

空气质量数值预报同化卫星资料技术指南（试行）

一、编制目的

为贯彻《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》，推进我国环境空气质量预报技术体系建设，规范和指导面向数值预报同化的卫星资料获取与应用，制定本指南。

本指南由中国环境监测总站组织制定，主要起草单位为中国科学院遥感与数字地球研究所。

二、适用范围

本指南规定了面向空气质量预报同化应用的卫星遥感资料主要内容、获取方法、数据来源、质控要求与输出方式等内容，适用于环境监测部门基于卫星资料进行空气质量预报应用的相关工作。

三、规范性引用文件

本指南内容引用了下列文件中的条款。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本指南。

| | |
|----------------------|------------------|
| GJB 421A-97 | 卫星术语 |
| GJB 2700-96 | 卫星遥感器术语 |
| GB/T 14950-94 | 摄影测量与遥感术语 |
| DZ/T 0143-1994 | 卫星遥感图像产品质量控制规范 |
| GJB4031-2000 | 航天遥感数字图像产品存储条件 |
| GJB3435-98 | 信息交换用图像数据格式规范 |
| ANSI X9.100-181-2007 | 图像交换用 TIFF 格式的规范 |

四、 可用于数值模式同化的卫星资料

基于目前区域空气质量数值模式的观测需要和卫星定量遥感反演的精度水平，建议用于模式同化的卫星资料包括：卫星真彩影像、气溶胶光学厚度、NO₂垂直柱浓度、生物质燃烧火点等几类产品。

(1) 卫星真彩图

1) 监测原理

根据人眼成像习惯，基于卫星在可见光谱段的红（660nm 附近）、绿（550nm 附近）、蓝（470nm 附近）三波段获取的表现反射率图像，合成三波段真彩色图像。

2) 信息内容

以符合人眼视觉习惯方式真实反映大气、地表、水体的表现情况，能够使预报员快捷、直观地获取污染范围、强度以及云、雾等定性信息，同时结合连续时相的真彩影像比较及气象风场等辅助信息，对污染气团的运动轨迹做出判断，为模式预报提供重要参考信息。

3) 数据来源

极轨卫星：为支持大区域范围模式预报，选取具有每日全国覆盖能力的中分辨率卫星数据生成真彩影像，包括 FY-3 A/B 卫星 MERSI、Terra/Aqua 卫星 MODIS、Suomi-NPP 卫星 VIIRS；

静止卫星：同时还可以选取覆盖我国全部或大部分地区的分辨率多光谱静止卫星，如 Himawari-8 卫星的 AHI、COMS 卫星的 GOCI 等；我国新一代 FY4 卫星上的多通道扫描成像辐射计，可提供 1-2km 空间分辨率的假彩色合成影像（红-近红外波段），也具有较高参考价值。

4) 时空分辨率

空间分辨率：0.5~2 公里

时间分辨率：0.5 小时~1 天

5) 文件格式

输入格式：作为栅格文件方式存储，包括 HDF、TIF、IMG 等

输出格式：带有空间地理信息的栅格文件格式，如 GeoTIFF

(2) 气溶胶光学厚度 (Aerosol Optical Depth, AOD)

1) 监测原理

AOD 是整层大气内气溶胶消光系数在垂直方向上的积分，是目前卫星能够获取关于气溶胶含量最主要的信息来源。目前国际上主流的 AOD 反演方法包括暗像元 (Dark Target) 算法和深蓝 (Deep Blue) 算法。二者反演原理均包括两个关键环节：一是基于特定地物 (如浓密植被) 反射率在不同波段的经验关系或事先构建的地表动态反射率库，实现卫星观测信号中气溶胶与地表贡献的分离 (即地气解耦)；二是基于辐射传输模型构建包括 AOD 在内的气溶胶微物理、光学特性与大气层顶表观反射率的对应关系，基于卫星当前观测实现对应的 AOD 反演。

2) 信息内容

AOD 的物理定义为气溶胶消光系数在垂直方向上的积分，尽管是无量纲的光学参数，但可以定量表征大气内气溶胶的多少，是反映污染水平、估算气溶胶辐射强迫等应用的最主要输入；在气溶胶垂直分布较为稳定的情况下，AOD 在一定程度上还能反映近地面颗粒物的含量，因此也被作为近地面 PM₁₀/PM_{2.5} 卫星估算最主要的输入信息。

3) 数据来源

极轨卫星：为支持大区域范围模式预报，选取具有 AOD 反演能力、每日数据覆盖的中分辨率卫星数据，以确保预报模式的日常应用需要。目前可用卫星主要包括 FY-3 A/B 卫星 MERSI、Terra/Aqua 卫星 MODIS、Suomi-NPP 卫星 VIIRS。

静止卫星：选取可覆盖我国全部或大部分地区、且具备 AOD 反演能力的中分辨率多光谱静止卫星数据，如 FY-4 卫星的多通道扫描成像辐射计、Himawari-8 卫星的 AHI、COMS 卫星的 GOCI 等。

4) 时空分辨率

空间分辨率：0.5~2 公里

时间分辨率：0.5 小时~1 天

5) 文件格式

输入格式：作为栅格文件方式存储，包括 HDF、TIF、IMG 等

输出格式：带有空间地理信息的栅格文件格式，如 GeoTIFF

(3) 热异常点

1) 监测原理

根据普朗克定律及维恩位移定律，高温火点等热异常地物在中红外波段发射的能量远高于常温地物，但二者在热红外波段的差异不大，基于中红外和热红外波段辐射强度的差异特征，可从常温地物中提取出潜在火点。进一步通过比较潜在火点与周围常温像元热辐射差异，去除高亮地物、太阳耀斑等虚假信号的影响，从而提取出包含高温热异常信号的火点像元。基于上述原理，利用卫星在中红外(如 3.7~3.9 μm 附近)、热红外(如 11 μm 附近)及可见光-近红外波段的观测数据，结合地表分类信息，可实现秸秆焚烧火点的卫星探测。

2) 信息内容

主要的信息包括热异常点所在像元的位置、卫星过境时间、地表类型、辐射能量及基于与周边环境差异等信息推算出来的信度值。利用这些信息，能够直观获取不同类型生物质燃烧（秸秆焚烧、森林/草原火灾）的空间分布、强度变化等信息，能够为排放清单的动态更新提供关键支持，支持区域空气质量预报的高精度估算。

3) 卫星数据来源

极轨卫星：选取具有热异常点探测能力、每日数据覆盖的中分辨率卫星数据，目前主要包括 FY3 A/B 卫星 MERSI、NOAA 系列卫星的 AVHRR、Terra/Aqua 卫星 MODIS、Suomi-NPP 卫星 VIIRS；其中以 MODIS、VIIRS 的热异常点探测算法应用范围最广，更适合于模式预报应用。

静止卫星：选取可覆盖我国全部或大部分地区、且具备火点探测能力的中分辨率多光谱静止卫星数据，目前主要有 FY-4 卫星的多通道扫描成像辐射计和 Himawari-8 卫星的 AHI。

4) 时空分辨率

空间分辨率：0.5~2 公里

时间分辨率：1 小时~1 天

5) 文件格式

输入格式：作为栅格文件方式存储，包括 HDF、TIF、IMG 等

输出格式：包含热异常点位置等属性信息的文本、表单或数据库文件

(4) NO₂ 柱浓度

1) 监测原理

大气中的 NO₂ 含量与氮氧化物排放量密切相关，因此是卫星定量描述人为排放强度、污染时空变化的主要指标之一。NO₂ 与 O₃、SO₂ 等均为痕量气体，较少的含量使得其贡献在卫星接收到的信号中占比微小。目前国际上主流的反演方法，是充分利用 NO₂ 在可见光波段的特征吸收光谱（指纹信息），基于差分吸收光谱算法（DOAS, Differential Optical Absorption Spectroscopy）实现对地表反射、气溶胶散射等强信号的去除，最终提取整层大气内 NO₂ 的柱浓度信息。

2) 信息内容

目前卫星反演的主要产品为对流层内 NO₂ 的垂直柱浓度，单位通常为 molecules / cm²，即每单位面积上大气柱内的总分子数。由于 NO₂ 较短的生命周期和与人为排放较高的相关性，NO₂ 柱浓度被广泛用于校正或自上而下的反演氮氧化物的排放清单，提供更为丰富、真实的时空变化信息，也是目前可用于预报模式同化的主要产品。

3) 卫星数据来源

极轨卫星：选取具有紫外至可见谱段高光谱分辨率载荷、及每日数据覆盖的卫星数据，目前主要包括 Aura 卫星的 OMI、MetOp 系列卫星的 GOME-2、Suomi-NPP 卫星的 OMPS 等。

静止卫星：应选取覆盖我国或至少中东部地区、具备 NO₂ 反演能力的卫星数据，目前尚无在轨运行的适宜卫星；韩国设计制造的 GEMS（Geostationary Environmental Monitoring Spectrometer）卫星，预计 2017~2018 年发射，可覆盖东亚大部分地区。

4) 时空分辨率

空间分辨率：10~20 公里

时间分辨率：1 小时~1 天

5) 文件格式

输入格式：作为栅格文件方式存储，包括 HDF、TIF、IMG 等

输出格式：带有空间地理信息的栅格文件格式，如 GeoTIFF

五、 卫星资料获取方法

目前上述用于空气质量模式同化的卫星资料通常可通过以下几种方式获取：

1) 卫星数据直收

针对特定卫星直接广播或中转下传的数据，建立对应的数据直接接收系统，实时或准实时的接收卫星观测的原始数据，在本地解码处理后进行遥感定量反演，生成可用于模式同化的高级遥感产品。数据直接接收系统主要包括天线、信号转换、数据解码、遥感反演和数据存档等功能模块。

卫星数据直收方式具有最短的数据获取周期，能够实时或准实时获取用于模式同化的卫星定量反演产品，有效保障观测信息的时效性。考虑到其较高的建设成本及维护的复杂性，建议一般由省级以上环境监测部门建设运行。

2) 远程数据推送

针对地方监测部门应用需求和实际的数值模式条件，由具有高效、全面卫星数据接收能力的第三方机构接收卫星数据并进行定量反演，然后将所需卫星产品通过高速网络准实地传输给应用部门，用以支持后者的空气质量模式预报同化。

远程数据推送也具有较短的获取周期，准实时的遥感产品推送能够多数空气质量预报模式的时效性需要。同时，能够根据实际的业务需要和区域特点定制个性化的推送服务，成本适中，较适合地市一级应用部门的模式同化需要。

3) 网站后期下载

目前国内外多数大气环境遥感卫星的数据产品都可以在其官方网站上免费下载，包括上述四类卫星资料中列举的卫星载荷数据。但由于其官方机构数据处理、存档和网站维护等限制，不同的遥感产品在网站上能够下载通常有一天至十多天的滞后，或数据覆盖区域及总的下载量有限制，难以满足业务空气质量预报的同化需求，但可以作为污染过程后报分析或阶段性区域排放清单的校正与更新。

六、 质控与应用要求

1) 数据产品精度

卫星资料的定量反演精度是影响模式同化效果的重要因素,应在满足数据空间分辨率和覆盖、数据时效性等前提下,尽可能选择同类数据中反演/探测精度最高的产品。部分卫星资料目前国际上主流的反演/探测精度如下:

- 真彩色合成图像: 无定量指标,但不同波段间空间配准误差应小于 0.3~0.5 个像元;影像拉伸后不会显著失真,能增强污染团(灰霾)、烟羽、沙尘与一般云、雾等的区分能力。
- AOD 产品: 卫星 AOD 反演结果与地基 AOD 观测真值的平均相对误差为 $15\% \pm 5\%$;
- 热异常点产品: 热异常点的识别精度为 $90\% \pm 5\%$,且像元空间定位精度小于 0.3~0.5 个像元;
- NO₂ 产品: 卫星 NO₂ 垂直柱浓度与地面整层大气观测真值相比,其反演精度达到 $75\% \pm 5\%$

2) 时空覆盖能力

● 空间覆盖

卫星数据在空间区域和时间范围对模式预报区域的覆盖能力是决定卫星资料价值的另一关键因素。为满足每日空气质量预报模式的应用需求,要求卫星观测幅宽在 2500~3000km 范围,即每天基本能够无缝覆盖我国全部或大部分地区。

● 时间覆盖

由于云污染等因素影响,即使卫星观测每天一次或多次覆盖目标区域,有效的反演产品仍有可能出现较大缺失,对于单日的模式同化是个难以解决的数据限制。另一方面,在使用卫星资料进行长时间尺度(月均、季均、年均等)污染形势分析或排放源清单校正时,须确保卫星在目标区域特定时段内的单日有效观测数足够,这样才能确保观测信息能准确反映该地区真实的污染水平。通常需要单日有效观测总数不少于该研究时段总天数的 50%。