

站点气候年温度趋势与显著性诊断

从数据准备到结果复核的课堂实训

本案做什么

1991–2020 年，8 个站点的年温度序列

演示 Sen 斜率、Mann–Kendall 与窗口敏感性

温度单位：°C | 课堂分析：固定种子的合成教学数据



01 读懂问题

02 跟做分析

03 核对图表

04 说明边界

本案要回答的学习问题

先提出能被数据回答的问题，再选择方法。

01

变化方向是什么？

8 个合成站点的年温度序列，整体向上、向下，还是不同站点方向并不一致？

02

变化速度有多快？

Sen 斜率给出速度；换成 $^{\circ}\text{C}/10$ 年后，不同窗口的结果还能保持同一方向吗？



先记住边界

课堂图件来自
固定种子的合成序列。

它用来练方法，
不代表真实气候结论。

从环境问题走到可计算的问题

把“变暖了吗”拆成空间对象、时间轴和可复核的统计量。

研究对象

8 个站点

空间单元：站点

时间：1991–2020

变量：年温度（℃）



关键翻译

研究问题 → 空间对象 + 时间轴 + 单位 + 检验规则
论文只作方法对照，本案不复现论文研究区和论文数值。

数据先认清：来源、尺度与课堂输入

真实产品、随包样例和合成数组，三种状态必须分开说。



公开来源

NOAA GHCN-Daily

随包真实日值样例：用于格式练习



空间与时间

空间单元：8 个站点

时间：1991–2020；年温度



课堂输入

固定种子的合成序列

图件和数值都以 Notebook 为准

口径提醒

合成教学数据不写成真实环境发现；若下载版本改变，更新来源、版本、哈希和结果说明。

分析流程： 每一步都要留下可检查的结果

不要只交一张图；每个环节都要能回到文件证据。

数据入口

读说明、看字段、确认状态

1

QC 与算法

Sen 、 MK 、 窗口敏感性

2

图表核对

四张 PNG + summary.csv

3

解释提交

参数、观察、限制

4

目标目录

`cases/01_station-climate-trends/outputs/student_run/`

动手前先做数据质量检查

先确认字段、缺失、时间和单位，再让算法运行。

✓ 字段与单位

8 站、1991–2020、年温度、°C

✓ 时间与空间

年份递增；站点顺序与坐标支撑一致

✓ 输入状态

真实样例与合成数组不得混用

QC 通过的标志

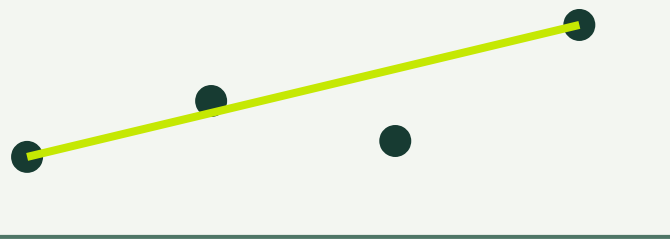
- ✓ 时间长度正确
- ✓ 数值范围可解释
- ✓ 缺失处理有记录
- ✓ 数据状态写进报告

异常先停下来查输入，不要直接改图标题。

算法第一步：Sen 斜率怎样形成

先逐对计算，再取中位数；每个站点单独做一次。

① 输入：一个站点的年温度



年度序列： $T_1, T_2, \dots, T_{30}$

② 对每一对年份 $i < j$ 计算斜率

$$b_{ij} = \frac{(T_j - T_i)}{(j - i)}$$

单位： $^{\circ}\text{C}/\text{年}$

③ 汇总成稳健速度

$$\hat{\beta} = \text{median}(b_{ij})$$

再乘以 10

$^{\circ}\text{C}/10 \text{ 年}$

为什么取中位数？

极端年份对少数斜率的影响较小；报告的是趋势速度，不等于因果解释。

算法第二步：参数会怎样影响结果

Sen 给速度，MK 给单调趋势证据；两者回答的问题不同。

方法	它回答什么	本案关键设置
Sen 斜率	变化速度与方向	斜率 × 10 → °C/10 年
Mann–Kendall	单调趋势的 p 值证据	参考线 0.05；未作自相关修正
窗口敏感性	换时间窗后方向是否保持	10 / 20 / 30 年

讲解顺序

先看 β 的正负，再看 p 值，最后看窗口变化。

不要偷换概念

描述图不改名为显著性图；敏感性图不等于稳健性证明。

在 Notebook 里按什么顺序操作

从案例根目录打开文件，按顺序运行全部单元。

notebook/ 核心算法代码 .ipynb

VS Code → 选择案例 .venv → Restart Kernel → Run All

先看输入与 QC

1

检查站点、年份、单位

计算趋势

2

Sen 斜率 + MK p
值

看四张图

3

边看边对图件追溯表

核对 CSV

4

记录参数和数据状态

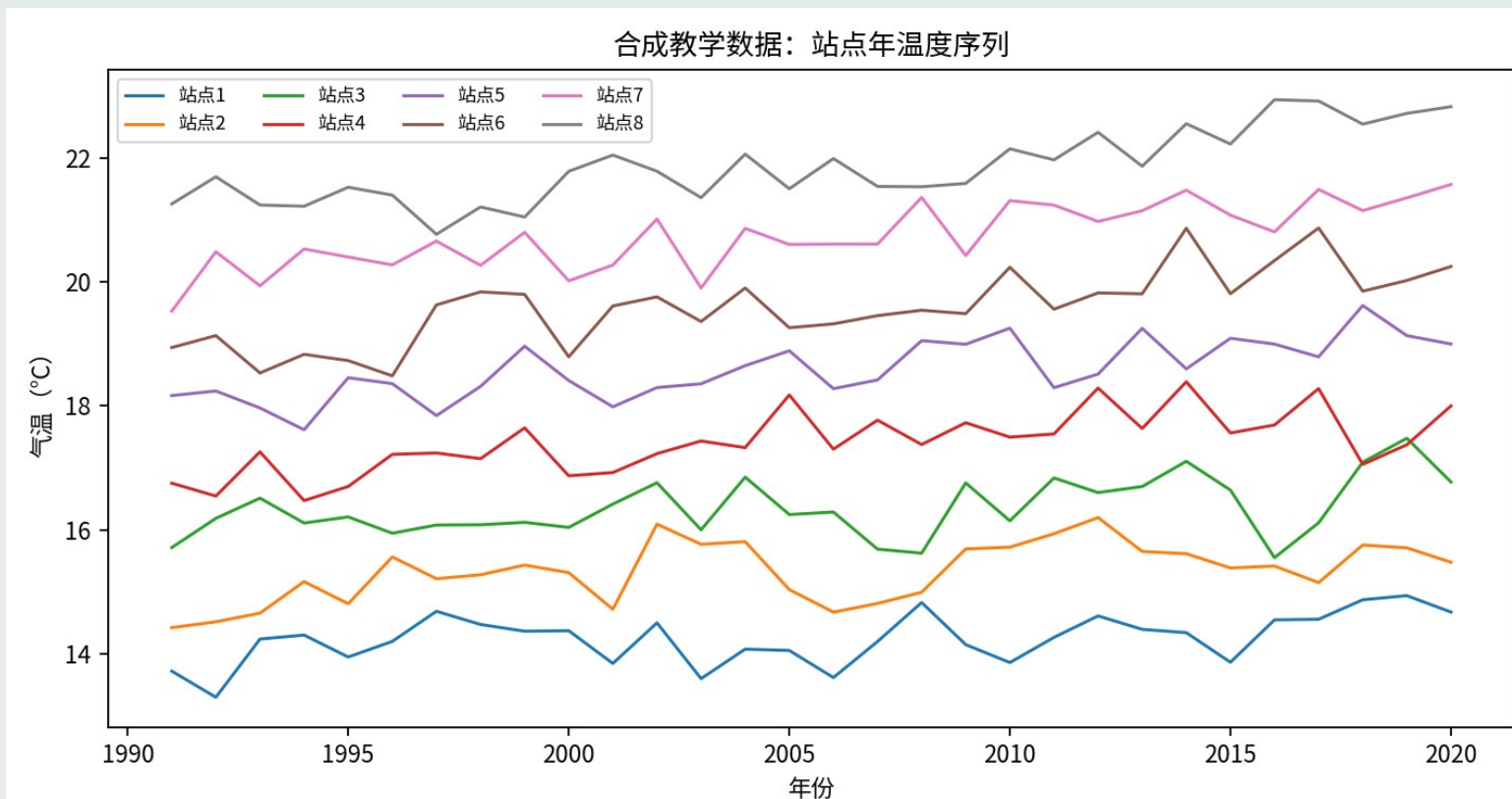
学生运行后另存到

outputs/student_run/

Notebook 默认使用合成教学数据；它不会自动下载或读取 NOAA 产品。

8 个合成站点年度温度序列

先看时间范围、单位和站点差异，再写观察句。



读图三问

时间： 1991–2020

对象： 8 个站点

单位： °C

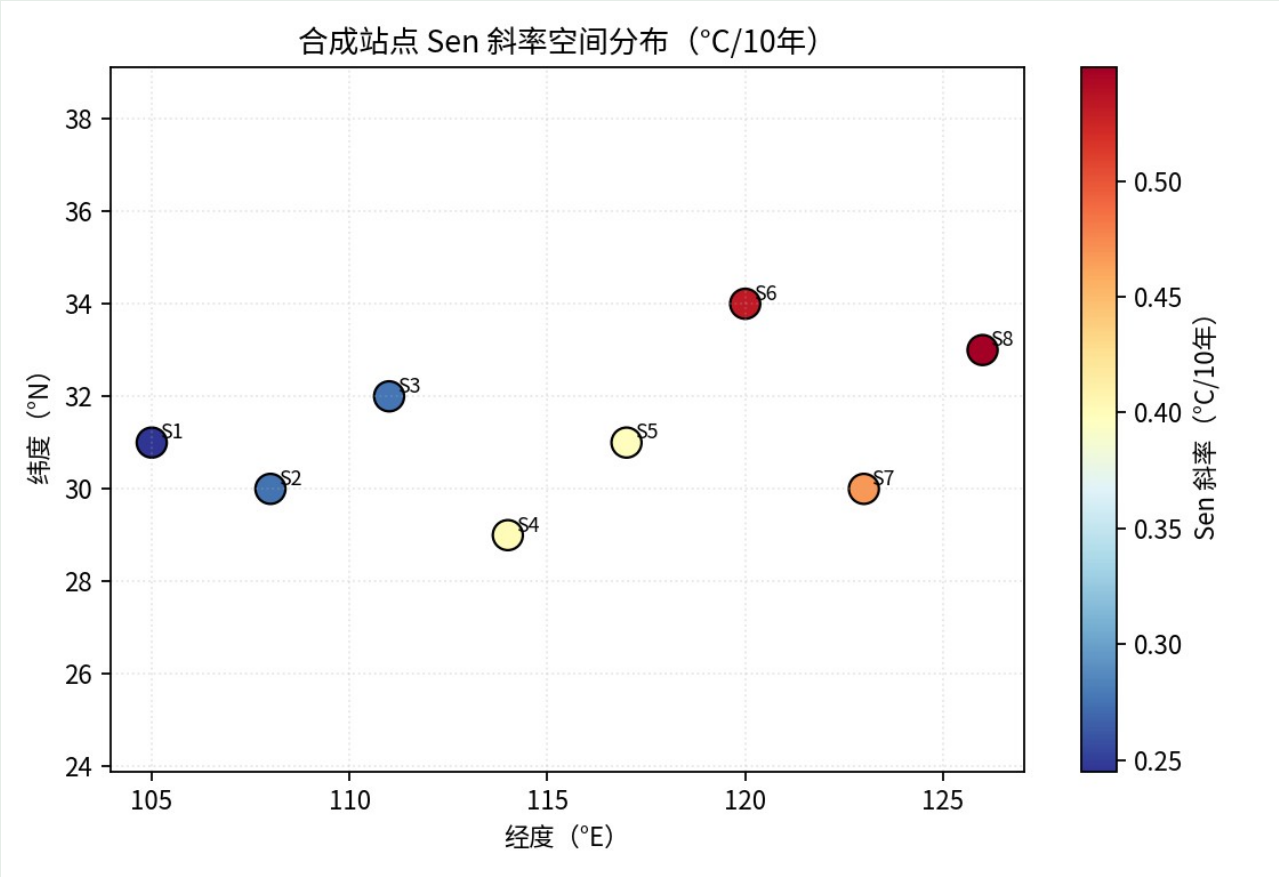
观察句要带证据：

“在本合成教学示例中，
某站点的变化方向为...”

图源： Notebook figures/01...

站点 Sen 斜率：每十年变化量

Notebook 已将每年斜率乘以 10，统一报告为 °C/10 年。



读图重点

方向

正值 / 负值

速度

单位是 °C/10 年

边界

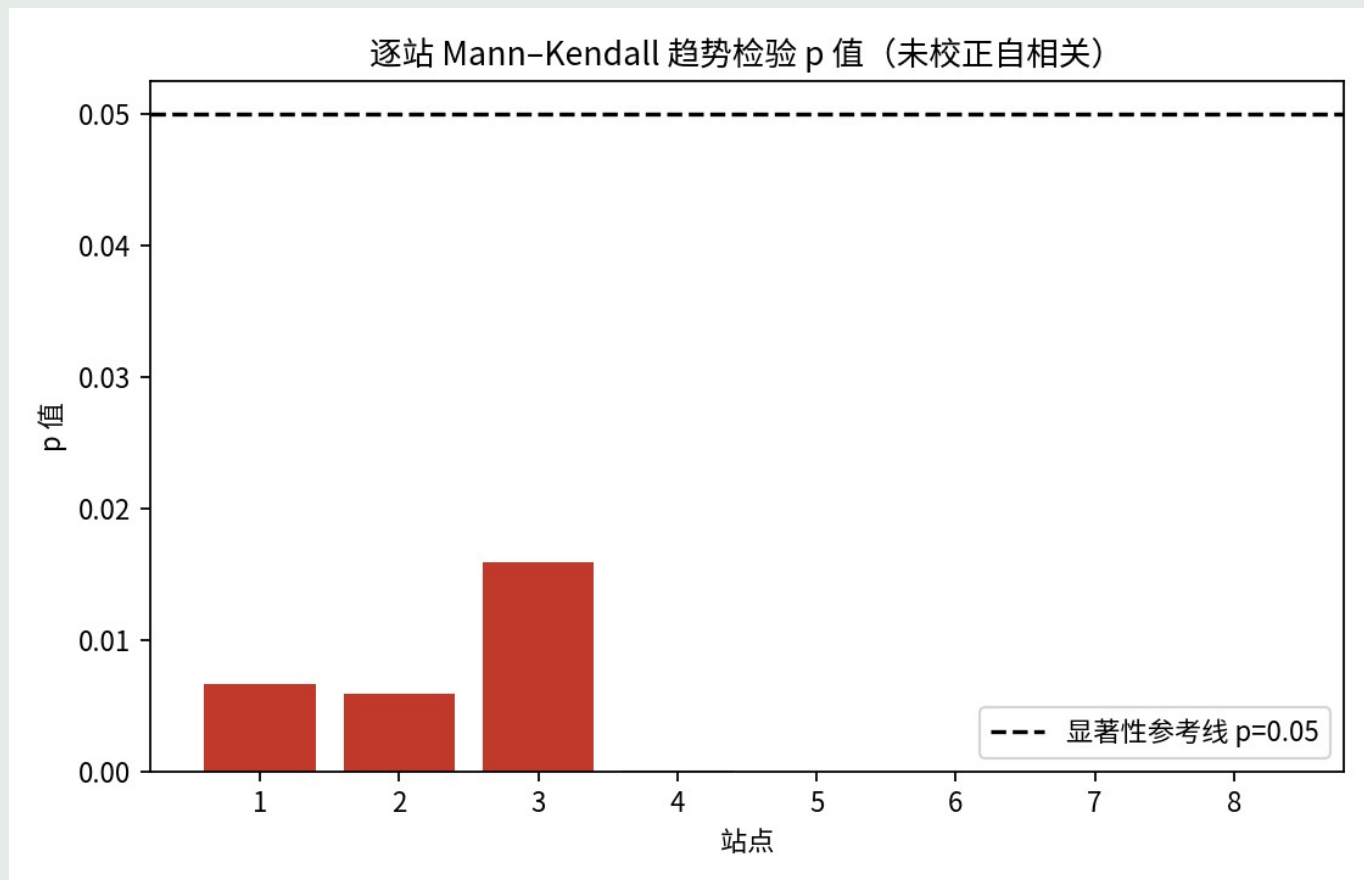
斜率不是显著性

图源：Notebook figures/02...

合成图，仅作方法演示

各站 Mann-Kendall p 值 (0.05 参考线)

p 值用于描述单调趋势证据；本案没有做自相关修正。



如何读

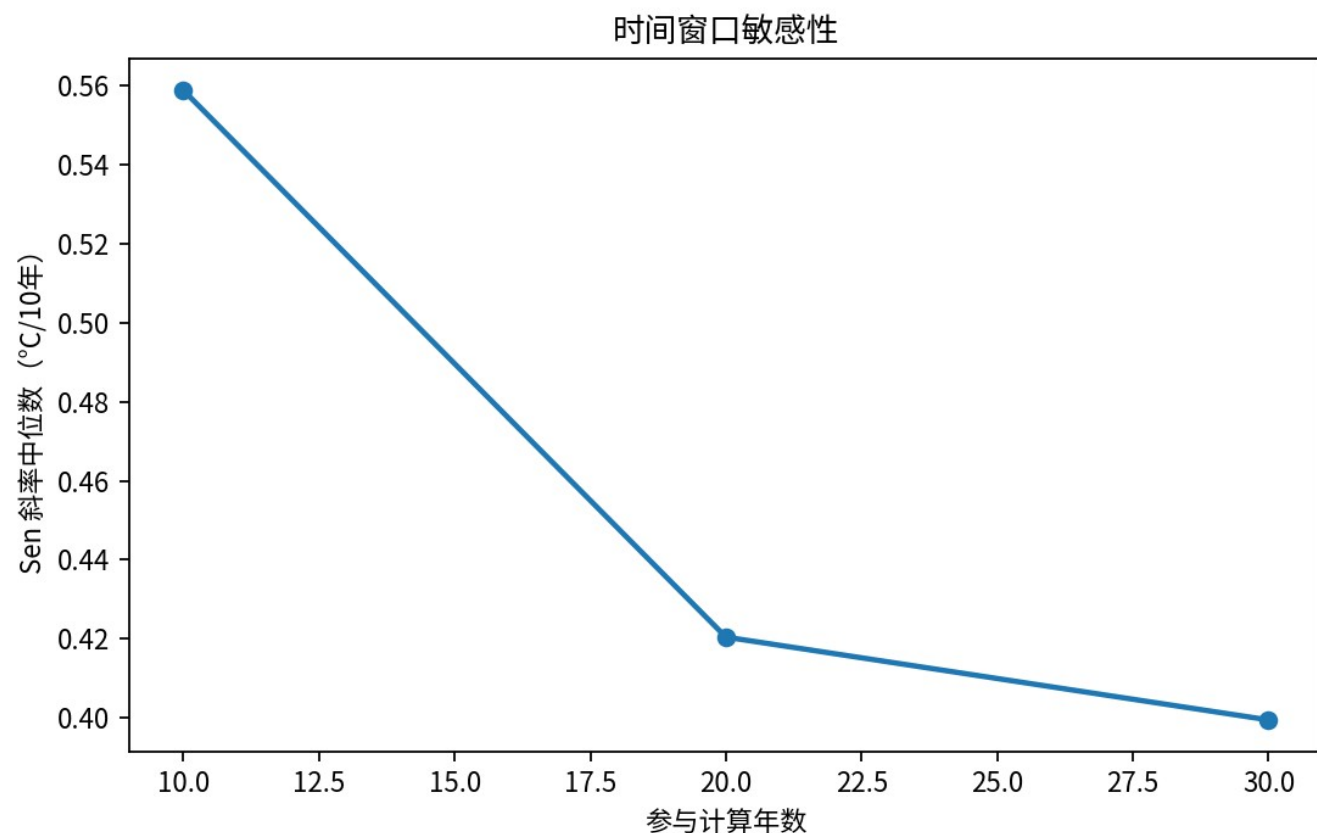
先定位 0.05 参考线，
再比较各站点位置。

p 值小不代表效应大，
更不能替代斜率。

图源：Notebook figures/03...
合成图，仅作方法演示

10 / 20 / 30 年窗口斜率敏感性

换时间窗，观察中位 Sen 斜率方向是否保持；统一单位为 $^{\circ}\text{C}/10$ 年。



敏感性不是“多跑几次”

固定 数据状态与计算函数

只改 时间窗口

再看 方向、幅度和差异

报告时要写

窗口 + 单位 + 合成边界

图源: Notebook figures/04...

结果可以怎样解释，哪些话不能说

统计量能支持的句子，要和数据状态、检验范围一起出现。

可以说

- ✓ Sen 斜率给出方向和速度
- ✓ MK p 值提供单调趋势证据
- ✓ 窗口改变时结果可以比较
- ✓ 写清 °C/10 年和合成状态

不能说

- × 合成图代表真实气候结论
- × p 值等于效应大小
- × 没有自相关修正仍可外推
- × 只看一张图就下因果结论

出现不一致时：回到 Notebook、追溯表和数据说明，先修正再讲结果。

遇到问题时按“现象—核对—处理”排查

定位问题在哪一层，再决定是否需要改代码。

现象

图件空白
维度对不上
标题与图不符

核对

输入路径、 NoData 、样本数
时间排序、单位、数组形状
FIGURE_TRACEABILITY.csv

处理

Restart Kernel → Run All
固定种子后重新运行
修代码，不只改 PPT

真实数据字段不匹配时先停算，对照产品版本和字段字典，不要用模拟数组假装实测。

提交哪些东西，教师怎样验收

每个提交物都要能回指 Notebook、图件或运行说明。

提交物	应包含	验收证据
图件	四张 PNG，标题、单位、图例	FIGURE_TRACEABILITY.csv
结果表	summary.csv 与参数记录	Notebook 输出单元
文字说明	观察、限制、数据状态	任务单与评分量规
运行记录	代码版本、随机种子、环境	RUNBOOK.md

评分项必须能回到代码或图件； PPT 只帮助讲清楚，不另造一套评分权重。

用核心论文校准方法，再带走一个问题

公开方法的教学迁移，不是论文研究区和数值的复现。

公开全文论文

Frimpong et al. (2022)

DOI : 10.1186/s40068-022-00269-1

全文: <https://link.springer.com/article/10.1186/s40068-022-00269-1>

随包文件: 论文资料 / 开放全文 / P01_Frimpong_2022_MK_Sen_CC_BY_4.0.pdf

论文方法



本案实现



数据限制

任务: 指出论文与本案在方法、数据、空间尺度和推论边界上的异同。