



中国气象局  
China Meteorological Administration



国家卫星气象中心  
National Satellite Meteorological Centre

# FY-3E GNOS-II大 气掩星产品

汇报人：廖蜜  
国家卫星气象中心

2022. 6. 15 中国. 北京



# 目录

风云三号

极轨卫星

FY-3

CONTENTS

**掩星产品介绍**

01

**产品质量**

02

**产品格式说明及使用指南**

03

**产品应用潜力**

04

# 1、大气掩星产品介绍

## • 什么是掩星？

一种天文术语，由于光线受大气折射而弯曲，本来被遮掩而不可见的星体，变得可见。

## • 地球大气掩星观测的信号来源：导航卫星信号（GPS、北斗、Glonass、Galileo等）

### 仪器探测原理

- 接收被地球大气层和电离层折射后的弯曲或延迟信号（包括GPS和北斗卫星），弯曲程度与大气物理状态有关。
- 导航卫星与低轨卫星相对运动，信号切过地球大气，形成上升和下降掩星廓线

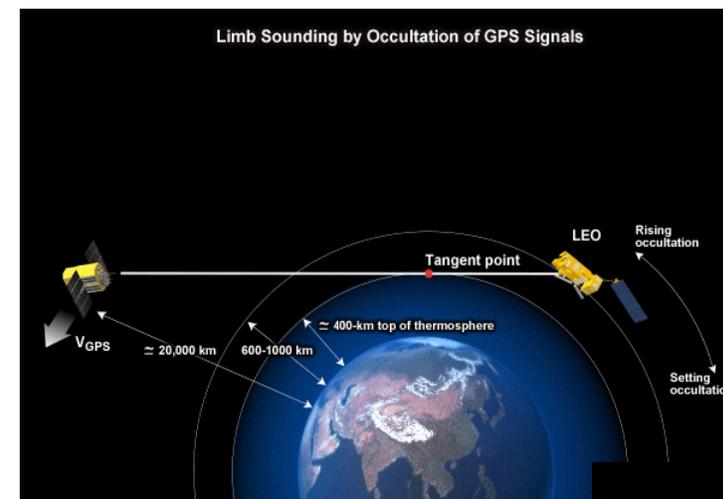
### 产品类型

1. 弯曲角廓线
2. 折射率廓线
3. 密度廓线
4. 温度廓线
5. 湿度廓线

### 产品特点

- 1、探测精度高
- 2、垂直分辨率高
- 3、长期稳定
- 4、全球覆盖
- 5、全天候观测
- 6、花费较低廉

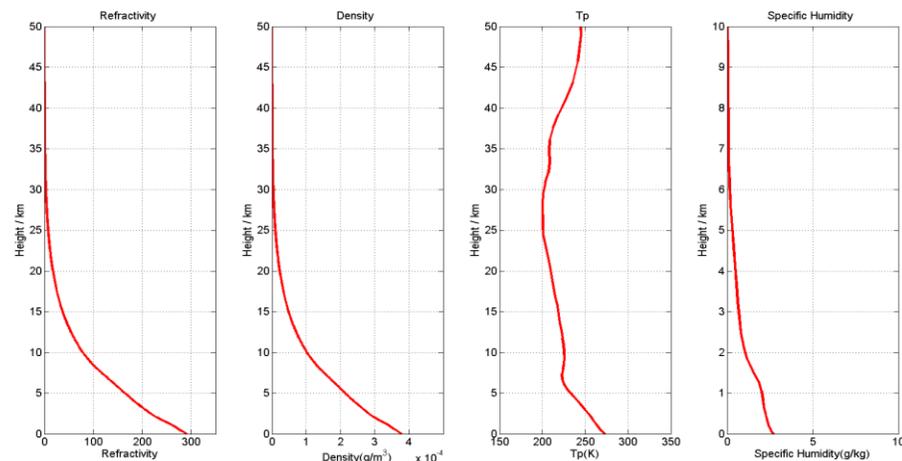
地球掩星观测示意图



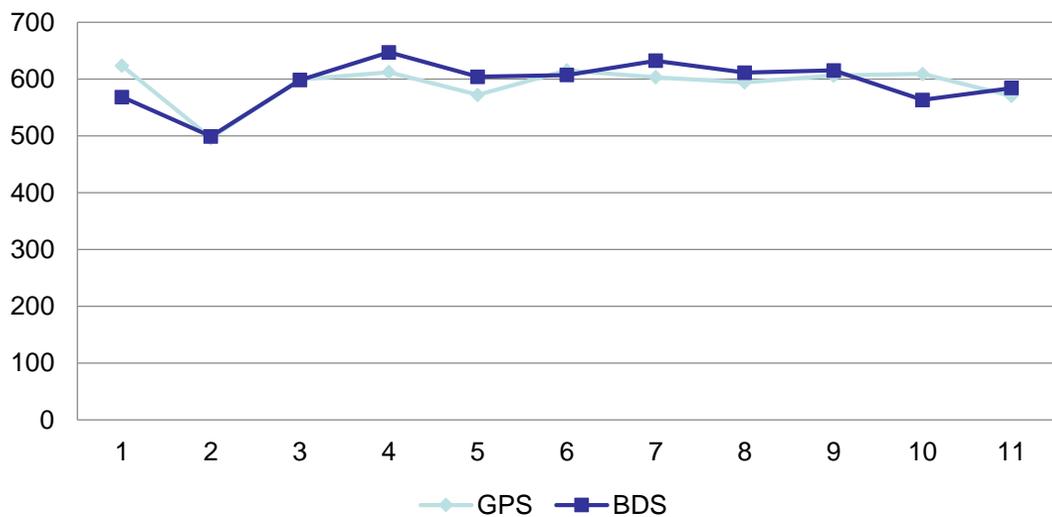
# 1、大气掩星产品介绍

- 来源仪器：**FY3E GNOS-II**
- 产品种类：掩星大气产品（大气弯度角、大气折射率、大气密度、大气温湿度廓线）
- 信号源：**GPS**、北斗
- **FY3E**接收北斗**3**号卫星信号，数量较**FY3C/3D**显著增多

产品示例：

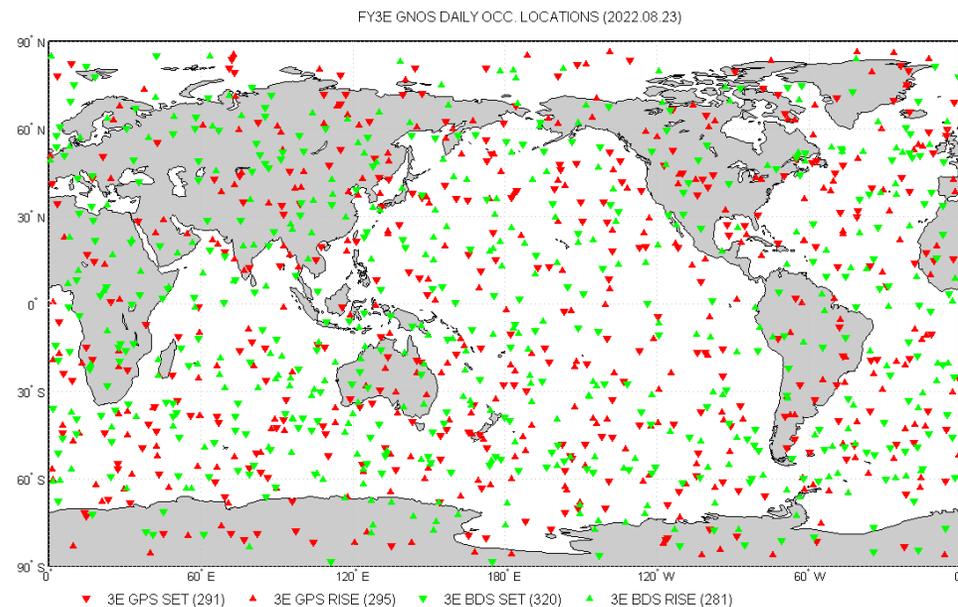


### FY3E 折射率产品日数量统计图



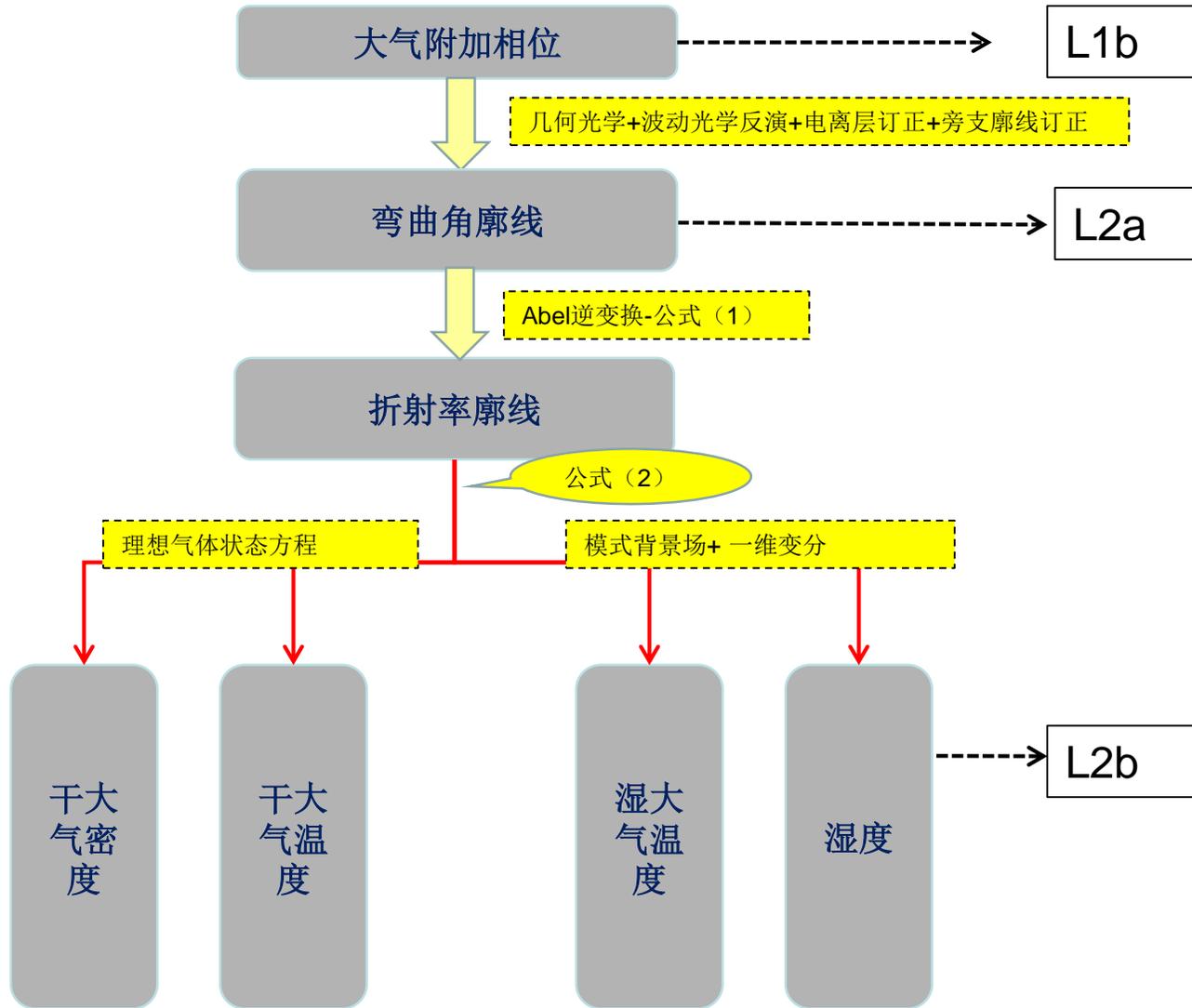
2022年5月10日-5月20日

### 一天内发生掩星事件空间分布



单颗接收机接收单个导航星座数量平均约550次

# 大气掩星产品算法概况



公式 (1) :

$$n(x) = \exp \left[ \frac{1}{\pi} \int_x^{\infty} \varepsilon(p) (p^2 - x^2)^{-\frac{1}{2}} dp \right],$$

公式 (2) :

$$N = 77.6 * \frac{P_d}{T} + \frac{3.73 * 10^5 * e}{T^2} + \frac{77.6 * e}{T}$$

理想气体状态方程下的大气密度为:

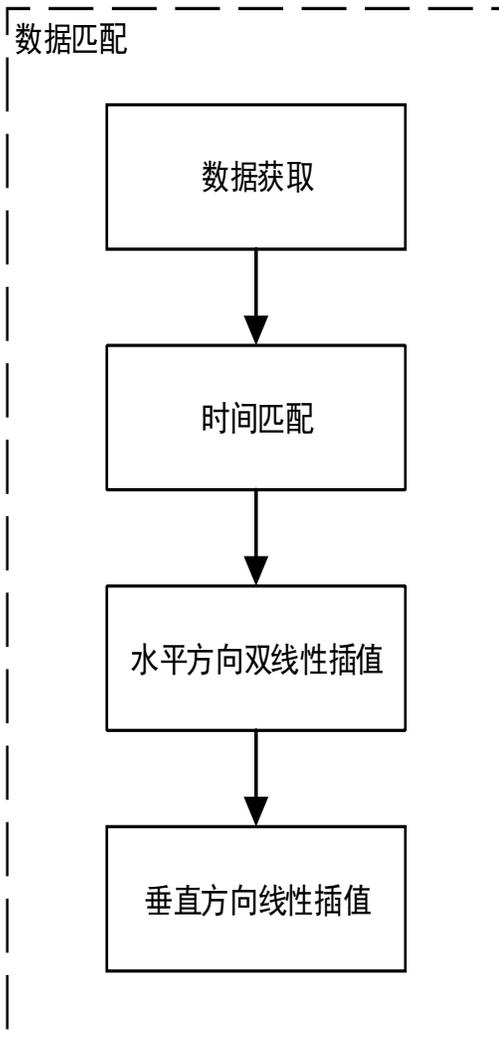
$$\rho = \frac{M P}{R T} = \frac{M}{77.6 R} N$$

静力平衡方程:  $dP = -\rho g dh$

1Dvar 价值函数方程:

$$J(x) = \frac{1}{2} (x - x_b)^T B^{-1} (x - x_b) + \frac{1}{2} (y_o - H[x])^T O^{-1} (y_o - H[x])$$

## 2、大气掩星产品质量



### 时空匹配原则:

1. 与ERA5, 水平最近点原则, 时间30分钟内; 垂直上以掩星的几何高度为准, 均插值为200m间隔。

### 要素匹配:

弯曲角: 
$$\alpha(a) = -2a \int_a^{\infty} \frac{1}{\sqrt{x^2 - a^2}} \frac{d \ln(n)}{dx} dx$$

折射率: 
$$N = 77.6 * \frac{P_d}{T} + \frac{3.73 * 10^5 * e}{T^2} + \frac{77.6 * e}{T}$$

密度: 
$$\rho = \frac{MP}{RT} = \frac{M}{77.6R} N$$

### 不同要素:

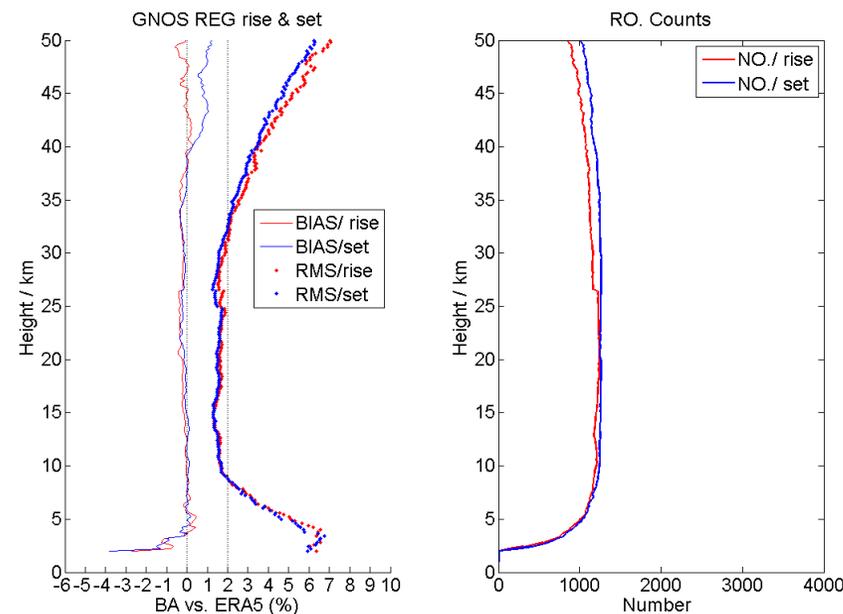
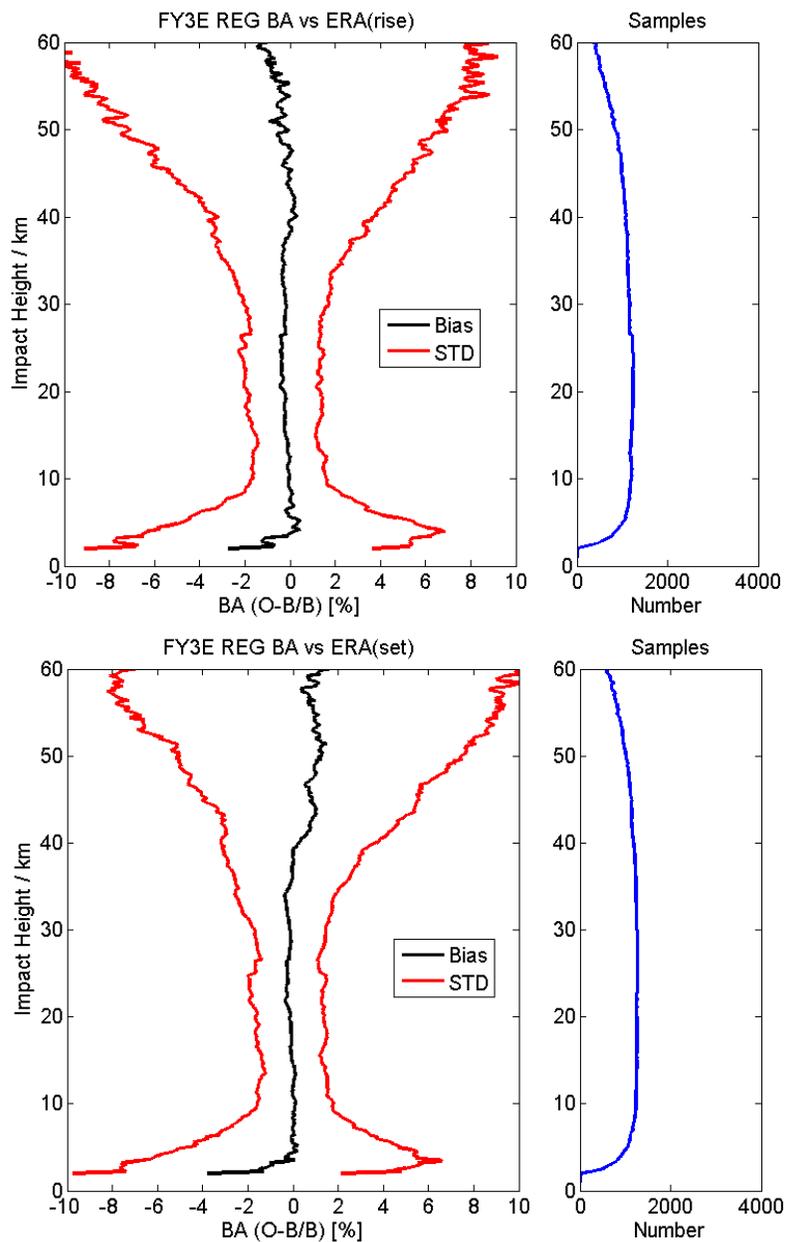
1. 弯曲角:  $O-B/B*100\%$
2. 折射率:  $O-B/B*100\%$
3. 密度:  $O-B/B*100\%$
4. 气压:  $O-B$
5. 温度:  $O-B$
6. 湿度:  $O-B$

### 质控方案:

离群数据剔除、 $3*std$ 剔除;

在以上的计算基础上, 求取**平均偏差和均方根误差**的廓线统计、时间和空间分布等。

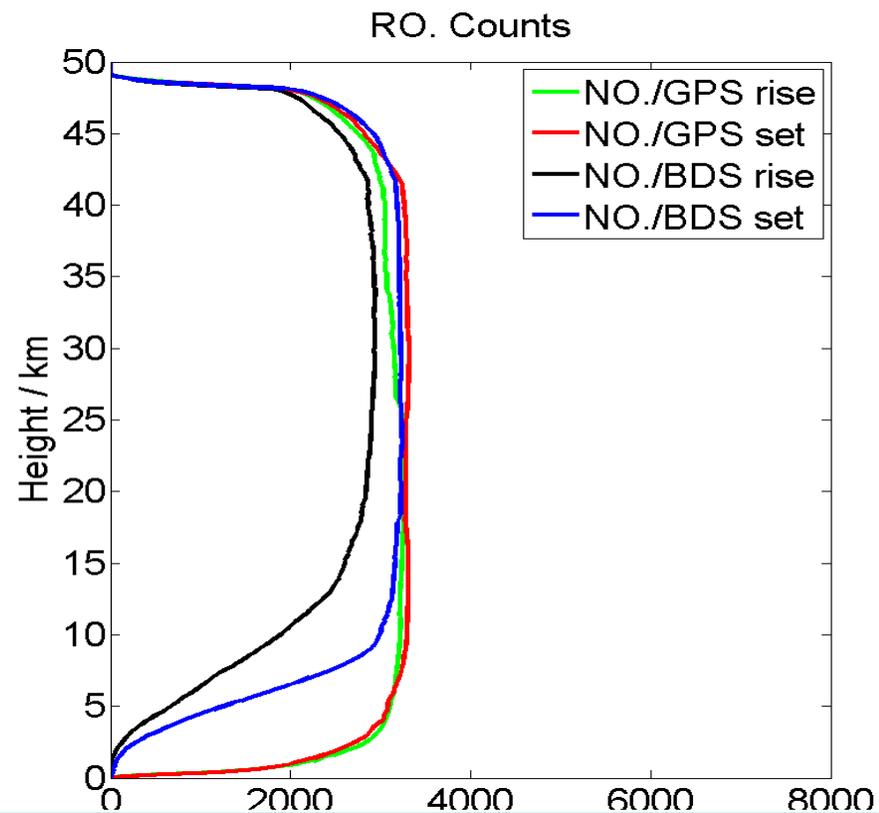
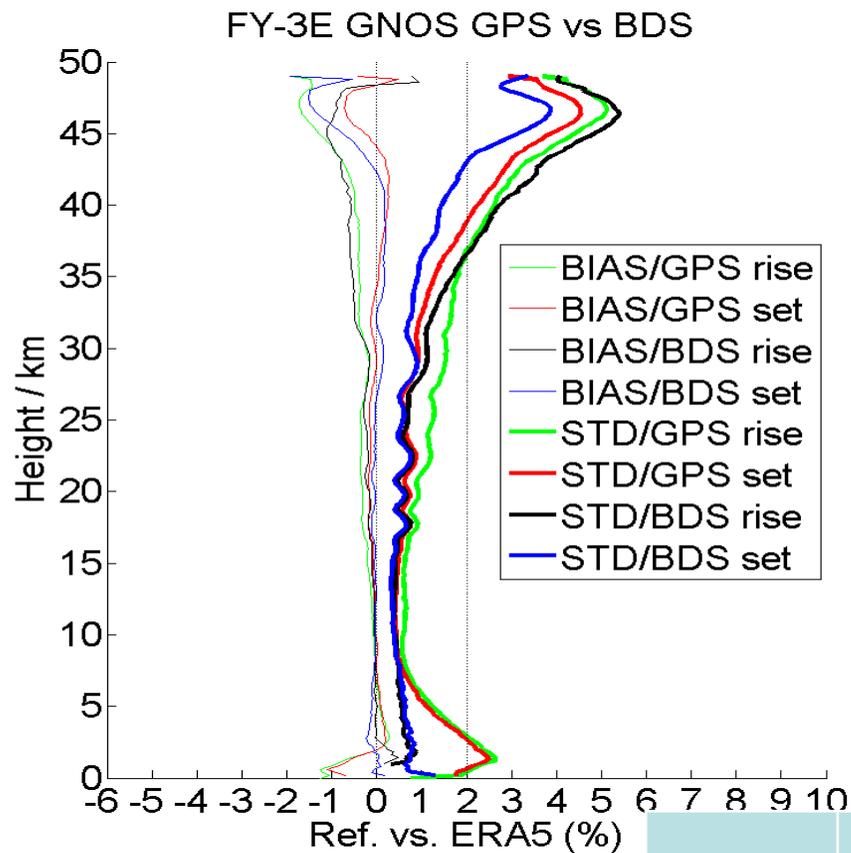
# 产品质量：GPS弯曲角



	0-50 km		0-5 km		5-35 km		35-50 km	
	偏差	标准偏差	偏差	标准偏差	偏差	标准偏差	偏差	标准偏差
RISE	-0.24	3.94	-0.44	6.16	-0.19	1.91	-0.07	4.55
SET	0.22	3.66	-0.72	5.92	-0.11	1.80	0.56	4.12

- 弯曲角误差垂直分布特征符合国内外掩星特征
- 5-35km平均偏差在-0.15%，标准偏差在1.85%

# 产品质量：GPS与北斗掩星折射率

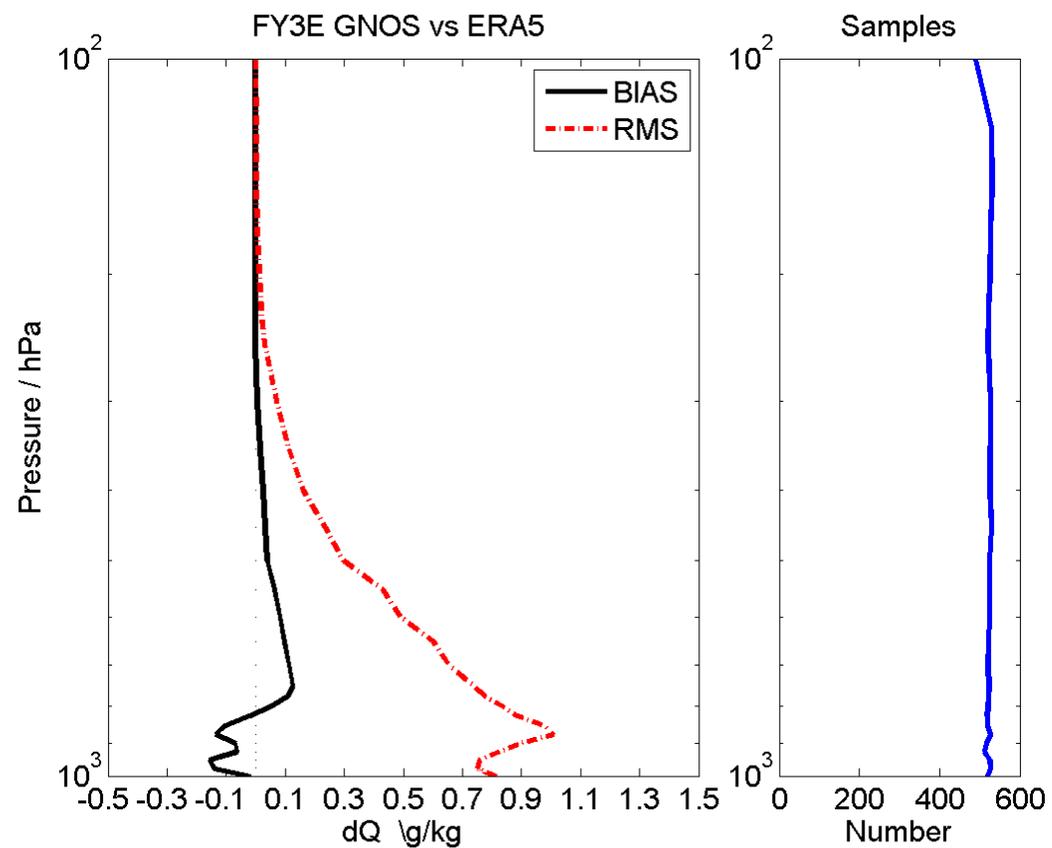
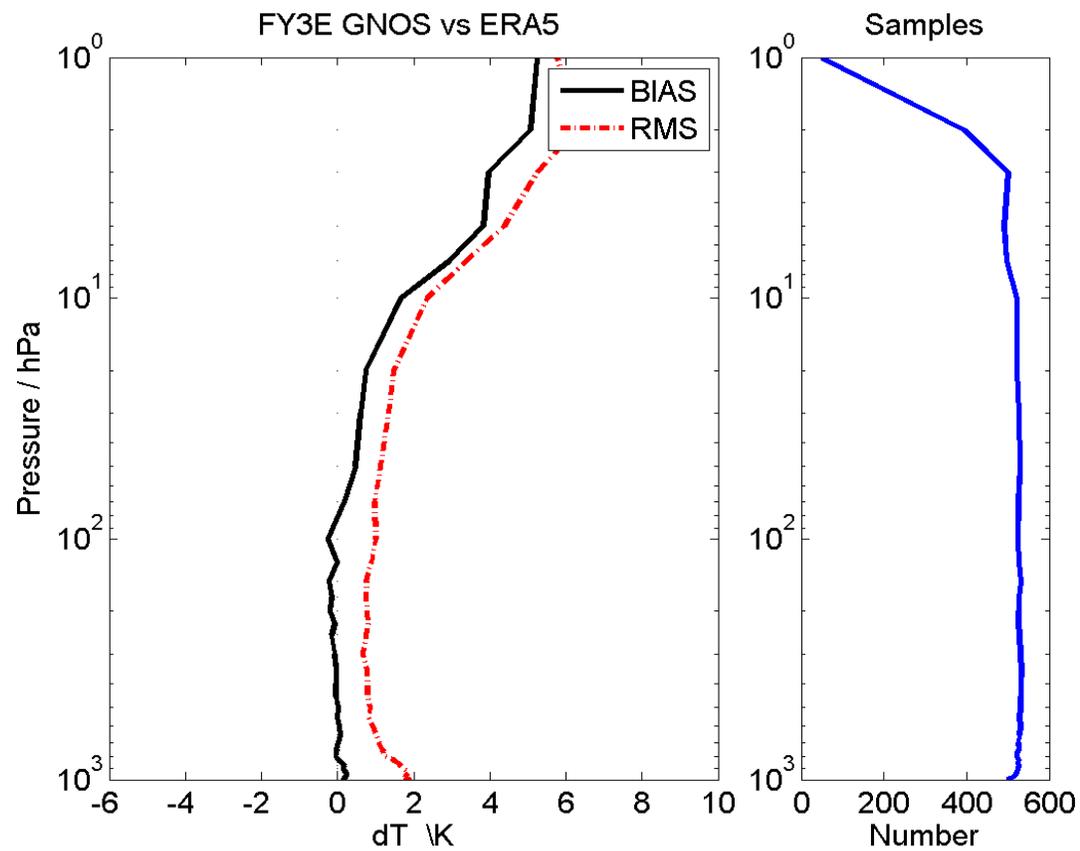


- 折射率在5-35km范围内精度最高
- GPS与北斗差异不大

	0-50 km		0-5 km		5-35 km		35-50 km	
	偏差	标准偏差	偏差	标准偏差	偏差	标准偏差	偏差	标准偏差
GPS RISE	-0.41	1.79	-0.22	1.94	-0.23	<b>1.06</b>	-0.87	3.32
GPS SET	-0.07	1.44	-0.15	1.86	-0.08	<b>0.71</b>	-0.03	2.86
BDS RISE	-0.31	1.53	0.1	0.65	-0.19	<b>0.72</b>	-0.67	3.52
BDS SET	-0.12	1.04	-0.09	0.74	-0.01	<b>0.57</b>	-0.35	2.15

# 产品质量：温度与湿度廓线

O-B的平均偏差与标准偏差



## 产品中已知的问题

- 折射率和弯曲角：40km高度之上，上升和下降掩星之间仍有微小偏差。
- 温度：30km高度之上，受采用的背景场数据和掩星信噪比降低等综合因素影响，均方根误差和偏差较大。
- 北斗掩星廓线产品：由于开环数据处理还在优化中，10km以下有效观测较少，探测高度较高，尤其是上升掩星。

### 3、产品格式说明及使用指南

- 产品为NetCDF格式；
- 一个掩星事件一个.NC文件；
- 产品目录分为：GPS干大气产品、GPS湿大气产品、北斗干大气产品、北斗湿大气产品

每个掩星文件中，科学数据之外，还包括掩星的地理、时间、方位角等参数信息

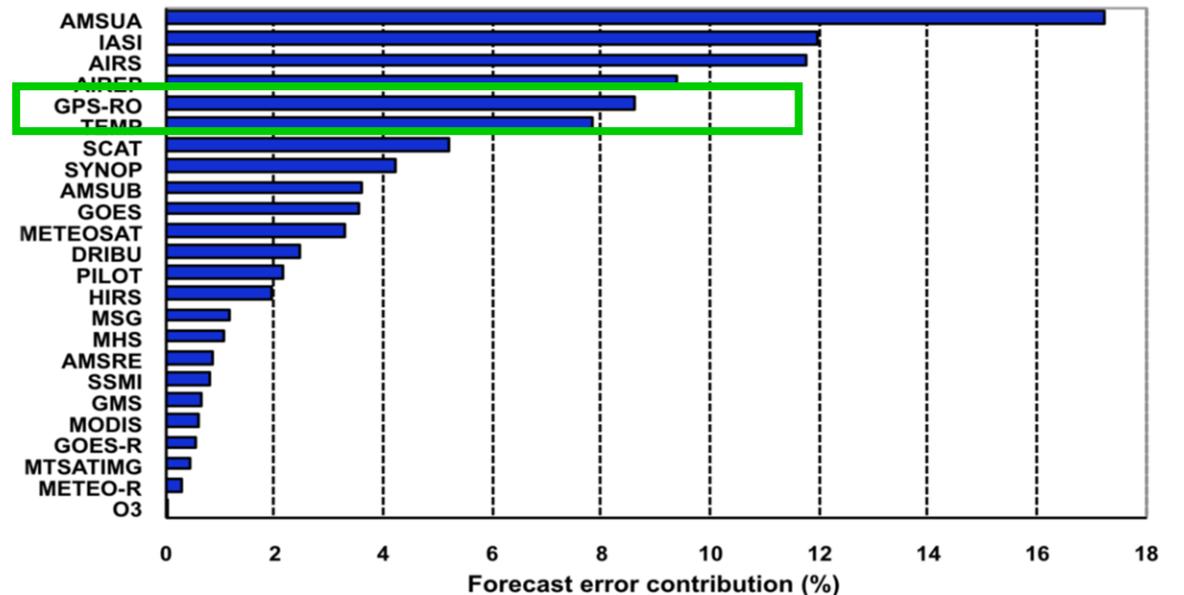
Name	Long Name	Type
FY3E_GHOSO_ORBT_L2_ATP_MLT_JUL_20210815_0026_R... GHOS Radio Occultation refractivity and dry air data Local File		
Azim	GHSS to LEO azimuth	1D
Bend_ang	bending angle	1D
Bend_ang_L1	L1 bending angle	1D
Bend_ang_L2	L2 bending angle	1D
Dens	density	1D
Geop	the geopotential height above the Earths surface	1D
Geop_Ref	the Ref. geopotential height above the Earths surface	1D
Impact_parm	Impact parameter	1D
Impact_parm_L1	L1 Impact parameter	1D
Impact_parm_L2	L2 Impact parameter	1D
Lat	Latitude for tangent points	1D
Lon	Longitudes for tangent points	1D
MSL_alt	the dry air para. geometric height above the Earths surface	1D
MSL_alt_Ref	the Ref. geometric height above the Earths surface	1D
Opt_Bend_ang	bending angle optimised	1D
Opt_Impact_parm	Impact parameter optimised	1D
Pres	pressure	1D
Ref	refractivity	1D
Temp	temperature	1D
FY3E_GHOSO_ORBT_L2_WAP_MLT_JUL_20220101_0002_R... GHOS Radio Occultation wet air data Local File		
Geop	the geopotential height above the Earths surface	1D
MSL_alt	the geometric height above the Earths surface	1D
Pres	pressure	1D
Shum	specific humidity	1D
Temp	temperature	1D

# 4、产品应用潜力

## Scientific Uses of Radio Occultation Data

- **Weather**
  - Improve global weather analyses, particularly over data sparse regions such as the oceans, tropics, and polar regions
  - Increase accuracy of numerical weather forecasts
  - Improve understanding of tropical, mid-latitude and polar weather systems and their interactions
- **Ionosphere and Space Weather**
  - Observe global electronic density distribution
  - Improve the analysis and prediction of space weather
  - Improve monitoring/prediction of scintillation (e.g. equatorial plasma bubbles, sporadic E clouds)
- **Climate**
  - Monitor climate change and variability with unprecedented accuracy- **World's most accurate, precise, and stable thermometer from space!**
  - Evaluate global climate models and analyses
  - Calibrate infrared and microwave sensors and retrieval algorithms

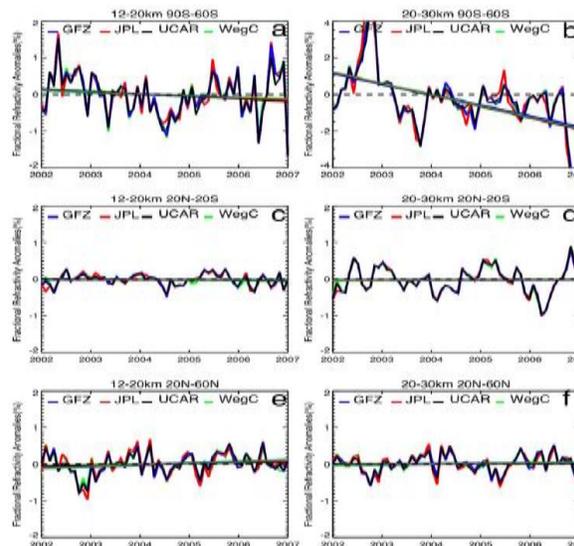
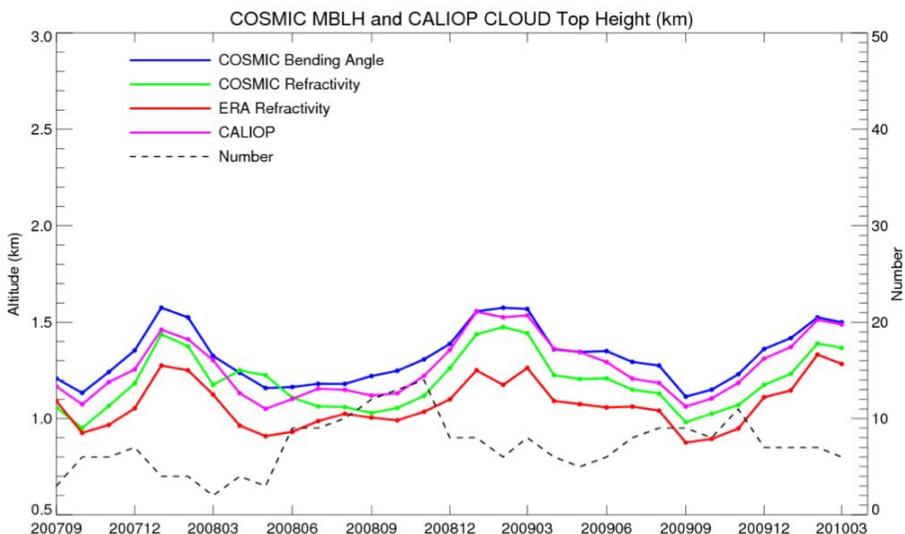
- **NWP**
- 天气分析
- 气候应用等等



Cited from Louis Uccellini's PPT at Eighth FORMOSAT--3/COSMIC Data Users' Workshop

# 4、产品应用潜力

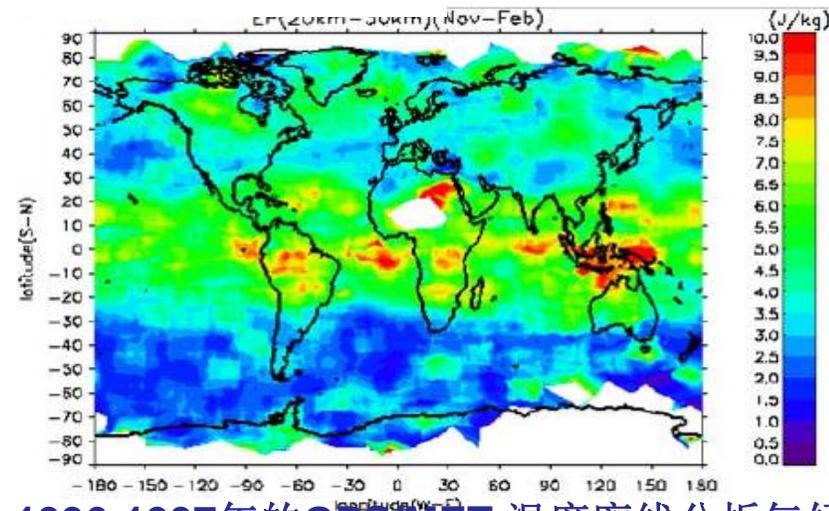
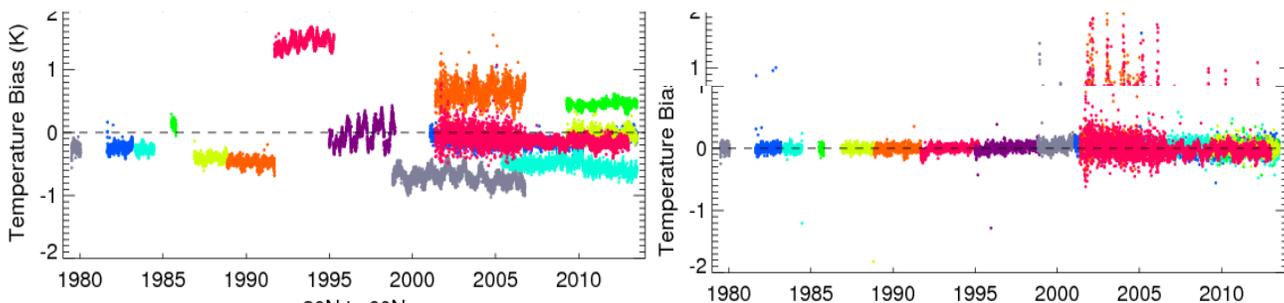
- 云顶高度的研究 Ho et al., 2015, J. of Climate



- 多种RO资料-折射率的变化趋势，进入IPCC报告，作为重要的数据源用于研究气候变化趋势

(Ho et al., 2009c).

- 利用RO对 MSU/AMSU 观测进行定标 Ho, S.-P., 2014



- 1996-1997年的GPS/MET 温度廓线分析气候态重力波的分布；(Tsuda et al., 2000).

## 5、小结

---

- FY3E大气掩星廓线产品的质量，总体来说保持较高的探测质量，能够用于实时业务资料同化系统，用于天气预报。
- 在气候方面的应用潜力，风云掩星大气产品值得期待。

**欢迎应用FY-3E 大气掩星产品，提出宝贵反馈意见**

**联系方式：廖蜜（13426197455）**

**邮箱：[liaomi@cma.gov.cn](mailto:liaomi@cma.gov.cn)**