

| | | |
|--|--------------|--------------|
| 评委一评分, 签名及备注 | 队号: 10486 | 评委三评分, 签名及备注 |
| 评委二评分, 签名及备注 | 选题: C | 评委四评分, 签名及备注 |
| 题目: 合理旅游路线的选择与优化 | | |
| <div style="text-align: center;">摘要</div> <p>本文就洛阳旅游景区进行最佳旅游景点的选择, 并根据所选择的景点确定旅游路线, 并建立数学模型对确定的旅游路线进行评价和优化。</p> <p>根据问题要求, 将其分为三个步骤解答, 首先, 确定最佳旅游景点; 其次, 根据确定的景点进行旅游路线的确定和评价; 最后, 对确定的旅游路线进行合理优化。</p> <p>对于步骤一, 选取第一层指标为景点价值、门票价格和景点区域, 并在此基础上进行分层深化, 确定各层指标的权重, 最后进行线性加权得综合评价模型, 对洛阳旅游景区的景点进行评价并选取评价良好的景点进行旅游路线的确定。</p> <p>对于步骤二, 根据所选的景点, 以最短路径“环路式”的捕捉方法, 确定不同景点条件下对应的旅游路线, 建立模糊综合评价模型。结合所选指标的权重和构建的评价矩阵 R, 求得模糊评价权重矩阵 C, 最终获取满意度函数式, 将每个旅游路线对应的模糊评价权重矩阵 C 带入满意度函数式进行评分, 最后对所确定的 10 个旅游路线进行评价和分析。</p> <p>对于步骤三, 根据步骤二对旅游路线的满意度评价和分析, 综合考虑经济条件、旅游时间以及家庭结构对旅游路线的影响, 对所选择的旅游路线进行合理性优化。运用 0—1 变量建立关于费用的目标函数, 确定关于旅游时间、景点数和旅游花费三者的约束条件, 通过对景点间距离、各景点逗留时间等数据资料的搜集和整理以及对家庭结构、旅游花费和旅游时间等条件的假设, 运用 Lingo 软件进行结果的求解并进行合理的分析, 并针对不同结构的家庭给予合理化建议, 同时将建立的特定模型广泛化。</p> <p>关键字: 模糊综合评价; 0—1 变量; 模糊评价权重矩阵; 满意度;</p> | | |

1. 问题重述

暑假即将来临,很多家长会选择这个时间带孩子去某城市旅游,但不同的家庭有不同的需求。对此,选择一个旅游城市,综合考虑旅行路线,费用、时间等重要的因素,为不同需求的家庭设计一份最佳旅游套餐。

随着人们物质生活的丰富,旅游日益成为人们生活中的重要活动之一。河南洛阳为九朝古都,纳南北风光,是许多旅游者的必去之地。现拟定一个在暑假前往洛阳旅游的家庭,考虑交通费用、住宿费和餐费等,选取最佳的旅游景点并进行优化得出合适的旅游路线并进行评价。

综上所述,根据题意我们需要解决以下 3 个问题:

- (1) 通过建立模型得出洛阳旅游景区的最佳旅游景点;
- (2) 搜集资料,并根据所得最佳的旅游景点确定旅游路线,在不考虑时间和金钱等约束条件下,对确定的路线进行评价分析;
- (3) 在(2)的基础上,附加时间和金钱等的约束条件,获取最佳旅游路线,即最佳旅游套餐。

2. 问题分析

2.1 问题一的分析

根据问题重述中对最佳旅游线路的分部求解分析,对问题一,首先分析影响景点观光价值的指标,随后对指标进行分层并计算不同指标的权重,建立综合评价模型^[1]。

对指标的选取有第一层指标为景点价值、门票价格、景点区域条件,其中对景点价值对应的第二层指标经分析有景点规模和景点质量,景点区域条件对应的第二层经分析有基础设施、旅游设施、与其他景点的关系和交通条件,景点质量对应的第三层指标经细化包括水体、气候、地质与地形、动植物、文化古迹、民俗风情,景点规模对应的第三层指标经细化包括景点集中度和景点容纳量。

根据上述所选择的指标以及指标的细化分类情况,构造判定矩阵、权重计算分析、一致性检验,最终通过线性加权得出综合评价模型,选择不同的景点,搜集整理对应景点的数据,最后对各个景点对应的数据进行无量纲化处理,通过所得综合评价模型得到不同景点的加权评分,根据不同景点的得分情况得出景点的排名,继而确定各个景点的可观光性。

2.2 问题二的分析

根据问题一中求解出的景点可观性排名,有对应的前七个景点进行回路式捕捉,即在相对较小的环路上分别找到能够通过一个环路连接在一起的 4 个景点、5 个景点、6 个景点以及 7 个景点,并选择景点数、路线上景点质量、路线上景点总的逗留时间和路线花费为满意度评价指标,运用模糊综合评价法^[2]对各个拟定的路线进行综合评价值的确定并对同系列(景点数相同)的旅游路线进行排名,并根据模糊综合评分对不同体系的旅游路线进行定量的比较和定性的分析。

2.3 问题三的分析

根据问题二中对旅游路线的满意度分析,综合考虑经济条件、旅游时间以及家庭结构对旅游路线的影响,结合满意度的分析结果,对旅游路线进行合理优化。以一个具有代表性家庭结构为例,运用 0—1 变量建立关于费用的目标函数并确定约束条件,对资料进行搜集整理,运用 Lingo 软件进行结果的求解并进行合理的分析,为实例家庭选择适合的旅游路线^[3],并将特定的模型广泛化。

3. 模型假设

- (1): 能够对抽象指标以高、中、低和优、良、中、差等级别进行评价和无量纲化;
- (2): 该家庭所乘坐的出租车平均时速为 60km/h, 平均费用为 1.5 元/km;
- (3): 假设旅游到任何一个地方, 都会选择附近的旅馆住宿, 且为 2 间房;
- (4): 假设整个旅行过程中的景点逗留时间和坐车时间为平均每天旅游时间为 10h;
- (5): 旅游途中不考虑天气, 交通等特殊情况的影响;
- (6): 假设该家庭的整个旅游路线为一个环路;
- (7): 旅途过程中不会出现游客在两个景点往返参观的现象;

4. 符号说明

| 符号 | 含义解释 |
|------------------------------------|-----------------------------------|
| A | 旅游景点综合评价模型函数式 |
| B_i | 第一层综合指标 ($i=1,2,3$) |
| C_i | 第二层综合指标 ($i=1,2,\dots,6$) |
| D_i | 第三层综合指标 ($i=1,2,\dots,8$) |
| w_{B_i} | 指标 B_i 对应的权重值 |
| w_{C_i} | 指标 C_i 对应的权重值 |
| w_{D_i} | 指标 D_i 对应的权重值 |
| λ_{\max} | 对比较阵的最大特征根 |
| W | 各个指标细化后对应的权重集 |
| U_i | 旅游路线评价指标符号($i=1,2,\dots,4$) |
| V_i | 评语等级论域 ($i=1,2,\dots,5$) |
| a | 判断矩阵 |
| R_{ij} | 第 i 个指标在第 j 个等级的百分比 |
| R | 评价矩阵 |
| A | 旅游路线满意度 |
| C | 模糊评价权重矩阵 |
| t_i | 第 i 个景点的逗留时间 |
| J | 该家庭旅游总花费 |
| J_1 | 该家庭的交通总费用 |
| J_2 | 该家庭的旅游景点的花费 |
| q_{ij} | 第 i 个景点到第 j 个景点所需的交通费用 |
| p_{ij} | 该家庭是否从第 i 个景点直接到第 j 个景点的0—1变量 |
| r_i | 该家庭在 i 个景点的总消费 |
| t_{ij} | 第 i 个景点到第 j 个景点路途中所需时间 |
| T_1 | 旅游路途所需总时间 |
| T_2 | 景点逗留总时间 |
| T | 旅游过程总时间 |
| $\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij}$ | 该家庭旅游的景点数量 |
| n | 需要旅游的景点数量 |
| d_{ij} | 第 i 个景点和第 j 个景点之间的路程 |
| m | 该家庭所乘坐的出租车的平均费用 |
| v | 该家庭所乘坐的出租车的平均时速 |
| e_i | 第 i 个景点总消费情况 |

5. 模型的建立及求解

5.1 模型一的建立及求解

5.1.1 各个指标的分层

通过对指标的分层和细化，最终得指标体系见下图 1：

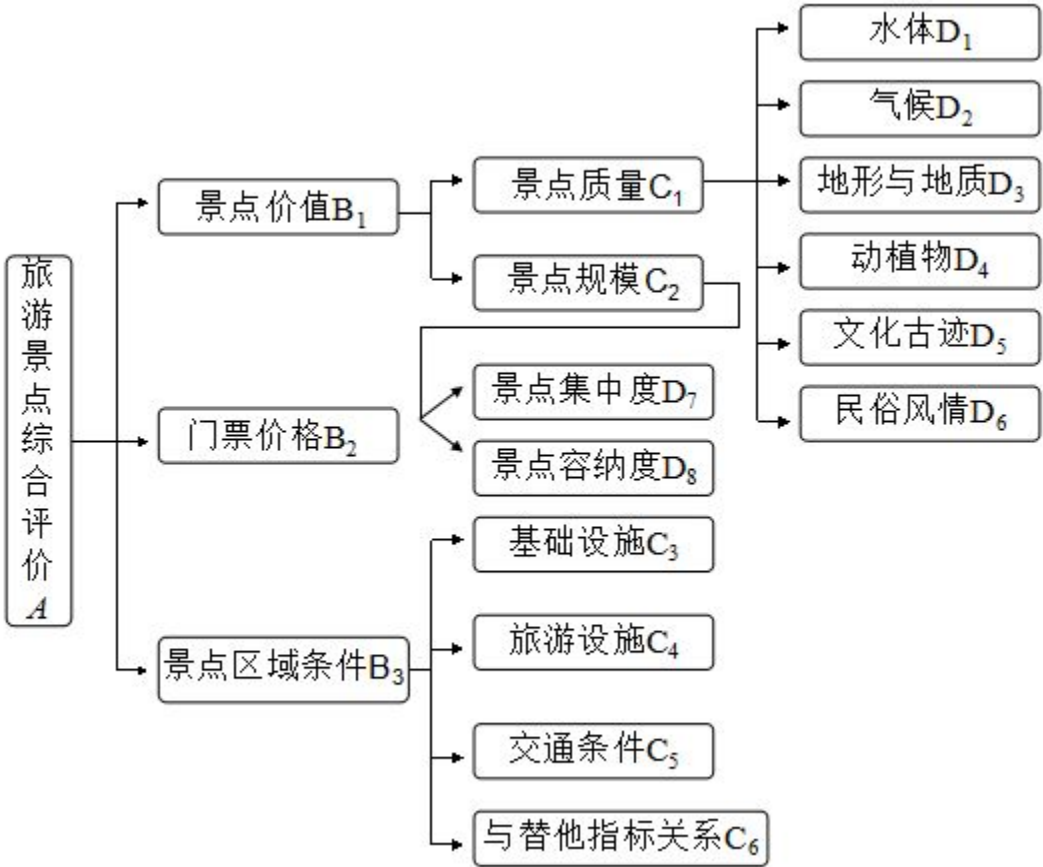


图 1：分层和细化后的指标体系

5.1.2 各层指标的权重确定

根据上述指标体系，列出以下判断矩阵，并求出每个指标对应的权重如下表^[1]（1—6）：

表 1：判断矩阵（A-B）及指标对应权重

| 系统评价 | 景点价值 | 门票价格 | 景点区域条件 | W （权重） |
|--------|------|------|--------|----------|
| 景点价值 | 1 | 2 | 4 | 0.5584 |
| 门票价格 | 1/2 | 1 | 3 | 0.3196 |
| 景点区域条件 | 1/4 | 1/3 | 1 | 0.1220 |

通过 Matlab 软件求解出最大特征值 λ 进行一致性检验有：

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, CR = \frac{CI}{RI}$$

随机一致性指标 RI 对应的取值如下表 2：

表 2：随机一致性检验 RI 的对应值

| n | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
|------|---|---|------|-----|------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0 | 0 | 0.58 | 0.9 | 1.12 | 1.24 | 1.32 | 1.41 | 1.45 | 1.49 | 1.51 |

根据求得的最大特征值 $\lambda_{\max} = 3.0183$ ；带入数值可得 $CI = 0.0091$ ； $RI = 0.5301$ ； $CR_1 = 0.0173 < 0.1$ ，通过一致性检验。

表 3：判断矩阵及指标对应权值（B₁-C）

| 景点价值 | 景点质量 | 景点规模 | <i>W</i> |
|------|------|------|----------|
| 景点质量 | 1 | 5 | 0.8333 |
| 景点规模 | 1/5 | 1 | 0.1667 |

表 4：判断矩阵及指标对应权值（B₃-C）

| 景点区域条件 | 基础设施 | 旅游设施 | 交通条件 | 与其他景点关系 | <i>W</i> |
|---------|------|------|------|---------|----------|
| 基础设施 | 1 | 1/5 | 2 | 1/4 | 0.1401 |
| 旅游设施 | 5 | 1 | 3 | 2 | 0.4372 |
| 交通条件 | 1/2 | 1/3 | 1 | 3 | 0.2114 |
| 与其他景点关系 | 4 | 1/2 | 1/3 | 1 | 0.2113 |

通过 Matlab 软件求解出的最大特征值 $\lambda_{\max} = 5.0195$ ； $CI=0.0049$ ； $RI=0.90$ ；最终求解出 $CR_1=0.0054<0.1$ ，即通过一致性检验。

表 5：判断矩阵及指标对应权值（C₁-D）

| 景点质量 | 水体 | 气候 | 地形与地质 | 动植物 | 文化古迹 | 民俗风情 | <i>W</i> |
|-------|-----|-----|-------|-----|------|------|----------|
| 水体 | 1 | 1/2 | 3 | 1/4 | 1/4 | 3 | 0.1218 |
| 气候 | 2 | 1 | 1/5 | 3 | 1/5 | 2 | 0.1340 |
| 地形与地质 | 1/3 | 5 | 1 | 3 | 1/2 | 2 | 0.1916 |
| 动植物 | 4 | 1/3 | 1/3 | 1 | 5 | 1/3 | 0.2106 |
| 文化古迹 | 4 | 5 | 2 | 1/5 | 1 | 5 | 0.2404 |
| 民俗风情 | 1/3 | 1/2 | 1/2 | 3 | 1/5 | 1 | 0.1016 |

表 6：判断矩阵及指标对应权值（C₂-D）

| 景点规模 | 景点集中度 | 景点容纳量 | <i>W</i> |
|-------|-------|-------|----------|
| 景点集中度 | 1 | 5 | 0.8333 |
| 景点容纳量 | 1/5 | 1 | 0.1667 |

最终得出每个指标对应的权重见下表 7:

表 7: 景点评价指标权重分配表

| 综合评价 | 综合评价一层 | 权重 | 综合评价二层 | 权重 | 综合评价三层 | 权重 | |
|------------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|
| 旅游景点综合评价价值 | 景点价值 | 0.5584 | 景点质量 | 0.8333 | 水体 | 0.1218 | |
| | | | | | 气候 | 0.1340 | |
| | | | | | 地形与地质 | 0.1916 | |
| | | | | | 动植物 | 0.2106 | |
| | | | | | 文化古迹 | 0.2404 | |
| | | | | | 民俗风情 | 0.1016 | |
| | 门票价格 | 0.3196 | 景点规模 | 0.1667 | 景点集中度 | 0.8333 | |
| | | | | | 景点容纳量 | 0.1667 | |
| | 景点区域条件 | 0.1220 | | | 基础设施 | | 0.1401 |
| | | | | | 旅游设施 | | 0.4372 |
| | | | | | 交通条件 | | 0.2114 |
| | | | | | 与其他景点关系 | | 0.2113 |

5. 1. 3 综合评价模型确定及景点排名

根据所得的最终分层指标权重, 进行线性加权获得综合评价模型^[2]:

$$A = w_{D1}D_1 + w_{D2}D_2 + w_{D3}D_3 + w_{D4}D_4 + w_{D5}D_5 + w_{D6}D_6 \\ + w_{D7}D_7 + w_{D8}D_8 + w_{B2}B_2 + w_{C3}C_3 + w_{C4}C_4 + w_{C5}C_5 + w_{C6}C_6$$

其中:

$$W = (w_{D1}, w_{D2}, w_{D3}, w_{D4}, w_{D5}, w_{D6}, w_{D7}, w_{D8}, w_{B2}, w_{C3}, w_{C4}, w_{C5}, w_{C6}) \\ W = (0.0567, 0.0624, 0.0892, 0.0980, 0.1119, 0.0473, \\ 0.0776, 0.0155, 0.3196, 0.0171, 0.0534, 0.0258, 0.0258)$$

根据搜集的数据资料和游客对所观赏景点后的评价, 结合求解出的综合评价模型对每个景点进行评分, 随后对景区景点进行客观排名, 确定出各个景点的相对游览价值。

最后, 根据综合评价模型, 得出排名靠前的前七个旅游景点见表 8:

表 8: 旅游景点排名

| 排序 | 景点名称 | 开放状态 | 票价 |
|----|-------------------------|------|---------|
| 1 | 龙门石窟(不含香山寺、东山石窟及夜游龙门项目) | 正常开放 | 120.0 ¥ |
| 2 | 白云山 | 正常开放 | 60.0 ¥ |
| 3 | 关林庙 | 正常开放 | 30.0 ¥ |
| 4 | 鸡冠洞景区 | 正常开放 | 50.0 ¥ |
| 5 | 白马寺 | 正常开放 | 35.0 ¥ |
| 6 | 龙潭大峡谷 | 正常开放 | 50.0 ¥ |
| 7 | 花果山国家森林公园 | 正常开放 | 25.0 ¥ |

5.2 模型二的建立及求解

5.2.1 合理路线选取

根据问题一所选择出的景点，在地图上进行最短路径环路式捕捉景点，其中洛阳景区的地图如图 2 所示：



图 2：洛阳景区景点布局图

进行环路式的捕捉，有确定下来的具有 4 个旅游景点的旅游路线为^[4]：

- 龙门石窟→花果山国家森林公园→龙潭大峡谷→白马寺
- 龙门石窟→花果山国家森林公园→鸡冠洞风景区→白云山
- 龙门石窟→关林庙→鸡冠洞风景区→白云山
- 龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷

具有 5 个旅游景点的旅游路线为：

- 龙门石窟→白马寺→花果山国家森林公园→鸡冠洞风景区→白云山
- 龙门石窟→龙潭大峡谷→花果山国家森林公园→鸡冠洞风景区→白云山
- 龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷→花果山国家森林公园

具有 6 个旅游景点的旅游路线为：

- 龙门石窟→白马寺→龙潭大峡谷→花果山国家森林公园→鸡冠洞风景区→白云山
- 龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷→花果山国家森林公园→鸡冠洞风景区

具有 7 个旅游景点的旅游路线为：

- 龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷→花果山国家森林公园
- 鸡冠洞风景区→白云山

根据上述的确定，有不同的旅游景点下出现不同的旅游路线，故需要选取指标对各个路线进行评价，找出较为适宜的旅游路线。

5.2.2 评价指标确定

根据影响游客对旅游线路满意度的指标，建立旅游路线满意度评价指标体系，最终选取了景点数、路线上景点质量、路线上景点总的逗留时间和花费 4 个重要的指标，具体表示如下表 9：

表 9：评价指标符号

| 符号 | U_1 | U_2 | U_3 | U_4 |
|----|-------|-------|----------|-------|
| 说明 | 景点数 | 景点质量 | 景点总的逗留时间 | 花费 |

同时确定评语等级论域为：

$$V=(V_1,V_2,V_3,V_4,V_5)=(\text{很满意}, \text{满意}, \text{一般}, \text{不满意}, \text{很不满意})$$

对选中的四个指标进行权重的求解，其中权重集表示为：

$$W=[w_1, w_2, w_3, w_4]$$

对权值的求解，建立判断矩阵为 a ，其表达式为：

$$a=\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix}$$

运用Matlab软件对判断矩阵的最大特征根进行求解，并求解出权重向量 W ，通过求解的最大特征根对其一致性进行检验。

经计算确定，构造的判别矩阵如下表^[2]：

表 10：指标对应的判别矩阵

| | 景点数 | 景点质量 | 景点总的逗留时间 | 花费 | W |
|----------|-----|------|----------|-----|--------|
| 景点数 | 1 | 2/3 | 2 | 2/5 | 0.2015 |
| 景点质量 | 3/2 | 1 | 3 | 3/5 | 0.2572 |
| 景点总的逗留时间 | 1/2 | 1/3 | 1 | 1/5 | 0.1008 |
| 花费 | 5/2 | 3/4 | 5 | 1 | 0.4405 |

$W=[w_1, w_2, w_3, w_4]=[0.2015, 0.2572, 0.1008, 0.4405]$ 经检验有 $CR= -0.1029 < 0.1$ ，通过一致性检验。

5.2.2 构建评价矩阵 R

通过分析、计算、总结搜集到的数据，构造评价矩阵 R ，其与各评价指标的关系如下表^[1]：

表 11：U 与 V 的关系 R 矩阵表

| | V_1 很满意 | V_2 满意 | V_3 一般 | V_4 不满意 | V_5 很不满意 |
|-------|-----------|----------|----------|-----------|------------|
| U_1 | R_{11} | R_{12} | R_{13} | R_{14} | R_{15} |
| U_2 | R_{21} | R_{22} | R_{23} | R_{24} | R_{25} |
| U_3 | R_{31} | R_{32} | R_{33} | R_{34} | R_{35} |
| U_4 | R_{41} | R_{42} | R_{43} | R_{44} | R_{45} |

其中， R_{ij} 表示第 i 个指标在第 j 个等级的百分比。

最后得到模糊综合评价权重矩阵 C ，其形式为：

$$C=WoR=\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & w_3 & w_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & R_{14} & R_{15} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & R_{24} & R_{25} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & R_{34} & R_{35} \\ R_{41} & R_{42} & R_{43} & R_{44} & R_{45} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_1 & c_2 & c_3 & c_4 & c_5 \end{bmatrix}$$

最后建立 $V=(V_1,V_2,V_3,V_4,V_5)$ 系列的尺度衡量值，得到加权处理的模糊评价模型，即旅游路线满意度的最终评价函数：

$$A=5c_1+4c_2+3c_3+2c_4+c_5$$

5.2.3 旅游路线客观满意度排名

根据评价指标的确定和指标权重对应值求解出模糊综合评价权重矩阵 C ，将所得数据带入最终评价函数求得每个旅游的评分，具体结果及分析如下^[5]：

4 个景点：

路线 1：龙门石窟→花果山森林公园→龙潭大峡谷→白马寺

表 12：对路线 1 构造评价矩阵 R

| | V_1 很满意 | V_2 满意 | V_3 一般 | V_4 不满意 | V_5 很不满意 |
|----------|-----------|----------|----------|-----------|------------|
| 景点数 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 景点质量 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0 |
| 景点总的逗留时间 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0 |
| 花费 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0 |

带入数据求得模糊评价权重矩阵 C 为：

$$C=[0.228 \ 0.405 \ 0.241 \ 0.126 \ 0]$$

最终求得该旅游线路的满意度 A 为：

$$A=5*0.228+4*0.405+3*0.241+2*0.126+1*0=3.74$$

路线 2：龙门石窟→花果山森林公园→鸡冠洞风景区→白云山

表 13：对路线 2 构造评价矩阵 R

| | V_1 很满意 | V_2 满意 | V_3 一般 | V_4 不满意 | V_5 很不满意 |
|----------|-----------|----------|----------|-----------|------------|
| 景点数 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 景点质量 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0 |
| 景点总的逗留时间 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0 |
| 花费 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0 |

带入数据求得模糊评价权重矩阵 C 为：

$$C=[0.200 \ 0.394 \ 0.236 \ 0.170 \ 0]$$

最终求得该旅游线路的满意度 A 为：

$$A=5*0.2+4*0.394+3*0.236+2*0.17+1*0=3.62$$

路线 3：龙门石窟→龙潭大峡谷→花果山风景区→白云山

表 14：对路线 3 构造评价矩阵 R

| | V_1 很满意 | V_2 满意 | V_3 一般 | V_4 不满意 | V_5 很不满意 |
|----------|-----------|----------|----------|-----------|------------|
| 景点数 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 景点质量 | 0.2 | 0.4 | 0.4 | 0 | 0 |
| 景点总的逗留时间 | 0.05 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.05 |
| 花费 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.1 |

代入数据求得模糊评价权重矩阵 C 为：

$$C=[0.141\ 0.322\ 0.350\ 0.138\ 0.049]$$

最终求得该旅游线路的满意度 A 为：

$$A=5*0.141+4*0.322+3*0.35+2*0.138+1*0.049=3.37$$

路线 4：龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷

表 15：对路线 4 构造评价矩阵 R

| | V ₁ 很满意 | V ₂ 满意 | V ₃ 一般 | V ₄ 不满意 | V ₅ 很不满意 |
|----------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 景点数 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 景点质量 | 0.1 | 0.4 | 0.3 | 0.2 | 0 |
| 景点总的逗留时间 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0 |
| 花费 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0 |

带入数据求得模糊评价权重矩阵 C 为：

$$C=[0.238\ 0.464\ 0.172\ 0.126\ 0]$$

最终求得该旅游线路的满意度 A 为：

$$A=5*0.238+4*0.464+3*0.172+2*0.126+1*0=3.81$$

5 个景点：

路线 6：龙门石窟→白马寺→花果山森林公园→鸡冠洞风景区→白云山

表 16：对路线 5 构造评价矩阵 R

| | V ₁ 很满意 | V ₂ 满意 | V ₃ 一般 | V ₄ 不满意 | V ₅ 很不满意 |
|----------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 景点数 | 0.2 | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0 |
| 景点质量 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0 |
| 景点总的逗留时间 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.1 | 0 |
| 花费 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.1 |

带入数据求得模糊评价权重矩阵 C 为：

$$C=[0.130\ 0.342\ 0.340\ 0.144\ 0.044]$$

最终求得该旅游线路的满意度 A 为：

$$A=5*0.130+4*0.342+3*0.340+2*0.144+1*0.044=3.37$$

路线 6：龙门石窟→龙潭大峡谷→花果山森林公园→鸡冠洞风景区→白云山

表 17：对路线 6 构造评价矩阵 R

| | V ₁ 很满意 | V ₂ 满意 | V ₃ 一般 | V ₄ 不满意 | V ₅ 很不满意 |
|----------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 景点数 | 0.2 | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0 |
| 景点质量 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0 |
| 景点总的逗留时间 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |
| 花费 | 0.05 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.15 |

带入数据得到模糊评价权重矩阵 C 为：

$$C=[0.098\ 0.262\ 0.285\ 0.278\ 0.076]$$

最终求得该旅游线路的满意度 A 为：

$$A=5*0.098+4*0.262+3*0.285+2*0.278+1*0.076=3.02$$

路线 7: 龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷→花果山森林公园

表 18: 对路线 7 构造评价矩阵 R

| | V ₁ 很满意 | V ₂ 满意 | V ₃ 一般 | V ₄ 不满意 | V ₅ 很不满意 |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 景点数 | 0.2 | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0 |
| 景点质量 | 0.1 | 0.4 | 0.4 | 0.1 | 0 |
| 景点总的 逗留时间 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 花费 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0 | 0 |

带入数据求得模糊评价权重矩阵 C 为:

$$C=[0.228 \ 0.440 \ 0.275 \ 0.056 \ 0]$$

最终求得该旅游线路的满意度 A 为:

$$A=5*0.228+4*0.440+3*0.275+2*0.056+1*0=3.84$$

6 个景点:

路线 8: 龙门石窟→白马寺→龙潭大峡谷→花果山森林公园→鸡冠洞风景区
→白云山

表 19: 对路线 8 构造评价矩阵 R

| | V ₁ 很满意 | V ₂ 满意 | V ₃ 一般 | V ₄ 不满意 | V ₅ 很不满意 |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 景点数 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0 | 0 |
| 景点质量 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 景点总的 逗留时间 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |
| 花费 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.1 | 0.1 |

带入数据求得模糊评价权重矩阵 C 为:

$$C=[0.166 \ 0.382 \ 0.298 \ 0.100 \ 0.054]$$

最终求得则该旅游线路的满意度 A 为:

$$A=5*0.166+4*0.382+3*0.298+2*0.100+1*0.054=3.51$$

路线 9: 龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷→花果山森林公园
→鸡冠洞风景区

表 20: 对路线 9 构造评价矩阵 R

| | V ₁ 很满意 | V ₂ 满意 | V ₃ 一般 | V ₄ 不满意 | V ₅ 很不满意 |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 景点数 | 0.3 | 0.5 | 0.2 | 0 | 0 |
| 景点质量 | 0.2 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0 |
| 景点总的 逗留时间 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0 |
| 花费 | 0.3 | 0.4 | 0.2 | 0.1 | 0 |

带入数据可得模糊评价权重矩阵 C 为:

$$C=[0.274 \ 0.420 \ 0.226 \ 0.080 \ 0]$$

最终求得该旅游线路的满意度 A 为:

$$A=5*0.274+4*0.420+3*0.226+2*0.080+1*0=3.89$$

7 个景点：

路线 10：龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷→花果山森林公园→
鸡冠洞风景区→白云山

表 21：对路线 10 构造评价矩阵 R

| | V ₁ 很满意 | V ₂ 满意 | V ₃ 一般 | V ₄ 不满意 | V ₅ 很不满意 |
|--------------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
| 景点数 | 0.3 | 0.6 | 0.1 | 0 | 0 |
| 景点质量 | 0.3 | 0.4 | 0.3 | 0 | 0 |
| 景点总的 逗留时间 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.1 |
| 花费 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.15 | 0.05 |

带入数据可得模糊评价权重矩阵 C 为：

$$C=[0.192\ 0.376\ 0.304\ 0.096\ 0.032]$$

最终求得该旅游线路的满意度 A 为：

$$A=5*0.192+4*0.376+3*0.304+2*0.096+1*0.032=3.60$$

根据上述的满意度量化求解，最终的满意度评价汇总如下表 22：

表 22：旅游路线满意度评分及排序

| 旅游路线排名 | 旅游路线名 | 路线景点数 | 满意度评价 |
|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 路线 9 | 6 | 3.89 |
| 2 | 路线 7 | 5 | 3.84 |
| 3 | 路线 4 | 4 | 3.81 |
| 4 | 路线 1 | 4 | 3.74 |
| 5 | 路线 2 | 4 | 3.62 |
| 6 | 路线 10 | 7 | 3.60 |
| 7 | 路线 8 | 6 | 3.51 |
| 8 | 路线 5 | 5 | 3.37 |
| 9 | 路线 3 | 4 | 3.37 |
| 10 | 路线 6 | 5 | 3.02 |

5.3 模型三的建立及求解

5.3.1 建立目标函数

假设一个暑假欲前往洛阳旅游的五口之家，家庭结构为一位儿童，两位父母，两位祖父母，制定了一个为期 4 天的旅游计划。其中，总费用以 1500 元/人为限，住宿为 150 元/间天，餐费为 60 元/人天，则在其假设的基础上，进行目标函数的确定。

根据对问题三的分析，需要实现的目标是，在为其 4 天的旅游时间内以花最少的钱游览尽可能多的地方。故需要实现花费最少和游览景点尽可能多两个目标，根据问题一中筛选出的 7 个景点，进行优化旅游路线的求解，首先对总花费建立目标函数^[6]。

经分析，旅游的总花费包括交通总费用和在旅游景点的花费，即目标函数为：

$$\text{Min } J = J_1 + J_2$$

其中，J—该家庭旅游总花费；

J₁—该家庭的交通总费用；

J₂—该家庭的旅游景点的花费；

以 q_{ij} 表示从第 i 个景点到第 j 个景点所需的交通费用，其中 p_{ij} 是判断此家庭是否从第 i 个景点直接到第 j 个景点的 0—1 变量，则可以得到交通总费用为：

$$J_1 = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times q_{ij}$$

旅游景点的花费的计算包括表示该家庭在 i 个景点的总消费的 r_i ，而 p_{ij} 可以表示该家庭是否到达过第 i 个和第 j 个景点，在实际的计算过程中，有旅游的费用为：

$$J_2' = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times (r_i + r_j)$$

而在计算的过程中，对该家庭的总体游览花费计算了两次，则在正常情况下，旅游景点的花费为：

$$J_2 = \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times (r_i + r_j)$$

故根据上述的旅游花费和交通费用得出所需要的目标函数为：

$$\text{Min } J = J_1 + J_2 = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times q_{ij} + \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times (r_i + r_j)$$

5.3.2 约束条件

首先讨论时间的约束，根据假设条件，该家庭在路途中的时间、在旅游景点逗留的时间和休息时间共计为 4 天，而实际旅行时间和到达景点的时间为每天 10h，故约束时间的最高限制为 40h，用 t_{ij} 表示从第 i 个景点到第 j 个景点路途中所需时间，所以路途中所需时间为^[5]：

$$T_1 = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times t_{ij}$$

t_i 表示该家庭在第 i 个景点的逗留时间，故根据目标函数的推导案例，有该家庭在旅游景点的总逗留时间为：

$$T_2 = \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times (t_i + t_j)$$

故求得最终的时间约束条件为：

$$T = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times t_{ij} + \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times (t_i + t_j) \leq 40$$

其次，讨论旅游景点数量的约束，根据假设，整个旅游路线是环形，则 $\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij}$ 表示该家庭旅游的景点数量，假设需要旅游的景点数量为 n ($n=2, 3, \dots, 7$)，最终可以得到旅游景点数的约束条件为：

$$\sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} = n \quad (n=2, 3, \dots, 7)$$

0—1 变量的约束条件有：

$$\sum_i p_{ij} = \sum_j p_{ij} \leq 1 \quad (i, j=1, 2, \dots, 7)$$

当 $i=1$ 时，从出发点开始出发，即 $\sum_{i=1} p_{ij}=1$ ； $j=1$ 时，旅游完毕又回到出发点，

故有 $\sum_{j=1}^7 p_{ij} = 1$;

综上所述, 可以得出:

$$\begin{aligned} \sum_i p_{ij} &= \sum_j p_{ij} \leq 1 \quad (i, j=1, 2, \dots, 7) \\ \sum_{i=1}^7 p_{ij} &= 1 \quad \sum_{j=1}^7 p_{ij} = 1 \end{aligned}$$

由于游客不会在两地间往返旅游, 当 $i, j \geq 2$ 时, 根据题意不可能出现 $r_{ij} = r_{ji} = 1$, 因此根据题意, 可得约束条件为:

$$p_{ij} \times p_{ji} = 0 \quad (i, j=2, 3, \dots, 7)$$

5.3.3 模型建立

根据上述的目标函数和约束条件, 我们可以得到总的模型为^[6]:

$$\text{Min } J = J_1 + J_2 = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times q_{ij} + \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times (r_i + r_j)$$

约束条件:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times t_{ij} + \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times (t_i + t_j) \leq 40 \\ \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} = n \quad (n=2, 3, \dots, 7) \\ \sum_i p_{ij} = \sum_j p_{ij} \leq 1 \quad (i, j=1, 2, \dots, 7) \\ \sum_{i=1}^7 p_{ij} = 1 \quad \sum_{j=1}^7 p_{ij} = 1 \\ p_{ij} \times p_{ji} = 0 \quad (i, j=2, 3, \dots, 7) \end{cases}$$

5.3.4 模型求解

首先, 根据模型涉及的数据, 引入参数:

d_{ij} —— 第 i 个景点和第 j 个景点之间的路程;

v —— 该家庭所乘坐的出租车的平均时速, $v=60\text{km/h}$;

m —— 该家庭所乘坐的出租车的平均费用, $h=1.5$ 元/km;

在上述假设的条件下, 有考虑到住宿和餐饮费, 该家庭每晚需要 2 间房子, 通过计算有总的住宿和餐饮费为 2400 元, 则最终求解出目标函数为:

$$\text{Min } J = \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times q_{ij} + \frac{1}{2} \times \sum_{i=1}^7 \sum_{j=1}^7 p_{ij} \times (r_i + r_j) + 2400$$

通过对资料的搜集和整理, 我们可以得到任意两景点的距离 d_{ij} 的具体值, 根据公式 $t_{ij} = d_{ij} / v$ 可得到两景点之间的行车时间 t_{ij} , 通过公式 $q_{ij} = d_{ij} \times m$ 可以得到相应的 c_{ij} ($i, j=1, 2, \dots, 7$)。

通过网上搜索资料, 衡量景点的适宜逗留时间, 最终确定该家庭在第 i 个景点的适宜逗留时间和在第 i 个景点总消费情况分别见表 23—24:

表 23: 第 i 个景点适宜逗留时间(单位: h)

| t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | t_5 | t_6 | t_7 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5 | 2 | 2 | 4 | 7 | 8 | 8 |

表 24: 第 i 个景点总消费情况(单位: 元)

| e_1 | e_2 | e_3 | e_4 | e_5 | e_6 | e_7 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 850 | 400 | 425 | 500 | 500 | 375 | 550 |

通过数据的搜集整理, 最终得出各个景点之间的距离见表 25:

表 25: 各景点之间距离(单位: km)

| 距离(km) | 龙门石窟 | 关林 | 白马寺 | 鸡冠洞景区 | 龙潭大峡谷 | 花果山国家森林公园 | 白云山 |
|-----------|------|-----|-----|-------|-------|-----------|-----|
| 龙门石窟 | 0 | 7 | 29 | 152 | 50 | 104 | 152 |
| 关林 | 7 | 0 | 22 | 158 | 44 | 111 | 156 |
| 白马寺 | 29 | 22 | 0 | 182 | 46 | 134 | 180 |
| 鸡冠洞景区 | 152 | 158 | 182 | 0 | 190 | 111 | 55 |
| 龙潭大峡谷 | 50 | 44 | 46 | 190 | 0 | 143 | 189 |
| 花果山国家森林公园 | 104 | 111 | 134 | 111 | 143 | 0 | 108 |
| 白云山 | 152 | 156 | 180 | 55 | 189 | 108 | 0 |

根据建立的模型以及搜集的数据, 运用 Lingo 软件进行运算, 最终得出结果如下表 26 所示:

表 26: 所建立模型求解结果

| 旅游景点数 n | 4 | 5 | 6 |
|-----------------------|-----------|-------------|---------------|
| 该家庭总花费 P (单位: 元) | 4762.5 | 5433 | 6170 |
| 路线 | 1→5→3→2→1 | 1→2→3→5→6→1 | 1→2→3→5→4→6→1 |

根据求解出的结果, 有其中的数字 1—7 分别表示龙门石窟、关林庙、白马寺、鸡冠洞景区、龙潭大峡谷、花果山国家森林公园、白云山。

当旅游景点数为 4 个时, 有对应的旅游路线为: 龙门石窟→龙潭大峡谷→白马寺→关林庙, 其中对应的家庭总花费为 4762.5 元;

当旅游景点数为 5 个时, 有对应的旅游路线为: 龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷→花果山国家森林公园, 其中对应的家庭总花费为 5433 元;

当旅游景点数为 6 个时, 有对应的旅游路线为: 龙门石窟→关林庙→白马寺→龙潭大峡谷→鸡冠洞景区→花果山国家森林公园, 其中对应的家庭总花费为 6170 元。

根据合理的旅游时间(4 天)进行景点的选取, 当旅游景点数为 7 个时, 由于限制因素的影响, 出现 Lingo 软件对应的程序不能找到合适的解, 即旅游景点数为 7 个时, 不能满足约束条件。

根据上述的结果可知, 在家庭经济条件一般的条件下, 且有老人的家庭旅游结构中, 采用上述景点数量为 4 的旅游路线比较合适。

当经济条件较好且有老人的家庭旅游结构中,可以选择景点数为 4 或 5 的旅游路线比较合适;

当经济条件一般且无老人的家庭旅游结构中,可以选择景点数为 5 的旅游路线比较合适;

当经济条件较好且无老人的家庭旅游结构中,可以选择景点数为 5 或 6 的旅游路线比较合适。

根据上述的讨论,对于模型三假设的某一家庭旅游情况,若不受经济条件的制约,选取景点数为 4 或 5 的旅游路线较为合适。

6. 模型的结果分析

6.1 模型一的结果分析

根据影响景点观光性的指标进行分层细化分析,最终得到各个指标对应最后一层的权重,经线性加权处理得到综合评价模型,由于所选指标会出现有气候、文化古迹等比较抽象的指标,搜集资料较为困难,则需要参照搜集的数据和网友评价,划分等级优、良、中、差以及高、中、差进行评判,对每个级别划定评分并进行中心法无量纲化,最终得到各个景点的相对排名,虽模型计算不够精确,但也能够对各个景点进行较为合理的综合评判。

6.2 模型二的结果分析

根据所建立模糊综合评价模型分别求得模糊评价权重矩阵和满意度函数式,对每条选取的旅游路线构建评价矩阵 R 并进行求解,结合所选指标的权重,将求得的数据带入满意度函数式对旅游路线进行评分,最终求得所选择的 10 个旅游路线的评价排名。

根据所得的评价结果,有景点数适中的路线 9 和路线 7 排名靠前,而景点数量较少的路线 4 和路线 1 评价适中,同时,不同景点的旅游路线均会有不同等级的评价,故景点数量不是决定性因素,各个旅游路线中,对其最终评分起到决定性作用的是各个景点的质量、花费等,最终给出不同旅游路线的排名供游客们参考,使游客能够获得满意的旅游套餐。

6.3 模型三的结果分析

根据模型中的约束条件和 Lingo 软件运行出的结果,对得出的旅游路线进行景点数量和家庭总消费金额的分析,同时根据不同的家庭结构,考虑有老人时,为保证老人旅游的愉悦和充足的体力,尽量减少旅游的景点数,在无老人的家庭结构中,尽量在一定的资金条件下,游览尽可能多的景点,具体分析见模型三的模式求解。这样以来,能够定性和定量的为各种家庭结构选择较为适宜的旅游路线,模型三的求解引入家庭实例和旅游天数的限制,若出现不同的家庭结构、旅游天数和旅游经费时,可以对约束条件进行适当的修改,就可以得出适合旅游路线。

7. 模型总结

7.1 模型一

模型一指标选择多样，分层合理，所得综合评价模型涵盖影响因素广泛，但部分数据的估计和评判的模糊，会导致整体的评价效果不佳，但整体上也能够反映景点之间的相对可观光型，得出各景点的综合排名。

7.2 模型二

模型二采用模糊综合评价模型，选取衡量旅游路线的指标进行权重分析，同时对每条选取的旅游路线构建评价矩阵 R ，求出模糊评价权重矩阵 C ，带入满意度函数，对各个旅游路线进行评价，虽在构建评价矩阵 R 具有一定的主观因素，但所得结果也具有很好的客观性，能够对各个旅游路线进行较好的评价，虽选择的尺度不同，对应的评价也会有所变化，但旅游路线两两之间的相对关系变化较小，故模型建立合理，能够对各个旅游路线进行合理评价，若搜集到更多完善的数据、做更多的调查后，评价结果的相对准确性会更好，同时，模型进行进一步优化提升后，也会有更好更准确评价结果。

7.3 模型三

模型三的求解由特殊到一般，以一个具有代表性的家庭实例为依据，运用 0—1 变量进行目标函数的建立及约束条件的求解，最终运用 Lingo 软件进行模型的求解，实现景点数量和对应的家庭消费情况取值，并能够得出路线的合理规划，运行结果良好，具有很好的说服力和应用性，且能够适当改变约束条件和数据的搜集整理进行不同家庭情况对应的适宜旅游路线确定，实效性很强。

参考文献：

- [1] 姜启源，谢金星，叶俊，《数学模型（第三版）》，北京：高等教育出版社，2003.
- [2] 李庆扬，王能超，易大义，《数值分析》，北京：清华大学出版社 施普林格出版社，2001.
- [3] 谢金星，薛毅，《优化建模与 LINDO/LINGO 软件》，北京：清华大学出版社，2005.
- [4] 王宁，风景区旅游景点的综合评判及最优旅游路线的选择，宁德师专学报（自然科学版），15（2）：148—152，2003.
- [5] 黄燕平，朱先林，基于数学模型的永州市旅游线路选择与评价，数学的认识与实践，43（13）：46—50，2013.
- [6] 王徐民，方玉平，张慧慧，旅游线路优化设计，中国西部科技，13（2）：32—36，2011.

附录:

问题一程序:

```
a=[1 2 4;1/2 1 3;1/4 1/3 1];
```

```
[x,f]=eig(a)
```

```
A=x(:,1)./sum(x(:,1))
```

```
x =
```

| | | |
|--------|-------------------|-------------------|
| 0.8527 | 0.8527 | 0.8527 |
| 0.4881 | -0.2440 + 0.4227i | -0.2440 - 0.4227i |
| 0.1862 | -0.0931 - 0.1613i | -0.0931 + 0.1613i |

```
f =
```

| | | |
|--------|-------------------|-------------------|
| 3.0183 | 0 | 0 |
| 0 | -0.0091 + 0.2348i | 0 |
| 0 | 0 | -0.0091 - 0.2348i |

```
A =
```

| |
|--------|
| 0.5584 |
| 0.3196 |
| 0.1220 |

```
ri=[0,0,0.52,0.89,1.12,1.26,1.36,1.41,1.46,1.49];
```

```
f=eig(a);
```

```
[m,n]=size(a);
```

```
maxf=max(f)
```

```
ci=(maxf-m)/(m-1)
```

```
cr=ci/ri(1,m)
```

```
maxf =
```

| |
|--------|
| 3.0183 |
|--------|

```
ci =
```

| |
|--------|
| 0.0091 |
|--------|

```
cr =
```

| |
|--------|
| 0.0176 |
|--------|

```
b=[1 5;0.2 1];
```

```
[x,f]=eig(b)
```

```
A=x(:,1)./sum(x(:,1))
```

```
x =
```

| | |
|--------|---------|
| 0.9806 | -0.9806 |
| 0.1961 | 0.1961 |

```
f =
```

| | |
|---|---|
| 2 | 0 |
| 0 | 0 |

```
A =
```

| |
|--------|
| 0.8333 |
| 0.1667 |

```
c=[1 1/52 1/4; 5 1 3 2; 1/2 1/3 1 3; 4 1/2 1/3 1];
```

```

[x,f]=eig(c)
A=x(:,1)./sum(x(:,1))
x =
    -0.2557          -0.1967 - 0.3630i    -0.1967 + 0.3630i    0.1034
    -0.7981          -0.3069 + 0.0580i    -0.3069 - 0.0580i    -0.9903
    -0.3859           0.6258              0.6258              0.0464
    -0.3857          -0.2663 + 0.5191i    -0.2663 - 0.5191i    0.0800
f =
    5.0195           0              0              0
         0          -0.5976 + 2.2294i          0              0
         0              0          -0.5976 - 2.2294i          0
         0              0              0          0.1756
A =
    0.1401
    0.4372
    0.2114
    0.2113

```

```

d=[1 1/2 3 1/4 1/4 3; 2 1 1/5 3 1/5 2; 1/3 5 1 3 1/2 2; 4 1/3 1/3 1 5 1/3; 4 5 2 1/5 1 5; 1/3
    1/2 1/2 3 1/5 1];

```

```

[x,f]=eig(d)
A=x(:,1)./sum(x(:,1))
x =
Columns 1 through 4
    -0.2856          0.1080 - 0.2936i    0.1080 + 0.2936i    0.2606 + 0.4351i
    -0.3141          0.0812 + 0.2416i    0.0812 - 0.2416i    0.2038 - 0.3504i
    -0.4491          0.3302 + 0.0981i    0.3302 - 0.0981i    -0.6106
    -0.4938          -0.6382              -0.6382              -0.0229 + 0.0921i
    -0.5635          0.1429 - 0.4457i    0.1429 + 0.4457i    -0.2233 - 0.3709i
    -0.2381          0.1130 + 0.2816i    0.1130 - 0.2816i    0.0917 + 0.0263i
Columns 5 through 6
    0.2606 - 0.4351i    -0.4585
    0.2038 + 0.3504i    -0.1289
    -0.6106             -0.4874
    -0.0229 - 0.0921i    -0.0631
    -0.2233 + 0.3709i    0.3779
    0.0917 - 0.0263i    0.6235
f =
Columns 1 through 4
    9.6956           0              0              0
         0          -1.0702 + 5.0075i          0              0
         0              0          -1.0702 - 5.0075i          0
         0              0              0          -0.8167 + 2.3965i
         0              0              0              0
         0              0              0              0
Columns 5 through 6
         0              0
         0              0
         0              0

```

```

0 0
-0.8167 - 2.3965i 0
0 0.0782
A =
0.1218
0.1340
0.1916
0.2106
0.2404
0.1016

```

问题三程序

sets:

jingdian/1..7/:c,t,l;

links(jingdian,jingdian):r,cc,tt;

endsets

data:

t=5 2 2 2 7 8 8;

c=850 400 425 500 500 375 550;

```

tt=0    0.12    0.48    2.53    0.83    1.73    2.53
    0.12    0    0.37    2.63    0.73    1.85    2.6
    0.48 0.37    0    3.03    0.77    2.23    3
    2.53 2.63    3.03    0    3.17    1.85    0.92
    0.83 0.73    0.77    3.17    0    2.38    3.15
    1.73 1.85    2.23    1.85    2.38    0    1.08
    2.53 2.6    3    0.92    3.15    1.08    0 ;

```

```

cc=0    10.5    43.5    228    75    156    228
    10.5    0    33    237    66    166.5    234
    43.5    33    0    273    69    201    270
    228    237    273    0    285    166.5    82.5
    75    66    69    285    0    214.5    283.5
    156    166.5    201    166.5    214.5    0    162
    228    234    270    82.5    283.5    162    0;

```

n=?;

enddata

min=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)*(cc(i,j)+0.5*(c(i)+c(j)))))+2400;

@for(jingdian(i):r(i,i)=0);

@for(jingdian(i)|i#ge#2:@for(jingdian(j)|j#ge#2:r(i,j)+r(j,i)<1));

a=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)*(tt(i,j)+0.5*(t(i)+t(j)))));

@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)*(tt(i,j)+0.5*(t(i)+t(j))))<40;

@for(jingdian(i):@sum(jingdian(j):r(i,j))=@sum(jingdian(j):r(j,i)));

@for(jingdian(i)|i#eq#1:@sum(jingdian(j):r(i,j))=1);

@for(jingdian(i)|i#ne#1:@sum(jingdian(j):r(i,j))<1);

@for(links:@bin(r));

@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)))=n;

@for(jingdian(i):@for(jingdian(j)|j#gt#1#and#j#ne#i:l(j)>=l(i)+r(i,j)-(n-2)*(1-r(i,j))+(n-3)*r(j,i)));

@for(jingdian(i)|i#gt#1:l(i)<n-1-(n-2)*r(1,i);l(i)>1+(n-2)*r(i,1));

结果：（ $n=6$ 时）

由于数据量庞大，只呈现出重要的运行结果如下：

Global optimal solution found at iteration:

6170.000

Objective value:

6170.000

| Variable | Value | Reduced Cost |
|----------|----------|-------------------|
| N | 6.000000 | 0.000000 R(1, 2) |
| 1.000000 | 635.5000 | |
| R(2, 3) | 1.000000 | 445.5000 |
| R(3, 5) | 1.000000 | 531.5000 |
| R(5, 4) | 1.000000 | 785.0000 |
| R(4, 6) | 1.000000 | 604.0000 |
| R(6, 1) | 1.000000 | 768.5000 |

结果：（ $n=5$ 时）

由于数据量庞大，只呈现出重要的运行结果如下：

Global optimal solution found at iteration:

5433.000

Objective value:

5433.000

| Variable | Value | Reduced Cost |
|----------|----------|-------------------|
| N | 5.000000 | 0.000000 R(1, 2) |
| 1.000000 | 635.5000 | |
| R(2, 3) | 1.000000 | 445.5000 |
| R(3, 5) | 1.000000 | 531.5000 |
| R(5, 6) | 1.000000 | 652.0000 |
| R(6, 1) | 1.000000 | 768.5000 |

结果：（ $n=4$ 时）

由于数据庞大，只剪切出重要的部分如下：

Global optimal solution found at iteration:

4762.500

Objective value:

4762.500

| Variable | Value | Reduced Cost |
|----------|----------|--------------|
| N | 4.000000 | 0.000000 |
| R(1, 5) | 1.000000 | 750.0000 |
| R(5, 3) | 1.000000 | 531.5000 |
| R(3, 2) | 1.000000 | 445.5000 |
| R(2, 1) | 1.000000 | 635.5000 |