

美赛复盘：如何用数学模型解决 “过度旅游” 难题？

——MCM 2025B题 经验分享

成员：董嘉铖，陈奕乐，何诺语

01

解题思路

Solution Approach

题目分析

题目中的第二段就是题目中最大的提示。

根据题目，将影响因素设为：

Infrastructure/environment/resident satisfaction.

同时，题中也提到了 Tax 的作用，

所以我们便有了大致的逻辑关系。

Recent reports^[4] have highlighted the hidden costs of tourism and the growing need to account for and manage these costs to protect natural and cultural resources and build a sustainable tourism industry on which numerous communities around the world depend. These hidden costs include pressure on local infrastructure including drinking water supplies, waste management, and an overall increased carbon footprint in tourist destinations, many of which lie in environmentally sensitive regions. Local populations are also under pressure due to housing supplies and costs, overcrowding, and rowdy tourists. Various measures have been enacted to attempt to ease the burden, including increased hotel taxes, visitor fees, caps on the number of daily visitors, and restrictions on alcohol sales and consumption. Additional revenue from taxes have been used to support conservation, make improvements in infrastructure, and develop community programs. While many locals that depend on tourism are concerned that additional fees might drive tourists away and would rather see the numbers, and their businesses, grow, many other locals are becoming disgruntled and either leaving or protesting against tourists.

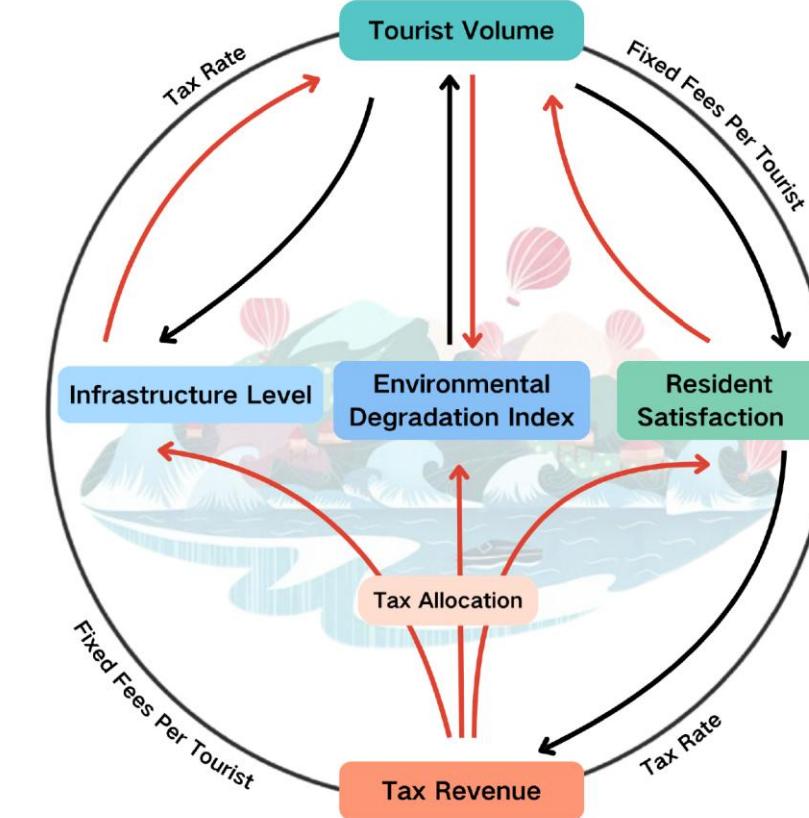


Figure 7: Dynamic Feedback Loops in Sustainable Tourism Systems

题目难点

建模不是这道题最难的部分，B题主要难点在于数据收集

- 100多页的预算书
- 居民满意度指标与论文变量难以对齐
- 环境恶化指数很难推测，官方文件中很少
- 政府官网难用，相关数据少
- 题目参考文件的新闻很难构成数据来源

Table 9. For each of the following visitor-related impacts, was your household very affected, somewhat affected, or not affected in 2023? By "affected" we mean changing your use of an area in addition to other kinds of impacts. (%)

n=511 to 517	Very affected	Somewhat affected	Very + Somewhat Affected	Not affected	Don't know
Crowding at Mendenhall Glacier	41	22	63	36	1
Vehicle congestion downtown	28	33	61	39	<1
Crowding on sidewalks downtown	36	23	59	40	1
Whale watching boat traffic and wakes	30	17	47	50	3
Vehicle congestion outside of downtown	14	31	45	55	<1
Flightseeing noise	18	25	43	57	1
Crowding on trails	15	25	40	59	1
Air emissions from cruise ships	14	22	36	60	4

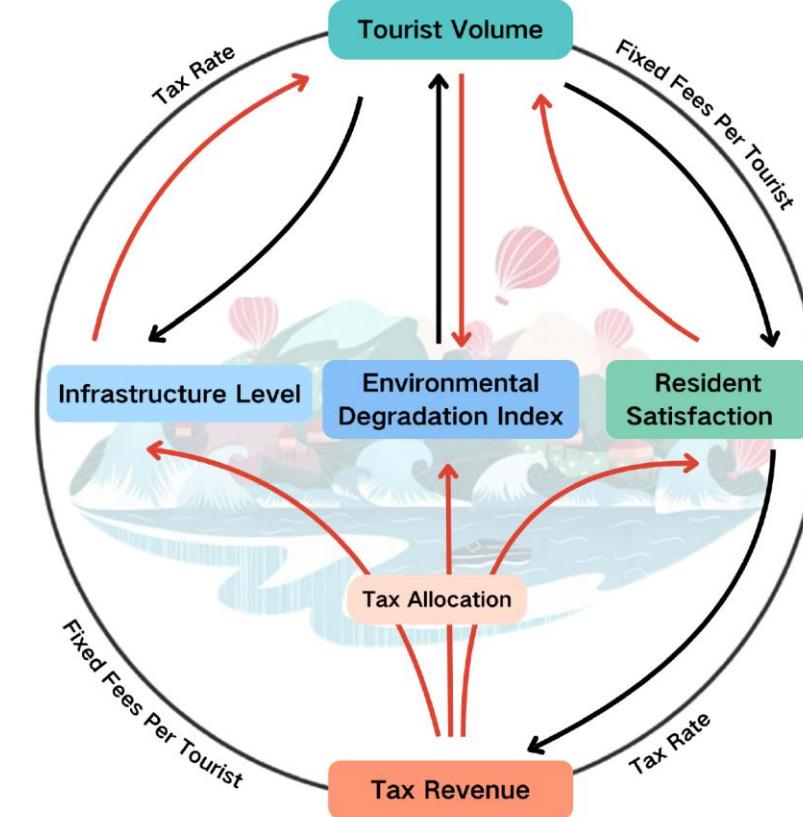


Figure 7: Dynamic Feedback Loops in Sustainable Tourism Systems

数据收集

设置参数需要有一定的来源，题目最后通常会包含几篇引用材料，但是不够。

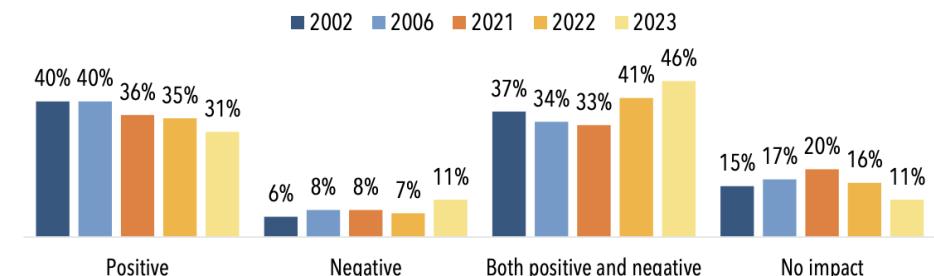
我们从原文给出的 *Tourism-Survey* 文档，找到了 2021、2022 年的旅游调研文档。2024 年的文档发表较晚（赛后一个月），因此论文中并未过多涉及。但只要充分研究前三年的数据，并不会造成很大影响。

通过官网的 *Budget* 文章，可以清晰看到 *Tax* 分布，COVID-19 的影响，这对论文很有帮助。

Nondepartmental Special Revenue Funds:

Sales Tax	65
Hotel Tax	66
Affordable Housing	66
Tobacco Excise Tax	67
Port Development	68
Marine Passenger Fee	68
COVID-19 Pandemic Response	69

Comparison: Overall Impact of Tourism on Households, 2002, 2006, 2021, 2022, 2023



Notes: The 2021 survey referred to 2019 impacts. Excludes "don't know" and refused responses.

CBJ-Tourism-Survey-2023-Report-12.11.23.pdf
引用原图

模型建立

美赛的模型不一定要很牛逼，只要能清晰展现问题即可。

我们的文章中用到了以下模型。

- 系统动力学模型，理清各种因素的影响逻辑。
- Logistic 模型，非常经典的人口模型。
- 常微分方程，搭建此类模型的基础。



基于Logistic增长模型的旅游目的地品牌流行度分析-中国人民大学复印 ...
 本文着重探究了目的地品牌流行度演化周期的各个阶段的特征表现和与之对应的游客情感联系的演变及目的地的地域表现特征，并以大连市为例，运用Logistic增长模型对其 ...

$$\frac{dE}{dt} = \underbrace{\eta x(1 + \gamma\tau)}_{\text{Tourism pressure}} - \underbrace{\delta_E E}_{\text{Natural recovery}} - \underbrace{\phi_{\text{env}}\theta_{\text{env}} T}_{\text{restorative impact of environmental investments}} \quad T = \underbrace{\tau x}_{\text{Tax revenue}} + \underbrace{f_{\text{other}} x}_{\text{Fixed fees}}$$

$$\frac{dx}{dt} = \underbrace{\alpha_0(1 + \lambda_I I)(1 + \xi_S S)x}_{\substack{\text{Infrastructure boost} \\ \text{Satisfaction effect}}} - \underbrace{\beta_0(1 + \zeta_E E)x^2}_{\substack{\text{Environmental pressure} \\ \text{影响较小}}} \left(\frac{x}{K} \right) \quad \begin{matrix} \text{影响较大} \\ \uparrow \\ \text{Logistic 中的承载力} \end{matrix}$$

$$\frac{dI}{dt} = \underbrace{\phi_{\text{infra}}\theta_{\text{infra}} T}_{\text{Investment flow}} - \underbrace{\delta_I I}_{\text{Depreciation rate}}$$

模型可以现场搜索

$$\frac{dS}{dt} = \underbrace{\mu_S(I + \epsilon\theta_{\text{pub}}T)}_{\text{Public service}} - \underbrace{\kappa_S \cdot x}_{\text{Congestion cost}} - \underbrace{\nu_S E}_{\text{Environmental degradation}}$$

参数设置

对每个影响因素设置超参数: $x/E/I/S.$

对于税设置: $\theta_{env}/\theta_{infra}/\theta_{pub}$ 且和为1.

设置税率 τ 以及人头税 f_{other} .

基于模型需要, 界定其他的参数。

具体来说, 就是子影响因素。

当然, 不必一次全部设计出来, 在后续调整参数时再添加相关参数也没问题。

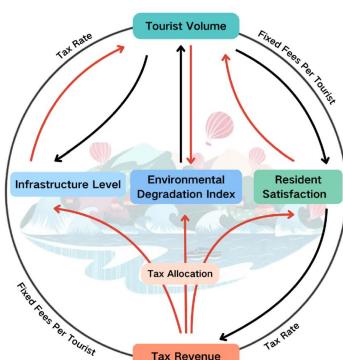


Figure 7: Dynamic Feedback Loops in Sustainable Tourism Systems

Equation	Variable/Symbol	Definition
(1): Tourist Dynamics	x	Tourist volume (persons)
	α_0	Base growth rate (1/year)
	λ_I	Infrastructure growth multiplier
	ξ_S	Satisfaction growth multiplier
	β_0	Base crowding coefficient (1/person/year)
	ξ_E	Environmental degradation crowding multiplier
(2): Infrastructure Dynamics	K	Carrying capacity baseline (persons)
	I	Infrastructure level (dimensionless)
	ϕ_{infra}	Infrastructure investment efficiency (1/\$)
	θ_{infra}	Infrastructure investment allocation rate
(3): Environmental Dynamics	δ_I	Infrastructure depreciation rate (1/year)
	E	Environmental degradation (dimensionless)
	η	Tourism pressure coefficient
	γ	Tax amplification factor (1/\$)
	δ_E	Natural recovery rate (1/year)
	ϕ_{env}	Environmental investment efficiency (1/\$)
(4): Satisfaction Dynamics	θ_{env}	Environmental investment allocation rate
	S	Resident satisfaction (dimensionless)
	μ_S	Infrastructure/public service satisfaction gain
	ϵ	Public service conversion efficiency
(5): Tax System	θ_{pub}	Public service allocation rate
	κ_S	Tourist congestion penalty (1/person)
	ν_S	Environmental degradation penalty
	τ	Tax rate (dimensionless)
(6): Policy Constraint	f_{other}	Fixed fees per tourist (\$/person)
	θ_i	Allocation rates ($\sum \theta_{env+infra+pub} = 1$)

决策优化

疫情带来了 2020 年之后旅游人口的报复式增长。

仅使用官网收集的数据是不够的，需要根据真实情况调整系数拟合，得到合适的 α_0, β_0, K 等参数。

另外，根据报告和政策调整参数的设置：

- 比如 K 取 1.65 million (2023 年的游客量作为环境承载基准)
- 投资效率 $\varphi_{infra}, \varphi_{env}$ 来自“每年预算投入 + 设施改善幅度”的估算。

Visitor Satisfaction Across Categories

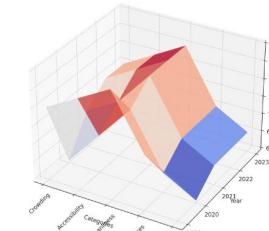


Figure 6: Visitor Satisfaction Across Categories[6]

Cruise Visitor Growth by Ports (2019 vs 2023)

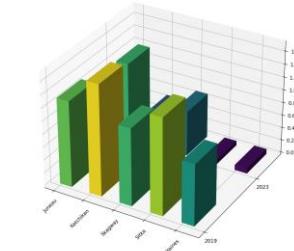


Figure 3: Cruise Visitor Growth by Ports (2019 vs 2023)[1]

Dynamic Visitor Management

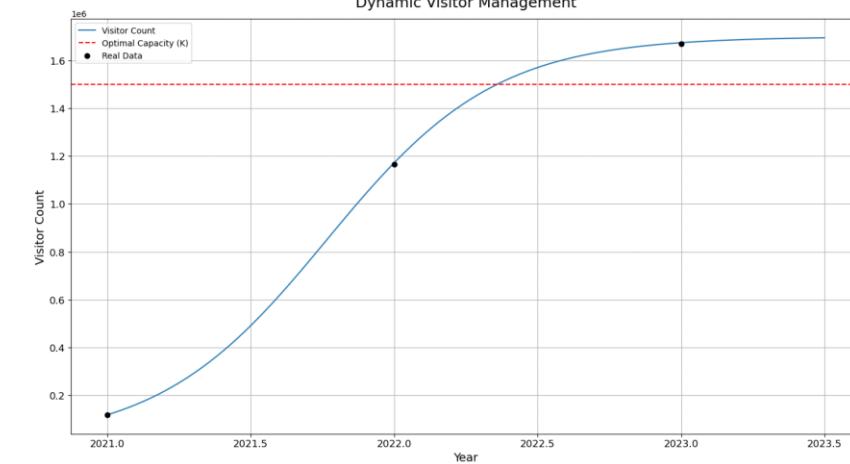
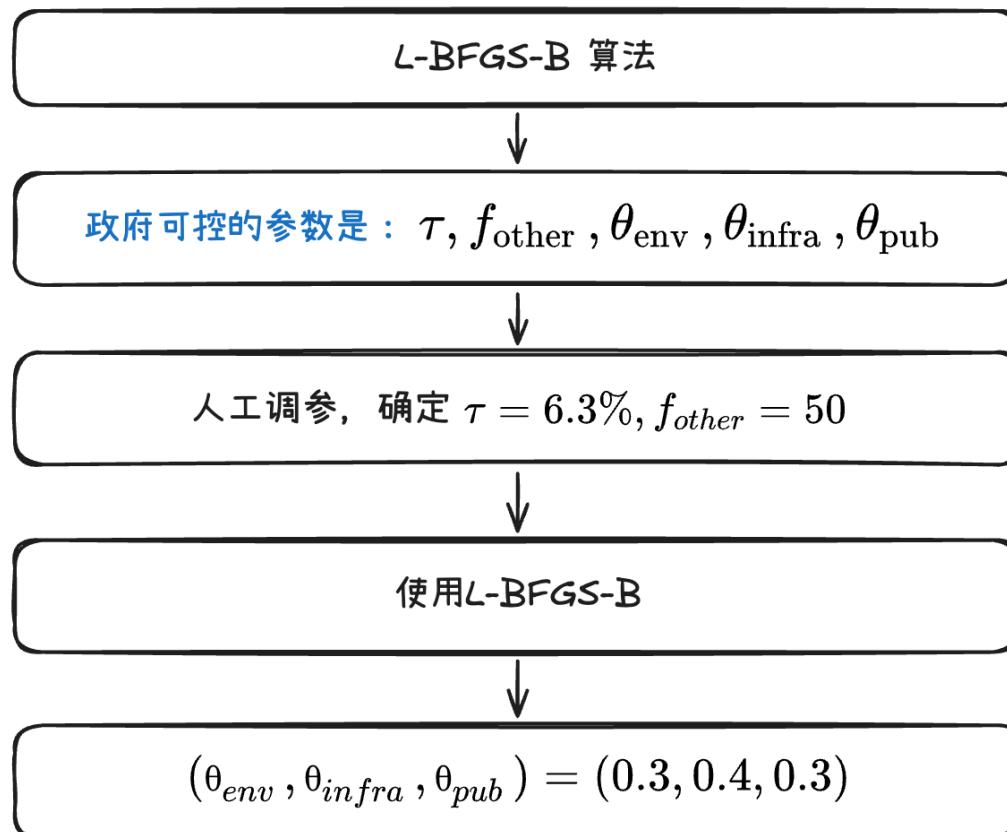


Figure 4: The Fitted Curve of Dynamic Visitor Management

参数优化



Algorithm 1: Tourism Ecosystem Dynamics Simulation

Input: Base parameters: α_0 (base growth), β_0 (crowding effect), η (env. pressure), δ_E (env. recovery)

Input: Policy ratios: θ_{env} (environment), θ_{infra} (infrastructure)

Input: Initial states: x_0 (visitors), E_0 (env. state), I_0 (infra. level), S_0 (satisfaction)

Input: Time parameters: $t_{start}, t_{end}, \Delta t$ (step size)

Initialize $y \leftarrow [x_0, E_0, I_0, S_0]^T$

Store initial state

while $t \leq t_{end}$ **do**

Economic module

$T \leftarrow \tau x + f_{other}x$ // Total revenue

$T_{env} \leftarrow \theta_{env}T$ // Env. investment

$T_{infra} \leftarrow \theta_{infra}T$ // Infra. investment

Dynamic coefficients

$\alpha_{eff} \leftarrow c_\alpha \alpha_0 (1 + \lambda_I I) (1 + \xi_S S)$ // Effective growth

$\beta_{eff} \leftarrow c_\beta \beta_0 (1 + \zeta_E E)$ // Effective crowding

System dynamics

$\frac{dx}{dt} \leftarrow \alpha_{eff}x - \beta_{eff}x^2(x/K)$ // Visitor change

$\frac{dE}{dt} \leftarrow \eta x(1 + \gamma \tau) - \delta_E E - \phi_{env} T_{env}$ // Environment change

$\frac{dI}{dt} \leftarrow \phi_{infra} T_{infra} - \delta_I I$ // Infrastructure change

$\frac{dS}{dt} \leftarrow \mu_S (I + \epsilon \theta_{pub} T) - \kappa_S x - \nu_S E$ // Satisfaction change

State update

$x \leftarrow x + \Delta t \cdot dx/dt$

$E \leftarrow E + \Delta t \cdot dE/dt$

$I \leftarrow I + \Delta t \cdot dI/dt$

$S \leftarrow S + \Delta t \cdot dS/dt$

Record system state

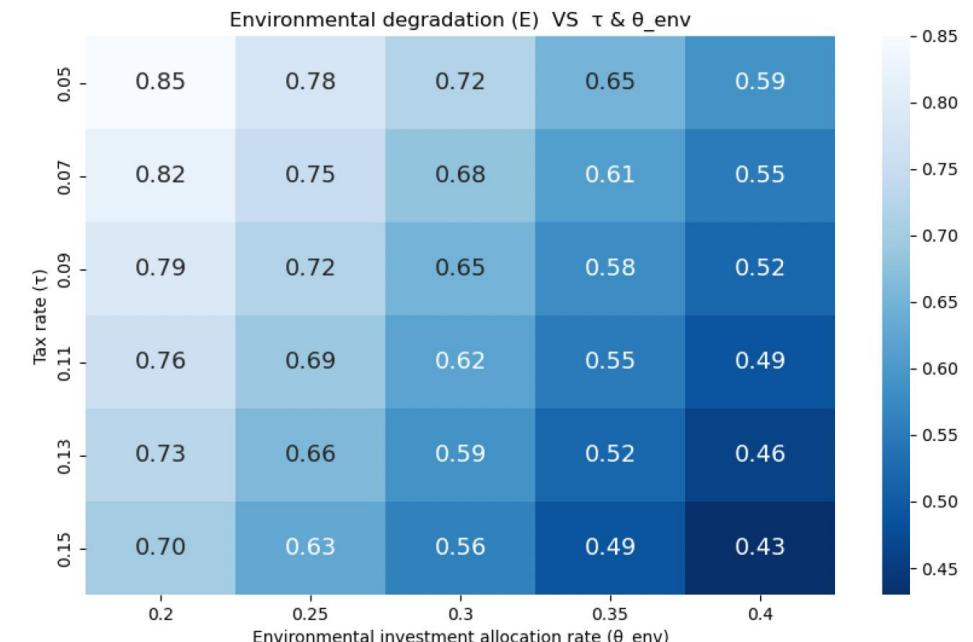
$t \leftarrow t + \Delta t$

end

敏感性分析

敏感性分析是很必要的一歩，所有模型必须经过这一考验，以证明模型的鲁棒性。

环境恢复系数、基础设施投资回报率、游客需求弹性、财政预算等可变因素会影响当地的整体旅游人数状况。我们需要根据这些参数的变化，来打造稳定的旅游模型。



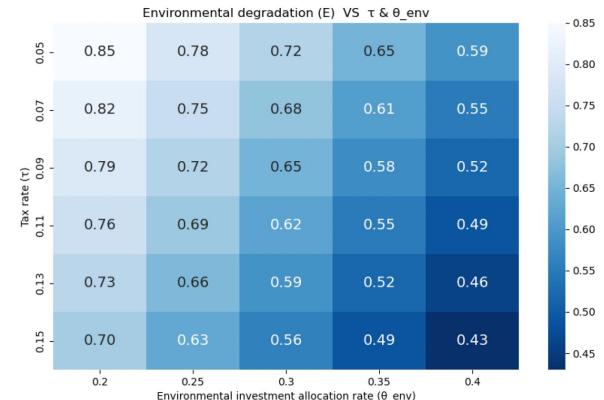
论文美工

美工非常重要！

这是一些

matplotlib自带配色

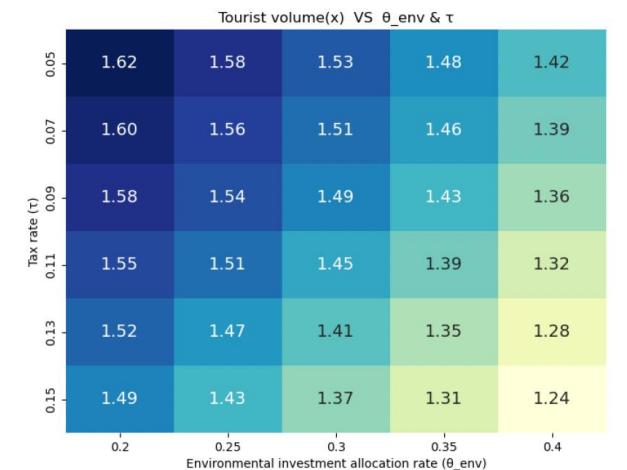
cmap='Blues_r'



cmap='RdYIGn_r'



bwr



Visitor Satisfaction Across Categories

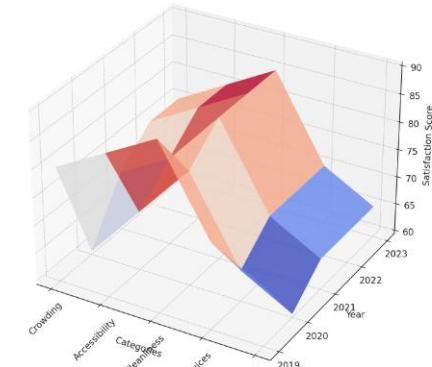


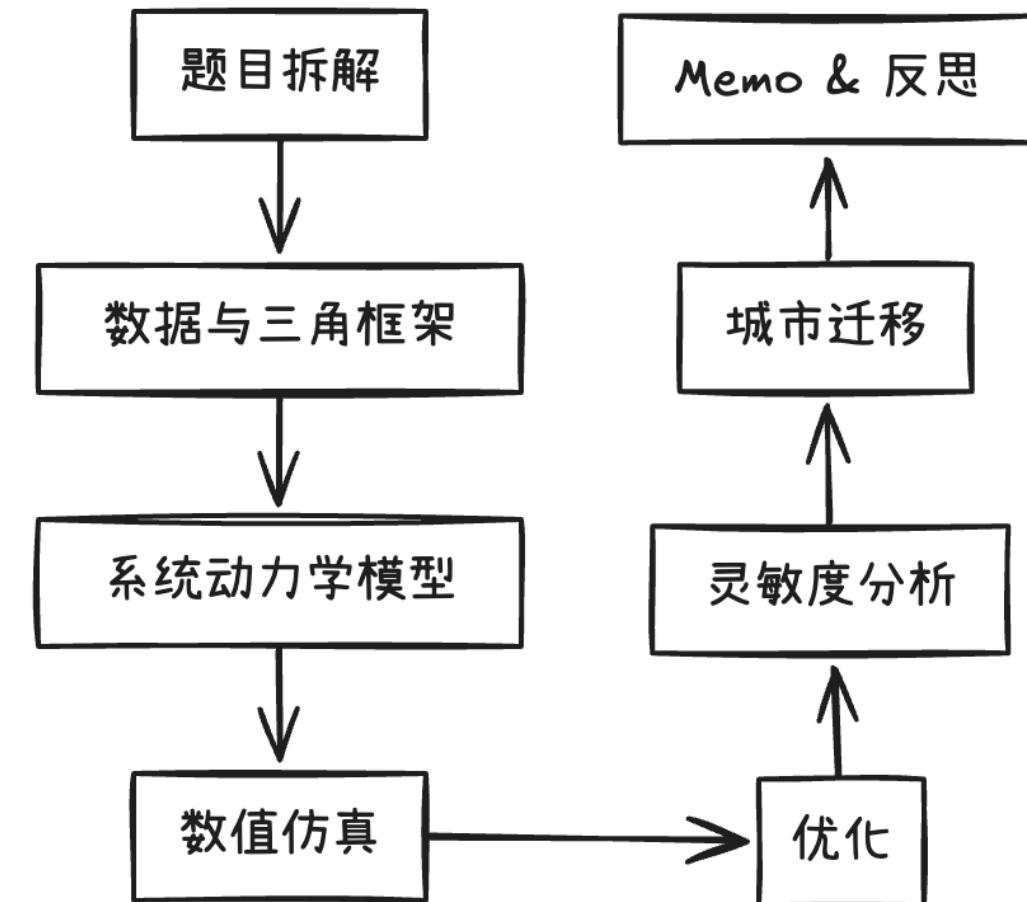
Figure 6: Visitor Satisfaction Across Categories[6]

GnBu

论文结构设计

- 论文中的第一张图至关重要，用数据 + 问题重述 + 可视化吸引评委的注意力。
- 先介绍各因素的实际意义，再给出模型，让读者阅读时有一个良好的梯度。
- 通过 L-BFGS-B 找到最优策略，将结果转化为税率分配。
- 最后按照题目要求，将数据迁移（到三亚）和 Memo 完成。

问题 → 模型 → 算法 → 实验 → 政策



摘要写作

- 摘要很重要！最后一天有必要通宵打磨摘要，可以有一定科研气息，但不要多。
- 摘要要写得具体，第三人称陈述自己使用了什么方法（如L-BFGS-B 优化），达到了什么样的成果。
- 开篇第一句话可以就问题本身出发，不要以“这篇文章”来开头。

As global tourism continues to thrive, the **issue** of "overtourism"

To address these challenges, we developed an

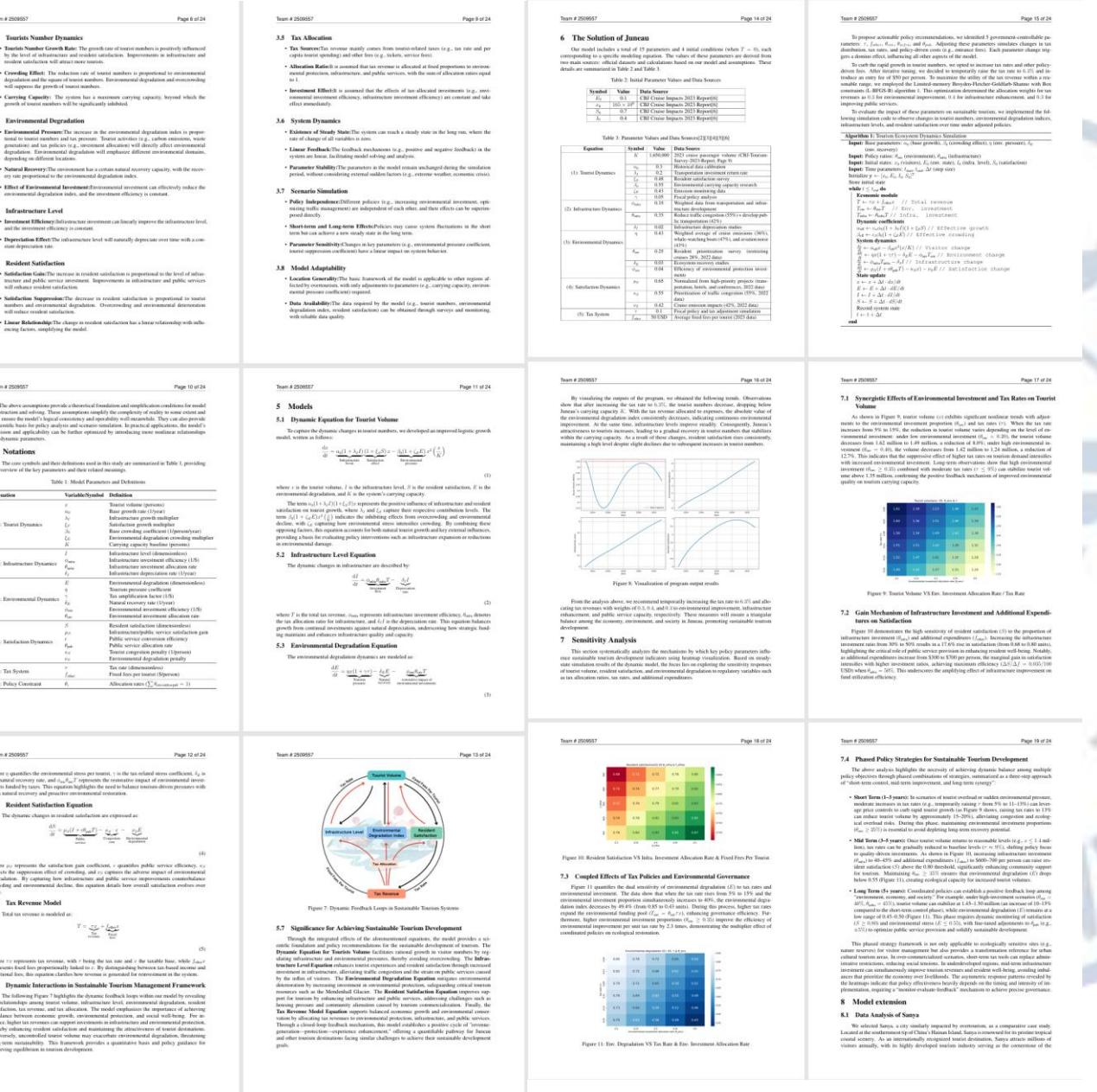
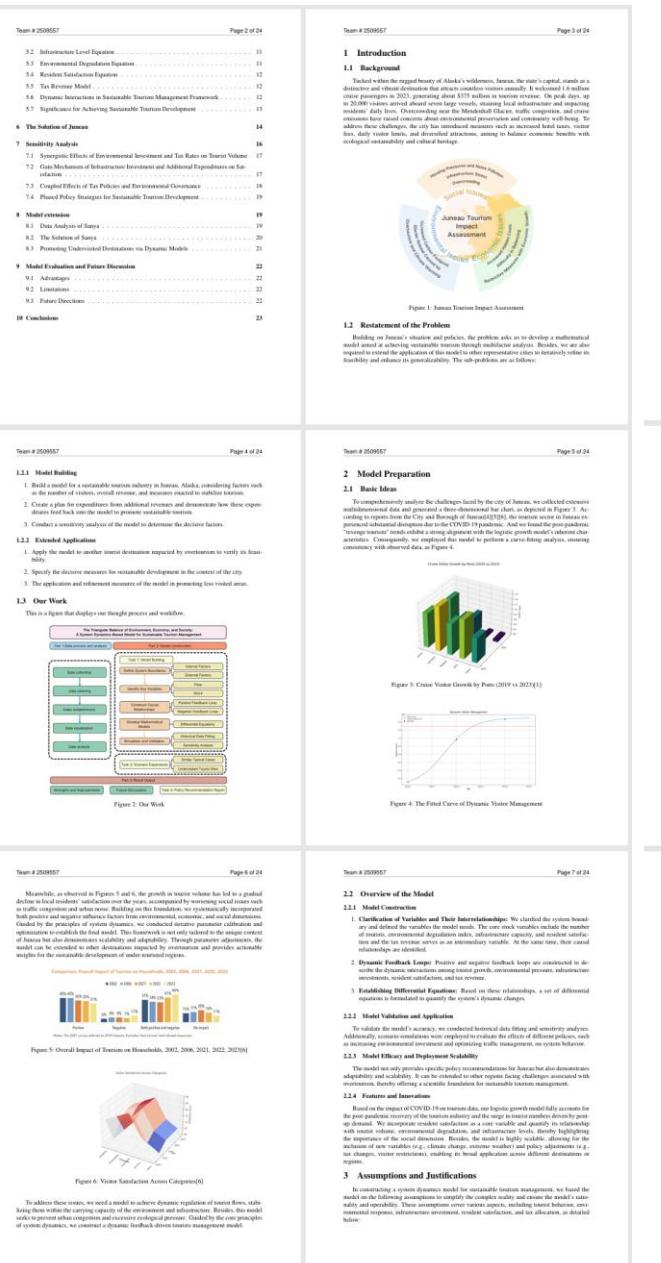
Using the **L-BFGS-B algorithm**,
simulate the impacts of **policy changes**

背景 → 方法 → 结果 → 贡献

This study provides scientific evidence for sustainable tourism management

regions, such as Sanya, China. As an innovative contribution, we propose a strategy to promote the development of low-traffic tourist destinations, exploring opportunities for more balanced tourism growth.

图表为主 减少文字

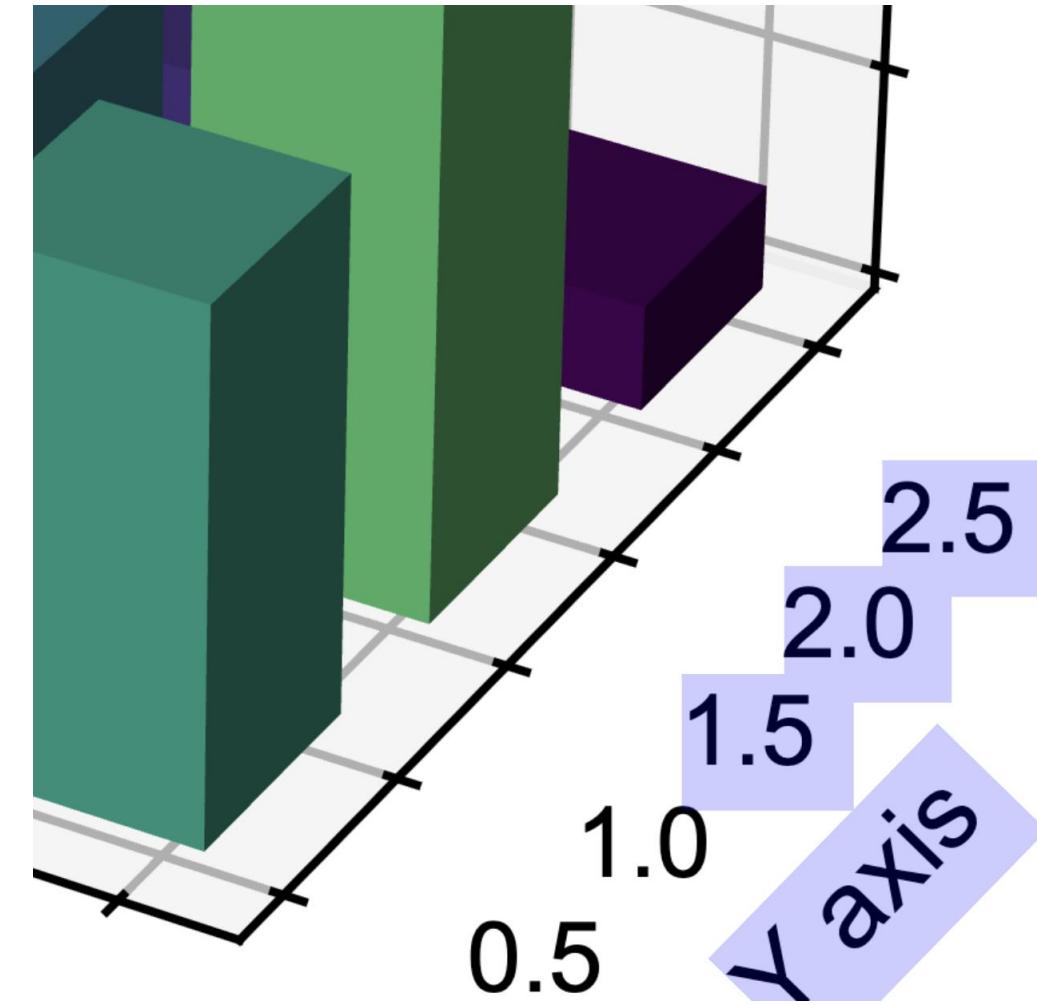
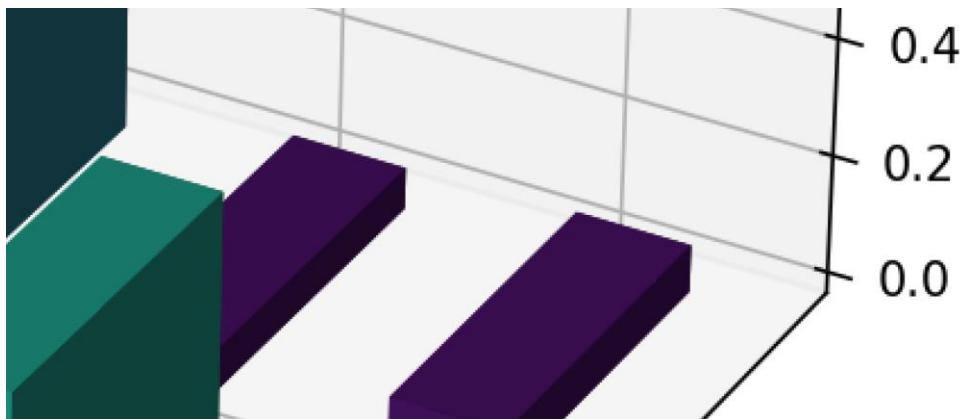


复盘提升

- 图片没有用矢量图画，但是 plt 提供矢量图选项。

```
plt.savefig('figure11_env_degradation_heatmap.pdf')  
plt.savefig('figure11_env_degradation_heatmap.svg')
```

通过这两行代码可以直接导出矢量的图片，
并且 pdf 格式图中文字可被选中。



02

前期准备

Preparation



寻找队友

我们的队伍中有两位同学是土木工程专业的，在大一的 CEE190 课程中，大部分作业为技术报告写作，这对比赛起到了很大的帮助。

同时，比赛的时候三个人最好可以都呆在学校或者同一个地方线下参赛，可以大大提升沟通效率。



软件准备

草稿、作图工具：Goodnotes、可画
队友间灵活交流，快速作出美观图片

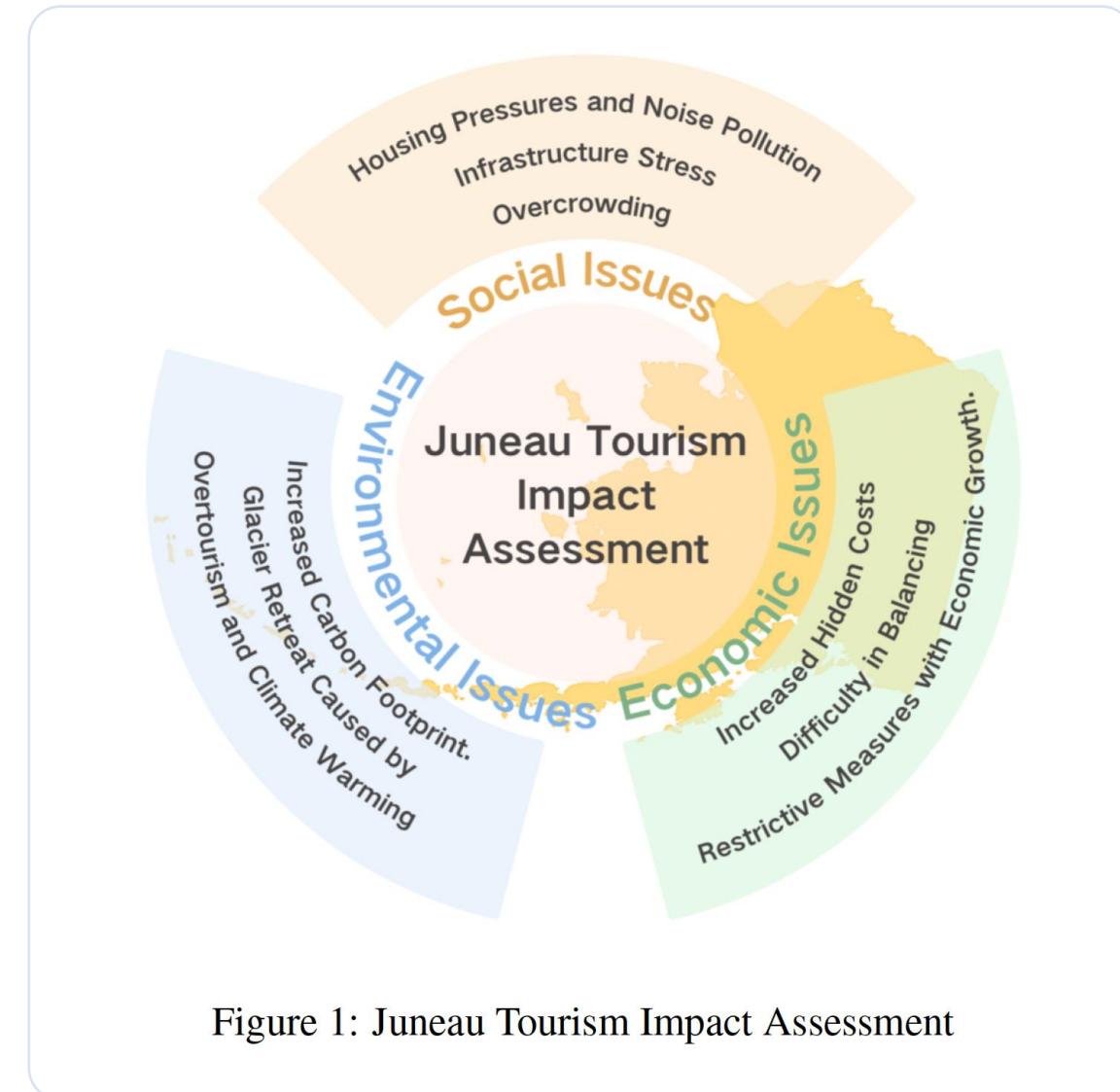
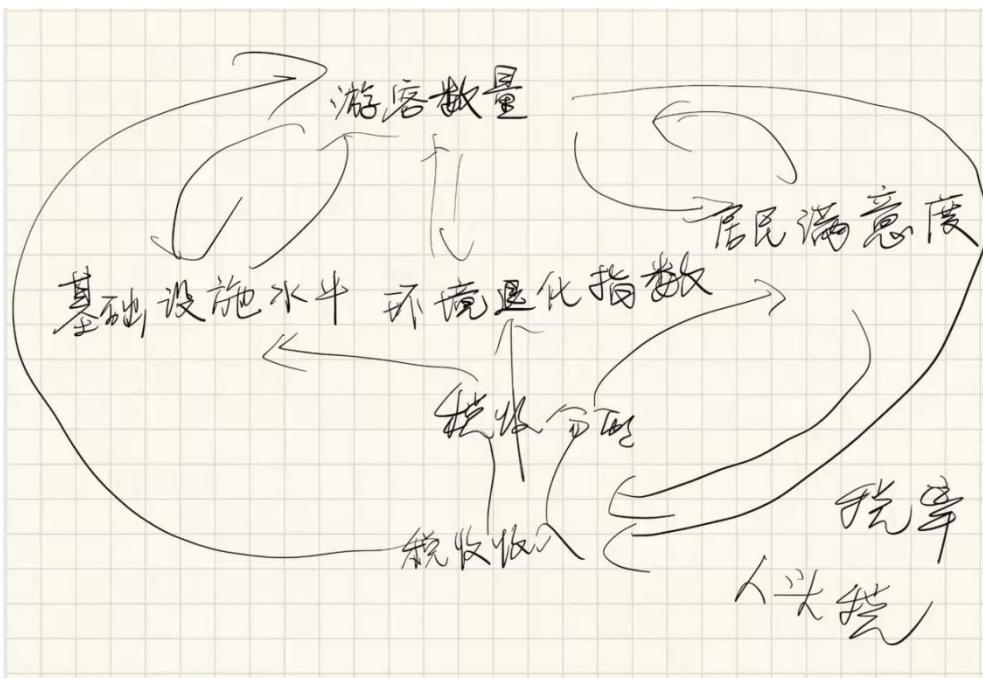


Figure 1: Juneau Tourism Impact Assessment

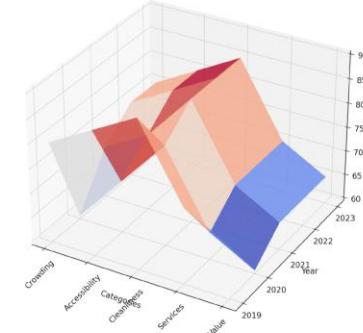
软件准备

代码、作图工具：Python + Matplotlib / Matlab
能够画出高级的数据图
合适的颜色搭配可以让审稿人眼前一亮



- | | |
|---------------------|--------|
| 2.4 NumPy 库 | p.43 > |
| 2.5 Pandas 库介绍 | p.48 > |
| 2.6 文件操作 | p.51 > |
| 2.7 SciPy 库 | p.53 > |
| 2.8 SymPy 库 | p.56 |
| 2.9 Matplotlib 库... | p.58 > |

Visitor Satisfaction Across Categories



Cruise Visitor Growth by Ports (2019 vs 2023)

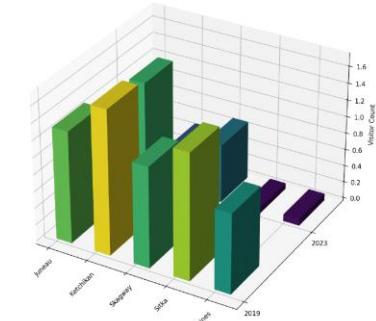
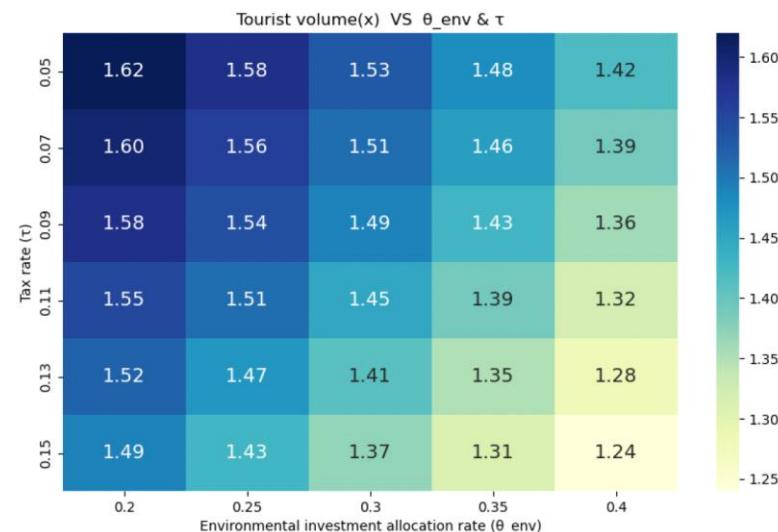


Figure 6: Visitor Satisfaction Across Categories[6]

Figure 3: Cruise Visitor Growth by Ports (2019 vs 2023)[1]



分工合作

建模手/论文手/编程手

三个人都能看懂模型，都能看 Python 代码。

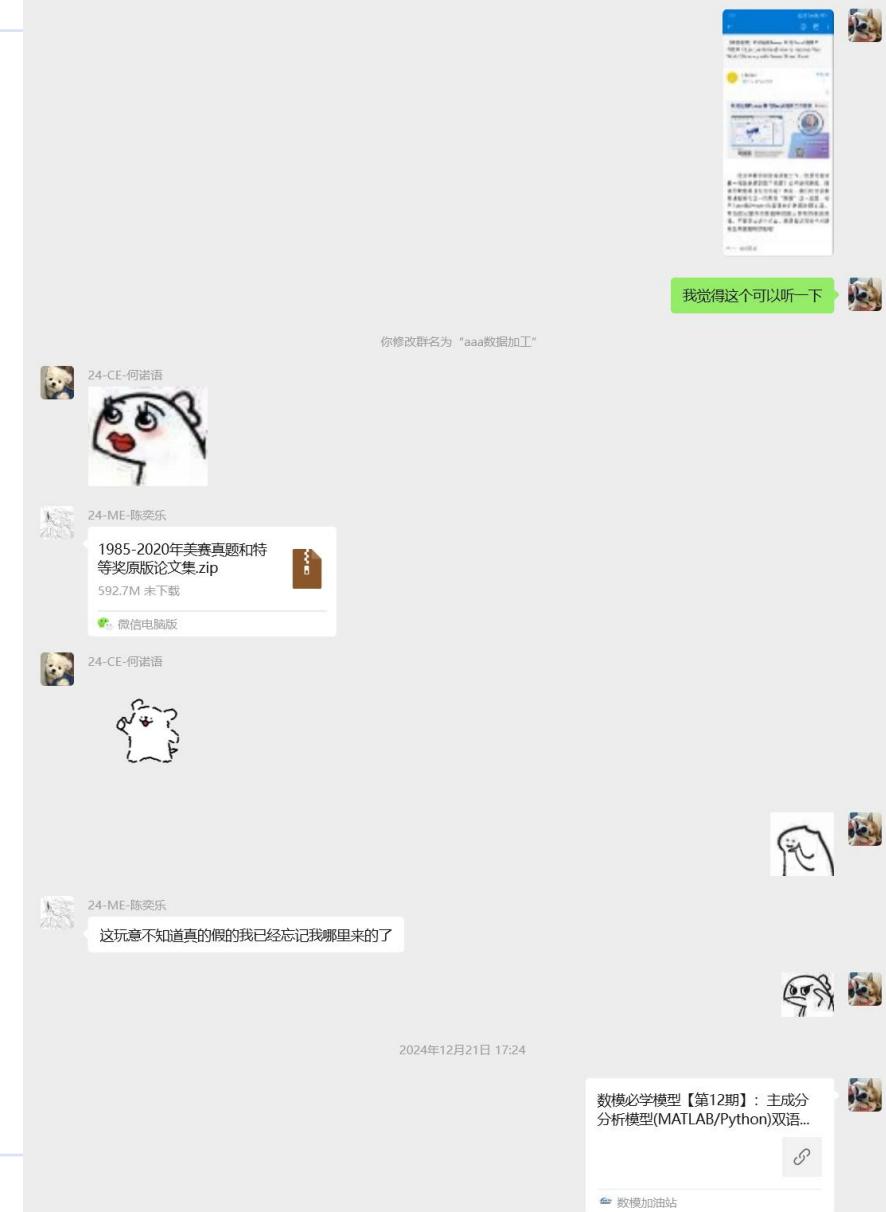
三个人都负责部分论文写作。

备赛时所有成员共同学习三部分知识，确保**每个人都对竞赛全流程建立整体认知**；在掌握必要的基础知识后，
根据各自兴趣与专长形成具体分工。

协作沟通

提前模拟一套题目，目的是熟悉整体比赛流程和比赛时
大家各自的安排

2024年12月4日 14:13



知识储备

对于建模手，需要了解常见数学模型并有较强的数学建模能力

对于论文手，一定需要熟练地掌握 LaTeX，需要提前练习，熟悉公式，并提前准备论文模板。还需要有较强的“美工能力”

对于代码手，需要提前沟通建模手与论文手的信息，同时也需要掌握 MATLAB 或者 Python 的作图。

三个人都要有足够的学习能力，因为题目所使用的模型和算法大概率是平时没有见过的（

《数学模型》（第六版）姜启源 等

《数学建模算法与应用》司守奎 等

数学建模方法及其应用（第三版）韩中庚高教社



赛程安排

1月 24 日 · Day 1

选题 & 初步建模

- 上午：通读题目，确定选题方向，查文献和数据，讨论要用什么模型。
- 下午：集中讨论建模思路，列出关键变量和约束，画出整体框架。
- 晚上：代码手 & 论文手开始画基础图（草稿），建模手搭主模型雏形。

1月 25 日 · Day 2

主模型实现 · Q1 为主

- 上午：实现主模型核心代码，跑出第一批结果（以 Q1 为主）。
- 下午：继续写代码、整理数据，调参。
- 晚上：代码调参，开始尝试好看的图（热力图、3D 效果等）。

1月 26 日 · Day 3

Q1 完成 & 扩展到 Q2

代码密集日 数据搜集难点

- 全天：几乎都在写代码、跑模型、调图。
- Q1 基本成型，同时利用模型的关联性，通过调超参数延伸到 Q2。
- 攻克“找数据”的难点，补齐关键指标，为后续灵敏度分析打基础。

1月 27 日 · Day 4

整理结果 & 集中写作

模型验证 论文主体

- 上午：检查并完善 Q1 + Q2 的求解和灵敏度分析，确认所有图表可复现。
- 下午：集中写论文主体，保证思路连贯，最后写引言和结论。
- 晚上：统一作图风格，补说明文字，三个人频繁交流，细调结构。

1月 28 日 · Day 5

通宵/早起冲刺 & 提交

翻译 排版 最终检查

- 完成中英文润色、翻译和排版，检查公式、参考文献与所有图表。
- 最后一轮通读，确保故事完整、图文一致、没有低级错误。
- 在截止时间前 1-2 小时完成上传和备份。

感谢聆听

汇报人：董嘉铖

