

# 基于 Python 的气象探空图绘制方法与实现

陶 鑫, 牛永红

(内蒙古自治区气象数据中心, 内蒙古 呼和浩特 010010)

**摘 要** 气象探空图是一种常用的辅助天气图, 可以分析气象站上空大气稳定度状况或计算表征大气温、湿特性的各种物理量, 在预报强对流天气中发挥着重要的作用。文章基于国家气象信息中心研制的全球大气实况分析气温、风场和比湿网格产品, 利用 Python 语言及 Meteva、Metpy 等工具包, 将网格产品经过插值处理, 生成任意位置附近上空各种气象要素的垂直方向各层次的气象要素数据, 实现气象探空图的绘制, 生成的产品可以在天气分析和预报中开展应用。

**关键词** 气象探空图; 网格产品; Meteva; Metpy

**中图分类号**: TP317.4

**文献标识码**: A

**文章编号**: 2097-3365(2024)01-0055-03

气象探空图 (又称 T-logP 图) 是我国气象台站普遍使用的一种热力学图解, 它能反映出测站上空的气压、气温、湿度等气象要素的垂直分布状况, 并用来判定层结稳定度, 分析云层, 确定对流层顶的位置, 以及求算各种温、湿特征量等<sup>[1]</sup>。

近年来, Python 凭借其简洁性、可读性、丰富的库和框架等多个因素的综合作用日益壮大, 在气象行业的应用涵盖了数据处理和分析、气象图像处理以及气象数据可视化等多个方面, 这些应用帮助气象学家更好地理解 and 预测天气状况, 提高天气预报的准确性和效率<sup>[2]</sup>。

气象探空图绘制主要思路是: 基于 Python 语言, 利用 Meteva 类库的基础函数层读取全球大气实况, 分析产品的气温、风场和比湿变量, 然后根据经纬度信息, 将网格数据站点化, 提取该位置垂直方向上的风速风向、比湿和气温等数据, 通过计算获取气压、露点温度和相对湿度; 利用 Metpy 类库的 SkewT 将温度、湿度和风速的垂直分布以及大气稳定度等信息整合绘制到一张图上, 用于天气分析和预报以及大气科学的研究。

## 1 关键技术

### 1.1 Meteva 类库

Meteva 是由国家气象中心预报技术研发室精心研发的全流程检验程序库, 它涵盖了基础函数层、检验算法层、检验产品层和透视分析层四个核心组成部分, 每个部分都包含了丰富的功能和工具<sup>[3]</sup>。文中主要应用了 Meteva 基础函数层处理气象数据的函数和工具, 实现了对数据的读取、插值、统计分析等预处理工作。

### 1.2 Metpy 类库

MetPy 是一个强大的 Python 包, 专门为气象学家和气象研究人员设计, 使他们在处理气象数据、进行气象要素计算以及可视化等方面的工作更加便捷高效。在可视化方面, MetPy 提供的 SkewT 绘图模块是一个非常强大的工具, 可以轻松地创建各种探空 T-logP 图; 在数据处理方面, MetPy 提供了许多气象要素的算法函数, 如露点温度、相对湿度等。这大大减轻了程序开发难度, 气象学家可以更专注于研究和分析气象数据。

### 1.3 气象探空图组成

气象探空 T-logP 图是一种用于表示大气状态和气象要素的图形。其横坐标为气温, 纵坐标为气压, 通过等温线和等压线、干绝热线、湿绝热线和等饱和比湿线等曲线来表示不同条件下的大气状态。

在 T-logP 图中, 横坐标表示气温, 从左到右表示温度的升高。纵坐标表示气压, 从下到上表示气压的升高。等温线是平行于横坐标的曲线, 表示在不同气压下的大气温度。等压线是平行于纵坐标的曲线, 表示在不同温度下的大气气压。干绝热线是垂直于横坐标的直线, 表示在大气干燥条件下, 温度随高度变化的情况。湿绝热线也是垂直于横坐标的直线, 表示在大气湿润条件下, 温度随高度变化的情况。等饱和比湿线是倾斜的曲线, 表示在不同温度和气压下的大气湿度。

除了以上曲线, T-logP 图还包括层结曲线 (温度层结和湿度层结)、状态曲线、风羽图及大气可降水量、总指数、K 指数等各项指标数据。这些数据提供了关于

大气状态和气象要素的丰富信息,有助于气象学家和大气科学家进行天气预报、气候分析和环境监测等工作。

## 2 实现方法

气象探空图的绘制主要包括以下三个步骤:数据预处理、气象要素计算以及探空图绘制。以下将对这三个步骤进行详细的实现方法说明。

### 2.1 数据预处理

数据预处理是绘制气象探空图的第一步,其目的是对原始数据进行清洗、整理和格式转换,以便后续的计算和绘图<sup>[4]</sup>。文中选用的气象数据产品为全球大气实况分析产品,包括气温、U风、V风和比湿四个变量,产品格式为GIRB2,网格分辨率10公里,垂直方向是1hPa~100hPa共47层的标准等压面。

首先使用Meteva基础函数层的read\_griddata\_from\_grib方法读取了全球大气实况分析产品的网格数据,然后指定插值位置的经纬度,并使用interp\_gs\_nearest方法对格点数据进行插值,得到该位置的要素数据。接下来,根据垂直方向的压力层信息,提取所需的等压面数据,并对每一层进行相应的处理,主要代码如下所示:

```
grib_data=meb.read_griddata_from_grib(file_gh, level_type='isobaricInhPa', value_name=value_name)
data=meb.interp_gs_nearest(grib_data, station)
data=data.sort_values(by=['id','level'], ascending=False) # 按照列排序
meb.set_stadata_names(data, [ele_name])
gh.reset_index(drop=True, inplace=True)
```

### 2.2 气象要素计算

气象要素计算是在预处理后的数据基础上进行的,它涉及一系列的气象要素计算和分析,如露点温度、风速、风向及相对湿度等。

首先,读取上一节经过预处理的气温、U风、V风和比湿数据。其次,利用metpy库的函数计算绘图所需要的露点温度、风速、风向及相对湿度。最后,将各个要素按照经度、纬度、资料时间、气压层从大到小的顺序拼接为二维表格数据,为探空图的绘制提供数据支撑,主要代码如下所示:

```
deg=180.0/np.pi
rad=np.pi/180.0
widr=180.0+np.arctan2(uv['u'], uv['v'])*deg
```

```
wspd=np.sqrt(uv['u']*uv['u']+uv['v']*uv['v'])
p=result2['level'].values*units.hPa # 单位: hPa
T=result2['temperature'].values*units.degC # 单位: °C
sh=result2['sh'].values*units.dimensionless
dewpoint=metpy.calc.dewpoint_from_specific_humidity(p, T, sh)
relative_humidity=mpcalc.relative_humidity_from_specific_humidity(p, T, sh)
```

### 2.3 探空图绘制

探空图绘制是气象分析中的一个重要步骤,其目的是将气象数据通过图形的方式进行可视化,以便更好地理解大气状况。在进行探空图绘制之前,通常需要进行数据预处理和气象要素计算,以便获取所需的指标和参数。

在探空图绘制过程中,指标计算是非常重要的一部分。这些指标包括cape(对流有效位能)、cin(对流抑制)、si(对称不稳定)、k指数、总指数以及大气可降水量等。这些指标的计算可以帮助我们更好地了解大气的稳定度、对流活动以及天气系统的发展等,主要代码如下所示:

```
cape, cin=metpy.calc.cape_cin(p, T, Td, parcel_prof, which_lfc='bottom', which_el='top')
si=metpy.calc.showalter_index(p, T, Td).m
k_index=metpy.calc.k_index(p, T, Td).m
tt=metpy.calc.total_totals_index(p, T, Td).m
pw=metpy.calc.precipitable_water(p, Td).m # 大气可降水量
t850=metpy.calc.vertical_totals(p, T).m
```

除了指标计算外,探空图绘制还包括图形的绘制。文中选用Python的Matplotlib和MetPy图形库实现绘制<sup>[5]</sup>。在探空图绘制过程中,除了基本的图形绘制外,还添加了更多的元素和标注,例如网格、图例、标注、等值线等,以便更好地表示数据和指标的含义。此外,还对图形格式进行调整和优化,从而提高了图形的可视化和易读性,主要代码如下所示:

```
fig=plt.figure(figsize=(9,9))
skew=SkewT(fig, rotation=35)
skew.plot(p, T, 'r', linewidth=2)
skew.plot(p, Td, 'g', linewidth=2)
skew.plot_barbs(p, u, v, xloc=1, linewidth=0.8,
```

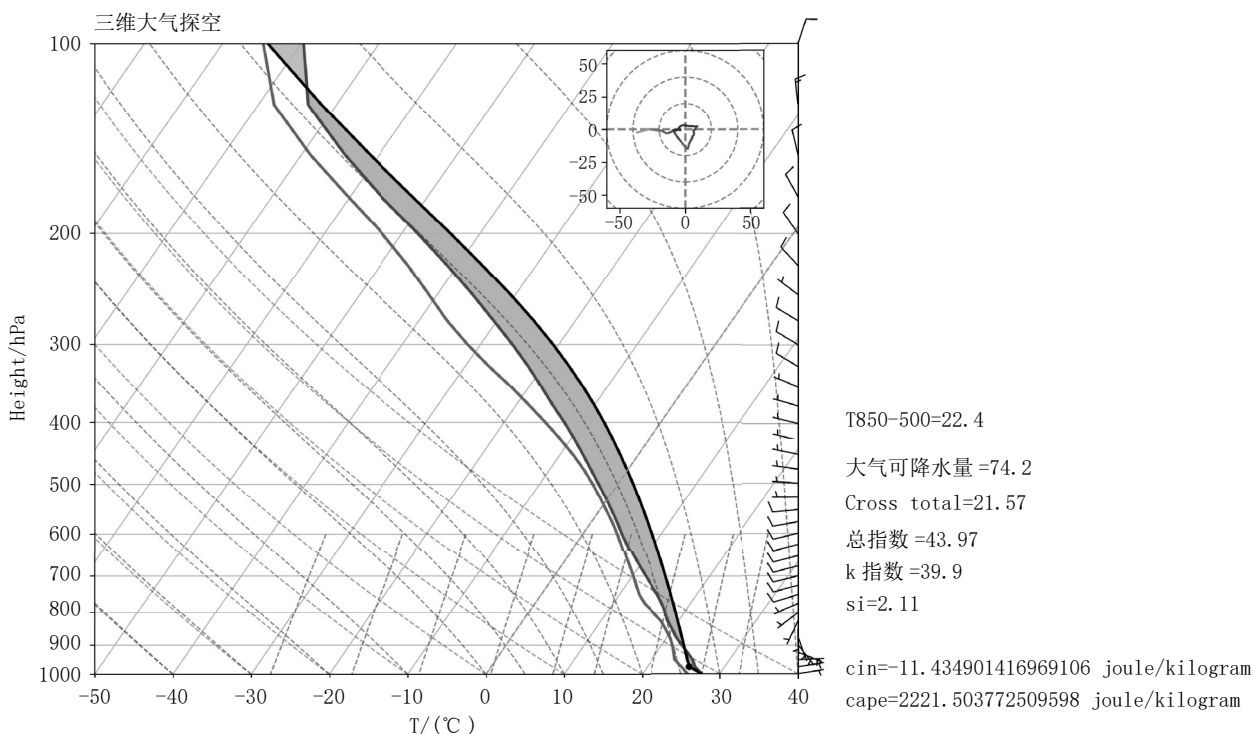


图 1 三维大气探空图

length=6)

```
skew. ax. set_ylim(1000,100)
skew. ax. set_xlim(-50,40)
skew. ax. set_ylabel('Height/hPa',fontsize=15)
skew. ax. set_xlabel('T/(°C)',fontsize=15)
```

### 3 实现效果

三维大气探空图展示了大气状态随高度变化的丰富信息。其中，干绝热线（红色虚线）代表未饱和空气在绝热升降运动中的状态变化，湿绝热线（蓝色虚线）则代表饱和空气在绝热升降运动中的状态变化，等饱和比湿线（绿色虚线）是饱和空气比湿的等值线；此外，温压曲线（红色实线）揭示了环境大气的温度特征，露压曲线（绿色实线）则揭示了环境大气的湿度特征，状态曲线（黑色实线）表示气块在绝热上升过程中温度随高度而变化的曲线；最后图的右侧展示了不同高度的风羽，风羽是表示风向和风速的符号，通过观察风羽，我们可以了解大气的流动情况和风速随高度的变化。

### 4 结语

气象探空 T-logP 图是一种利用气象学方法制作的综合性图形，通过多种曲线的组合和指标数据的展示，

提供了关于大气状态和气象要素的全面信息，可用于稳定性分析、强对流天气预报、云层识别、逆温层判断以及冬季降水类型判别等方面。通过对温度、湿度和 wind 等参数的计算和分析，可以帮助气象学家更好地理解 and 预测大气中的复杂现象，对于天气预报、气候分析和环境监测等领域具有重要意义。

### 参考文献:

- [1] 周毓荃, 欧建军. 利用探空数据分析云垂直结构的方法及其应用研究 [J]. 气象, 2010(11):50-58.
- [2] 王伟, 等. Python 气象数据处理与绘图基础 [M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [3] 何佳, 惠建忠, 袁亚男, 等. 基于 MetEva 的气象服务产品检验流程设计与实现 [J]. 气象研究与应用, 2022(02): 127-132.
- [4] 梁绵, 张煦庭, 刘嘉慧敏, 等. 基于 Meteva 的 2020 年陕西汛期暴雨过程检验评估 [J]. 陕西气象, 2022(01):1-8.
- [5] 王添男, 李新庆, 王艳萍, 等. 基于 Python 的气象数据可视化方法应用研究 [J]. 信息技术与信息化, 2023(07): 32-35.