

“过度旅游”背景下的旅游业可持续发展模型

杨昕沂¹, 熊德辉¹, 高佳颖¹

(1. 中国人民解放军国防科技大学, 湖南长沙, 410073)

摘要: 过度旅游是众多热点旅游目的地发展面临的新挑战, 已成为各地政府和相关国际组织与学者关注的全球性问题, 针对当前以定性研究为主的现状, 本研究提出定性与定量结合的研究方法, 基于多视角建模思想, 从经济收益、环境代价、社会满意度三维度构建旅游业可持续发展模型, 并基于信赖域内点法和粒子群优化算法进行优化求解。在进行敏感性分析后得到对模型影响最显著的相关指标, 针对性地提出解决地区过度旅游的对策建议, 为解决地区旅游业发问题提供了参考。

关键词: 旅游业可持续发展; 模型优化; 内点法; 粒子群算法

The sustainable development model of tourism in the context of “Overtourism”

Yinyi YANG¹, Dehui XIONG¹, Jiaying GAO¹

(1. School of National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: Overtourism is a new challenge faced by many popular tourist destinations and has become a global issue of concern to local governments, relevant international organizations and scholars. In view of the current situation where qualitative research is the main approach, this study proposes a research method that combines qualitative and quantitative approaches, based on the idea of multi-perspective modeling. A sustainable development model for the tourism industry is constructed from three dimensions: economic benefits, environmental costs, and social satisfaction, and the optimization solution is carried out based on the point method within the trust domain and the particle swarm optimization algorithm. After conducting a sensitivity analysis, the relevant indicators that have the most significant impact on the model were obtained. Targeted countermeasures and suggestions for solving the problem of regional overtourism were proposed, providing a reference for addressing the development issues of the regional tourism industry.

Keywords: Sustainable development of tourism; Model optimization; Interior point method; Particle swarm optimization

0 引言

旅游业一直被认为是一种影响较小的经济活动, 对于城市而言, 它有助于社会内部的文明进步, 增加居民福利, 是城市生活不可分割的一部分。然而, 近年来旅游业的快速增长, 给一些城市带来了较大的压力, “过度旅游”一词开始流行。

“过度旅游”并不是一个新现象。在世界旅游组织(UNWTO)2018年的报告中, “过度旅游”是指旅游过度地影响了市民的生活质

量和游客的体验质量, 给他们带来了负面影响。

“过度旅游”对目的地城市的影响主要呈现在量变和质变上: 从量化的影响上看, 游客数量在城市中呈指数式增加, 增加了城市的拥挤、噪声、垃圾、环境资源的过度开发、房地产投机和生活成本; 从质变的影响上看, “过度旅游”现象破坏了城市中心的多功能性, 使得城市旅游化、博物馆化和主题乐园化, 削弱了城市社会文化凝聚力, 从而改变许多城市的社会特征。此外, “过度旅游”可能引发目的地城市居民对旅游的恐惧和反旅游现象。国内学者

很少有专门针对城市“过度旅游”的研究，很多文献用“城市环境承载力”来分析旅游对目的地城市的影响。这些学者指出，超出城市环境承载力的旅游对城市带来的影响是负面的，会影响城市旅游业的可持续发展。^[1]

从更加综合性的视角来看，过度旅游是一个复杂而又多维的问题，不仅指游客的过度活动，还涉及更多的利益主体，包括目的地无法在一定时间内有效处理旅游活动，对旅游参与主体进行的过度引导、过度开发等。^[2,3,4]

过度旅游的首要表现形式是过多的游客数量和较高的游客密度，其在增加旅游地游客与居民的旅游拥挤感知^[5]的同时，更易产生空间冲突。由于旅游需求的快速持续增加，德国慕尼黑的游客人数不断增长，游客与居民就有限的空间进行争夺，逐渐使当地居民产生敌对与排斥现象^[6]；新西兰皇后镇以宁静、自然、美丽的景观吸引了大量游客，但过多游客的到来产生了严重的拥挤现象，无法达到预期的旅游体验质量，损害了旅游地形象^[7]。

虽然旅游业的发展为地区带来了较为高额的收入，但地区开发程度有限，“过度旅游”导致当地生态被破坏保护自然和文化资源，政府已经采取了多种措施来减轻由于旅游带来的负担并希望建立一个可持续的旅游业，但仍有许多不满的声音，因此，迫切地需要一个能够更好实现旅游地区平衡的方案。

目前，过度旅游的对策研究主要集中在城市规划干预、调整旅游发展方向、优化旅游绩效目标、控制访客量等方面，且其研究方式多以定性研究为主，多数学者采用田野调查法、访谈法、观察法等对旅游地居民或游客进行考察与访问，对现象进行研究^[8]，但缺乏定量分析。因此本研究结合定性与定量的分析方法，引入影响旅游业的因素，并明确需要优化的因素和约束条件，构建一个可持续旅游业的模型，以解决各地旅游过度的问题，并制定额外收入的支出计划来促进可持续的旅游业，并将该支出反馈到模型中。最终结合定性和定量的分析结果，给出解决地区过度旅游问题的具体建议与措施。

1 旅游业可持续发展评估模型

1.1 旅游业经济效益评估模型

1.1.1 旅游业经济效益影响因素

查阅文献可知，旅游业收入可能与以下四个影响因素有较大的关联：

国内生产总值是指一个国家或地区所有常住单位在一定时期内生产的全部最终产品和服务的价值总和，其变动会直接影响旅游消费的变动。

人均可支配收入在实际生活中常用来代替人均居民可支配收入，被认为是消费支出最重要的决定因素。一个地区的旅游业总收入体现了当地的发展水平，影响旅游业收入的直接因素是旅游人数，而宏观经济收入也取决于游客的可支配收入，旅游业收入的增长来源于游客数量的增加，国内的人均可支配收入增加更会大幅影响旅游业总收入。^[9]

游客人数通常指在一定时间范围内访问某一特定地区、景点或国家或地区的非本地居民的总数量。

因此可基于以上四个因素进行初步的多元线性回归分析。

1.1.2 多元线性回归模型

(1) 模型原理

多元线性回归是一种被广泛使用的统计技术，用于解释一个连续因变量与两个或更多自变量之间的关系^[10]。多元线性回归分析，是指通过对两个或两个以上的自变量与一个因变量的相关分析，建立模型进行分析的方法。

多元线性回归模型为：

$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_p x_p + \varepsilon \quad (2)$$

其中， x_1, x_2, \dots 为自变量， y 为因变量； $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p$ 为模型参数， β_0 为回归常数， $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ 为回归系数。

(2) 拟合优度检验

拟合优度检验是通过计算样本回归方程对样本观测值的拟合程度来检验估计模型的应用价值。具体方法即构造一个可以表示拟合程度的统计量，即判别系数 R^2 ，定义

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (3)$$

其中 SST 为总离差平方和， SSR 为回归平方和， SSE 为残差平方和。但由于引入过多的自

变量，可能导致复判定系数偏高，因此我们使用调整后的复判定系数 R_a^2 ，可以消除该影响，则 R_a^2 定义为

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-p-1} \quad (4)$$

式中， n 为样本观测值个数， p 为自变量个数。

(3) 显著性检验

为检验旅游业经济效益与自变量之间的线性关系是否显著，我们进行回归方程显著性检验，排除对因变量影响不显著的因素，简化模型并提高模型的泛化能力。我们构造如下检验统计量

$$R_a^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-p-1} \quad (5)$$

依据该变量判断是否应当引入对应变量。

1.1.3 基于多元线性回归的经济效益模型

首先建立一个包含前文中所有潜在变量的全模型，该模型包含 4 个特征，对该模型进行求解并进行检验，评价多元线性回归模型的优良性并逐步对模型进行调整优化。得到各检验结果如下表所示：

表 1 初步回归分析检验结果

变量名称	检验统计量	p 值
截距项	-	-
国内生产总值	1.468	0.180
人均可支配收入	2.525	0.036
游客人数	3.718	0.006
基础建设投资	0.605	0.562

根据结果可知，在给定显著性水平 $\alpha = 0.05$ 下的检验，其中变量国内生产总值和基础建设投资未通过显著性检验，表明其对该线性回归模型影响并不显著，因此，去掉这两个变量重新进行线性回归分析，得到的模型通过显著性检验，公式如下：

$$P(x)_1 = -28.753 + 0.890x_1 + 0.408x_2 \quad (6)$$

检验方程拟合效果：

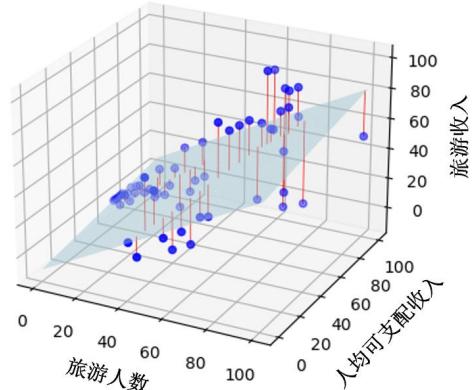


图 1 模型拟合效果

能够看出数据点与拟合方程曲面距离较小，且拟合度检验中的调整后的判定系数 $R_a^2 = 0.876$ ，综合说明该模型拟合程度较好。

此时的方程仅存在两个自变量，而原始方程存在四个自变量，在一定程度上简化了数据的表示，同时在一定程度上提高了模型的泛化能力，使其能够适用于多种场景。

1.2 旅游业环境代价的风险评估模型

1.2.1 决定环境代价的背后推手

根据文献显示，环境代价可能受以下几个因素的影响：

碳足迹这一概念源于生态足迹。碳足迹衡量的是由某一活动直接和间接引起的温室气体排放总量，或在产品生命周期各阶段累积的排放量。^[11]

垃圾产生量是指在一定时间内，由个人、家庭、企业或社会整体所产生的固体废弃物的总量。垃圾产生量包括日常生活废弃物以及工业、商业或建筑过程中的废弃物。

水资源消耗是指人类活动过程中，对自然水体的取用和消耗，反映了一个地区、国家或全球对水的使用程度。

能源消耗是指在一定时间内，由个人、家庭、企业或社会整体所使用的能源总量，与环境影响、资源可持续性和气候变化密切相关。

通常情况下，这些指标越高，环境遭到破坏的风险就越大。

1.2.2 基于最大值法的环境评估

最大值法是一种数学方法，主要用于在一组数值或函数中寻找最大值。它通过比较各个元素或计算函数的值，选择出最大的一项作为结果。

最大值法基于“极端事件”的假设，认为

某些环境因素的极端表现会对生态系统造成重大压力。因此，通过选取这些指标中的最大值，可以较为准确的揭示潜在的环境风险。

不同环境指标可能有不同单位和量级，为了使得它们具有相同量纲，便于进行比较，我们对这些指标进行归一化。与前文相似，指标的归一化同样使用罗马尼亚选择法进行处理，此处不在赘述。

采取最大值法作为环境代价的量化依据，从实际需求出发重视环境中潜在的危害，确保在环境管理中对最严重的风险因素给予足够的关注，并积极采取措施。具体表示为

$$P(x)_2 = \max(x) \quad (7)$$

x_k 为第 k 个指标，在这里具体代表碳足迹、垃圾产生量、水资源消耗和能源消耗四个影响环境代价的因素。通过以上方法可得环境代价的具体表达，支撑进一步的建模和优化。

1.3 社会满意度

1.3.1 社会满意度概念

社会满意度最早被定义为是个人对自身社会地位、人际关系和制度环境的心理认同程度。^[12]旅游地居民满意度是指当地居民对旅游发展带来的社会、经济、环境影响的综合心理评价，反映其对该地旅游活动的支持程度与生活质量的感知平衡。其核心在于居民对旅游业的利益分配公平性、文化认同维护和生活环境可持续性的主观判断。^[13]

1.3.2 社会满意度词频提取

词频-逆文档频率 (Term Frequency-Inverse Document Frequency, TF-IDF) 是一种常用的文本分析方法，用于衡量某个词对文档的代表性。词频指的是某个词在文档中出现的次数，逆文档频率则反映了该词在所有文档中的普遍性。通过计算 TF-IDF 得分，可以识别出文献中的关键词。按以下关键步骤进行提取：

- (1) 计算每个单词在文献中的词频
- (2) 计算每个单词在所有文献中的逆文档频率，公式为

$$IDF(t, D) = \log\left(\frac{|D|}{1 + |\{d \in D : t \in d\}|}\right) \quad (8)$$

(3) 计算词频和逆文档频率的乘积得到 TF-IDF

(4) 表示数学运算的符号或常用函数

按以上步骤得到词频最高的关键词及其词频，将标准化后的词频作为其权重，社会满意度的模型结果如下表所示。

表 2 TF-IDF 得分

变量名	参数
游客密度	0.419
基础设施建设	0.313
国内生产总值	0.268

最后选取其它测试集使用 K-fold 交叉检验，准确率为 94.332%，模型准确率较高，可以接受。

1.4 旅游业可持续发展综合模型

1.4.1 改进后的主因素突出算子

在评估可持续性旅游时，需要考虑经济效益、环境代价和社会满意度三个指标，且该三个指标已经在前文中进行建模。为保证模型的准确性，我们不能仅依赖简单的线性加权，因为某一指标过小会严重影响整体效果，因此，我们在这里引入了调整后的主因素突出型算子。

对每个指标 X_i ，我们选取其最大值

$$X_i = \max(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}) \quad (9)$$

然后我们将所有的指标的最大值通过乘法进行组合得到最终的综合值 DI

$$DI = \prod_{i=1}^n X_i \quad (10)$$

1.4.2 协调均衡下的可持续模型

在前文中已经对综合值 DI 进行定义和计算，但要保证旅游业可持续发展模型协调均衡，还需引入另一个均衡指标 CI，定义 CI 的计算

$$CI = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x}_i)}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)} \quad (11)$$

可持续模型需要在 DI 和 CI 综合进行作用，则考虑通过计算二者的加权平均，但考虑到其差异性，进行一定调整后得到最终计算公

式

$$P(x) = \frac{w_1 \cdot DI + w_2 \cdot CI}{1 + w_3 \cdot |DI - CI|} \quad (12)$$

其中, $w_i (i=1, 2, 3)$ 为相应指标的权重。由于每个指标可能存在一定程度的波动, 而方差能够反映这些信息的波动性, 则方差大的指标在一定程度上代表它的变化对结果的影响更大, 因此可以赋予它更高的权重。基于标准化后的数据, 需要计算每个指标的方差即

$$\sigma_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 \quad (13)$$

其中 \bar{y}_i 分别为第 i 个指标的权重, y_{ij} 则为第 i 个指标的第 j 个值, 可计算各指标的权重

$$w_i = \frac{\sigma_i^2}{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}$$

为保证所有权重综合为 1, 还需对算得的权重进行归一化再进行计算。将所得权重代入方程中, 可得旅游业可持续模型指数的取值属于区间 $[0, 1]$, 则该指数越接近 1, 则该地区的旅游业发展越平衡, 反之则约不平衡。

2 模型求解与优化

2.1 目标函数和约束条件

非线性规划是在一组等式或不等式的约束下, 求一个函数的最大值(或最小值)问题, 其目标函数或约束条件中至少存在一个非线函数的最优化问题。

为找到旅游业可持续发展的平衡点, 需要根据已知的约束方程对目标函数进行限制, 以达到目标函数的最优化。由于所求目标函数为旅游业可持续发展指标的最大化, 则所需优化模型为非线性规划模型。

为促进可持续旅游, 平衡不同旅游地的压力, 我们需要实现旅游业可持续发展指标的最大化, 即目标函数为

$$\max Z = \frac{w_1 \cdot DI + w_2 \cdot CI}{1 + w_3 \cdot |DI - CI|} \quad (14)$$

寻找模型中需要满足的约束条件。

(1) 游客数量、碳足迹、资源消耗应小于当地环境、住宿、资源等的最大承载能力, 定义各决策变量的最大承受能力为 H_m , 则 m 个决策变量应当均小于对应的最大承受能力。

(2) 由于各旅游城市不仅需要满足游客需求, 还要满足当地居民的需求, 如社会满意度和收入最低目标应大于某阈值。定义各决策变量最低阈值为 L_k , 则 k 个决策变量应当大于对应的最小阈值。

(3) 在模型中存在部分决策变量满足比例关系, 则可定义比值 C_α , 存在 x_α 和 $x_{\alpha+1}$ 的比值与 C_α 对应。

(4) 部分决策变量还存在其它函数关系, 设为 $g_\beta(x)$ 。

综上得到一组约束条件为

$$\begin{aligned} & \left. \begin{array}{l} x_m \leq H_m \\ x_k \geq L_k \\ x_\alpha = C_\alpha x_{\alpha+1} \\ g_\beta(x) \leq 0 \\ x_i > 0 \\ x_j \in Z \end{array} \right\} \\ & s.t. \end{aligned} \quad (15)$$

其中, 参数 m, k, a 等均小于决策变量个数 n 。

2.2 数据描述

2.2.1 数据采集

首先, 收集旅游业可持续发展目标及其指标的数据。为保证数据的准确性和权威性, 均选择官方数据库。

2.2.2 数据归一化

为消除不同单位和不同单位的影响, 我们基于罗马尼亚选择法对分数进行标准化, 根据不同年份的同一指标变量至进行计算打分实现对数据归一化的处理。具体实施为指标最优的年份得 100 分, 最劣的年份得 1 分, 其它年份按下式计算得分。

$$x' = \frac{99 \times (C - B)}{A - B} + 1 \quad (1)$$

其中, A 为最好的年份指标值, B 为最差的年份的指标值, C 为所计算年份的指标值。

利用该方法得到的分数消除了不同量纲带来的差异和某些指标数量级较小而导致小数点后的某些数据被忽视的问题。

将处理好的数据进行可视化展示。

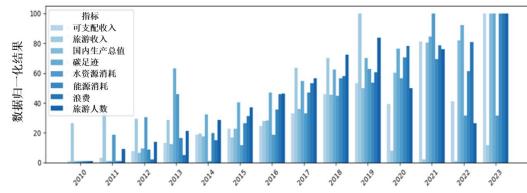


图 2 数据可视化

2.3 模型优化

信赖域方法是一种迭代优化方法，旨在通过每一轮迭代中限制搜索步长的大小来确保优化过程的稳定性，在迭代时，通过一个局部近似模型来决定新的搜索方向，而不是盲目搜索。

内点法用于求解约束优化问题，它通过从可行区域的内部开始搜索并逐步逼近最优解。

信赖域内点法则结合了以上两者的优势，保证优化过程既能保证步长的合理性，又能有效逼近最优解，高效求解具有复杂约束的非线性优化问题。在每次迭代中，信赖域内点法会为目标函数和约束构建一个近似的二次模型，其形式通常为

$$m(x) \approx f(x_k) + \nabla f(x_k)^T (x - x_k) + \frac{1}{2} (x - x_k)^T H_k (x - x_k) \quad (16)$$

其中 $f(x_k)$ 是当前点 x_k 处的目标函数值， $\nabla f(x_k)$ 是目标函数在当前点的梯度， H_k 是目标函数的海塞矩阵。以下为算法流程

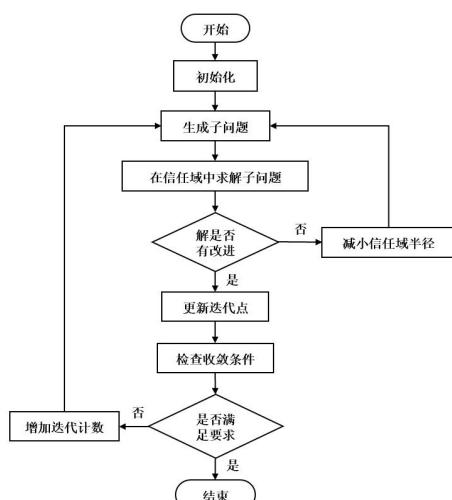


图 3 信赖域内点法流程

在每一轮迭代中，起算当前点的目标函数值、梯度和海塞矩阵，使用信赖域内点法的近似模型来搜索新的解，然后更新信赖域的大小和位置。最后进行收敛性的判断，若目标函数值变化很小或达到预设的迭代次数或误差范围，终止算法。

整个流程不断迭代，通过调整信赖域半径和生成子问题来逐步优化解，直到满足收敛条件为止。最终可得目标函数最优解为 $z = 0.599$ 。

2.3.2 基于粒子群的结果检验

粒子群优化算法是一种模拟一群粒子在搜索空间中移动并寻找最优解的过程。粒子群算法能通过群体中所有粒子的协作进行搜索，全局检索能力较强，能够在一定程度上避免陷入局部最优，这种较强的搜索能力可以检验信赖域内点法是否陷入局部最优解，检验模型的准确性是否足够强。

粒子群将由当前位置、个体最优位置和全局最优位置决定每个粒子的运动方向，并根据以下公式更新其速度和位置

速度更新公式

$$\begin{aligned} v_i(t+1) = & w \cdot v_i(t) + \\ & c_1 \cdot r_1 \cdot (pbest_i - x_i(t)) + \\ & c_2 \cdot r_2 \cdot (gbest - x_i(t)) \end{aligned} \quad (17)$$

位置更新公式

$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1) \quad (18)$$

其中， $v_i(t)$ 是粒子的速度， $x_i(t)$ 是粒子的位置 $pbest_i$ 是粒子自己历史上最好的位置， $gbest$ 是全群体找到的最优位置， c_1, c_2 是学习因子控制粒子向自身最优位置和全局最优位置靠近的速度， r_1, r_2 是在 $[0,1]$ 范围内的随机数。

基于粒子群算法对模型进行求解得到结果如下：

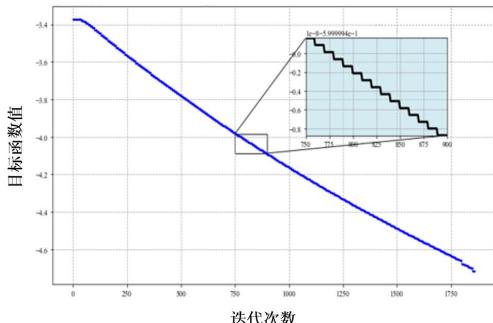


图 4 粒子群算法求解结果

综上，粒子群的最终的结果与信赖域内点法的结果相差无几，且后者最终的目标值更大一些，最终目标函数结果为 $z = 0.6$ 。因此认为模型的拟合程度比较好。

2.4 制定额外收入的支出计划

某地区在一段时间内的额外收入是该时间段内该地区总收入减去总支出后的结果，这一部分代表了经济体或企业实际获得的、超出预算或常规支出的额外部分。为解决旅游业不平衡发展的情况，则取部分额外收入用于稳定旅游业，以促进可持续旅游。则用于稳定旅游业的投入为

$$AR' = \delta AR \quad (0 < \delta \leq 1) \quad (19)$$

其中 AR' 为用于稳定旅游业的总投入，而 AR 为该地区一段时间内的总额外收入。将该投入分为三部分，分别用于经济收益、环境代价和社会满意度中的投入。得到该基本分配后，可根据不同旅游地区的情况对该比例进行调整，使过度拥挤和游客较少的地区实现更好的旅游平衡。

2.4.1 额外支出对模型内部的调和

(1) 经济收益

受到住宿、资源等因素的限制，某地区在一段时间内的收益会随着客流量的增加而增加，然后趋于稳定，则可使用指数衰减函数表示收益增的趋势，具体形式为

$$P(x)_1' = d_1(1 - e^{-b_1 \cdot \alpha_1 AR'}) + P(x)_1 \quad (20)$$

其中 α_1 为额外支出在经济收益中的投入比例， d_1 为某地区收益的最大值， b_1 控制增速的快慢，增加投入前的收益值，随着在经济收益中的投入增加，收益会逐渐增加最终趋于稳定。

(2) 环境代价

环境承载指数能够反映环境的可承受能力，即环境不出现严重损害的情况下可以支持的资源消耗水平。当对环境造成的危害即环境代价过高，环境承载指数将降低，表明环境健康状况变差，加大对环境的支出通常会改善该地区的环境承载能力。环境承载指数会随着环保支出的增加而增加。而环境承载能力增强，则说明环境代价会相应减少，故调整后的环境代价可表示为

$$P(x)_2' = \frac{P(x)_2}{c_0 + d_2 \cdot (\alpha_2 AR')^{b_2}} \quad (21)$$

其中， c_0 表示未调整前的环境承载能力， d_2 ， b_2 为常数， α_2 表示额外支出在环境代价中的投入比例。

(3) 社会满意度

若某地区客流量过多则可能影响当地居民的正常生活，为增强当地居民和游客的满意度，需要增加基础建设的投资，更好满足游客需求，也能安抚居民由于过多人流量而导致生活中的不便。但随着资金的投入，社会满意度并不能持续增长，它还会受到其它因素的限制，因此满意度与资金投入的关系可表示为

$$P(x)_3' = d_3(\alpha_3 AR')^{\frac{1}{2}} + P(x)_3 \quad (22)$$

2.5 可持续旅游模型的进一步优化

增加额外收入的支出计划后，增加了目标函数的复杂程度，此时粒子群算法相较于信赖域内点法更适用于复杂的模型。因此，我们转向粒子群算法对模型进行求解优化。

通过迭代逐步靠近足够精确的解。将求解过程进行可视化

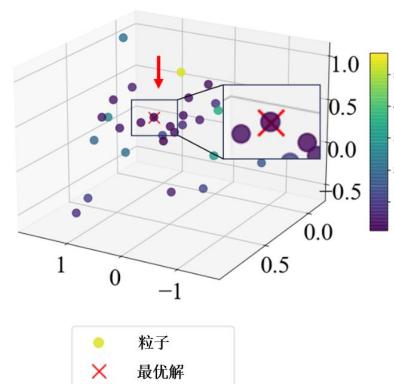


图 5 粒子群算法求解过程

共进行 100 次迭代，结果稳定后找到最优解为 $z' = 0.721$ 。

3 敏感性分析

为了优化可持续旅游模型，并评估额外收入支出的影响，我们对几个关键参数进行了灵敏度分析。这些参数包括： α_1 （经济发展支出占比）、 α_2 （环境保护支出占比）、 b_2 （支出与环境承载能力的非线性指数），以及一些与支出动态调整相关的参数。通过对这些参数的调节，我们能够量化它们对最终模型输出结果的影响程度，进一步指导支出的合理分配。

在进行额外收入的支出分配时，我们假设将总额外收入的一部分进行支出计划分配，基于此假设，投入资金被划分为三部分，分别投入经济收益，环境代价和社会满意度，其投入比例满足下式

$$\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1 \quad (23)$$

我们根据灵敏度分析方法，对参数进行适当调整，观察其对最终可持续性指标的影响程度。每次调整后计算新的指标值，分析不同参数配置下模型的变化趋势。

通过分析，发现参数 α_1 、 α_2 和 b_2 对最终模型的影响尤为显著。

相比之下，其它参数的调整对最终结果的影响较小，因此这些参数虽然对模型有一定的调节作用，但相较于支出分配参数，模型对于这些影响因子敏感性较低。

根据以上结果对旅游地区提出意见建议。

支出分配调整。根据敏感性分析结果，建议适当增加经济收益和环境代价的支出比例，相关部门可以大力推广生态旅游，引导旅游企业更加注重生态保护，优化旅游产品设计，推出更多以自然观光、生态体验为主题的旅游项目，以实现更好的优化效果。

持续监测与调整。各地区旅游委员会可建立持续监测机制，定期收集和分析相关数据，根据实际情况对支出计划进行动态调整，以确保可持续旅游业的长期稳定发展。

4 结论

本研究以定性和定量分析为手段，提出旅游业可持续发展模型，为解决地区过度旅游的问题提供了新思路。在建模层面，核心思想是分别对三个方面：经济效益、环境代价和社会满意度进行多视角建模，再利用主因素突出型算子将三个视角的模型进行集成，得到旅游业可持续发展模型。对经济效益进行建模时，利用多元线性回归思想分析自变量与因变量之间的联系，并进行显著性检验排除对因变量影响不显著的因素，并进行拟合优度检验，检验模型的拟合程度。对环境代价建模时，基于最大值法进行建模，最大值法基于“极端事件”的假设，认为某些环境因素的极端表现会对生态系统造成重大压力。因此，通过选取这些指标中的最大值，可以较为准确的揭示潜在的环境风险。对社会满意度进行建模时，基于 TF-IDF 方法进行建模，通过计算 TF-IDF 得分，可以识别出文献中的关键词，并据此得到社会满意度的影响因子。

在优化过程中，首先确定研究目标和约束方程并进行求解。在求解过程中，首先用信赖域内点法进行模型求解，信赖域内点法结合了信赖域方法和内点法的优势，保证优化过程既能保证步长的合理性，又能有效逼近最优解，高效求解具有复杂约束的非线性优化问题。最终以运行 100 次为终止条件，得到的目标函数最优解接近 0.6。出于寻找更优化方法和对信赖域内点法结果的检验，在求解中还利用了粒子群优化算法，相比信赖域内点法，粒子群优化算法得到的目标函数最优解略高于信赖域内点法求解的结果。因此，基于两个优化算法的求解，验证了模型的稳定性和有效性。

最后对模型进行因子的敏感性分析，根据敏感性分析结果，经济发展支出占比、环境保护支出占比、支出与环境承载能力的非线性指数三个因素对旅游业可持续性发展指标影响最显著。据此可以提出相关建议措，如建议适当增加经济收益和环境代价的支出比例，相关部门可以大力推广生态旅游，引导旅游企业更加注重生态保护，优化旅游产品设计，推出更多以自然观光、生态体验为主题的旅游项目，以实现更好的优化效果；各地区旅游委员会建立持续监测机制，定期收集和分析相关数据，根

据实际情况对支出计划进行动态调整等。

本研究着眼解决过度旅游的现实问题，提出定性与定量分析相结合的地区旅游业可持续发展模型，能够以该指标计算地区旅游业可持续发展前景，为解决旅游业地区过度旅游导致的社会问题提供参考，具有实际意义。

参考文献

- [1] 俞博.“过度旅游”背景下城市旅游业的可持续发展[J].度假旅游,2025(2):0036-0038
- [2] Koens K, Postma A, Papp B. Is Overtourism Overused? Understanding the Impact of Tourism in a City Context [J]. Sustainability, 2018, 10 (12) :4384.
- [3] Jover J, Diaz — Parra I. Who is the City for? Overtourism, Lifestyle Migration and Social Sustainability [J]. Tourism Geographies, 2020, (1) :1—24.
- [4] Jaroslaw P.The Co — management and Stakeholders Theory as a Useful Approach to Manage the Problem of Overtourism in Historical Cities — illustrated with an Example of Krakow [J]. International Journal of Tourism Cities, 2019, 5 (4) : 685—699.
- [5] Jacobsen JKS , Iversen NM , Hem L E. Hotspot Crowding and Over— tourism: Antecedents of Destination Attractiveness [J] . Annals of Tourism Research, 2019, 76 (5) : 53—66.
- [6] Namberger P, Jackisch S, Schmude J, et al. Overcrowding, Overtourism and Local Level Disturbance: How Much Can Munich Handle ? [J] . Tourism Planning & Development, 2019, 16 (4) : 452—472.
- [7] Insch A. The Challenges of Over— tourism Facing New Zealand: Risks and Responses [J] . Journal of Destination Marketing & Management, 2019, 15 (3) : 100378.
- [8] 杨艺同,赵玉宗,肖江南. 过度旅游研究进展与展望[J]. 资源开发与市场,2021,37(11): 1394-1399.
- [9] 王森,尤子豪,张轩瑞,等. 海南省旅游业收入影响因素分析[J]. 旅游纵览,2023,(4): 105-108, 112.
- [10] S. Genç; M. Mendeş. Multiple Linear Regression versus Automatic Linear Modelling[J]. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia,2024,Vol.76(1): 131-136.
- [11] Cristina Casals Miralles^{CA1}; Debora Barioni²; Maria Serena Mancini³; Joan Colón Jordà⁴; Mercè Boy Roura⁵; Sergio Ponsá Salas⁶; Laia Llenas Argelaguet⁷; Alessandro Galli⁸. The Footprint of tourism: a review of Water, Carbon, and Ecological Footprint applications to the tourism sector[J]. Journal of Cleaner Production,2023,Vol.422: 138568.
- [12] Thomas, William I., and Florian Znaniecki. The Polish Peasant in Europe and America: Monograph of an Immigrant Group. Richard G. Badger, 1918.
- [13] Ap, John, and John L. Crompton. “Developing and Testing a Tourism Impact Scale.” Journal of Travel Research, vol. 37, no. 2, Nov. 1998, pp. 120–130.