

文章编号: 2096-1618(2020)02-0163-07

# 基于 MeteoInfoLab 葵花卫星 HSD 格式解码与反演计算

刘辉权<sup>1</sup>, 张东海<sup>2,3</sup>, 陈宏华<sup>4</sup>, 胡 壮<sup>1</sup>

(1. 民航西南空管局气象中心, 四川 成都 610202; 2. 贵州省气候中心, 贵州 贵阳 550002; 3. 贵州省山地气候与资源重点实验室, 贵州 贵阳 550002; 4. 民航深圳空管站, 广东 深圳 518000)

**摘要:**为提升小机场航空天气预报准确率,增加小机场航空气象短临服务产品,高效使用葵花卫星资料。从航空气象服务需求和实际应用出发,详细介绍了从互联网获取葵花卫星 HSD 数据,利用 MeteoInfoLab 脚本方式实现解码,反演计算亮温、云顶高度、深对流识别产品。MeteoInfoLab 解码葵花卫星 HSD 格式数据效率高,投影转换简单,绘图美观。解决了经济条件有限的小机场民航气象部门葵花卫星数据解码技术难题,为小机场航空气象的短临预报提供了帮助。

**关键词:**航空气象;葵花卫星 HSD 数据;MeteoInfoLab;反演计算;云顶高度;深对流识别

**中图分类号:** TP399

**文献标志码:** A

**doi:** 10. 16836/j. cnki. jcuit. 2020. 02. 007

## 0 引言

目前新一代葵花卫星是葵花 8 和 9 卫星,2014 年 10 月,日本发射葵花 8 卫星,2016 年 11 月发射葵花 9 卫星;葵花 8 气象卫星将观测通道由 5 个增加到 16 个,它具有 3 个可见光,3 个近红外和 10 个红外通道。同时具有更高的时间和空间分辨率,其中可见光通道云图分辨率达到 0.5 km,近红外和红外通道云图分辨率达到 1 到 2 km,全盘图观测频率达到 1 次/10 min。葵花 8 卫星堪称目前世界上最先进的气象卫星,它的运用为中尺度天气监测和预报提供了一种更加先进更为有效的工具。

由于葵花 8 卫星观测频率高,对天气系统的生消能够很清晰的反映,能够监测雾,提前识别对流云团,冰云等。王宏斌等<sup>[1]</sup>研究指出可以基于葵花卫星在夜间识别不同等级的雾;张夕迪等<sup>[2]</sup>指出,葵花卫星较风云卫星平均提前 23 min 发现对流云图,较雷达平均提前 33 min;朝鲁门等<sup>[3]</sup>通过对葵花卫星亮温研究,指出白天可以有效识别冰云。葵花卫星产品对天气系统识别有很重要的意义,尤其是航空方面的应用,更是突出了它的实用价值。通过葵花卫星的高时效性,可以快速确定天气系统位置、发展趋势,对飞机安全飞行有很高的指示意义,能避免一些危险天气对飞机的影响。目前有条件的民航机场气象部门的葵花卫星数据接收主要依托于河海科技、航管科技和钺云科技提供的葵花气象卫星接收处理应用平台,利用软件平台提

供的云顶高度、强对流识别、雾识别、冰云等反演产品初步实现民航短临预报应用。但是很多小机场民航气象部门由于经济条件限制,无法购买获取相关的葵花卫星资料,无法利用软件系统反演产品做短临预报。对于缺乏气象雷达覆盖的西部地区小机场,短临预报的准确率普遍不高,尤其是在没有卫星产品支持的情况下,短临预报显得更困难。

为解决小机场民航气象部门获取葵花卫星数据困难的问题,可以通过互联网下载葵花 8 卫星 HSD 格式数据来解决,但目前国内民航部门对葵花 8 卫星 HSD 格式数据详细解码与反演计算应用较少,仍以河海科技、航管科技和钺云科技接收的二次转换 GPF、IMG 或软件图片数据格式为主。因此详细的葵花 8 卫星 HSD 格式数据解码与反演计算方法对小机场民航气象部门显得迫切需要,可以实现自行解码应用,节约成本,为航空气象的短临预报提供帮助。

以日本气象厅 JMA 在互联网发布的葵花 8 卫星 HSD(himawari standard data,葵花标准数据格式)为研究对象,用中国气象科学研究院王亚强<sup>[4]</sup>提供的 MeteoInfoLab 对葵花 8 卫星 HSD 格式数据解码,并结合航空气象服务反演计算出适用于民航气象预报的反演产品,包括亮温、云顶高度和深对流识别等产品。

## 1 HSD 数据介绍

葵花 8 卫星数据产品在 JAXA 的 P-Tree 数据服务网上简单注册后便可免费下载,下载地址: <http://www.eorc.jaxa.jp/ptree/>。P-Tree 数据网提供的数据

产品包括葵花卫星 HSD 数据、真彩色 PNG 图和 NetCDF 格式的 2000 m 和 5000 m 分辨率 L1 级数据、2000 m 分辨率的全球海表温度、5000 m 分辨率的全球气溶胶、短波辐射/光合有效辐射、全球叶绿素 a 浓度和云属性数据以及 CSV 格式的 2000 m 全球火点数据。

葵花卫星 HSD 格式数据是日本气象厅针对葵花 8 和葵花 9 产品而设计的格式,从互联网 JAXA 的 P-Tree 数据服务器上获取的葵花卫星灰度图产品均是 HSD 格式。

### 1.1 卫星通道介绍

葵花 8 卫星是日本设计的第 3 代气象卫星,设计寿命为 15 年以上的地球静止卫星,有 16 个波段,具体波段信息见表 1。

表 1 葵花卫星通道信息及用途

通道号	波长/ $\mu\text{m}$	每像素的有效位数	各通道主要用途
1	0.47	11	植被、气溶胶观测、彩色图像合成
2	0.51	11	植被、气溶胶观测、彩色图像合成
3	0.64	11	下层云(雾)观测、彩色图形合成
4	0.86	11	植被、气溶胶观测
5	1.6	11	对各种云相进行识别
6	2.3	11	对云滴有效半径进行观测
7	3.9	14	对下层云(雾)、自然灾害进行观测
8	6.2	11	上、中层水汽进行观测
9	6.9	11	对中层水汽进行观测
10	7.3	12	对中、上层水汽进行观测
11	8.6	12	对云相进行识别、对 SO <sub>2</sub> 进行检测
12	9.6	12	计算测量臭氧总量
13	10.4	12	对云的图像、云顶情况进行观测
14	11.2	12	对云的图像、海面水温进行观测
15	12.4	12	对云的图像、海面水温进行观测
16	13.3	11	测量云层高度

### 1.2 卫星观测介绍

葵花 8 号卫星观测范围分为全球模式(Full DISK)、日本区域模式(Japan Area)、目标区域模式(Target Area)、地标区域模式(LandMark Area)。其中全球模式 10 分钟 1 次更新,每天 144 次观测;日本区域模式 2.5 分钟 1 次更新,每天 576 次观测;目标区域模式 2.5 分钟 1 次更新,每天 576 次观测;地标区域模式每 30 秒 1 次更新,每天 2880 次观测。

对于中国,本文选取的数据以全球模式数据为解码研究对象,其中 3 号通道像素点为 484000000 个点,

东西向各 22000 个点;1、2 和 4 号通道像素点为 121000000 个点,东西向各 11000 个点;5 至 16 号通道像素点为 30250000 个点,东西向各 5500 个点。

### 1.3 HSD 数据文件命名规则

葵花卫星 HSD 格式数据文件名为 HS\_aaa\_yyyym-mdd\_hhnn\_Bbb\_cccc\_Rjj\_Skkll.DAT。

其中:aaa 表示卫星编号,“H08”表示葵花 8 卫星,“H09”表示葵花 9 卫星;yyyymmdd\_hhnn 表示年月日与小时分钟;Bbb 表示葵花卫星通道号,例如 14 号通道为“B14”;cccc 表示观测模式,本文选取全球模式,表示“FLDK”,其余还有“JPee”“R3ff”“R4gg”等,分别表示日本区域模式、目标区域模式、地标区域模式等;Rjj 表示分辨率,其中“R05”表示 0.5 km,“R10”表示 1 km,“R20”表示 2 km,kk 表示数据编号,其中 01 至 05 编号表示北半球数据,06 至 10 表示南半球数据,ll 表示每次葵花卫星观测数据被分成的文件数,默认为 10 个文件。

### 1.4 HSD 数据结构

HSD 文件分为 12 个模块,具体模块信息见表 2。

表 2 HSD 数据文件结构模块

模块	模块名
#1	文件基本信息模块
#2	文件数据信息模块
#3	卫星投影信息模块
#4	卫星导航信息模块
#5	卫星校正信息模块
#6	国际校正信息模块
#7	分割段信息模块
#8	卫星导航修正信息模块
#9	卫星观测时间信息模块
#10	错误信息模块
#11	空白保留模块
#12	数据模块

## 2 读取数据核心代码与方法

读取 HSD 格式数据,核心在于用 MeteoInfoLab 封装 Jython 语言提供的处理二进制文件的 struct 包进行分模块读取数据,然后利用 MeteoInfoLab 提供的地理信息分析功能与图形显示功能,选择所需要的投影方式进行卫星云图绘制。

## 2.1 HSD 文件读取

读取 HSD 文件各模块信息与数据的核心 MeteoInfoLab 代码如下:

```
def read_h8 (fn):
    f = open(fn, 'rb') #打开文件
    hlen = 0
    #1 文件基本信息模块
    f.read(282)
    hlen += 282
    #2 文件数据信息模块
    f.read(5)
    ncol, = struct.unpack('<h', f.read(2))
    nrow, = struct.unpack('<h', f.read(2))
    f.read(41)
    hlen += 50
    #3 卫星投影信息模块
    f.read(3)
    sublon = struct.unpack('<d', f.read(8))
    f.read(8)
    sx, = struct.unpack('<f', f.read(4))
    sy, = struct.unpack('<f', f.read(4))
    f.read(127-27)
    hlen += 127
    #4 卫星导航信息模块
    f.read(139)
    hlen += 139
    #5 卫星校正信息模块
    f.read(147)
    hlen += 147
    #6 国际校正信息模块
    f.read(259)
    hlen += 259
    #7 分割段信息模块
    f.read(3)
    tns, = struct.unpack('b', f.read(1))
    ssn, = struct.unpack('b', f.read(1))
    fln, = struct.unpack('<h', f.read(2))
    f.read(40)
    hlen += 47
    #8 卫星导航修正信息模块
    f.read(1)
    blen, = struct.unpack('<h', f.read(2))
    f.read(blen-3)
```

```
hlen += blen
    #9 卫星观测时间信息模块
    f.read(1)
    blen, = struct.unpack('<h', f.read(2))
    f.read(blen-3)
    hlen += blen
    #10 错误信息模块
    f.read(1)
    blen, = struct.unpack('<h', f.read(2))
    f.read(blen-3)
    hlen += blen
    #11 空白保留模块
    f.read(259)
    hlen += 259
    f.close()
    #数据模块
    data = binread(fn, [nrow, ncol], 'short', skip =
hlen)
    data = data.astype('float')
    data[data<0] = nan
    return data, ncol, nrow, fln #返回数据,列,行
与分隔文件数
```

## 2.2 投影转换

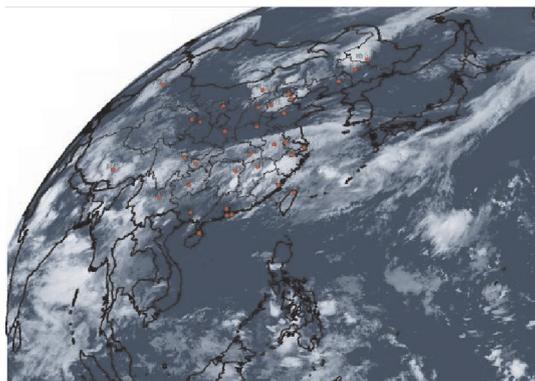
由于葵花卫星 HSD 格式数据投影为全圆盘投影方式,由于卫星星下点中心位置关系,中国西部地区显示不清晰,这种显示不方便预报员对西部地区云图细节的分析,所以需要转换为其他方式的投影。利用 MeteoInfoLab 强大的地理分析功能,将全圆盘投影转换为墨卡托投影方式展示卫星云图。

以下为葵花 8 卫星 14 号通道北半球全圆盘投影转换为墨卡托投影的核心代码:

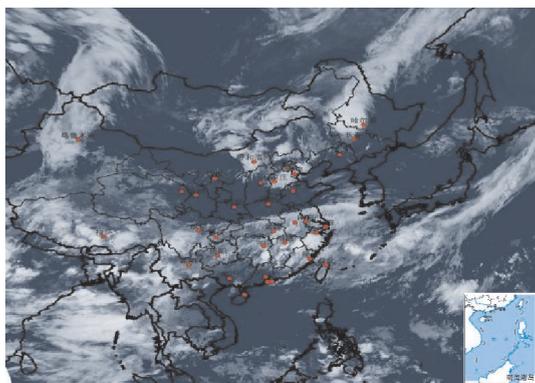
```
sx = -5500000
sy = 0
x = arange1(sx, ncol, 2000)
y = arange1(sy, nrow, 2000)
data = dim_array(data, [y, x])
proj = projinfo(proj = 'geos', lon_0 = 140.7, h =
35785863)
data.proj = proj
toproj = projinfo(proj = 'merc')
data = data.project(toproj = toproj, method = 'near-
east')
```

通过 MeteoInfoLab 绘制全圆盘投影,如图 1(a)所

示,投影转换为墨卡托投影之后如图1(b),由此可见,从全圆盘投影图,预报员很难分析西南地区的云图细节,而墨卡托投影则能很好的反应出云图细节。



(a) 全圆盘投影



(b) 墨卡托投影

图1 2019年7月2日19:10 葵花8卫星14号通道灰度图全圆盘投影和墨卡托投影

### 3 产品反演

葵花8卫星HSD格式数据为原始灰度图,为适应航空气象应用,需要辐射订正,进行亮温反演计算。在航空运行中,强对流天气对飞行影响最大,危害最大,通过卫星灰度图反演计算出云顶高度和深对流有助于飞机绕开危险天气区域,降低危险天气对飞机正常飞行的影响。以下详细介绍利用葵花8卫星14通道亮温反演、云顶高度反演与深对流识别计算方法和应用。

#### 3.1 亮温反演

亮温反演计算,需要对红外云图灰度值进行辐射定标,再根据普朗克公式计算出辐射亮温,最后对辐射亮温进行非线性订正得到最终红外辐射亮温值。

云图红外灰度值  $C_e$  与辐射亮度值  $R$  有确定的数学关系

$$R = \text{Slope} \times C_e + \text{Intercept} \quad (1)$$

其中,  $\text{Slope}$  和  $\text{Intercept}$  为定标系数,由HSD数据头文件中第5模块可以读取,  $\text{Slope}$  为  $-3.50270078 \times 10^{-3} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m} \cdot C_e)$ ,  $\text{Intercept}$  为  $14.18594596 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \mu\text{m})$ 。

由普朗克公式计算辐射亮温  $T_e$ :

$$T_e = \frac{hc}{k\lambda} \frac{1}{\ln\left(\frac{2hc^2}{\lambda^5 R} + 1\right)} \quad (2)$$

其中,  $h$  为普朗克常数  $6.62606957 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ,  $c$  为光速  $2.99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$ ,  $k$  为玻尔兹曼常数  $1.3806488 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $\lambda$  为14号通道波长  $1.12395 \times 10^{-7} \text{ m}$ 。

由非线性辐射亮温订正公式计算红外亮温  $T_b$ :

$$T_b = C_0 + C_1 T_e + C_2 T_e^2 \quad (3)$$

式中,  $C_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$  为非线性订正系数,分别可以从HSD数据头文件第5模块读取,其中,  $C_0 = -0.242669941 \text{ K}$ ,  $C_1 = 1.0022631$ ,  $C_2 = -4.40065216 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 。

利用MeteoInfoLab读取HSD第5模块校正系数核心代码如下:

```
fn = "F:/hsd/data/HS_H08_20190704_1500_B14_FLDK_R20_S0110.DAT" #数据文件路径
f = open(fn, 'rb')
f.read(598)
#5 Calibration information block
f.read(19)
Slope = struct.unpack('<d', f.read(8))
Intercept = struct.unpack('<d', f.read(8))
C0 = struct.unpack('<d', f.read(8))
C1 = struct.unpack('<d', f.read(8))
C2 = struct.unpack('<d', f.read(8))
f.read(24)
c = struct.unpack('<d', f.read(8))
h = struct.unpack('<d', f.read(8))
k = struct.unpack('<d', f.read(8))
```

#### 3.2 云顶高度反演

对于云顶高度的反演,传统方法是利用温-压廓线方法来获得云顶温度计算出云顶高度,但这种方法比较局限,在民航部门温-压廓线探测设备缺乏或较稀疏,相关的温-压廓线探测资料不够或缺失;另外温-压廓线本身的误差也会导致云顶高度计算误差较大。为了能够简化计算,在民航运行中高效利用葵花8卫星资料,在文中考虑利用统计方法,将Cloudsat卫星上的云剖面雷达CPR的雷达回波顶高数据和葵花8卫星14通道云顶亮温拟合,从而建立通过云顶亮温计算云顶高度的简单反演算法<sup>[5]</sup>。

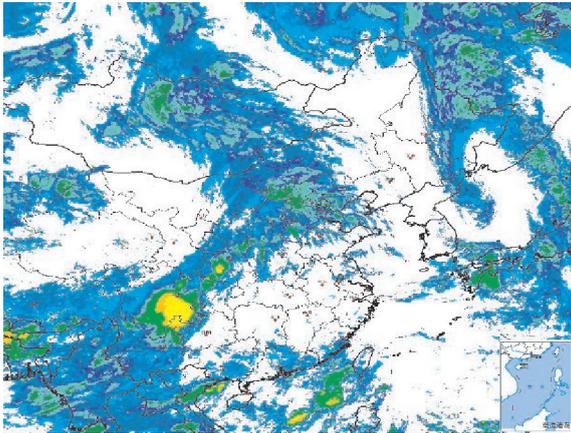
通过统计分析发现,夏半年(5-10月)云发展高度较冬半年(11-4月)高,因此按照夏半年和冬半年两种方式,分别建立了云顶高度计算公式:

$$CTH = -0.1676065 \times T_b + 46.9125 \quad (4)$$

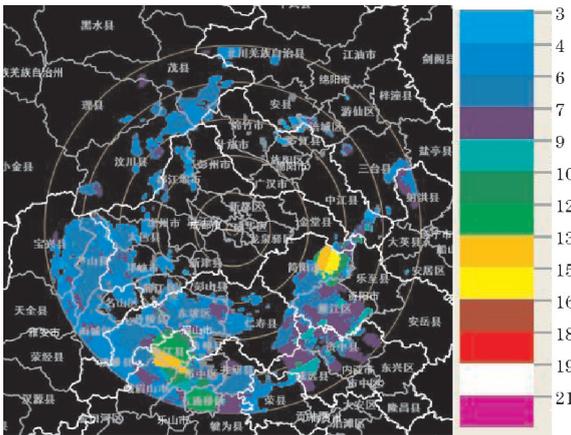
$$CTH = -0.153835 \times T_b + 39.7531 \quad (5)$$

其中,  $T_b$  为云顶亮温,单位 K, CTH 为云顶高度,单位为 km,式(4)表示夏半年的云顶高度反演公式,式(5)表示冬半年云顶高度反演公式。

以 2019 年 7 月 22 日 11 时的葵花 8 卫星数据为例,通过 MeteoInfoLab 绘制的 14 号通道的云顶高度反演效果图 2,由图可见,四川盆地云顶高度较高,云团顶高在 12~15 km,强对流云团发展旺盛,而对比同时时间段的成都雷达图可知,成都西南侧回波顶高最大值也在 12~15 km,范围略小于卫星反演的区域。在航空飞行中,云顶高度超过 8 km 高度对飞行有明显影响,需要绕飞,云顶高度超过 13 km,强对流发展比较旺盛,雷暴活动剧烈,对飞行危害较大。由对比图 2 可知,该反演算法能够计算出反应出强对流天气的发展高度,对航空飞行有一定的指示意义。



(1) 11:00 葵花 8 卫星 14 通道云顶高度反演效果图



(2) 10:58 成都雷达回波顶高图

图 2 2019 年 7 月 22 日葵花卫星云顶高度反演与成都雷达回波顶高对比

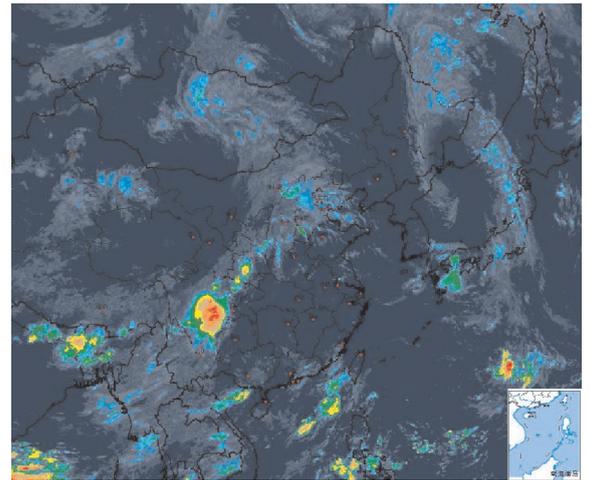
### 3.3 深对流识别

在研究大气运动时,常将系统的垂直尺度  $D$  与其余密度尺度  $H$  之比  $D/H$  分类,  $D/H < 1$  称为浅对流;  $D/H \approx 1$  称为深对流。对于深对流识别,深对流指数能够很好地反映对流层中低层的稳定度情况和对流潜势发展趋势。利用 Nitta 等<sup>[6]</sup>提出的用云顶黑体相当温度表示深对流指数(DCI),并结合对航空运行的影响,DCI 可定义为

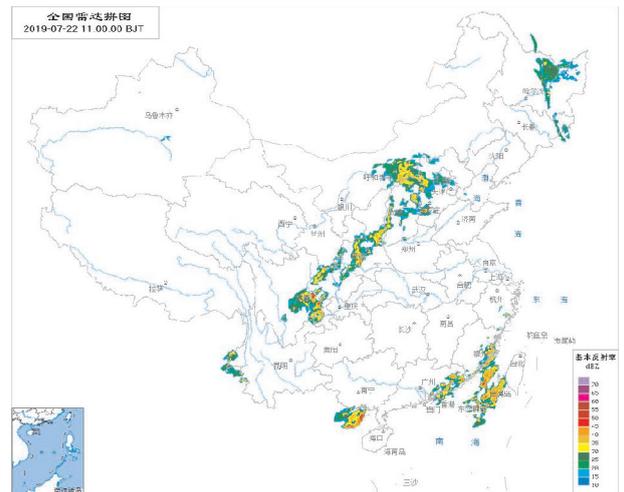
$$DCI_{NS} = \begin{cases} 260 - T_b & T_b < 260 \text{ K} \\ 0 & T_b \geq 260 \text{ K} \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $T_b$  表示云顶亮温,其值越小,深对流指数值越大,预示着此区域发生强对流的概率就越大<sup>[7]</sup>。

图 3 为中国 2019 年 7 月 22 日 11 时的葵花 8 卫星的深对流识别图与雷达反射率拼图,由图 3(a)、(b)



(a) 深对流识别图



(b) 雷达反射率拼图

图 3 2019 年 7 月 22 日 11 时深对流识别图和雷达反射率拼图

对比可知,在四川盆地、陕西、河北等地形成带状强对流云带和华南沿海、台湾地区的分散强对流云团均有很好的对应,其中尤其以四川盆地强对流系统最为明显。由此可见,深对流识别算法能够有效识别出强对流天气系统,与实况雷达数据有很好的对应关系。在民航运行中,西部高原局地小机场在缺乏雷达有效覆盖的情况下,通过葵花卫星反演深对流识别,也能够对强对流天气有效预警,对飞机保障飞机安全正常运行提供了帮助。

### 3.4 可见光全彩色图

葵花8卫星HSD格式数据可以通过1、2和3通道制作可见光全彩色图,全彩色可见光图对于航空气象预报员和飞行机组人员均能直观反应出强对流天气区,对航空运行有比较重要的意义。可见光的3个通道分别对应RGB的三原色,其中红色对应的是3号通道,绿色对应的是2号通道,蓝色对应的是1号通道,利用MeteoInfoLab脚本实现可见光全彩色云图,其实现的核心代码如下,效果如图4所示。

```
figure(bgcolor=None,figsize=[2000,2000],newfig=True)
toproj = projinfo(proj='merc')
rdata1 = rdata.project(toproj=toproj,method='nearest')#3号通道数据投影转换
gdata1 = gdata.project(toproj=toproj,method='nearest')#2号通道数据投影转换
bdata1 = bdata.project(toproj=toproj,method='nearest')#1号通道数据投影转换
ax = axesm(projinfo=toproj,bgcolor=None,position=[-0.16,-0.1755,1.35,1.35],xyscale=1.35,tickfontsize=12,axison=False,gridlabel=False,frameon=False)
geoshow('country',size=4,edgecolor='black')
geoshow('cn_province',size=2,edgecolor='black')
geoshow('res1_4m',facecolor='r',size=10,labelfield='NAME',fontname=u'黑体',fontsize=18,yoffset=16)
layer = imshowm([rdata1,gdata1,bdata1],proj=ax.proj)
imgelib.hsb_adjust(layer,h=0,s=0.2,b=0.2)
```

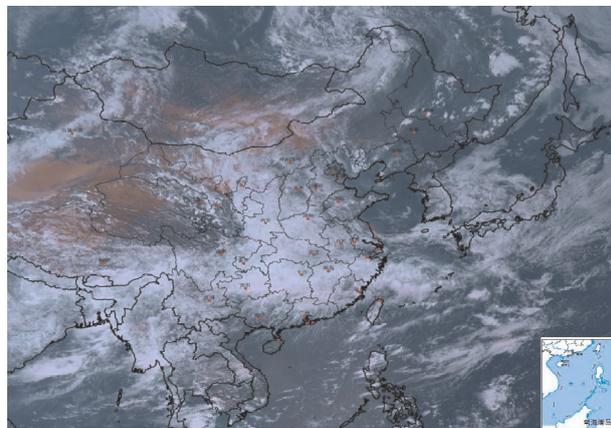


图4 葵花8卫星可见光全彩色图

## 4 结论

(1)通过JAXA的P-Tree数据服务网获得的葵花8卫星HSD格式数据小,下载速度快,网络传输时间短,观测次数多,对天气系统细节反映清晰,对小机场临近、短期天气预报有帮助。

(2)解决了受经济条件限制的地方小机场民航气象部门葵花卫星数据解码技术难题,为小机场航空气象部门节约了经费,高效使用葵花卫星数据。

(3)用MeteoInfoLab脚本解码HSD数据,高效快捷,语法简单,投影转换计算快,能适用于任何投影,图形制作比较美观,用户体验感较好。

(4)葵花8卫星HSD格式数据反演亮温、云顶高度和深对流识别对航空器飞行中回避危险天气区域提供了预警支持,对小机场航空气象预报员分析天气提供了快捷简单的产品,有助于提升航空气象服务效率。

## 参考文献:

- [1] 王宏斌,张志薇,刘端阳,等.基于葵花8号新一代静止气象卫星的夜间雾识别[J].高原气象,37(6):1749-1764.
- [2] 张夕迪,孙军.葵花8号卫星在暴雨对流云团监测中的应用分析[J].气象,44(10):1245-1254.
- [3] 朝鲁门,宁小莉,包玉海,等.基于葵花8卫星的白天冰云识别初探[J].内蒙古农业大学(自然科学版),2019(2).
- [4] 王亚强. MeteoInfo用户手册[Z].
- [5] 李光伟.基于CPR和MODIS探测结果的云顶温度和云顶高度反演研究[D],安徽:中国科学技

术大学,2010.

- [6] Nitta T, Sekin R. Interannual variation of the diurnal convection cycle in the western North Pacific [J]. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 2005, 90: 1–2.

- [7] 李森,刘健文,刘玉玲. 基于 FY2D 静止卫星云图的强对流云图识别 [J]. *气象水文海洋仪器*, 2010, 6(2): 72–78.

## Decoding and Inversion Calculation of the Himawari Satellite of the HSD Format based on the MeteoInfoLab

LIU Huiquan<sup>1</sup>, ZHANG Donghai<sup>2,3</sup>, CHEN Honghua<sup>4</sup>, HU Zhuang<sup>1</sup>

(1. The Southwest of Air Traffic Management Bureau Meteorological Center, Chengdu 610202, China; 2. Guizhou Climate Center, Guiyang 550002, China; 3. Guizhou Institute of Mountainous Environment and Climate, Guiyang 550002, China; 4. Shenzhen Air Traffic Control Station, Shenzhen 518000, China)

**Abstract:** In order to improve the accuracy of the small airport aeronautical meteorological forecast, increase the short-term and imminent service products of the small airport aeronautical meteorology and efficiently use Himawari satellite data (HSD). Based on the demand and practical application of aeronautical meteorological service, we introduce the acquisition of the HSD data of Himawari satellite from the Internet in detail, the decoding is realized by MeteoInfoLab script, and the bright temperature, cloud top height and deep convective identification products are calculated by inversion calculation. MeteoInfoLab decoding the Himawari satellite HSD format data is highly efficient, the projection conversion is easy and the drawings are beautiful. In this case, the technical problem of Himawari satellite decoding in the civil aviation meteorological department of small airport with limited economic conditions is solved, which provides help for the weather forecasters who make the forecast the short-term and impending of aviation weather in small airport.

**Keywords:** aeronautical meteorology; Himawari satellite HSD data; MeteoInfoLab; cloud top height; inversion calculation; deep convective identification