

谷松岩, 吴荣华, 游然. FY-3A/MWHS 冷空测值受月球影响分析及修正. 应用气象学报, 2015, 26(4): 442-450.
doi:10.11898/1001-7313.20150406

FY-3A/MWHS 冷空测值受月球影响分析及修正

谷松岩 吴荣华* 游然

(中国气象局中国遥感卫星辐射测量和定标重点开放实验室 国家卫星气象中心, 北京 100081)

摘 要

为解决月球对风云三号卫星微波湿度计在轨实时辐射定标的影响问题, 该文根据风云三号卫星微波湿度计在轨实时观测数据分析, 通过多项式拟合分析技术, 建立修正模型, 消除月球影响, 得到合理的辐射定标结果。风云三号卫星微波湿度计在轨实测数据分析表明: 月球对风云三号卫星微波湿度计在轨辐射定标结果影响最严重时一天内可干扰 4~5 条轨道, 每条轨道有近 100 个扫描周期受到污染。月球影响致使冷空定标观测数据跳升 1000 个计数值, 如果不进行污染滤除会造成对地观测亮温下降约 20 K, 导致辐射资料无法同化进入数值天气预报模式。通过与同类载荷的交叉比对分析, 修正月球影响后, 风云三号卫星微波湿度计在轨实时辐射定标结果精度与在轨测试结果相当。

关键词: 微波湿度计; 辐射定标; 月球影响; 修正模型

引 言

风云三号卫星微波湿度计具有全天候获取全球大气水汽垂直分布信息能力, 可以获取与台风、暴雨等强对流天气现象密切相关的云雨大气参数, 提升我国极轨气象卫星灾害性天气监测预警能力。美国和欧洲在各自的极轨环境业务卫星上装载了同类微波大气探测器, 这些遥感数据在数值天气预报和气候变化研究中发挥了重要作用^[1-2]。

风云三号卫星微波湿度计在轨以与轨道垂直方式进行扫描观测(简称交轨扫描, crosstrack scanning), 通过对冷空和内部黑体两个辐射参考点的观测, 实现两点定标。在 2.667 s 的扫描周期内获取 98 个对地观测数据, 3 组内部黑体观测数据和 3 组冷空观测数据^[3-7]。

风云三号卫星微波湿度计在轨辐射定标过程包括计算定标系数和对地观测数据的辐射定标处理两个步骤。理想情况下, 在轨定标系数应该非常稳定,

天气系统微波辐射特征信息蕴含在对地观测数据中, 通过稳定的定标系数转换得到天线亮温, 并进一步通过天线订正等得到目标亮温。

正常情况下, 冷空和热源定标观测数据的随机脉动反映的是仪器灵敏度特征, 当脉动量超过质控阈值(3 倍标准差), 一般认为数据异常, 不参与定标系数计算。为了保证定标系数的稳定, 对每条扫描线进行定标数据的质检和控制, 同时还以 50 个扫描线为 1 个质检周期进行扫描线间定标数据一致性的质检和控制。最后以 7 条线为 1 个定标周期通过三角平滑算法确定每条扫描线的平均定标基础数据, 计算定标系数^[8]。一般随机孤立的异常数据通过业务的质检和控制, 会被滤除。

受风云三号卫星微波湿度计在轨观测模式制约, 在特定时间段月球会进入到其冷空观域, 污染冷空观测数据, 影响微波湿度计在轨辐射定标结果。美国业务环境卫星上装载的同类载荷, 也都受到月球影响, 因各卫星平台轨道特征及具体冷空观测模式不同, 月球对定标的影响情况也略有差别^[9]。

2014-12-30 收到, 2015-03-31 收到再改稿。

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(41475030)

* 通信作者, email: wurh@cma.gov.cn

月球进入微波湿度计冷空观域后,影响在轨辐射定标结果,会造成观测场与背景场亮温标准差异异常升高,影响大气参数反演精度和辐射数据同化应用质量。美国和欧洲的极轨卫星地面数据处理业务软件系统都在数据预处理软件中对月球影响进行相应修正。美国在早期的业务数据预处理软件系统中只对受到影响的数据进行标识,不建议用户定量应用;2000年12月他们根据英国气象局提供的修正算法在其预处理软件系统中增加了月球影响修正功能,一定程度上改善了因月球进入冷空观域造成的全球观测场与背景场亮温标准差异异常,保证了大气探测辐射数据同化中数据的使用效率和同化效果。之后欧美新一代同类载荷均沿用同一月球影响的修正策略^[10-12]。

风云三号卫星微波湿度计在轨运行后同样遇到月球影响,本文针对风云三号卫星微波湿度计特征,分析月球对风云三号卫星微波湿度计冷空定标观测的影响情况,建立订正模型,有效抑制月球对微波湿度计在轨辐射定标的影响,确保风云三号微波湿度计在定量反演及数值预报同化应用中数据的应用效

率及效果^[13-16]。

1 月球对风云三号卫星微波湿度计定标观测影响

风云三号 A 星在轨运行期间,月球影响造成微波湿度计大气参数反演精度下降,辐射亮温资料同化应用失败。实际在轨数据分析可以揭示月球影响程度和影响持续时间以及在轨冷空观测数据的时变特征。以 2010 年为例,风云三号微波湿度计每天绕地球完成 14 条轨道观测,全年约 5110 条轨道中共有 109 条轨道受到月球影响,其中,9 月影响频次最高达到 42 条轨道,7 月为 11 条轨道,而 7 月 4 日 5 条轨道受到月球影响。月球影响期间,微波湿度计对地观测通道亮温数据异常,严重影响反演和同化应用。

图 1 是微波湿度计中心频点位于 183.31 ± 1 GHz 通道冷空和黑体观测数据受月球影响的对比图。其中,图 1a 和图 1b 是 2008 年 11 月 22 日以 23:57(世界时,下同)为起始时刻,风云三号 A 星绕地

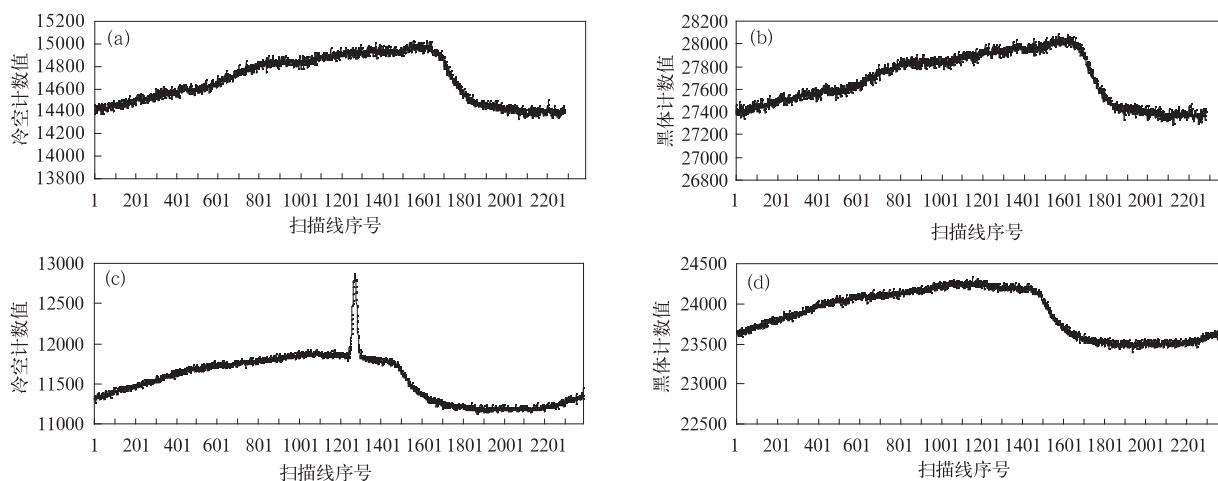


图 1 月球对微波湿度计冷空观测影响实际数据对比 (a)正常情况下冷空观测数据,(b)正常情况下黑体观测数据,(c)受到月球影响的冷空观测数据,(d)与图 1c 对应的黑体观测数据

Fig. 1 Impact on space view from moon-glint (a)space view,(b)black body view,
(c)space view contaminated by moon-glint,(d)black body view matching with Fig. 1c

球一圈微波湿度计 183.31 ± 1 GHz 通道冷空和黑体观测计数的轨道变化曲线。此时月球没有产生影响,冷空和黑体观测计数值数据二者表现出相同的变化趋势,可以得到正常的辐射定标线;而 2010 年 7 月 4 日以 00:42 为起始时刻的一轨数据,图 1c 和

图 1d 同样是风云三号 A 星绕地球一圈微波湿度计冷空和黑体观测计数值,冷空观测数据却出现了最大近 1000 个计数值的异常升高,而此时黑体观测数据并未跳变,根据月球轨道计算结果,此时月球正位于微波湿度计冷空观域。受月球影响,冷空观测数

据严重偏离正常值,引起定标异常,定标系数跳变。此次月球影响事件持续了近100个扫描周期,其间冷空数据发生不同程度异常。

微波湿度计 183.31±1 GHz 通道冷空观测计数值噪声标准差为 28.2 个计数值,数据质检控制阈值为 85。图 2 说明了月球逐渐进入冷空观域过程中,冷空计数值、差值、质量标识和平均值的变化情况。冷空计数值逐渐升高过程中,相邻扫描线间计数值差值的变化出现波动(图 2 中三角标记线),业务质检和控制算法能检出大部分异常数据(图 2 中质检标识为 500 的数据点),但在月球事件的起始、结束以及中间发展阶段,仍有些异常数据不能被检

出,在图 2 个例中,约有近 20 个异常数据未被检出。检出的异常数据,业务算法只对随机孤立的异常数据有自适应纠正能力,连续的异常数据,得不到具有代表性的冷空观测平均值,所以图 2 中冷空计数平均值曲线在月球影响区间,平均值计算失败,未得到有效结果。进而业务系统会读取静态参考定标系数,参考定标系数是根据发射前地面真空定标试验分析得到,依据参考定标系数对上述异常扫描周期进行辐射定标处理,结果会产生很大误差,影响大气参数反演和同化应用。因此,需要具体针对月球影响进行严格的数据质检和控制,采用特殊算法进行数据处理。

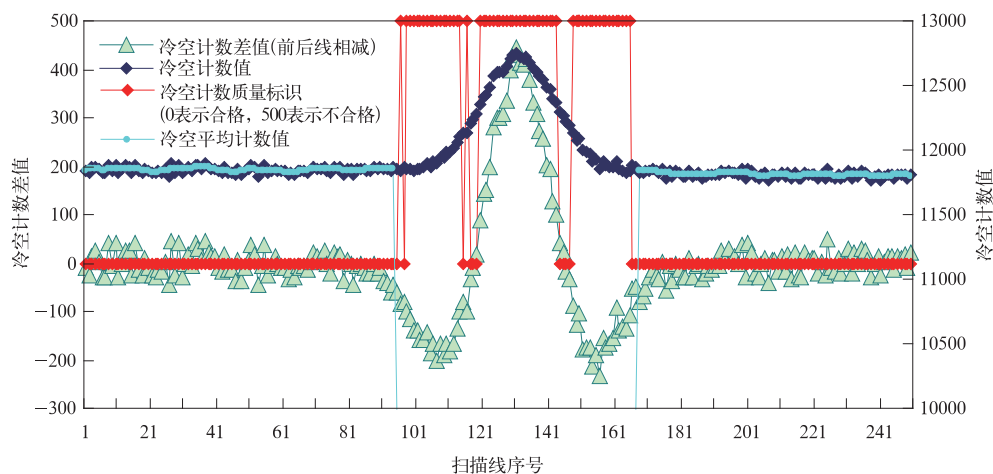


图 2 月球影响过程中扫描线间冷空观测数据变化情况

Fig. 2 The change of space view data between scan-lines during a moon-glint

风云三号微波湿度计在轨仪器工作稳定性通过接收机增益监测,接收机温度和仪器老化是引起增益变化的主要因素。为了保证在轨接收机增益的稳

定性,微波湿度计设计有在轨自动增益调整功能,用来补偿仪器增益的变化,保证增益的长期稳定。图 3 是 2008 年 7 月 22 日微波湿度计无月球影响条件

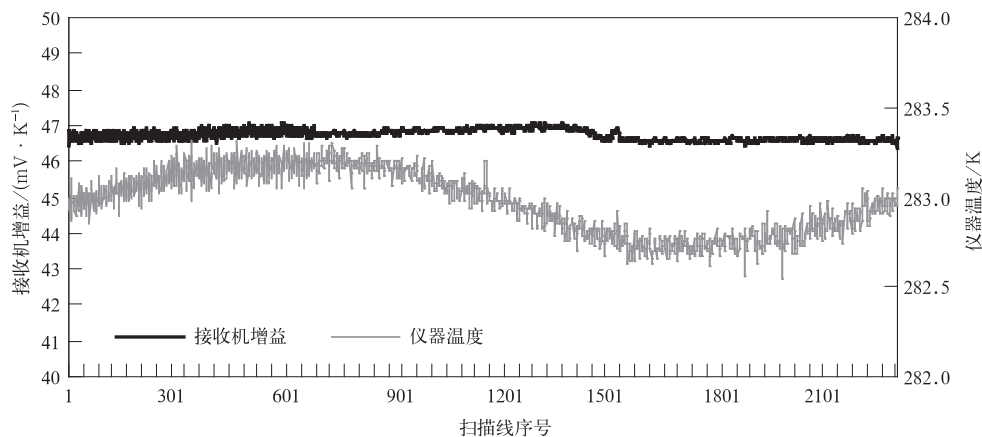


图 3 接收机增益和仪器温度变化特性

Fig. 3 The basic data distribution during an orbit observation

下,在轨正常运行一圈过程中,接收机增益随温度的变化情况。可以看到,期间在轨被动温控的微波湿度计接收机温度有 2.0 K 的缓慢规律性变化;期间增益变化稳定,平均值为 46.73 个计数值/K,标准差为 0.14 个计数值/K。仪器工作状态的稳定为建立月球影响滤除模型奠定了基础。

风云三号 A 星微波湿度计各通道冷空观测数据的轨道分布具有独特形式,轨道间分布特征具有很好的重复性。图 4 是微波湿度计通道 183 ± 1 GHz 冷空观测数据多轨分布,可以看到,冷空观测数据轨道间分布一致。

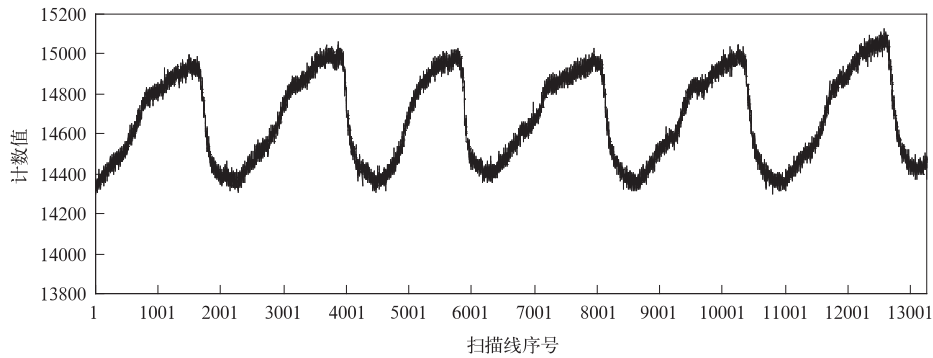


图 4 2008 年 7 月 22 日微波湿度计 183 ± 1 GHz 通道冷空观测数据连续多轨分布
Fig. 4 The distribution of space view data for FY-3A/MWHS 183.31 ± 1 GHz channel over orbits on 22 Jul 2008

2 月球影响微波湿度计辐射定标机理分析

冷空背景的微波辐射是风云三号卫星微波湿度计在轨辐射定标的冷端参考点。图 5a 是风云三号卫星微波湿度计扫描观测模式示意图。微波湿度计在垂直于卫星前进方向的平面内逆时针交轨扫描,热源黑体观测值中心点定义为 0° ,冷空观测 3 个点分别为 106.1° , 107.1° 和 108.1° 。月球在特定的轨道位置会进入微波湿度计冷空观域,影响微波湿度计的在轨定标。月球直径为 3474.8 km,地月平均

距离为 384400 km,月球对风云三号卫星的视张角约为 0.5° (图 5b)。微波湿度计瞬时视场角为 1.1° ,在微波湿度计仪器坐标系下当月球天顶角为 72.9° 、月球方位角为 90° 时,月球进入了冷空视场,甚至进入微波湿度计主波束。

微波湿度计在轨辐射定标过程中一般认为宇宙背景温度为 2.73 K,在微波湿度计 150~183 GHz 的频率范围内,月球亮温一般为 $170 \sim 200$ K^[9],因此,对于波束宽度为 1.1° 的微波湿度计而言,冷空观域内出现月球时,会产生明显变化,这种影响甚至持续 100 个扫描周期。

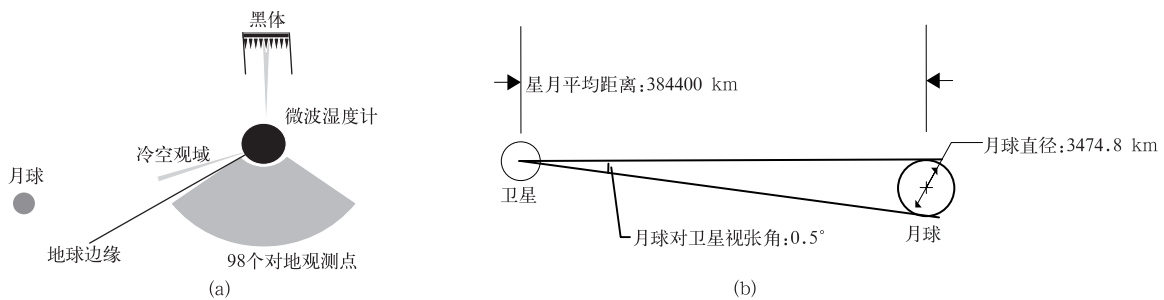


图 5 风云三号卫星微波湿度计受月球影响示意图

(a)月球进入微波湿度计冷空观域示意图,(b)月球对卫星视张角

Fig. 5 Sketch map of FY-3/MWHS affected by the moon (a)Scanning sketch map of FY-3/MWHS when the moon in space area,(b)moon solid angle to FY-3 satellite center

月球进入微波湿度计冷空观域后,使微波湿度计观测到的冷空计数值升高,影响最大的情形是月球位于微波湿度计天线主波束中心,如果假定月球亮温平均为 185 K,此时微波湿度计冷空测值可能达到的平均亮温简算约为 $T_b = (1.1 - 0.5) / 1.1 \times 2.73 + 0.5 / 1.1 \times 185 = 85.6$ K,远高于正常情况下的 2.73 K。冷空观测数据受到影响后,会导致定标结果异常。

风云三号 A 星微波湿度计在轨首先计算线性定标系数,然后进行非线性亮温订正^[6-7]。线性定标系数计算公式为

$$R = aC_c + b, \quad (1)$$

式(1)中, R 为对地观测亮温, a, b 为线性定标系数, C_c 为对地观测计数值。

$$\begin{aligned} a &= (R_w - R_c) / (\bar{C}_w - \bar{C}_c), \\ b &= (R_c \bar{C}_w - R_w \bar{C}_c) / (\bar{C}_w - \bar{C}_c). \end{aligned} \quad (2)$$

式(2)中, \bar{C}_w, \bar{C}_c 分别为热源和冷空定标观测计数值的平均值; R_w, R_c 为热源和冷空对应的辐射量,热源通过埋嵌在黑体中的铂电阻测量物理温度,冷空一般认定为 2.73 K 并附加与天线方向图和仪器安装位置相关的修正量,经普朗克函数计算得到相应的等效辐射量 $R_c = R_{c0}$ ^[6-7]。线性定标过程涉及到的 4 个基础参数中,除冷空温度外,其他 3 个参数包括热源温度、热源观测计数值和冷空观测计数值,都是在

轨实测值。没有月球影响时,冷空温度和观测计数值匹配,受影响后,冷空实际辐射为 $R_c = R_{c0} + R_{\text{moon}}$ (R_{moon} 为月球影响造成的附加辐射量),如果仍按照 $R_c = R_{c0}$,会导致 R_c 和 C_c 二者失配。

图 6 显示了月球对定标影响的机理,正常定标线为 2.73 K 的冷空参考点 A 和热源参考点 C(在轨平均状态下为 282 K)的连线;冷空受到月球影响后观测计数值升高,如果冷空仍按照 2.73 K 来进行辐射定标,冷空参考点相当于移到 A' , A' 与 C 两点确定的定标线斜率相对于直线 AC 增加了,这种情况甚至能导致对地观测结果产生超过 20 K 的亮温负偏差(如图 6 所示),因此,必须对受到月球影响的冷空观测数据进行订正。月球影响修正有两个思路,其一是根据月球轨道预报结果判断月球的影响程度,结合月球微波辐射模型直接估算影响后的冷空目标温度,得到新的冷空参考点 B,也就是令 A' 回到 B 点位置;另外的修正思路是估算没有月球影响时冷空应该有的观测计数值,尽量使 A' 与 A 重合。两个思路均使影响后的定标线($A'C$)尽量与正常定标线(AC)重合,确保微波湿度计遥感数据的定量应用。能否将 A' 推到直线 AC 上,取决于微波湿度计在轨冷空观测数据的变化是否有稳定的规律。

如果月球微波辐射特性已知,可以同时得到干净的冷空观测数据和月球影响时的冷空观测数据,以及热源定标观测数据,可用于在轨实时非线性定标,提高在轨辐射定标精度。

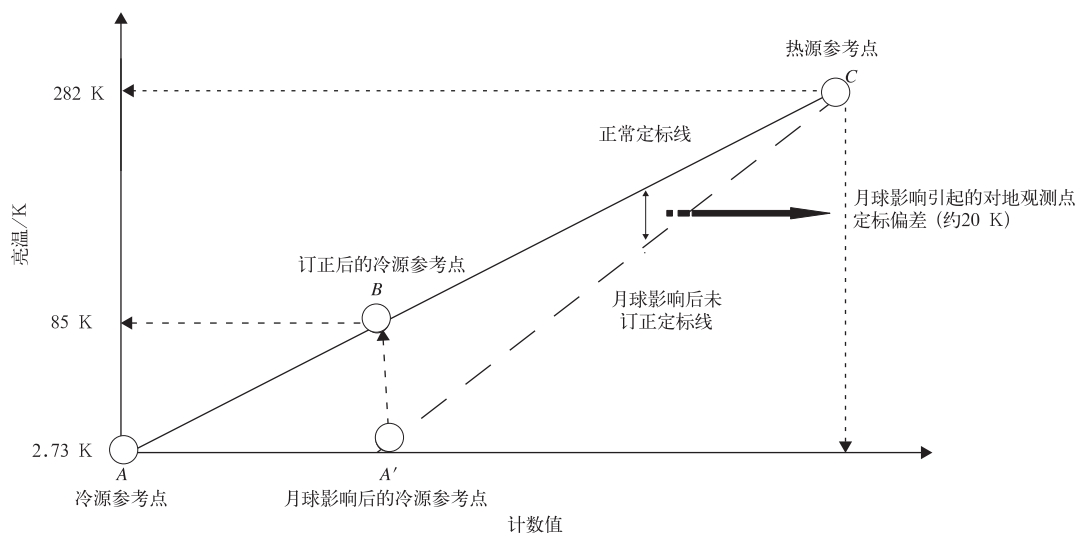


图 6 月球影响微波湿度计定标示意图

Fig. 6 Sketch map of how the moon affecting on the FY-3A/MWHS space view

3 月球对冷空观测影响的修正

3.1 月球影响修正方法

月球影响修正目的是抑制月球对辐射定标结果的影响,保持定标系数的正确、稳定和一致。月球对微波湿度计冷空造成影响时,如果热源观测数据正常,可以根据冷热源观测数据差,或直接根据定标系数判断数据异常,采取滤除措施。但在轨业务运行中情况比较复杂,有时月球影响同时伴随太阳以及其他恒星的影响,而热源也经常有异常干扰,使冷热源观测数据或定标系数异常的原因变得复杂,且无法分离不同的影响因素,因此,一般月球影响的判识和滤除采用常规业务数据质控与卫星轨道预报相结合的方法,判识月球是否影响到冷空观测,并进行滤除处理。

根据轨道预报可以得到月球移入和移出微波湿度计冷空观域的时间,可以确定月球影响微波湿度计的具体扫描周期。在建立微波湿度计月球影响数据修正模型时,首先需要分析仪器特性和冷空观测数据的轨道分布特征建立模型,然后通过多项式拟合得到拟合曲线,外推受到影响扫描线的冷空观测数据。由图1可以看到,微波湿度计冷空观测数据每个波峰两侧观测数据随扫描线的变化不完全对称,数据的下降比上升快,为此,采用分段拟合刻画冷空观测数据的轨道分布。多项式拟合过程中,首先根据轨道预报结果判断月球进入冷空观域的扫描线,滤除所有受到影响扫描线的冷空观测数据,根据未受到影响数据进行多项式拟合:

$$C_c = a_0 + \sum_{n=1}^N a_n \times l^n \quad (3)$$

式(3)中, C_c 为冷空观测计数值, l 为扫描线序号, a_n 为多项式拟合系数, N 为多项式的最高阶数,根据最小残差原理确定。分段拟合后得到拟合方程,外推冷空观测数据。

图7是从与图1相同的轨道中截取受到月球影响的120条扫描线数据月球并未影响到星下点对地观测数据;但由于月球对冷空观测数据的影响,改变了定标系数,使影响滤除前后星下点对地观测亮温值不同,受到月球影响后星下点亮温(图中灰色数据点)下降,背离了原始对地观测计数值的变化趋势。

图7c是月球影响修正前后冷空观测数据的变化情况,多项式拟合修正有效滤除了月球对冷空观测数据的影响。修正冷空观测数据后重新进行定标处理,得到图7a中黑色曲线,可以看到订正月球影响后,星下点对地观测亮温得到修正,变化趋势与对地观测原始计数值变化趋势一致。由图7a结果看,月球影响甚至接近100个扫描周期。从冷空观测数据中滤除月球影响,保证资料的定量应用。

3.2 月球影响修正效果

冷空数据平滑处理过程中,会丢失定标数据的随机噪声,辐射定标处理过程不进行对地观测数据的平滑处理,因此,地气系统微波辐射特性细节仍保留在对地观测数据中。对冷空数据进行影响订正处理,尽可能在数据前端进行影响滤除,对后端数据的影响可得到抑制。由图4可以看到,微波湿度计绕地球运行过程中,每圈冷空观测数据的变化具有很好的重复性,而微波湿度计接收机增益的变化也非常稳定(图3),表明被动温控的微波湿度计在轨性能稳定。

利用多项式拟合外推消除月球影响后,对地观测亮温数据质量得到改善,多项式拟合的冷空观测数据与非影响样本间相关系数达到99.98%,平均偏差为18.7个计数值,标准差为8.45个计数值,表明拟合外推产生的误差低于微波湿度计通道噪声(28.2个计数值)。

月球影响修正效果也可以通过与同类载荷MetOp-A/MHS的交叉比对进行说明。利用月球影响修正前后冷空定标数据分别进行对地观测数据的辐射定标处理,得到修正前后星下点亮温数据(图7a)。将FY-3A/MWHS星下点亮温数据与时间间隔不超过30min的MetOp-A/MHS数据进行空间匹配,匹配时按照 3×3 像元进行辐射均匀性检验^[7],并对匹配数据进行晴空检测,最后在月球影响期间得到匹配的均匀晴空数据样本近40个。匹配数据亮温偏差统计分析结果表明:对月球影响进行修正后,匹配数据亮温均方根误差从修正前的17.0K降低到1.93K,标准差从修正前的4.25K降低到1.58K。统计结果表明,修正月球影响后,交叉比对匹配数据亮温均方根误差和标准差都得到了改善,交叉比对结果达到了微波湿度计在轨初期测试的精度结果。

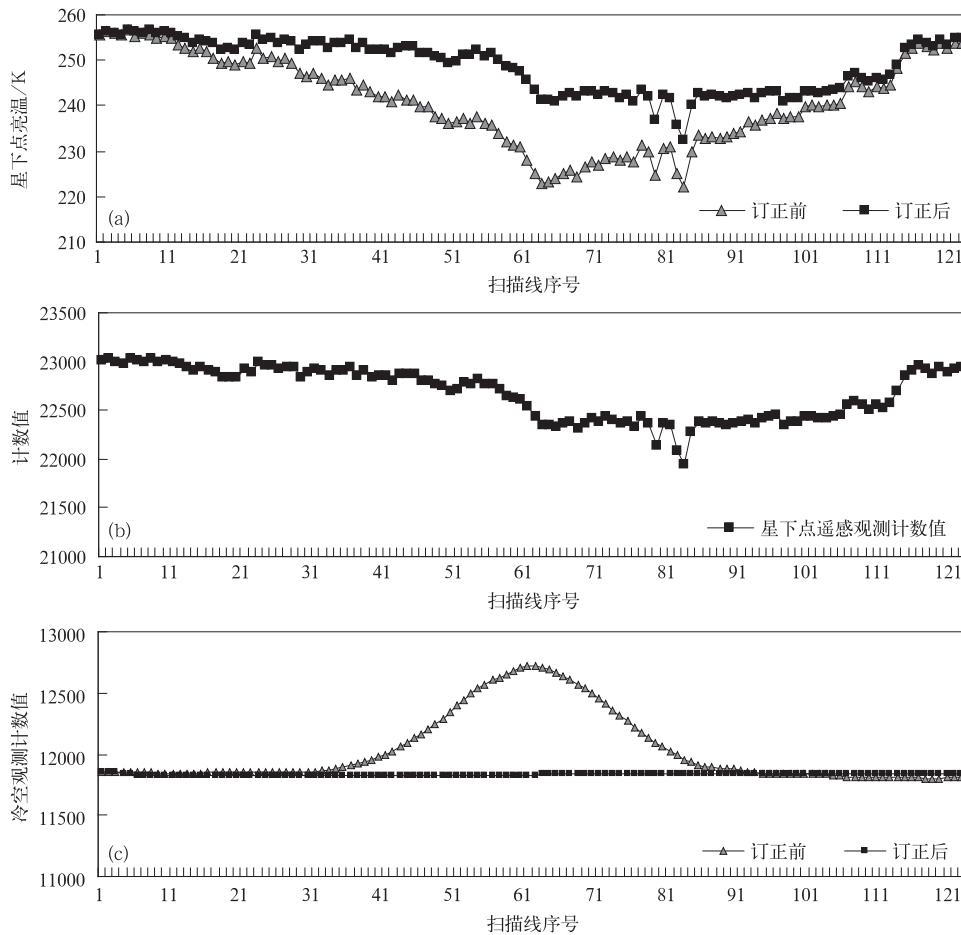


图7 星下点对地观测亮温变化

(a)星下点亮温,(b)星下点计数值,(c)冷空观测计数值

Fig. 7 Brightness temperature for sub-points during an orbit observation

(a)brightness temperatures for sub-point lines,

(b)earth views for sub-point lines,(c)space views

4 小 结

风云三号 A 星微波湿度计数据在轨业务应用中,月球一旦进入冷空定标观域,会影响大气参数的精确反演和数据的同化应用。本文针对月球对定标观测的影响展开分析,得到如下结论:

1) 月球进入微波湿度计冷空观域会影响冷空观测数据,影响在轨辐射定标精度,在本文分析个例中,月球影响使 FY-3A/MWHS 的 183.31 ± 1 GHz 通道冷空观测数据升高 1000 个计数值,如果不滤除月球影响,会造成对地观测亮温偏低约 20 K。

2) 月球对微波湿度计冷空观测数据的持续影响在一条轨道上会接近 100 个扫描周期,根据经典

轨道预报模型可预报月球影响冷空观测的时间段,因此,可有效检测出受到月球影响的数据。

3) 根据轨道预报,结合业务数据质检和控制算法,可以剔除受月球影响的冷空观测数据,利用分段多项式拟合建立修正模型外推,有效去除月球对冷空观测数据的影响,使定标方程回到合理形态,修正后的定标结果通过与参考载荷 MetOp-A/MHS 交叉比对,达到在轨测试的结果,保证微波湿度计资料的定量反演和同化应用。

月球进入微波湿度计冷空观测域,对数据产生影响的同时,也提供了一个在轨辐射定标参考点,未来随着对月球微波辐射特性的深入研究以及载荷定标系统的优化设计,有可能利用月球进行微波湿度计的在轨三点非线性辐射定标,进一步提高微波湿

度计的在轨定标精度。

参考文献

- [1] Vinnikov K Y, Grody N C. Global warming trend of mean tropospheric temperature observed by satellite. *Science*, 2003, 302(5643): 269-272.
- [2] Lu Q F. Initial evaluation and assimilation of FY-3A atmospheric sounding data in the ECMWF System. *Sci China Earth Sci*, 2011, 54: 1453-1457, doi: 10. 1007/s11430-011-4243-9.
- [3] 张升伟, 李靖, 姜景山, 等. 风云3号卫星微波湿度计的系统设计与研制. *遥感学报*, 2008, 12(2): 199-207.
- [4] Zhang Shengwei, Li Jing, Wang Zhenzhan. Design of the Second Generation Microwave Humidity Sounder (MWHS-II) for Chinese Meteorological Satellite FY-3. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS)*, IEEE International, ISSN: 2153-6996, 2012: 4672-4675.
- [5] Jing Li, Zhang Shengwei, Jiang Jingshan, et al. In-orbit Performance of Microwave Humidity Sounder (MWHS) of the Chinese FY-3 Meteorological Satellite. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS)*, IEEE International, ISSN: 2153-6996, 2010: 574-577.
- [6] 谷松岩, 王振占, 李靖, 等. FY-3A/MWHS 在轨定标及结果分析. *中国工程科学*, 2013, 15(7): 92-100.
- [7] Gu Songyan, Guo Yang, Wang Zhenzhan, et al. Calibration analyses for sounding channels of MWHS onboard FY-3A. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2012, 50(12): 4885-4891.
- [8] NOAA Satellite and Information Service. NOAA KLM User's Guide (Satellite and data description of NOAA's Polar orbiting satellites from NOAA-15 and later). <http://www.ncdc.noaa.gov/oa/pod-guide/ncdc/docs/klm/index.htm>, 2009.
- [9] JPL, Airs Project Algorithm Theoretical Basis Document Part 3: Microwave Instruments, JPL D-17005, Version 2. 1, 2000.
- [10] 谷松岩, 王振占, 李靖, 等. 风云三号A星微波湿度记住探测通道辐射特性. *应用气象学报*, 2010, 21(3): 335-342.
- [11] 窦芳丽, 卢乃锰, 谷松岩. 星载双频风场雷达热带气旋降雨区测风模拟. *应用气象学报*, 2012, 23(4): 467-477.
- [12] 郭杨, 卢乃锰, 谷松岩. 毫米/亚毫米波探测大气温度和湿度的通道选择. *应用气象学报*, 2010, 21(6): 716-723.
- [13] 游然, 卢乃锰, 邱红, 等. 用PR资料分析热带气旋卡特里娜降水特征. *应用气象学报*, 2011, 22(2): 89-95.
- [14] 邱红, 方翔, 谷松岩, 等. 利用AMSU分析热带气旋结构特征. *应用气象学报*, 2007, 18(6): 810-820.
- [15] 刘志权, 张凤英, 吴雪宝, 等. 区域极轨卫星ATOVS辐射偏差订正方法研究. *气象学报*, 2007, 65(1): 115-123.
- [16] Weng F, Zou X, Sun N, et al. Calibration of Suomi national polarorbiting partnership advanced technology microwave sounder. *J Geophys Atmos*, 2013, 118: 187-200, doi: 10. 1002/jgrd. 50840.

The Analysis and Correction of Lunar Intrusion to Space View of FY-3A/MWHS

Gu Songyan Wu Ronghua You Ran

*(The Key Laboratory of Radiometric Calibration and Validation for Environmental Satellites,
China Meteorological Administration (LRCVES/CMA), National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081)*

Abstract

The microwave humidity sounder (MWHS) is an important payload of FY-3A launched on 27 May 2008, for global all-weather atmosphere sounding. FY-3A/MWHS has been in operational application on orbit for more than 5 years. FY-3A/MWHS has five channels in the range of 150–191 GHz. In the normal working mode, it performs a cross-track scanning and cycle two points calibration by using of the blackbody and space views. However, the moon may occasionally appear within the cold space calibration field of view. Due to the polar orbit of the platform, it will always appear to be near the -90 phase and then have a brightness temperature of approximately 170–200 K. Its angular extent is about 0.5. Lunar radiation could therefore be significant against a cold sky background, especially for the narrow-beamed MWHS. Lunar intrusion to space view of MWHS may make a moon-glint, which typically affects about 100 scan lines per orbit for 4–5 consecutive orbits. Lunar intrusion cases are detectable as the degradation in NWP model statistics.

Based on analysis of lunar intrusion cases and effects, a mitigation algorithm is developed to improve calibration results of FY-3A/MWHS in orbit.

In the algorithm, the position of the moon is calculated using standard astronomical formula, and the intruding time is flagged. After that an approximation by polynomial model is devised to remove the moon-glint. On 4 July 2010, the moon-glint makes more than 1000 digital number abnormal jumping, and 20 degree degradation in brightness at sub-points line for FY-3A/MWHS 183.31 ± 1 GHz channel.

By using of the cross calibration technique between corresponding channels of FY-3/MWHS and MetOp-A/MHS, an extensive analysis is carried out to make the best fitted global SNO samples. The lunar intrusion mitigation algorithm is tested, and results show that after removing the moon-glint effects, corrected calibration results are almost the same with what got during check in orbit.

The lunar intrusion mitigation algorithm works well and has been used in operation, providing the foundation of quantitative application for data of FY-3A/MWHS in NWP. Lunar intrusion also gives a clear view of the moon when it appears in the field of space view. Since there is no intervening atmosphere to attenuate the signal, which makes it possible to perform a cross-channel calibration.

Key words: microwave humidity sounder; radiation calibration; lunar intrusion; polynomial correction model