



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 412—2017

卫星遥感监测技术导则 霾

Technical directives for haze monitoring by satellite remote sensing

2017-12-29 发布

2018-05-01 实施

中 国 气 象 局 发 布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 数据	1
4 监测内容	2
5 监测方法	2
6 监测服务产品制作	7
附录 A(规范性附录) 气溶胶参数计算公式	8
附录 B(资料性附录) 霾监测选用的卫星产品参数	9
附录 C(规范性附录) 利用卫星 AOD 产品反演能见度和细颗粒物($PM_{2.5}$)质量浓度方法	12
附录 D(规范性附录) 霾的卫星监测标识码	17
附录 E(规范性附录) 像元面积计算公式	19
附录 F(资料性附录) 卫星遥感霾监测产品处理流程	20
参考文献	21

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国卫星气象与空间天气标准化技术委员会气象遥感应用分技术委员会(SAC/TC 347/SC 2)提出并归口。

本标准起草单位:国家卫星气象中心。

本标准主要起草人:李晓静、张兴赢、高玲、刘旭艳、闫欢欢、王维和、郑伟、张艳、张倩倩、王舒鹏、曹冬杰、陈洁、孙凌。

卫星遥感监测技术导则 霾

1 范围

本标准规定了利用卫星遥感技术监测霾所采用的卫星数据、监测内容、监测方法以及监测服务产品制作的流程。

本标准适用于利用卫星遥感技术监测霾的业务、服务和科学研究等。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

吸收性气溶胶指数 absorbing aerosol index; AAI

在紫外波段,选择两个波长处辐亮度观测计算的表征气溶胶吸收和散射特性差异,及其含量变化的参数,依据附录 A 式(A.1)计算。

2.2

昂斯特伦指数 Angström exponent; AE

在紫外、可见光至近红外波段,选择两个波长气溶胶光学厚度测值计算的体现气溶胶粒子尺度特征的参数,依据附录 A 式(A.2)计算。

2.3

气溶胶层高度 aerosol layer height; ALH

以近地面大气气溶胶消光系数为基准值,当大气气溶胶消光系数随高度减小到近地面基准值的 e^{-1} 时的高度。

3 数据

3.1 数据源

3.1.1 数据源概述

本标准基于卫星产品完成霾的监测信息提取,在卫星参数反演计算和检验过程中引入地基观测数据和数值模式产品辅助完成。数据源的获取能力及质量决定监测信息提取能力。

3.1.2 卫星数据

常见卫星数据产品参见附录 B 表 B.1 和表 B.2。霾监测所需的主要卫星数据包括:

- a) 卫星观测 L1B 级产品中光谱通道反射率和辐亮度;
- b) L2 或 L3 级产品中的气溶胶光学厚度(AOD)、吸收性气溶胶指数(AAI)、气溶胶粒子尺度指数(AE)、火点。

辅助分析用卫星数据有:

- a) L2 级产品中的植被指数(NDVI);
- b) L3 级产品中的土地覆盖类型数据。

气象卫星数据分级和分类标准分别参见 QX/T 158—2012 和 QX/T 327—2016。

3.1.3 辅助数据

辅助地基观测数据包括：

- a) 相对湿度；
- b) 能见度(或者近地面气溶胶消光系数,或者激光雷达观测的气溶胶消光系数廓线)；
- c) 细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度；
- d) 气温、风向、风速等可选择参数；
- e) 数值模式产品和再分析数据获取气象参数场,可取 WRF 模式产品等。

3.2 数据要求

霾监测选用的卫星数据和其他辅助数据应用需满足：

- a) 卫星 L1 级产品数据应使用经过定位、定标预处理后的数据；
- b) 源于卫星反射波段观测的各级别产品不宜使用日出后和日落前 2 h 的数据；
- c) 霾监测选用的卫星产品空间分辨率不宜大于 50 km；
- d) 各类数据观测时间与霾监测时间的时间差以及各类数据之间观测时间差均不宜大于 5 h。

3.3 数据预处理

霾监测所用卫星数据应首先完成以下数据格式转换、图像生成和参数计算预处理步骤：

- a) 针对设定的监测区范围,以等经纬度投影方式完成各类卫星数据的定标计算、空间合成及格点数据存储；
- b) 利用卫星 L1B 级产品,采用可见光红、绿、蓝三通道表观反射率制作自然色合成图像,以 Geo-Tiff 格式存储；
- c) 依据附录 C 方法采用卫星气溶胶产品 AOD 数据反演近地面能见度格点数据和近地面细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度格点数据,规范存储数据文件。

4 监测内容

霾监测内容包括:霾区分布、霾强度、霾中气溶胶类型、霾区覆盖面积。

5 监测方法

5.1 霾区分布

5.1.1 概述

自然色合成图像上人工识别为霾的区域,同时利用色调容差判识方法或反射率阈值判识方法计算机计算识别霾像元,当人工识别与计算机交互识别均判识为霾的像元标记为霾像元,形成霾区分布标识码数据文件。

5.1.2 人工图像识别方法

在自然色合成图像上,没有云、雾遮挡条件下,均匀分布的色调为灰色或灰白色、造成地表特征模糊或不可见的区域人工识别为霾区。

5.1.3 人机交互判识方法

5.1.3.1 色调容差判识方法

针对自然色合成图像上人工识别为霾的区域,采用色调容差判识方法人机交互识别并标记霾像元,有霾像元标记为“7”,无霾像元或云等霾不可辨像元标记为“0”,见表 1。

表 1 霾区分布人机交互判识方法和对应卫星监测标识码

基于自然色合成图像的人机交互判识		霾的卫星监测标识码	
色调容差判识方法 ^{a,b}	反射率阈值判识方法 ^b	霾分布标识码	标识码说明
$(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2 > 3M^2$	/	0	无霾或霾不可辨
$(x-a)^2 + (y-b)^2 + (z-c)^2 \leq 3M^2$	/	7	有霾
/	式(1)	7	有霾
/	式(2)	7	有霾
注:色调容差和反射率阈值方法根据需要选择其一或者同时应用,最终判识结果用于建立监测区霾分布标识码数据文件。			
^a 依据 5.1.2 节人工选择自然色合成图像上霾像元的图像 RGB 通道色调基准值(a,b,c),其他待判识像元的图像 RGB 通道色调值为(x,y,z),设定的色调容差值为 M。色调值取值范围[0,255],M 容差值取值范围(0,30]。 ^b 依据土地覆盖类型和植被指数数据提供的地表信息分区判识。不同下垫面会有不同的色调基准值,不同霾强度可设定不同的色调容差值,然后逐步判识;反射率阈值方法还应区分下垫面类型应用。			

5.1.3.2 反射率阈值判识方法

5.1.3.2.1 地表背景

地表背景上,针对自然色合成图像人工判识为霾的区域,人机交互分析满足式(1)判识条件的像元标识为霾,霾分布标识码记为 7,见表 1。

$$R_{S1R2} \leq R_{S1R2_TH} \text{ 且 } R_{Red} \geq \frac{R_{S1R2}}{2.0} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

R_{S1R2} ——中心波长在 2.13 μm 附近卫星通道表观反射率;

R_{S1R2_TH} —— R_{S1R2} 对应的阈值;

R_{Red} ——中心波长在 0.65 μm 附近卫星通道表观反射率。

式(1)判识参数的参考阈值见表 2。

表 2 霾监测反射率阈值方法参数表

反射率阈值方法	判识参数	参考阈值	阈值范围
式(1)	R_{S1R2_TH}	0.2	0.15~0.25
式(2)	N	8	≥ 8
	$D_{R_{N1R0_TH}}$	0.003	0.002~0.004
	R_{S1R1_TH1}	0.022	0.018~0.025
	R_{S1R1_TH2}	0.05	0.045~0.055
	R_{Blue_TH}	0.12	0.11~0.13
	$D_{R_{Blue}/R_{S1R1_TH}}$	5.0	4.5~5.5
	$D_{R_{S1R2}/R_{S1R1_TH}}$	0.5	0.45~0.55

注:判识参数的阈值可根据卫星通道特性和监测区域地表特性、季节变化等影响条件的差异调整。

5.1.3.2.2 水体背景

水体背景上,依据自然色合成图像显现有霾区且满足式(2)判识条件的像元标识为霾,霾分布标识码记为 7,见表 1。

$$\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [(R_{N1R0})_i - \overline{R_{N1R0}}]^2} \leq D_{R_{N1R0_TH}} \text{ 且 } R_{S1R1_TH1} < R_{S1R1} < R_{S1R1_TH2} \text{ 且 } R_{Blue} \geq R_{Blue_TH} \text{ 且 } \frac{R_{Blue}}{R_{S1R1}} \geq D_{R_{Blue}/R_{S1R1_TH}} \text{ 且 } \frac{R_{S1R2}}{R_{S1R1}} \geq D_{R_{S1R2}/R_{S1R1_TH}} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- N ——判识子区的像元总数;
- i ——判识子区的像元序数,取值为 1~ N ;
- R_{N1R0} ——中心波长在 0.86 μm 附近的卫星通道表观反射率;
- $\overline{R_{N1R0}}$ ——判识子区 R_{N1R0} 的平均值;
- $D_{R_{N1R0_TH}}$ ——判识子区 R_{N1R0} 标准差的阈值;
- R_{S1R1} ——中心波长在 1.24 μm 附近卫星通道表观反射率;
- R_{S1R1_TH1} —— R_{S1R1} 对应的低端阈值;
- R_{S1R1_TH2} —— R_{S1R1} 对应的高端阈值;
- R_{Blue} ——中心波长在 0.47 μm 附近卫星通道表观反射率;
- R_{Blue_TH} —— R_{Blue} 对应的阈值;
- $D_{R_{Blue}/R_{S1R1_TH}}$ —— R_{Blue} 和 R_{S1R1} 比值的阈值;
- R_{S1R2} ——中心波长在 2.13 μm 附近卫星通道表观反射率;
- $D_{R_{S1R2}/R_{S1R1_TH}}$ —— R_{S1R2} 和 R_{S1R1} 比值的阈值。

式(2)判识参数的参考阈值见表 2。

5.2 霾强度分级与卫星监测标识码

5.2.1 概述

霾强度分级根据卫星 AOD 数据进一步反演的近地面能见度和细颗粒物($\text{PM}_{2.5}$)数据设定分级阈值完成,见 5.2.2;5.2.2 霾强度信息和 5.1 霾分布信息融合形成综合的霾空间特征信息,见 5.2.3。

5.2.2 分级方法

根据近地面能见度或近地面细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度阈值将霾的强度分为五级(或六级),霾强度分级判识参数及对应卫星监测标识码详见表3。

表3 霾强度分级判识参数阈值及对应卫星监测标识码

霾强度分级判识参数1 阈值	霾强度分级判识参数2 阈值	霾强度等级	霾的卫星监测标识码	
			霾强度标识码	标识说明
卫星遥感能见度 V km	卫星遥感 PM _{2.5} 质量浓度 M μg/m ³	(在相对湿度小于 80% 条件下)		
-999(无效值)	-999(无效值)	/	0	无霾或霾不可辨
V ≥ 10.0	0 < M ≤ 35	无霾	1	无霾,大气透明度好
5.0 ≤ V < 10.0	35 < M ≤ 75	轻微	2	轻微霾
3.0 ≤ V < 5.0	75 < M ≤ 115	轻度	3	轻度霾
2.0 ≤ V < 3.0	115 < M ≤ 150	中度	4	中度霾
V < 2.0	150 < M ≤ 250	重度	5	重度霾
/	M > 250	严重	6	严重霾

注:霾的强度分级判识参数1“卫星遥感能见度 V”指标依据 QX/T 113—2010;判识参数2“卫星遥感 PM_{2.5} 质量浓度 M”指标依据 HJ 633—2012。上述两参数可任选其一应用。

5.2.3 卫星监测标识码

根据霾分布标识码(二值)数据和霾强度标识码(五级或六级码)数据合成霾的卫星监测标识码(七类码)数据,数据融合流程图见附录 D 的图 D.1,卫星监测标识码及对应图像配色方案见附录 D 的表 D.1。

5.3 霾中气溶胶类型分析

5.3.1 概述

采用卫星产品气溶胶光学厚度(AOD)和气溶胶粒子尺度指数(AE)、吸收性气溶胶指数(AAI)数据分析形成霾的气溶胶类型,火点数据辅助判识生物质燃烧造成的烟尘型气溶胶。

5.3.2 分类方法

5.3.2.1 满足式(3)条件判识为形成霾的主要气溶胶成分是含碳类吸收性气溶胶;若霾区周边有火点存在,则明确为生物质燃烧烟尘型气溶胶。式(3)判识参数阈值参考表4设定。

$$\tau_{0.55} \geq \tau_{0.55_TH} \text{ 且 } E_{(\lambda_1-\lambda_2)} > E_{(\lambda_1-\lambda_2)_TH} \text{ 且 } I_{(\lambda_3-\lambda_4)} > I_{(\lambda_3-\lambda_4)_TH} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- $\tau_{0.55}$ ——卫星反演的 0.55 μm 波长 AOD;
- $\tau_{0.55_TH}$ —— $\tau_{0.55}$ 对应的阈值;
- $E_{(\lambda_1-\lambda_2)}$ ——根据 λ_1 波长和 λ_2 波长通道卫星观测值计算的 AE, λ_1 和 λ_2 常用波长组合有陆上 0.47 μm / 0.65 μm,海上 0.44 μm / 0.86 μm;

$E_{(\lambda_1-\lambda_2)_TH}$ —— $E_{(\lambda_1-\lambda_2)}$ 对应的阈值；

$I_{(\lambda_3-\lambda_4)}$ —— 根据 λ_3 波长和 λ_4 波长通道卫星观测值计算的 AAI, λ_3 和 λ_4 常用波长组合有 0.34 $\mu\text{m}/0.38 \mu\text{m}$, 0.335 $\mu\text{m}/0.38 \mu\text{m}$, 0.331 $\mu\text{m}/0.36 \mu\text{m}$;

$I_{(\lambda_3-\lambda_4)_TH}$ —— $I_{(\lambda_3-\lambda_4)}$ 对应的阈值。

5.3.2.2 满足式(4)条件判识为霾的主要气溶胶成分是无主控气溶胶成分的混合型气溶胶。式(4)符号同式(3),判识参数阈值可参考表 4 设定。

$$\tau_{0.55} \geq \tau_{0.55_TH} \text{ 且 } E_{(\lambda_1-\lambda_2)} > E_{(\lambda_1-\lambda_2)_TH} \text{ 且 } I_{(\lambda_3-\lambda_4)} \leq I_{(\lambda_3-\lambda_4)_TH} \dots\dots\dots(4)$$

表 4 形成霾的气溶胶类型分析方法判识参数表

判识参数	参考阈值	阈值范围
$\tau_{0.55_TH}$	0.4	0.3~0.4
$\tau_{(\lambda_1-\lambda_2)_TH}$	0.8	0.6~0.8
$I_{(\lambda_3-\lambda_4)_TH}$	4.0	3.0~4.0

注 1: λ_1 和 λ_2 波长组合陆上取 0.47 $\mu\text{m}/0.65 \mu\text{m}$, 海上取 0.44 $\mu\text{m}/0.86 \mu\text{m}$; λ_3 和 λ_4 组合取 0.331 $\mu\text{m}/0.36 \mu\text{m}$ 。
注 2: 阈值可根据卫星通道特性和监测区域地表特性、季节变化等影响条件的差异调整。

5.4 霾区面积估算

5.4.1 霾区总面积估算

根据霾的卫星监测标识码文件信息统计标识码标记为 2~6 的霾像元个数,按照附录 E 的式(E.1)~(E.3)计算等经纬度投影单像元面积,依据式(5)估算出霾区覆盖总面积。

$$S_{\text{haze}} = \sum_{i=1}^n \Delta S_i \dots\dots\dots(5)$$

式中:

S_{haze} —— 霾区分布面积;

ΔS_i —— 单像元面积;

i —— 霾区内像元序号;

n —— 霾区的像元总数。

5.4.2 霾区面积分类估算

5.4.2.1 分省霾区面积统计

按照 5.4.1 内容,根据行政区划地理信息和霾的卫星监测标识码数据,统计出特定省份范围内的霾像元,并估算其霾区面积。

5.4.2.2 分强度级别霾区面积统计

按照 5.4.1 内容,根据霾的卫星监测标识码数据,统计指定强度级别的霾像元,并估算其霾区面积。

5.4.2.3 分类标准霾区面积统计

根据需要设定分类标准,按照 5.4.1 节内容估算指定分类标准的霾区面积。

6 监测服务产品制作

6.1 概述

霾监测具体内容和适用方法需依据可获取数据源参数的种类确定,并据此建立监测服务产品制作流程。依据风云卫星数据产品建立的霾监测服务产品制作流程见 6.2,流程图参见附录 F 的图 F.1。

6.2 监测服务产品制作流程

6.2.1 数据预处理

实现 3.3 中霾监测数据预处理内容。

6.2.2 监测内容信息提取

提取步骤为:

- a) 依据 5.1.2 和 5.1.3 的方法人机交互分析,在监测区域内实现逐像元的霾判识和分布标识码标记,建立霾分布标识码文件;
- b) 依据 5.2.2 的方法,在监测区域内完成逐像元霾强度判识和强度标识码标记,建立霾强度分布标识码文件;
- c) 依据 5.2.3 的方法,合成霾分布标识码文件和霾强度分布标识码文件,建立卫星遥感霾监测标识码文件;
- d) 依据 5.3 的方法分析霾中气溶胶类型信息;
- e) 依据 5.4 的方法计算霾区覆盖面积。

6.2.3 专题图制作

在自然色合成图像上叠加霾监测相关信息形成专题图。可依据卫星遥感霾监测标识码文件,采用表 D.1 的配色方案,显示霾区分布和强度信息;还可以叠加卫星监测火点信息、地基能见度或细颗粒物($PM_{2.5}$)质量浓度信息。

6.2.4 监测报告编制

说明卫星遥感霾监测信息,包括卫星观测时间、霾区位置、范围、强度和面积估算、引起霾的气溶胶类型,并附加对应卫星遥感霾监测专题图。

附 录 A
(规范性附录)
气溶胶参数计算公式

A.1 吸收性气溶胶指数 AAI

在紫外波段,选择两个波长辐亮度观测值,依据式(A.1)计算吸收性气溶胶指数参数。

$$AAI = -100 \left[\ln \left(\frac{I_{\lambda_1}^{Meas}}{I_{\lambda_2}^{Meas}} \right) - \ln \left(\frac{I_{\lambda_1}^{Calc}}{I_{\lambda_2}^{Calc}} \right) \right] \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

AAI —— 吸收性气溶胶指数;

$I_{\lambda_1}^{Meas}$ —— 给定较短波长 λ_1 处真实大气在大气层顶的后向散射辐亮度测量值;

$I_{\lambda_2}^{Meas}$ —— 给定较长波长 λ_2 处真实大气在大气层顶的后向散射辐亮度测量值;

$I_{\lambda_1}^{Calc}$ —— 给定较短波长 λ_1 处假设没有气溶胶存在的大气在大气层顶的后向散射辐亮度模拟计算值;

$I_{\lambda_2}^{Calc}$ —— 给定较长波长 λ_2 处假设没有气溶胶存在的大气在大气层顶的后向散射辐亮度模拟计算值。

A.2 气溶胶粒子尺度参数 AE

在紫外、可见光至近红外波段,选择两个波长气溶胶光学厚度测值依据式(A.2)计算气溶胶粒子尺度参数。

$$\alpha = - \frac{\ln(\tau_1/\tau_2)}{\ln(\lambda_1/\lambda_2)} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

α —— 昂斯特伦指数,也称为 Angström 指数,AE;

λ_1 —— 波长 1;

λ_2 —— 波长 2,与 λ_1 间隔一般宜大于 0.2 μm ;

τ_1 —— λ_1 波长处气溶胶光学厚度;

τ_2 —— λ_2 波长处气溶胶光学厚度。

附录 B
(资料性附录)
霾监测选用的卫星产品参数

B.1 霾监测常用星载仪器的 L1 级产品参数信息

表 B.1 给出了霾监测常用星载仪器的 L1 级产品重点参数信息。

表 B.1 霾监测常用星载仪器的 L1 级产品重点参数信息

卫星/仪器	中心波长 μm	光谱带宽 nm	波段	星下点空间分辨率 m
FY-3A、B、C/MERSI-1 FY-3D/MERSI-2	0.470	50	可见光,蓝(Visible, Blue)	250
	0.550	50	可见光,绿(Visible, Green)	250
	0.650	50	可见光,红(Visible, Red)	250
	0.865	50	近红外(Near infrared)	250
	1.24 或 1.03	20	短波红外(Short infrared)	1000
	2.13	50	短波红外(Short infrared)	1000
EOS-TERRA/MODIS EOS-AQUA/MODIS	0.645	50	可见光,红(Visible, Red)	250
	0.858	35	近红外(Near infrared)	250
	0.469	20	可见光,蓝(Visible, Blue)	500
	0.555	20	可见光,绿(Visible, Green)	500
	1.24	20	短波红外(Short infrared)	500
	2.13	50	短波红外(Short infrared)	500
Suomi-Npp/VIIRS	0.488	20	可见光,蓝(Visible, Blue)	750
	0.555	20	可见光,绿(Visible, Green)	750
	0.672	20	可见光,红(Visible, Red)	750
	0.865	39	近红外(Near infrared)	750
	1.24	20	短波红外(Short infrared)	750
	2.25	50	短波红外(Short infrared)	750
FY-4A/AGRI	0.470	40	可见光,蓝(Visible, Blue)	1000
	0.650	200	绿-红-近红外(Visible-Near infrared)	500~1000
	0.825	150	近红外(Near infrared)	1000
	2.25	250	短波红外(Short infrared)	2000~4000
Himawari/AHI	0.455	50	可见光,蓝(Visible, Blue)	1000
	0.510	20	可见光,绿(Visible, Green)	1000
	0.645	30	可见光,红(Visible, Red)	500

表 B.1 霾监测常用星载仪器的 L1 级产品重点参数信息(续)

卫星/仪器	中心波长 μm	光谱带宽 nm	波段	星下点空间分辨率 m
Himawari/AHI	0.860	20	近红外(Near infrared)	1000
	2.26	20	短波红外(Short infrared)	2000
HJ-1A、B/WVC (WIDE View CCD Cameras)	0.475	90	可见光,蓝(Visible, Blue)	30
	0.560	80	可见光,绿(Visible, Green)	30
	0.660	60	可见光,红(Visible, Red)	30
	0.830	140	近红外(Near infrared)	30

注:卫星及星载仪器完整信息参见世界气象组织 WMO 发布信息,网址 <http://www.wmo-sat.info/oscar/space-capabilities>。

B.2 霾监测常用星载仪器的 L2、L3 级产品参数信息

表 B.2 给出了霾监测常用星载仪器的 L2、L3 级重点产品参数信息。

表 B.2 霾监测常用星载仪器的 L2、L3 级重点产品参数信息

星载仪器	产品	物理参数	时间分辨率	空间分辨率	备注
FY-3A、B、C / MERSI-1 FY-3D /MERSI-2	陆上气溶胶产 品 ASL 和海上 气溶胶产品 ASO(L2)	AOD	1 次/日	1 km	www.nsmc.org.cn 发布产品
		AE			
	全球火点监测 产品 GFR(L2)	火点	1 次/日	1 km	
	植被指数产品 NVI(L3)	归一化植被指数 NDVI	1 次/旬	0.05°	
FY-3A、B、C/VIRR	全球火点监测 产品 GFR(L2)	火点	1 次/日	1 km	
EOS-TERRA/MODIS EOS-AQUA/MODIS	MOD04(L2) MYD04(L2)	AOD	1 次/日	3 km 或 10 km	ladsweb.modaps. eosdis.nasa.gov 发布产品
		AE		3 km 或 10 km	
	MOD14(L2) MYD14(L2)	温度异常点/火点	1 次/日	1 km	
	MOD12(L3) MYD12(L3)	土地覆盖类型 Land Cover	96 天	1 km	
	MOD13(L2) MYD13(L2)	植被指数 NDVI/EVI	1 次/日	250 m	

表 B.2 霾监测常用星载仪器的 L2、L3 级重点产品参数信息(续)

星载仪器	产品	物理参数	时间分辨率	空间分辨率	备注
TRANSAT/CAPI	气溶胶参数产品(L2)	AOD; Aerosol column burden	1 次/日	10 km	www.nsmc.org.cn 存档产品
FY-4/AGRI	气溶胶参数产品(L2)	AOD	1 次/时	4 km	www.nsmc.org.cn 发布产品
Himawari/AHI	气溶胶产品(L2)	AOD	1 次/时	2 km	可开发业务产品
		AE		2 km	
Suomi-Npp /VIIRS	气溶胶产品 VIIRSAOT (L2)	AOD	1 次/日	0.25°×0.25° 750 m 或 6 km	ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov 发布产品
	火点 VIIRSAF (L2)	火点 AF (Active Fire)	1 次/日		www.eumetsat.int 发布产品
EOS-OMI/AURA	吸收性气溶胶指数产品(L3)	AAI	1 次/日	0.25°×0.25°	www.temis.nl 发布产品
FY-3A、B/TOU	吸收性气溶胶指数产品 AAI(L3)	AAI	1 次/日	0.5°×0.5°	NSMC 实验业务产品
Metop/GOME-2	吸收性气溶胶指数产品(L2、L3)	AAI	1 次/日	80 km×40 km	www.eumetsat.int 发布产品
Metop/AVHRR/3	火点(L2)	火点	1 次/日	1 km	可开发业务产品
NOAA/AVHRR	火点(L2)	火点	1 次/日	1 km	可开发业务产品
<p>注:上述国内外卫星遥感产品数据可取自官方网站发布产品,也可依据 L1B 数据开发 L2 级产品。业务数据获取关注国家卫星气象中心数据服务网(www.nsmc.org.cn)发布产品和推荐数据发布网址(ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov, www.temis.nl, www.eumetsat.int, earth.esa.int 等),以及风云卫星数据直收站等业务数据获取方式。</p>					

附录 C
(规范性附录)

利用卫星 AOD 产品反演能见度和细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度方法

C.1 卫星 AOD 产品质量检验及质量控制

C.1.1 质量检验

选择卫星气溶胶产品中气溶胶光学厚度参数,以地基观测同类数据为检验源数据,进行数据对比分析以及误差统计量评估。卫星 AOD 产品质量检验适宜选用地基 CE318 太阳光度计或同类地基太阳光度计遥感反演的 AOD 数据作为检验源数据,地基数据质量参考 AERONET 气溶胶监测网产品。检验数据集匹配规则为:空间匹配,卫星数据取地基站点 25 km 半径空间区域内的卫星数据有效像元平均值;时间匹配,匹配的地基检验源数据取卫星过境时间前后半小时的地基观测有效数据平均值。霾天气监测选用的卫星 AOD 产品,应满足表 C.1 中所列质量检验指标要求。

表 C.1 卫星 AOD 产品质量检验指标要求

质量评价参数	质量评价要求
均方根误差 RMSE	小于 0.25
线性相关系数 corr	相关系数大于 70%,corr 和 N 匹配的相关显著性超过 95%

C.1.2 质量控制

通过产品质量检验的卫星 AOD 产品,应用中针对 AOD 数据完成以下质量控制:

- a) AOD 数据剔除大于 4.0 的异常值像元,作为无效值处理;
- b) 针对 AOD 有效值像元,逐像元以其周边 8×8 像元为统计计算区,AOD 像元值与统计区均值的偏差大于 2 倍标准差的像元作为无效值处理。

C.2 近地面消光系数计算

C.2.1 气溶胶层高度 ALH 计算

C.2.1.1 依据激光雷达观测的气溶胶消光系数廓线计算大气气溶胶层高度 ALH

获取地面站网激光雷达观测的气溶胶消光系数廓线,根据定义逐站计算 ALH 的值 H_g 。由离散站点 ALH 数据 H_g 插值为与卫星数据匹配的格点化 ALH 数据 $H_s(x,y)$,插值方法可取克里金插值。

C.2.1.2 依据地面观测站网能见度仪观测的地面消光系数和卫星观测 AOD 计算大气气溶胶层高度 ALH

获取地面站网能见度仪观测的地面气溶胶消光系数,匹配卫星反演 AOD,时间窗口为 1.5 h,空间窗口为 0.05°,依据式(C.1)计算气溶胶层高度。利用这些离散站点的 ALH 数据 H_{g1} 插值为与卫星匹配的格点化的 ALH 数据 $H_{s1}(x,y)$ 。

$$H_{g1} = \frac{\tau_{s-g}}{\beta_g} \dots\dots\dots(C.1)$$

式中：

- H_{g1} ——大气气溶胶层高度(ALH)数据；
- τ_{s-g} ——卫星遥感反演的大气气溶胶光学厚度匹配至站点位置数据；
- β_g ——地面站点观测的地面气溶胶消光系数。

C.2.1.3 依据地面观测站网能见度数据和卫星观测 AOD 计算大气气溶胶层高度 ALH

获取地面站点观测的能见度，匹配卫星观测 AOD，时间窗口为 1.5 h，空间窗口为 0.05°，依据式 (C.2) 计算 ALH。利用这些离散站点的 ALH 数据 H_{g2} 插值为与卫星数据匹配的格点化的 ALH 数据 $H_{s2}(x,y)$ 。

$$H_{g2} = \frac{V_g \times \tau_{s-g}}{3.912} \dots\dots\dots(C.2)$$

式中：

- H_{g2} ——依据地面站点数据计算的大气气溶胶层高度数据；
- V_g ——地面站点观测的能见度；
- τ_{s-g} ——卫星遥感反演的大气气溶胶光学厚度匹配至站点位置数据。

C.2.1.4 依据多源数据计算 ALH

参考文献[13]的计算方法，采用激光雷达，气象模式产品，模式再分析数据中气温、相对湿度、风向和风速等气象参数建立计算 ALH 数据 H_{g3} 的决策树算法，建立与卫星数据匹配的格点化的 ALH 数据 $H_{s3}(x,y)$ 。

C.2.2 近地面消光系数格点化数据计算

依据式(C.3)，用卫星 AOD 的格点数据除以 ALH 的格点化数据，获得地面消光系数的格点数据。

$$\beta_{Ls} = \frac{\tau_s}{H_g} \dots\dots\dots(C.3)$$

式中：

- β_{Ls} ——地面气溶胶消光系数格点数据；
- τ_s ——卫星遥感反演的大气气溶胶光学厚度格点数据；
- H_g ——根据地面站网观测数据推演的大气气溶胶层高度格点化数据，如式(C.1)和式(C.2)中的 H_{g1} 和 H_{g2} 。

C.3 能见度格点数据估算

根据式(C.4)估算地面能见度格点数据。

$$V_{Ls} = \frac{3.912 \times H_s}{\tau_s} \dots\dots\dots(C.4)$$

式中：

- V_{Ls} ——推演的近地面能见度格点数据；
- H_s ——推演的大气气溶胶层高度格点化数据；
- τ_s ——卫星遥感反演的大气气溶胶光学厚度格点数据。

C.4 近地面细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度格点数据反演

C.4.1 逐步订正方法(区域,推荐应用)

C.4.1.1 近地面消光系数计算细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度

由近地面消光系数计算细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度的统计计算步骤如下:

- a) 依据 C.2 内容选择能见度数据计算地面消光系数 β_g , 匹配典型站点细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度观测和相对湿度观测数据, 建立统计回归样本库($M_{g-PM_{2.5}}, \beta_g, f_g$), 时间窗口为 1.5 h, 空间窗口为 0.05°。
- b) 依据样本库数据和式(C.5), 设定基准相对湿度 f_{g0} , 获取统计回归系数 a, b 值。

$$M_{g-PM_{2.5}} = \frac{\beta_g}{G} = \frac{\beta_g}{\alpha \times \left(\frac{1-f_g}{1-f_0}\right)^{-b}} \dots\dots\dots(C.5)$$

式中:

- $M_{g-PM_{2.5}}$ ——地基观测站观测的细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度;
- β_g ——地面能见度推算的地面消光系数 β_g ;
- G ——由近地面消光系数计算细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度所需转换函数 $G = \alpha \times \left(\frac{1-f_g}{1-f_0}\right)^{-b}$;
- f_g ——近地面站点观测相对湿度(湿);
- f_0 ——近地面相对湿度基准值(干), 例如京津冀地区 f_0 取 0.4;
- α ——统计回归系数, 例如京津冀地区 $\alpha = 3.76$;
- b ——统计回归系数, 例如京津冀地区 $b = 0.38$ 。

注:

$$G = \left(\frac{1}{F}\right) \times M_{EE} \times \frac{\beta}{\beta_0} = \left(\frac{M_{EE}}{F}\right) \times \left(\frac{1-f_g}{1-f_0}\right)^{-b} = \alpha \times \left(\frac{1-f_g}{1-f_0}\right)^{-b} \dots\dots\dots(C.6)$$

式中:

- M_{EE} ——干气溶胶粒子的质量消光效率, $M_{EE} = \frac{3 \overline{Q_{ext}}}{4 r_{eff} \rho}$, $\overline{Q_{ext}}$ 为粒子的消光效率, r_{eff} 为有效半径, ρ 为气溶胶的质量密度;
- F ——细粒子比, $G = \left(\frac{M_{PM_{2.5}}}{M_{PM_{10}}}\right)$, $M_{PM_{2.5}}$ 和 $M_{PM_{10}}$ 为细颗粒物(PM_{2.5})和可吸入颗粒物(PM₁₀)质量浓度;
- β ——较高相对湿度 f_g 下的消光系数(湿);
- β_0 ——较低相对湿度 f_0 下的消光系数(干);
- f_g ——较高相对湿度;
- f_0 ——较低相对湿度, f_0 取 0.4。

C.4.1.2 细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度格点数据计算

细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度格点数据计算步骤如下:

- a) 根据 C.2 近地面消光系数计算方法, 获取近地面消光系数格点数据 β_{L_s} 。
- b) 依据式(C.7)计算转换函数 G 的格点化空间分布数据 G_{L_s} 。

$$G_{L_s} = \alpha \times \left(\frac{1-f_{gs}}{1-f_0}\right)^{-b} \dots\dots\dots(C.7)$$

式中:

- G_{L_s} ——由近地面消光系数计算细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度的格点化转换函数空间分布;

- f_{gs} ——依据地基站网观测的相对湿度 f_g 建立的相对湿度格点化数据 f_{gs} (湿);
- f_0 ——近地面相对湿度基准值(干),如京津冀取 0.4;
- $\alpha、b$ —— C.4.1.1 离线计算的统计系数。
- c) 依据式(C.8)近实时计算细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度格点数据 $M_{Ls-PM_{2.5}}$ 。

$$M_{Ls-PM_{2.5}} = \frac{\beta_{Ls}}{G_{Ls}} \dots\dots\dots(C.8)$$

式中:

- $M_{Ls-PM_{2.5}}$ ——依据卫星观测数据计算的格点化的细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度数据;
- β_{Ls} ——近地面消光系数格点化数据;
- G_{Ls} ——由近地面消光系数计算细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度的格点化转换函数空间分布。

C.4.2 完全统计反演方法(区域)

利用典型站点细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度观测,建立卫星观测 AOD 与细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度之间的多元线性回归拟合关系,将温度、风速、行星边界层高度、相对湿度等气象参数全部作为拟合因子,利用交叉验证方法优化系数,从而获得卫星数据反演的近地面细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度数据,见式(C.9);通过插值实现格点化数据分布。

$$M_{Ls-PM_{2.5}} = B + A_1 \times \tau_s + A_2 \times T + A_3 \times q + A_4 \times H + A_5 \times v + \dots \dots\dots(C.9)$$

式中:

- $M_{Ls-PM_{2.5}}$ ——依据卫星观测数据计算的格点化的细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度;
- τ_s ——卫星观测到的 AOD;
- T ——近地面温度;
- q ——相对湿度;
- H ——边界层高度;
- v ——近地面风速;
- $B, A_1, A_2, A_3, A_4, A_5$ ——统计回归系数。

C.4.3 模式反演方法(全球或区域)

基于气象场和排放清单驱动的三维大气化学传输模式可同时获得地面细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度和 AOD,同时卫星观测可反演得到 AOD,基于上述三个参数即可获得卫星反演的地面细颗粒物(PM_{2.5})浓度,其计算公式见式(C.10)。

$$M_{Ls-PM_{2.5}} = \frac{M_{Lm-PM_{2.5}}}{\tau_m} \times \tau_s \dots\dots\dots(C.10)$$

式中:

- $M_{Ls-PM_{2.5}}$ ——依据卫星观测数据计算的格点化的细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度;
- $M_{Lm-PM_{2.5}}$ ——模式数据计算的细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度;
- τ_m ——模式计算的 AOD;
- τ_s ——卫星观测到的 AOD。

注:能见度和细颗粒物(PM_{2.5})格点化的空间分布数据计算方法在研究中不断发展,采用卫星气溶胶观测数据提高空间分布合理性和准确性是算法共同特点,业务应用可以据需要选择适用方法。

C.5 卫星数据反演的能见度和细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度检验

采用地基观测的能见度和细颗粒物(PM_{2.5})质量浓度作为检验源数据,用于检验利用卫星 AOD 数

据反演的能见度和细颗粒物($PM_{2.5}$)质量浓度。检验方法和质量评价参数见 C. 1. 1, 质量评价参数的评价要求根据应用目标要求确定。相关系数 R 不宜小于 70%; 能见度 RMSE 不宜大于 1 km; 细颗粒物 ($PM_{2.5}$) 质量浓度 RMSE 不宜大于 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

附录 D
(规范性附录)
霾的卫星监测标识码

D.1 霾的卫星监测标识码数据融合流程

融合表 1 方法提取的霾分布标识码和表 3 方法提取的霾强度标识码形成霾的卫星监测标识码数据,数据融合方案和处理流程见图 D.1。

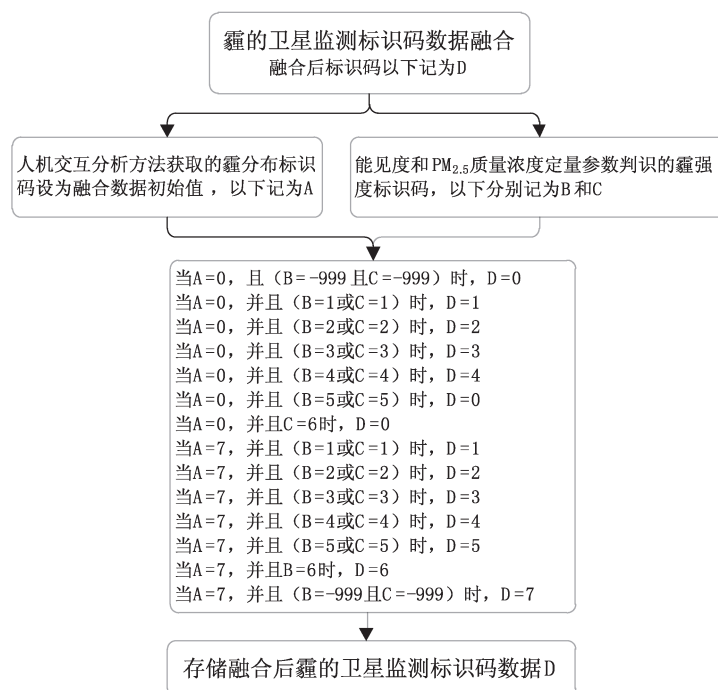


图 D.1 霾的卫星监测标识码数据融合流程

D.2 霾的卫星监测标识码图像配色方案

霾的卫星监测标识码图像配色方案如表 D.1 所示。

表 D.1 霾的卫星监测标识码图像配色方案

霾的卫星监测标识码	图像配色	R	G	B	C	M	Y	K	标识说明
0	白	255	255	255	0	0	0	0	无霾或霾不可辨,强度未辨
1	绿	0	228	0	40	0	100	0	无霾,大气透明度好
2	黄	255	255	0	0	0	100	0	轻微霾
3	橙	255	126	0	0	52	100	0	轻度霾
4	红	255	0	0	0	100	100	0	中度霾
5	紫	153	0	76	10	100	40	30	重度霾
6	褐红	126	0	35	30	100	100	30	严重霾
7	浅黄	255	255	200	6	1	30	0	有霾,强度未辨

注:霾的卫星监测标识码 1~6 的图像配色引用 HJ 633—2012 表 A.1;其他,0 为白色;7 为浅黄色;RGB 为电脑屏幕显示色彩,CMYK 为印刷色彩模式。

附录 E
(规范性附录)
像元面积计算公式

等经纬度投影的像元面积计算公式如下：

$$L_{\text{long}} = R_{\text{long}} \times \left(\frac{2\pi ac}{360} \sqrt{\frac{1}{c^2 + a^2 \times \tan^2 \phi}} \right) \dots\dots\dots(\text{E. 1})$$

$$L_{\text{lat}} = R_{\text{lat}} \times d \dots\dots\dots(\text{E. 2})$$

$$S = L_{\text{long}} \times L_{\text{lat}} \dots\dots\dots(\text{E. 3})$$

式中：

- L_{long} —— 经度方向的长度,单位为千米(km)；
- L_{lat} —— 纬度方向的长度,单位为千米(km)；
- R_{long} —— 经度方向图像分辨率,单位为度($^{\circ}$)；
- R_{lat} —— 纬度方向图像分辨率,单位为度($^{\circ}$)；
- ϕ —— 像元所在纬度,单位为弧度；
- S —— 像元面积,单位为平方千米(km^2)；
- a —— 6378.164,单位为千米(km)；
- c —— 6356.779,单位为千米(km)；
- d —— 111.13,单位为千米每度($\text{km}/(^{\circ})$)。

附录 F
(资料性附录)

卫星遥感霾监测产品处理流程

卫星遥感霾监测产品处理流程见图 F.1,包括霾监测数据预处理、霾监测内容的信息提取、霾监测专题图制作、霾监测报告编制。

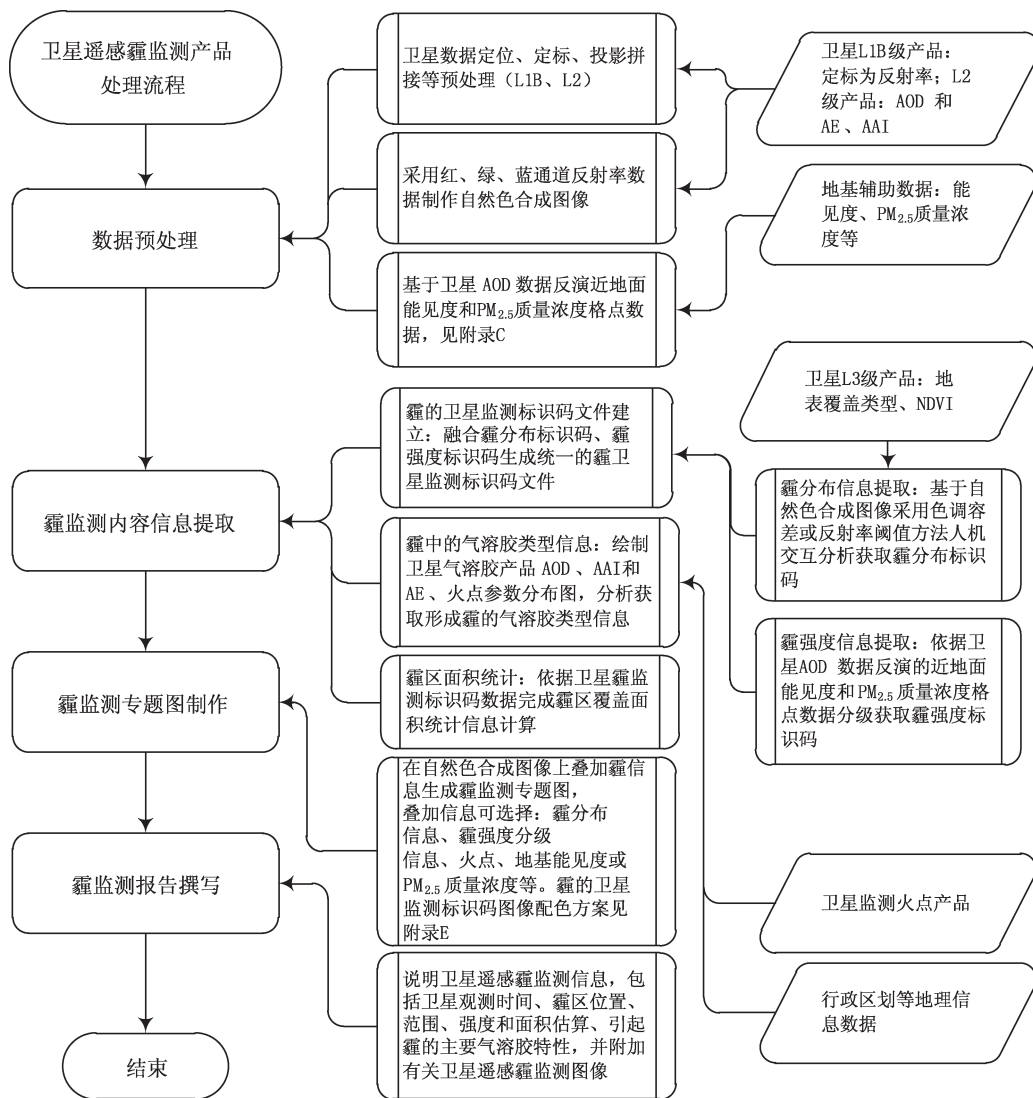


图 F.1 卫星遥感霾监测产品处理流程图

参 考 文 献

- [1] GB 3095—2012 环境空气质量标准
- [2] GB/T 31159—2014 大气气溶胶观测术语
- [3] HJ 633—2012 环境空气质量指数(AQI)技术规定(试行)
- [4] QX/T 47—2007 地面气象观测规范 第3部分:气象能见度观测
- [5] QX/T 50—2007 地面气象观测规范 第6部分:空气温度和湿度观测
- [6] QX/T 113—2010 霾的观测和预报等级
- [7] QX/T 127—2011 气象卫星定量产品质量评价指标和评估报告要求
- [8] QX/T 158—2012 气象卫星数据分级
- [9] QX/T 267—2015 卫星遥感雾监测产品制作技术导则
- [10] QX/T 306—2015 大气气溶胶散射系数观测 积分浊度法
- [11] QX/T 327—2016 气象卫星数据分类与编码规范
- [12] QX/T 344.1—2016 卫星遥感火情监测方法 第1部分:总则
- [13] He Qianshan, Li Chengcai, Geng Fuhai, et al. A parameterization scheme of aerosol vertical distribution for surface-level visibility retrieval from satellite remote sensing[J]. Remote Sensing of Environment, 2016,181:1-13
- [14] Steve Ackerman, Richard Frey, Kathleen Strabala, et al. Discriminating clear-sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document (MOD35)MODIS Cloud[C]. Version 6.1 October 2010. Cooperative Institute for Meteorological Satellite Studies, University of Wisconsin-Madison
-

中华人民共和国
气象行业标准
卫星遥感监测技术导则 霾

QX/T 412—2017

*

气象出版社出版发行
北京市海淀区中关村南大街46号
邮政编码:100081
网址:<http://www.qxcbs.com>
发行部:010-68408042
北京中科印刷有限公司印刷
各地新华书店经销

*

开本:880×1230 1/16 印张:1.75 字数:52.5千字
2018年3月第一版 2018年3月第一次印刷

*

书号:135029-5959 定价:26.00元

如有印装差错 由本社发行部调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68406301