

Python气象应用教学探索与实践

王 伟

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2023年2月15日; 录用日期: 2023年3月24日; 发布日期: 2023年3月31日

摘 要

Python语言优雅简洁、功能强大、免费开源, 在数据处理、科学计算、数据可视化等方面具备优异的性能。气象和海洋领域拥有海量的模式和观测数据, Python在气象科研业务领域中已拥有了广泛应用。帮助大气科学与应用气象学专业本科生, 系统地学习掌握Python相关实操基础知识和技能, 将对其后续的学习和工作起到助力作用。本文首先介绍了《Python程序设计》课程开设的前提及必要性, 之后从课程内容、课程设计、课程目标等方面进行了课程介绍, 最后从课堂互动、课堂实施、课堂总结等几方面以2个学时的教学活动为例进行了重点展示。教学活动的完整展示充分体现了“多点结合, 模块化、层次化深入”的教学原则。在教学活动中将专业知识与Python应用相结合, 以气象问题为导向, 引导学生分析问题解决问题, 培养学生的科学思维和能力, 引导学生践行“学思行结合, 知行义合一”。

关键词

大气科学, 应用气象学, 气象数据, Python程序设计, 教学活动

Exploration and Practice of Python Weather Application Teaching

Wei Wang

College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Feb. 15th, 2023; accepted: Mar. 24th, 2023; published: Mar. 31st, 2023

Abstract

Python language is elegant, simple, powerful, free and open. It has excellent performance in data processing, scientific calculation, data visualization, etc. There are massive models and observation data in the weather and ocean domain, and Python has been widely used in the weather scientific research. In this way, to help the students majoring in atmospheric science and applied meteorology

systematically learn and master the practical basis of Python will play a critical role in their subsequent study and work. This paper first introduces the premise and necessity of the course “Python Programming”, then introduces the course from the aspects of course content, course design, course objectives, etc. At last, it mainly shows the teaching activities of 2 class hours, including classroom interaction, class implementation, class summary and so on. The complete display of the teaching activities fully reflects the teaching principle of “multiple combination, modularization, and deep level”. In the teaching activities, the professional knowledge is combined with Python application. Guided by the meteorological problem, the students were guided to analyze and solve problems, cultivate their scientific thinking and ability, and guide them to practice the “combination of learning, thinking and practice, and the unity of knowledge, understanding and righteousness”.

Keywords

Atmosphere Science, Applied Meteorology, Meteorological Data, Python Programming, Teaching Activities

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

大气科学和应用气象学专业，诸多工作都依赖于计算机，如天气、气候、大气化学、空间天气等的模拟都需要超算，且无论是科学研究还是业务工作都需要面对大量观测和模拟的气象数据，分析这些数据同样需要强大算力的支持，分析结果的展示及输出往往需要可视化，这都离不开编程和可视化软件。

Python 是一门优雅、简洁、容易使用的语言[1]。Python 第一个编译解释器诞生于 1991 年，从其一出生，就具有了类、函数、异常处理、核心数据类型以及模块等基础(<https://docs.python.org/3/>)，有着很好的可拓展性。随后 Python 获得了高速的发展，至今 Python 的框架已经确立，标准库的体系已经稳定，其生态系统在第三方库包(Numpy, Pandas, Matplotlib, ...)的拓展也取得了长足发展，在各个领域的应用也越发普及。

近些年 Python 以其无与伦比的优势呈现在大家面前，被众多气象科技业务工作者关注和使用。近些年美国国家地球物理学会也开始在其学术年会中举办 Python 专场讨论会；2019 年 2 月，美国国家大气研究中心决定停止气象数据分析和绘图工具 NCL (NCAR Command Language)的开发，将其功能移植到 Python 语言中(https://www.ncl.ucar.edu/Document/Pivot_to_Python/september_2019_update.shtml)，这一决定更是将 Python 推向气象相关领域工作者的视野中。国内外大气海洋环境领域的专家们基于 Python 及其科学计算程序库建立了丰富的研发应用(Metpy, Scipy, Cartopy, netCDF4, Xarray, Geopandas, ...)。

鉴于上述发展现状，结合学院对本科生的培养目标，对大气科学和应用气象学专业的本科生，在大学阶段学习 Python 的相关知识、了解掌握其在气象领域的应用是非常必要的，这将为其后续的工作学习奠定良好的基础。早在 2018 版人才培养方案的制定之初，学院就已经前瞻性的将 Python 课程纳入其中，这为后续课程的实施奠定了基础。学院领导的前瞻性和积极倡导，推动了课程的有效落地。目前该课程已成功开课两个学期，拥有了较为体系的课程相关资料(教学大纲、课程内容及设计方案、程序库和数据资源库、考核方案等)，随着后续课程建设项目的实施，将不断完善更新课程体系，不断提升课程的魅力和含金量。

2. 课程总体设计

2020 年，结合大气科学与应用气象学专业的特点(大数据 + 可视化需求)，对《Python 程序设计》教学

大纲进行了修订,将掌握 Python 编程语言的基础知识、培养运用 Python 解决气象专业方面问题的能力(包括数据处理、专业绘图等)作为课程的重点内容与目标。该课程开设于大一第二学期,作为气象专业技能类的入门课程之一,通过对本门课程的学习,学生将较为系统地掌握 Python 气象数据处理与可视化的基本技能,该课程注重培养学生分析问题和设计算法、编程实现解决问题的能力 and 常见的程序设计思维。

该课程内容包含有:程序设计概述、Python 的发展历程和前景、Python 的安装步骤、变量和数据类型、顺序结构的设计、选择结构的设计、循环结构的设计、函数与数组、文件读写、数据可视化等。线上资源选择推荐了中国大学 MOOC(慕课)提供的北京理工大学嵩天等老师开设的国家精品课《Python 语言程序设计》[2]、阿里云开发者社区提供的讲授与实际操作相结合的《Python 学习路线》[3]、以及 UCAR 社区项目提供的 python 训练课程[4];线下推荐了三本 Python 相关教材[1][5][6]供学生学习使用。

课程内容设计和气象科研业务需求结合,将内容、需求、方式、考核有机结合,依据“多点结合,模块化、层次化深入”的原则,进行课程设计和教学改革创新。“多点结合”包括技术内容 and 专业领域需求的结合,理论知识与实践环节的结合,知识和能力考核点面的结合等,“模块化”是指以模块化的方式进行课程设计,着重培养关键技能在科研业务重要领域的运用能力,“层次化深入”指的是由易到难,循序渐进有序的构建学生的知识体系。以气象问题为导向,知识学习和上机实践相结合,指导学生掌握气象数据处理和分析的基本技术,有效提高学生运用所学知识分析问题解决问题的能力,提升学生学习、表达、交流和协调能力,培养学生的团队合作精神和创新意识。

在近两年《Python 程序设计》的行课过程中,教学团队注重不断完善课程体系,线上资源与线下教学有机结合,引导学生养成“课前预习拓展 + 课堂学习实践 + 课后巩固探索”的学习习惯。借鉴当前先进的教学理念和模式,引入研讨式、翻转课堂、科研学术讲座等教学模式,探索教学方式和考核模式的改革创新,围绕“两性一度”的金课标准,以气象相关问题的分析过程为引导,将问题与基础知识相结合,以 Python 作为实现工具,开展 Python 气象数据处理与可视化的“金课”建设,不断拓展专业课程的广度、深度和温度。

3. 教学样例展示

在《Python 程序设计》的行课过程中,着眼于 Python 知识技能与气象科研业务前沿热点的结合,注重拓展学生的学科知识,将所学内容融入学科应用的过程中,激发学生学习的自主性,提高学生学以致用的能力和认知。接下来以 2 个学时的课程教学活动为例进行教学过程展示。

3.1. 课程基本情况

表 1 主要从教学内容、学时、教学目标、教学方式等几方面,介绍了此次教学活动的基本情况。

Table 1. Basic information of teaching activities

表 1. 教学活动的基本情况

目录	内容
教学内容	气象数据(文本与 NetCDF)读取与可视化(Python)
授课学时	2 学时
教学目标	①掌握文本文件与 NetCDF 数据文件的读取; ②具备数据简单可视化能力; ③培养学生分析问题解决问题的能力,提升学生团队协作与创新意识,引导学生理解科研探索精神。
教学方式	①气象问题为导向,开展基础知识的学习与应用; ②线上资源与线下引导、讨论的混合式教学。

3.2. 课堂互动-1 (20 分钟)

3.2.1. 作业检查(8 分钟)

上节课基于专业相关文本文件的读取、Python 基本绘图库 Matplotlib 绘图设置等具体内容，为了引导学生课后巩固所学知识，提升其运用所学知识解决实际问题的能力，布置的课后作业分别为：绘制 $y = \cos(x)$ 函数曲线；绘制某年 Niño.3.4 指数逐月演变时间序列。

课后作业以小组方式提交，小组长初步对所在小组同学遇到的问题(已解决、未解决)进行总结提交。授课教师结合学生作业和反馈信息调整线下课堂的安排与进度，并选择有价值的信息在课堂上进行分享。该环节基于学生对气象专业数据了解的不足，选择 NCEP/NCAR (the National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research)官方网站进行了数据集的拓展介绍(图 1(a))，并选择优秀作业进行展示(图 1(b))，以起到以优带全的模范作用。

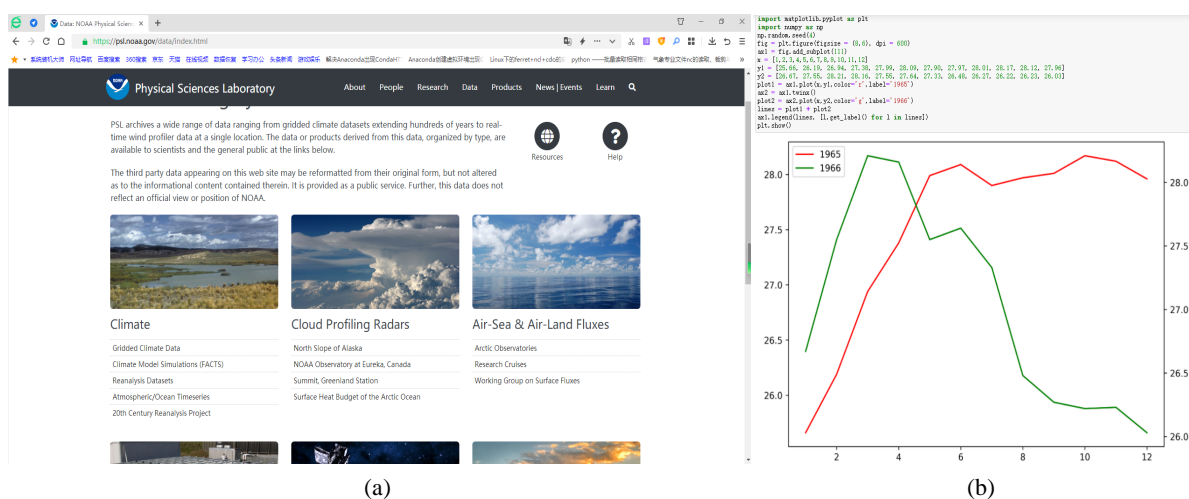


Figure 1. NCEP/NCAR website (a) and excellent homework (b)
图 1. NCEP/NCAR 官网 (a)与优秀作业 (b)

3.2.2. 线上资源学习情况(12 分钟)

当前 Python 在线学习资源众多，本节课需要学生提前预习相关知识和技能，主要推荐的学习资源有阿里云开发者社区提供的讲授与实际操作相结合的《Python 学习路线》[5]与 UCAR 社区项目提供的 python 训练课程[6]。本环节分三部分：首先，展示课前搜集的各小组线上学习情景图片；之后，围绕课前学习的线上资源给出针对性的相关问题，以自荐和抽点的方式检查学生线上资源掌握情况；最后，分小组引导学生分享线上资源学习的收获。通过本环节的开展，督促学生养成课前预习、课后复习的学习习惯，培养学生归纳自学知识、协同合作、积极分享学习收获的能力。

3.3. 课堂新内容实施(45 分钟)

3.3.1. 导入 - 气象背景知识(5 分钟)

介绍厄尔尼诺 - 南方涛动(El Niño-Southern Oscillation, ENSO)及其对中国乃至全球天气气候的重要影响，引入问题：气象数据是怎么描述强 El Niño 事件的呢？其时间演变、空间分布特征如何？旨在让学生在了解背景知识的前提下，结合问题进行延伸思考，并和线上资源学习及已有知识技能结合。

3.3.2. 课堂授课-1 (20 分钟)

该部分课程环节围绕强 El Niño 事件的时间演变特征这一问题展开，具体分为以下两部分：

1) 结合学生对问题的思考,带领学生进行气象数据的访问与下载操作(访问 NCEP 官网,打开 Niño3.4 指数),之后师生一起分析数据的结构、学习了解相关说明信息。通过这部分的开展,引导学生理解全面了解数据信息的重要性,并通过将数据与二维数组知识点进行联系,培养学生联系已学知识分析问题解决问题的能力。

2) 根据师生对几次超强 El Niño 事件的回顾,选择 2015~2016 年超级 El Niño 事件,开始绘制其时间演变的程序编写。该部分内容拆分为五步来完成,每步的具体操作、功能及目标见表 2。

Table 2. Steps to map the temporal evolution of strong El Niño events from 2015 to 2016

表 2. 2015~2016 年强 El Niño 事件时间演变特征的绘制步骤

步骤	功能	具体操作	目标
第一步	库包引用	<pre>import numpy as np import pandas as pd import matplotlib.pyplot as plt import matplotlib.ticker as mticker from matplotlib.dates import MonthLocator, DateFormatter plt.rcParams["font.sans-serif"] = ['SimHei'] plt.rcParams['axes.unicode_minus'] = False</pre>	①引导学生分析问题、选择库包; ②熟悉各库包的引用方式; ③坐标横轴时间轴的显示需要的函数; ④掌握如何正确显示中文与负号的设置。
第二步	数据读取	<pre>df = pd.read_csv(r"D:\ersst5.nino.mth.91-20.ascii", sep = "\s+") nino34_anom = df['ANOM.3'] nino34_anom.plot()</pre>	①掌握 pandas 提供的文本文件读取函数 read_csv(); ②列的方式提取所需数据; ③简单应用 plot()函数初步展示数据,分析需改进的地方。
第三步	数据处理	<pre>y = nino34_anom[768:804] tm_rng = pd.date_range('20131231', periods = 36, freq = 'M')</pre>	①掌握一维数组的切片功能; ②掌握 pandas 提供的时间序列的生成函数 date_range()。
第四步	可视化	<pre>fig = plt.figure(figsize = (10, 4), dpi = 800) ax = fig.add_subplot(111) ax.bar(tm_rng, y, width = 15, color = np.where(y > 0.5, 'red', 'black'), edgecolor = 'b', linewidth = 0.5) ax.xaxis.set_major_locator(MonthLocator(interval = 6)) ax.xaxis.set_major_formatter(DateFormatter("%Y-%m")) ax.tick_params(axis = 'both', which = 'both', direction = 'in') ax.yaxis.set_minor_locator(mticker.MultipleLocator(0.5)) ax.axhline(y = 0.0, c = 'k', ls = '-', lw = 1) ax.axhline(y = 0.5, c = 'k', ls = '--', lw = 1) ax.set_ylim(-3.0, 3.0) ax.set_xlabel('年-月') ax.set_ylabel('SSTA (°C)')</pre>	①熟练掌握绘图四步曲(画布,绘图区 add_subplot(),绘图,辅助设置); ②掌握柱状图绘制函数 bar(); ③熟悉 where()函数的灵活应用; ④掌握辅助线的添加函数 axhline(); ⑤了解时间横轴显示设计; ⑥掌握纵坐标范围设置函数 ylim(); ⑦了解如何添加纵横坐标名称; ⑧了解坐标轴刻度的设置函数。
第五步	结果保存	<pre>fig.savefig('D:/2014-2016.png', dpi = 800, bbox_inches = "tight")</pre>	①应用 savefig()命令保存图片; ②引导学生对图片进行简单分析。

图 2 给出了这一部分数据绘制的结果,展示了 2014 年 1 月至 2016 年 12 月 Niño3.4 区海温距平的演变序列。红色为超过 0.5℃的海温异常,蓝色为低于 0.5℃的海温异常,从 2015 年 4 月直至 2016 年 4 月海温距平持续超过了 0.5℃,在 2015 年 11 月海温距平值达到最高值。该部分结合专业知识引入问题,应用 Python 实现问题的分析解决(表 2),最终给出可视化结果(图 2)。

3.3.3. 课堂授课-2 (20 分钟)

该部分课程环节围绕强 El Niño 事件的空间分布特征这一问题展开,具体分为以下两部分:

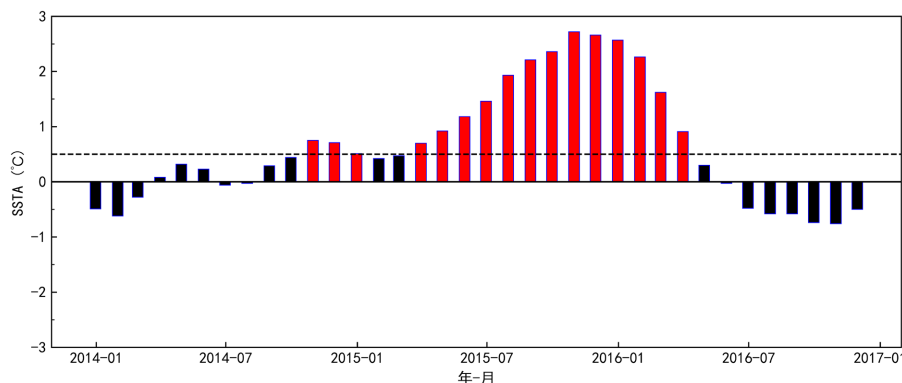


Figure 2. Temporal evolution of strong El Niño events from 2014 to 2016
图 2. 2014~2016 年强 El Niño 事件时间演变特征

Table 3. Steps to map the spatial distribution of SSTA over the eastern equatorial Pacific in November 2015
表 3. 2015 年 11 月赤道东太平洋海温距平空间分布的绘制步骤

步骤	功能	具体操作	目标
第一步	库包引用	<pre>import xarray as xr import numpy as np import matplotlib.pyplot as plt import cartopy.crs as ccrs from cartopy.mpl.ticker import LongitudeFormatter, LatitudeFormatter</pre>	①引导学生分析问题、选择库包； ②熟悉各库包的引用方式； ③坐标轴经纬度显示需要的函数。
第二步	数据读取	<pre>f = xr.open_dataset(r"D:\sst.mean.anom.nc")</pre>	①掌握 xarray 提供的 NetCDF 文件的读取函数 open_dataset()； ②熟悉绝对路径的书写格式。
第三步	数据处理	<pre>lat = f['lat'][:] lon = f['lon'][:] sst = f['sst'].loc['2015-11-01']</pre>	①掌握 xarray.DataArray 数据结构中维度、气象数据等的索引方式。
第四步	可视化	<pre>proj = ccrs.PlateCarree() fig = plt.figure(figsize = (9,6), dpi = 800) ax = fig.add_axes([0.1,0.1,0.85,0.85], projection = ccrs.PlateCarree(central_longitude = 180.0)) region = [142.5, 302.5, -30, 30] ax.set_extent(region, crs = proj) tc = ax.contourf(lon, lat, sst, transform = proj, levels = np.arange(-4,5,1), cmap = 'RdBu_r') tc2 = ax.contour(lon, lat, sst, transform = proj, levels = np.arange(-4,5,1), colors = 'k', linestyle = '-', linewidths = 1, alpha = 0.5) cbar = fig.colorbar(tc, ax = ax, orientation = "horizontal", aspect = 25, pad = 0.1, shrink = 1) ax.xaxis.set_major_formatter(LongitudeFormatter(zero_directio n_label = True)) ax.yaxis.set_major_formatter(LatitudeFormatter()) ax.set_xticks(np.arange(142.5, 302.6, 30), crs = proj) ax.set_yticks(np.arange(-30, 30.1, 15), crs = proj) for tick in ax.xaxis.get_major_ticks(): tick.label1.set_fontsize(12) for tick in ax.yaxis.get_major_ticks(): tick.label1.set_fontsize(12) ax.coastlines('10m')</pre>	①熟练掌握绘图四步曲(画布, 绘图区 add_axes(), 绘图, 辅助设置); ②掌握二维图的绘制函数 contour()、contourf(); ③熟悉常见的地图投影方式; ④掌握 colorbar()函数; ⑤了解时间横轴显示设计 ⑥掌握经纬度坐标刻度的设置; ⑦了解纵坐标刻度范围的设置函数; ⑧熟练掌握 for 循环的应用; ⑨掌握在线添加海岸线的方式。
第五步	结果保存	<pre>fig.savefig('D:/2015-11.png', dpi = 800, bbox_inches = "tight")</pre>	①应用 savefig()命令保存图片 ②引导学生对图片进行简单分析

1) 依据 El Niño 的定义, 结合 2014~2016 年海温距平的演变序列, 引出本环节的重点: 选取绘制 2015 年 11 月海温距平的空间分布。师生通过问题的分析可知: 首先需要下载海温距平空间数据, 引导学生结合之前 NCEP/NCAR 气象数据官网的介绍, 搜索下载 sst.mean.anom.nc 数据; 之后介绍读取 NetCDF 数据的常用库包-xarray, 引导学生提取课前线上学习的 xarray 相关知识, 并运用所学知识了解该海温数据的基本结构信息。通过本部分的课堂学习, 引导学生再次理解全面了解数据信息的重要性, 并通过将数据与三维数组知识点进行联系, 培养学生联系已学知识分析问题解决问题的能力。

2) 根据上述分析, 对气象数据(sst.mean.anom.nc)进行处理分析, 编写绘制 2015 年 11 月赤道东太平洋海温距平空间分布的程序。该部分内容拆分为五步来完成, 每步的具体操作、功能及目标见表 3。

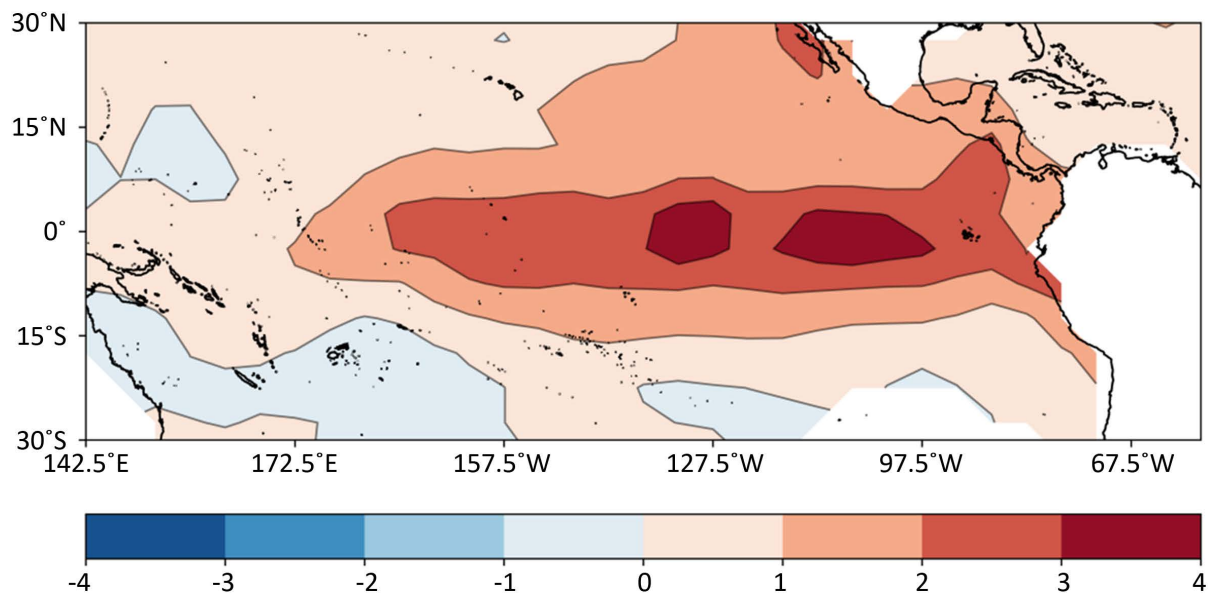


Figure 3. Spatial distribution of SST anomalies (units: °C) in the eastern equatorial Pacific in November 2015

图 3. 2015 年 11 月赤道东太平洋海温距平(单位: °C)的空间分布

图 3 给出了 2015 年 11 月赤道东太平洋海温距平的空间分布。赤道附近太平洋的海温距平均在 0°C 以上, 其中赤道中东部地区的海温距平超过了 2°C。该部分从气象热点问题出发, 将专业知识与 Python 应用相结合, 引导学生分析(表 3)并解决问题(图 3), 期望能将学生从枯燥的技能学习中解放出来, 通过技能学习与专业热点的结合, 激发学生学习的自主性, 引导学生践行“学思行结合, 知行义合一”。

3.4. 课堂互动-2 (15 分钟)

该环节是本门课程设计的一个必备环节: 动一动。该部分以学生自我动手完善为主、教师答疑为辅, 引导学生结合线上知识学习, 对课堂讲授内容进行理解和吸收, 并在自己笔记本电脑上再现, 提升学生的动手能力, 同时引导学生查漏补缺, 及时发现自己的薄弱点。

3.5. 布置作业(5 分钟)

结合课堂内容及进度, 布置本次教学活动课后拓展作业如下:

1) 线上学习任务(xarray 库包): <https://unidata.github.io/python-training/gallery/gallery-home/>, 并留存学习剪影;

2) 绘制 2020 年 7 月东亚地区 500 hPa 风场矢量分布图, 提交学习报告。

3.6. 课堂总结(5 分钟)

3.2~3.5 展示了本次教学活动的具体实施过程, 在这个过程中有对课前知识预习的检查、有围绕气象热点问题而开展的专业知识与 Python 应用相结合的分析问题解决问题的全过程、有对课程的总结、也有对课程内容进行拓展的课后作业。

结合本次教学活动中各学习小组的进展情况, 从“问题的由来 - 问题分析 - 数据处理及可视化”三方面归纳总结这次课程的重、难点, 引导学生培养自己的科学思维和能力, 培养学生分析问题、解决问题的能力, 引导学生有效践行“学思并重, 知行合一”。

总体而言本次教学活动基本完成了教学的既定目标, 但还有几点不足有待后续不断改进, 如: 可以提前分享一篇相关文献, 以提升学生对学科发展前沿的学术了解, 激发其学习的主动性; 课堂讨论由于班级人数较多, 师生互动辐射范围不足, 需要通过团队研讨看有哪些解决这一现状的途径或办法。

4. 结语

随着气象行业的蓬勃发展, 气象行业已累积了海量的数据。对气象数据实现“气象+”影响价值的开发挖掘, 需要新应用技术的融合发展。Python 是一门面向对象的解释型编程语言, 其语法清晰易懂, 且拥有强大的第三方库函数。自 2008 年 Python3.0 问世以来, 其在编程语言中的排名一路攀升, 近几年更是高居榜首, 在数据分析、科学运算、可视化、云计算、人工智能、信息采集、WEB 开发、系统运维、自动化测试等领域有着不可替代的应用和前景。

近些年, Python 在气象科研和业务领域中得到了广泛应用, 对本科生开设 Python 气象应用相关课程是非常必要的。2021 与 2022 年, 结合大气科学与应用气象学专业的人才培养目标, 基于开设的《Python 程序设计》课程开展了 Python 应用与气象知识相结合的教学探索。2022 版教学大纲在此基础上, 还增设了 Python 气象应用的进阶课程、人工智能在地球科学领域应用介绍等相关课程, 将为本科学生提供更为完整的学习体系。

基金项目

本文由成都信息工程大学本科教育教学研究与改革项目暨本科教学工程项目(JYJG2021034)与省级“课程思政”示范课程 - 大气流体力学项目(2020KCSZ01)共同资助完成。

参考文献

- [1] Clinton W. Brownley. Python 数据分析基础[M]. 陈光欣, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2017.
- [2] 中国大学 MOOC(慕课). 北京理工大学: Python 语言程序设计[EB/OL]. https://www.icourse163.org/course/BIT-268001?from=searchPage&outVendor=zw_mooc_pcssjg_, 2023-02-15.
- [3] 阿里云开发者社区. Python 学习路线(学+测) [EB/OL]. <https://developer.aliyun.com/learning/roadmap/python>, 2023-02-15.
- [4] Unidata 社区. Python Training [EB/OL]. <https://unidata.github.io/python-training/>, 2023-02-15.
- [5] 王伟, 封彩云, 余莲, 华维. Python 气象数据处理及绘图基础教程[M]. 北京: 科学出版社, 2021.
- [6] Alle B. Downey. 像计算机科学家一样思考 Python [M]. 赵普明, 译. 北京: 人民邮电出版社, 2013.