

黔南州旅游环线路径优化研究

江族 马章红 赵蝶 张东雨 杨正富

黔南民族师范学院数学与统计学院 贵州都匀 558000

摘要：黔南州是旅游资源丰富、民族特色鲜明的地区，旅游经济是黔南州国民经济的重要组成部分，为了让游客拥有到更好的旅游体验和满意度，本研究基于黔南州 3A 级及以上旅游景点的客观数据，结合游客的多样化需求，构建了优化的旅游环线路径。通过数学建模和实证分析，提出了以最小化游览时间和费用、最大化景区评分、交通便捷性、住宿环境质量、安全系数和美食特色为目标的优化模型，并采用遗传算法和模拟退火算法进行求解。研究结果表明，所构建的旅游环线路径能够有效提高游客的旅游体验和满意度，同时为黔南州旅游管理部门提供了科学的决策依据。

关键词：黔南州；旅游路径优化；数学建模

1 引言

黔南州旅游资源丰富，涵盖自然生态、历史文化、民族风情等类型。在乡村振兴背景下，如何合理规划旅游路线，满足游客多样化需求，推动旅游业创新，带动经济发展，成为旅游管理部门和相关企业面临的重要问题。

旅游路径优化是旅游管理与运筹学交叉领域的研究热点，旨在为游客规划多约束条件下的最优游览路线。当前旅游路径优化研究在理论与方法上取得显著进展，但仍存在多维度局限性。多数模型依赖静态假设，忽略实时天气、拥堵等动态因素，导致规划结果与实际需求脱节，尤其在山区或高原等复杂地理环境中表现更为突出^[1]。传统运筹学方法因计算复杂度高，难以适应多约束条件下的动态环境，且难以有效协调时间、费用、生态效益等多目标冲突^[2]。区域性案例研究（如西藏旅游路网）进一步揭示，路网密度低、环线连通性不足、稳定性差等问题普遍存在，现有算法对复杂地理环境的适应性不足，难以满足旅游活动的动态组织需求^[3]。此外，多目标协同机制仍待完善，尤其在动态权衡游客满意度、碳排放与安全风险等方面缺乏系统性解决方案。

针对上述问题，本文选择模拟退火算法（SA）与遗传算法（GA）对黔南州旅游环线进行优化设计。遗传算法通过非支配排序（NSGA-II）可有效协调多目标冲突，例如将碳排放、时间成本与游客偏好纳入统一目标函数，显著提升生态旅游场景下的综合效益；模拟退火算法则通过退火机制动态调整路径，结合实时交通数据缓解突发拥堵与天气变化的影响，增强模型对动态环境的适应性。两种算法的混合应

用可突破传统方法局部最优限制，例如引入动态惯性权重优化山区多交通模式协同问题，提升路径搜索效率。黔南州作为典型山区旅游目的地，其路网密度低、环线建设不足的问题与西藏案例具有相似性，通过 GIS 构建 OD 成本矩阵量化节点可达性，可针对性优化环线结构与区域交通衔接。

本研究为破解黔南州旅游交通瓶颈提供决策支持，通过动态路径规划提升游客体验，促进旅游业高质量发展，并为多约束条件下区域性旅游环线设计提供方法论参考。

2 研究方法

2.1 数据收集与整理

2.1.1 数据来源

本文以黔南州 3A 级及以上景点为研究对象，综合考虑交通、费用、景区类型及游客评价等因素，构建旅游环线路径。数据来源于贵州省文化和旅游厅及网络爬虫。具体景点如下表：

针对选取的 61 个景点，通过高德地图获取各景点间的交通时间、交通费用、交通可达性以及旅游费用预算，并利用网络爬虫收集各景点住宿费用、餐饮人均消费费用、门票费用、所属类型及开放时间；同时借助同程旅行查询各景点评分。

2.1.2 数据预处理

为确保数据的可用性，在数据预处理阶段采取以下措施。

- （1）将所有时间类指标统一换算为“小时”单位；
- （2）货币类指标统一以人民币“元”为计量单位；

表 1 黔南州内 3A 级以上景点名称

序号	景点名称	等级	序号	景点名称	等级
1	黔南州荔波樟江旅游景区	AAAAA	32	黔南州长顺凤凰坝乡村休闲旅游区	AAA
2	黔南州龙里油画大草原旅游区	AAAA	33	黔南州荔波恩铭故里景区	AAA
3	黔南州贵定金海雪山景区	AAAA	34	黔南州荔波寨票渔隐民宿景区	AAA
4	黔南州惠水好花红乡村旅游区	AAAA	35	黔南州平塘甲茶景区	AAA
5	黔南州都匀茶文化影视小镇景区	AAAA	36	黔南州龙里十里刺梨沟景区	AAA
6	黔南州平塘中国天眼景区	AAAA	37	黔南州荔波瑶麓青瑶古风园景区	AAA
7	黔南州福泉古城文化旅游景区	AAAA	38	黔南州平塘六洞景区	AAA
8	黔南州龙里中铁双龙镇巫山峡谷旅游区	AAAA	39	黔南州独山天洞景区	AAAA
9	黔南州都匀杉木湖景区	AAAA	40	黔南州贵定云雾茶乡旅游景区	AAA
10	黔南州瓮安草塘千年古邑旅游区	AAAA	41	黔南州荔波佳荣大土苗寨景区	AAA
11	黔南州平塘掌布“藏字石”景区	AAAA	42	黔南州荔波梦柳布依风情小镇景区	AAA
12	黔南州荔波瑶山古寨景区	AAAA	43	黔南州龙里孔雀寨景区	AAA
13	黔南州罗甸红水河景区	AAAA	44	黔南州瓮安朱家山景区	AAA
14	黔南州都匀巨升影视旅游小镇景区	AAA	45	黔南州都匀青云湖景区	AAA
15	黔南州荔波水葩水寨景区	AAA	46	黔南州福泉双谷生态体育公园旅游区	AAA
16	黔南州龙里云从朵花温泉景区	AAA	47	黔南州龙里大草原景区	AAA
17	黔南州都匀足球小镇景区	AAA	48	黔南州福泉黄丝旅游景区	AAA
18	黔南州长顺广顺州署文化景区	AAA	49	黔南州荔波古镇景区	AAA
19	黔南州长顺生态体育公园景区	AAA	50	黔南州三都咕噜景区	AAAA
20	黔南州平塘天空之桥景区	AAA	51	黔南州龙里龙架山景区	AAA
21	黔南州龙里水乡旅游生态城	AAA	52	黔南州独山深河桥抗战遗址	AAA
22	黔南州惠水咕噜云岭景区	AAA	53	黔南州都匀文峰园景区	AAA
23	黔南州龙里摩都娱购景区	AAA	54	黔南州都匀斗篷山景区	AAA
24	黔南州三都雪花湖马尾绣小镇景区	AAA	55	黔南州长顺杜鹃湖景区	AAA
25	黔南州瓮安建中茶旅小镇景区	AAA	56	黔南州平塘天坑群景区	AAA
26	黔南州都匀东方记忆景区	AAA	57	黔南州都匀匀酒景区	AAA
27	黔南州都匀黔南职院研学旅游景区	AAA	58	黔南州独山拉然景区	AAA
28	黔南州荔波万亩梅原景区	AAA	59	黔南州三都高洞景区	AAA
29	黔南州荔波布洛亚景区	AAA	60	黔南州贵定山王果工业旅游景区	AAA
30	黔南州龙里贾托山风景区	AAA	61	黔南州都匀三江堰景区	AAA
31	黔南州长顺神泉谷休闲旅游区	AAA			

(3) 对于费用区间、预算区间，采用区间中点作为该区间的代表值；

(4) 剔除所有缺失样本；

(5) 针对不同量纲的变量，统一采用 Min - Max 归一化方法，将其映射到内，从而消除量纲差异对后续统计分析

和模型训练的影响。

经数据预处理后各指标具体数据如表 2：

对表 2 各景区间的交通时间、表 3 及表 4 的游览费用等数据进行系统收集与整理，为构建模型夯实基础，进而更科学地规划出契合多方面需求的旅游环线。

表 2 各景区间交通时间 (部分数据)

各景区互通交通时间	黔南州荔波樟江旅游景区	黔南州龙里油画大草原旅游区	黔南州金海雪山景区	黔南州惠水好花红乡村旅游区	黔南州都匀茶文化影视小镇景区
黔南州荔波樟江旅游景区	0.00	2.55	2.52	2.90	1.97
黔南州龙里油画大草原旅游区	2.55	0.00	0.63	1.07	1.23
黔南州金海雪山景区	2.52	0.63	0.00	1.42	1.23
黔南州惠水好花红乡村旅游区	2.90	1.07	1.42	0.00	1.80
黔南州都匀茶文化影视小镇景区	1.97	1.23	1.23	1.80	0.00

表 3 各景区间交通费用 (部分数据)

各景区互通交通费用	黔南州荔波樟江旅游景区	黔南州龙里油画大草原旅游区	黔南州贵定金海雪山景区	黔南州惠水好花红乡村旅游区	黔南州都匀茶文化影视小镇景区
黔南州荔波樟江旅游景区	0.00	130.00	104.00	163.00	61.00
黔南州龙里油画大草原旅游区	144.00	0.00	12.00	24.00	53.00
黔南州贵定金海雪山景区	118.00	12.00	0.00	43.00	27.00
黔南州惠水好花红乡村旅游区	161.00	23.00	43.00	0.00	78.00
黔南州都匀茶文化影视小镇景区	76.00	53.00	27.00	89.00	0.00

表 4 各景区餐饮人均消费、住宿费用、门票费用 (部分数据)

景区名称	餐饮人均消费 费用价格	住宿费用价格	门票价格
荔波樟江旅游景区	75	400	120
龙里油画大草原旅游区	45	225	40
贵定金海雪山景区	60	225	0
惠水好花红乡村旅游区	45	225	0
黔南州都匀茶文化影视小镇景区	60	300	60

表 5 各景区评分数据 (部分数据)

旅游景区名称	景区评分
黔南州荔波樟江旅游景区	4.7
黔南州龙里油画大草原旅游区	5
黔南州贵定金海雪山景区	5
黔南州龙里中铁双龙镇巫山峡谷旅游区	4.9
黔南州都匀茶文化影视小镇景区	5
黔南州平塘中国天眼景区	5

2.2 数学模型构建

目标函数:

$$\min Z = \alpha \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n t_{ij} x_{ij} + \beta \left(\sum_{i=1}^n p_i y_i + \sum_{i=1}^n h_i y_i + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \right) - \gamma \sum_{i=1}^n s_i y_i$$

约束条件:

1. 路径连贯性 (每个景区只能被访问一次):

$$\sum_i x_{ij} = y_j, \forall j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

$$\sum_j x_{ij} = y_i, \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$$

2. 消除子环路 (防止路径出现环路):

$$u_i - u_j + n x_{ij} \leq n - 1, \forall i, j \geq 2$$

3. 交通可达性 (如果两景区之间没有直接交通, 不能选择该路径):

$$x_{ij} \leq r_{ij}, \forall i, j \in \{1, 2, \dots, n\}$$

其中, r_{ij} 表示是否存在从景区 i 到景区 j 的交通路径, 若不存在, 则 $r_{ij} = 0$ 。

4. 时间预算 (景区访问时间总和不能超过最大时间限制):

$$\sum_{i,j} t_{ij} x_{ij} + \sum_i d_i y_i \leq T_{\max}$$

5. 费用预算 (景区的总费用不能超过最大预算):

$$\sum_i (p_i + h_i) y_i + \sum_{i,j} c_{ij} x_{ij} \leq B_{\max}$$

变量定义:

$x_{ij} \in \{0, 1\}$: 表示是否选择从景区 i 到景区 j 的路径 (1 为选择, 0 为不选择)

$y_i \in \{0, 1\}$: 表示是否访问景区 i (1 为访问, 0 为不访问)

t_{ij} : 从景区 i 到景区 j 的交通时间

p_i : 景区 i 的门票费用

h_i : 景区 i 的住宿费用

c_{ij} : 从景区 i 到景区 j 的交通费用

s_i : 景区 i 的评分

α, β, γ : 权重系数

2.3 模型求解方法

本文采用遗传算法 (GA) 与模拟退火算法 (SA) 相结合的混合方法优化黔南州旅游环线路径。首先, 利用遗传算法的多点并行搜索快速筛选出一批优质个体; 然后, 通过模拟退火算法的单点局部搜索与退火跳出机制对这些个体进行精细化优化, 避免局部最优。通过综合考虑交通费用、门票费用、住宿费用、餐饮费用及景点评分等因素, 最终获得兼具全局搜索广度, 又具有较高精度和稳定性的高质量旅游环线路径, 提升了收敛速度和解的鲁棒性。

2.3.1 遗传算法 (GA)

Algorithm 1 遗传算法求解景区排列组合

输入: 景区集合 S , 种群大小 N , 最大代数 $G_{\max}$, 交叉概率 p_c , 变异概率 p_m

输出: 最优排列 π^* , 最优适应度 $f(\pi^*)$

```

1: 初始化种群  $P = \{\pi_1, \dots, \pi_N\}$ 
2: for  $g \leftarrow 1$  to  $G_{\max}$  do
3:   计算每个个体适应度  $f(\pi_i)$ 
4:   轮盘赌选择生成  $P_{\text{sel}}$ 
5:   交叉 (概率  $p_c$ ) 生成  $P_{\text{cross}}$ 
6:   变异 (概率  $p_m$ ) 生成新种群  $P'$ 
7:    $P \leftarrow P'$ , 更新全局最优  $\pi^*, f(\pi^*)$ 
8: end for
9: return  $\pi^*, f(\pi^*)$ 

```

图 1 遗传算法伪代码

适应度函数 (Fitness) 用于度量一个排列 π 的优劣程度:

$$f(\pi) = \sum_{i=1}^{n-1} w_{i,i+1}$$

其中 $w_{i,i+1}$ 表示景区 π_i 与 π_{i+1} 之间的权重 (如距离、满意度评分等)。

选择概率 (Selection Probability) 按轮盘赌法为个体 π_i 分配下一代被选中的概率:

$$P_i = \frac{f(\pi_i)}{\sum_{j=1}^N f(\pi_j)}$$

群体多样性 (Diversity) 衡量当前种群个体的差异程度, 可用信息熵表示:

$$H = -\sum_{i=1}^N P_i \ln P_i$$

当 H 较大时, 种群多样性高, 有助于跳出局部最优;

H 较小时, 种群趋于收敛。

收敛判据 (Convergence Criterion) 当运行到代数 g , 若:

$$\frac{\max_i f(\pi_i) - \min_i f(\pi_i)}{\max_i f(\pi_i)} < \varepsilon$$

(ε 为预设小阈值), 则认为算法已收敛, 可提前终止。

2.3.2 模拟退火算法 (SA)

基于 GA 得到的初始解 $\pi(0)$ 的模拟退火 (SA) 算法的数学化、顺序化表达。记目标函数同前为

$$F(\pi) = w_1 T(\pi) + w_2 C(\pi) - w_3 R(\pi)$$

希望最小化 $F(\pi)$ 。

初始解与初始温度

$$x^{(0)} = \pi^*, \quad T_0 = 5000, \quad \alpha = 0.995$$

其中 π^* 为遗传算法输出的最优路径。

温度更新

在第 k 次迭代之后, 温度按几何退火:

$$T_k = T_0 \alpha^k$$

邻域解生成

对当前解 $x^{(k)}$, 从其邻域 $N(x(k))$ 中随机选取一个候选

x' :

$$x' \sim \text{Uniform}(N(x^{(k)}))$$

能量差

计算候选解与当前解的目标差值:

$$\Delta F = F(x') - F(x^{(k)})$$

接受准则 (Metropolis 规则)

以如下概率接受 x' :

$$P_{\text{accept}} = \begin{cases} 1, & \Delta F \leq 0 \\ \exp\left(-\frac{\Delta F}{T_k}\right), & \Delta F > 0 \end{cases}$$

若接受, 则 $x^{(k+1)} = x'$; 否则 $x^{(k+1)} = x^{(k)}$

迭代与终止条件

对 $k = 0, 1, 2, \dots$ 重复步骤 2-5, 直至满足某一终止条件, 例如:

$$k \geq k_{\max} \text{ 或 } T_k \leq T_{\min}$$

输出解

算法停止时，输出当前最优记录

$$\hat{\pi} = \arg \min_{0 \leq i \leq k_{\text{stop}}} F(x^{(i)})$$

3 实证分析

3.1 数据描述性统计

收集到的黔南州 3A 级及以上旅游景点数据进行描述性统计分析，包括均值、标准差、最大值、最小值等统计量，了解数据的基本特征。

黔南州 3A 级以上景区间单程交通费用平均约 69 元（中位 65 元、右偏分布），75% 路段费用不超 104 元；餐饮均价 50 元、住宿均价 257 元、门票均价 17 元，但中位门票为 0 元，说明多数景区免费或低价；景点平均评分 4.85 分，满意度较高；建议游览时间以 2 小时为主（中位 2 小时），极少数大型景区需 1 天以上，而各景区间交通时间均值为 1.87 小时。

3.2 敏感性分析

针对模型中三类关键参数——评分权重 w_s 、缺失评分惩罚系数 ρ 以及预算上限 B ，分别进行敏感性分析，观察参数变化对最优环线路径结果的影响，为后续决策提供参考。

（1）评分权重 w_s 的敏感性

固定总权重之和为 1，分别设置 $w_s \in \{0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9\}$ ，对应时间与费用权重各取 $w_t = w_c = \frac{1-w_s}{2}$ 。

当 w_s 增大时，总评分保持在 63.1 分不变，因为模型中评分目标在最优解内较为稳定；游览总时间呈“先升后降”的轻微波动，最高约 277.07 小时（ $w_s = 0.3$ ），最低约 265.33 小时（ $w_s = 0.1$ ）；在约 20 700 元至 21 450 元区间小幅振荡，表明在预算约束内，费用目标与评分目标相对独立。

（2）缺失评分惩罚系数 ρ 的敏感性，预算上限 B 的敏感性

设置 $\rho = \{0, \bar{s}, 2\bar{s}, 5\bar{s}\}$ ，其中 $\bar{s} \approx 1.0344$ 为所有景点评分的均值。

缺失评分惩罚系数从 0 增加到 $5\bar{s}$ ，最优路径的总体评分、费用均未发生较大变化；仅在 $\rho = 5\bar{s}$ 时，总时间略降至 263.67 小时，表明对缺失评分景区的惩罚增加，可适度鼓励算法避开无评分景点，从而优化时间利用效率。

预算上限 B 的敏感性，分别取 $0.5B_0$ 、 $1.0B_0$ 、 $1.5B_0$ ：当预算下限缩至 $0.5B_0$ 时，时间降至约 255.10 小时；预算放宽至 $1.5B_0$ 时，总时间上升至 278.88 小时，随着预算线放宽略有增高，但都在对应上限之内。

总体来看，模型对三类参数均表现出较强鲁棒性——在合理预算范围内，均能稳定筛选出高分、低耗时且费用可控的环线路径；同时，可通过调整关键参数，为旅游管理者提供不同侧重的线路推荐策略。

4 结语

本研究以黔南州 61 个 3A 级及以上旅游景区为研究对象，通过整合多源数据（包括交通时间、费用、景区评分等），构建了一个多目标旅游环线路径优化模型。模型以最小化游览时间与费用、最大化景区评分为目标，并引入开放时间、交通可达性、预算约束、景区类别平衡等限制条件。采用遗传算法（GA）与模拟退火算法（SA）相结合的混合优化方法进行求解，最终生成了一条覆盖全部景点的闭环路径。实证结果表明：优化后路径总时间为 258.45 小时，总费用为 20540 元，综合评分 63.10 分，实现了时间、费用与游客满意度的平衡。敏感性分析进一步验证了模型对参数变化的鲁棒性，表明其在不同预算、评分权重等场景下均能提供稳定且高效的旅游线路推荐。

参考文献：

- [1] LIU Y, ZHANG L, CHEN Y, et al. ST-GCN based real-time tourist flow prediction for route adjustment[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2022, 23(5): 6012-6023.
- [2] 耿建忠, 等. 西藏旅游交通网络评价与优化策略 [J]. 地理学报, 2019, 74(6): 1230-1244.
- [3] GARCÍA-PALOMARES J C, GUTIÉRREZ J, MARTÍN J C. A multi-objective approach to dynamic tourism route planning[J]. Tourism Management, 2018, 65: 56-67.

作者简介：江族（2002-），女，贵州道真人，学士学位，研究方向：应用统计学，E-mail:1479438237@qq.com。

基金项目：贵州省 2024 年大学生创新创业国家级一般训练计划项目 - 黔途艺境·环线智行（项目编号：2024106700729）。