

# FY-3C 卫星 MWHS-2 资料在 WRF-3DVar 中的同化研究

吴应昂，张卫民

（国防科学技术大学，湖南长沙，410073）

**摘要：**风云三号（FY-3）系列卫星是我国第二代极轨气象卫星，其搭载的微波探测仪能够探测大气垂直温度和湿度信息，最新发射的 FY-3C 卫星上所搭载的新型微波探测仪具有更多通道，能够探测更加精确的大气信息。本文针对 FY-3C 上的新型微波湿度计（MWHS-2）资料以及 WRF 三维变分同化系统（WRF-3DVar）的特点，实现 MWHS-2 资料在 WRF-3DVar 中的同化过程。初步试验表明 FY-3C 卫星上 MWHS-2 资料的加入对数值天气预报模拟有一定的正效果。

## 1FY-3C 新型微波湿度计

FY-3C 上所搭载的 MWHS-2 共有 15 个探测通道，设计两组探测通道，分别位于 118.75GHz 的氧气吸收线和 183.31GHz 水汽吸收线。其中对原 MWHS 的 183.75GHz 频点探测通道保留，并增加了探测通道数量，118.75GHz 探测频点是目前国际业务卫星首次使用的探测频点<sup>[1]</sup>，还设置了位于大气窗区的 89GHz 和 150GHz 两个通道。多频点多通道的联合探测，将进一步提升 FY-3C 的大气探测能力。MWHS-2 通道设置详见表 1。

表 1 新型微波湿度计通道设置

Table 1. The MWHS-2 channel specifications

通道序号	中心频率（GHz）	极化	带宽（MHz）
1	89	V	1500
2	118.75±0.08	H	20
3	118.75±0.2	H	100
4	118.75±0.3	H	165
5	118.75±0.8	H	200
6	118.75±1.1	H	200
7	118.75±2.5	H	200
8	118.75±3.0	H	1000
9	118.75±5.0	H	2000
10	150	V	1500
11	183.31±1	H	500
12	183.31±1.8	H	700
13	183.31±3	H	1000
14	183.31±4.5	H	2000
15	183.31±7	H	2000

## 2WRF 系统模块设置

针对 WRF-3DVar 和 MWHS-2 探测资料特点，在 WRF-3DVar 中同化 FY-3C MWHS-2 资料，需要对以下模块进行设置。

### 2.1 辐射传输模拟

直接同化微波探测微辐射资料的关键要素之一是将模式变量正演为微波辐射率<sup>[2-3]</sup>，本研究采用 RTTOV 快速辐射传输模式进行辐射模拟，并设置 RTTOV 与 WRF-3DVar 之间接口，使 WRF-3DVar 能够调用 RTTOV 模拟 MWHS-2 资料。

### 2.2 云水检测

云水检测采用散射指数 (SI) 和液态水含量 (CLWP) 检测两种方法结合使用。其中 SI 大小为 MWHS-2 本身的两个窗区通道 89GHz 通道和 150GHz 通道的观测增量差值, 即  $SI = tb_{89} - tb_{150}$ , 当 SI 指数大于 5.0K 时, 则大部分有云区域能够被判断出来<sup>[4]</sup>, 则认为该扫描点的观测受云影响, 在同化过程中去除该扫描点。CLWP 检测中, 则当 CLWP 值大于 0.2 时, 剔除该点的所有通道资料。

### 2.3 质量控制

其他质量控制方法主要有以下几个方面。

地表类型检测: 去除复杂地表对观测辐射率带来的较大影响。

极值检测: 根据 MWHS-2 资料变量阈值去除不符合的资料。

离群值检测: 根据每个通道观测亮温统计特性, 采用双权重算法<sup>[5]</sup>去除离群值。

### 2.4 偏差订正

偏差订正可用于消除观测系统偏差, 满足变分同化技术中所需要的无偏性要求。本研究采用 WRF-3DVar 中的变分偏差订正。

## 3 试验统计

### 3.1 同化模块检验试验

在试验中, 首先为了检验所采用云水检测方法是否能够有效检测出云水影响区域, 试验将观测资料通过云水检测过程进行检验, 由于 MetOp-B 卫星和 FY-3C 卫星扫描轨迹类似, 因此可选 MetOp-B 上所搭载的 MHS 与 FY-3C 上所搭载的 MWHS-2 进行对比。试验如下, 选定模拟区为 105°E~170°E, 25°S~45°N 的海面区域, 在 2014080400 时刻两颗卫星都有三条左右扫描轨道经过该区域。对 MHS 资料采用 WRF-3DVar 中已有的云水检测方法检测该范围内被云水影响的位置, 对 MWHS-2 资料采用上述云水检测方法, 比较两者所检测出的被云水影响的区域位置是否一致。其卫星扫描轨道及检测出的云水影响区域 (卫星扫描轨迹上白色区域) 如图 1 所示。

可以看出, 采用上述云水检测方法的 MWHS-2 资料所检测出的受云水影响的主要观测区域为 A, 与采用 WRF-3DVar 中的云水检测方法对 MHS 资料进行云水检测所得区域 A1 一致, 以及其他受云水影响的较小的观测区域位置也一致, 对于每个区域, 检测出的大小还存在稍微差别。在本文中, 我们将去除云水影响的资料称为晴空资料。

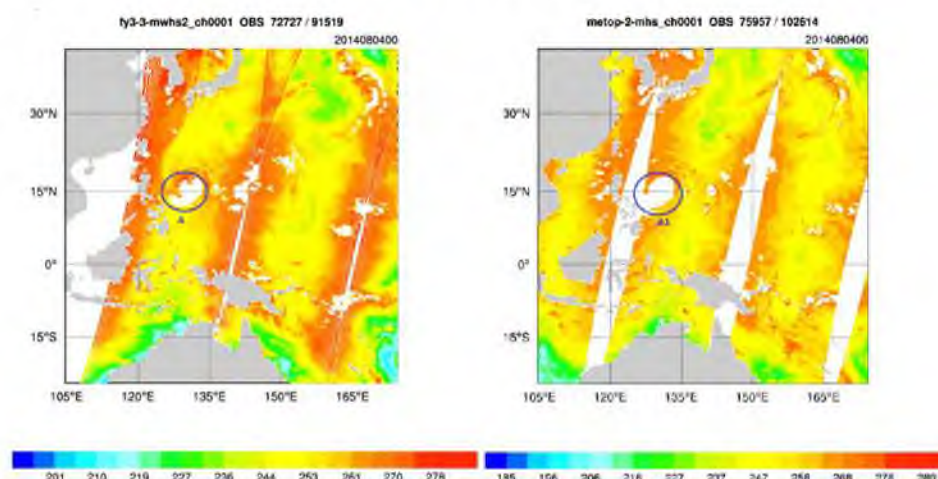


图 1 云检测结果 (左图为 MWHS-2 检测结果, 右图为 MHS 检测结果)

Figure 1. Results of cloud-identified (Left for result of cloud-identified with MWHS-2, right for MHS)

观测偏差是评价资料性能的有效方法之一, 观测偏差即实际观测值与背景模拟探测仪观

测通道的辐射亮温值之差，下图 2 是 MWHS-2 的 15 个通道晴空资料在 2014 年 8 月份的观测偏差统计结果，统计区域与前面云检测试验一致。其中依次为每个通道在统计区域内使用的扫描点个数、通道观测偏差平均值以及通道观测偏差的标准差在 8 月份的平均值（蓝线为偏差订正之前，红线为偏差订正后）。其中通道 1、10 的观测由于受地表等因素影响很大，其标准差相对于其他通道来说更大，在同化过程中，这类通道进行剔除，不加入同化系统。通过观测偏差大小平均值可得出，变分变差订正的使用使得大部分通道能够满足观测无偏的性质，有效消除系统偏差，对于不能通过变分偏差订正有效消除系统偏差的通道，将在同化过程中将其剔除。

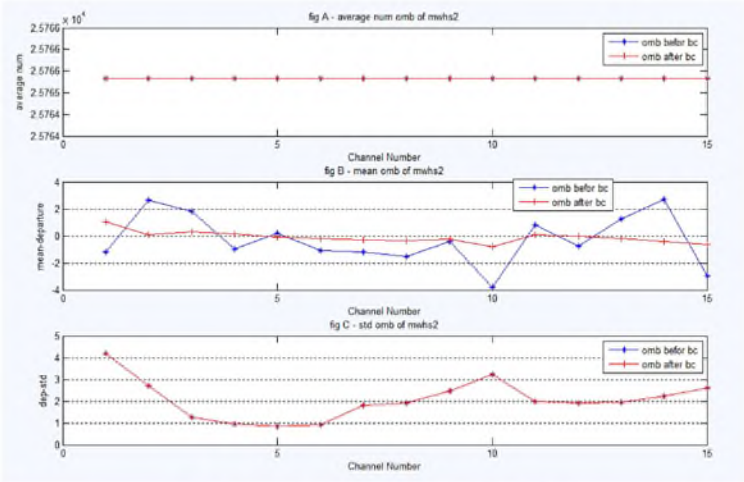


图 2 MWHS-2 观测偏差月平均统计

Figure 2.Average statistics of observation departure

### 3.2 台风天气试验

为了验证 MWHS-2 资料加入 WRF-3DVar 中对同化系统和数值预报效果的影响，研究设计了以台风天气为例的数值模拟试验。试验设置一组对比试验，台风天气采用 2014 年 11 号台风“夏浪”(Halong)，试验以 2014 年 8 月 3 日 00 时作为同化时刻，使用 6h 同化时间窗，模式预报 72h。其中控制试验只同化常规观测资料，测试试验在控制试验的基础上加入 MWHS-2 观测资料。台风试验对台风预报结果如图 3 所示。

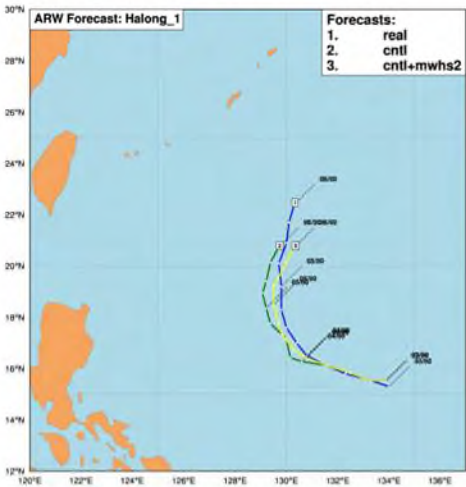


图 3 台风“夏浪”预报试验模拟路径图（蓝、绿、黄色路径依次为实际路径、控制试验以及加 MWHS-2 资料同化的预报模拟结果）

Figure 3. Tracks of “Halong” from observation and the experiments(blue line for observation, red for control experiment, yellow for experiment assimilating MWHS-2 datas)



对控制试验和测试试验的台风模拟结果进行具体数值分析,图4的分别表示了台风模拟路径误差(左图)和台风中心气压大小误差(右图)。可以看出,在常规观测基础上同化MWHS-2资料,台风路径预报更加准确,但是其强度预报没有明显改进。

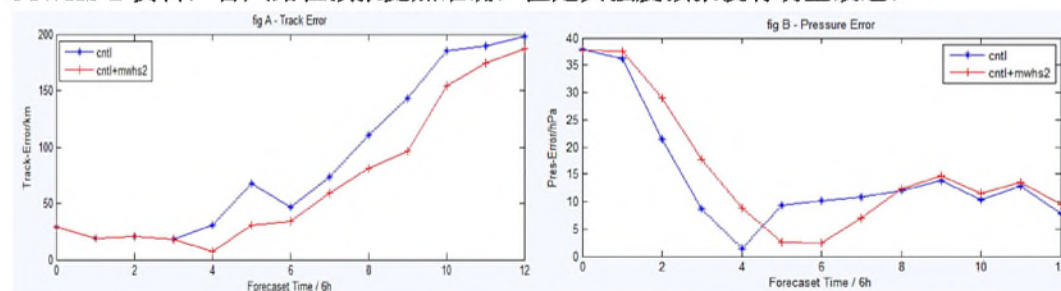


图4 台风预报路径误差和强度误差

Figure 4. The track error and pressure error of typhoon forecast

## 4 结论

本研究解决了 FY-3C 在 WRF-3DVar 中进行同化所需要的模块,通过观测资料偏差分析可以得到 MWHS-2 的观测资料性能较好,尤其新加入的 118.75GHz 频点处的探测通道表现良好,将 MWHS-2 观测资料加入 WRF-3DVar 中进行同化试验,能够对同化系统和数值预报模拟产生一定效果,本研究中的台风试验表明, MWHS-2 资料的同化对台风路径的预报产生了正效果。接下来还需进一步地进行试验,以更准确评估 MWHS-2 资料对同化系统和数值天气预报效果的影响。

关键词: 资料同化, 新型微波湿度计, WRF 变分同化系统

## 参考文献

- [1] 郭杨, 卢乃锰, 谷松岩. FY-3C 微波湿温探测仪 118GHz 和 183GHz 通道辐射特性仿真分析[J]. 红外与毫米波学报, 2014, Vol.33, No.5: 481-491
- [2] 马刚. FY3 大气垂直探测器辐射资料的同化应用研究[D]. 兰州大学, 2008.
- [3] 潘宁, 董超华, 张文建等. 变分同化及卫星资料同化[J]. 气象科技, 2001, 2: 29-36
- [4] Lawrence H., Bormann N., Lu Q. An evaluation of FY-3C MWHS-2 at ECMWF[R]. EUMETSAT/ECMWF Fellowship Programme Research Reports No.37, ECMWF, June 2015
- [5] Zou X, Zeng Z. A quality control procedure for GPS radio occultation data [J]. J. Geophys. Res., 2006, 111(D2): 237-253.