



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 388—2017

静止气象卫星红外波段交叉定标技术规范

Technical specification on infrared inter-calibration for geostationary
meteorological satellites

2017-10-30 发布

2018-03-01 实施

中 国 气 象 局 发 布

目 次

前言	III
引言	V
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	2
5 交叉定标处理流程	2
6 卫星数据要求和准备	3
6.1 目标遥感器数据要求	3
6.2 参考遥感器数据要求	4
6.3 观测文件匹配	4
7 像元匹配方法	4
7.1 时间匹配	4
7.2 空间匹配	4
7.3 观测角度匹配	4
8 数据转换和过滤方法	5
8.1 辐射单位转换	5
8.2 光谱匹配	5
8.3 空间均匀性过滤	5
8.4 异常点剔除	5
9 交叉比对方法	6
9.1 样本累积和质量判断	6
9.2 辐射定标系数计算	6
9.3 原始定标偏差评估	6
10 参考阈值	6
附录 A(资料性附录) 通道辐亮度与辐射亮温转换方法	8
参考文献	10

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(SAC/TC 347)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:徐娜、胡秀清、徐寒列、陈林。

引 言

交叉定标方法是应用最为广泛的在轨替代定标以及定标检验方法之一。该方法利用两卫星星下点轨迹相交(或相临近)区域的数据,以高精度的卫星传感器为参考,通过时间、空间和光谱等匹配筛选得到两星共同观测区域的匹配样本,进而实现对目标遥感器的在轨辐射定标以及原始定标偏差评估,亦可称为星-星交叉定标方法。静止气象卫星红外波段交叉定标则是利用该方法实现对静止气象卫星红外波段的定标技术。

目前,在全球天基交叉定标系统(GSICS/WMO)国际计划的组织下,中国、美国、欧洲、日本、韩国等国家采用标准的星-星交叉定标技术,建立了静止卫星交叉定标业务系统,实现了对各国的静止卫星红外波段观测偏差的在轨评估。GSICS推荐用于红外波段交叉定标的参考遥感器为搭载在低轨卫星上高光谱分辨率的红外探测仪,例如 AQUA/AIRS, METOP/IASI, NPP/CrIS。这类遥感器均配有全光路的黑体定标设备,而且噪声低,定标精度高。利用交叉定标可以实现高精度、高频次的在轨辐射定标和定标检验,同时采用高光谱数据避免了通道式仪器光谱响应函数差异所带来的影响。

为了更好地发挥交叉定标技术在气象卫星辐射定标中的应用,使该项技术更具科学、推广价值,本标准是在现有国际 GSICS 交叉定标技术基础上编制而成。

静止气象卫星红外波段交叉定标技术规范

1 范围

本标准规定了静止气象卫星红外波段交叉定标技术(以下简称交叉定标)的处理流程、卫星数据要求和处理方法,包括像元匹配、数据转换和过滤以及交叉比对方法。

本标准适用于静止卫星通道式光学遥感器红外波段的辐射定标以及原始定标偏差评估,主要适用于波长大于 4 μm 的热红外波段,其他波段可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是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。

QX/T 158—2012 气象卫星数据分级

QX/T 205—2013 中国气象卫星名词术语

3 术语和定义

QX/T 205—2013 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用,以下重复列出了 QX/T 205—2013 中的某些术语和定义。

3.1

静止气象卫星 **geostationary meteorological satellite**

沿地球同步轨道运行的气象卫星。

[QX/T 205—2013,定义 2.7]

3.2

低轨卫星 **low earth orbiting satellite;LEO**

沿低地球轨道运行的卫星。

3.3

目标遥感器 **under-calibrated sensor**

待定标或评估的静止气象卫星光学遥感器。

3.4

参考遥感器 **reference sensor**

作为交叉定标参考基准的低轨卫星光学遥感器。

3.5

辐射亮温 **black body temperature equivalent;TBB**

亮度温度 **brightness temperature**

基于红外通道辐射值,通过普朗克函数计算得到的等效黑体温度。

[QX/T 250—2014,定义 5.3]

3.6

固定目标区域 **fixed region**

赤道附近,固定经纬度范围的矩形区域。

3.7

等效观测视场 **equivalent field of view;EFoV**

与低空间分辨率传感器像元瞬时视场大小相当,用于直接交叉比对的观测区域。

注 1:通常稍大于低空间分辨率传感器瞬时视场,以便涵盖其所有辐射能量。

注 2:通常为高空间分辨率传感器瞬时视场的奇数倍。

3.8

环境场区 **environment area;ENV**

以等效观测视场为中心,3 倍等效观测视场大小的观测区域。

3.9

交叉定标 **inter-calibration**

以精度较高的传感器为参考,利用参考传感器和目标传感器近似同时同地的观测数据,实现对目标传感器的在轨辐射定标以及原始辐射定标偏差评估。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CrIS 美国跨轨扫描红外探测仪(cross-track infrared sounder)

GOES 美国地球静止业务环境卫星(geostationary operational environmental satellite)

Meteosat 欧洲静止气象卫星(meteorological satellite)

MetOp 欧洲极轨气象卫星(polar orbiting meteorological satellite)

NPP 美国极轨合作卫星(national polar-orbiting partnership satellite)

IASI 干涉式高光谱红外大气探测仪(infrared atmospheric sounding interferometer)

5 交叉定标处理流程

交叉定标处理流程分为卫星数据准备、像元匹配、数据转换和过滤以及交叉比对四个部分,包含七个处理步骤(见图 1)。各处理步骤具体描述如下:

- a) 观测文件匹配:针对目标传感器和参考传感器的观测数据,基于文件匹配规则,实现两传感器观测文件的配对,获得时间匹配的观测文件对。
- b) 像元时空匹配:基于配对的观测文件,利用像元匹配规则,实现观测像元时间、空间和观测角度的匹配,获得像元匹配样本。
- c) 数据转换:利用光谱响应函数,针对匹配样本进行数据转换,获得单位统一可直接对比的样本。
- d) 样本过滤:按照样本过滤阈值,对样本进行过滤,获得可用于交叉定标分析的样本。
- e) 样本累积和质量判断:对多天定标分析样本进行累积,并且基于样本相关性和样本数等指标进行质量判断,获得最终可用于交叉比对的样本。
- f) 交叉比对:基于交叉比对样本,根据应用需求进行辐射定标系数计算或者原始定标偏差评估。其中:

- 1) 辐射定标系数计算:利用目标传感器观测计数值和参考传感器观测辐亮度,根据定标方程,进行辐射定标系数计算,获得目标传感器辐射定标系数;
- 2) 原始定标偏差评估:利用两传感器辐亮度观测数据,进行目标传感器原始定标偏差的评估,获得目标传感器定标偏差及其订正系数。

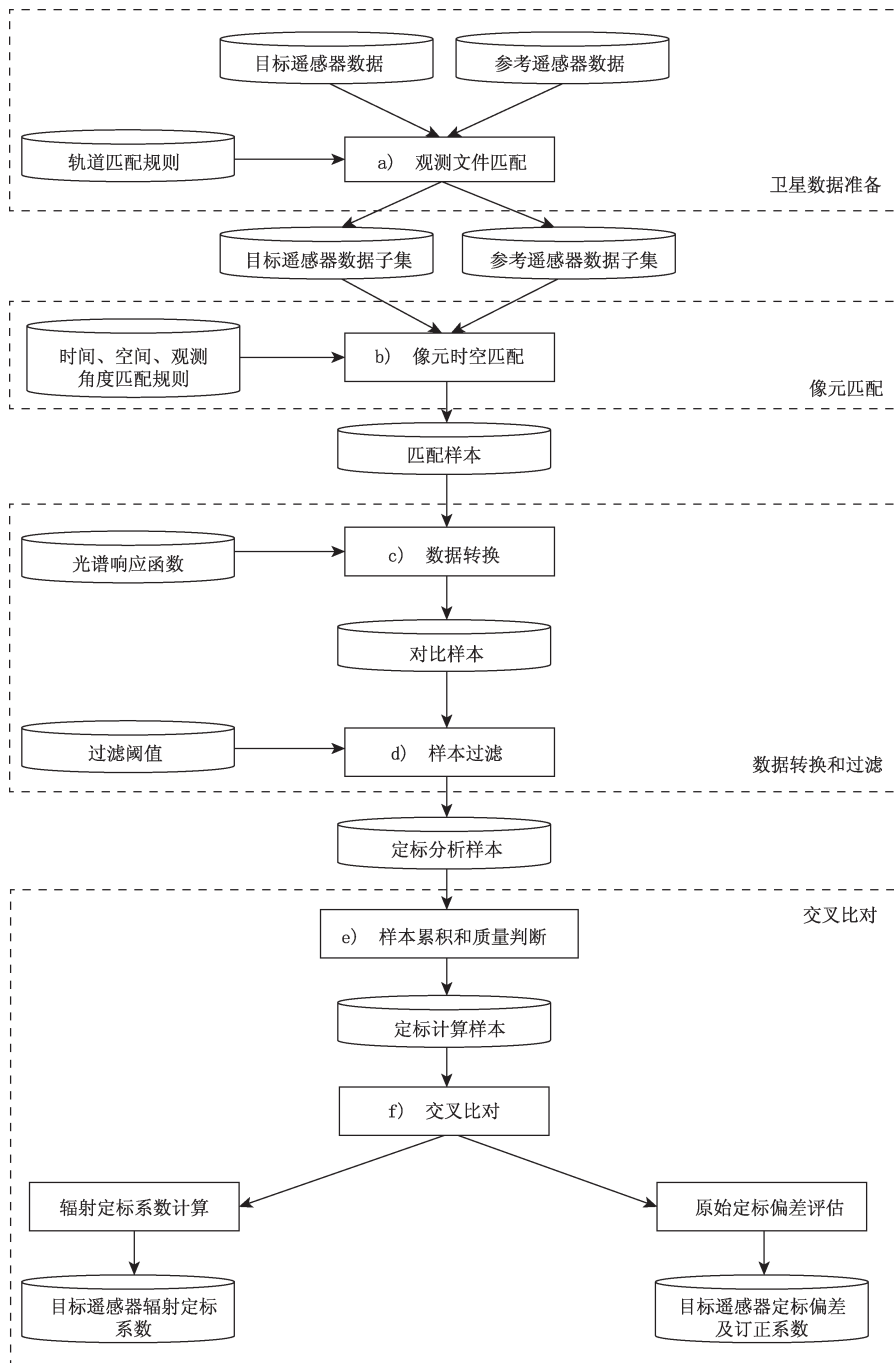


图 1 交叉定标处理流程图

6 卫星数据要求和准备

6.1 目标传感器数据要求

目标传感器观测数据应源自搭载在静止卫星平台上的具备红外探测波段的待定标光学传感器，例如搭载在风云二号、风云四号、GOES、Meteosat 和葵花等系列卫星上的中分辨率光学成像仪。红外波段数据应为经过地理定位、定标处理后的一级(L1)数据(见 QX/T 158—2012 中 3.1)。

6.2 参考传感器数据要求

参考传感器观测数据应源自搭载在低轨卫星平台上具有较高定标精度的红外高光谱探测器,例如 MetOp/IASI、NPP/CrIS。红外波段数据应为经过地理定位、辐射和光谱定标等预处理后的一级数据。

参考传感器观测光谱应该覆盖目标传感器的待定标通道范围,一般光谱分辨率应优于 2 cm^{-1} ,且辐射定标精度应优于 0.2 K 。

6.3 观测文件匹配

选择目标传感器星下点经纬度($\pm \gamma_{\text{Lon}}, \pm \gamma_{\text{Lat}}$)以内矩形区域为固定目标区域,获取参考传感器经过固定目标区域的观测文件。

结合两卫星扫描规律,将目标传感器和参考传感器观测时间最接近的文件进行匹配。

示例:以 FY-2 卫星为例,圆盘扫描模式下卫星扫描到星下点附近需要约 10 min,文件名为开始扫描时间。以 FY-2 观测星下点附近区域的时间(文件命名时间+10 min)为参考,挑选时间最为接近的参考传感器观测文件与之配对。

7 像元匹配方法

7.1 时间匹配

目标和参考传感器的像元观测时间应满足公式(1):

$$|t_{\text{LEO}} - t_{\text{GEO}}| < \delta_{\text{max_sec}} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- t_{LEO} ——参考传感器像元观测时间;
- t_{GEO} ——目标传感器像元观测时间;
- $\delta_{\text{max_sec}}$ ——时间匹配阈值,取值见表 1。

7.2 空间匹配

根据目标传感器全圆盘标称定位文件,针对固定目标区域建立空间位置(经纬度)与圆盘网格位置(行列号)对应关系的查找表。基于查找表,对于固定目标区域以内的参考传感器任意观测像元,根据中心经纬度信息查找得到与之最近的目标传感器像元,实现空间位置的匹配。

针对已实现空间位置匹配的像元对(x_1, y_1)和(x_2, y_2),它们的空间距离应满足公式(2):

$$\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} < d_{\text{max}} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- x ——观测像元中心经度;
- y ——观测像元中心纬度;
- d_{max} ——空间距离匹配阈值,取值见表 1。

7.3 观测角度匹配

目标和参考传感器的像元观测角应满足公式(3):

$$\left| \frac{\cos\theta_{\text{GEO}}}{\cos\theta_{\text{LEO}}} - 1 \right| < \delta_{\text{max_zen}} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- θ_{GEO} ——目标传感器像元观测天顶角;

θ_{LEO} ——参考遥感器像元观测天顶角；
 δ_{max_zen} ——观测角度匹配阈值，取值见表 1。

8 数据转换和过滤方法

8.1 辐射单位转换

交叉比对的辐射单位是毫瓦每平方米球面度波数($mW/(m^2 \cdot sr \cdot cm^{-1})$)。对于定标后为亮温的 L1 数据，需通过普朗克函数转换成辐亮度，转换方法参见附录 A。

8.2 光谱匹配

基于参考遥感器观测数据，按照公式(4)计算目标遥感器的通道参考辐亮度：

$$L_{GEO}^* = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} L_{LEO}(\lambda) \cdot \varphi(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda) d\lambda} \dots\dots\dots(4)$$

式中：

L_{GEO}^* ——目标遥感器通道参考辐亮度；
 L_{LEO} ——参考遥感器光谱辐亮度；
 φ ——目标遥感器待定标通道的光谱响应函数；
 λ_1, λ_2 ——目标遥感器光谱响应范围上限和下限，一般为峰值光谱响应 1% 所对应的波长。

8.3 空间均匀性过滤

基于对环境场区和等效观测视场均匀性的双重检测，获得均匀情景下的观测结果。环境场区均匀性应满足公式(5)：

$$D_{ENV}/E_{ENV} < \delta_{max_RSD} \dots\dots\dots(5)$$

式中：

D_{ENV} ——环境场区内所有目标遥感器观测像元辐亮度标准偏差；
 E_{ENV} ——环境场区内所有目标遥感器观测像元辐亮度平均值；
 δ_{max_RSD} ——空间均匀性阈值，取值见表 1。

等效观测视场的均匀性应满足公式(6)：

$$|E_{EFoV} - E_{ENV}| < k \cdot D_{ENV} \dots\dots\dots(6)$$

式中：

E_{EFoV} ——等效观测视场内目标遥感器观测像元的辐亮度平均值；
 k ——均匀性置信度阈值，取值见表 1。

8.4 异常点剔除

根据通道辐亮度的有效物理范围，剔除异常观测样本。辐亮度值一般应大于 $0 mW/(m^2 \cdot sr \cdot cm^{-1})$ 且小于 $200 mW/(m^2 \cdot sr \cdot cm^{-1})$ 。

9 交叉比对方法

9.1 样本累积和质量判断

观测样本累积周期一般不超过 7 天,样本数大于 100,且样本之间线性相关系数大于 0.98。

9.2 辐射定标系数计算

按照公式(7),利用最小二乘拟合计算目标遥感器新的辐射定标系数:

$$L^*(C) = a_2C^2 + a_1C + a_0 \quad \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- L^* ——目标遥感器通道参考辐亮度,见公式(4);
- C ——目标遥感器的观测计数值,即等效观测视场平均计数值;
- a_2 ——目标遥感器红外辐射响应非线性修正系数;
- a_1 ——目标遥感器交叉定标斜率系数;
- a_0 ——目标遥感器交叉定标截距系数。

公式(7)得到的是目标遥感器的辐射定标系数。对于基于亮温的定标,需先根据辐射定标系数计算每个计数值对应的辐亮度然后将其转换为亮温,进而建立计数值与亮温对应关系的定标表,转换方法参见附录 A。非线性修正系数 a_2 ,通常为静态参数基于发射前数据获得。对于无法提供修正系数的目标遥感器,也可在公式(7)拟合过程中同步获得。

9.3 原始定标偏差评估

按照公式(8)计算目标遥感器的原始定标偏差:

$$\sigma = L - L^* \quad \dots\dots\dots(8)$$

式中:

- σ ——目标遥感器原始定标辐亮度偏差;
- L ——基于原始定标获得的目标遥感器等效观测视场通道辐亮度;
- L^* ——目标遥感器通道参考辐亮度,见公式(4)。

原始定标偏差订正系数由下式计算:

$$L^*(L) = q_2L^2 + q_1L + q_0 \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

- q_2 ——目标遥感器原始定标辐亮度偏差订正非线性系数;
- q_1 ——目标遥感器原始定标辐亮度偏差订正斜率系数;
- q_0 ——目标遥感器原始定标辐亮度偏差订正截距系数。

10 参考阈值

交叉匹配和样本过滤采用的参考阈值取值范围见表 1。

表 1 交叉匹配和样本过滤参考阈值

阈值参数	γ_{Lon}	γ_{Lat}	δ_{max_sec}	δ_{max_zen}	δ_{max_RSD}	k	d_{max}
参考阈值	$\leq 35^\circ$	$\leq 35^\circ$	≤ 600 s	≤ 0.01	≤ 0.01	水汽吸收通道:1 窗区通道:2	≤ 0.5 倍目标遥感 器观测像元星下 点分辨率

附录 A
(资料性附录)
通道辐亮度与辐射亮温转换方法

A.1 通道辐亮度计算公式

任意亮温处,中分辨率光学遥感器通道辐亮度可以用下式精确计算:

$$L_{\Delta\nu}^*(T_b) = \frac{\int_{\Delta\nu} L_B(T_b, \nu) \cdot \varphi(\nu) d\nu}{\int_{\Delta\nu} \varphi(\nu) d\nu} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

- L^* ——通道辐亮度,单位毫瓦每平方米球面度波数($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$);
- $\Delta\nu$ ——通道光谱范围,单位波数(cm^{-1});
- T_b ——辐射亮温,单位开尔文(K);
- ν ——单色光波长(波数),单位波数(cm^{-1});
- $L_B(T_b, \nu)$ ——任意给定温度和波长处的黑体辐亮度,单位毫瓦每平方米球面度波数($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$);
- φ ——热红外通道的光谱响应函数。

A.2 通道辐亮度与辐射亮温转换方法

A.2.1 概述

辐射亮温 T_b 和通道辐亮度 L^* 间可采用查找表和参数化两种方法进行转换。

A.2.2 查找表方法

基于光谱响应函数,根据公式(A.1)精确计算特定通道任意指定亮温处的通道辐亮度,建立 $T_b \rightarrow L^*$ 查找表。在足够小的温度间隔内,通道辐亮度与亮温之间可以通过线性插值计算得到。

A.2.3 参数化方法

根据普朗克黑体辐射计算公式,通道辐亮度计算公式(A.1)可以简化为:

$$L^* = \frac{C_1 \nu_c^3}{\exp[C_2 \nu_c / (A \cdot T_b + B)] - 1} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

- L^* ——通道辐亮度,单位毫瓦每平方米球面度波数($\text{mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1})$);
- C_1 ——辐射常数,取值 $1.19104 \times 10^{-5} \text{ mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot (\text{cm}^{-1})^4)$;
- ν_c ——通道中心波数,单位波数(cm^{-1});
- C_2 ——辐射常数,取值 $1.43877 \text{ K} \cdot (\text{cm}^{-1})^{-1}$;
- A ——参数化系数;
- T_b ——辐射亮温,单位开尔文(K);
- B ——参数化系数。

根据公式(A.2),辐射亮温计算公式为:

$$T_b = [C_2 v_c / \ln(\frac{C_1 v_c^3}{L^*} + 1) - B] / A \quad \dots\dots\dots (A. 3)$$

式(A. 2)和式(A. 3)中 v_c , A 和 B 均为与遥感器通道光谱响应相关的参数。

参 考 文 献

- [1] GB/T 17050—1997 热辐射术语
 - [2] QX/T 158—2012 气象卫星数据分级
 - [3] QX/T 206—2013 卫星低光谱分辨率红外仪器性能指标计算方法
 - [4] QX/T 250—2014 气象卫星产品术语
 - [5] QX/T 327—2016 气象卫星数据分类与编码规范 第四部分:气象卫星数据分类与编码方法
 - [6] 陈渭民. 卫星气象学[M]. 北京:气象出版社, 2003
 - [7] EUMETSAT. 2012 ATBD for EUMETSAT Pre-Operational GSICS Inter-Calibration of Meteosat-IASI, EUM/MET/TEN/11/0268[Z], 2012
-

中华人民共和国
气象行业标准
静止气象卫星红外波段交叉定标技术规范

QX/T 388—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
北京中新伟业印刷有限公司印刷
各地新华书店经销

*

开本:880×1230 1/16 印张:1.25 字数:37.5千字
2018年1月第一版 2018年1月第一次印刷

*

书号:135029-5934 定价:18.00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