风云三号（03 批）气象卫星地面应用系统工程

E 星中分辨率光谱成像仪

云类型和云相态产品使用说明

（V1.0.1）

编写：李博

校对：

审核：

会签：

批准：

国家卫星气象中心

2023 年 4 月

文档修订记录

版本号	日期	修订内容	修订人	注 记
V1.0.0	2022-3-31	建立	李博	初稿
V1.0.1	2022-06-28	修改检验结果	李博	利用2022年6月23日更新后的云检测处理云类型和云相态，重新进行结果的检验

目 录

1 产品定义 1

2 产品规格和格式 1

2.1 产品规格 1

2.2 产品文件 1

2.3 产品科学数据集 2

3 产品算法原理和处理流程 4

3.1 算法基本原理 4

3.2 处理流程 5

4 产品示例 6

4.1 弧段产品示例 6

4.2 日产品示例 7

4.3 旬产品示例 7

4.4 月产品示例 8

5 产品精度 9

5.1 产品检验评估方法和数据 9

5.2 产品检验评估结果 12

6 产品使用说明 12

6.1 产品使用说明 12

6.2 应用限制条件 13

6.3 主要参考文献 13

7 产品技术支持 14

7.1 产品技术责任人 14

7.2 文档引用方式和建议引用文献 14

1 产品定义

FY-3E 的微光型中分辨率光谱成像仪 MERSI-LL 云类型和云相态产品表征云顶粒子的热力学类型和相态。除晴空类型外，云分类的其他输出包括：

1) 暖水云：液态水云，云顶透明，温度高于 273K；
2) 过冷水云：液态水云，温度低于 273K；
3) 混合云：云顶同时包含云水和云冰粒子；
4) 薄冰云：冰云，红外光学厚度约为 2 或更低；
5) 厚冰云：冰云，云顶反照率很强，对应的红外光学厚度通常大于 2；
6) 多层云

云相态包括：

1) 暖液态水相态：液态水云，云顶透明，温度高于 273K；
2) 过冷水相态：液态水云，温度低于 273K；
3) 混合相态：云顶同时包含液态水和冰两种相态的云粒子；
4) 冰相态：云顶为冰相的所有云。

2 产品规格和格式

2.1 产品规格

表 2-1 云类型和云相态产品规格列表

产品名称	投影方式	覆盖范围	空间分辨率	更新频率
云类型和云相态轨道产品	——	全球	1km	5 分钟
云类型和云相态日合成产品	等经纬度	全球	0.05°	每天 2 次
云类型和云相态旬产品	等经纬度	全球	0.05°	每 10 天 1 次
云类型和云相态月产品	等经纬度	全球	0.05°	每月 1 次

2.2 产品文件

表 2- 2 云类型和云相态产品数据文件列表

序号	文件名称	格式	周期	产品描述	关键词
1	云类型和云相态轨道产品	HDF	5 分钟	1km 云类型和云相态的 5 分钟段产品	云类型，云相态

序号	文件名称	格式	周期	产品描述	关键词
2	云类型和云相态日合成产品	HDF	2 次/天	云类型和云相态的日合成产品，分升轨和降轨分别合成	云类型，云相态，升轨，降轨
3	云类型和云相态旬产品	HDF	1 次/10 天	不同类型和相态的云在当前旬内发生的频率	云类型，云相态，频率
4	云类型和云相态月产品	HDF	1 次/月	不同类型和相态的云在当前月内发生的频率	云类型，云相态，频率

2.3 产品科学数据集

表 2- 3 云类型**和云相态轨道产品**科学数据集

科学数据集				
分组名称	科学数据集		科学数据集名(英文)	科学数据集中文描述
——	SDS1	Cloud Type	Cloud Type	云类型 5 分钟段产品
	SDS2	Cloud Phase	Cloud Phase	云相态 5 分钟段产品
	SDS3	Cloud Type and Phase QA_Flags	Cloud Type and Phase QA_Flags	云类型和云相态 5 分钟段产品质量标识
	SDS4	DayNightflags	DayNightflags	白天/夜间/晨昏标识，1、2 和 3 分别表示白天、夜间和晨昏区像元
	SDS5	Latitude	Latitude	纬度信息
	SDS6	Longitude	Longitude	经度信息

表 2-4 云类型和云相态日产品科学数据集

科学数据集				
分组名称	科学数据集		科学数据集名(英文)	科学数据集中文描述
——	SDS1	Daily Cloud Type A	Daily Cloud Type A	升轨日云类型
	SDS2	Daily Cloud Phase A	Daily Cloud Phase A	升轨日云相态
	SDS3	Daily Cloud Type and Cloud Phase A QA_Flags	Daily Cloud Type and Cloud Phase QA_Flags A	升轨日云类型和云相态质量标识
	SDS4	Daily Cloud Type D	Daily Cloud Type D	降轨日云类型
	SDS5	Daily Cloud Phase D	Daily Cloud Phase D	降轨日云相态
	SDS6	Daily Cloud Type and Cloud Phase D QA_Flags	Daily Cloud Type and Cloud Phase QA_Flags D	降轨日云类型和云相态质量标识

表 2-5 云类型和云相态旬产品科学数据集

科学数据集				
分组名称	科学数据集		科学数据集名(英文)	科学数据集中文描述
——	SDS1	Ten Day Clear	Ten Day Clear	旬晴空频率
	SDS2	Ten Day Warm Water Cloud	Ten Day Warm Water Cloud	旬暖水云频率
	SDS3	Ten Day Supercooled Water Cloud	Ten Day Supercooled Water Cloud	旬过冷水云频率
	SDS4	Ten Day Mixed Cloud	Ten Day Mixed Cloud	旬混合云频率
	SDS5	Ten Day Thick Ice Cloud	Ten Day Thick Ice Cloud	旬厚冰云频率
	SDS6	Ten Day Thin Cirrus Cloud	Ten Day Thin Cirrus Cloud	旬薄卷云频率
	SDS7	Ten Day Overlap Cloud	Ten Day Overlap Cloud	旬多层云频率
	SDS8	Ten Day Ice Phase Cloud	Ten Day Ice Phase Cloud	旬冰云频率
	SDS9	Ten Day Uncertain Type Cloud	Ten Day Uncertain Type Cloud	旬不可确定类型云频率

表 2-6 云类型和云相态旬产品科学数据集

科学数据集				
分组名称	科学数据集		科学数据集名(英文)	科学数据集中文描述
——	SDS1	Monthly Clear	Monthly Clear	月晴空出现频率
	SDS2	Monthly Warm Water Cloud	Monthly Warm Water Cloud	月暖水云出现频率
	SDS3	Monthly Supercooled water Cloud	Monthly Supercooled water Cloud	月过冷水云出现频率
	SDS4	Monthly Mixed Cloud	Monthly Mixed Cloud	月混合云出现频率
	SDS5	Monthly Thick Ice Cloud	Monthly Thick Ice Cloud	月厚冰云出现频率
	SDS6	Monthly Thin Cirrus Cloud	Monthly Thin Cirrus Cloud	月薄卷云出现频率

	SDS7	Monthly Overlap Cloud	Monthly Overlap Cloud	月多层云出现频率
	SDS8	Monthly Ice Phase Cloud	Monthly Ice Phase Cloud	月冰云频率
	SDS9	Monthly Uncertain Type Cloud	Monthly Uncertain Type Cloud	月不可确定类型出现频率

3 产品算法原理和处理流程

3.1 算法基本原理

FY-3E 利用云的有效吸收光学厚度比（β比）推断云的热力学相态信息。8.5 和 11μm 通道配合包含云相态最直接的信息。β比可写为β（8.5/11μm）。图 1 给出在单一散射属性下液态水和冰的β（8.5/11μm）。用 Mie 理论来计算液态水的单一散射属性。由图可见，液态水云和冰云在多数有效粒子半径范围内都是可以区分的。与使用亮温差不同，β之间的关系只是云微物理特性的函数。

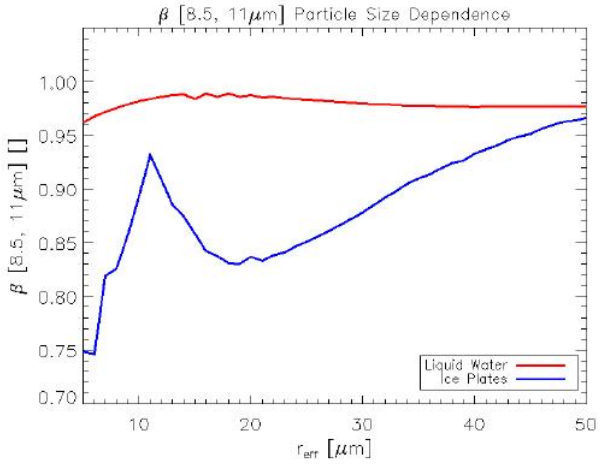

图 1 液态水球（红色实线）和冰（蓝色实线）单散射属性的β(8.5/11μm)与有效粒子半径的关系（Pavolonis，2010）

可以对 11 和 12μm 通道的单散射属性构造类似的β比，即β(12/11μm)。图 2 给出β(12/11μm)与有效粒子半径的关系。很明显，β(12/11μm)尽管对粒子大小很敏感，但是难以提供区分云相态的有效信息。β(12/11μm)对云粒子大小的敏感性可用来分辨不透明云。对不透明云来说，11μm 亮温通常是云顶热力学温度的良好近似，这在判别云相态时是很有用的信息。例如，云顶温度高于 273K 时，云顶不可能包含冰相。

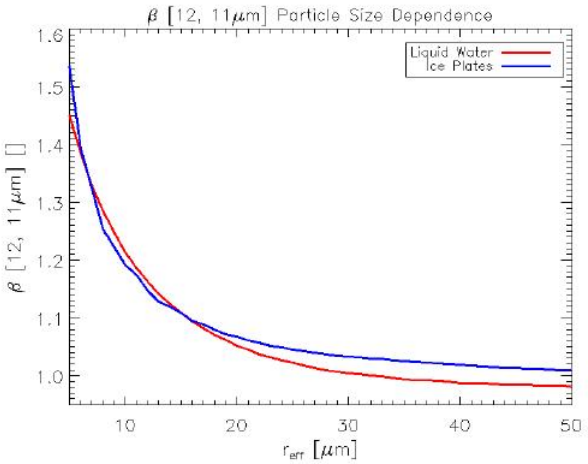

图 2 液态水球（红色实线）和冰（蓝色实线）单散射属性的β(12/11μm)与有效粒子半径的关系（Pavolonis，2010）

3.2 处理流程

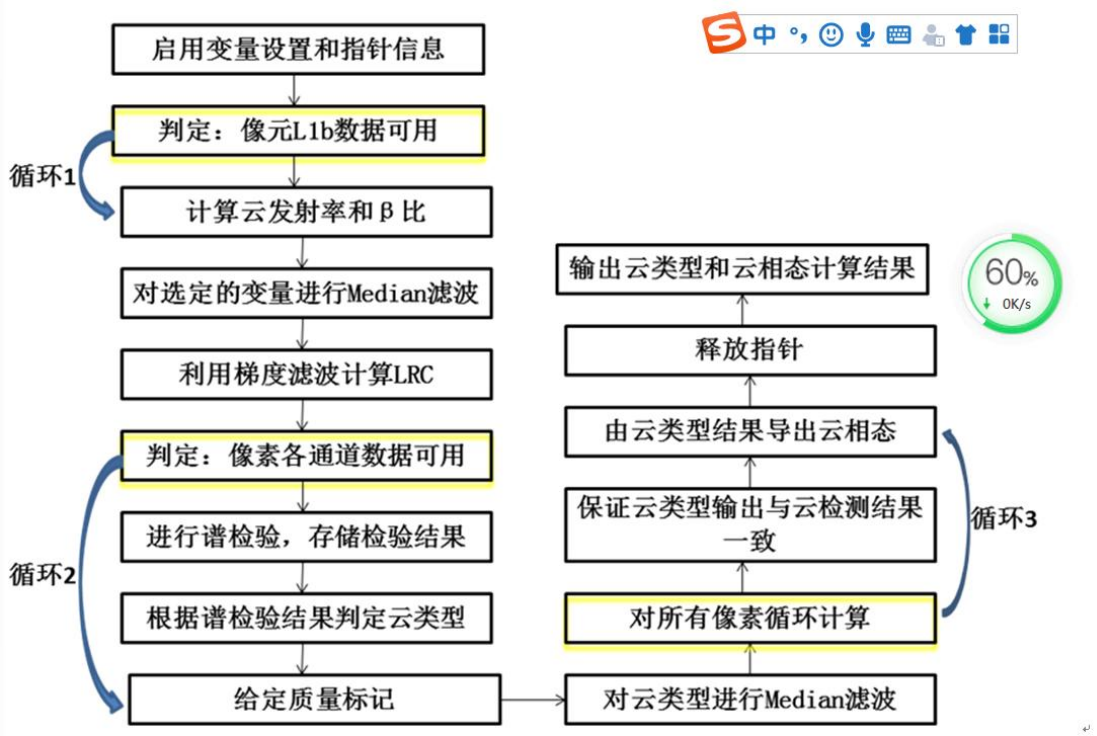

图 3 云类型和云相态产品处理流程图

给定测量的 7.2、8.5、10.8 和 12μm 的辐射并估算晴空大气辐射、晴空传输以及温度廓线。首先反演得到云类型。在本算法中，云相态结果直接由云类型导出，即将厚冰云、薄卷云和多层云合并为冰相。

云类型和云相态产品日合成模块是按照升轨和降轨的原则对云类型和云相态

产品分别进行合成，因此每天有两个日产品。日产品由轨道产品的 1km 分辨率降低到 0.05°。基于云类型和云相态日合成产品，计算每旬内不同云类型出现的频率，并将三种冰云类型出现的频率相加得到冰云相态出现的频率，从而得到 5km 等经纬度投影的云类型和云相态旬产品。每月有 3 个旬产品。基于云类型和云相态日合成产品，计算每月内不同云类型出现的频率，并将三种冰云类型出现的频率相加得到冰云相态出现的频率，从而得到 5km 等经纬度投影的云类型和云相态月产品。每月合成一个月平均产品。

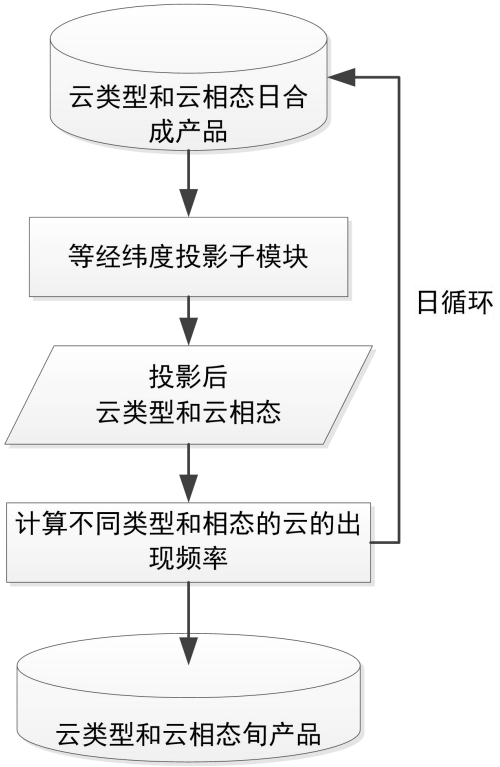

图 4 MERSI-LL 云类型和云相态旬合成模块流程

4 产品示例

4.1 弧段产品示例

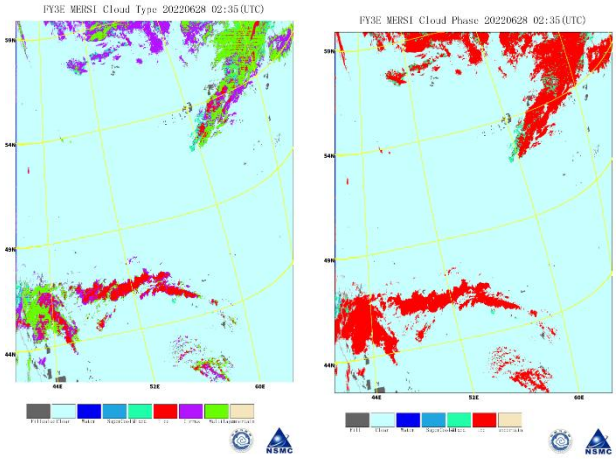

图 5 FY-3E 云类型和云相态段产品示例

4.2 日产品示例

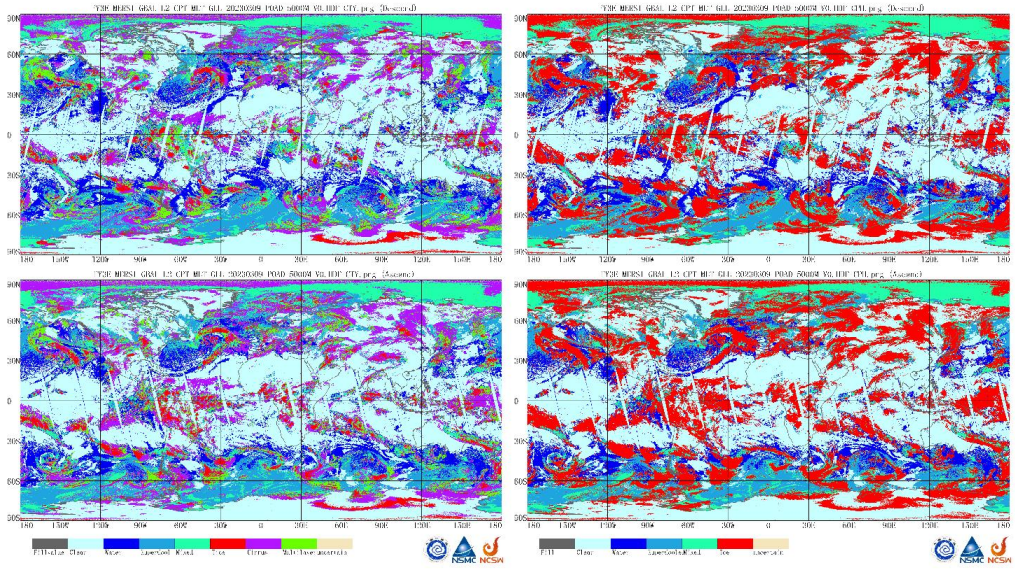

图 5 FY-3E 云类型和云相态日合成产品示例

4.3 旬产品示例

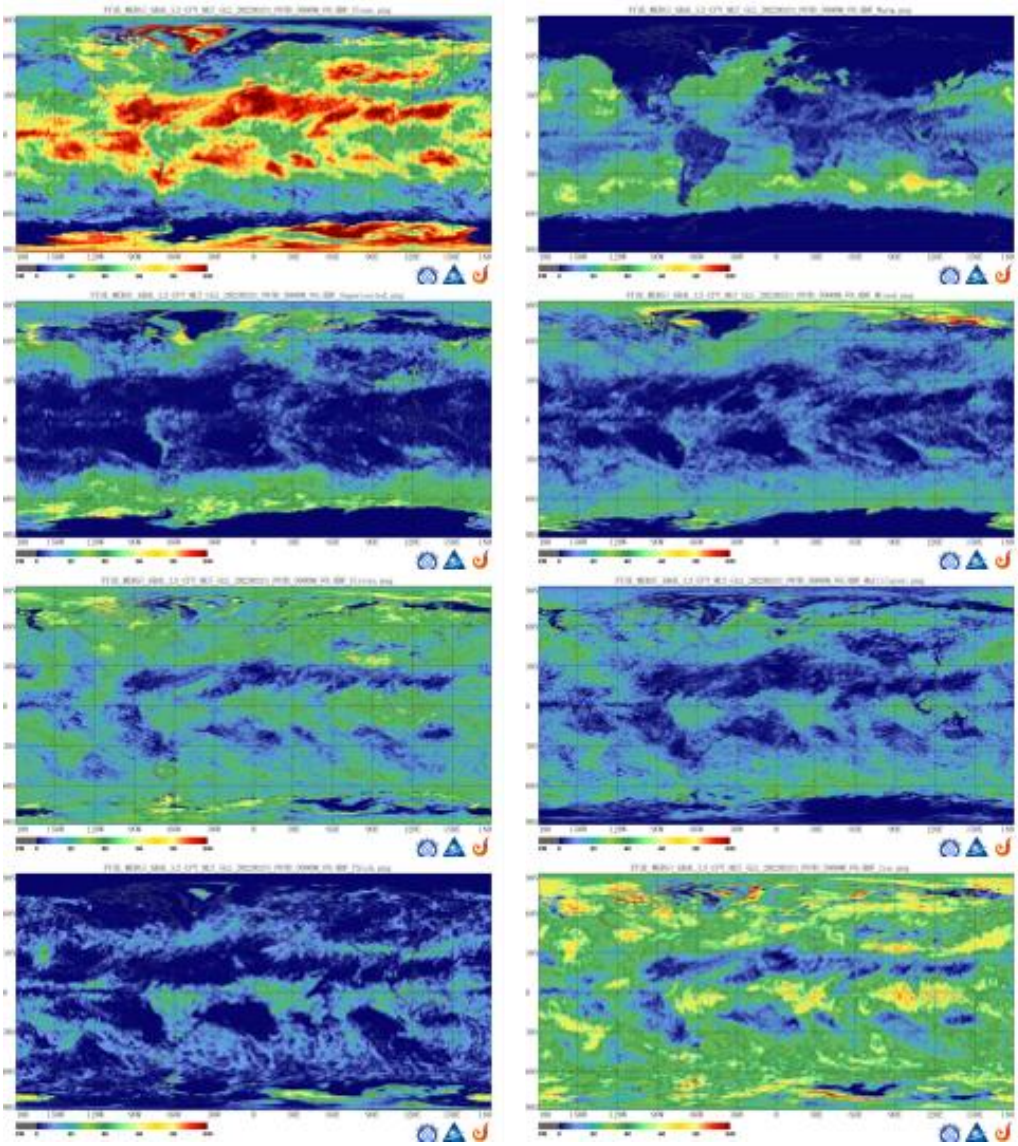

图 6 FY-3E 云类型和云相态旬产品示意图（即晴空、不同类型和相态的云在 2023 年 3 月第 3 旬发生的频率）

4.4 月产品示例

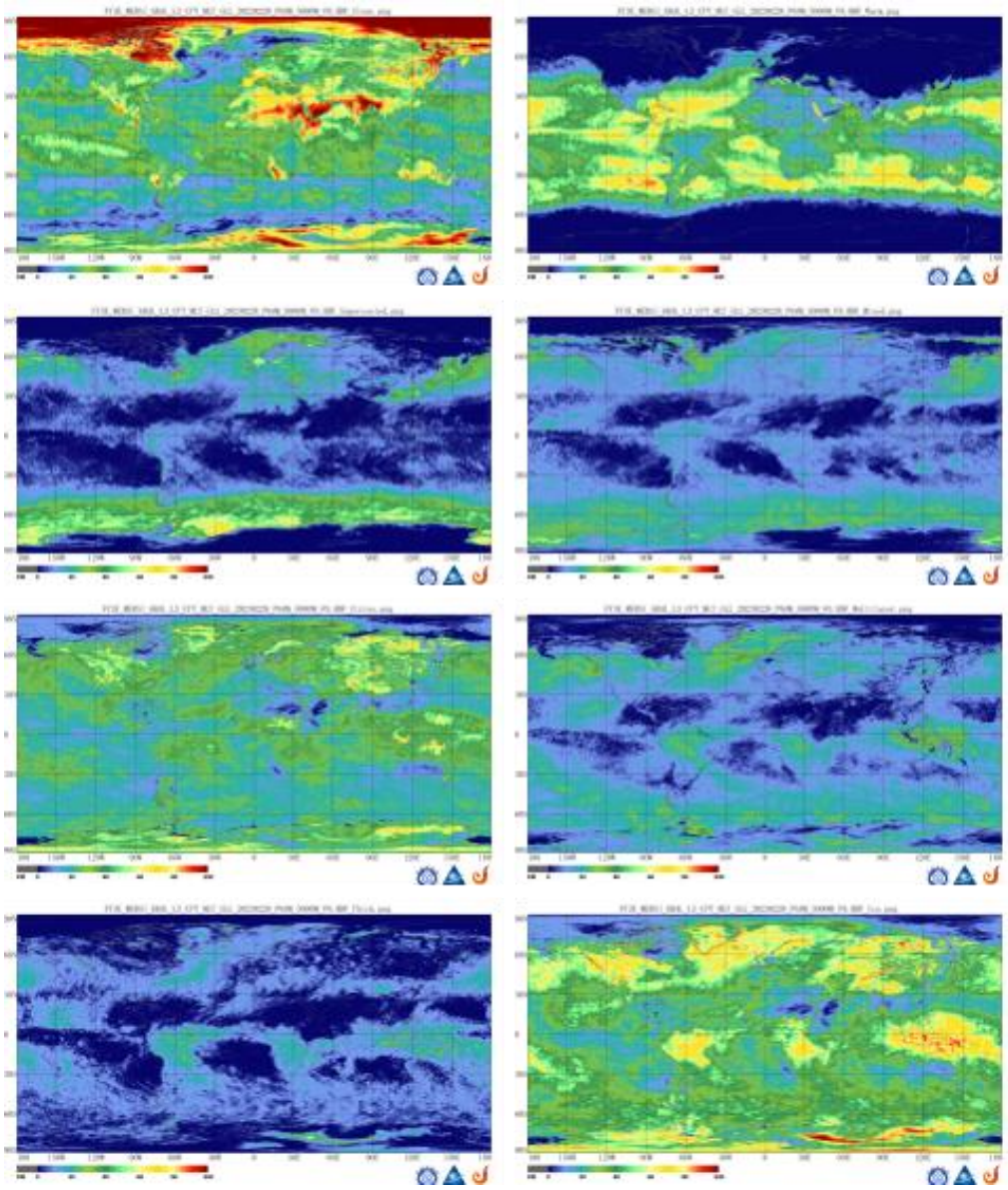

图 5 FY-3E 云类型和云相态月产品示意图（即晴空、不同类型和相态的云在 2023 年 2 月发生的频率）

5　产品精度

5.1 产品检验评估方法和数据

目前对云分类和云相态产品的检验，主要采用两种方法：（1）与国内外其他同类卫星产品（例如 MODIS、FY-3A/B/C/D、静止卫星产品）或地面观测进行比较；（2）与同时刻的可见光和红外图像进行比较，并结合再分析数据，判断云分

类和云相态产品结果是否合理。由于不同的卫星之间采用的云分类和云检测的算法不尽相同，得到的分类也经常有所差别，且不同卫星的过境时间不可能完全匹配；而卫星测得的云分类和云相态主要体现的是云顶粒子的特征，地面观测的高中低云分类是目测结果，二者是有区别的。因此，利用国内外其他同类卫星产品或地面观测对 FY-3E 的云类型和云相态产品进行真实性检验存在局限性，是一种相对检验。

FY-3E 的产品质量检验系统主要利用检验源（Aqua/Terra MODIS、CALIPSO、地基云雷达、风云卫星其他型号、全球探空资料和大型实验）云类型的云相态产品，对 FY-3 卫星云类型产品进行检验。检验步骤主要包括待检验数据（FY-3 云类型产品）和检验源数据的数据解码、数据匹配（主要包括时间匹配、空间匹配和归一化处理）、质量检验指标计算、质量检验方案选择和质量检验结果输出等多个部分，质量检验指标为判识率，误判率，命中率，KSS 评分。FY-3E 段产品与检验源数据的时间和空间匹配阈值分别为 5 分钟、1km。

云相态评价指标描述：以检验源产品（Aqua MODIS）云相态产品为参考，选择检验源云相态结果为冰相的情况下，而 FY-3E 云相态结果为非冰相类型，则定义为漏判；检验源云相态结果为非冰相类型，而 FY-3E 数据集云相态结果为冰相的情况下，则定义为误判，并计算出冰相准确率、水相准确率、冰相误报率、水相误报率、总体云相态命中率 HR 和 KSS 评分。

a：检验源数据和模型都判识为某种相态的像元数

c：检验数据判识为某种相态，但模型判识为其他相态的像元数

b：模型判识为某种相态，但检验数据判识为其相态的像元数

d：模型和检验源数据均判识为某种相态的像元数

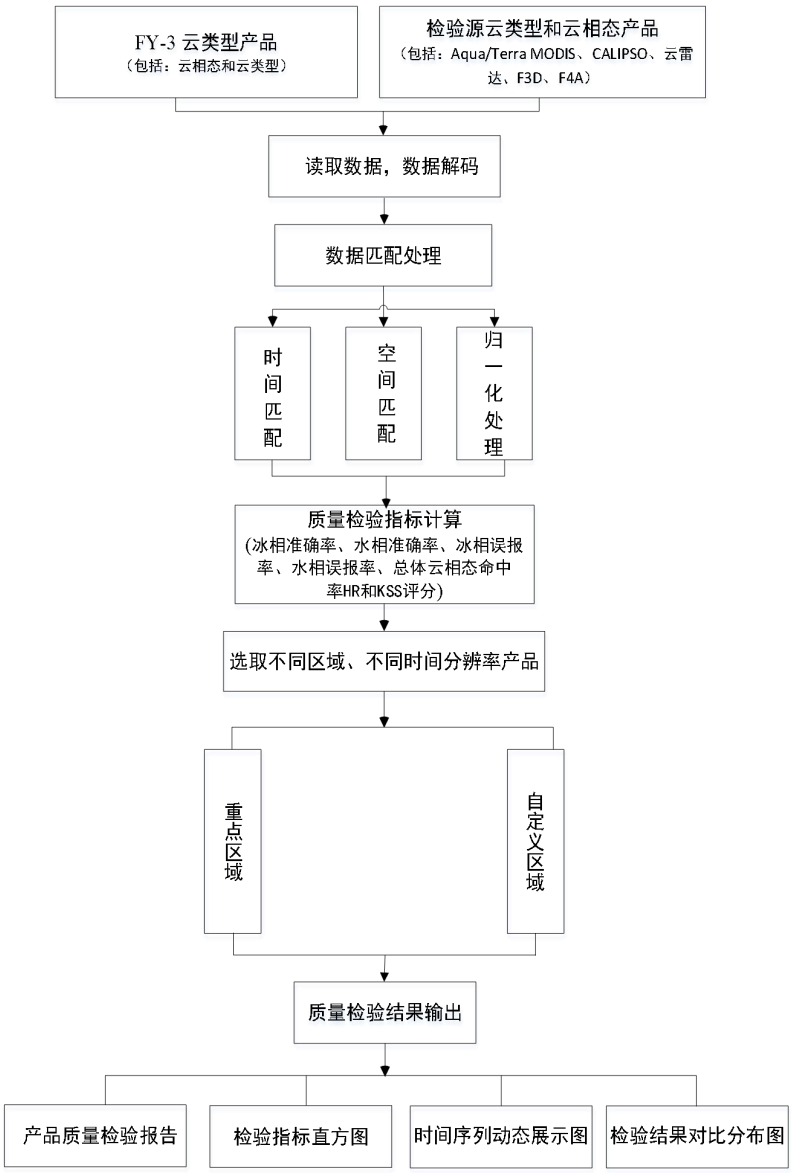

图 5 FY-3E 云类型和云相态产品质量检验流程图

FY-3E 卫星云相态产品质量检验指标的计算详细过程如下：首先挑选检验源和 FY-3E 判识结果中都为有云像元且均为非不可确定像元的样本，若用 a 表示匹配时间段内相同空间范围中 FY-3E 卫星数据和检验源都检测到冰相的样本个数，b 表示检验源检测到冰相而 FY-3E 为非冰相的样本个数，即 FY-3E 云相态漏判的样本个数，c 表示检验源为非冰相而 FY-3E 为冰相的样本个数，即 FY-3E 云相态误判的样本个数，d 表示 FY-3E 卫星和检验源都为水相的样本个数，则各项检验指标计算公式如下所示：

冰相准确率 POD_ice：

$$\mathrm{POD_ice} = \frac{a}{a+b}$$

水相准确率 POD_water：

$$POD_water = \frac{d}{a+c}$$

冰相误报率 FAR_ice：

$$FAR_ice = \frac{c}{a+c}$$

水相误报率 FAR_water：

$$FAR_water = \frac{b}{b+d}$$

总体云相态命中率 HR：

$$HR = \frac{a+d}{a+b+c+d}\ where -1 \le KSS \le 1$$

其中，KSS=$\frac{ad-cb}{(a+b)(c+d)}$

5.2 产品检验评估结果

表 5-1 产品质量评估总结表

产品名称	业务/试验	周期（轨道、日、侯、旬、月）	空间分辨率	设计指标	实测精度
云类型和云相态	试验	轨道	1km	70%	0.762

6 产品使用说明

6.1 产品使用说明

云类型产品的输出为：晴空（0）、暖（液态）水云（2）、过冷水云（3）、混合云（4）、不透明冰云（5）、卷云（即半透明冰云，6）、多层云（上层为半透明，下部为不透明,7）和不可确定类型。云相态产品输出包括：晴空（0）、暖（液态）水相态（1）、过冷水相态（2）、混合相态（3）、冰相态（4）和不可确定相态（5）。

云类型和云相态的质量保证设计为 16 位二进制代码。其中第 0 位标识表示产品反演是否成功，0 表示成功，1 表示不成功。第 1-2 位表示云检测结果，00 表示云，01 表示可能云，10 表示可能晴空，11 表示晴空。第 3 位表示太阳耀斑标记，0 表示是，1 表示否。第 4 位表示冰雪背景标记，0 表示是，1 表示否。第

5-6 位表示陆地/水体标记，00 表示水，01 表示海岸，10 表示沙漠，11 表示土地。第 7 位表示太阳天顶角是否大于 80°，1 表示是，0 表示否。第 8 位表示当前产品中的薄卷云检测，0 表示是，1 表示否。第 9 位表示在云掩码产品中检测到当前像素为卷云，0 表示是，1 表示否。第 10 位 Beta 质量标志。如果βstropo（12 /11μm），βsopaque（12 /11μm），βstropo（8.5 /11μm）或βsopaque（8.5 /11μm）不在 0.1-10.0 范围内，则将其设置为“低质量”。 0 =高质量 Beta 计算和 1 =低质量 Beta 计算。第 11 位表示冰云质量标志。如果确定云层为冰且εstropo（11μm）<0.05，则将其设置为“低质量”。 0 =基于强辐射信号的冰云确定。 1 =基于弱辐射信号（低质量）的冰云确定。第 12 位表示表面发射率质量，如果低表面发射率（LSE）测试的结果为 TURE 而总不透明云（OOC）测试的结果为 FALSE，则将其设置为“低质量”。 0 =表面发射率不会显着影响产品质量，而 1 =表面发射率不会显着影响产品质量（低质量）。第 13 位表示总体云阶段/类型产品质量标志。如果将位 10 到位 12 中列出的任何更具体的质量标记设置为“低质量”，则总体质量将被设置为“低质量”。第 14-15 位保留，默认为 0。

6.2 应用限制条件

在高纬度地区，云分类和云相态算法中可能会将地表的冰雪类型误判识为有云（也可能受云检测结果影响），因此在这种情形下使用云分类和云相态产品时需要特别注意辨别。

另外，从与 L1 的目视对比来看，目前云类型在低纬判识的卷云略少，但目前没有明确的检验源数据对此进行检验，在使用时需要注意辨识。

此外，对于高反射率目标，云类型和云相态反演的可信度高，相反,对于低反射率目标可信度就差。

6.3 主要参考文献

1) 刘健. 2000. 卫星资料在多层云系特征识别中的应用研究. 红外与毫米微博学报，23（6）：408-412.

2) 师春香，翟建华. 2002. 用神经网络方法对 NOAA AVHRR 资料进行云客观分类. 气象学报， 60（2）：250-257.

3) 杨澄，袁招洪，顾松山. 2002. 用多谱阈值法进行 GMS25 卫星云图云型分类的研究. 南

京气象学院学报，25（4）：747-754.

4) 杨军，许建民，董超华，卢乃锰. 2012. 气象卫星及其应用. 北京：气象出版社.

5) Baum B. A., Kratz D. P., Yang P., et al., 2000： Remote sensing of cloud properties using MODIS airborne simulator imagery during SUCCESS, I. Data and Models, *J. Geophys. Res.,* **105**, 11767-11780

6) Pavolonis, M. J., 2010: Advances in extracting cloud composition information from spaceborne infrared radiances: A robust alternative to brightness temperatures. Part I: Theory. J. Applied Meteorology and Climatology, 49, 1992-2012.

7)

7 产品技术支持

7.1 产品技术责任人

表 9- 1 产品技术责任人列表

序号	姓名	单位	联系电话	电子邮箱	角色
1	李博	国家卫星气象中心	010-58995924	boli@cma.gov.cn	产品负责人
2	谭乔旭	华云星地通公司			工程负责人

7.2 文档引用方式和建议引用文献

李博，2022.风云三号 E 星云类型和云相态产品使用说明.国家卫星气象中心.