

ICS 13.040.20  
CCS Z 15



团 体 标 准

T/CI 1180—2025

# 大气颗粒物网格化监测体系 关键技术与应用指南

Key technologies and application guidelines for grid-based monitoring of  
atmospheric particulate matter

2025-09-30 发布

2025-09-30 实施

中国国际科技促进会 发布  
中国标准出版社 出版



## 目 次

前言 .....	III
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和定义 .....	1
4 微站网格化监测 .....	2
4.1 系统组成 .....	2
4.2 设备核心功能和性能 .....	2
4.3 点位布设 .....	2
4.4 质量控制 .....	3
5 走航网格化监测 .....	4
5.1 系统构成 .....	4
5.2 车载设备性能 .....	4
5.3 算法 .....	5
5.4 点位布设 .....	5
5.5 数据校准 .....	6
6 激光雷达扫描监测 .....	6
6.1 设备性能 .....	6
6.2 质量浓度算法 .....	7
6.3 点位布设 .....	8
6.4 精度验证 .....	8
6.5 质量控制 .....	8
7 卫星遥感网格化监测 .....	8
7.1 数据选择 .....	8
7.2 数据匹配 .....	9
7.3 模型构建 .....	9
7.4 浓度计算 .....	9
7.5 精度验证 .....	9
7.6 质量控制 .....	9
8 数据融合 .....	10
8.1 总体原则 .....	10
8.2 测量场景差异性 .....	10
8.3 数据融合方法 .....	11
8.4 数据交叉校验方法 .....	12
8.5 不一致数据的处理 .....	12
参考文献 .....	13



## 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国国际科技促进会提出并归口。

本文件起草单位：中国环境科学研究院、中煤科工集团重庆研究院有限公司、北京雪迪龙科技股份有限公司、天泓环境科技有限责任公司、浙江时空智子大数据有限公司、山东大学、山东诺方电子科技有限公司、四川大学、浙江树人学院、江汉大学。

本文件主要起草人：高健、沈毅成、惠立锋、焦敏、罗武文、李永帅、周兆瑞、姚洪铭、赵洋甬、黄鹏、王新锋、刘一平、赵丽洋、詹宇、唐蝶、陈浚、王泽宇、刘琼玉、米铁、汪晓光。



# 大气颗粒物网格化监测体系关键技术与应用指南

## 1 范围

本文件提供了大气颗粒物网格化监测的关键技术,包括微站网格化监测、走航网格化监测、激光雷达扫描监测、卫星遥感网格化监测和数据融合的建议。

本文件适用于在现有空气质量监测体系的基础上,对特定区域开展大气颗粒物环境浓度监测,为监测技术的应用提供指导。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 3095 环境空气质量标准

GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)

GB/T 7247.1 激光产品的安全 第1部分:设备分类和要求

## 3 术语和定义

GB 3095界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

#### 网格化监测 **grid-based monitoring**

为达到大气污染防治精细化管理的目的,根据不同监控需求及环境特征,将目标区域分为不同的网格进行点位布设,对各网格中相关污染物浓度进行实时监测。

### 3.2

#### 微站 **microstation**

监测包括PM<sub>2.5</sub>指标在内的微型空气质量监测站。

注:通常用于测量GB 3095中列出的一种或多种污染物,本文件中特指固定式微型空气质量监测站。

### 3.3

#### 走航 **mobile monitoring**

将微型空气质量设备安装在车辆上,随车辆行驶过程中进行环境空气质量测量的方式。

### 3.4

#### 参比设备 **reference equipment**

具有已知的准确度和可靠性,作为测量校准其他设备的高精度设备。

### 3.5

#### 光散射法 **light scattering method**

一种通过测量颗粒物对光的散射信号强度,进而计算空气中颗粒物质量浓度的监测技术。

### 3.6

#### 点位 **location**

在环境空气质量监测中,为实现特定监测目的,按规范要求设立的、具有精确地理坐标和空间代表性

的采样或测量位置。

### 3.7

#### 卫星遥感 satellite remote sensing

基于卫星光谱探测技术,非接触获取地球大气与地表信息,并通过数据处理反演大气参数与地表特性的科学技术。

### 3.8

#### 数据融合 data fusion

为提升信息质量,采用某种算法或规则,对来自不同时空、不同来源(如传感器、模型、数据库)的数据或信息进行协同处理,以生成比单一信息源更准确、更完整、更可靠的统一信息集的过程。

## 4 微站网格化监测

### 4.1 系统组成

系统由微站和平台端组成,微站包括光散射法颗粒物传感器用于测量 $PM_{2.5}$ 及其他选测粒径段的质量浓度、辅助模块用于获取气象参数及视频监控、通信模块用于近实时向平台上传实时数据和辅助信息,平台端用于数据的收集、分析和可视化展示。

### 4.2 设备核心功能和性能

4.2.1 除 $PM_{2.5}$ 外,设备宜具备多粒径质量浓度同测的能力,包括但不限于 $PM_1$ 、 $PM_{10}$ 和总悬浮颗粒物(TSP)。

4.2.2 除220 V交流电外,设备宜具备太阳能板和蓄电池供电能力,宜在无外部供电情况下运行24 h以上。

4.2.3 微站宜具备气象参数测量和视频监控功能。

4.2.4 时间分辨率宜 $\leq 5$  min。

4.2.5 环境浓度下小时分辨率误差宜 $\leq 10\%$ 。

4.2.6 设备宜具备加热除湿功能或内置湿度校正功能,以减少外界环境影响,确保测量精度。

### 4.3 点位布设

#### 4.3.1 网格设计原则

系统分为微型空气监测站和数据平台。微型空气监测站宜根据环境空气质量监测需求和污染源区监测需求进行布设。

- a) 环境空气质量监控网格:以城市主城区为监测区域,将监测区域均匀划分成若干监测网格,每个网格不宜超过 $2\text{ km} \times 2\text{ km}$ ,在每个网格的相对中心位置设置微型空气监测站。
- b) 污染源区域监控网格:污染源区域包括建筑工地、重点工业园区、生活源密集区等,上述区域宜适当加密布设网格,并且在重点区域的边界增加点位。点位数量可根据当地环境特点或管理需求确定,一般不少于3个。
- c) 特殊地形区域监控网格:对于山地、工业复合区等特殊地形区域,宜结合三维地理信息进行点位布设优化,可通过地形建模与分析,在污染物扩散的关键通道和潜在聚集区增设监测点位,以更准确反映实际空气质量状况。

#### 4.3.2 具体点位布设

点位布设时宜考虑以下因素:

- a) 供电与维护条件:采样点宜具备供电或安装太阳能板的条件,且便于维护人员到达;
- b) 采样口高度与障碍物:采样口离地面的高度宜在2 m~5 m,水平面至少270°范围内从监测点采样口到附近最高障碍物的水平距离,至少为该障碍物高出采样口垂直距离的2倍以上;
- c) 规避人为干扰:宜规避影响空间范围远小于网格半径的人为干扰,如垃圾堆放或焚烧点和周期性喷淋作业范围,避免局部短暂性污染对网格整体监测趋势的干扰;
- d) 规避非目标污染源:宜避开监测任务目标以外的其他固定污染源(如餐饮油烟、持续性的高排放等),防止其干扰对目标源的溯源与评估。

#### 4.4 质量控制

##### 4.4.1 在线质控

在线质控宜考虑以下内容。

- a) 外部环境异常:当外部环境异常(如相对湿度 $>90\%$ ,风速 $>10\text{ m/s}$ 等),宜选择校准函数对数据进行订正。如无适用校准函数,或外部环境异常时伴随数据异常波动,宜给予剔除。
- b) 数据异常波动:异常波动为偏离前后浓度且伴随仪器状态异常或人工复合未发现短时排放或清除影响的数据。宜采用滑动窗口法设定动态阈值判别,宜以分钟原始数据为中心、前后各1 h为窗口,随分钟数据实时更新,浓度在 $\mu \pm 3\sigma$ 以外的数据标记为短时离群值。异常波动数据宜予以剔除。
- c) 数据短时离群:短时离群值数据为偏离前后浓度且经人工复核确认真实的数据。宜采用滑动窗口法设定动态阈值判别,建议以分钟原始数据为中心、前后各1 h为窗口,随分钟数据实时更新,浓度在 $\mu \pm 3\sigma$ 以外的数据标记为短时离群值。在长期监测和浓度评价等场景下宜剔除,在污染溯源等场景宜保留。
- d) 数据系统性偏移:当某一微站的数据与周边站点存在持续性偏差较大(如连续24 h相对偏差 $>30\%$ )或相关性较差(如连续72 h相关系数 $R < 0.7$ )时,予以剔除。

##### 4.4.2 设备校准

设备校准的分类和适用场景如下:

- a) 在线比对校准:采用标定好的设备在设备附近进行比对,常用于日常校准,适用于大部分场景;
- b) 返厂校准:设备需返厂进行高精度校准,适用于对数据精度要求较高但允许一定数据缺失的场景;
- c) 换机校准:在设备出现故障或需要替换时进行校准,适用于对数据精度和连续性要求较高的场景;
- d) 设备自校准:宜采用具有自校准技术的设备,如使用多个内核同步测量浓度,当其中一个内核出现显著偏离时,通过实时调整权重来进行自动校准。

##### 4.4.3 质控周期

宜根据设备性能和检测环境开展定期质控,对于环境空气监测,推荐以下质控周期:

- a) 数据审查频率:数据审查频率宜为每天1次;
- b) 巡检频率:巡检频率不低于每周1次;
- c) 校准频率:设备校准频率不低于每月1次;
- d) 返厂维护:返厂维护频率不低于每年1次。

## 5 走航网格化监测

### 5.1 系统构成

系统由车载端和平台端组成,车载端包括光散射法颗粒物传感器用于测量 $PM_{2.5}$ 及其他选测粒径段的质量浓度、定位模块用于获取实时位置信息、通信模块用于近实时向平台上传实时数据和地理位置,平台端负责数据的收集、分析和可视化展示。

### 5.2 车载设备性能

#### 5.2.1 核心功能

设备核心功能参照微站,采用激光散射原理,监测参数包括 $PM_{2.5}$ ,一般同步测量 $PM_{10}$ 、TSP或粒径分布。

#### 5.2.2 测量性能

测量性能宜满足表1中约定。

表1 走航网格化监测设备测量性能

要求类别	技术指标
浓度测量范围与精度	浓度测量范围:0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;最小显示单位:0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ;检出限 $\leq 2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ;监测频率 $\leq 5 \text{ s}/\text{次}$
定位与通信	GNSS多模定位,精度 $\leq 10 \text{ m}$ ;5G网络通信,传输时效 $\leq 10 \text{ s}$ ,具备补传功能
采样要求	采样泵抽取环境大气,具备防紊流功能;车辆行驶速度0 km/h~80 km/h时,采样流量波动 $\leq \pm 10\%$

#### 5.2.3 结构与环境适应性

结构与环境适应性宜满足表2中约定。

表2 走航网格化监测设备结构与环境适应性

要求类别	技术指标
设备体积与安装	设备体积(长宽高总和) $< 0.5 \text{ m}$ ;可安装于出租车顶灯等狭小空间
供电方式与功耗	供电电压:12 V~24 V(车辆蓄电池供电);总功率 $\leq 10 \text{ W}$ (含检测器、泵、通信模块)
工作环境适应性	适应振动、加减速等外部环境;相对湿度范围10%~99%;温度范围 $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ ~ $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ;防护等级符合GB/T 4208中IP44

#### 5.2.4 可靠性

可靠性要求宜满足表3中约定。

表3 走航网格化监测设备可靠性

序号	要求项目	条件	数值
1	设计寿命	在常规工况下	$\geq 3$ 年
2	维修间隔	在常规工况下	$\geq 1$ 年
3	校准间隔	在常规工况下	$\geq 30$ d
4	数据有效率	在常规工况和正常维护情况下	$\geq 90\%$

### 5.3 算法

#### 5.3.1 路段网格划分与浓度评价

以路段为基本网格进行浓度评价,路段的划分基于地理信息和道路段划分。每个路段的长度不宜超过1公里,可由两端点确定的线段或多个线段组成折线来构成路段。

#### 5.3.2 坐标系统与数据存储

数据和路段信息遵循CGCS2000坐标系统,确保空间数据的标准化与一致性。

#### 5.3.3 监测数据与路段匹配

监测数据根据对应的CGCS2000坐标,匹配至最近的一条路段。如果某一监测点与最近的路段的距离超过50 m,则不匹配至任何路段。

#### 5.3.4 均值与有效数据计算

时段均值由时段内所有有效的监测数据平均值确定:

- a) 若某一路段同一小时内存在不少于3车次和30条监测数据,则视为该小时数据有效;
- b) 每日的有效小时数据不少于12 h,认定为日均值有效;
- c) 有效的月数据和年数据不少于一半的日期具有有效日数据。

### 5.4 点位布设

#### 5.4.1 布设车辆

点位宜布设在道路行驶的车辆上,确保覆盖不同区域的空气质量数据。

#### 5.4.2 车辆数量

对于地级市主城区,移动监测车辆数量可按标准空气质量监测站点数量的10倍进行配置,且不宜少于100辆。对于县城、开发区及工业园区,可按此原则缩减,且不宜少于20辆。

#### 5.4.3 行驶线路

车辆行驶线路应具有代表性,确保能够覆盖各类不同环境及交通流量:

- a) 出租车线路具有较强的随机性和广泛性,在设备数量较多时可以优先选取出租车;
- b) 公交车或市政服务车辆的行驶线路相对固定,可对固定路段进行多次覆盖,适用于车辆总数较少的情况;
- c) 不宜采用影响周边颗粒物浓度的车辆,如洒水车 and 国VI及以下柴油车。

## 5.5 数据校准

### 5.5.1 参比设备布设

宜布设参比设备用于对走航网格化监测系统中各车载设备进行校准。可以选用固定式或移动式参比设备。

- a) 固定参比设备为现有的标准监测站点或性能良好的微型站。宜选择车辆途经频繁的地点进行布设,如主干道路边或大型停车场附近。
- b) 移动式参比设备宜选取性能稳定、近期经过实验室校准的设备。通过后后期数据分析,挑选出性能表现良好的设备。移动式参比设备宜搭载在与其他车辆线路重叠较多的车辆上,以确保校准数据的代表性。

### 5.5.2 实时校准

5.5.2.1 当待校准车载设备与参比设备持续处于邻近空间时,可进行实时校准。

5.5.2.2 校准时,参考该时间段内数据的截距和斜率对待校准设备进行校正。

5.5.2.3 校准距离不超过 50 m,参比时段大于 10 min,且该时段内参比设备测得的浓度方差不小于平均浓度的 1/2。

### 5.5.3 后期比对

后期比对可根据一段时间内与参比设备距离小于 50 m 的所有实测数据,与同时刻的参比数据进行对比。比对样本总时间大于 10 min,且参比设备数据样本的浓度方差不小于平均值的 1/2。

### 5.5.4 数据剔除

对于相邻两次校准时间间隔大于 1 个月,或校准结果存在显著差异(如线性回归截距差异大于使用场景平均浓度的 20%、斜率偏差大于 0.2 或均方根误差大于校准量程值的 20%)的设备,其两次校准间的监测数据宜予以剔除。

## 6 激光雷达扫描监测

### 6.1 设备性能

气溶胶激光雷达扫描监测设备的技术要求见表 4。

表 4 激光雷达扫描监测设备技术要求

项目	技术要求
发射波长	在 200 nm~2 000 nm 内选取一个或多个波长: a) 单一指标反演( $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 、TSP),宜选用 355 nm、532 nm 或 1 064 nm; b) 同时反演 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 和 TSP,宜采用 355 nm、532 nm 和 1 064 nm 三个波长
探测方位	宜具备 360°水平扫描能力,激光束保持水平或略微向上,以确保全方位监测
探测距离	晴朗天气下,水平方向最大有效探测范围 $\geq 5$ km
距离分辨率	距离分辨率 $\leq 30$ m,宜设置为 15 m 或 7.5 m
激光能量	在存在建筑等障碍物时,有必要选取符合 GB/T 7247.1 规定的激光能量,确保安全与稳定
安全标志	在明显位置设置外观标志和激光警示标志,提醒人员避免激光照射

## 6.2 质量浓度算法

### 6.2.1 米散射法

#### 6.2.1.1 气溶胶消光系数

对原始数据进行背景噪声、距离平方及几何重叠因子等订正。选择合适的雷达方程进行反演(如 Fernald 法或 Klett 法),从而计算气溶胶消光系数。

#### 6.2.1.2 颗粒物浓度

使用地面监测数据进行数据拟合,获得颗粒物质量浓度与消光系数之间的关系式。也可通过建立颗粒物质量浓度与后向散射系数的关系式来估算颗粒物浓度,宜考虑气溶胶的复折射指数和粒径分布。

#### 6.2.1.3 米散射计算

米散射是基于光散射理论,利用激光雷达系统测量的散射信号反演气溶胶的光学特性。根据雷达信号与气溶胶的物理特性(如消光系数、散射系数)之间的关系,估算颗粒物的质量浓度。

#### 6.2.1.4 复折射率

在反演过程中需考虑颗粒物的复折射指数,通常可参考设定值  $1.5+0.02i$ 。若所在区域有机组分占比较高,建议适当降低实部取值;若黑碳组分较为突出,则应适当增大虚部取值

#### 6.2.1.5 粒径分布

粒径分布可通过周边区域的光散射法颗粒物监测仪进行监测。也可参考文献或周边空气质量站点的  $PM_{2.5}/PM_{10}$  数据,或根据不同波段之间的后向散射和消光系数差异推算粒径分布。

### 6.2.2 机器学习法

#### 6.2.2.1 数据准备

采集多波段激光雷达数据,包括后向散射和偏振信息,以获得丰富的光学参数。收集地面颗粒物质量浓度数据作为训练集。

#### 6.2.2.2 建立关系模型

利用机器学习算法(如随机森林、支持向量机等)建立激光雷达参数(后向散射、偏振等)与颗粒物质量浓度之间的关系。选择合适的特征(如波段强度、散射角度等)用于模型训练。

#### 6.2.2.3 训练与验证

6.2.2.3.1 训练集与测试集宜包含模型输入特征与输出目标。输入特征宜包括激光雷达扫描监测信号(如散射强度、退偏比)、周边空气质量数据(如  $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$  浓度)及气象参数(如风速、温度、湿度)。输出目标宜为同步实测的颗粒物质量浓度值。

6.2.2.3.2 数据集宜按时间顺序划分,比例通常为 7:3 或 8:2。训练集用于模型训练,测试集作为未参与训练的未见数据,用于验证模型准确性、泛化能力和预测精度。

6.2.2.3.3 针对时间序列数据,宜采用前序数据训练、后续数据测试的划分方法。宜使用  $k$  折交叉验证

等方法在训练集内部进行参数调优,以提升模型预测精度和稳健性。

#### 6.2.2.4 模型应用

在实际应用中,通过输入实时的激光雷达数据,使用训练好的机器学习模型预测颗粒物的质量浓度。定期更新训练集和模型,以适应环境变化和监测需求。

#### 6.2.2.5 质量浓度空间插值

根据反演模型和目标区域的激光雷达数据、气象信息,逐个格点计算 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 和TSP浓度。通过转换中心点的经纬度信息,结合方位角和距离数据,计算每个格点的浓度。反演结果按照地理坐标存储并展示,并根据实际用途进行网格转化及进行后续分析。

### 6.3 点位布设

#### 6.3.1 扫描方式与位置

激光雷达点位具有空间代表性,选择圆形扫描或扇形扫描方式:

- a) 圆形扫描置于关注区域相对中心,确保能够覆盖目标区域;
- b) 扇形扫描置于目标区域边界附近,根据需要扫描5 km~10 km。

#### 6.3.2 周边环境要求

500 m范围内宜避开人为干扰和非目标排放源,以确保监测数据的准确性。水平方向无遮挡,避免物体遮挡激光路径。周围宜设置警戒线或围栏,防止无关人员接近设备及近距离接触激光。

#### 6.3.3 设备设施要求

激光雷达设备宜配备稳压电源,确保设备运行稳定。站房宜设置避雷措施,且便于设备的日常维护与检查。

### 6.4 精度验证

在激光雷达扫描监测区域布设地面微站或开展走航网格化监测,验证激光雷达反演的 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 和TSP浓度。通过对比反演结果和地面监测值,计算相关系数( $R^2$ )、均方根误差(RMSE)和相对误差,评估地基颗粒物激光雷达扫描监测的准确性。

### 6.5 质量控制

对激光雷达原始数据进行质量控制,去除噪声和不合格数据,确保准确性。考虑到大气污染物分布的相对连续性,可根据数据点的分布,对离群数据进行剔除。

## 7 卫星遥感网格化监测

### 7.1 数据选择

#### 7.1.1 卫星遥感数据

7.1.1.1 可用卫星资源:静止轨道卫星如葵花-8、葵花-9、风云-4,极地轨道卫星如MODIS、风云-3,太阳同步轨道卫星如高分-5等。

7.1.1.2 卫星遥感数据:可见( $0.47\ \mu\text{m}$ 附近和 $0.66\ \mu\text{m}$ 附近)、红外( $0.86\ \mu\text{m}$ 附近、 $2.1\ \mu\text{m}$ 附近和 $12\ \mu\text{m}$ 附近)光谱数据,或者气溶胶光学厚度(AOD)数据。

7.1.1.3 卫星遥感受感数据可采用暗目标法和深蓝算法反演获得目标区域内无云陆地格点的气溶胶光学厚度(AOD),也可直接使用。当有云层覆盖时,可采用深度学习、掩膜等方法对遥感影像进行去云修复,或者结合其他卫星、地面监测、模型模拟等多源数据进行融合、填补。

## 7.1.2 辅助数据

7.1.2.1 气象数据:边界层高度、相对湿度、气温等,从天气预报模式[如全球天气预报模式(GFS)和中尺度天气预报模式(WRF)等]模拟的资料中提取出所选区域的气象数据,并按气溶胶光学厚度的空间分辨率采用双线性插值方法进行重采样。

7.1.2.2 颗粒物地面监测数据:PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度小时均值及相应监测点位的地理坐标。

## 7.2 数据匹配

利用地面监测站点的PM<sub>2.5</sub>与PM<sub>10</sub>浓度数据、气溶胶光学厚度(或相关光谱数据)、气象资料,进行时间和空间上的多源数据匹配,以地面PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度监测站点的地理坐标为中心位置,根据卫星监测(过境)时间,考虑大气气溶胶移动速度和卫星遥感象元邻近效应,选取中心位置周边15 km范围和监测时间前后各半小时区间内的气溶胶光学厚度(或相关光谱数据)、气象资料有效结果,计算平均值。最后形成PM<sub>2.5</sub>与PM<sub>10</sub>浓度、气溶胶光学厚度(或光谱)、气象资料输入数据集。

## 7.3 模型构建

基于先验知识、回归、特征重要性等,筛选影响大气颗粒物浓度的关键变量,通常包括卫星遥感数据(光谱数据或产品)、近地面监测数据(国控、省控、区/县、乡镇站点监测数据)、源排放或人类活动水平数据(排放清单、化石燃料燃烧、路网密度、夜间灯光、人口密度等)、自然地理数据(植被覆盖度、精度、维度、高程)、气象数据(温度、湿度、气压、风矢量、光照、降雨、边界层高度等)、时间信息(年、月、周、小时等)。利用线性回归矩阵、机器学习(如LightGBM)、深度学习(如Transformer)等方法,拟合或训练基于气溶胶光学厚度(或相关光谱数据)与气象资料的近地面PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度反演模型。根据精度验证指标,通过超参数调优、交叉验证、精度对比等,筛选、确定最优反演模型。

## 7.4 浓度计算

利用构建的近地面大气颗粒物浓度反演模型,根据目标区域中每个格点对应的气溶胶光学厚度(或相关光谱数据)、气象资料,逐格点计算PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度,并按照卫星遥感数据的投影方式和地理坐标进行存储,通过地理信息系统(GIS)软件进行绘图和展示。

## 7.5 精度验证

采取十折交叉验证方法验证卫星遥感反演区域PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度监测结果。将前述数据集按比例随机分成10个数据子集,分10次轮流选取其中1个数据子集作为测试比对数据,其他9个子集作为PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度反演训练样本数据,依据反演模型、利用测试比对数据计算格点PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度反演结果,将反演值和地面监测值进行线性相关分析,并计算相关系数( $R^2$ )、均方根误差(RMSE)和平均绝对误差(MAE),用于评价PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>浓度反演模型的精度,评估反演结果在实际应用中的准确性。

## 7.6 质量控制

要保证卫星遥感原始数据的质量,避免有噪声条带的数据参与后续处理和计算,导致产生较大误差。

另外,要保证地面 $PM_{2.5}$ 、 $PM_{10}$ 监测资料足够且分布相对较均匀,一般 $10\ 000\ km^2$ 至少有3个地面监测点位的数据资料。

## 8 数据融合

### 8.1 总体原则

在多种监测方法(如微站、走航、激光雷达和卫星遥感)的融合过程中,宜综合考虑测量场景的差异性、潜在的问题、交叉校验方法及不一致数据的处理,以确保融合后的数据准确性和可靠性。图1为数据融合过程中的关键问题与解决方案。

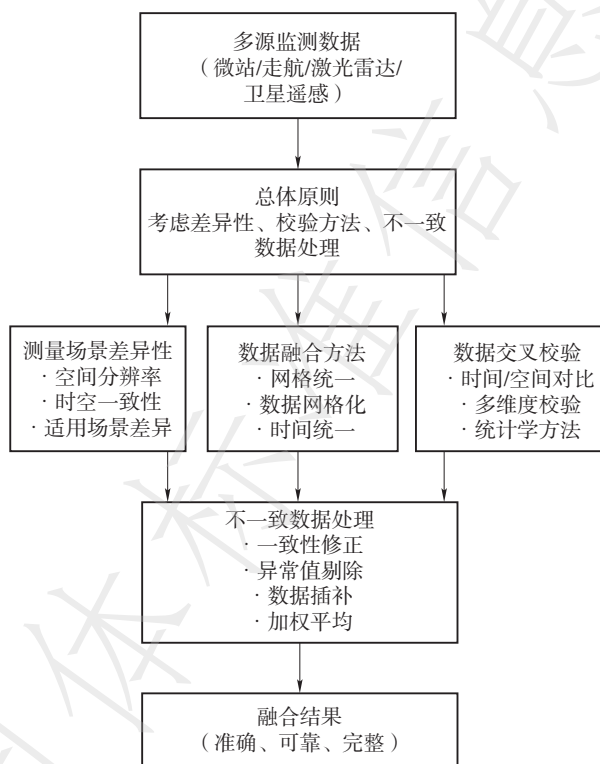


图1 数据融合流程图

### 8.2 测量场景差异性

#### 8.2.1 空间分辨率

各监测方法的空间分辨率不同。需要根据不同监测方法的分辨率差异,合理选择融合策略,通过空间对齐、插值、平均、重采样、等方法,确保数据的统一性。

示例:激光雷达和车载设备提供较高的空间分辨率,分别约为 $7.5\ m\sim 15\ m$ 和 $50\ m$ ,而卫星遥感的分辨率相对较低,通常为 $0.5\ km\sim 2\ km$ 。

#### 8.2.2 时空一致性

不同方法的时间和空间覆盖范围各异,导致时空不一致。车载设备和激光雷达提供高时效性(秒级至分钟级)的空间数据,而卫星遥感的数据更新周期较长(小时至天尺度)。宜通过时间对齐技术,确保数据的时空一致性。

### 8.2.3 适用场景差异

8.2.3.1 对于长时间、连续监测的场景,宜适用固定站点方法,并需重点关注长期运行中的设备维护和数据校准,以确保高精度的基准数据。

8.2.3.2 对于道路环境监测的场景,宜适用车载设备方法,并需重点关注车辆行驶过程中的干扰因素(如震动、空气流动等)对测量精度和数据分析的影响。

8.2.3.3 对于指定范围内的快速扫测的场景,宜适用激光雷达方法,并需重点关注算法局限性和反演结果的不确定性。

8.2.3.4 对于大范围监测的场景,宜适用卫星遥感方法,并需重点关注天气因素(如云层)对测量连续性的影响,以避免数据的缺失或不一致。

### 8.3 数据融合方法

#### 8.3.1 网格统一

8.3.1.1 网格设计。宜根据具体的研究目标或管理需求进行二维平面网格设计,优先考虑现有数据的网格体系:

- a) 对于需结合管理用途且空间差异性较小的监测,可以按照行政区和用地类型进行网格划分;
- b) 对于道路环境监测,宜采用路段作为基本网格,按照 500 m 或 1 km 的长度划分网格单元,道路属性中包括道路等级;
- c) 对于特定区域监测,可以选择卫星网格进行设计,按照 1 km×1 km 的面积划分网格单元,按照网格的经纬度进行编号、管理;
- d) 激光雷达扫描测量数据分辨率较高,可向其他监测方法的网格统一。

8.3.1.2 网格插值。当数据点位相对较少,但需要覆盖较多网格时,可以使用三角插值或克里金插值方法进行外推。

8.3.1.3 网格平均。当数据点位较多,但网格较少时,可以对同一网格内的数据进行平均处理。如果数据方差较大或存在离群值,可以考虑使用中值代替均值,以减少极端值对结果的影响。

#### 8.3.2 数据网格化

8.3.2.1 网格化原则:数据网格化宜根据具体的应用场景和目标需求,选择合适方式。

8.3.2.2 平行展示:不同来源的数据在各自的网格或原始格式中存储和展示。通过数据平台实现不同点位或图层的叠加显示,以便于对比和综合分析。

8.3.2.3 主次互补:当某种数据无法覆盖特定区域、缺失或出现异常时,其他数据来源可用于补充。这种方法能够确保数据的完整性,避免因某一数据缺失导致的监测盲区。

8.3.2.4 加权平均:为有效融合多个数据源,宜根据不同观测类型的准确性和权威性设定权重。固定站点数据一般精度最高,可赋予较大权重;卫星遥感精度相对较低,可赋予较小权重。为避免主观性过强,建议权重计算基于客观指标(如历史误差、稳定性),并按需动态更新。加权平均结果可用公式(1)表示,其中权重  $w_i$  可根据由设备参数或观测经验确定的数据源不确定度  $\sigma_i$  确定,具体见公式(2)。

$$C_i = \sum_{i=1}^N w_i C_i, \quad \sum_{i=1}^N w_i = 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$w_i \propto 1/\sigma_i^2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

8.3.2.5 时间统一:针对不同数据来源的时间分辨率可能存在差异,在进行数据融合时,宜尽量选择同一时刻的数据进行整合。在处理日均、月均等时段平均数据时,若低分辨率的数据(如卫星数据)与高分辨率数据融合,根据浓度随时间变化的趋势进行时间修正,以确保融合结果的准确性。

## 8.4 数据交叉校验方法

### 8.4.1 基于时间和空间的交叉验证

采用不同监测方法的数据进行交叉校验。例如,将走航数据与固定站点数据、激光雷达数据与走航数据进行同一时段、同一区域的对比分析,以验证不同数据源的一致性。

### 8.4.2 多维度数据校验

融合过程中可结合气象数据、空气质量数据等外部参数,进行多维度交叉校验,确保融合结果的合理性。

### 8.4.3 统计学方法

采用统计学方法对多源监测数据的一致性及融合质量进行量化评估,具体方法包括:

- a) 相关性分析:计算不同数据源(如走航与固定站点)在同一时空条件下的相关系数,评估其变化趋势的一致性;
- b) 偏差分析:通过计算平均偏差(MB)和平均绝对偏差(MAB)等指标,系统评估不同数据源之间的数值差异;
- c) 回归分析:建立不同数据源之间的线性或非线性回归模型,分析其系统误差与随机误差结构,用于数据校准与融合权重分配。

## 8.5 不一致数据的处理

### 8.5.1 一致性检验与修正

通过多次实验和实时数据监测,逐步对数据进行一致性检验,及时调整设备间的数据偏差,确保最终融合结果的准确性。

### 8.5.2 异常值剔除

在数据融合过程中,可能会出现一些异常值(如由于设备故障或外界干扰导致的空值、越界值、离群值)。这些异常值可以通过滤波、回归分析等方法进行剔除,确保融合后的数据质量。

### 8.5.3 数据插值

对于缺失的数据,可以采用插值方法(如克里金插值法、样条插值法等)进行填补,以确保数据的完整性。

### 8.5.4 加权平均

在处理不同数据源不一致时,采用加权平均法宜遵循统一的权重计算规则。权重宜结合数据源的精度、权威性和历史表现确定,并定期更新。避免完全依赖主观判断,必要时可设定权重上下限,确保融合结果的稳健性。

参 考 文 献

- [1] HJ 1264—2022 卫星遥感细颗粒物(PM<sub>2.5</sub>)监测技术指南  
[2] DB11/T 2157—2023 网格化城市管理系统 单元网格划分
- 

全国团体标准信息平台

中国国际科技促进会  
团体标准  
大气颗粒物网格化监测体系  
关键技术与应用指南

T/CI 1180—2025

\*

中国标准出版社出版发行  
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 31 千字  
2025年12月第1版 2025年12月第1次印刷

\*

书号:155066·5-18232 定价 43.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107



T/CI 1180-2025