



中华人民共和国气象行业标准

QX/T 545—2020

风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描 辐射计在轨星上红外辐射定标方法

Calibration method for in-orbit infrared radiometry of visible and infrared
radiometer of FY series polar orbiting meteorological satellite

2020-04-14 发布

2020-07-01 实施

中 国 气 象 局 发 布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 技术流程	1
4 数据准备	1
5 数据质量检验	2
6 斜坡校准处理	3
7 红外通道定标计算	3
附录 A(资料性附录) 风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计通道参数	6
附录 B(规范性附录) 风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计红外通道在轨星上辐射定标 技术流程	7
附录 C(资料性附录) 风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计红外通道在轨星上辐射定标 原理	8

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卫星数据分技术委员会(SAC/TC 347/SC 1)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:张里阳、郑照军。

引 言

可见光红外扫描辐射计(VIRR)是风云系列极轨气象卫星携带的光学遥感仪器之一,拥有覆盖可见光、近红外、短波红外、中波红外和长波红外波谱范围($0.43\ \mu\text{m}\sim 12.5\ \mu\text{m}$)的10个探测波段(参见附录A),星下点空间分辨率为1.1 km。在轨星上红外辐射定标处理实现的功能就是对扫描辐射计的零级数据进行质量检验和红外(中波红外、长波红外)辐射定标计算,是资料处理、应用研究和产品开发的基础。

本标准根据遥感仪器技术特点,基于VIRR红外辐射在轨定标算法制订业务化技术方法,其主要设计原则是根据数据预处理系统的业务应用要求,标准化数据处理节点,每一步均制订相应的操作规程,使预处理红外定标结果具有良好的准确性、稳定性和实效性,并且整体处理流程清晰明确,有利于用户理解和使用。

风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计在 轨星上红外辐射定标方法

1 范围

本标准规定了风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计在轨星上红外辐射定标方法。

本标准适用于风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计数据预处理一级产品生成流程中的红外辐射定标。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

可见光红外扫描辐射计 **visible and infrared radiometer; VIRR**

探测云参数、植被指数、射出长波辐射、云层、植被、积雪、海冰、气溶胶、地面反照率,监测多种自然灾害和生态环境的仪器。

注:搭载在极轨气象卫星风云一号气象卫星和风云三号气象卫星(前三颗)上。

2.2

发射前定标 **pre-launch calibration**

卫星发射前遥感器在实验室或外场进行的定标。

2.3

在轨定标 **in-orbit calibration**

卫星发射后开展的遥感器定标,包括星上定标和各种替代定标。

2.4

斜坡校准 **ramp calibration**

电定标

遥感器每个通道的斜坡计数值和测量电压之间关系的校准。

2.5

铂丝电阻温度计 **platinum resistance thermometer; PRT**

嵌入在星上参考黑体中,用于测量黑体温度的设备。

3 技术流程

见附录 B。

4 数据准备

4.1 0级数据源

输入数据采用风云一号气象卫星(FY-1)和风云三号气象卫星(FY-3)VIRR 0级数据格式。

用于预处理的扫描辐射计 0 级数据应大于 15 条扫描线。

4.2 发射前定标

应提供如下参数：

- a) PRT 温度转换系数和权重系数；
- b) 红外通道冷空辐射值；
- c) 红外通道中心波数和带宽订正系数；
- d) 红外通道辐射非线性订正系数。

红外通道发射前定标原理参见附录 C 的 C.1。

5 数据质量检验

5.1 扫描线筛选

满足定标要求的扫描线筛选规则如下：

- a) 前后两帧时间差的实际值与理论值(六分之一秒)相差不超过 5 ms；
- b) 前后两帧的帧序号连续；
- c) 帧同步码正确。

5.2 定标数据提取

星上定标数据提取规则如下：

- a) 每 5 条连续的扫描线为 1 个定标周期，定标系数每个定标周期计算 1 次；
- b) 从 1 个定标周期中可提取 30 个参考黑体观测计数值(C_{BB})和 50 个冷空间观测计数值(C_S)；
- c) 两个铂丝电阻温度计计数值(C_{T1} 和 C_{T2})从 3 个连续的定标周期中提取，由本定标周期和前后各 1 个定标周期组成，每个铂丝温度计各有 30 个测值。

5.3 定标数据检验

定标数据计数值 C (包括 C_{BB} 、 C_S 、 C_{T1} 和 C_{T2}) 应按照以下步骤检验：

- a) 粗筛选：

$$C_{\min} \leq C \leq C_{\max} \quad \dots\dots\dots(1)$$

式中：

- C_{\min} ——计数值下限；
- C ——定标数据计数值；
- C_{\max} ——计数值上限。

- b) 精筛选：

$$|\bar{C} - 2 \cdot std| \leq C \leq |\bar{C} + 2 \cdot std| \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\bar{C} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$std = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_i - \bar{C})^2} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中：

- \bar{C} ——定标数据计数值算术平均值；
- std ——计数值标准差；

- C ——定标数据计数值；
- n ——粗筛选后样本数量；
- C_i ——定标数据第 i 个样本的计数值。
- c) 取平均值:当精筛选后的合格数据不少于总数的 25%时,平均后得到 \bar{C}_{BB} 、 \bar{C}_S 、 \bar{C}_{T1} 和 \bar{C}_{T2} 。

6 斜坡校准处理

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \dots\dots\dots(5)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad \dots\dots\dots(6)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i y_i - \bar{x} \bar{y})}{\sum_{i=1}^N (x_i^2 - \bar{x}^2)} \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$R_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i y_i - \bar{x} \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (x_i^2 - \bar{x}^2) \sum_{i=1}^N (y_i^2 - \bar{y}^2)}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$F = \frac{(N-2)R_{xy}^2}{1-R_{xy}^2} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

- \bar{x} ——扫描线计数平均值；
- N ——样本数量；
- x_i ——扫描线第 i 个样本计数值；
- \bar{y} ——斜坡数据计数平均值；
- y_i ——斜坡数据第 i 个样本计数值；
- a ——斜率；
- b ——截距；
- R_{xy} ——相关系数；
- F ——线性度检验值。

7 红外通道定标计算

7.1 计算星上参考黑体温度

$$T_{BB} = W_1 T_1 + W_2 T_2 \quad \dots\dots\dots(11)$$

$$T_1 = c_{10} + c_{11} \bar{C}_{T1} + c_{12} \bar{C}_{T1}^2 \quad \dots\dots\dots(12)$$

$$T_2 = c_{20} + c_{21} \bar{C}_{T2} + c_{22} \bar{C}_{T2}^2 \quad \dots\dots\dots(13)$$

式中:

- T_{BB} ——星上参考黑体温度；
- W₁ ——第一个 PRT 的权重系数,发射前定标时给出；
- T₁ ——第一个 PRT 的温度；

- W_2 —— 第二个 PRT 的权重系数,发射前定标时给出;
- T_2 —— 第二个 PRT 的温度;
- c_{1i} —— 第一个 PRT 的温度转换系数,发射前定标时给出, $i=0,1,2$;
- \bar{C}_{T1} —— 第一个 PRT 的平均计数值,取值见 5.3;
- c_{2i} —— 第二个 PRT 的温度转换系数,发射前定标时给出, $i=0,1,2$;
- \bar{C}_{T2} —— 第二个 PRT 的平均计数值,取值见 5.3。

7.2 计算星上参考黑体光谱辐亮度

$$R_{BB} = \frac{C_1 \nu_c^3}{\frac{C_2 \nu_c}{e^{T_{BB}^*} - 1}} \dots\dots\dots(14)$$

$$T_{BB}^* = A + BT_{BB} \dots\dots\dots(15)$$

式中:

- R_{BB} —— 星上参考黑体红外通道光谱辐亮度;
- C_1 —— 辐射常数, $C_1 = 1.1910427 \times 10^{-5} \text{ mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-4})$;
- ν_c —— 红外通道中心波数,发射前定标时给出;
- C_2 —— 辐射常数, $C_2 = 1.4387752 \text{ cm} \cdot \text{K}$;
- T_{BB}^* —— “有效”黑体温度;
- A —— 红外通道带宽订正系数,发射前定标时给出;
- B —— 红外通道带宽订正系数,发射前定标时给出;
- T_{BB} —— 星上参考黑体温度,计算公式见式(11)。

7.3 线性定标

$$R_{LIN} = GC_E + I \dots\dots\dots(16)$$

$$G = \frac{R_{BB} - R_S}{\bar{C}_{BB} - \bar{C}_S} \dots\dots\dots(17)$$

$$I = R_{BB} - G\bar{C}_{BB} \dots\dots\dots(18)$$

式中:

- R_{LIN} —— 红外通道线性定标光谱辐亮度;
- G —— 增益;
- C_E —— 对地观测计数值,从 0 级数据中读取;
- I —— 截距;
- R_{BB} —— 星上参考黑体红外通道光谱辐亮度,计算公式见式(14);
- R_S —— 红外通道冷空辐射值,发射前定标时给出;
- \bar{C}_{BB} —— 星上参考黑体观测计数平均值,取值见 5.3;
- \bar{C}_S —— 冷空观测计数平均值,取值见 5.3。

7.4 非线性定标

$$R_E = R_{LIN} + R_{COR} \dots\dots\dots(19)$$

$$R_{COR} = b_0 + b_1 R_{LIN} + b_2 R_{LIN}^2 \dots\dots\dots(20)$$

式中:

- R_E —— 红外通道对地观测光谱辐亮度;
- R_{LIN} —— 红外通道线性定标光谱辐亮度,计算公式见式(16);
- R_{COR} —— 红外通道非线性辐射订正值;

b_i ——红外通道辐射非线性订正系数,发射前定标时给出, $i=0,1,2$ 。

7.5 计算对地观测像元黑体温度

$$T_E = \frac{T_E^* - A}{B} \dots\dots\dots(21)$$

$$T_E^* = \frac{C_2 \nu_c}{\ln(1 + \frac{C_1 \nu_c^3}{R_E})} \dots\dots\dots(22)$$

式中:

T_E ——对地观测像元黑体温度;

T_E^* ——对地观测像元“有效”黑体温度;

A ——红外通道带宽订正系数,发射前定标时给出;

B ——红外通道带宽订正系数,发射前定标时给出;

C_2 ——辐射常数,取值见 7.2;

ν_c ——红外通道中心波数,发射前定标时给出;

C_1 ——辐射常数,取值见 7.2;

R_E ——红外通道对地观测光谱辐亮度,计算公式见式(19)。

红外通道在轨定标原理参见附录 C 的 C.2。

附 录 A
(资料性附录)

风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计通道参数

FY-1 和 FY-3 系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计通道参数见表 A.1 和表 A.2。

表 A.1 FY-1 系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计通道参数

通道	波段	波长 μm	星下点分辨率 m
1	可见光(Visible)	0.58~0.68	1100
2	近红外(Near infrared)	0.84~0.89	1100
3	中波红外(Middle wave infrared)	3.55~3.95	1100
4	长波红外(Long wave infrared)	10.3~11.3	1100
5	长波红外(Long wave infrared)	11.5~12.5	1100
6	短波红外(Short wave infrared)	1.58~1.64	1100
7	可见光(Visible)	0.43~0.48	1100
8	可见光(Visible)	0.48~0.53	1100
9	可见光(Visible)	0.53~0.58	1100
10	近红外(Near infrared)	0.900~0.985	1100

表 A.2 FY-3 系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计通道参数

通道	波段	波长 μm	星下点分辨率 m
1	可见光(Visible)	0.58~0.68	1100
2	近红外(Near infrared)	0.84~0.89	1100
3	中波红外(Middle wave infrared)	3.55~3.95	1100
4	长波红外(Long wave infrared)	10.3~11.3	1100
5	长波红外(Long wave infrared)	11.5~12.5	1100
6	短波红外(Short wave infrared)	1.58~1.64	1100
7	可见光(Visible)	0.43~0.48	1100
8	可见光(Visible)	0.48~0.53	1100
9	可见光(Visible)	0.53~0.58	1100
10	短波红外(Short wave infrared)	1.325~1.395	1100

附录 B
(规范性附录)

风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计红外通道在轨星上辐射定标技术流程

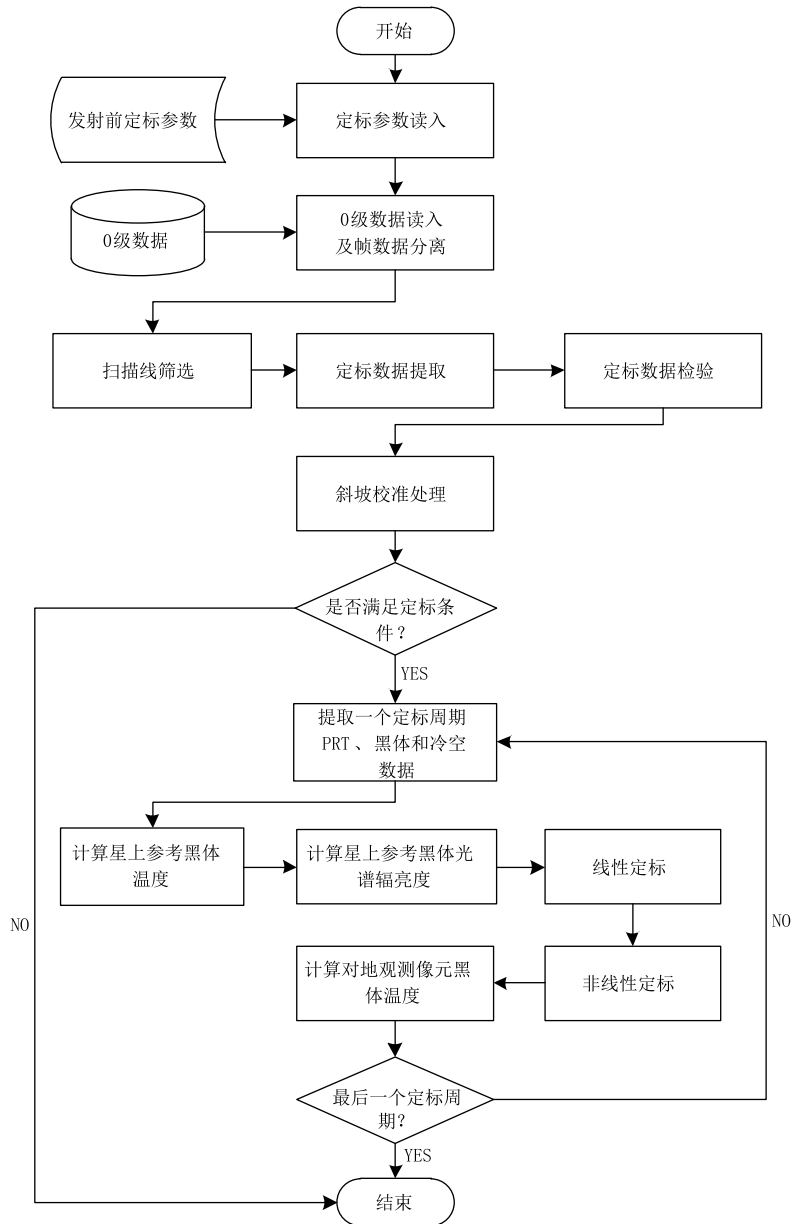


图 B.1 风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计红外通道在轨星上辐射定标技术流程

附 录 C

(资料性附录)

风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计红外通道在轨星上辐射定标原理

C.1 发射前定标

红外通道的发射前定标在热红外真空罐中进行,以模拟太空中的真实环境。主要目的是检验 VIRR 红外通道工作是否正常,检测系统探测灵敏度等性能是否达到规定指标,确定红外通道的放大倍数,设定通道探测动态范围。

VIRR 红外定标利用深冷黑体作为空间零辐射基准,标准面源黑体为目标辐射基准,系统输出信号值与面源黑体辐亮度成固定的函数关系,改变面源黑体温度(辐射发射量),系统输出对应的计数信号,得到这一函数关系。同时通过测得扫描辐射计内参考黑体信号和测温传感器输出的电压,建立测温电压计数值与参考黑体等效黑体温度之间的另一函数关系,把面源黑体标准引渡到内参考黑体上,入轨后若系统信号衰减时,根据测温电压下对应信号计数值变化而重新给出参考黑体等效黑体温度,实现飞行中辐射校准。

在进行 VIRR 辐射定标时,辐射计进行恒温控制,用面源黑体模拟地球的辐射,用深冷黑体模拟冷空间的辐射基准。当辐射计工作时,通过扫描镜依次接收深冷黑体(冷空间)、面源黑体(地球目标)、辐射计内参考黑体的辐射,并同步采集标准面源黑体、内参考黑体的温度数据。通过对采集数据处理,获得定标结果。定标误差有面源黑体比辐射率误差、测温不确定度误差、面源黑体表面非均一性误差、系统噪声、量化误差以及定标非线性误差,综合结果等效定标温度误差(270 K 时)应小于 1 K。

C.2 在轨定标

卫星发射以后,由于传感器性能的变化,需要进行在轨定标。在每一个扫描线周期,VIRR 各通道传感器观测三种不同类型的目标:冷空间(10 个测值)、地球(2048 个测值)和内部黑体(6 个测值),可以用于定标计算。

内部黑体温度 T_{BB} 由两个嵌入其中的 PRT 测量得到,VIRR 各通道接收到来自内部黑体的辐射值 R_{BB} 由 T_{BB} 和光谱响应函数(发射前推导出带宽订正系数)计算得到,冷空间辐射值 R_S 由发射前定标试验确定。这两个辐射值连同冷空间观测计数值 C_S 和黑体观测计数值 C_{BB} 是辐射值—计数值关系曲线中的两个点(C_{BB}, R_{BB})和(C_S, R_S),连接这两个点的直线提供了辐射值与计数值的线性函数关系。将地球观测计数值代入到此线性方程中,可计算出红外通道线性定标光谱辐亮度 R_{LIN} 值。发射前的测量试验表明实际的辐射值—计数值关系曲线是二次性的,因此 R_{LIN} 应输入到一个二次项方程(发射前测量得到)中,得到非线性辐射订正值 R_{COR} 。红外通道对地观测光谱辐亮度 R_E 值(其对应的对地观测计数值为 C_E)是通过将 R_{COR} 和 R_{LIN} 两者相加得到。对地观测像元“有效”黑体温度 T_E^* 便可以利用 R_E 通过 Planck 定律逆变换计算出来,最后经过光谱通道带宽订正计算,即得到对地观测像元黑体温度 T_E 。

中华人民共和国
气象行业标准
风云系列极轨气象卫星可见光红外扫描辐射计在轨星上红外辐射定标方法
QX/T 545—2020

*

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

*

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:1 字数:30千字
2020年5月第1版 2020年5月第1次印刷

*

书号:135029-6136 定价:15.00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