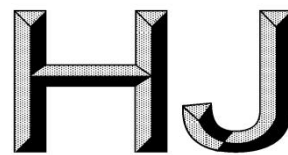


附件2



中华人民共和国国家生态环境标准

HJ □□□□—202□

大气挥发性有机物高值区卫星遥感 识别技术指南

**Guidelines for the Satellite Remote Sensing Identification of High-Value
Areas of Atmospheric Volatile Organic Compounds**

（征求意见稿）

202□-□□-□□发布

202□-□□-□□实施

生态环境部 发布

目 次

前 言.....ii

1 适用范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 总则 2

5 识别方法 3

6 质量控制 5

附录A（资料性附录） 7

附录B（资料性附录）10

附录C（资料性附录）..... 14

前 言

为贯彻《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》，推动大气污染防治工作，改善生态环境质量，规范大气环境中挥发性有机物（VOCs）高值区的识别方法，制定本标准。

本标准规定了大气环境中挥发性有机物高值区的卫星遥感识别方法。

本标准的附录A～附录C为资料性附录。

本标准为首次发布。

本标准由生态环境部生态环境执法局、法规与标准司组织制订。

本标准主要起草单位：生态环境部卫星环境应用中心。

本标准由生态环境部202□年□□月□□日批准。

本标准自202□年□□月□□日起实施。

本标准由生态环境部解释。

大气挥发性有机物高值区卫星遥感识别技术指南

1 适用范围

本标准规定了大气挥发性有机物卫星遥感识别方法、技术流程、质量控制等内容。

本标准适用于各级生态环境部门利用卫星遥感识别VOCs管控重点区域，为实地核查、无人机和走航观测等提供参考。

2 规范性引用文件

本标准引用了下列文件或其中的条款。凡是注明日期的引用标准，仅注日期的版本适用于本标准。凡是未注日期的引用标准，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本标准。其他文件被新文件废止、修改、修订的，新文件适用于本标准。

GB/T 21010-2017 土地利用现状分类

GB 37822-2019 挥发性有机物无组织排放控制标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

挥发性有机物 volatile organic compounds (VOCs)

参与大气光化学反应的有机化合物，或者根据有关规定确定的有机化合物。引自GB 37822-2019。

3.2

柱浓度 column density

气体（如NO₂或HCHO等）在单位面积从地表到大气层顶柱体内所含的分子数，量纲为molecule/cm²。本标准柱浓度特指对流层柱浓度，即单位面积从地表到对流层顶柱体内所含的分子数。

3.3

臭氧前体物 ozone precursors

指大气环境中能参与大气光化学反应促进臭氧（O₃）生成的物质，主要包括氮氧化物（NO_x）、挥发性有机物（VOCs）等。

本标准以卫星监测对流层NO₂和HCHO分别作为NO_x和VOCs的指示要素。

3.4

VOCs高值区 VOCs high value area

指卫星遥感监测人为源VOCs排放异常引起VOCs或臭氧浓度升高的网格区域。

3.5

差分光学吸收光谱技术 differential optical absorption spectroscopy (DOAS)

通过气体分子在紫外光到可见光波段的特征吸收结构来定量分析大气层的痕量气体柱浓度的技术。

4 总则

4.1 数据源选择

本标准所用输入数据包括高光谱卫星遥感数据、高分辨率卫星影像和土地利用现状分类数据。其中，高光谱卫星遥感数据应包括 $0.3\mu\text{m}\sim 0.46\mu\text{m}$ 附近的紫外波段，光谱分辨率优于 0.5nm ；高分辨率卫星影像应为最近1年内覆盖监测区域的真彩色遥感影像，至少包括 $0.45\mu\text{m}$ 附近的蓝波段、 $0.55\mu\text{m}$ 附近的绿波段和 $0.66\mu\text{m}$ 附近的红波段，空间分辨率优于 2m ；土地利用现状分类和编码应遵照GB/T 21010-2017第5章表1规定执行。

4.2 技术路线

VOCs高值区卫星遥感识别包括数据准备、VOCs高值区筛选和质量控制等流程，具体如图1所示。

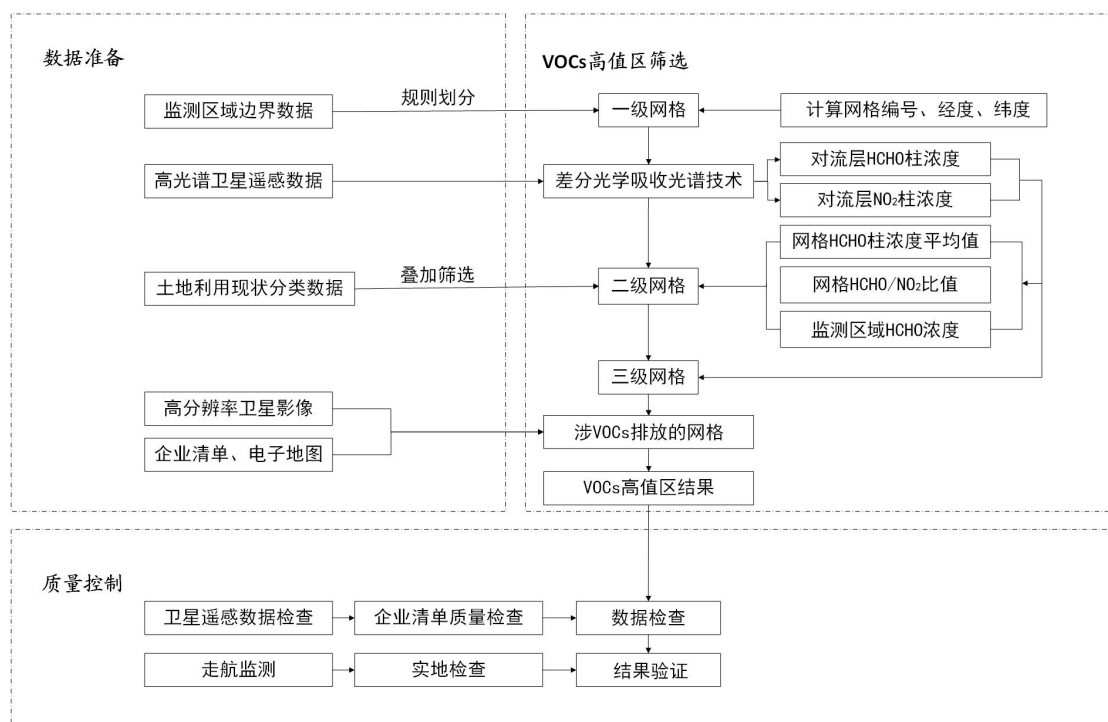


图1 VOCs高值区卫星遥感识别技术路线图

5 识别方法

5.1 数据准备

5.1.1 监测区域边界数据

采用Shapefile等格式表示监测区域范围的矢量数据。

5.1.2 高光谱卫星遥感数据

采用监测时段内覆盖监测区域的高光谱卫星遥感影像数据，光谱分辨率优于0.5nm。

5.1.3 高分辨率卫星影像

采用最近1年内覆盖监测区域的无云真彩色遥感影像，空间分辨率优于2m。

5.1.4 土地利用现状分类数据

采用最近3年内官方发布的高质量土地利用类型数据，空间分辨率优于1km。

5.1.5 企业清单

从监测区域排污许可管理或重点企业污染源监控等渠道获取，应包括企业名称、地理坐标等信息，或从电子地图中获取企业清单信息。

5.2 臭氧前体物卫星遥感数据反演

采用差分光学吸收光谱（DOAS）技术，根据NO₂和HCHO的吸收通道，从高光谱卫星遥感探测光谱数据中反演获取NO₂和HCHO柱浓度，主要数据处理步骤如下：

5.2.1 准备工作

臭氧前体物卫星遥感数据反演准备工作主要包括构建大气质量因子（Air Mass Factor, AMF）查找表、太阳夫琅和费参考光谱、数据质量检查三部分。

a) 通过辐射传输模型（如SCITRAN等），考虑不同观测几何条件（太阳天顶角、观测天顶角、相对方位角）以及地表反照率和地表大气压参数，模拟构建AMF查找表，查找表参数详见附录A。

b) 选取太阳天顶角较小且相对纯净大气的测量光谱作为夫琅和费参考光谱。

c) 对高光谱卫星数据质量进行检查，确保云覆盖量小于30%，同时数据文件中包含观测几何条件、经纬度坐标和定标系数等辅助数据信息。

5.2.2 数据预处理

根据卫星数据进行光谱定标和辐射定标，光谱定标是找到像元和波长之间的对应关系，建立光谱响应函数；辐射定标将卫星载荷不同波段输出的數位信息（DN值）通过定标系数转为辐亮度值。

5.2.3 整层斜柱浓度反演

根据DOAS算法原理，结合NO₂、HCHO的吸收通道，分别选取405~465nm和320~360nm，通过以下公式（1），采用非线性最小二乘法拟合反演得到NO₂、HCHO斜柱浓度。

$$\ln[R(\lambda)] = -\sum_i \sigma_i(\lambda) \text{SCD}_i - P_3(\lambda) \quad (1)$$

式中：λ——波长，nm；

$\ln[R(\lambda)]$ ——波长为λ处卫星探测表观反射率的自然对数，无量纲；

$\sigma_i(\lambda)$ ——第i种气体分子（反演NO₂时主要考虑O₃、O₄、H₂O、NO₂等，反演HCHO时主要考虑O₃、O₄、BrO、NO₂、HCHO）的吸收截面，cm²·molecule⁻¹；

SCD_i ——第i种气体分子的斜柱浓度，molecule·cm²；

$P_3(\lambda)$ ——波长的三阶多项式，用于代表由于分子的多次散射和吸收、气溶胶的米氏散射以及下垫面反射等因素引起的随波长缓慢变化的光谱结构，无量纲。

5.2.4 计算AMF

根据待反演像元的太阳天顶角、卫星天顶角、相对方位角、地表反照率、地表大气压（从GFS、ECMWF等数值模式模拟分析产品中获取）和参考波长等6个参数，结合AMF查找表选择最邻近的节点进行线性插值计算获取AMF。

5.2.5 计算垂直柱浓度

根据公式（2），结合反演的SCD与计算的AMF获取VCD，即对应像元的NO₂或HCHO柱浓度。

$$\text{VCD} = \frac{\text{SCD}}{\text{AMF}} \quad (2)$$

式中：VCD——垂直柱浓度，molecule·cm²；

SCD——斜柱浓度，molecule·cm²；

AMF——大气质量因子，无量纲。

5.2.6 平流层影响扣除

利用TM5-MP（Tracer Model, 5th generation-Massively Parallel）等大气化学模型模拟获取平流层NO₂或者HCHO浓度，从卫星遥感反演的垂直柱浓度扣除平流层部分即为对流层柱浓度。

5.3 VOCs高值区筛选

在臭氧前体物卫星遥感反演基础上，通过下列步骤筛选VOCs高值区，并参考附录C制作VOCs高值区属性表。

5.3.1 一级网格划分

将监测区域按照规则大小（如1km×1km、3km×3km等）进行等间隔网格划分，即一级网格，对每个网格添加以下4个属性值：

- 属性1：网格编号，按照省、市、县、序号的顺序进行编号，如：xx省_xx市_xx县_0001；
- 属性2：网格中心经度地理坐标，用小数值数表示，精确到小数点后六位，如116.253000；
- 属性3：网格中心纬度地理坐标，用小数值数表示，精确到小数点后六位，如38.079000；
- 属性4：监测时间。

5.3.2 二级网格选取

首先进行土地利用类型初筛，一级网格叠加土地利用现状分类数据，剔除耕地、林地等非人为源排放区域的一级网格，保留商服用地、工矿仓储用地等人为源排放区域的一级网格。然后添加污染特征属性，根据从高光谱卫星遥感数据反演获取的HCHO、NO₂柱浓度，选取监测时段内HCHO、NO₂柱浓度，计算HCHO/NO₂比值作为臭氧前体物指示值，统计每个二级网格的HCHO柱浓度和臭氧前体物指示值平均值以及监测区域HCHO平均值，添加以下3个属性值：

- a) 属性5：网格内HCHO柱浓度平均值；
- b) 属性6：网格内HCHO/NO₂比值平均值；
- c) 属性7：监测区域HCHO平均值。

5.3.3 三级网格选取

在二级网格的基础上，筛选出同时满足以下3个条件的网格作为三级网格：

- a) 网格臭氧前体物指示值小于M，M值依据不同城市观测或模拟结果设定，一般情况下可采用4.2作为参考值；
- b) 网格HCHO柱浓度大于网格周边5km×5km区域内HCHO柱浓度均值与标准差之和；
- c) 网格HCHO柱浓度大于监测区域HCHO柱浓度平均值。

5.3.4 VOCs高值区选取

在三级网格的基础上，结合高分辨率卫星影像、企业清单或电子地图等数据，筛选出包含涉VOCs排放企业的网格作为VOCs高值区。VOCs高值区选取示例参见附录B。

6 质量控制

6.1 数据检查

6.1.1 卫星遥感数据检查

在进行VOCs高值区筛选前，卫星遥感数据应满足以下3个条件：

- a) 高光谱卫星数据条带噪声比例低于5%；
- b) HCHO柱浓度产品精度优于70%，NO₂柱浓度产品精度优于80%；
- c) 土地利用类型产品精度优于90%。

6.1.2 企业清单质量检查

针对企业清单数据完整性和真实性，确保企业清单中的企业名称、坐标、排放污染物类型等基础信息完整，同时修正清单中坐标缺失和位置偏差较大的数据，避免地理位置偏离原因造成的VOCs高值区误判。

6.2 结果验证

卫星遥感识别VOCs高值区后，定期结合走航移动监测、实地检查等方式对高值区进行核查验证，排查企业污染排放和治理问题，如高值区内发现问题企业则判定该高值区识别准确。当VOCs高值区

识别准确率超过70%时，可认为该VOCs高值区遥感识别技术合理可行。

附录 A

(资料性附录)

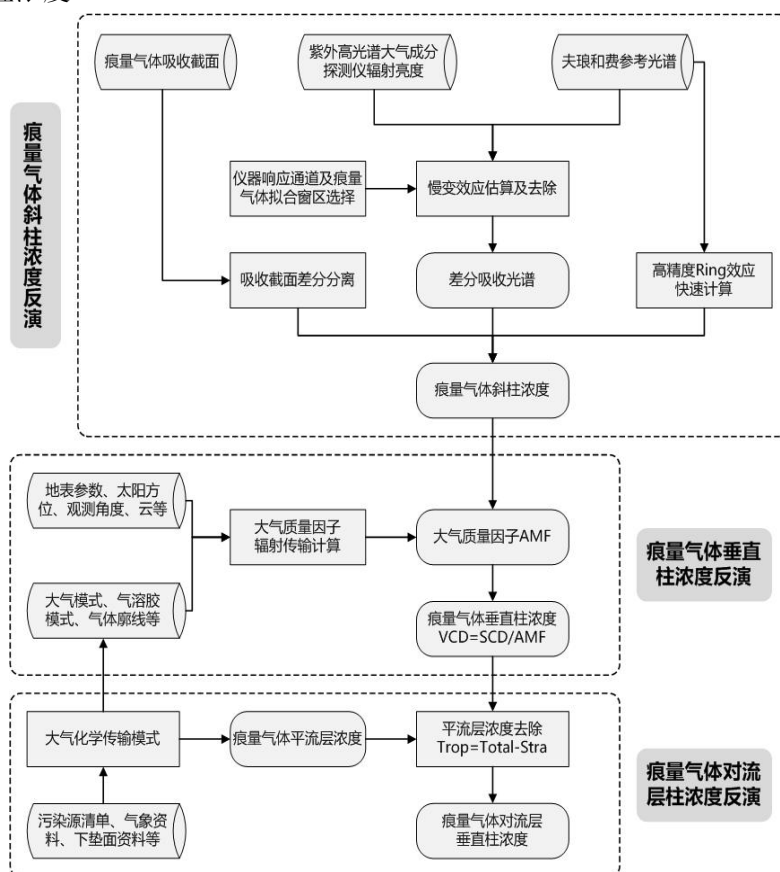
差分光学吸收光谱技术

A.1 基本原理

差分光学吸收光谱技术 (Differential Optical Absorption Spectroscopy, DOAS) 是一种高灵敏度的大气痕量气体检测方法, 通过分析气体分子在紫外和可见光范围内的特征窄波吸收结构来定量反演气体浓度。

A.2 技术路线

DOAS反演算法大体上分为三步: 首先利用DOAS算法拟合得到气体在观测路径上的有效斜柱浓度; 其次, 利用辐射传输模型模拟计算得到大气质量因子AMF, 将有效斜柱浓度转换为垂直柱浓度; 最后, 通过大气化学传输模式或者参考区域法获取平流层气体浓度, 从垂直柱浓度中扣除平流层部分即为对流层垂直柱浓度。



图A.1 DOAS算法技术流程

A.2.1 DOAS算法反演整层斜柱浓度

卫星传感器接收到的表观反射率 $R(\lambda)$ 可表达为:

$$R(\lambda)=\frac{\pi I(\lambda)}{\mu_0 E(\lambda)} \tag{1}$$

式中： $R(\lambda)$ ——波长为 λ 处的卫星探测表观反射率，无量纲；
 $I(\lambda)$ ——地球大气层顶卫星天底观测到的辐射亮度， $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ ；
 μ_0 ——太阳天顶角的余弦，无量纲；
 $E(\lambda)$ ——卫星接收到的太阳光辐照度， $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\mu\text{m}^{-1}$ 。
基于DOAS原理，假定表观反射率满足Beer-Lambert定律，则上式可写为：

$$\ln[R(\lambda)]=-\sum_i\sigma_i(\lambda)\text{SCD}_i-P_3(\lambda) \tag{2}$$

式中： $\ln[R(\lambda)]$ ——波长为 λ 处卫星探测表观反射率的自然对数，无量纲；
 $\sigma_i(\lambda)$ ——第*i*种气体分子（反演 NO_2 时主要考虑 O_3 、 O_4 、 H_2O 、 NO_2 等，反演 HCHO 时主要考虑 O_3 、 O_4 、 BrO 、 NO_2 、 HCHO ）的吸收截面， $\text{cm}^2\cdot\text{molecule}^{-1}$ ；
 SCD_i ——第*i*种气体分子的斜柱浓度， $\text{molecule}\cdot\text{cm}^{-2}$ ；
 $P_3(\lambda)$ ——波长的三阶多项式，用于代表由于分子的多次散射和吸收、气溶胶的米氏散射以及下垫面反射等因素引起的随波长缓慢变化的光谱结构，无量纲。
需要说明的是，在拟合过程中Ring效应被当作一种伪分子吸收截面参与计算，目的是提高目标气体的反演精度。斜柱浓度 SCD_i 和多项式系数通过最小二乘法获得。

A.2.2 计算AMF

AMF依赖于大气的辐射传输特性，对它会产生影响的因子很多，包括观测的几何角度（如太阳天顶角、卫星天顶角、相对方位角）、地表反照率、地表大气压及波长等。在反演气体柱浓度前，一般通过辐射传输模型（如SCITRAN等），考虑不同观测几何角度以及地表反照率和大气压等参数，模拟构建AMF查找表（详细参数参考表A.1）。在逐像元反演气体柱浓度时，根据像元的几何角度、地表反照率、大气压和拟合窗的中间点波长，选择最邻近的节点进行线性插值计算获取该像元的AMF。

表A.1 大气质量因子查找表参数节点设置

参数	参数节点的数量	网格值
太阳天顶角（°）	11	0, 15, 30, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, 80
卫星天顶角（°）	9	0, 20, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60
相对方位角（°）	13	0, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120, 130, 140, 150, 160, 180
地表反照率	14	0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.09, 0.12, 0.13, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0
地表大气压（hPa）	11	0, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000
波长（nm）	8	410, 420, 430, 440, 450, 460, 470, 480

A.2.3 计算垂直柱浓度

在获取AMF和SCD之后可由下式获得气体垂直柱浓度：

$$VCD = \frac{SCD}{AMF} \quad (3)$$

式中：VCD——垂直柱浓度， $\text{molecule} \cdot \text{cm}^{-2}$ ；

SCD——斜柱浓度， $\text{molecule} \cdot \text{cm}^{-2}$ ；

AMF——大气质量因子，无量纲。

附录 B

（资料性附录）

VOCs高值区筛选技术流程

B.1 软件准备

大气挥发性有机物高值区选取主要使用地理信息处理软件。

B.2 数据准备

VOCs高值区筛选所需数据包括：

- a) HCHO柱浓度、NO₂柱浓度、臭氧前体物指示值（HCHO/NO₂比值），文件格式为Geotiff等。
- b) 监测区域边界范围，文件格式为Shapefile等。
- c) 土地利用类型数据，文件格式为Shapefile等。
- d) 高分辨率卫星影像数据，文件格式为Geotiff等。
- e) 企业清单，文件格式为txt或csv等。

B.3 VOCs高值区筛选步骤

B.3.1 数据加载与渲染

B.3.1.1 数据加载

双击打开地理信息处理软件，依次加载所准备的相关数据。

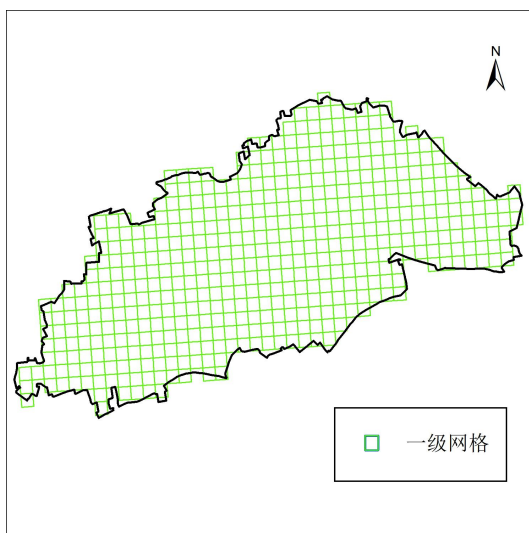
B.3.1.2 数据渲染

HCHO柱浓度图层按最大最小值拉伸方式进行渲染，并将无效值区域设置为透明。

B.3.2 网格划分与选取

B.3.2.1 一级网格划分

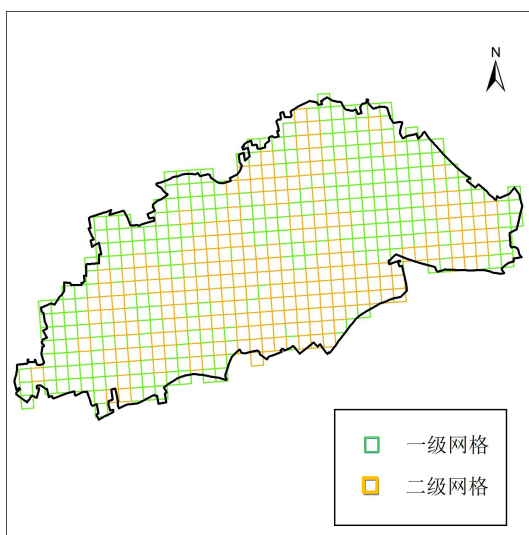
将整个待监测地区按照规则大小（例如1km×1km、3km×3km等）进行划分，对划分好的每个网格添加相应属性值（网格编号、中心经度、中心纬度、监测时间），即一级网格。



图B.1 一级网格划分

B.3.2.2 二级网格选取

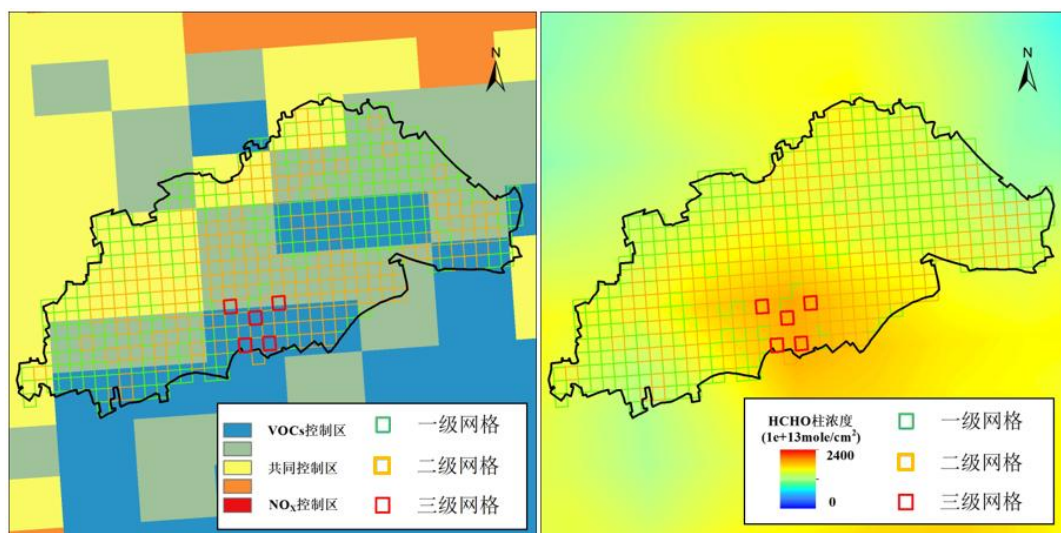
首先将一级网格与土地利用类型数据图层进行叠加，剔除耕地、林地等非人为源排放区域的一级网格，保留商服用地、工矿仓储用地等人为源区域的一级网格，即为二级网格。然后将二级网格与HCHO柱浓度、HCHO/NO₂比值图层叠加，统计每个二级网格的HCHO柱浓度、HCHO/NO₂比值均值；将监测区域范围图层与HCHO柱浓度叠加，计算HCHO平均值；最后对二级网格添加属性值（HCHO柱浓度平均值、HCHO/NO₂比值平均值、监测区域HCHO平均值）。



图B.2 二级网格选取

B.3.2.3 三级网格选取

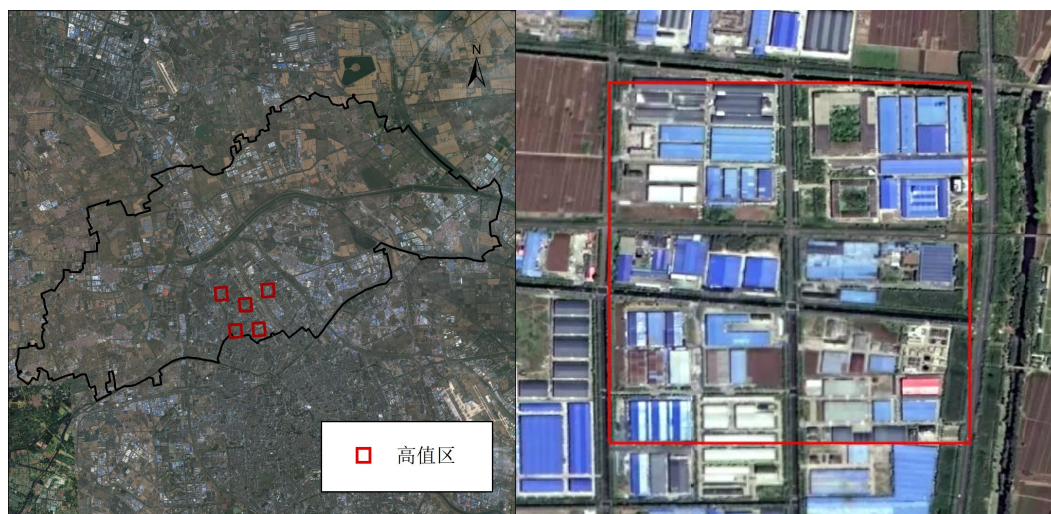
对每个二级网格制作以网格坐标为中心点、半径为5km的缓冲区，并与HCHO浓度叠加，计算缓冲区HCHO浓度均值与标准差之和。选择网格臭氧前体物指示值（HCHO/NO₂比值）小于M、网格HCHO浓度大于缓冲区HCHO浓度均值与标准差之和且网格HCHO浓度大于监测区域HCHO浓度均值的网格作为三级网格。



图B.3 三级网格选取

B.3.3 VOCs高值区选取

在三级网格的基础上，叠加高分辨率卫星影像、企业清单或电子地图等图层，通过目视解译筛选出包含有涉VOCs排放企业的三级网格作为VOCs高值区。



图B.4 VOCs高值区筛选结果及案例网格示意图

附 录 C

(资料性附录)

大气挥发性有机物高值区属性表

表C.1 大气挥发性有机物高值区属性表

序号	省份 ^a	地市 ^a	区县 ^a	网格编号 ^b	经度 ^c	纬度 ^c	监测 时间 ^d	网格 HCHO 浓度 ^e	网格 HCHO/NO ₂ 比值 ^f	监测区域 HCHO 浓度 ^g
1										
2										
3										
...										

^a 高值区对应的省、市、县名称。
^b 网格编号，按照省、市、县、序号的顺序进行编号，如：xx 省_xx 市_xx 县_0001。
^c 中心经度地理坐标、中心纬度地理坐标，用小数度数表示，精确到小数点后六位，如 116.253001、38.079002。
^d 卫星数据监测时间。
^e 网格内对流层 HCHO 柱浓度平均值。
^f 网格内 HCHO/NO₂ 比值平均值。
^g 监测区域 HCHO 浓度均值。