

徐碧裕,徐加民,叶朗明,等. Python 在江门雷电监测预警可视化平台开发中的应用[J]. 陕西气象, 2024(1): 77-82.

文章编号: 1006-4354(2024)01-0077-06

Python 在江门雷电监测预警可视化平台开发中的应用

徐碧裕¹, 徐加民², 叶朗明¹, 徐浩彬²

(1. 江门市气象局, 广东江门 529030; 2. 新会区气象局, 广东新会 529100)

摘要:通过搭建 WAMP(Windows+Apache+MySQL+PHP)环境获取实时闪电定位数据和电场强度资料,基于 Python 语言的 NumPy, Pandas, Matplotlib 以及 Cartopy 等模块,实现了多种雷电监测预警产品的可视化。以 2017 年 7 月 20 日江门一次雷电过程可视化平台监测为例,介绍了 Python 雷电监测预警可视化平台的开发原理及各类雷电监测预警产品。基于 Python 的实时雷电监测预警可视化平台借助 Windows 下 dos 批处理命令和任务计划程序,以及新浪云云应用服务器(Sina App Engine)的 Storage 存储服务,实现了各类雷电监测产品的实时自动更新。该平台具有实时、简洁和轻量化特点,适合公众及专业气象用户使用,具有一定的业务推广应用价值。

关键词: Python; 可视化; 雷电监测预警; 闪电; 电场强度

中图分类号: P409 : TP277

文献标识码: A

Python 是一种跨平台的计算机程序设计语言,其通用性好,扩展程序包多,支持面向对象编程,数组矩阵处理能力强大且代码开源、免费,能有效支持 Linux、Windows 等常用平台^[1-3]。Python 丰富而强大的库,诸如 Numpy、Pandas 和 Matplotlib 等在许多研究领域中都有应用,随着其标准和扩展库的不断发展、完善,Python 形成了极其强大的第三方库和庞大稳定的社区,真正做到面向对象,灵活强大^[1,3-4]。Python 作为解释性语言,其语法简洁,支持动态输入,在数据处理、科学计算、数据挖掘等方面较其他语言具有明显的优势,能高效解决各种数据分析问题,特别适用于数据可视化、快速应用程序开发,以及众多领域的学术研究^[1,3,5]。气象数据分析和可视化是气象科研和业务中两个重要的工作过程^[6]。Python 跨平台、可扩展及简洁高效的特点可以快速处理几十万乃至上百万条的闪电监测数据,使流

程更高效,从而满足气象数据可视化、气象系统自动化运行的需求^[2]。Python 在气象数据分析和可视化中已有不少应用,周积强等^[2]、陈小尘等^[7]分别以编制雷电监测公报、分析雷电活动特征为例,介绍了 Python 在闪电监测资料分析中的应用;何佳等^[8]实现了 Python 在短临气象预报检验中的应用;张鑫等^[1]介绍了 Python 在地面要素、数值模式、雷达等气象数据处理与绘图方面的初步应用;陶倩等^[3]、王晓雪等^[4]和高大伟等^[5]实现了 Python 在气象业务产品可视化和预报预警业务自动化方面的应用。可见 Python 语言在气象数据分析、可视化等方面受到一定关注,在闪电监测资料处理方面优势明显。

闪电数据和电场资料的可视化,能够更好地监测雷电活动规律,提高雷电预警灾害防御能力。目前 Python 在实时雷电预报预警业务系统的应用较少,大多数使用 WebGIS 建设雷电业务系

收稿日期: 2022-11-28

作者简介: 徐碧裕(1992—),男,汉族,广东五华人,硕士,工程师,从事中短期天气预报及其研究工作。

基金项目: 江门市“青年科技人才托举工程”项目(2022—2023);江门市气象局科学技术研究项目(202001,202202);广东省气象局科学技术研究项目(GRMC2021M26)

统^[9-14],更适合气象业务人员使用且面向公众和专业气象用户的轻量化雷电监测预警平台较少。本文利用 Python 语言在处理闪电监测资料处理方面的优势,搭建了更加简洁灵活、高效实用的雷电监测预警可视化平台,提高了对闪电的实时监测预警分析能力。

1 数据和方法

利用粤港澳闪电定位资料和广东省江门市新会区 5 部大气电场仪资料,以 2017 年 7 月 20 日雷电过程为例,搭建基于 Python 的实时雷电监测预警可视化平台。通过构建 WAMP(Windows+Apache+MySQL+PHP)环境,从数据接口和数据库中获取实时闪电定位和大气电场数据;利用 Python 中的 Numpy 和 Pandas 库读取、存储和处理实时数据;通过 Matplotlib 和 Cartopy 地理空间数据处理库,生成地图和闪电定位数据的地理空间分布,实现闪电定位和大气电场数据在地图上的可视化;最后通过 Windows 任务计划程序定时更新闪电定位、大气电场数据和雷电预警产品,从而实现对实时雷电的监测预警。

2 系统架构及流程

基于 Python 的江门实时雷电监测预警可视

化平台,采用 B/S 模式,用户在浏览器端可以实现实时雷电监测数据和大气电场数据的可视化监测预警和查询统计。系统技术架构主要包括硬件层、数据层、服务层和应用层(图 1)。硬件层包含各类服务器、交换机、路由器等,是数据采集交换和雷电监测产品生成的物理链路层。数据层主要负责两类数据的采集和存储,其中闪电监测数据来自广东省气象局 IDEA 数据接口,大气电场数据来自本地数据库。服务层主要是基于 Windows 操作系统的程序任务计划服务,包括 WAMP 环境下的数据获取服务和 Python 循环绘图服务(可以绘制闪电散点图、填色图等产品),以及雷电监测预警产品 FTP 同步服务和新浪云云应用(Sina App Engine, SAE)Storage 分布式存储服务。应用层为系统框架终端,主要通过浏览器与用户交互,可供“江门天气”微信公众号、“江门市气象公共服务中心”微信企业号展示,也可以通过其他网页浏览器访问。江门雷电监测预警平台通过 HTML5、JavaScript 和 Bootstrap 等网络技术基础,实现与用户的交互,并通过实时雷电散点图、雷电密度色斑图等,结合相应的色标或图例,实现雷电数据的可视化。

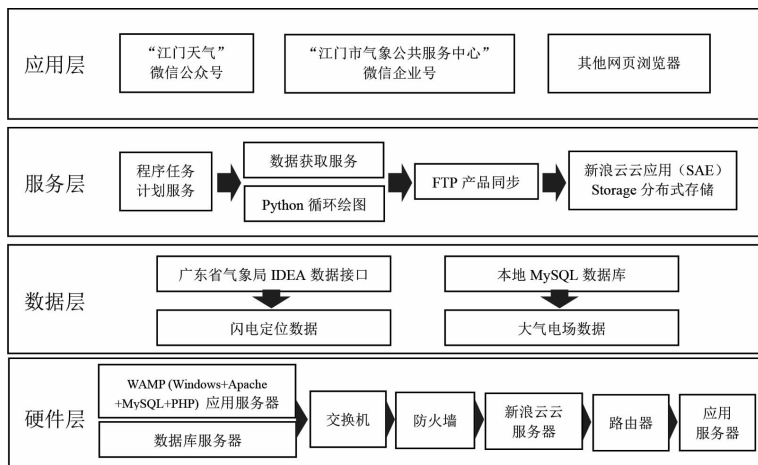


图 1 江门雷电监测预警可视化平台架构图

图 2 为江门雷电预警产品自动更新流程,主要包含两部分内容:一是数据获取,二是产品绘制。数据获取主要是在 WAMP 服务器完成,通过 Windows 的任务计划程序定期执行 PHP 脚本,实现从广东省气象局 IDEA 接口获取和筛选

处理闪电数据,再从本地数据库接口获取电场数据。随后对两类数据进行整合,完成数据更新。产品绘制主要基于 Python 绘图模块库,对更新数据进行统计、运算和可视化操作,生成图片产品。最后通过 FTP 同步方式,将生成的雷电预报

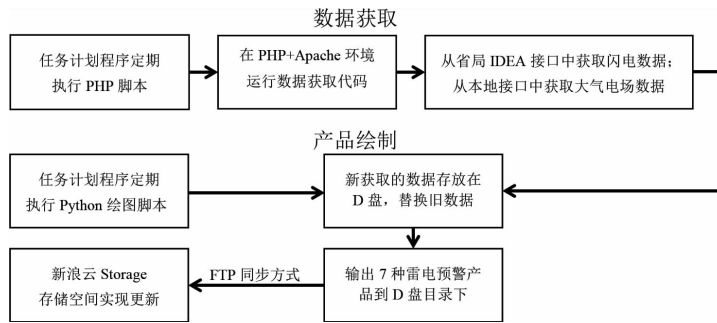


图 2 江门雷电监测预警可视化平台产品自动更新流程

预警产品传输到新浪云 Storage 存储空间,从而实现产品实时滚动更新,达到雷电可视化监测预警目的。

3 雷电监测预警可视化的实现

3.1 关键技术

图 3a 中,为了实现雷电监测数据可视化,需要调用 Python 数据处理模块如 numpy 和 pandas 库、地理空间数据模块 geopandas、地球投影绘图及绘图模块 Cartopy 和 Matplotlib,以及时间处理模块 time 和 datetime 库等等,其中 geopandas 模块用于绘制江门新会区 5 部大气电场仪位置及监控范围,ccrs. PlateCarree() 用于定义绘图投影方式。在图 3b 中,通过定义子函数 draw_map(ax, extent, color) 来绘制大气电场站监控范围及预警状态的地图底图,虚参数 ax 为绘制画布,

extent 为绘图范围, color 数组用于传递 5 个电场站的监控状态颜色,从而实现闪电定位与电场预警的联动。在子函数中,利用 ax.add_geometries(). geometries() 方法叠加绘制江门市县两级地图, crs=ccrs. PlateCarree() 用于将地图底图绘制在该投影下,通过 ax.set_extent() 来确定绘图范围。用三个列表变量 station、slon、slat 分别存放电场站名称及经度和纬度,并通过 for n in range(0, len(slon)) 遍历绘制所有站点位置、标注名称(分别对应 geo_point1.plot() 和 ax.annotate() 方法)。最后以站点为圆心添加 5 km、10 km、20 km 警戒圈(对应 geo_point1.buffer() 方法),其中 20 km 警戒圈属性 facecolor 用于联动显示电场站的预警状态, color[0] 存放第一个站点的预警状态颜色, color[1] 存放第二个站点颜色,以此类推。

a	b
<pre> #导入绘图相关Python库模块 import numpy as np import pandas as pd #导入地球投影绘图模块 import cartopy.crs as ccrs #导入绘图模块 import matplotlib.pyplot as plt #导入时间模块 import time import datetime #导入地理空间数据处理模块 import geopandas as gpd #定义绘图投影方式和绘图范围 proj=ccrs.PlateCarree() extent=[111.8,113.5,21.5,23] </pre>	<pre> #定义draw_map子函数 def draw_map(ax,extent,color): #读入江门市县两级地图 ax.add_geometries(reader.Reader(r'D:\jmtunder\pythontest\map\江门市县级地图.shp').geometries(), crs=ccrs.PlateCarree(),linewidth=0.1,edgecolor='k',facecolor='none',zorder=10) ax.add_geometries(reader.Reader(r'D:\jmtunder\pythontest\map\江门市市级地图.shp').geometries(), crs=ccrs.PlateCarree(),linewidth=0.4,edgecolor='k',facecolor='none',zorder=11) ax.set_extent([111.8,113.5,21.5,23],crs=proj) #标注电场站站点,绘制5,10,和20公里的缓冲区(其中20公里为监控范围) station=["会城","崖门","睦洲","银湖湾","司前"] slon=[113.***,113.***,113.***,113.***,112.***] slat=[22.***,22.***,22.***,22.***,22.***] for n in range(0,len(slon)): ax.annotate(station[n],xy=(slon[n],slat[n]),xytext=(slon[n]+0.01,slat[n]+0.02),fontsize=4,zorder=11) geo_point1.plot(ax=ax,marker='D',c='#99cc99',edgecolor='red',alpha=0.7,markersize=0.5) geo_point1.buffer(20/111).plot(ax=ax,facecolor=color[0],alpha=0.3) </pre>

图 3 江门雷电监测预警可视化平台调用的 Python 模块(a)及与电场预警联动的地图底图绘制子函数(b)

图 4 为江门 Python 雷电监测可视化绘图主程序,列表 eifilelist 和 tecnamelist 分别存放电场数据文件名称和闪电数据文件名称,通过 for kk in range(len(tecnamelist)) 循环遍历,依次绘制当前时刻前 60 min 逐 5 min 的闪电监控数据。

根据闪电定位数据格式(表 1),通过 open() 和 readline() 读取闪电数据中首行存放的时间段信息,再用正则匹配方法截取出时间字符串,用 pd.to_datetime() 方法将所截取的字符串转换为时间类型变量。根据大气电场数据格式(表略),

通过 `pd.read_table()` 读入电场数据信息, 设置属性 `names=['t','ave_ei','ei','wl']`, 其中 `t`、`ave_ei`、`ei`、`wl` 分别表示时间(time)、平均电场强度(average electric intensity, 单位为 kV/m)、电场强度(electric intensity, 单位为 kV/m)、预警等级(warning level)。再提取出闪电时段所对应的电场数据, 并通过 `np.sum()` 计算出电场数据在这个时段内的主要等级, 并给当前闪电时段内电场站赋予不同颜色来指示电场预警等级, 即绿色(默认)、黄色(1级)、橙色(2级)以及红色(3级)四种颜色, 5个电场站的颜色组成 `color` 颜色数

组, 最后调用函数 `draw_map(ax, extent, color)` 绘制出电场预警联动的地图底图。同样, 借助 `pd.read_table()` 再次读入闪电数据, 闪电数据格式属性 `names=['t','lat','lon','tec','td']`, 其中 `t`、`lat`、`lon`、`tec`、`td` 依次代表时间(time)、纬度(latitude)、经度(longitude)、闪电电流(thunder electric current, 单位为 kA)、闪电距离(thunder distance, 单位为 km)。通过 `ax.scatter()` 方法绘制出闪电强度和位置的分布图, 并用 `cmap` 和 `norm` 参数来定义色标颜色范围, 参数 `c=tec` 指不同颜色表示不同闪电电流。

a	b
<pre> eifilelist=['新会','崖门','睦洲','银湖湾','司前'] tecnamelist=['th_5m','th_10m','th_15m',.....,'th_60m'] #批量绘图 for kk in range(len(tecnamelist)): fig=plt.figure(figsize=(2.5,2),dpi=600) ax=plt.subplot(111,projection=proj,facecolor='#E8E6E7') tecfilename='D:/*****'/getdata'+ tecnamelist[kk]+' .txt' fo = open(tecfilename,'r',encoding='utf-8',errors='ignore') title = fo.readline() tb = re.sub('"D"', "", title) st = pd.to_datetime(datetime.datetime.strptime(tb[0:12], ("%Y%m%d%H%M"))) #定义color数组用于传递电场预警状态信息 (用不同颜色表示) color=[] for i in range(len(eifilelist)): eifile = 'D:/*****'/getdata'+ eifilelist[i] + '.txt' eidata = pd.read_table(eifile,sep=',',header=None,skiprows=None, names=['t','ave_ei','ei','wl']) #提取当前时段内的电场数据 newei=[] for j in range(len(eidata['t'])): if pd.to_datetime(eidata['t'][j]) > st and pd.to_datetime(eidata['t'][j]) < et: newei.append(eidata['wl'][j]) </pre>	<pre> #确定主要电场主要预警等级, 及对应颜色 if flag3 > flag2 and flag3 > flag1: color.append("red") elif flag2 > flag1 and flag2 > flag3: color.append("orange") elif flag1 > flag3 and flag1 > flag2: color.append("yellow") else: color.append("green") #传递color颜色数组实现电场预警联动, 调用draw_map()函数绘制 draw_map(ax,extent,color) #用pd.read_table()函数读入闪电数据 df=pd.read_table(tecfilename,sep=',',header=None,skiprows=1, names=['t','lon','lat','tec','td']) t=df['t'] lon=df['lon'] lat=df['lat'] tec=df['tec'] td=df['td'] cs=ax.scatter(lon,lat,c=tec,s=2.5,cmap=cmap,norm=norm,zorder=3, edgecolor='none',linewidth=0.35) </pre>

图4 江门基于 Python 的大气电场数据(a)和闪电定位数据(b)可视化主程序

3.2 主要产品

3.2.1 闪电定位和大气电场预警产品

5 min 闪电定位和大气电场预警产品, 统计的是过去 1 h 内每 5 min 的闪电位置、强度, 以及新会地区 5 个电场站的主要电场预警等级(共 12 张图片)。5 个圆圈表示新会地区 5 个镇街的电场强度监控, 在电场数据缺测时, 以电场仪为中心的 20 km 范围内显示为绿色, 10 km 内显示为黄色, 5 km 内显示为橙色, 圆圈中心点为电场仪所在位置(如图 5 崖门和银湖湾站, 见第 81 页)。当有闪电活动, 电场达到预警阈值时, 最外层范围圈(绿色圈)会变成相应等级的颜色。不同颜色圈, 表示统计时段内不同的电场预警等级(如图 5 表示 2017 年 7 月 20 日 13:00—13:05 新会司前、睦洲处于 1 级预警中, 会城处于 3 级预警中)。

3.2.2 闪电密度和闪电发生时段分布产品

利

用相同的 Python 绘图方法, 将散点图改为等值线图, 可以得到 24 h 闪电密度分布产品。如图 6 a 为滑动统计过去 12 d 内闪电密度的日变化情况, 统计分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 即每个格点内闪电数量与格点面积的比值(通过 Python 中 `area` 和 `math` 库计算), 闪电密度产品表示每平方公里内的闪电数目(单位为次/ km^2), 数值越高表示单位面积内闪电频次越多, 可以指示过去 24 h 内的对流强度。同理, 还可以滑动统计相同时间长度下, 闪电发生时间段的分布情况, 颜色代表闪电发生的时段, 其中红色代表午后至夜间, 蓝色代表凌晨至早晨, 色标从 0~24 表示 00 时、01 时、02 时...24 时(北京时)。图 6 b 表示 2017 年 7 月 19 日 13:30—20 日 13:30 江门中东部的闪电主要发生在中午前后(约 11—15 时)。

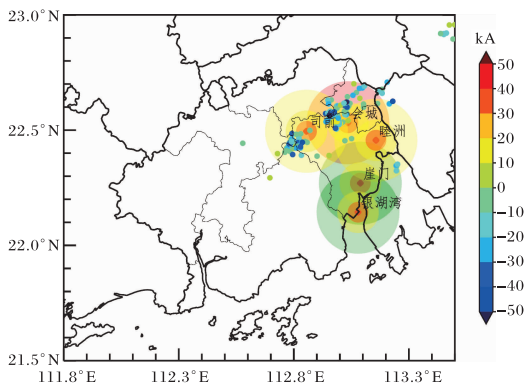


图5 2017-07-20T13:00—13:05 江门闪电定位(小圆点)和强度(色标为闪电电流)分布及不同等级大气电场预警(填色圆圈;绿色为无预警,黄色为1级预警,橙色为2级预警,红色为3级预警)(审图号为GS(2019)1822号,下同)

3.2.3 闪电位置聚类 and 移动路径追踪产品 利用 Python 中的 DBSCAN 密度聚类方法对过去 1 h 内、每 5 min 的闪电位置进行聚类分析,得到闪电位置聚类及移动路径追踪产品。如图 7 中,不同颜色代表不同的聚类族,填色三角形指每个聚类族的中心点(包含噪点)。本文设置的聚类参数为每 10 km 内 5 个闪电定位点,否则为噪点。通过将每个时次中闪电数目最多的闪电族中心位置(图 7 三角形)连接成线,即可追踪主要闪电族的移动路径(图中用×表示,×的颜色由深到浅变化,颜色越浅,表示时间越近)。图 7 为 2017 年 7 月 20 日 12:50—12:55 和 13:25—13:30 的闪电位置及大气电场预警演变。该时段内,主要闪电族总体由南向北、再折向东北移动,新会区 5 个电

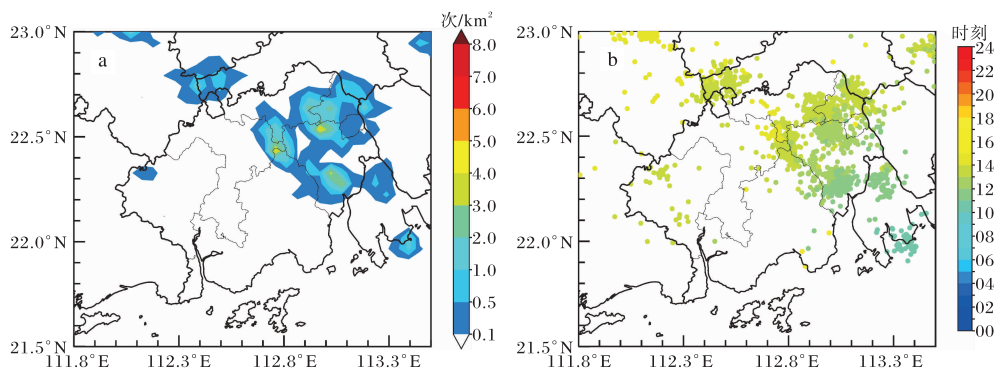


图6 2017-07-19T13:30—20T13:30 江门雷电监测可视化产品分布
(a 闪电密度;b 闪电发生时段)

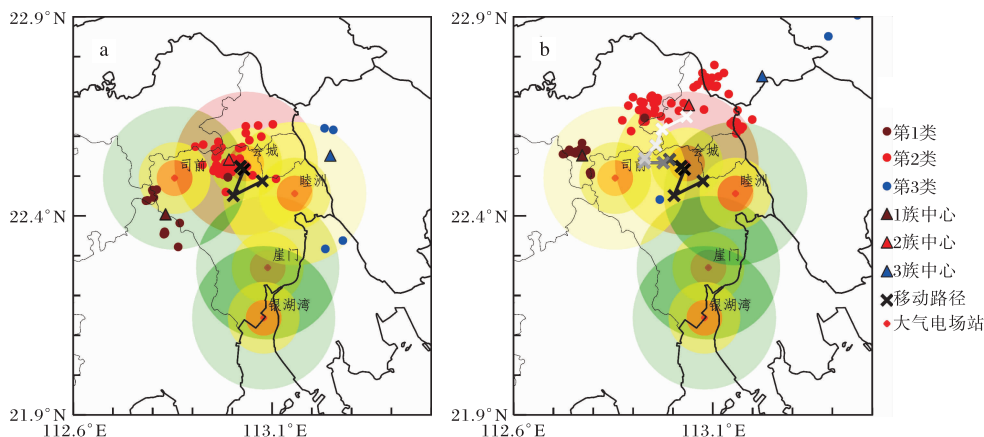


图7 2017-07-20 新会地区闪电位置聚类及路径追踪
(a 12:50—12:55;b 13:25—13:30)

场站预警圈颜色的变化,也可以判断主要闪电族的移动方向。

4 结论及讨论

本文以 2017 年 7 月 20 日江门一次雷电过程

监测为例,介绍了 Python 语言在雷电监测预警可视化平台开发中的应用,主要结论如下。

(1)利用 Python 扩展模块可以快速实现大气电场和闪电定位数据的可视化,达到预警联动的目的;搭建的雷电监测预警可视化平台成功应用于业务,具有对雷电全方位、多时次、长时间连续监控的能力。

(2)借助 Windows 下的 dos 批处理命令和任务计划程序,以及新浪云云应用服务器 Storage 存储服务,实现了 Python 雷电监测预警可视化平台各类产品的实时自动更新。

(3)Python 可视化平台最快可以实现每 5 min 完成对所有雷电监测预警产品图的批量更新,有助于在气象业务中获得更多的预警提前量;基于 Python 的实时雷电监测预警可视化平台具有实时、简洁和轻量化特点,具备一定的业务推广应用价值。

(4)因 Python 语言部分扩展库对 Python 版本有要求,平台需要安装与 Python 版本兼容的扩展库才能正常运行,因此平台在可移植性方面略有欠缺;另外,大气电场仪内置的分级预警等级算法对预警联动结果影响较大,预警准确率以及实际业务应用效果,有待进一步收集数据进行统计验证和评估。

参考文献:

- [1] 张鑫,曹蕾,韩基良. 基于 Python 气象数据处理与可视化分析[J]. 气象灾害防御,2020,27(1):29-33.
- [2] 周积强,黄艳红,姚肖萌,等. 基于 Python 的闪电定位资料分析方法研究及应用[J]. 气象研究与应用,2020,41(3):49-53.
- [3] 陶倩,赵振宇,舒海燕,等. PYTHON 在气象业务平台的应用[J]. 新农业,2022(2):85-86.
- [4] 王晓雪,韩冰,张月,等. Python 语言在天气预报预警业务自动化中的应用[J]. 黑龙江气象,2021,38(2):28-30.
- [5] 高大伟,郁珍艳,姚益平,等. Python 在 FY-2G 定量业务产品自动可视化中的应用[J]. 气象科技,2018,46(1):43-50.
- [6] 刘培宁,韩笑,杨福兴. 基于 R 语言的 NetCDF 文件分析和可视化应用[J]. 气象科技,2014,42(4):630-633.
- [7] 陈小尘,谢亚雄,张伟. Python 在闪电监测资料分析中的应用[J]. 电子测试,2022,36(12):69-71.
- [8] 何佳,惠建忠,何险峰,等. Python 在短临气象预报检验中的应用[J]. 气象科技,2021,49(5):738-745.
- [9] 黄丹,植耀玲,伍华丽,等. 广西雷电监测预警服务系统的设计与应用[J]. 气象研究与应用,2021,42(2):73-76.
- [10] 赵琴,郝笑,钱嘉星,等. 广州雷电监测预警服务平台的设计与实现[J]. 广东气象,2020,42(1):71-74.
- [11] 白宇航,曹亮,程海林,等. 基于多模型融合的雷电预警产品生成技术[J]. 电子技术与软件工程,2021(5):209-211.
- [12] 路明月,张其林,甘文强,等. 基于 GIS 的雷电数据可视化地图组件设计与实现[J]. 气象科技,2011,39(6):823-827.
- [13] 劳炜,林为东,阳宏声,等. 南宁市大气电场雷电预警系统的原理及应用[J]. 气象研究与应用,2012,33(4):80-82.
- [14] 路明月,曾金全,张烨方. 基于 GIS 的闪电数据可视化监测与统计分析系统[J]. 气象科学,2013,33(2):202-207.