了明确的指标要求。

大气PM_{2.5}网格化监测设备的技术指标包括：浓度测量范围、测量误差、时钟误差、温度测量示值误差、湿度测量示值误差、大气压测量示值误差、网格化监测设备平行性、标准

监测方法比对测试、通信可靠性、质控模型。

4.2.2 标准适用范围

本指南规定了大气PM_{2.5}网格化监测系统的小型监测设备(以下简称网格化监测设备)的原理、技术要求、技术指标和检测方法。

本指南适用于京津冀及周边区域“2+26”城市大气PM_{2.5}网格监测系统网格化监测设备的设计、生产、检测和比对评估。

其他同类城市经确认后可参考本指南进行PM_{2.5}网格化监测设备的设计、选型、检测和比对评估。

4.2.3 大气PM_{2.5}网格化监测技术的说明

《大气PM_{2.5}网格化监测技术要求和检测方法技术指南》对大气PM_{2.5}网格化监测系统的系统组成和测量原理进行了描述。

大气PM_{2.5}网格化监测系统包括监测单元、数据传输及存储单元、数据处理分析单元以及其他辅助单元。监测单元是指网格化监测设备,由采样入口、测量装置和辅助模块等组成,将环境空气中PM_{2.5}输送到测量装置并进行测量。数据传输及存储单元能够实时无线传输监测单元产生的数据、设备工作状态信息等,并安全存储。数据处理分析单元是整个系统运行的中心,一般由计算机、数据处理模块及系统管理模块组成,用于监测单元产生数据的换算、判别及网格化监测系统的管理等。其他辅助单元包括安装仪器设备所需要的安装固定装置等。

大气PM_{2.5}网格化监测系统网格化监测设备的测量方法为光散射法。

5 方法研究报告

5.1 外观要求

5.1.1 设备铭牌

铭牌上应标有仪器名称、型号、标示码(条码/二维码)、产单位、出厂编号、制造日期等信息。

此条是参考了《环境空气颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})连续自动监测系统技术要求及监测方法》(HJ653-2013)的5.1.1条要求,属于一般要求。由于大气PM_{2.5}网格化监测系统中的监测单元数量较大,增加了要求每个监测单元有唯一的标示码(条码/二维码),便于安装和管理。

5.1.2 设备外观

设备表面应完好无损，无明显缺陷，各零、部件连接可靠，各操作键、按钮灵活有效。

此条是参考了《环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ653-2013）的5.1.2条要求，属于一般要求。

5.1.3 设备重量

为便于运输、携带、安装和动态调整位置，设备需要采用小型化、一体化设计。总体积小于0.02 m³，重量小于10千克。

由于大气PM_{2.5}网格化监测系统监测单元安装和位置动态调整需要，以及监测单元安装条件要求，设备需要小型化、一体化设计，经对国内14家监测单元的生产厂家调研，均能符合要求。

5.2 工作条件

5.2.1 工作温度

本指南考虑到大气PM_{2.5}网格化监测系统中监测单元的实际情况，综合当前此类设备的实际要求，由于测量方法为光散射法，监测单元的激光器的最低工作温度为-10℃，然而设备测量时产生热量，环境温度为-20℃，光室的温度易于保持在-10℃，同时考虑京津冀及周边区域“2+26”城市的常年温度，规定工作环境温度为-20℃~+60℃。

5.2.2 工作相对湿度

此条是参考了《环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ653-2013）的5.2.2条要求。考虑到监测单元的实际情况，综合当前此类设备的实际要求，规定相对湿度≤85%。

5.3 安全要求

5.3.1 一般要求

设备及其附件必须避免在装配、安装、使用和维护过程中可能造成的人身安全隐患，诸如锋边、毛刺等。

考虑到监测单元的运输、携带、安装和动态调整位置情况，综合当前此类设备的实际要求规定。

5.3.2 接地保护

设备采用市电供电时应连接地线，具有防雷保护设施。

考虑到监测单元的安装和对操作人员的保护，综合当前此类设备的实际要求规定。

5.3.3 绝缘电阻

使用交流电源时，设备的电源相、中联线对地的绝缘电阻应不小于 20MΩ。

此条是参考了《环境空气颗粒物（PM₁₀和 PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ653-2013）的 5.3.1 条要求，属于一般要求。

5.3.4 绝缘强度

使用交流电源时，设备电源相、中联线对地的绝缘强度，应能承受交流电压 1.5kV、50Hz 泄露电流 5mA，历时 1min 实验，无飞弧和击穿现象。

此条是参考了《环境空气颗粒物（PM₁₀和 PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ653-2013）的 5.3.2 条要求，以及《测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第 1 部分：通用要求》（GB 4793.1-2007）第 6 章，属于一般要求。

5.3.5 防护等级

在满足性能要求的前提下，设备护等级应满足 GB4208-2008 IP44 的规定。

GB4208-2008 外壳防护等级(IP 代码) 试验标准使用于额定电压不超过 72.5kV，借助外壳防护的电气设备的防护等级。主要的防护等级试验有：IP43，IP44，IP54，IP55，IP65，IP66，IP67，IP68 防护等级。IP 代码：表明外壳对人接近危险部件、防止固体异物或水进入的防护等级以及与这些防护有关的附加信息的代码系统。IP44 代表直径为 1mm 的金属线不能透过产品空隙并影响危险部件；溅水，向外壳各方向溅水无影响，各垂直面在 180 度范围内淋雨，水流量 10L/min，试验时间 10min。经对国内 14 家监测单元的生产厂家调研，IP44 防护等级比较合适。

5.3.6 防盐雾腐蚀

经盐雾试验后，设备外壳应无腐蚀现象。

大气 PM_{2.5} 网格化监测系统中的监测单元安装在室外，属于一般要求。

5.4 功能要求

5.4.1 整机功耗

不大于 10W。

考虑到大气 PM_{2.5} 网格化监测系统中的监测单元安装位置，有可能是路灯杆、居民楼的

楼顶、监控视频的支撑杆、移动通讯的基站等位置。经对国内 14 家监测单元的生产厂家调研，绝大部分符合要求。

5.4.2 供电方式

可采取市政供电、太阳能供电或两者结合供电。若设备内含备用电池，支持断电后工作时间需大于 8 小时。

考虑到大气 PM_{2.5} 网格化监测系统中的监测单元安装位置，已经囊括所有安装位置可能的供电。

5.4.3 监测频次

数据检测周期≤5min，每小时监测时间≥12min。

考虑到的测量原理（光散射法），为延长监测单元的使用寿命，保护监测单元的光学部分（激光器、光室和检测器），制定每小时平均时间间隔测量次数不少于 6 次，每次不少于 1 分钟。

5.4.4 GPS 定位

大气 PM_{2.5} 网格化监测系统中的监测单元位置信息，是大气 PM_{2.5} 网格化监测平台数据演算的重要数据。考虑安装环境影响将精度定位偏差定为小于等于 50m，属于一般要求。

5.5 通信要求

采用消息“订阅/发布”机制的物联网传输协议。为物联网通讯的基本要求。

5.6 质控要求

以质控设备为标准传递节点，通过网络化算法对周边监测单元监测数据进行审核与校验。

5.7 主要性能指标

5.7.1 浓度测量范围

此条是参考了《环境空气颗粒物（PM₁₀和 PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ653-2013）的 6.2.1 条要求。考虑到光散射法在测量 1000μg/m³ 时误差较大，在浓度较高时失真严重，因此只规定 0~1000μg/m³ 一个量程。

5.7.2 测量误差

统计国内 14 家生产厂家的监测单元,综合考虑大多数设备的情况,拟定出测量范围 0~100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的测量误差不大于 $\pm 20\mu\text{g}/\text{m}^3$, 测量范围 100~1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的测量误差不大于满量程 $\pm 20\%$ 。

5.7.3 时钟误差

此条是参考了《环境空气颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})连续自动监测系统技术要求及监测方法》(HJ653-2013)的 6.2.3 条要求。考虑到时钟是大气 PM_{2.5} 网格化监测平台认知计算重要的参数,因此规定的与 HJ653-2013 一样。

5.7.4 温度测量示值误差

此条是参考了《环境空气颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})连续自动监测系统技术要求及监测方法》(HJ653-2013)的 6.2.4 条要求。考虑到温度是大气 PM_{2.5} 网格化监测平台对标模型重要的气象因素之一,因此规定的与 HJ653-2013 一样。

5.7.5 湿度测量示值误差

考虑到湿度是大气 PM_{2.5} 网格化监测平台对标模型重要的气象因素之一,因此规定了在(5~45)°C 范围内,湿度测量示值误差 $\pm 10\%RH$ 。参阅了湿度测量方法 GB/T 11605-2005。

5.7.6 大气压测量示值误差

此条是参考了《环境空气颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})连续自动监测系统技术要求及监测方法》(HJ653-2013)的 6.2.5 条要求。考虑到温度是大气 PM_{2.5} 网格化监测平台对标模型重要的气象因素之一,因此规定的与 HJ653-2013 一样。

5.7.7 网格化监测设备平行性

此指标参考了《环境空气颗粒物(PM₁₀和PM_{2.5})连续自动监测系统技术要求及监测方法》(HJ653-2013)的 6.2.11。但大气 PM_{2.5} 网格化监测系统监测单元在网格化监测平台运行时平行性极为重要技术条件,因此将参与平行性比对的仪器增加到 50 台。同时,一个批次的平行性试验受场地和时间影响,一般控制在 50 台。

5.7.8 标准监测方法比对测试

使用标准监测设备与网格化监测设备进行至少 336 组有效数据的比对测试,测试结果进行线性回归分析,符合以下要求:

斜率：1±0.20；

截距：(0±20) μg/m³；

相关系数≥0.85。

此指标参考了《环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法》（HJ653-2013）的6.2.12。根据检测的实际结果，增加了比对测试有效数据的组数，放宽了指标。

5.7.9 通信可靠性

监测单元数据到存储单元丢包率小于1%。若设备因网络信号差导致丢包，通信模块具备连接恢复后数据重发的功能。为一般要求。

5.7.10 质控模型

质控模型具有地理信息数据、气象数据的融合和处理能力，且包含针对特殊气象条件的模型，不同季节、高湿度、沙尘、春节烟花爆竹影响等模型。

根据基于多家小型颗粒物传感器的高密度监测子网的运行经验提出。

6 相关厂家适用性意见

6.1 组织

2017年7月16日，《大气PM_{2.5}网格化监测系统质保质控与运行技术指南（试行）》编制组召集国内提供网格化监测服务的厂家以及同行专家对技术指南初稿进行了论证与意见征求会，IBM中国研究院、河北先河环保科技股份有限公司、泛测（北京）环境科技有限公司等15家公司参加了论证与意见征求会。

6.2 相关结论

厂家负责人与专家一致提出的问题主要有粉尘仪不适用于网格化监测、数据有效率等，系列技术指南术语与定义等应一致，设备的大小和种类应重新考虑，设备不需要规定单一的供电方式，明确监测频次，明确需要动态的质控算法，核实防护等级等。对厂家与专家提出，并一致认可的内容进行了修改与完善。

7 专家意见及修改

7.1 增加数据传输数据指标

在 5 技术要求中增加 5.5 通信要求内容“采用消息“订阅/发布”机制的物联网传输协议。”

在 6 技术指标中增加 6.9 通信可靠性“监测单元数据到存储单元丢包率小于 1%。若设备因网络信号差导致丢包，通信模块具备连接恢复后数据重发的功能。”

7.2 明确算法对数据的影响

在 5 技术要求中增加 5.6 质控要求“以质控设备为标准传递节点，通过网络化算法对周边监测单元监测数据进行审核与校验。”

在 6 技术指标中增加 6.10 质控模型“质控模型具有地理信息数据、气象数据的融合和处理能力，且包含针对特殊气象条件的模型，不同季节、高湿度、沙尘、春节烟花爆竹影响等模型。”

8 参考文献

- [1] GB 3095 环境空气质量标准
- [2] HJ 633 环境空气质量指数（AQI）技术规定（试行）
- [3] HJ/T 55 大气污染物无组织排放监测技术导则
- [4] HJ/T 393 防治城市扬尘污染技术规范
- [5] HJ 663 环境空气质量评价技术规范（试行）
- [6] GB/T 17214.1 工业过程测量和控制装置工作条件 第1部分：气候条件
- [7] HJ 618 环境空气PM₁₀和PM_{2.5}的测定 重量法
- [8] HJ 653 环境空气颗粒物（PM₁₀和PM_{2.5}）连续自动监测系统技术要求及监测方法