美国阿拉斯加州朱诺市2023年接待了创纪录的160万邮轮游客，虽然这些游客为城市带来了可观的收入，但他们也给当地带来了许多问题。我们构建了一个用于朱诺市旅游可持续发展的模型并将其推广到其他旅游地区。

任务1：我们开发了一个优化模型。首先我们设定经济收益最大与为达到可持续发展所需的碳排放量最小为优化目标，并通过游客数量计算旅游业带来的经济效益。接着我们将基础设施最大负荷，最大游客数量限制和居民满意度阈值作为约束条件，其中居民满意度由调查报告*[引用]*中的不满意数据加权计算得出，考虑到计算得出2023年的不满意度为16，我们设定15为不满意度上限的阈值。最后我们制定了在环境保护，基础设施建设和社区项目三个领域的额外支出计划，并分析了这些支出的效果及其灵敏度。

任务2：

AI美化：

我们构建了一个适用于朱诺市及其他旅游地区的可持续发展模型，以应对旅游业快速增长对基础设施，自然环境和居民满意度带来的挑战。

任务1：我们开发了一个多目标优化模型，其中经济收益最大化和碳排放量最小化被设定为双重优化目标。经济效益通过游客数量进行量化评估，而碳排放量则作为衡量可持续发展程度的关键指标。模型引入了三个关键约束条件：基础设施最大负荷、游客数量上限以及居民满意度阈值。其中，居民满意度通过加权分析调查报告*[引用]*中的不满意数据得出，并设定15%作为不满意度的上限阈值（基于2023年16%的实际不满意度）。此外，本研究还制定了涵盖环境保护、基础设施建设和社区项目三个领域的额外支出计划，并通过灵敏度分析评估了各项支出的效果。

For task 2, we classifies different types of tourist destinations through cluster analysis, focusing on the differential characteristics of core indicators such as tourist numbers, infrastructure carrying capacity, and tourism revenue. Based on the classification results, the constraints and parameters of the model are dynamically adjusted and optimized to enhance its universality and flexibility, ensuring its applicability to various types of destinations affected by overtourism.

For task 3, we prepared a policy recommendation memorandum building on the empirical findings to provide scientific decision-making support for the sustainable development of tourism in Juneau City. The memorandum highlights key conclusions derived from the model's empirical analysis and proposes actionable policy recommendations.

Summary:

The tasks are interconnected both theoretically and practically: Task 1 establishes the foundational model, providing methodological support for subsequent research; Task 2 extends and optimizes the model, enhancing its applicability and scalability; Task 3 returns to the practical level, offering empirical evidence for policy formulation. Innovatively, we have developed a scalable optimization model for sustainable tourism development, which not only serves as a decision-making reference for Juneau City but also provides a replicable analytical framework and methodological guidance for the sustainable development of similar tourist destinations.

AI研究背景：

朱诺（Juneau）是美国阿拉斯加州的首府，常住人口约3万，近年来旅游业的发展为其创造了约3.75亿美元的收入，成为城市经济发展的重要支柱。然而在最繁忙的日子里，单日接待量高达2万人次，游客数量的激增对当地造成了显著的负面影响，包括城市基础设施的超负荷运转、居民生活质量的下降以及生态环境的退化。

尤为突出的是，朱诺的标志性景点——门登霍尔冰川（Mendenhall Glacier）因全球气候变暖和游客造成的碳排放增加而加速消融，这不仅威胁到朱诺作为旅游目的地的吸引力，也引发了当地居民的担忧：随着冰川的消失，游客和相关经济收益可能也会随之减少。

面临这些挑战，朱诺迫切的需要可持续的旅游业发展方案。为实现这一目标，朱诺需要制定并实施科学的可持续旅游规划，以平衡经济收益、游客体验和生态保护之间的关系。这一案例不仅反映了朱诺作为气候敏感型旅游目的地代表之一的困境，也为全球类似地区提供了重要的研究参考，是应对旅游业发展与生态保护矛盾方面的重要实践探索。

背景2：

朱诺（Juneau）作为美国阿拉斯加州的首府，常住人口约为3万，近年来旅游业已成为其经济发展的关键驱动力，年均贡献约3.75亿美元的收入。然而，随着旅游业的快速增长，尤其是在旅游高峰期，单日游客接待量可达2万人次，这一现象对当地的社会、经济和生态环境带来了多重挑战。具体而言，城市基础设施的超负荷运转、居民生活质量的下降以及生态环境的退化等问题日益凸显。

其中，门登霍尔冰川（Mendenhall Glacier）作为朱诺的标志性景点，正面临全球气候变暖和游客活动导致的碳排放增加的双重压力，加速了其消融进程。这不仅对朱诺作为旅游目的地的长期吸引力构成威胁，也引发了当地居民对旅游业可持续性的担忧。冰川的持续消融可能导致游客数量减少，进而影响当地经济的稳定性。

在此背景下，朱诺亟需制定并实施科学的可持续旅游发展规划，以协调经济收益、游客体验与生态保护之间的平衡。这一案例不仅揭示了朱诺作为气候敏感型旅游目的地的典型困境，也为全球其他面临类似挑战的地区提供了重要的实践参考。对朱诺旅游业可持续发展的研究，为解决各地旅游业发展与生态保护之间的矛盾提供理论依据和实践经验。

问题分析：

我们需要根据题目中给出的信息和我们自己搜集的数据额外完成以下任务：

任务1：搜集相关数据，利用已有研究结果与朱诺当地实际数据构建碳排放量，旅游业经济收益，冰川融化速度，当地居民满意程度与游客数量之间关系的回归模型。同时研究在环境保护（碳减排），基础设施建设，社区项目三个领域进行投资的投入产出比，用于给出在这些方面额外支出效果最大化的方案。最后整合全部目标函数与限制条件构建基于参考点的多目标优化算法。

任务2：结合不同旅游地的实际情况进行分类，探究不同旅游地类型游客数量，基础设施承载能力，旅游业收入等因素的差异，动态优化调整模型中的约束条件，以适应不同类型的受过度旅游影响的旅游目的地。

任务3：撰写一份备忘录，总结研究结果，并为朱诺市旅游业可持续发展提供有针对性的建议。

经过一些分析，我们发现这些任务间存在以下紧密联系：在任务1中，我们需要构建一个寻找最优游客接待量和在不同领域额外支出计划的基于参考点的多目标优化算法NSGA-III模型，并探讨这些影响因素的灵敏性。接下来在任务2中我们需要考虑模型的拓展性，它在其他受到过度旅游影响的旅游目的地是否仍有价值？这需要我们将模型的应用领域进行拓宽，不再局限于朱诺市而是拓展到更多的旅游目的地并有针对性的进行参数调整。最后在备忘录中我们回归到朱诺市旅游业可持续发展的问题，并根据我们的模型重点提出具有建设性的意见。

总之，我们应该有效的构建一个能够寻找旅游业可持续发展最优化方案的模型，为政府与旅游部门提供实用建议，并使其能够适用于不同的地区。

AI改：

我们旨在通过构建多目标优化模型，探究旅游业可持续发展中的关键问题。研究任务主要包含以下三个相互关联的层面：

任务1：基于文献研究与实地调研数据，构建碳排放量、旅游业经济收益、冰川融化速率、居民满意度与游客数量间的多元回归模型。在此基础上，通过投入产出分析评估环境保护（碳减排）、基础设施建设及社区项目三个领域的投资效益，进而建立多目标优化模型。该模型将整合各目标函数与约束条件，旨在实现最优游客承载量确定与投资分配方案制定，并对关键参数进行敏感性分析。

任务2：通过聚类分析方法对不同类型的旅游目的地进行分类研究，重点考察游客数量、基础设施承载力、旅游业收入等核心指标的差异性特征。基于分类结果，动态调整优化模型的约束条件参数，使模型具备适应不同类型过度旅游影响目的地的普适性与灵活性。

任务3：基于实证研究结果，撰写政策建议备忘录，为朱诺市旅游业可持续发展提供科学决策支持。备忘录将重点关注模型实证分析得出的关键结论，并提出具有可操作性的政策建议。

上述任务间存在显著的理论与实践关联：任务1构建的基础模型为后续研究提供方法论支撑；任务2通过模型扩展与参数优化，提升了模型的适用性与推广价值；任务3则回归实践层面，为政策制定提供实证依据。本研究创新性地构建了一个可推广的旅游业可持续发展优化模型，不仅为朱诺市提供决策参考，更为同类旅游目的地的可持续发展提供了可复制的分析框架与方法论指导。

AI改2：

我们旨在通过构建多目标优化模型，探究旅游业可持续发展中的关键问题。我们的研究任务主要包含以下三个相互关联的层面：

任务1：基于文献研究与现有的调研数据，构建碳排放量、旅游业经济收益、冰川融化速率、居民满意度与游客数量间的多元回归模型。在此基础上，通过投入产出分析评估环境保护（碳减排）、基础设施建设及社区项目三个领域的投资效益，进而采用NSGA-III算法建立多目标优化模型。该模型将整合各目标函数与约束条件，旨在实现最优游客承载量确定与投资分配方案制定，并对关键参数进行敏感性分析。

任务2：通过聚类分析方法对不同类型的旅游目的地进行分类研究，重点考察游客数量、基础设施承载力、旅游业收入等核心指标的差异性特征。基于分类结果，动态调整优化模型的约束条件参数，使模型具备适应不同类型过度旅游影响目的地的普适性与灵活性。

任务3：基于实证研究结果，撰写政策建议备忘录，为朱诺市旅游业可持续发展提供科学决策支持。备忘录将重点关注模型实证分析得出的关键结论，并提出具有可操作性的政策建议。

上述任务间存在显著的理论与实践关联：任务1构建的基础模型为后续研究提供方法论支撑；任务2通过模型扩展与参数优化，提升了模型的适用性与推广价值；任务3则回归实践层面，为政策制定提供实证依据。我们创新性地构建了一个可推广的旅游业可持续发展优化模型，不仅为朱诺市提供决策参考，更为同类旅游目的地的可持续发展提供了可复制的分析框架与方法论指导。

2. 假设

为了简化问题并方便我们模拟现实条件，我们做出以下基本假设，每个假设都有合理的依据。

考虑到冰川消融是朱诺市旅游所面临的特有问题，且冰川消融属于地理学问题，变化时间尺度较大，其消退速度在2010-2020年间约为5.9km^3/年，年均差异不大。因此假设冰川消退速度不直接受到游客数量变化的影响，将冰川消融一类特殊因素对旅游业发展的影响视为特殊因素偏移量。

AI润色：

冰川消融作为地理学范畴的长期环境演变过程，构成该地区旅游业发展的核心制约因素。根据2010-2020年间观测数据，该区域冰川年消退量稳定维持在5.9km³水平，年际波动幅度有限。基于上述特征，研究设定冰川系统的物质平衡过程独立于旅游活动强度变化，并将此类特殊地理要素对旅游业的影响量化为环境基底参数。

Glacial ablation, as a long-term geographical process of environmental evolution, constitutes the primary constraining factor for tourism development in this region. According to observational data spanning 2010-2020, the annual glacial retreat in the area remained stable at 5.9 km³ with minimal interannual variations. Based on these characteristics, our passage establishes that the mass balance processes of glacial systems operate independently of tourism activity intensity, and quantifies the impact of such unique geographical elements on tourism as an environmental baseline parameter.

由于2021-2022年covid-19对旅游业的巨大影响，本文将不考虑这些年的异常数据

鉴于COVID-19疫情在2021-2022年间对旅游业造成的显著冲击，本研究将在分析中系统性地剔除该时期的异常观测值以确保研究效度。

Given the substantial disruptions caused by the COVID-19 pandemic to the tourism sector during 2021-2022, this study will systematically exclude anomalous observations from this period to ensure analytical validity.

鉴于题目中没有提供数据，我们查阅了相关的调查结果和研究报告并获取到以下重要数据：

3. In this study, we used regression analysis to investigate the relationship between the number of tourists and tourism revenue. The regression result is as follows:

\[

\text{Tourism Revenue (USD)} = 136.581 \times \text{Number of Tourists} - 186843122

\]

Based on the regression analysis results, the following conclusions can be drawn:

\begin{itemize}

\item \textbf{Regression Coefficient}: The impact of the number of tourists on tourism revenue is that for each additional tourist, the tourism revenue increases by \textbf{136.581 USD} on average.

\item \textbf{Intercept}: When the number of tourists is zero, the predicted tourism revenue is \textbf{-186843122 USD}, which represents the intercept term of the model.

\item \textbf{Coefficient of Determination} \( R^2 = 0.844 \): This indicates that the model explains \textbf{84.4\%} of the variability in tourism revenue, meaning the number of tourists can explain 84.4\% of the variation in tourism revenue.

\item \textbf{t-value}: The t-value of the regression coefficient is \textbf{5.701}, which is much larger than the critical value, indicating that the regression coefficient is significant.

\item \textbf{p-value}: The p-value for the regression coefficient is \textbf{0.001}, which is less than the significance level of \textbf{0.05}, further confirming that the relationship between the number of tourists and tourism revenue is statistically significant.

\end{itemize}

Therefore, the number of tourists is an important predictor of tourism revenue, and the regression model fits the data well.

我们采用了回归分析方法探索游客数量与旅游收入之间的定量关系。基于最小二乘法构建的线性回归模型如下：

We employed regression analysis to investigate the quantitative relationship between tourist volume and tourism revenue. The linear regression model constructed based on the least squares method is as follows:

通过回归分析，我们得到了下面的结果

回归系数\beta\_1 = 136.581，表明每增加一名游客，旅游收入平均增加 136.581 美元。该系数反映了游客数量对旅游收入的直接影响。

截距项\beta\_0 = -186843122表示当游客数量为零时，预测的旅游收入为 -186843122 美元，反映了朱诺市旅游业的固定成本及其他未观测因素的影响。

决定系数R^2 = 0.844，模型对数据的拟合效果良好。

回归系数的 t 值为 5.701，表明回归系数在统计上显著，对应的 p 值为 0.001，小于显著性水平 \alpha = 0.05，验证了游客数量与旅游收入之间存在显著的线性关系。

我们通过结构方程模型（SEM）系统探讨了游客数量、碳排放、冰川状态及满意度之间的复杂关系。模型共包含4个潜变量及对应的观测变量：

Tourist：以Tourist\_Q1（交通拥堵度）和Tourist\_Q2（游轮频率）为观测指标，反映游客活动强度。

Glacier（冰川状态）：通过Glacier\_Q1（居民对旅游导致冰川退化的关注度）衡量冰川环境的保护意愿。

Carbon（碳排放）：以Carbon\_Q1（居民对旅游导致碳排放的关注度）评估碳排放相关认知与行为。

Satisfaction（满意度）：整合Satisfy\_Q1（居民满意度）反映环境政策与公众满意度的交互关系。

2. 关键路径的显著性分析

模型结果显示，游客数量对满意度具有正向影响（路径系数：0.524，p < 0.05），表明游客数量的增加可能通过促进地方经济活力或提升基础设施投入，间接增强居民或游客的整体满意度。

满意度对冰川状态的反馈效应同样显著（路径系数：0.587，\*p < 0.01），说明高满意度可能推动更严格的冰川保护政策（如游客数量限制），从而缓解冰川压力。

值得注意的是，碳排放对满意度的负向影响虽未达到统计显著性（路径系数：-0.204，p > 0.05），但其方向性暗示碳排放可能通过降低环境质量间接削弱公众满意度。

综合上述分析可以得出游客数量与居民满意度存在倒U形相关关系。游客数量的增长虽短期能够提升居民满意度，但长期过度旅游可能会通过加剧温室气体排放（路径系数：0.558\*）和基础设施压力（Glacier\_Q1）加剧环境负担，从而降低居民满意度。

Through Structural Equation Modeling (SEM), this study systematically investigates the complex relationships among tourist volume, carbon emissions, glacier status, and satisfaction. The model comprises four latent variables with corresponding observed indicators:

Tourist: Measured by Tourist\_Q1 (traffic congestion level) and Tourist\_Q2 (cruise frequency), reflecting tourism activity intensity.

Glacier (glacial status): Evaluated through Glacier\_Q1 (residents' concern about tourism-induced glacial degradation), representing glacial environment protection awareness.

Carbon (carbon emissions): Assessed by Carbon\_Q1 (residents' concern about tourism-related carbon emissions), measuring carbon emission cognition and behavioral patterns.

Satisfaction: Integrated with Satisfy\_Q1 (resident satisfaction), reflecting the interaction between environmental policies and public satisfaction.

2. Significance Analysis of Critical Pathways

The model results demonstrate a statistically significant positive impact of tourist volume on satisfaction (path coefficient: 0.524, p < 0.05). This suggests that increased tourist numbers may enhance overall resident/visitor satisfaction through stimulating local economic vitality or improving infrastructure investment.

A significant feedback effect emerges from satisfaction to glacial status (path coefficient: 0.587, \*\*p < 0.01), indicating that heightened satisfaction may drive stricter glacial protection policies (e.g., tourist capacity restrictions), thereby alleviating glacial pressure.

Notably, while the negative impact of carbon emissions on satisfaction lacks statistical significance (path coefficient: -0.204, p > 0.05), its directional tendency implies potential indirect erosion of public satisfaction through environmental quality deterioration.

Comprehensive Analysis

The integrated findings reveal a U-shaped correlation between tourist volume and resident satisfaction. Short-term tourism growth enhances satisfaction through economic benefits, whereas excessive long-term tourism may reduce satisfaction through two mechanisms:

Intensified greenhouse gas emissions (path coefficient: 0.558\*)

Infrastructure strain reflected in Glacier\_Q1 (tourism-induced glacial degradation concerns)

This nonlinear relationship highlights the need for balanced tourism management strategies that optimize economic benefits while mitigating environmental externalities.

碳排放量与游客数量关系：

我们选取2011-2019年温室气体排放量作为因变量，察游客数量与时间因素对排放的动态影响。自变量的选择基于以下考量：

游客数量二次项：反映旅游活动与排放的非线性关系，捕捉边际效应变化

年份偏移量(Year-2011)：量化环保政策实施的累积效应，消除基年选择偏差

数据标准化处理：将游客数量转换为百万单位(Tourists\_M)以提升模型稳定性

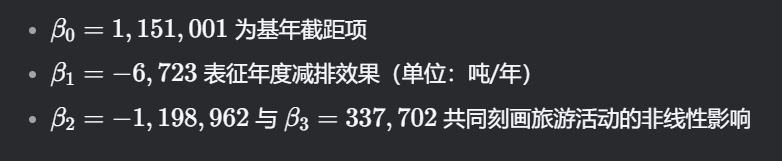
基于以上分析我们建立了具有时间趋势的二次回归方程：

……



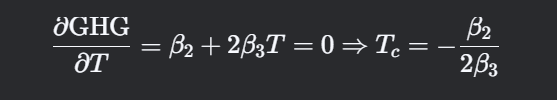
通过求解该方程我们得出如图所示的结果，其中

……



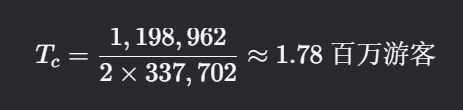
通过对该函数式求导确定：

……



带人估计参数得：

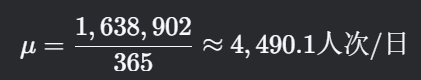
……

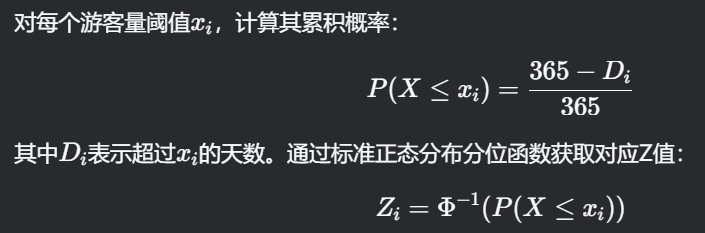


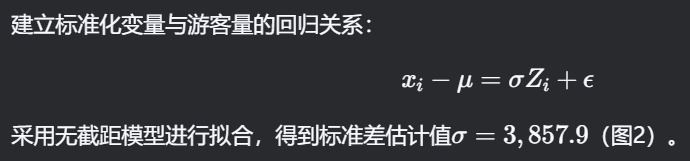
表明朱诺市超出1.78百万游客/年后游客数量的增长将显著增加当地的二氧化碳排放，危害环境并导致冰川融化加速等自然环境问题。

计算日游客量分布：

基于2023年朱诺市港口全年游轮游客总量1,638,902人次及日游客量阈值跨越天数记录（表1），我们设日游客量X服从正态分布，通过以下步骤进行概率分布拟合：

由全年总量计算得出日均游客量





基础设施压力：

由于前往朱诺市旅游的人员大多选择乘船前往，因此大量的游客给朱诺市港口及其附近的公共交通基础设施造成了巨大的压力。根据2023年的调查报告我们分析得出港口交通的最大承载量约为14000人/天，超过改客流量则会导致大量的游客滞留。因此我们选定每年不超过97.5%的天数游客量小于该最大承载量为朱诺市交通基础设施承载极限，其中日游客量在全年近似符合正态分布。

碳减排领域的投入产出：

我们了解到朱诺非营利性组织Renewable Juneau的一项environmental justice project Alaska Carbon Reduction Fund. 该项目将基金用于在低收入家庭中将燃油供暖系统替换为高效、无排放的空气源热泵。通过该组织披露的数据，该项目的碳成本为每减排1 吨碳所需的成本为46 美元。我们将该数据用于在碳减排领域的投入产出计算。

基础设施建设领域的投入产出

我们由前面的分析得到在旅游旺季巨大的游客数量会对朱诺当地的公交系统造成巨大的压力，因此我们从公共交通投入回报的角度分析在基础设施建设领域的投入产出。

美国公共交通协会数据显示，全美公交系统平均运营成本约为 每乘客次3-5美元 。若假设朱诺市成本接近全国平均水平，而票价覆盖约50%的运营成本，则可计算得出公交系统承载量每增加一人需要额外投入2美元。

We know from the local regulations of Juneau that the local government imposes 9% Hotel/Motel Tax and 5% Sales Tax on tourists, with a total tax rate of 14%. From this, we can conclude that the relationship between local taxes and tourist consumption, that is, local economic income, is:

我要构造一个多目标优化的模型，使用NSGA-III算法进行优化，该优化问题的决策变量包含年游客量，税收在环境保护和基础设施建设领域投入分别的占比（两部分占比之和等于1）。下面用到的参数设置如图，TA^{\alpha} 为在该领域税收投入的百分比，没有标注million的V\_i以1为单位。优化问题的优化目标为经济收益（TR\_i=-186843122+136.581\*V\_i）最大化，旅游带来的碳排放量最小化（C\_i = 1151001-6723\*14-1198962\*V\_i(million)+337702\*（V\_i(million)）^2-(TR\_i\*0.14\*TA^{\alpha})/46）。约束条件为1. 日游轮游客量不得超过16000人 2. 每年中97.5%的天数游轮游客人数不得超过交通系统的最大负载，其中最大日负载S\_i = 14000 + (TR\_i\*0.14\*TA^{\alpha})/2）3. 居民不满度DS\_i = 76.62 − 0.574V\_i(million) + 0.0129 (V\_i(million))^2小于15。日邮轮游客量服从\sigma = 4589.3的正态分布

模型构建与算法实现、

NSGA-III算法原理：

我们使用了NSGA-III算法进行优化问题求解。该算法采用基于参考点的非支配排序遗传算法，通过系统生成参考方向，引导种群向目标空间均匀分布，避免解集聚集在局部区域，保持解集的多样性和收敛性。、

优化结果分析：

使用NSGA-III算法对以上优化问题求解后得出最优解：

年游客数：2256779人

环保投入占比：50.78%

经济收益：121.39million

温室气体排放量：52261.3吨

通过对13组可行解的综合分析（Table \ref{tab:params}），各方案在游客量、环境保护支出占比、经济收益及温室气体排放等指标上呈现出显著的权衡关系。从经济收益最大化角度考量，方案7（游客量264.08万人/年）以173.83百万元的经济收益居首，但其温室气体排放量高达216,959.49吨，环境代价最大。方案9（游客量232.84万人/年）则展现出最佳的可持续性特征，温室气体放量最低（65,681.00吨）且环境保护支出占比最高（76.06%），但其经济收益仅为131.17百万元，在收益方面存在明显的短板。

值得注意的是，方案4（游客量239.22万人/年）实现了较优的综合效益：在保持较高经济收益（139.89百万元）和环境保护支出占比（70.76%）的同时，温室气体排放量（91,139.11吨）较平均值降低约30%。通过计算单位经济收益碳排放强度，该方案为651.7吨/百万元，显著优于方案7的1,248.1吨/百万元，表明其资源利用效率更高。此外，方案6（游客量235.98万人/年）在温室气体排放控制（78,586.32吨）与经济收益（135.47百万元）之间亦表现出良好的均衡性，其环境保护支出占比达71.67%，具有可持续发展性。

综上所述，若优先考虑经济增长，方案7可作为短期策略；若强调可持续发展，方案9和方案6更具实施价值；对于追求综合效益最大化的决策者，方案4在环境、经济与财政目标间实现了帕累托改进，可以作为优选方案。

结合朱诺市冰川观光属于自然型旅游目的地，且温室气体排放对冰川消融存在一定的加速作用，因此我们认为可以选择方案6或方案9作为旅游业发展方案，在优先保护环境的同时平衡了经济发展，做到了绿色发展和可持续发展。

考虑到部分年份的游客总数数据缺失，而游轮游客数和游客总量存在明显的正相关关系，我们将2011-2019年的总游客量和游轮游客数带入以下回归方程：

C\_i = \beta\_0 + \beta\_1 \time C\_i^{cruise} + \epslon

求解得到参数\beta\_0 = 166878.151 , \beta\_1 = 1.572

According to the terms of the agreement announced by the city, by 2026, On Sunday through Friday, the city will allow a maximum of 16,000 passengers, while on Saturdays it will only allow 12,000 passengers.

再加上我们了解到朱诺市只有200天通航游轮，根据这些信息不难计算出该政策下的最大游轮游客数量约为2628600人/年，根据公式\eqref{ eq:totalvisitor}可以得到全年最大游客限额为4299037人/年

对20个美国旅游城市进行聚类分析后我们得到了如图\ref{ fig:kmeansresult}的结论，根据肘部法的拐点3我们选择将这些城市分为三类，这正好与优先发展经济，优先保护环境，均衡发展这三类旅游业发展计划的侧重相对于，进一步验证了Part1 部分模型的可行性。

观察聚类结果我们得到了对这些城市的分类标准如下：

1. Cluster 0（Santa Fe、Denver、Miami、Salt Lake City） 中等经济规模高经济增速→ 优先发展经济

* 高经济增长潜力：GDP平均增长率区间为0.10~0.14，显著高于其他簇。
* 收入增长较快：名义收入增长率达0.07~0.10，且与GDP增长率相近，表明消费市场活跃，经济发展能够很好的反馈居民生活水平提升。
* 中等经济规模：GDP均值（gdp\_mean）介于8,064万至4.34亿，尚未达到超大规模，表明经济总量未达饱，具备较大的进一步开发空间。

发展建议：

此类城市经济增长势头强劲，经济发展效率高，经济投入回报率高，适合通过加大投资（如旅游基础设施建设、商业开发）进一步释放经济潜力，短期内以经济增长为核心目标，对应Patr1模型可行解中游客总量高，经济收入高，基础设施投入大的发展方案。

2. Cluster 1（Atlanta、Honolulu、Las Vegas等）低经济规模低经济增速 → 优先保护环境实现可持续发展

* 经济指标疲软：GDP均值较低（2,664万~4.85亿），部分城市实际收入增长停滞（如Savannah的real\_income\_calculate\_growth为-0.02）。
* 高增长但不可持续：少数城市（如Las Vegas）GDP增长率达0.15，但名义收入增长仅0.07，表明可能产业附加值较低，经济发展效率低且存在环境透支风险，应优先保护环境实现高质量可持续发展。

发展建议：

此类城市经济增长疲软，应提升产业附加值，推动绿色旅游，高质量旅游（如生态旅游、文化遗产保护），平衡短期收益与长期可持续性，对应Patr1模型可行解中环境破坏小，温室气体排放量少，环保领域投入高的发展方案。

3. Cluster 2（San Francisco、New York、Los Angeles等）高经济规模低经济增速 → 均衡发展

* 超大经济规模：GDP均值超6.8亿（如New York达201亿），经济总量已接近饱和。
* 增长平稳：GDP增长率（0.08~0.09）与收入增长（0.05~0.06）均处于中低水平，表明进入成熟阶段。
* 高收入水平：实际收入均值（如San Francisco的90,806）显著高于其他簇，消费结构稳定。

发展建议：

此类城市应优化产业结构（如发展高端文旅、智慧旅游），重点研究如何提升资源利用效率，实现经济、社会、环境多维均衡发展，对应Patr1模型可行解经济收入与环境保护均衡，各领域额外支出效率高的发展方案，实现高效率发展。

K-means模型构造

我们对以上搜集到的20个城市的相关数据进行K-means聚类分析，定义如下函数calculate\_growth计算各经济指标的复合年均增长率。

\text{增长率} = \left( \frac{x\_T}{x\_0} \right)^{\frac{1}{T-1}} – 1

然后我们使用z\_i = \frac{x\_i - \mu}{\sigma}对数据进行标准化处理，确保K-Means算法基于距离的计算有效性。

接下来我们计算了1-10个聚类时的簇内平方和，绘制肘部图，并根据肘部图的拐点确定聚类数为3类，将以上数据使用K-means算法拟合模型，并绘制如下的图表。

根据分类结果在可行解中选取与城市发展状态相对应的可持续旅游发展方案。

Based on the classification results, a sustainable tourism development plan corresponding to the city's development status is selected from the feasible solutions.