

GeoAI 与 Python

开源地理空间人工智能
实用指南



吴秋生

GeoAI 与 Python

开源地理空间人工智能实用指南

吴秋生

2026

Contents

前言	1
引言	3
本书适合谁	3
本书涵盖的内容	4
如何充分利用本书	7
本书使用的约定	7
下载代码示例	8
视频教程	8
社区与反馈	9
关于作者	9
许可与版权	10
I: 基础知识	11
1. GeoAI 简介	13
1.1. 引言	13
1.2. 学习目标	13
1.3. 什么是 GeoAI?	14
1.4. GeoAI 的关键应用	15
1.5. GeoAI 的 Python 生态系统	18
1.6. 地理空间分析中的核心 AI 任务	20
1.7. 从传统方法到基础模型	27
1.8. 要点总结	28
1.9. 练习	28
2. 环境配置	31
2.1. 简介	31
2.2. 学习目标	31
2.3. 硬件要求	31
2.4. 安装 NVIDIA 驱动	32
2.5. 使用 Miniconda 安装 Python	34
2.6. 创建 Conda 环境	36
2.7. 安装 GeoAI 和支持 GPU 的 PyTorch	37
2.8. 安装 uv 作为替代包管理器	38
2.9. 配置 Jupyter	39
2.10. 安装 Visual Studio Code	40
2.11. 验证您的环境配置	41
2.12. 练习	43
3. 地理空间数据基础	45
3.1. 引言	45
3.2. 学习目标	45
3.3. 栅格数据	45
3.4. 矢量数据	49
3.5. 坐标参考系统	52
3.6. 深度学习标注格式	53
3.7. 图像切片与影像块	54

3.8. 关键点	55
3.9. 练习	55
II: 数据获取与准备	57
4. 遥感数据下载	59
4.1. 简介	59
4.2. 学习目标	59
4.3. 卫星影像数据源	59
4.4. 使用 STAC 进行搜索	61
4.5. 下载 NAIP 影像	66
4.6. 下载 Sentinel-2 数据	67
4.7. 下载 Landsat 数据	68
4.8. 下载 Vantor 开放数据	70
4.9. 获取矢量数据	71
4.10. 组织您的数据	73
4.11. 要点总结	73
4.12. 练习	74
5. 交互式制图与可视化	77
5.1. 简介	77
5.2. 学习目标	77
5.3. 使用 Leafmap 创建交互式地图	77
5.4. 在地图上使用栅格数据	78
5.5. 可视化来自 Planetary Computer 的数据	81
5.6. 在地图上使用矢量数据	85
5.7. 分屏地图对比	87
5.8. 可视化模型结果	88
5.9. GeoAI 可视化最佳实践	90
5.10. 关键点	90
5.11. 练习	91
6. 创建训练数据	93
6.1. 引言	93
6.2. 学习目标	93
6.3. 训练数据流水线	93
6.4. 从单张影像生成图像切片	93
6.5. 批量处理多张影像	98
6.6. 使用栅格掩膜进行批量处理	102
6.7. 标签质量注意事项	103
6.8. 数据集组织	103
6.9. 总结	104
6.10. 关键点	105
6.11. 练习	105
III: 核心 AI 任务	107
7. 图像识别	109
7.1. 简介	109
7.2. 学习目标	109

7.3. 理解图像分类	109
7.4. 分类架构	110
7.5. 准备分类数据	111
7.6. 导入库	112
7.7. 下载 EuroSAT RGB 数据集	113
7.8. 探索数据集	113
7.9. 训练 ResNet-50 分类器	115
7.10. 绘制训练历史	116
7.11. 在测试集上评估	116
7.12. 绘制混淆矩阵	117
7.13. 可视化预测结果	119
7.14. 训练 EfficientNet-B0 分类器	120
7.15. 结果比较	122
7.16. 发布和复用模型	122
7.17. 本章要点	124
7.18. 练习	124
8. 目标检测	127
8.1. 引言	127
8.2. 学习目标	127
8.3. 理解目标检测	127
8.4. 检测架构	128
8.5. 准备检测数据集	130
8.6. 评估检测结果	131
8.7. 导入库	132
8.8. 下载 NWPU-VHR-10 数据集	132
8.9. 探索数据集	133
8.10. 准备数据集	133
8.11. 可视化样本标注	134
8.12. 训练多类别检测模型	134
8.13. 绘制训练指标	135
8.14. 使用 COCO 指标评估	136
8.15. 在样本影像上进行推理	137
8.16. 可视化检测结果	138
8.17. 批量推理多幅影像	138
8.18. 发布和复用模型	140
8.19. 要点总结	142
8.20. 练习	142
9. 语义分割	145
9.1. 引言	145
9.2. 学习目标	145
9.3. 语义分割基础	145
9.4. 导入库	147
9.5. 航空影像建筑物检测	147
9.6. 地表水体制图	154
9.7. 云和云影检测	176

9.8. 土地覆盖分类	182
9.9. 发布和复用模型	186
9.10. 关键点	188
9.11. 练习	188
10. 实例分割	191
10.1. 简介	191
10.2. 学习目标	191
10.3. 实例分割与语义分割的对比	191
10.4. Mask R-CNN 架构	192
10.5. 下载 FTW 数据集	193
10.6. 准备训练数据	195
10.7. 训练 Mask R-CNN 模型	196
10.8. 运行推理	197
10.9. 预测结果后处理	198
10.10. 提取几何属性	201
10.11. 批量处理	203
10.12. 本章要点	203
10.13. 练习	204
11. 图像转换	207
11.1. 引言	207
11.2. 学习目标	207
11.3. 图像转换基础	208
11.4. 导入库	209
11.5. 下载示例数据	209
11.6. 可视化输入 RGB 合成影像	210
11.7. 单块 Super-Resolution	211
11.8. 不确定性估计	213
11.9. 大区域的分块推理	214
11.10. 局限性与注意事项	216
11.11. 本章要点	217
11.12. 练习	217
12. 变化检测	219
12.1. 引言	219
12.2. 学习目标	219
12.3. 理解变化检测	219
12.4. 传统变化检测方法	220
12.5. 深度学习变化检测	223
12.6. 导入库	223
12.7. 列出可用模型	224
12.8. 设置	224
12.9. 下载示例数据	224
12.10. 可视化输入影像	225
12.11. 初始化 ChangeStar 模型	225
12.12. 运行变化检测	225
12.13. 可视化结果	226

12.14.	使用便捷函数	227
12.15.	比较模型变体	228
12.16.	调整阈值	229
12.17.	查看保存的输出	229
12.18.	关键点	231
12.19.	练习	231
13.	像素级回归	233
13.1.	引言	233
13.2.	学习目标	233
13.3.	理解像素回归	233
13.4.	回归架构	234
13.5.	案例研究：从 Landsat 影像预测 NDVI	235
13.6.	评估指标	241
13.7.	关键点	241
13.8.	练习	242
IV:	基础模型与卫星嵌入	245
14.	<i>Segment Anything</i> 地理空间应用	247
14.1.	引言	247
14.2.	学习目标	247
14.3.	SAM 3 的工作原理	248
14.4.	环境配置	248
14.5.	图像分割	249
14.6.	点提示实例分割	253
14.7.	框提示建筑物提取	260
14.8.	批量分割	264
14.9.	大型影像的分块分割	266
14.10.	交互式分割	269
14.11.	视频分割	270
14.12.	本章要点	275
14.13.	练习	276
15.	视觉语言模型	279
15.1.	引言	279
15.2.	学习目标	279
15.3.	视觉语言模型的工作原理	280
15.4.	环境配置	280
15.5.	示例数据	281
15.6.	初始化 Moondream 处理器	281
15.7.	图像描述生成	282
15.8.	视觉问答	283
15.9.	目标检测与点定位	284
15.10.	交互式 GUI	286
15.11.	大型栅格数据的滑动窗口分析	288
15.12.	基于 CLIP 的分割	294
15.13.	地球观测中的实际应用	296
15.14.	局限性与注意事项	296

15.15. 本章要点	297
15.16. 练习	297
16. 卫星嵌入	299
16.1. 简介	299
16.2. 学习目标	299
16.3. 什么是卫星嵌入?	299
16.4. 环境配置	300
16.5. 浏览可用的嵌入数据集	300
16.6. 探索基于块的嵌入	302
16.7. 可视化嵌入	304
16.8. 嵌入聚类	305
16.9. 相似性搜索	307
16.10. 在嵌入上训练分类器	310
16.11. 通过嵌入比较进行变化检测	314
16.12. 使用 TorchGeo 加载数据集	315
16.13. 使用 TESSERA 时序嵌入	316
16.14. 探索 AlphaEarth 卫星嵌入	321
16.15. 本章要点	324
16.16. 练习	325
V: QGIS 插件	327
17. GeoAI QGIS 插件安装配置	329
17.1. 简介	329
17.2. 学习目标	329
17.3. 插件架构概述	329
17.4. 安装 QGIS 插件	330
17.5. 设置依赖项	332
17.6. 设置 SAM 3 访问权限	337
17.7. GPU 显存管理	337
17.8. 检查插件更新	338
17.9. 本章要点	339
17.10. 练习	340
18. QGIS 中的树木分割	341
18.1. 引言	341
18.2. 学习目标	341
18.3. 树木分割面板概览	341
18.4. 加载预训练模型	342
18.5. 运行预测	343
18.6. 导出结果	346
18.7. 实践注意事项	347
18.8. 关键点	348
18.9. 练习	348
19. QGIS 中的水体分割	349
19.1. 简介	349
19.2. 学习目标	349
19.3. 水体分割面板概览	349

19.4.	配置输入数据	350
19.5.	运行水体分割	351
19.6.	输出选项	352
19.7.	实际注意事项	353
19.8.	关键点	354
19.9.	练习	354
20.	QGIS 中的视觉语言模型	357
20.1.	引言	357
20.2.	学习目标	357
20.3.	加载 Moondream 模型	358
20.4.	影像描述	359
20.5.	视觉问答	360
20.6.	目标检测	361
20.7.	点定位	362
20.8.	提示与局限	363
20.9.	关键点	364
20.10.	练习	364
21.	QGIS 中的 Segment Anything	367
21.1.	简介	367
21.2.	学习目标	367
21.3.	示例数据	367
21.4.	加载 SAM 模型	368
21.5.	文本提示分割	370
21.6.	交互式分割	370
21.7.	批处理	372
21.8.	导出结果	373
21.9.	本章要点	374
21.10.	练习	375
22.	QGIS 中的语义分割	377
22.1.	引言	377
22.2.	学习目标	377
22.3.	创建训练数据	377
22.4.	训练模型	379
22.5.	运行推理	382
22.6.	常见问题排查	384
22.7.	关键点	384
22.8.	练习	384
23.	QGIS 中的实例分割	387
23.1.	引言	387
23.2.	学习目标	387
23.3.	Mask R-CNN 架构	387
23.4.	创建训练数据	388
23.5.	训练 Mask R-CNN	389
23.6.	运行推理	391
23.7.	要点总结	392

23.8. 练习	393
参考文献	395

前言

引言

我们正处于地球观测的一场革命之中。每天，卫星都会采集海量数据，包括多光谱影像、雷达、LiDAR 等。虽然这些信息蕴含着理解气候脆弱性和城市化的关键线索，但数据采集与实际应用之间的鸿沟一直是一个重大挑战。

这正是 GeoAI 发挥作用的地方。

作为地理空间科学与 AI 的交叉领域，GeoAI 正在以惊人的速度弥合这一差距。深度学习模型现在可以大规模识别每一栋建筑，或在广阔区域中精准定位单个车辆。新型基础模型使这些工具能够在陌生环境中以最少的人工干预运行。此外，视觉-语言模型和自主代理使分析人员能够通过简单的命令查询影像并管理工作流。曾经需要数月完成的手动数字化任务，如今在几分钟内即可完成。

本书“*GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*”是这场革命的实践指南。它建立在一个简单的前提之上：学习 GeoAI 的最佳方式就是动手实践。每一章都不是停留在抽象理论上，而是将真实工具交到你手中——从准备训练数据集、运行深度学习模型，到交互式地可视化和解释结果。代码是真实的，数据集是真实的，问题也反映了从业者每天遇到的实际情况。

GeoAI 的 Python 生态系统已经显著成熟。PyTorch、torchgeo 和 segment-geospatial 等库将最先进的深度学习带给地理空间从业者，而 [leafmap](#) 和 [geoai](#) 等软件包提供了高层接口，使复杂的工作流变得易于使用。云计算平台和 GPU 加速降低了大规模训练和部署模型的门槛。这些进步意味着，一位拥有笔记本电脑的研究人员现在就能完成过去需要一个专家团队和满屋服务器才能完成的工作。

我们的旅程从基础开始：理解地理空间数据格式、搭建深度学习环境以及掌握交互式可视化。然后我们将涵盖获取卫星影像和准备训练数据集的重要工作。在此基础上，我们逐步深入定义现代遥感的核心 AI 任务：图像识别、目标检测、语义分割、实例分割、图像转换、变化检测和像素级回归。接着，我们探索基础模型的前沿领域，包括 Segment Anything Model (SAM)、视觉-语言模型和卫星嵌入。最后，专门的 QGIS 插件章节将这些 AI 能力引入熟悉的桌面 GIS 环境，无需编写代码即可实现复杂的工作流。

无论你是希望将 AI 整合到工作流中的 GIS 专业人员、对地理空间应用感兴趣的数据科学家、推动地球观测前沿的研究人员，还是在地理学与机器学习交叉领域开启职业生涯的学生，本书都将为你提供将卫星影像转化为洞见的知识和技能。

地理空间分析的未来是智能的、自动化的、可及的。让我们一起构建它。

本书适合谁

本书面向所有希望将人工智能应用于地理空间数据的读者。如果你曾盯着一幅卫星影像思考如何自动提取建筑物、道路或土地覆盖，或者如果你已经训练过深度学习模型但在将其应用于具有投影、坐标和大文件的地理数据时遇到困难，那么本书正适合你。

以下读者将获得最大价值

GIS 专业人员——准备超越手动数字化和目视判读。你精通 QGIS 或 ArcGIS，理解空间分析概念，但希望利用深度学习来自动化要素提取、大规模分类土地覆盖，或检测时间序列影像中的变化。

遥感科学家或研究人员——从事卫星或航空影像工作。你了解光谱波段、空间分辨率和影像预处理，但需要一座通往现代 AI 技术的实践桥梁——从训练分割模型到将 SAM 等基础模型应用于你的研究区域。

数据科学家或机器学习工程师——具有深度学习经验，希望将技能应用于地理空间问题。你熟悉 PyTorch 或 TensorFlow，理解 CNN 和 Transformer，但需要关于地理数据独特挑战的指导：坐标参考系统、大栅格切片、多波段影像处理以及模型输出地理配准。

研究生或早期职业研究人员——在地理学、环境科学、城市规划、生态学或相关领域。你的研究涉及空间数据，希望将前沿 AI 方法融入论文或出版物，同时培养日益受需求的技能。

软件开发者——构建需要智能分析的地理空间应用。你需要将 AI 驱动的要素提取、分类或变化检测集成到 Web 应用、API 或自动化流水线中，并希望了解从模型训练到部署的完整 workflows。

必备前提知识

你应该熟悉以下内容：

- **Python 编程**：变量、函数、类和导入库（不需要高级 Python 专业知识）
- **基本数据分析**：处理表格数据、过滤、聚合和绘图
- **基本地理空间概念**：理解数据具有位置信息、栅格和矢量数据的含义，以及对坐标系统的基本了解
- **命令行基础**：目录导航、运行脚本和安装软件包

有帮助的背景知识（非必需）

- 深度学习框架使用经验（PyTorch、TensorFlow）
- 遥感概念（光谱波段、空间分辨率、影像分类）
- 地理空间 Python 库使用经验（rasterio、geopandas、leafmap）
- 机器学习基础知识（训练与推理、过拟合、评估指标）

如果你是地理空间 Python 编程新手

如果你是地理空间 Python 编程的新手，以下书籍为 GIS 基础概念和 Python 编程提供了出色的入门介绍：

Wu, Q. (2025). *Introduction to GIS Programming: A Practical Python Guide to Open Source Geospatial Tools*. Independently published. PDF edition ISBN 9798993859712; Print edition ISBN 979-8286979455. Available at gispro.gishub.org.

对于那些对空间数据管理和基于 SQL 的地理空间分析感兴趣的读者，配套书籍提供了全面的指南：

Wu, Q. (2025). *Spatial Data Management with DuckDB*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859705; Print edition ISBN 979-8274710572. Available at duckdb.gishub.org.

本书涵盖的内容

本书提供了从地理空间基础到生产就绪的 GeoAI 应用的系统学习路径，通过每一步的动手示例为你提供实用技能。每一章都建立在前一章的基础上，逐步扩展你将 AI 应用于现实地理空间问题的能力。

第一部分：基础 (第 1-3 章)

建立支撑所有后续内容的基本知识和工具：

- **第 1 章：GeoAI 概论** 全面概述了 GeoAI 领域：它是什么，为什么重要，以及深度学习如何改变了地理空间分析。你将探索遥感中的关键 AI 任务，了解 GeoAI 的 Python 生态系统，并理解基础模型和 AI 代理将把这个领域带向何方。
- **第 2 章：环境配置** 指导你配置完整的 GeoAI 开发环境。从安装 Python、使用 conda 管理软件包，到使用 CUDA 和 PyTorch 设置 GPU 加速，本章确保你拥有一个坚实、可复现的基础，用于后续所有的动手实践。
- **第 3 章：地理空间数据格式** 涵盖你在全书中会遇到的数据格式，包括 GeoTIFF 和 Cloud Optimized GeoTIFF (COG) 等栅格格式，GeoJSON 和 GeoParquet 等矢量格式，以及 COCO 和 Pascal VOC 标注等深度学习专用格式。你将学习使用 Python 读取、写入和转换这些格式。

完成第一部分后，你将拥有一个完全配置好的深度学习环境，并对使用 GeoAI 所需的数据格式和概念有扎实的理解。

第二部分：数据获取与准备 (第 4-6 章)

掌握获取和准备地理空间数据用于 AI 的关键但常被低估的工作：

- **第 4 章：下载遥感数据** 教你如何以编程方式访问卫星影像、高程数据和其他地理空间数据集，数据来源包括 Google Earth Engine、Microsoft Planetary Computer 和各种开放数据门户。你将学会高效地搜索、过滤和下载研究区域的数据。
- **第 5 章：交互式制图与可视化** 介绍用于交互式探索地理空间数据的强大可视化工具。使用 leafmap 和其他库，你将创建交互式地图、叠加卫星影像、可视化模型预测结果，并构建引人注目的可视化叙事。这些技能对探索性分析和结果展示都至关重要。
- **第 6 章：创建训练数据** 解决任何 AI 流水线中最重要的步骤之一：准备高质量的训练数据集。你将学习为分割、检测和分类任务创建标注数据集，包括标注策略以及如何将大幅卫星影像切片为训练瓦片。

完成第二部分后，你将能够从多个来源获取卫星影像，交互式地可视化它们，并准备结构良好的训练数据集，供深度学习模型使用。

第三部分：核心 AI 任务 (第 7-13 章)

深入现代地理空间分析的基础 AI 任务：

- **第 7 章：图像识别** 介绍用于整幅图像分类的深度学习。你将学习构建图像分类模型，从卫星和航空影像中识别场景类型、土地利用类别和地理特征。
- **第 8 章：目标检测** 教你在地理空间影像中定位和分类单个目标。从检测建筑物和车辆到识别树木和太阳能板，你将使用适用于遥感的 Faster R-CNN 和 YOLO 等架构。
- **第 9 章：语义分割** 涵盖像素级分类，为图像中的每个像素分配一个类别标签。你将训练模型从卫星影像中勾画水体、植被和建成区等要素，同时学习 U-Net 和 DeepLabV3+ 等架构。
- **第 10 章：实例分割** 将检测和分割相结合，为每个单独的目标生成精确的边界。你将学习区分重叠要素，例如使用 Mask R-CNN 等模型识别密集城区中的单个建筑物轮廓。
- **第 11 章：图像转换** 将 AI 应用于域间图像转换，包括超分辨率、传感器转换和去云。你将在多光谱卫星影像上训练模型，学习从低分辨率输入生成更高分辨率的输出。
- **第 12 章：变化检测** 应对识别不同时间拍摄的影像之间变化的挑战。从城市扩张和森林砍伐到灾后损害评估，你将学习传统方法和深度学习方法来进行时序分析。
- **第 13 章：像素级回归** 超越分类，预测每个像素的连续值，如冠层高度、生物量、土壤水分或人口密度。你将在卫星影像上训练回归模型，并学习针对连续预测的评估策略。

完成第三部分后，你将拥有所有主要 GeoAI 任务的动手经验，了解何时应用每种方法，并能够为自己的地理空间应用训练和评估模型。

第四部分：基础模型与卫星嵌入 (第 14-16 章)

探索 GeoAI 的前沿领域，预训练基础模型正在重新定义可能的边界：

- **第 14 章：地理空间 Segment Anything** 介绍 Segment Anything Model (SAM) 及其在地理空间影像中的应用。使用 [segment-geospatial](#) 软件包，你将学习以最少的提示分割卫星影像，提取建筑物、农田、水体等，无需针对特定任务的训练。
- **第 15 章：视觉-语言模型** 探索桥接视觉和文本理解的模型。你将学习使用自然语言查询卫星影像、为地理空间场景生成描述，以及利用多模态模型完成遥感数据上的视觉问答等任务。
- **第 16 章：卫星嵌入** 探索快速增长的基础模型预计算卫星嵌入数据集生态系统。你将学习浏览、加载和可视化来自九个数据集（包括 Clay、TESSERA 和 Google 的 AlphaEarth）的嵌入，执行相似性搜索和聚类，并在嵌入向量上训练轻量级分类器。

完成第四部分后，你将理解基础模型如何重塑 GeoAI，并具备将这些先进技术应用于自己研究和项目的能力。

第五部分：QGIS 插件 (第 17-23 章)

通过 GeoAI 插件将 GeoAI 能力引入熟悉的 QGIS 桌面 GIS 环境：

- **第 17 章：设置 GeoAI QGIS 插件** 指导安装和配置 GeoAI QGIS 插件。你将使用内置的依赖安装器或设置带有 PyTorch 和 CUDA 支持的 Pixi 环境，安装插件，并学习管理 GPU 内存以在 QGIS 中运行大型 AI 模型。
- **第 18 章：QGIS 中的树木分割** 演示用于树冠检测和生态目标检测的树木分割面板。你将加载用于树木、鸟类、牲畜、巢穴和枯树的预训练模型，配置单幅影像和大幅瓦片的预测参数，并以矢量、栅格和训练数据格式导出结果。
- **第 19 章：QGIS 中的水体分割** 涵盖使用 OmniWaterMask 进行自动化水体检测的水体分割面板。你将配置不同传感器的波段顺序，调整基于补丁的推理参数，集成 OpenStreetMap 数据进行优化，并将水体掩膜导出为栅格和矢量数据。
- **第 20 章：QGIS 中的视觉-语言模型** 演示用于自然语言与地理空间影像交互的 Moondream VLM 面板。你将生成图像描述、询问可见要素相关问题、使用边界框检测目标，以及使用点标记定位要素。
- **第 21 章：QGIS 中的 Segment Anything** 演示用于交互式 and 自动化分割的 Segment Anything 面板。你将加载 SAM 3，使用文本提示分割目标，使用点和框提示进行交互式分割，批量处理要素，并导出地理配准的结果。
- **第 22 章：QGIS 中的语义分割** 涵盖无需编写代码的像素级分类完整训练到推理工作流。你将创建训练数据集，从 U-Net、DeepLabV3+ 和 SegFormer 等架构中选择，训练自定义模型，并运行带有矢量化和平滑处理的推理。
- **第 23 章：QGIS 中的实例分割** 演示使用 Mask R-CNN 进行实例级目标检测。你将以 PASCAL_VOC 格式创建实例训练数据，训练模型以检测和勾画单个目标，并使用逐目标输出进行计数、测量和空间分析。

完成第五部分后，你将能够直接在 QGIS 中运行复杂的 GeoAI 工作流，使 GIS 从业者无需 Python 编程专业知识即可进行 AI 驱动的分析。

贯穿全书的主题

- **动手实践**：每个概念都配有使用真实地理空间数据的可运行代码示例。
- **开源工具**：本书使用的所有软件都是免费和开源的，确保可访问性和可复现性。
- **可扩展工作流**：技术既适用于笔记本电脑，也可扩展到云基础设施。
- **真实世界应用**：示例来自环境监测、城市分析、农业和灾害响应。
- **可复现性**：所有代码和数据均在 GitHub 上提供，使你能够复现书中的每一个结果。

如何充分利用本书

为了最大化你的学习体验，请考虑以下建议：

尽早配置环境：仔细按照第 2 章的指导配置带有 GPU 支持的 Python 环境。许多 GeoAI 任务从 GPU 加速中获益显著，一个正确配置的环境将在全书学习过程中为你节省大量时间。如果你没有本地 GPU，本书提供了使用 Google Colab 等基于云的 GPU 平台的指导。

跟着代码动手做：本书设计为交互式的。不要只是阅读代码——亲自输入、运行并观察结果。修改参数、尝试不同的数据集、进行实验。理解来自于实践，动手示例是本书的核心。当某些内容未按预期工作时，不要急于跳过。调试是最有价值的学习体验之一，你培养的故障排除技能将在整个 GeoAI 职业生涯中受益。

按顺序学习各章：虽然有经验的从业者可以跳到特定主题，但各章是逐步递进的。早期章节中介绍的概念（环境配置、数据格式、可视化技术）贯穿全书使用。如果你跳过了某些章节，需要时请回头参考。

使用你自己的数据：虽然本书为每个示例提供了数据集，但真正的学习发生在你将这些技术应用于你关心的数据时。尝试在你的研究区域影像上运行分割模型，或训练一个检测与你研究相关要素的目标检测模型。

拥抱错误：训练深度学习模型涉及迭代。模型不会总是在第一次尝试时收敛，预测不会总是完美的，GPU 偶尔会内存不足。这些都是学习机会。本书讨论了常见陷阱和调试策略，但诊断问题的直觉来自于经验。

构建一个作品集项目：随着你在书中的进展，确定一个你感兴趣的地理空间问题，并应用你正在学习的技术。一个完整的项目——从数据获取到模型训练再到可视化——比任何认证都更能有效地展示你的技能。

保持更新：GeoAI 是一个快速发展的领域。新的基础模型、架构和工具不断涌现。本书的 GitHub 仓库会定期更新新内容和示例，以便你继续学习之旅。

本书使用的约定

本书使用多种约定来帮助你浏览内容和理解代码示例：

代码格式：所有 Python 代码以等宽字体显示在代码块中。当代码出现在正文中时，格式为如此显示。文件和目录名、包名和函数名也使用等宽字体格式。

代码示例：大多数代码示例是完整且可运行的。它们包含解释所演示的关键概念和技术的注释。以下是使用 `leaflet` 库的典型示例：

```
import leafmap

m = leafmap.Map(center=[40, -100], zoom=4)
m.add_basemap("Esri.WorldImagery")
m
```

包导入：在每章开头，列出所有必需的导入。你在全书中会遇到的关键包包括：

- `geoai` - 高级 GeoAI 工作流 (opengeoai.org)
- `leafmap` - 交互式地理空间可视化 (leafmap.org)
- `samgeo` - 地理空间数据的 SAM (samgeo.gishub.org)
- `torch` / `torchvision` / `torchgeo` - 基于 PyTorch 的深度学习
- `rasterio` / `geopandas` - 读写地理空间数据

图表和地图：交互式地图直接在 Jupyter 笔记本中渲染。在印刷版中，显示静态截图，并附有描述在线版本中可用交互功能的标题。

下载代码示例

本书的所有代码示例和补充材料均可在 GitHub 上免费获取：<https://github.com/giswqs/GeoAI-Book>

所有示例数据集可在 Source Cooperative 获取：<https://source.coop/opengeos/geoai>

要下载这些材料，你可以使用以下方法之一：

- **克隆仓库**（推荐，如果你已安装 Git）：

```
$ git clone https://github.com/giswqs/GeoAI-Book.git
```

- **下载 ZIP 文件**（如果你不想使用 Git）：
 - 访问 GitHub 仓库页面
 - 点击绿色的 **Code** 按钮
 - 选择 **Download ZIP**
 - 将文件解压到你首选的位置
- 通过 GitHub 界面或本书网站 book.opengeoai.org **在线浏览单个文件**

仓库会定期更新修正、改进和额外示例。请定期查看更新，或在 GitHub 上 **star** 和 **watch** 该仓库以接收更改通知。

如果你发现代码中的错误或有改进建议，请在 GitHub 上提交 issue 或发起 pull request。社区贡献有助于使这一资源对每个人都更好。

视频教程

作为书面内容的补充，本书配有视频教程，逐步讲解关键概念并提供额外的演示：

<https://youtube.com/@giswqs>

这些视频旨在补充而非替代书面材料。它们对以下方面特别有帮助：

- 视觉型学习者，受益于观看代码的实时编写和执行
- 通过逐步演示理解模型训练和推理等复杂工作流
- 了解如何处理地理空间问题和调试常见问题
- 学习处理大型卫星数据集的技巧和最佳实践

随着本书的发展，将添加更多视频教程。订阅频道以获取新内容通知。

社区与反馈

欢迎读者的反馈、问题和建议。你的意见有助于改进本书，使其对 GeoAI 社区更加有用。

关于本书相关的问题和讨论：

- GitHub Issues: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/issues>
- GitHub Discussions: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/discussions>

关于特定软件包的问题：

- geoai: <https://github.com/opengeos/geoai/issues>
- leafmap: <https://github.com/opengeos/leafmap/issues>
- segment-geospatial: <https://github.com/opengeos/segment-geospatial/issues>

以下类型的反馈特别有帮助：

- 文本或代码中的错误或不清晰的解释
- 关于额外示例、数据集或用例的建议
- 不同操作系统、GPU 配置或库版本的兼容性问题报告
- 关于新主题或新兴 GeoAI 技术的想法
- 你如何将本书技术应用于自身工作的成功案例

关于作者

吴秋生博士是田纳西大学诺克斯维尔分校地理与可持续发展系副教授兼研究生项目主任。他同时担任亚马逊学者。吴博士的研究专注于通过云计算和 GeoAI 推进开源地理空间分析，重点利用大规模地理空间数据和人工智能研究环境变化，特别是地表水和湿地淹没动态。

他是多个广泛使用的开源 Python 软件包的创建者和维护者，包括用于交互式 Google Earth Engine 可视化的 [geemap](https://geemap.org)¹、用于多功能地理空间制图的 [leafmap](https://leafmap.org)²、用于将 Segment Anything Model 应用于地理空间数据的 [segment-geospatial](https://samgeo.github.org)³，以及用于高级 GeoAI 工作流的 [geoai](https://opengeoai.org)⁴。他的开源项目通过 GitHub 上的 [Open Geospatial Solutions](https://github.com/opengeos)⁵ 组织提供，已被全球的研究人员、教育工作者和从业者广泛采用。

吴博士的工作将遥感、地球观测和人工智能相结合，使大规模地理空间数据更加易于获取、可复现和智能化。他热衷于开放科学，并相信理解我们星球的最佳工具应当对所有人免费开放。

¹<https://geemap.org>

²<https://leafmap.org>

³<https://samgeo.github.org>

⁴<https://opengeoai.org>

⁵<https://github.com/opengeos>

许可与版权

本书秉承开放科学和开放教育的原则。为支持透明性、学习和再利用，本书中的**代码示例**以 [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](#) 许可证发布。这意味着你可以自由复制、修改和分发代码，包括用于商业目的，只要给予适当的署名。

请通过引用本书或链接到 GitHub 仓库来标注代码使用：

Wu, Q. (2026). *GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859729; Print edition ISBN 979-8253507414. Available at book.opengeoai.org.

虽然代码是免费提供的，但本书中的**文本、图表和图像**由作者**拥有版权** © 2026，未经明确许可不得复制、再分发或修改。这包括所有书面内容、自定义图表和嵌入式可视化，除非另有说明。

如果你希望再利用或改编本书中的任何非代码材料（例如用于教学、演示或出版物），请联系作者以请求许可。

这种双重许可方式有助于在开放获取学习材料和保护原创创意作品之间取得平衡。感谢你尊重这些条款并支持开源地理空间社区。

开源地理空间人工智能实用指南

人工智能正在改变我们分析和理解地球的方式。《GeoAI 与 Python》是一部权威的实用指南，系统讲解如何将人工智能技术应用于地理空间数据，从卫星影像和航空照片，到矢量数据集和地球观测数据档案。

本书的每一章都配有基于真实数据的 Jupyter Notebook，读者可以边学边做，复现书中的所有结果。无论你是正在探索人工智能的 GIS 从业者，还是首次处理空间数据的数据科学家，本书都能帮助你打通这两个领域。

吴秋生博士是田纳西大学地理系副教授，同时担任亚马逊学者。他开发了多个广泛使用的开源地理空间软件包，包括 geemap、leafmap、segment-geospatial 和 geoai。其项目可在 <https://github.com/opengeos> 获取。

您将学到：

- 从 NAIP、Sentinel-2 和 STAC 目录下下载并准备遥感数据
- 训练用于分割、目标检测和地表覆盖分类的深度学习模型
- 将 SAM 3、Moondream 和卫星嵌入等基础模型应用于实际问题
- 构建用于地理空间分析的交互式地图和可视化
- 使用 QGIS 插件进行分割、模型训练、推理以及视觉语言模型应用



扫描二维码访问本书网站，并从
<https://book.opengeoai.org> 下载
代码示例。

