

参赛密码 _____
(由组委会填写)

第十二届“中关村青联杯”全国研究生 数学建模竞赛

学 校 西南交通大学

参赛队号 10613002

1.陈航

队员姓名 2.刘晓敏

3.张向旭

参赛密码 _____

(由组委会填写)



第十二届“中关村青联杯”全国研究生 数学建模竞赛

题目 旅游路线规划问题

摘 要:

本文针对旅游路线规划这一系列问题,建立了全局区域嵌套优化模型对遍历 5A 景区行程安排进行了规划,采用了 0-1 整数规划法对旅行体验及费用进行优化,并基于全国路网参数对前述模型进行了推广,同时运用了秩和比综合评价法对全国所有 5A、4A 景区进行评价筛选,在此基础上可以得到更合理的十年旅游计划。

问题一,要求我们规划设计旅游线路,确定游遍 201 个 5A 级景区至少需要几年,并给出每一次旅游的具体行程安排。首先,运用聚类分析法将所有景区划分成 60 个区域,再建立绑定区域内优化模型,并采用模拟退火法求解得到每个区域内的最优路线。然后建立全局区域嵌套优化模型,并采用基于分区搜索的模拟退火算法求解。将所得的结果与绑定区域优化结果嵌套,得到耗时最短的旅游行程安排,遍历景区最优时间为 10 年。

问题二,要求我们建立数学模型为该旅游爱好者一家三口设计一个十年游遍所有 201 个 5A 景区、费用最优、旅游体验最好的旅游线路,给出每一次旅游的具体线路。首先通过对数据进行基于旅游体验量化指标的预处理,使得多目标优化问题简化为单目标优化问题,在将所得结果进行费用矩阵化和行程时间矩阵化处理。然后对景区进行分区处理,在此基础上建立基于 0-1 规划法的最优模型,运用 LINGO 编程计算,即可求得所要求的十年遍历所有 5A 景区的具体旅游线路。按照此种旅游线路,最优费用为 28.40 万元。

问题三,要求我们对第二问所建立的模型加以推广,为全国的自驾游爱好者

规划设计类似的旅游线路,进而给出常住地在北京市的自驾游爱好者的十年旅游计划,并且根据上述三问的结果给旅游爱好者和旅游有关部门提出建议。由于自驾游爱好者根据自己的偏好会优先选择自驾出行,所以为第二问模型增加单次出行时间尽可能最大化的限制,即可满足自驾时间在所有旅行时间中所占比例最大化。由于第二问中获得的费用矩阵和行程时间矩阵适用于全国的自驾游爱好者,所以该模型同样适用于全国的自驾游爱好者。通过上述推广模型的计算,可得到北京市自驾游爱好者用9年即可遍历所有景区,最优费用为15.32万元。

在问题四中,基于时间久远等因素导致景区等级评价景区实际优劣失效的考虑,我们用秩和比综合评价法重新建立了一个评价模型,对所有4A级和5A级景区进行评价排序,并重新筛选出前201的景区作为新的旅游目的地,然后再根据第二问中基于0-1规划的费用最优模型求解出更加合理的十年旅游计划。

本文最大的特色在于在第一问中使用了绑定区域内优化模型和全局区域嵌套优化模型相结合的方式建模,并且采用了基于分区搜索的模拟退火算法求解,对模型进行了合理的简化,大大降低了建模求解的时间。

关键词: 全局区域嵌套优化模型 0-1 整数规划法 模拟退火算法 聚类分析 秩和比综合评价法 信息量权重法

目 录

一、问题提出	5
1.1 问题背景	5
1.2 问题要求	5
二、基本假设	6
三、符号说明	6
四、问题分析	7
4.1 问题一的分析	7
4.2 问题二的分析	8
4.3 问题三的分析	8
4.4 问题四的分析	8
五、问题一的模型建立与求解	10
5.1 问题分析	10
5.2 问题一数据的搜集和处理	10
5.2.1 相关数据的优化处理说明	10
5.2.2 5A 景区及省会城市经纬度统计	11
5.2.3 5A 景区及省会城市相应距离计算以及路网修正	11
5.2.4 5A 景区区域划分	12
5.3 模型建立与求解	13
5.3.1 模型 I: 绑定区域内优化模型	14
5.3.2 模型 II: 全局区域嵌套优化模型	16
5.4 结论与分析	20
5.4.1 求解结果	20
5.4.2 结果分析	24
六、问题二模型的建立与求解	25
6.1 问题分析	25
6.2 问题二基于旅游体验最好的数据预处理	26
6.2.1 旅游体验最好的量化分析	26
6.2.2 行程涉及数据费用矩阵化	28
6.2.2 行程涉及数据的时间矩阵化	29
6.3 问题二模型建立	29
6.3.1 将所有 5A 景点按省份划分	29
6.3.2 基于 0-1 规划的费用最优模型	30
6.4 问题二模型的求解和结果分析	31
七、问题三模型的建立与求解	37
7.1 问题三的分析	37
7.2 问题三模型的推广	37
7.2.1 西安(常住地)推广到全国自驾的适应条件	37
7.2.2 推广模型的建立	38
7.3 北京市自驾游爱好者十年旅游计划的制定	38

7.4 基于结果对比分析的旅游建议	43
7.4.1 结果对比分析	43
7.4.2 对旅游爱好者提出的建议	43
7.4.3 对旅游有关部分提出的建议	44
八、问题四的模型建立与求解	46
8.1 问题四的分析	46
8.2 问题四数据的预处理	47
8.2.1 数据剔除	47
8.2.2 评价指标的建立	47
8.2.3 评价指标的归一化处理	48
8.3 问题四模型建立（秩和比综合评价法）	49
8.3.1 原理	49
8.3.2 样本秩	49
8.3.3 步骤	49
8.3.4 信息量权数法	49
8.4 基于景区评价模型的十年旅游规划	50
九、模型的评价与推广	51
9.1 模型的评价	51
9.2 模型的推广	51
十、参考文献	52
十一、附录	53

一、问题提出

1.1 问题背景

旅游活动正在成为全球经济发展的重要动力之一，它加速国际资金流转和信息、技术管理的传播，创造高效率消费行为模式、需求和价值等。随着我国国民经济的快速发展，人们生活水平得到很大提升，越来越多的人积极参与有益于身心健康的旅游活动。

附件 1 提供了国家旅游局公布的 201 个 5A 级景区名单，一位自驾游爱好者拟按此景区名单制定旅游计划。该旅游爱好者每年有不超过 30 天的外出旅游时间，每年外出旅游的次数不超过 4 次，每次旅游的时间不超过 15 天；基于个人旅游偏好确定了在每个 5A 级景区最少的游览时间（见附件 1）。基于安全考虑，行车时间限定于每天 7:00 至 19:00 之间，每天开车时间不超过 8 小时；在每天的行程安排上，若安排全天游览则开车时间控制在 3 小时内，安排半天景点游览，开车时间控制在 5 小时内；在高速公路上的行车平均速度为 90 公里/小时，在普通公路上的行车平均速度为 40 公里/小时。该旅游爱好者计划在每一个省会城市至少停留 24 小时，以安排专门时间去游览城市特色建筑和体验当地风土人情（不安排景区浏览）。景区开放时间统一为 8:00 至 18:00。

1.2 问题要求

（一）在行车线路的设计上采用高速优先的策略，即先通过高速公路到达与景区邻近的城市，再自驾到景区。附件 1 给出了各景区到相邻城市的道路和行车时间参考信息，附件 2 给出了国家高速公路相关信息，附件 3 给出了若干省会城市之间高速公路路网相关信息。请设计合适的方法，建立数学模型，以该旅游爱好者的常住地在西安市为例，规划设计旅游线路，试确定游遍 201 个 5A 级景区至少需要几年？给出每一次旅游的具体行程（每一天的出发地、行车时间、行车里程、游览景区；若有必要，其他更详细表达请另列附件）。

（二）随着各种旅游服务业的发展，出行方式还可以考虑乘坐高铁或飞机到达与景区相邻的省会城市，而后采用租车的方式自驾到景区游览（租车费用 300 元/天，油费和高速过路费另计，租车和还车需在同一城市）。此种出行方式可以节省一些路途时间用于景区游览或休闲娱乐，但这种出行方式也会给旅游者带来一些不便，有时费用也会增加。该旅游爱好者根据个人旅游偏好确定在每一个景区最长逗留时间不超过附件 1 给出的最少时间的 2 倍。附件 4 给出了若干城市之间的高铁票价和相关信息（约定：选择高铁出行要求当天乘坐高铁的时间不超过 6 个小时，乘坐高铁或飞机的当天至多安排半天的景区游览）；附件 5 给出了若干省会城市之间的机票全价价格信息（含机场建设费）。该旅游爱好者一家 3 人同行，综合考虑前述全程自驾、先乘坐高铁或飞机到达省会城市后再租车自驾到景区等出行方式（住宿费简化为省会城市和旅游景区 200 元/人·天，地级市 150 元/人·天，县城 100 元/人·天；高速公路的油耗加过路费平均为 1.00 元/公里，普通公路上油耗平均为 0.60 元/公里；附件 1 中给出了各景区所在地的信息，若景区位于某城市市区或近郊，则这类景区的市内交通费用已计入住宿费中，不再另

计), 建立数学模型设计一个十年游遍所有 201 个 5A 景区、费用最优、旅游体验最好的旅游线路, 给出每一次旅游的具体线路(含每次具体出行方式; 每一天的出发地、费用、路途时间、游览景区、每个景区的游览时间)。

(三) 能否在第二问所建立的模型基础上加以推广, 可以为全国的自驾游爱好者规划设计类似的旅游线路, 进而给出常住地在北京市的自驾游爱好者的十年旅游计划; 根据上述三问的结果给旅游爱好者和旅游有关部门提出建议。

(四) 自 2007 年 3 月 7 日至 2015 年 7 月 13 日, 全国旅游景区质量等级评定委员会分 29 批共批准了 201 家景区为国家 5A 级旅游景区。附件 6 是从国家旅游局官网上收集的国家 5A 级旅游景区评定的相关信息, 附件 7 给出了国家旅游局官网上收集的国家 4A 级景区名单, 请更为合理地规划该旅游爱好者的十年旅游计划。

二、基本假设

- 1、题目中所给定的线路数据以及本文附录中所收集到的数据真实可靠, 对附件中缺失的部分数据的补充与原始数据之间不存在偶然误差, 不影响模型计算结果;
- 2、自驾游所有涉及车辆车况良好、油量充足, 不会发生抛锚等意外情况, 所有模型涉及航班以及高铁准时准点, 不会发生延误情况;
- 3、忽略在规划的旅游年份内全国交通线路网络的变化, 不考虑新增的高速公路、高速铁路以及直达航班等;
- 4、不考虑未来可能发生的诸如自然灾害等不可抗力的因素导致的所涉及景区不能正常开放或者线路不能通行;
- 5、在高速公路上设有服务区, 以供长途旅行时可以进行临时停车休息、餐饮住宿和加油等。

三、符号说明

符号	意义	备注
d_{ij}	景点间距离	
X_{lnj}	0-1 型决策变量	
T_j	区域 j 的旅游时间	
H_l	第 l 次的行驶总时间	
C_{ij}	遍历所有点的最短行程时间	
n_i	第 i 区域的城市数	
h	每年旅游的总天数	
n	每年旅游的总次数	

S_l	第 l 次旅游花费的时间总和
x_{ij}	选取的评价指标
x_{ij}^*	评价指标的归一化值
K_i	服务质量与环境质量、景观质量和游客意见指标的合理性打分值 数值越大旅游景区越好，反之数值越小则旅游景区越差

四、问题分析

4.1 问题一的分析

问题一要求在自驾游的前提下，对游遍给定 201 个 5A 景点进行线路优化。由于题目中限定了年出游最大天数、次数以及日出游最大行车时间等诸多因素，因此该遍历问题是一个有约束条件的旅行商 (TSP) 问题。考虑到遍历点数量多，模型复杂度高，所建立的整体优化模型在有限时间内不可解。因此本文采用了两步解决的办法，首先采用聚类分析的方法，将景点按照城市进行分类，由此将遍历点数量大大降低。对于每一类景点，建立绑定区域内优化模型，并采用模拟退火算法求解，可得到每类的局部最优路线。在此基础上，建立整全局区域嵌套优化模型，并采用基于分区搜索的模拟退火算法求解模型，将所得到的结果同景区区域内优化相结合嵌套，即可到遍历景区的自驾游路线最优化结果。

思路流程图如下：

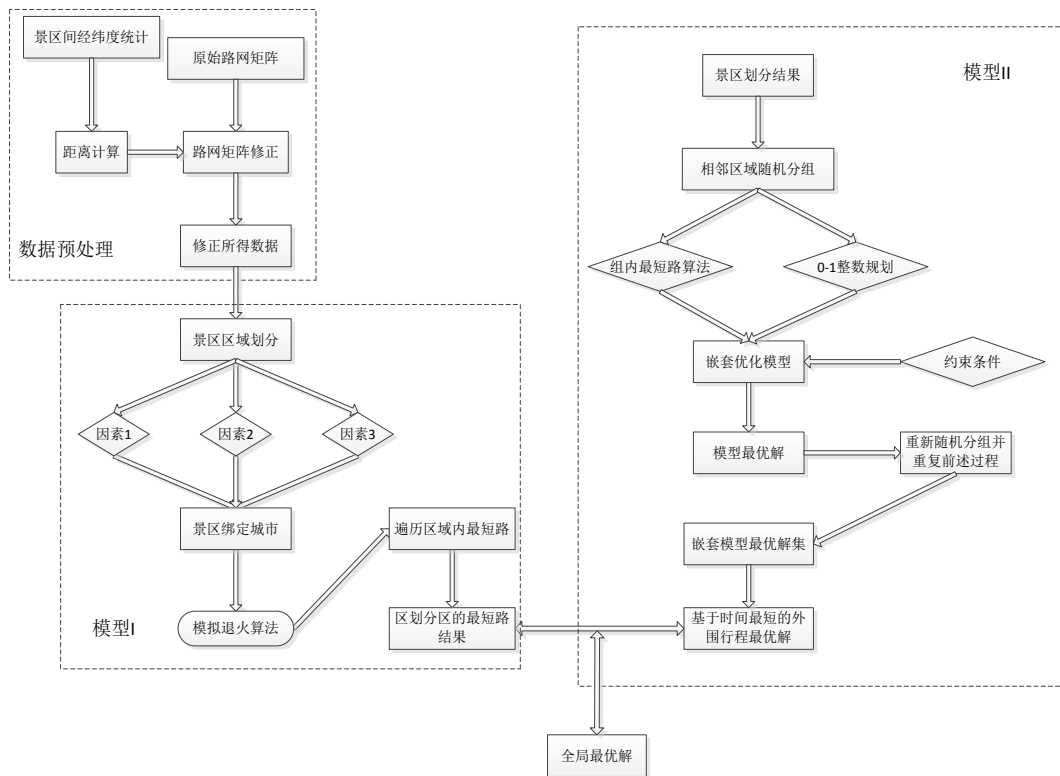


图 4.1 问题 1 分析流程图

4.2 问题二的分析

在考虑行程花费以及不同交通工具组合的基础上，问题二要求对费用最优、旅游体验最好进行多目标优化，多目标优化的求解难度将远大于单目标优化，导致可能无法得到合理的最优解。因此，本文对多目标进行简化，先对旅游体验最好进行定性分析和定量转化，并用量化之后的旅游体验指标对原始数据进行预处理。在此基础上，建立行程原始数据的费用矩阵和行程时间矩阵，作为优化模型的原始数据。

由于全国 5A 景点有 201 个，数量较多。如果整体考虑，建立的规划模型计算量较大，在有限的时间内无法迅速的获取到理想的结果。为了减小计算量，必须对模型进行合理的简化。由于随着各种旅游服务业的发展，出行方式还可以考虑乘坐高铁或飞机到达与景区相邻的省会城市，而后采用租车的方式自驾到景区游览。因此，该题可将 201 个 5A 景区按 31 个省份划分后建立模型求解。

本题在考虑十年游遍所有 201 个 5A 景区、费用最优、旅游体验最好的旅游线路的前提下，采用基于 0-1 规划的费用最优模型。该模型的思想是首先将 31 个省景点区域其划分成 P 组，找出 P 条旅游费用最短的路线，每条路线都从陕西省西安市出发，到组内每个景点均游玩一次，最后回到出发地。由于处理数据时已经考虑到“旅游体验最好”这个关键性问题，所以在规划时只需在此基础上满足旅游爱好者的旅游时间约束即可。该模型把 P 条出游路线的总花费最小作为优化的目标，即可求得十年内的旅游路线。

4.3 问题三的分析

本文第二问中的单目标优化模型是在对多目标优化模型简化的基础上得到的，简化的方法是将原始数据进行预处理，预处理的方法采用了基于量化以后的旅游体验指标的交通工具筛选模型，同时进行了景区逗留时间修正。该模型不仅适合于为西安的旅游爱好者规划旅游路线，而且适用于为全国的旅游爱好者提供一套完整的十年旅游计划。但是，第二问中的旅游爱好者并非特指的自驾旅游爱好者，对于自驾旅游爱好者来说，在外出旅游时应该更多的考虑其自驾旅游的时间，更少的使用高铁或者飞机出行。

因此，在将问题二模型推广到可以为全国的自驾游爱好者规划设计类似的旅游线路时，应该更多的考虑使用自驾方式出游，在满足旅游费用最优和旅游体验最好的前提下，尽可能的增加自驾时间在整个十年计划时间中所占的比重。在得到推广的模型之后，就可以解出常驻地在北京市的自驾游爱好者的十年旅游规划。

对旅游爱好者和旅游有关部门的建议，是根据问题一到问题三得出的结果进行对比分析的基础上得到的，主要的分析角度有交通方式的选择、住宿地点的选择、线路的选择三个方面，从这些分析角度进行多层次的深入分析，提出一些对于旅游爱好者和旅游有关部门最有价值的意见。

4.4 问题四的分析

问题四给出了国家 5A 级旅游景区评定的相关信息和 4A 级景区的名单，要求在此基础上更合理的对西安的旅游爱好者制定十年旅游计划。附件 6 提到了

5A 级旅游景区评定获批历程，5A 级景区的评定是从 2007 年开始，有相当数量的景区的等级评定以及过去了相当长的时间，评定等级的有效性难以确定。而且随着时间的推移和 5A 级景区数量的增多，5A 级景区评定的标准会变得越来越严格，4A 级景区通过等级评定升格的难度越来越大，这就导致了评为 5A 时间较长的旅游景区同 4A 旅游景区难以加以比较，不能确定孰优孰劣。又加上部分 5A 景区今年已经被警告整改，说明完全用等级来评定一个旅游景区的好坏已经不科学。

这就要求必须建立一个评价模型，重新对所有的 5A 和 4A 级景区的优劣进行评定，评价指标从附件 6 中从评定的结果中筛选出排在前列的旅游景区作为十年旅游计划的目标城市，然后再根据问题 2 中建立的模型进行求解，才能解除更为合理的十年旅游计划。

五、问题一的模型建立与求解

5.1 问题分析

问题一要求在自驾游的前提下，对游遍给定 201 个 5A 景点进行线路优化。由于题目中限制了年出游最大天数、次数以及日出游最大行车时间等诸多因素，因此该遍历问题是一个有约束条件的旅行商 (TSP) 问题。考虑到遍历点数量多，模型复杂度高，所建立的整体优化模型在有限时间内不可解。因此本文采用了两步解决的办法，首先采用聚类分析的方法，将景点按照城市进行分类，由此将遍历点数量大大降低。对于每一类景点，建立绑定区域内优化模型，并采用模拟退火算法求解，可得到每类的局部最优路线。在此基础上，建立整全局区域嵌套优化模型，并采用基于分区搜索的模拟退火算法求解模型，将所得到的结果同景区区域优化内相结合嵌套，即可到遍历景区的自驾游路线最优化结果。

思路流程图如下：

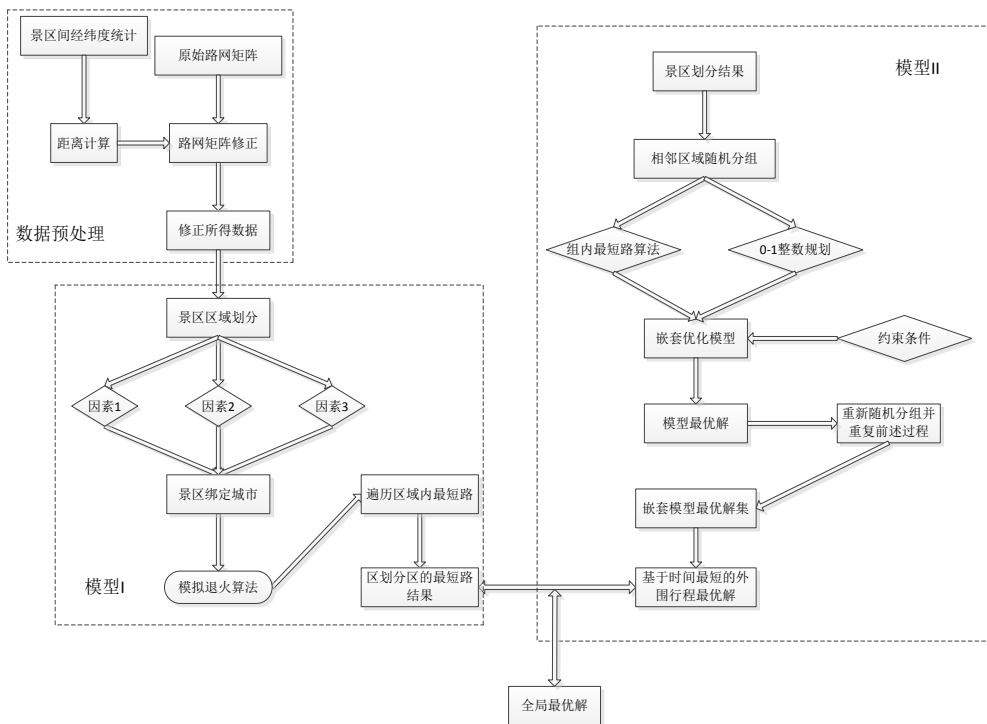


图 5.1 问题 1 分析流程图

5.2 问题一数据的搜集和处理

5.2.1 相关数据的优化处理说明

数据说明 1：该旅游爱好者每年外出旅行时间不超过 30 天，次数不能超过 4 次，每次单次出去时间不超过 15 天，考虑到每次出去路途中需要花费大量时间，所以每次旅行外出时间尽量接近为 15 天。

数据说明 2：行车时间定于 7:00~19:00；开车 3 小时内，可以安排全天游览；开车 5 小时内，可以安排半天游览；在 8:00~18:00，半天为 4 个小时，全天 8 个

小时。综合该描述，可以得到：

①在游览两个半天景点时，始发有 1 小时行程，游览完 1 个半天景点后，有 2 个小时机动时间为行程时间，游览完两个半天景点时，有 1 小时返回时间；

②游览全天景点时，始发和返回共有 4 个小时。

5.2.2 5A 景区及省会城市经纬度统计

本题附件 1 所给数据为各景区到相邻城市的道路和行车时间参考信息，附件 3 所给数据为省会城市之间高速公路网相关信息，而对于相应景区的方位并没有具体给出，故存在景区之间公路路网（景区之间的距离）数据量缺失的问题。在此，我们以 Google 谷歌地图、百度地图为数据的主要来源，其他数据作辅助参考进行数据搜集。通过确定景区经纬度数据进而换算得到景区之间的距离，这些数据作为后面景区公路路网的辅助资料。以上海相关景区为例见表 5.1。

表 5.1 上海相关景区经纬度

地点	经度	纬度
上海	121.47276	31.24693
东方明珠广播电视塔	121.54785	31.22422
上海野生动物园	121.54785	31.22422
上海科技馆	121.54785	31.22422

5.2.3 5A 景区及省会城市相应距离计算以及路网修正

用经纬度计算两景区间的距离时，主要采用的是经、纬度平均每一度的距离（弧长），纬度平均每一度的距离大概是相等的，约为 111 000m。而平均每一经度的弧长是随着纬度变化而变化的，纬度越小经向的弧长越大，反之，纬度越大经向的弧长则越短。以上海相关景区为例见图 5.1。

1、计算每一纬度所在经向一度的弧长，如下：

$$S = \frac{\cos B \times (R - B \times (R - r) / 90) \times 2\pi}{360} \quad (5-1)$$

其中， B 为计算点所在的纬度， R 为赤道半径， r 为极轴半径，取 $R = 6378137m$ ， $r = 635752m$ 。

2、若两计算点不在同一纬度，可取这两点所在纬度的每一度经向平均弧长的均值作为计算弧长的参数，如下

$$S = [\cos B1 \times (R - B1 \times (R - r) / 90)] \times 2\pi / 360 + \cos B2 \times (R - B2 \times (R - r) / 90) \times 2\pi / 360 / 2 \quad (5-2)$$

由上式可得每度经向的平均弧长均值 S_1 ，为：

$$S_1 = [\cos B1 \times (6378137 - 237.611 \times B1) + \cos B2 \times (6378137 - 237.611 \times B2)] \times \pi / 360 \quad (5-3)$$

3、计算距离根据公路路网相互修正。考虑到高速公路一般以直线或近似直线为主，进而计算距离参考高速公路路网进行加权（多数地方乘 1.2 系数）修正，结果见表 5.2。

表 5.2 代表地区修正距离与公路路网对比

省会城市	北京	上海	武汉	广州	成都	昆明	拉萨	乌鲁木齐
公路路网	北京							
	上海	1210						
	武汉	1200	840					
	广州	2120	1450	995				
	成都	1800	1980	1190	1660			
	昆明	2670	2380	1640	1370	920		
	拉萨	3650	4230	3580	3600	2090	2230	
	乌鲁木齐	3170	3920	3270	4170	2890	3810	2750
	数据对比							
省会城市	北京	上海	武汉	广州	成都	昆明	拉萨	乌鲁木齐
修正距离	北京							
	上海	1284.36						
	武汉	1299.51	823.02					
	广州	2276.47	1445.66	977.63				
	成都	1849.76	1977.87	1165.59	1458.06			
	昆明	2527.07	2361.43	1557.06	1331.44	740.21		
	拉萨	3719.96	4173.83	3203.71	3318.74	1805.02	2108.58	
	乌鲁木齐	2917.99	3922.52	3329.43	3925.79	2480.10	3545.38	2500.73

5.2.4 5A 景区区域划分

附件 1 给出了 201 个国家旅游局公布的 5A 级景区，考虑到①景区点浏览最少时间多数分布在半天~一天；②景区点有集中分布情况；③该旅游爱好者会在省会城市停留 24 小时（不安排景区浏览），而附件有相关景区可以集中安排。综合考虑各种因素，需要对 201 个 5A 级景区进行集中绑定，形成相应的区域，即对景区进行降维处理。

因素 1：尽量以省会城市为绑定主体；

因素 2：考虑省会城市方圆内相关景区点；

因素 3：对于离西安距离较远的景区绑定个数尽量少，对于离西安较近的景区绑定个数可以适当增多；

可以参考聚类方法进行分类绑定，通过以上因素进行相关优化分类绑定，见 201 个 5A 级景区绑定成 60 个区域。分类详细结果见表 5.3。

表 5.3 景区区域划分代表地区

标号	绑定地区	标号	绑定地区	标号	绑定地区	标号	绑定地区
1	北京	16	扬州	31	济南	46	成都
2	天津	17	杭州	32	郑州	47	乐山
3	石家庄	18	宁波	33	洛阳	48	阿坝
4	秦皇岛	19	绍兴	34	平顶山	49	贵阳
5	太原	20	合肥	35	武汉	50	昆明
6	五台	21	黄山	36	宜昌	51	丽江
7	呼和浩特	22	安庆	37	张家界	52	拉萨
8	沈阳	23	厦门	38	长沙	53	西安
9	长春	24	宁德	39	广州	54	嘉峪关
10	哈尔滨	25	泉州	40	佛山	55	兰州
11	五大连池	26	福州	41	桂林	56	银川
12	上海	27	南昌	42	南宁	57	西宁
13	苏州	28	上饶	43	海口	58	乌鲁木齐
14	南京	29	景德镇	44	三亚	59	石河子
15	无锡	30	烟台	45	重庆	60	喀什

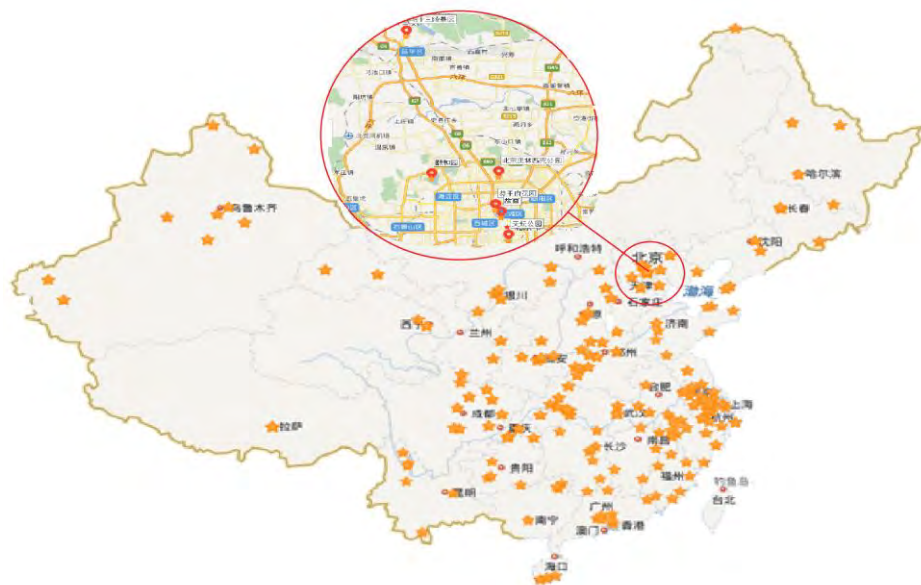


图 5.2 全国 5A 景区分布及北京区域景区点图

5.3 模型建立与求解

为达到问题一中总旅行时间最短的目的，每次到达某一城市，必定会游玩城市周边尽可能多的景点；且附件 1 中给定的 5A 级景区的数据显示，每一个省会城市市内或者市郊都有一定数量的景点；问题一中要求每次出游，先到达据景点

最近的城市，在自驾到景区，基于以上考虑可以将每个城市内以及城市周边的景区通过数据预处理模型进行优化组合，再将优化组合后的结果作为一个整体再应用于旅游行程优化模型当中。这样处理很大程度上降低了旅游行程优化模型的复杂度，在不影响模型整体精度的前提下，大大降低模型解算时间。

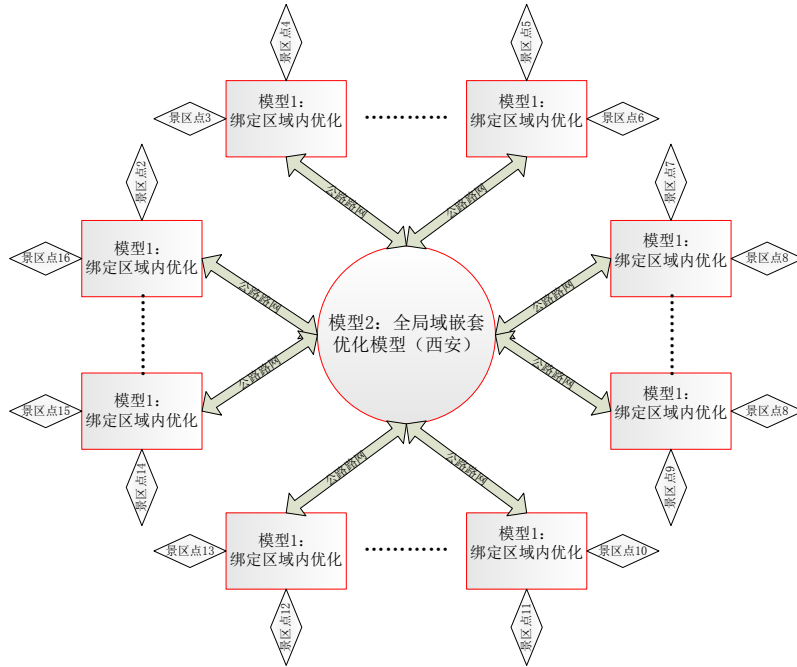


图 5.3 模型 1 与模型 2 相互关系图

5.3.1 模型 1: 绑定区域内优化模型

对于每一个城市内部或者周边景点的优化，实质上是一个旅行商（TSP）问题，由于题目中给定了许多限制条件，因此是一个有约束的旅行商问题。对于这一问题，本文采用两步解决的办法，首先采用优化模型，将所有景点遍历的最短路径；然后再考虑题目限定的约束条件对最短路径进行修正，最终得到优化组合的结果。

将城市以及景点编号，城市景点为 1，景点依次编号为 2, 3……n，然后依次求出各景点间距离 d_{ij} ，建立距离矩阵为 $D = (d_{ij})_{n \times n}$ ；根据所建立的距离矩阵运用模拟退火的算法，解算出最短路的结果。

最短路的目标函数为：

$$\min \sum d_{ij} \quad (5-4)$$

在得到最短路径的基础上，要考虑题目中给定的约束条件，对得出的结论进行优化处理，约束条件有：

- 1、行车时间限定于每天 7:00-19:00 之间，每天开车时间不超过 8 小时；
- 2、若安排全天浏览，开车时间控制在 3 小时，若安排半天浏览，开车时间控制在 5 小时；
- 3、景区开方的统一时间为 8:00-18:00。

算法：求解目标函数的模拟采用退火算法^[1]如下。

(1) 解空间

解空间 S 可表示为 $\{1, 2, \dots, n\}$ 的所有固定起点和终点的循环排列集合，即

$S = \{(\pi_1, \dots, n) | \pi_1 = 1, (\pi_2, \dots, \pi_{n-1})\}$ 为 $\{2, 3, \dots, n-1\}$ 的循环排列, $\pi_n = n$ 其中每一个循环排列表示遍历 n 个目标的一个回路, $\pi_i = j$ 表示在第 i 次经过 j 点, 初始解可选为 $\{1, 2, \dots, n\}$, 本文中使用 Monte Carlo 方法求得一个较好的初始解。

(2) 目标函数

此时的目标函数为遍历所有目标的路径长度或称代价函数, 即

$$\min f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n) = \sum_{i=1}^{n-1} d_{\pi_i \pi_{i+1}} \quad (5-5)$$

一次迭代由下列三步构成:

(3) 新解的产生

2 变换法

任选序号 $u, v (u < v)$ 交换 u 与 v 之间的顺序, 此时的新路径为:

$$\pi_1 \cdots \pi_{u-1} \pi_v \pi_{u+1} \cdots \pi_n \quad (5-6)$$

根据所建立的模型, 最终得到优化组合的结果如下表:

3 变换法

任选序号 u, v 和 w , 将 u, v 之间的路径插到 w 之后, 对应的新路径为 (设 $u < v < w$)

$$\pi_1 \cdots \pi_{u-1} \pi_{v+1} \cdots \pi_w \pi_u \cdots \pi_v \pi_{w+1} \cdots \pi_n \quad (5-7)$$

(4) 代价函数差

对于 2 变换法, 路径差可表示为:

$$\Delta f = (d_{\pi_{u-1} \pi_v} + d_{\pi_u \pi_{v+1}}) - (d_{\pi_{u-1} \pi_u} + d_{\pi_v \pi_{v+1}}) \quad (5-8)$$

(5) 接受准则

$$P = \begin{cases} 1 & \Delta f < 0 \\ \exp(-\Delta f / T) & \Delta f \geq 0 \end{cases} \quad (5-9)$$

如果 $\Delta f < 0$, 则接受新的路径。否则, 以概率 $\exp(-\Delta f / T)$ 接受新的路径, 即若 $\exp(-\Delta f / T)$ 大于 0 到 1 的随机数则接受。

(6) 降温

利用选定的降温系数 α 进行降温即: $T \leftarrow \alpha T$, 得到新的温度, 这里我们取 $\alpha = 0.999$ 。

(7) 结束条件

用选定的终止温度 $e = 10^{-30}$, 判断退火过程是否结束。若 $T < e$, 算法结束, 输出当前状态。

根据以上算法在 MATLAB 中编程计算可得, 所选取的任意城市周边的景点必有一条最短遍历路径。

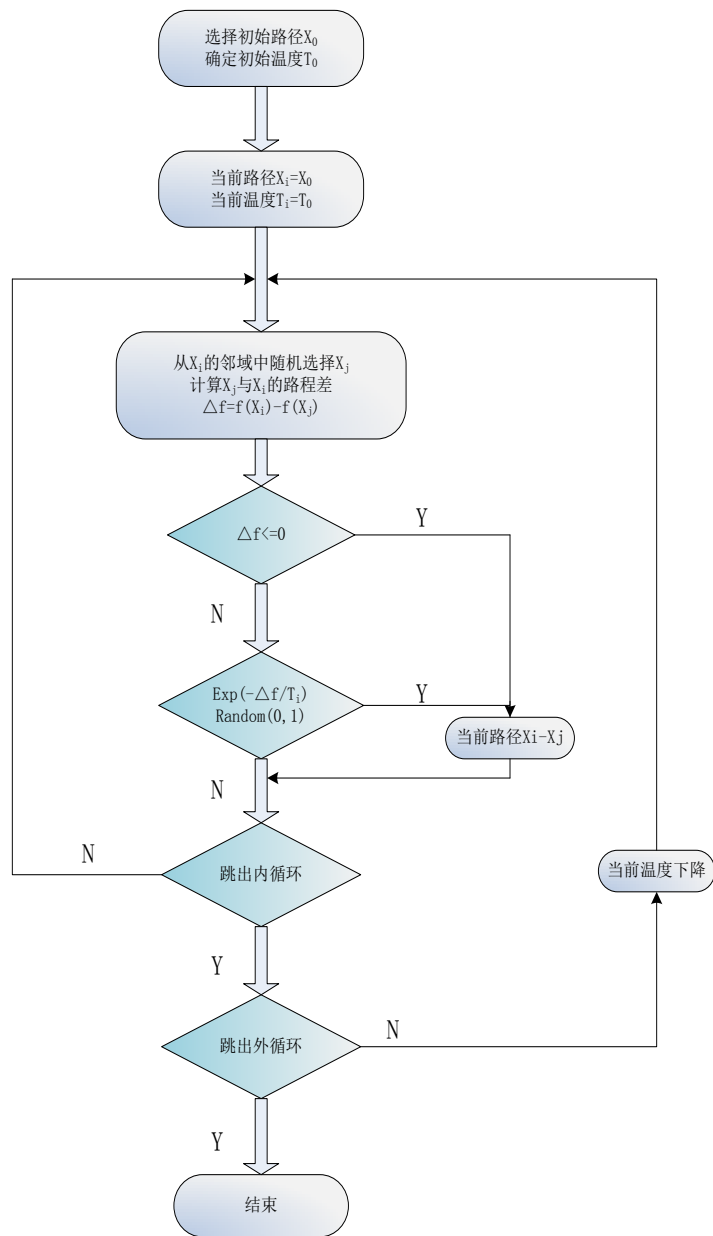


图 5.4 模拟退火算法流程图

5.3.2 模型 II：全局区域嵌套优化模型

1、模型 I 数据的运用

在得到了景区区域优化模型的结果后，就可以建立全局区域嵌套优化模型。图 5.4 是通过 MATLAB 软件计算景区区域优化模型（模型 1）北京区域景点线路规划详细结果，其他结果见附件的附图和附表。

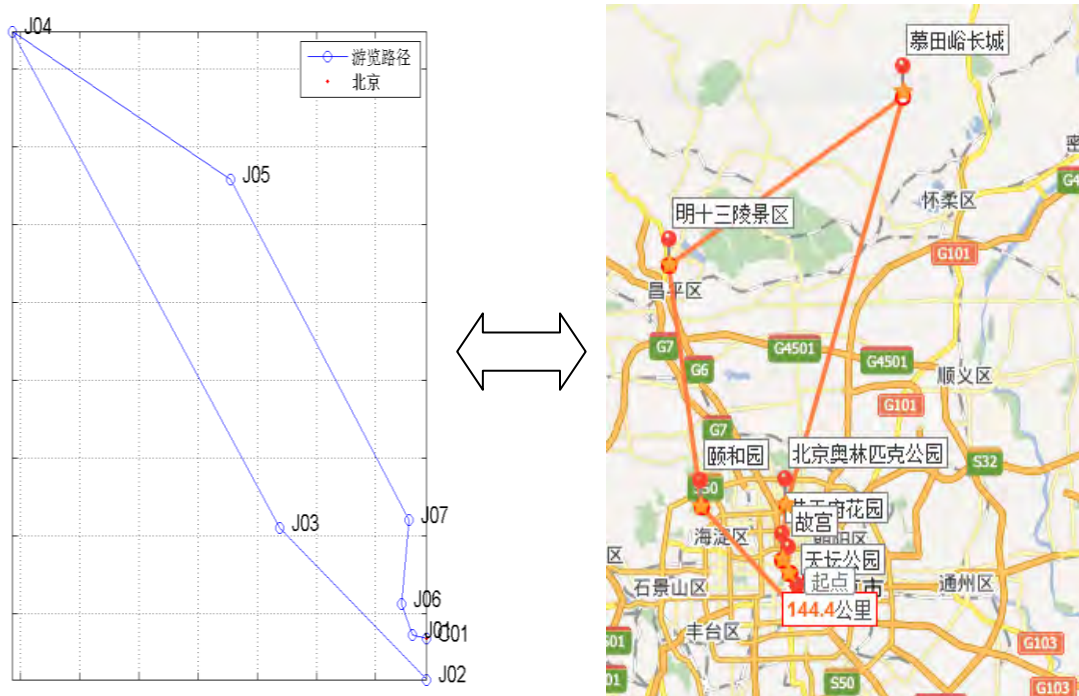


图 5.5 北京区域景点线路规划示意图

表 5.4 北京区域景点规划线路

编号	地区	花费时间
C01	北京	
J01	故宫博物院	半天（4 个小时）
	↓	2: 00 内
J02	天坛公园	半天（4 个小时）
	↓	2: 00 内
J03	颐和园	半天（4 个小时）
	↓	2: 00 内
J04	八达岭-慕田峪长城旅游区	半天（4 个小时）
	↓	2: 00 内
J05	明十三陵景区	半天（4 个小时）
	↓	2: 00 内
J07	北京奥林匹克公园	半天（4 个小时）
	↓	2: 00 内
J06	恭王府景区	半天（4 个小时）
		1~2 天
	至少停留 24 小时	
	总共停留时间	5.5 天~6.5 天

上述表格，给出北京区域内 5A 景点的旅游具体线路（含每次具体出行方式；每一天的出发地、费用、路途时间、游览景区、每个景区的游览时间）。通过 60 个划分区域的旅游具体线路结果带入全局区域嵌套优化模型进行全局求解规划整体的旅游路线。

2、模型的建立

本题建模的思想是把 60 个旅游区域放在一起作为一个整体考虑，首先将其

划分成 P 组，找出 P 条最短时间的路线，每条路线都从西安出发，到组内每个区域遍历一次，最后回到西安。分组数量未知，各组包含的旅游区域数量也未知，旅游者在满足时间约束的前提下分 P 次游完所有景区，该模型把 P 条出游路线的总时间最小作为优化的目标。

引入 0-1 型决策变量 X_{lnj} 表示旅游爱好者第 l 次出行时第 n 步到达区域 j ，下标 l 表示当前旅游爱好者旅游的次数，下标 n 表示旅游爱好者行走的步数，下标 j 表示到达的区域， $X_{lnj} = 1$ 表示第 l 次出行时第 n 个目标是区域 j ， $X_{lnj} = 0$ 表示否^[2]。约束条件有以下 4 条：

(1) 任何一次出行时在任何一步到达一个区域，即 $\sum_{j=1}^{60} X_{lnj} = 1, n = m_l, l = 1, 2, \dots, P$ ， m_p 表示旅游爱好者第 P 次旅游遍历的区域个数。

(2) 任何一个区域有且只在旅游爱好者某一次出行时到达一次，即 $\sum_{l=1}^P \sum_{n=1}^{m_l} X_{lnj} = 1, j = 1, 2, \dots, 60$ 。

(3) 每次旅游的时间不超过 15 天。

(4) 旅游爱好者在 P 次旅游时间内恰好游遍 60 个区域(即全国 201 个 5A 景点)，即 $m_1 + m_2 + \dots + m_p = 60$ 。

其中，区域 j 的旅游时间为 T_j ， H_l 为第 l 次的行驶总时间， L_l 表示第 l 次旅游时从最后一个旅游区域返回西安的行驶时间。 $\sum X_{lj} \cdot T_j$ 表示第 l 次旅游在各个区域内游玩的时间总和， C_{ij} 表示已知的 60 个区域之间行程的最短时间。

建立如下数学模型^[3]：

$$\begin{aligned} \min \quad & S = \sum_{l=1}^P (L_l + H_l + \sum_{j=1}^{60} X_{lj} \cdot T_j) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^{60} X_{lnj} = 1, n = m_l, l = 1, 2, \dots, P \\ \sum_{l=1}^P \sum_{n=1}^{m_l} X_{lnj} = 1, j = 1, 2, \dots, 60 \\ L_l = \sum_{j=1}^{60} l_j \cdot (X_{lj} + X_{m_l j}), l = 1, 2, \dots, P \\ H_l = \sum_{n=1}^{m_l-1} \sum_{i=1}^{60} \sum_{j=1}^{60} C_{ij} \cdot X_{lni} \cdot X_{l,n+1,j}, l = 1, 2, \dots, P \\ L_l + H_l + \sum_{j=1}^{60} X_{lj} \cdot T_j \leq 15, l = 1, 2, \dots, P \\ X_{lnj} = 0 \text{ 或 } 1, l = 1, 2, \dots, P \\ X_{lj} = \sum_{n=1}^{m_l} X_{lnj}, l = 1, 2, \dots, P \\ m_1 + m_2 + \dots + m_p = 60 \end{cases} \end{aligned} \quad (5-10)$$

问题一要求确定游遍 201 个 5A 级景区至少需要几年，所以还需要对模型(1)的结果进行处理，才能得到最终结果。根据模型(1)可得 P 次中每一次旅游花费的总时间 $(L_l + H_l + \sum_{j=1}^{60} X_{lj} \cdot T_j)$ 天及行程安排。按照“每年外出旅游时间不超

过 30 天，且每年外出旅游的次数不超过 4 次”的原则，优先选出次数最多但总时间不超过 30 天的一年旅游计划。然后在去除已选项之后，继续以这种原则选取下一个一年的旅游计划。以此类推，最终得到游遍 201 个 5A 级景区至少需要的年数，以及行程安排。

3、城市分区的建立

根据对题目的分析，为解算全局区域嵌套优化模型，考虑到全局搜索的复杂度，将全国的所有城市按照以西安为中心的射线，分成若干份，分区之后每个区域内的城市数量将能够大大降低，这样就能够使全局搜索变成局部搜索。在优化模型中，可认为沿着所划分的一个扇形区域内进行的旅游路线才是最节省时间的，因为这样可以避免重复走某些路线的问题，可见这样分区是比较合理的。

分区的中心点是西安，区域界线是以西安的射线，射线以辐射状向国界线延伸，分区的依据是能使每个分区内距中心较远距离的景点充分与距分区较近的景点相结合，避免单次旅游时间的浪费，使得旅游次数尽可能少。

按照此种原则进行分区的结果如下图所示：

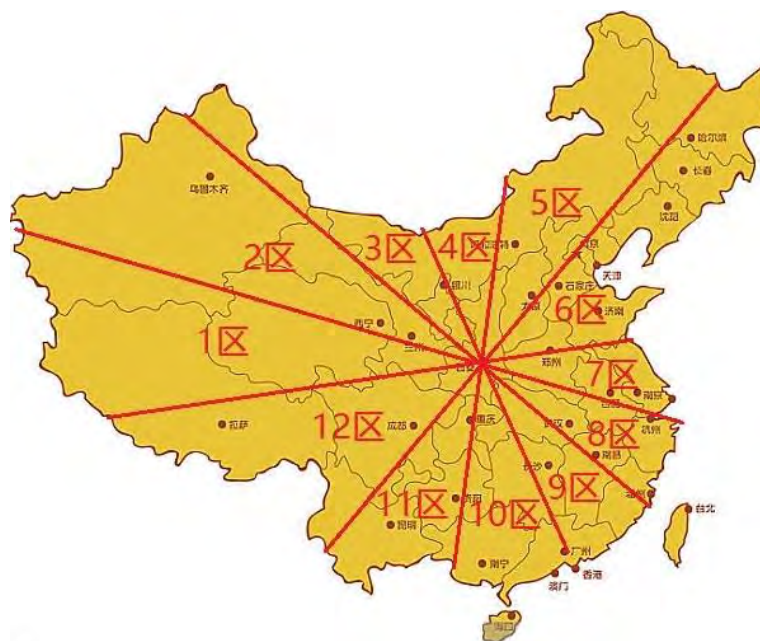


图 5.6 辐射状城市分区图

4、基于分区搜索的模拟退火算法

上述模型通过常规的解法很难求解，为了简化模型的求解难度，本文采用了局部搜索和模拟退火相结合的算法。具体的求解步骤如下：

Step1: 将所有城市用以西安为中心的射线，按照城市的集中度将地图划分成 i 个区域，第 i 个区域有 n_i 个城市；

Step2: 在每个区域中对城市进行随机检索，随机抽取 $j-1$ 个城市同西安组合，将抽取出的 j 个城市运用模拟退火的算法，计算出最短的遍历路径；

Step3: 根据计算出的最短遍历路径，计算出游完闭合旅行路线所花费的总时间，在满足总天数小于 15 天的情况下，对比得出遍历城市最多的组合；

Step4: 将得出的组合从区域中剔除，重复 step2~step3；

Step5: 完成第 i 个区域的搜索后，进入第 $i+1$ 区域，重复 step2~step4；

根据上述的步骤，即可解出全局区域嵌套优化模型的结果，将其同景区区域优化的结果相结合，即可得到最优化旅游路线的规划，具体的结果见附录所示。

5.4 结论与分析

5.4.1 求解结果

通过上述相应的优化以及算法，运用 MATLAB 软件编程计算模型 I 与模型 II，结果见下：（考虑到部分景点名称比较长，在说明路线规划上有所不简洁，所以景点名称用字母与数字组合编号见下表 5.5）

5A 景区名称编号见下表。

表 5.5 5A 景区名称编号

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	北京	A01	沈阳	A08	无锡	A14	绍兴	A19	景德镇	A28	武汉	A35	佛山	A40	乐山	A47	嘉峪关	A54
2	故宫博物院	A01-1	沈阳植物园	A08-1	中央电视台无锡	A14-1	绍兴市鲁迅故里一	A19-1	九江庐山风景名胜	A28-1	武汉黄鹤楼公园	A35-1	佛山市德	A40-1	乐山峨眉	A47-1	嘉峪关文物景	A54-1
3	天坛公园	A01-2	大连老虎滩海洋	A08-2	无锡灵山大佛景	A14-2	金华东阳横店影视	A19-2	景德镇古窑民俗	A28-2	武汉市东湖景区	A35-2	佛山西樵	A40-2	乐山乐山	A47-2	酒泉市敦煌沙	A54-2
4	颐和园	A01-3	大连金石滩景区	A08-3	无锡鼋头渚景区	A14-3	合肥	A20	上饶	A29	武汉市黄陂木兰文	A35-3	桂林	A41	阿坝	A48	兰州	A55
5	八达岭—慕田峪	A01-4	本溪市本溪水洞	A08-4	南通市濠河风景	A14-4	阜阳市颍上县八里	A20-1	上饶三清山旅游	A29-1	宜昌	A36	桂林漓江	A41-1	阿坝藏族	A48-1	平凉崆峒山风	A55-1
6	明十三陵景区	A01-5	长春	A09	常州环球恐龙城	A14-5	黄山	A21	上饶婺源县江湾	A29-2	宜昌三峡大坝旅游	A36-1	桂林兴安	A41-2	阿坝藏族	A48-2	天水麦积山景	A55-2
7	恭王府景区	A01-6	长白山景区	A09-1	扬州	A15	黄山市黄山风景区	A21-1	烟台蓬莱阁—三	A30-1	宜昌三峡人家风景	A36-2	桂林独秀	A41-3	贵阳	A49	银川	A56
8	北京奥林匹克公	A01-7	长春伪满皇宫博	A09-2	泰州姜堰区溱湖	A15-1	黄山市黟县皖南古	A21-2	烟台莱阳—二	A30-2	十堰丹江口市武当山	A36-3	南宁	A42	安顺镇宁	A49-1	石嘴山平罗县	A56-1
9	天津	A02	长春净月潭景区	A09-3	镇江三山风景名胜	A15-2	黄山市古徽州文化	A21-3	青岛崂山景区	A30-2	恩施土家族苗族自	A36-4	南宁市青	A42-1	安顺龙宫	A49-2	中卫沙坡头旅	A56-2
10	天津古文化街旅	A02-1	长春市长影世纪	A09-4	镇江句容茅山景	A15-3	宣城市绩溪县龙川	A21-4	威海刘公岛景区	A30-3	神农架生态旅游区	A36-5	海口	A43	毕节市百	A49-3	银川镇北堡西	A56-3
11	天津蓟县盘山风	A02-2	哈尔滨	A10	扬州瘦西湖风景	A15-4	安庆	A22	烟台龙口南山景	A30-4	宜昌长阳县清江画廊	A36-6	三亚	A44	黔南布依	A49-4	银川市灵武水	A56-4
12	石家庄	A03	哈尔滨太阳岛景	A10-1	南京	A16	安庆潜山县天柱山	A22-1	济南	A31	恩施土家族苗族自	A36-7	三亚南山	A44-1	昆明	A50	西宁	A57
13	保定安新白洋淀	A03-1	牡丹江宁安市镜	A10-2	淮安市周恩来故	A16-1	池州青阳县九华山	A22-2	泰安泰山景区	A31-1	宜昌秭归县屈原故	A36-8	三亚南山	A44-2	昆明石林	A50-1	青海湖风景区	A57-1
14	保定涞水县野三	A03-2	五大连池	A11	常州溧阳市天目湖	A16-2	六安市金寨县天堂	A23	济宁曲阜明故城	A31-2	张家界武陵源—天	A37-1	保亭县呀	A44-3	中科院西	A50-2	西宁市湟中县	A57-2
15	石家庄平山县西	A03-3	黑河五大连池景	A11-1	南京钟山—中山陵	A16-3	厦门	A23	枣庄台儿庄古城	A31-3	张家界武陵源—天	A37-1	陵水县分	A44-4	丽江	A51	乌鲁木齐	A58
16	秦皇岛	A04	伊春市汤旺河林	A11-2	南京夫子庙—秦淮	A16-4	厦门鼓浪屿风景名	A23-1	济南天下第一泉	A31-4	长沙	A38	保亭县海	A44-5	丽江玉龙	A51-1	昌吉州阜康市	A58-1
17	秦皇岛山海关景	A04-1	大兴安岭地区漠	A11-3	杭州	A17	福建土楼旅游景区	A23-2	山东沂蒙山旅游	A31-5	衡阳南岳衡山旅游	A38-1	重庆	A45	丽江古城	A51-2	吐鲁番葡萄沟	A58-2
18	承德避暑山庄及	A04-2	上海	A12	杭州西湖风景区	A17-1	宁德	A24	郑州	A32	湘潭韶山旅游区	A38-2	大足石刻	A45-1	大理崇圣	A51-3	伊犁地区新源	A58-3
19	太原	A05	东方明珠广播电	A12-1	杭州淳安千岛湖	A17-2	宁德市福鼎太姥山	A24-1	郑州登封高山少	A32-1	岳阳岳阳楼—君山	A38-3	巫山小三	A45-2	迪庆藏族	A51-4	乌鲁木齐天山	A58-4
20	大同云冈石窟	A05-1	上海野生动物园	A12-2	嘉兴桐乡乌镇古镇	A17-3	宁德屏南旅游景区	A24-2	焦作风景区	A32-2	长沙岳麓山—橘子洲	A38-4	武陵喀斯	A45-3	拉萨	A52	巴音郭楞蒙古	A58-5
21	晋城阳城县皇城	A05-2	上海科技馆	A12-3	杭州西溪湿地旅游	A17-4	南平武夷山风景名胜	A24-3	安阳殷墟景区	A32-3	长沙市宁乡县花明楼	A38-5	酉阳桃花	A45-4	拉萨布达	A52-1	石河子	A59
22	晋中市介休市绵	A05-3	苏州	A13	嘉兴南湖旅游区	A17-5	三明泰宁风景旅游	A24-4	开封清明上河园	A32-4	柳州市东江湖旅游	A38-6	万盛黑山	A45-5	拉萨大昭	A52-2	阿勒泰地区富	A59-1
23	晋中市乔家大院	A05-4	苏州园林	A13-1	衢州市开化根宫佛	A17-6	泉州	A25	平顶山	A33	广州	A39	南川金佛	A45-6	西安	A53	阿勒泰地区布	A59-2
24	晋中市平遥县平	A05-5	苏州昆山周庄古	A13-2	湖州市南浔区南浔	A17-7	泉州市清源山风景	A25-1	南阳西峡伏牛山	A33-1	广州长隆旅游度假区	A39-1	成都	A46	西安秦始	A53-1	喀什	A60
25	五台	A06	苏州吴江同里古	A13-3	宁波	A18	福州	A26	平顶山鲁山县尧	A33-2	深圳华侨城旅游度假	A39-2	成都青城	A46-1	西安华清	A53-2	喀什地区噶尔	A60-1
26	忻州五台山风景	A06-1	苏州吴中太湖旅	A13-4	舟山普陀山风景	A18-1	福州市三坊七巷景	A26-1	洛阳	A34	广州白云山景区	A39-3	阿坝藏族	A46-2	延安黄陵	A53-3	喀什地区泽普	A60-2
27	呼和浩特	A07	苏州常熟沙家浜	A13-5	宁波奉化溪口—滕	A18-2	南昌	A27	洛阳栾川县老君	A34-1	梅州市梅江区雁南	A39-4	绵阳北川	A46-3	西安大雁	A53-4		
28	鄂尔多斯达拉特	A07-1	苏州市金鸡湖国	A13-6	温州乐清市雁荡山	A18-3	吉安井冈山风景旅	A27-1	洛阳新安县龙潭	A34-2	深圳观澜湖休闲旅游	A39-5	南充市阆	A46-4	渭南华阴	A53-5		
29	鄂尔多斯伊金霍	A07-2					鹰潭市贵溪龙虎山	A27-2	洛阳嵩县白云山	A34-3	清远连州地下河旅游	A39-6	广安市邓	A46-5	宝鸡扶风	A53-6		
30							赣州市瑞金市共和	A27-3	洛阳龙门石窟景	A34-4			广元市剑	A46-6				
31											惠州市罗浮山景区	A39-8						

备注：①其中 A###代表了景区编号（下页可以查找得到）；②部分路线经过人工优化处理；③一共 20 条线路，每条线路花费时间小于等于 15 天，即该旅游爱好者一共需要花费接近 10 年时间区遍游 201 个 5A 景区。④具体某一条线路细则见附件，列举了线路 12[西安→哈尔滨 4 天（A10-1，A10-2）→五大连池 3.5 天（A11-1，A11-3，A11-2）→西安]的游览时间规划行程见图 5.7 和表 5.6；⑤20 条线路可以调换，即出行 20 条线路可以随意选择，没有顺序。⑥线路里考虑了公路路网。

线路 1：西安→洛阳 4 天（A34-3，A34-1，A34-2，A34-4）→平顶山 4 天（A33-1，A33-2）→武汉 4 天（A35-1，A35-2，A35-3）→西安；

线路 2：西安→烟台 2 天（A30-3，A30-1，A30-4，A30-2）→济南 4 天（A31-1，A31-2，A31-3，A31-4，A35-3）→郑州 4 天（A32-1，A32-2，A32-3，A32-4）→西安；

线路 3：西安→天津 2 天（A02-1，A02-2）→北京 6.5 天（A01-2，A01-3，A01-4，A01-5，A01-7，A01-6，A01-1）→呼和浩特 2.5 天（A07-1，A07-2）→西安；

线路 4：西安→无锡 5 天（A14-1，A14-2，A14-4，A14-5，A14-3）→南京 3 天（A16-1，A16-2，A16-3，A16-4）→合肥 2 天（A20-1）→西安；

线路 5：西安→上海 3 天（A12-3，A12-2，A12-1）→宁波 3 天（A18-1，A18-2，A18-3）→绍兴 2.5 天（A19-1，A19-2）→西安；

线路 6：西安→福州 4.5 天（A26-1）→上饶 2.5 天（A29-1，A29-2）→景德镇 3 天（A28-1，A28-2）→西安；

线路 7：西安→厦门 4 天（A23-1，A23-2）→泉州 3 天（A25-1）→长沙 2 天（A38-5，A38-2，A38-1，A38-6，A38-4，A38-3）→西安；

线路 8：西安→拉萨 2 天（A52-1，A52-2）→阿坝 1.5 天（A48-1，A48-2）→乐山 3 天（A47-1，A47-2）→西安；

线路 9：西安→丽江 5 天（A51-3，A51-2，A51-1，A51-4）→昆明 3 天（A50-1，A50-2）→阿坝 2 天（A48-1，A48-2）→西安；

线路 10：西安→佛山 3 天（A40-1，A40-2）→广州 5 天（A39-1，A39-2，A39-5，A39-8，A39-4，A39-7，A39-6，A39-3）→长沙 1.5 天（A38-5，A38-2，A38-1，A38-6，A38-4，A38-3）→西安；

线路 11：西安→乌鲁木齐 2 天（A58-1，A58-2，A58-5，A58-3，A58-4）→西宁 3 天（A57-1，A57-2）→兰州 3 天（A55-1，A55-2）→西安；

线路 12：西安→哈尔滨 4 天（A10-1，A10-2）→五大连池 3.5 天（A11-1，A11-3，A11-2）→西安；

线路 13：西安→长春 5.5 天（A09-1，A09-2，A09-3，A09-4）→沈阳 4 天（A08-2，A08-3，A08-4，A08-1）→西安；

线路 14：西安→安庆 4.5 天（A22-1，A22-3，A22-2）→黄山 3.5 天（A21-4，A21-1，A21-2，A21-3）→西安；

线路 15：西安→杭州 5.5 天（A17-1，A17-3，A17-7，A17-4，A17-6）→苏州 5 天（A13-4，A13-1，A13-5，A13-6，A13-2，A13-3）→西安；

线路 16：西安→宁德 3 天（A24-1，A24-2，A24-3，A24-4）→宜昌 7 天（A36-6，A36-1，A36-2，A36-3，A36-5，A36-4，A36-7，A36-8）→西安；

线路 17：西安→成都 3 天（A46-1，A46-3，A46-6，A46-4，A46-5）→重庆

8天 (A45-2, A45-4, A45-3, A45-5, A45-6) → 西安;

线路 18: 西安→秦皇岛 3天 (A04-1, A04-2)→石家庄 3天 (A03-1, A03-2, A03-3)→五台 2.5天 (A06-1)→太原 2天 (A05-1, A05-4, A05-2, A05-3, A05-5)→西安;

线路 19: 西安→三亚 2.5天 (A44-1, A44-2, A44-3, A44-4, A44-5)→海口 1天 (A43)→南宁 1.5天 (A42-1)→桂林 2天→西安;

线路 20: 西安→喀什 5天 (A60-1, A60-2)→西安;

例子: 线路 12[西安→哈尔滨 4天 (A10-1, A10-2)→五大连池 3.5天 (A11-1, A11-3, A11-2)→西安]的游览时间规划行程。

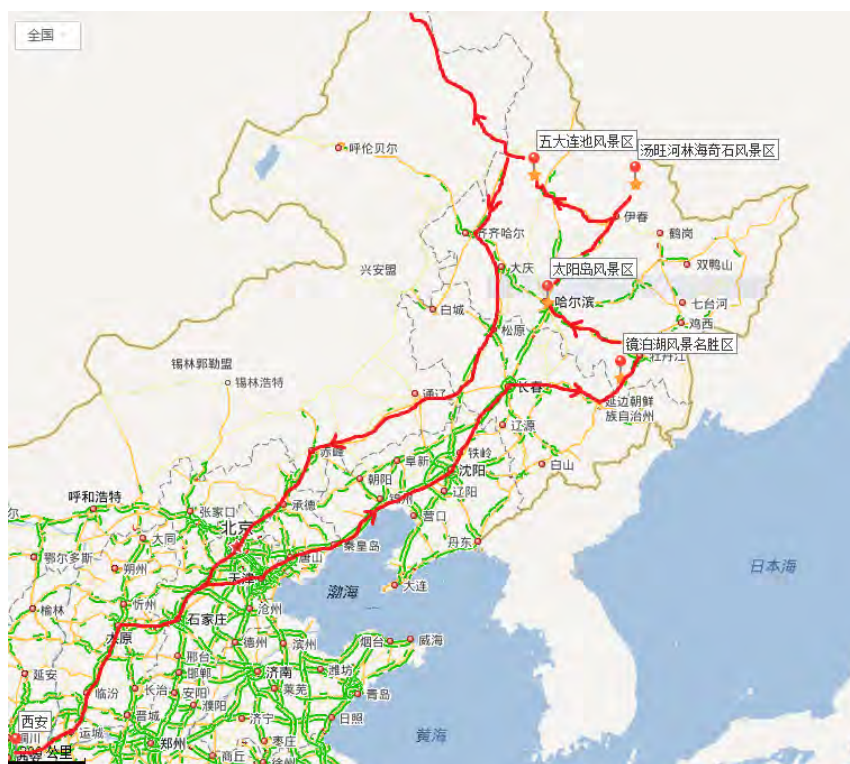


图 5.7 线路 12 (西安→哈尔滨→大兴安岭) 游览路线规划图

表 5.6 5A 线路 12 (西安→哈尔滨→大兴安岭) 游览行程规划表

		地区	花费时间
出发地		西安	
		↓	3.5 天
游览景区	牡丹江宁安市镜泊湖景区	↓	半天 (4 个小时)
		↓	2 小时内
游览景区	哈尔滨太阳岛景区	↓	半天 (4 个小时)
		↓	2 小时内
游览景区	伊春市汤旺河林海奇石景区	↓	半天 (4 个小时)
		↓	2 小时内
游览景区	黑河五大连池景区	↓	半天 (4 个小时)
		↓	3 小时内

游览景区	大兴安岭地区漠河北极村旅游景区	全天（8 个小时）
	↓	3.5 天
返回地	西安	
至少停留 24 小时		1~2 天
总共停留时间		14 天~15 天

游览规划行程线路共 20 条，每条线路时间接近为 15 天，共出行 20 次，该旅行爱好者游遍全部 5A 景区需要 10 年时间。

5.4.2 结果分析

通过上述求解，计算得到游览景区规划行程线路一共有 20 条，每条线路时间接近为 15 天，即共出行 20 次，该旅行爱好者游遍全部 5A 景区需要 10 年时间。如果不考虑西安为返回地，通过问题一所建立的模型进行求解可以得到旅行时间大约为 8.5 年，而实际中往返西安时间占了一定时间量，进而说明我们求解得到的 10 年时间是具有可行性，具体的线路和行程安排也满足相关限定条件。

六、问题二模型的建立与求解

6.1 问题分析

在考虑行程花费以及不同交通工具组合的基础上，问题二要求对费用最优、旅游体验最好进行多目标优化，多目标优化的求解难度将远大于单目标优化，导致可能无法得到合理的最优解。因此，本文对多目标进行简化，先对旅游体验最好进行定性分析和定量转化，并用量化之后的旅游体验指标对原始数据进行预处理。在此基础上，建立行程原始数据的花费矩阵和行程时间矩阵，作为优化模型的原始数据。

由于全国 5A 景点有 201 个，数量较多。如果整体考虑，建立的规划模型计算量较大，在有限的时间内无法迅速的获取到理想的结果。为了减小计算量，必须对模型进行合理的简化。由于随着各种旅游服务业的发展，出行方式还可以考虑乘坐高铁或飞机到达与景区相邻的省会城市，而后采用租车的方式自驾到景区游览。因此，该题可将 201 个 5A 景区按 31 个省份划分后建立模型求解。

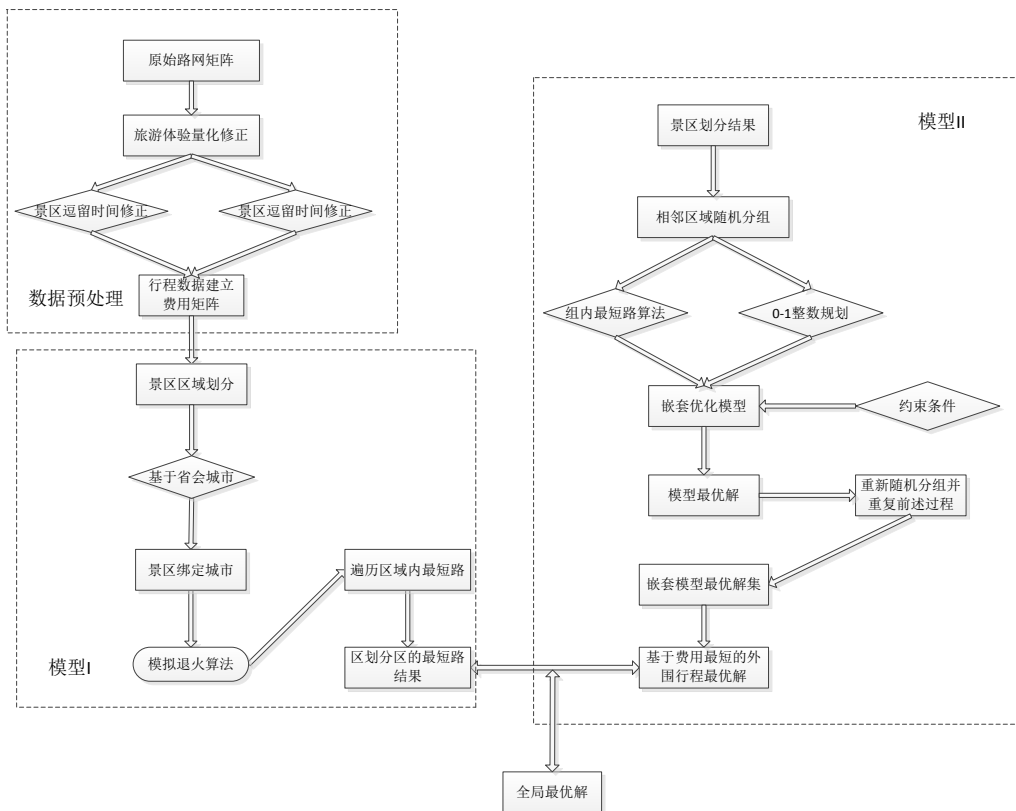


图 6.1 问题 2 分析流程图

本题在考虑十年游遍所有 201 个 5A 景区、费用最优、旅游体验最好的旅游线路的前提下，采用基于 0-1 规划的费用最优模型。该模型的思想是首先将 31 个省景点区域其划分成 P 组，找出 P 条旅游费用最短的路线，每条路线都从陕西省西安市出发，到组内每个景点均游玩一次，最后回到出发地。由于处理数据

时已经考虑到“旅游体验最好”这个关键性问题，所以在规划时只需在此基础上满足旅游爱好者的旅游时间约束即可。该模型把 P 条出游路线的总花费最小作为优化的目标，即可求得十年内的旅游路线。思路流程图见图 6.1 所示。

6.2 问题二基于旅游体验最好的数据预处理

6.2.1 旅游体验最好的量化分析

问题二中的优化问题具有费用最优和旅游体验最好两目标，若要进行分析，势必要建立一个多目标的优化模型。又由于遍历点数目导致优化模型的复杂度较高的问题，且旅游体验最好这一定性目标并不明确，多目标模型的求解难度将远远大于问题一中的单目标优化模型。根据以上分析，本文首先对旅游体验最好进行定性分析，再将其用一定的指标量化，并用量化之后的指标对原始的数据进行预处理即基于旅游体验最好的数据预处理。经过数据预处理之后的数据就可以建立一个单目标的优化模型进行求解，这样就有效的提高了第二问所建立优化模型的可解性。

通过对旅游过程的分析，旅游体验通常包含两方面的内容：景区逗留时间和旅途行车路程，则旅游体验最好同样可表达为两个方面：

(1) 旅客景区逗留时间最长

对于旅客来说，旅游的最佳体验之一必定是能够在景区停留足够久，问题二中限定了在一个景区的最长逗留时间，但是并不是在每个景区逗留时间越长越好，因此必须对不同的景区按照一定的标准进行评价，基于评价的结果对旅游相应景点所需最短时间进行合理增加。本文对于不同景区的评价采用客流量评价的方法，收集到不同景区年平均客流量的数据，然后根据年平均客流量进行排序，再根据排序的结果对游览时间进行增加。所得到的部分景点的年平均客流量及增加前后的游览时间对比情况如下表所示：

表 6.1 部分景区游览时间增加情况表

景区	景区排名	最少逗留时间	增加后逗留时间
九寨沟景区	2	1 天	2 天
峨眉山景区	32	1 天	1.5 天
丽江古城景区	5	0.5 天	1 天
张家界景区	8	2 天	3 天
中原大佛景区	112	1 天	1 天
邓小平故里	151	0.5 天	0.5 天

(2) 旅客行车时间最短

在旅游行程当中，过长时间的驾车会使旅客产生疲惫感，疲惫感会随着驾驶时间的增长而增加，根据相关资料显示，自驾的驾驶效率随驾驶时间增加的曲线关系图如下所示^[4]。

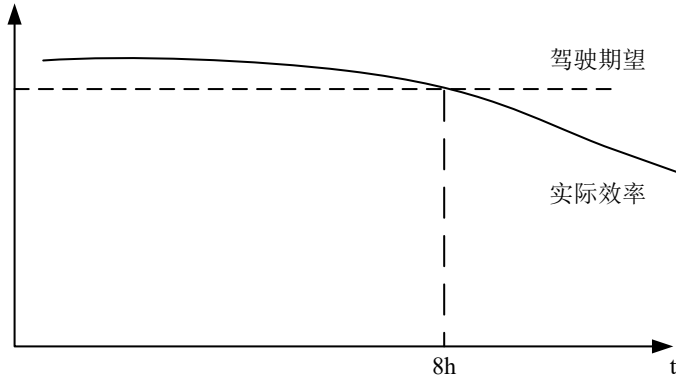


图 6.2 驾驶效率随驾驶时间变化曲线

驾驶疲劳是驾驶时间的函数，随着驾驶时间的增加，具有驾驶时间越长，负荷载因子活力越强，随时间递增，驾驶效率递减的特征；这一疲劳会随着单次行程中，驾车时间占行程总时间的比例大小，累积增大。

$$F = f(t) \quad (6-1)$$

$$H = \frac{T_1}{T} \quad (6-2)$$

式中， F 是驾驶疲劳， t 是驾驶时间负荷载因子， T_1 是行程中驾车的总时间， T 是行程的总时间。

由关系图可知，当乘车时间小于 $8h$ 时，曲线斜率基本为 0，此时疲惫感增加缓慢，当乘车时间超过 $8h$ 时，曲线的斜率迅速变化，旅客疲惫感迅速增加，则当乘车时间过长时，可采用飞机或者高铁代替自驾。

基于上述分析，可建立一套交通工具选择的筛选模型，在优化模型建立之前，据此筛选模型可以在进行费用优化之前事先选择好交通工具，然后再利用费用优化模型，求出使费用最优的行程路线。又根据问题中对于乘坐高铁不多于 $10h$ 的约定，可以对原始的数据进行处理，处理的准则为：当省际间行车时间小于 $8h$ 时，采用自驾的方式；当省际间行车时间大于 $8h$ 小于 $10h$ 时，在有高铁通行的情况下乘坐高铁，如果不通高铁则乘坐飞机；当省际间行车时间大于 $10h$ 时，则采用乘坐飞机的出行方式。具体的筛选模型如下：

$$T_s = \begin{cases} 1 & t < 8h \\ 2 & 8h \leq t \leq 10h \\ 3 & t > 10h \end{cases} \quad (6-3)$$

式中， T_s 表示交通方式，其值代表不同的交通方式，当 $T_s = 1$ 时，选择自驾，当 $T_s = 2$ 时，选择高铁，当 $T_s = 3$ 时，选择飞机； t 表示单次路程时间。

首先对行程距离矩阵进行处理，将行程距离矩阵转化为行程时间矩阵，然后依照上述筛选模型对行程矩阵进行筛选，将结果为高铁的结果提取出来，与附件 4 中高铁相关信息对比，将没有通高铁的城市交通方式更改为飞机，再将所有的乘坐飞机的路线提取出来，同附件 5 中航班信息进行对比，没有航班通航的路线的交通方式更换为自驾。通过以上筛选方法将西安到各省会城市旅游时所选择交

通工具统计出来见表 6.2。

表 6.2 西安到各省会城市交通工具初步选择

省会城市	交通工具初步选择	省会城市	交通工具初步选择	省会城市	交通工具初步选择
北京市	高铁	浙江省杭州市	飞机	海南省海口市	飞机
天津市	飞机	安徽省合肥市	飞机	重庆市	自驾
河北省石家庄市	自驾	福建省福州市	飞机	四川省成都市	自驾
山西省太原市	自驾	江西省南昌市	飞机	贵州省贵阳市	飞机
内蒙古呼和浩特市	飞机	山东省济南市	飞机	云南省昆明市	飞机
辽宁省沈阳市	飞机	河南省郑州市	高铁	西藏拉萨市	飞机
吉林省长春市	飞机	湖南省长沙市	高铁	甘肃省兰州市	自驾
黑龙江省哈尔滨市	飞机	湖北省武汉市	高铁	青海省西宁市	自驾
上海市	飞机	广东省广州市	飞机	宁夏银川市	自驾
江苏省南京市	飞机	广西南宁市	飞机		



图 6.3 选择自驾交通方式的城市及西安到该省会城市路线图

6.2.2 行程涉及数据费用矩阵化

本问中优化模型的目标值是费用最优，在建立优化模型时，最为便利的方法是将所有行程中所涉及到的原始数据，依据费用计算公式建立起相应的费用矩

阵，矩阵中每一元素与里程一一对应。费用计算公式如下：

$$w_z = x_i \times t \times n \quad (i=1,2,3) \quad (6-4)$$

$$w_l = l \times y_j \quad (j=1,2) \quad (6-5)$$

$$w_c = z \times p \quad (6-6)$$

其中， w_z 为住宿费， t 为住宿天数， n 为住宿人数， $x_i (i=1,2,3)$ 为不同等级城市的单位时间住宿费用， w_l 为自驾油耗， l 为自驾里程， $y_j (j=1,2)$ 为不同等级公路单位里程油耗， w_c 为租车费用， z 为租车单价， p 为租车天数， x_i 与 y_j 的取值如下表所示。

表 6.3 住宿费及油费价目表

费用	x_1	x_2	x_3
住宿费（元/人·天）	200	150	100
	y_1	y_2	
油费（元/公里）	1	0.6	

6.2.2 行程涉及数据的时间矩阵化

问题二在对任何两地之间的旅游出行方式进行重新规划之后，参照问题一对的数据处理方式，将所有行程涉及的数据时间化，获取一个时间矩阵。采用 MATLAB 将附件 3 距离矩阵处理为时间数据（考虑出行交通方式），数据直接嵌套在模型程序里。

6.3 问题二模型建立

6.3.1 将所有 5A 景点按省份划分区

由于所有 5A 景点共有 201 个，如果整体考虑，模型的计算量会相当大。为了能快速的获取计算结果，必须对模型进行合理的简化。题目中指出“随着各种旅游服务业的发展，出行方式还可以考虑乘坐高铁或飞机到达与景区相邻的省会城市，而后采用租车的方式自驾到景区游览”。换言之，就是假如旅游爱好者选择乘坐飞机或者高铁，都必须先到省会城市，然后才自驾前往该省内的景点游玩。而且根据前面的数据处理发现，旅游爱好者前往非出发点西安的邻省景点游玩，首选的交通工具都是飞机或者高铁。只有前往邻省或者省内这些比较近的景点游玩，才会优先选择全程自驾。所以根据分析，我们将全国 201 个 5A 景点按照省份划分成 31 个区。图 6.4 是分区后各省份区域的景点数量。

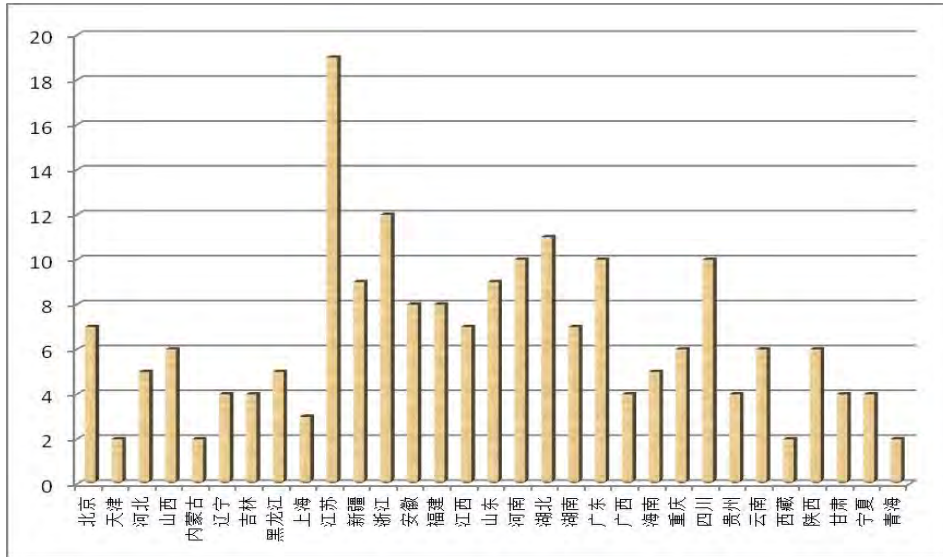


图 6.4 各省份的景点数量

6.3.2 基于 0-1 规划的费用最优模型

0-1 型决策变量 X_{lnj} 表示旅游爱好者第 l 次出行时第 n 步到达区域 j ，下标 l 表示当前旅游爱好者旅游的次数，下标 n 表示旅游爱好者行走的步数，下标 j 表示到达的区域， $X_{lnj}=1$ 表示第 l 次出行时第 n 个目标是区域 j ， $X_{lnj}=0$ 表示否。

约束条件有以下 4 条：

(1) 任何一次出行时在任何一步到达一个区域，即 $\sum_{j=1}^{31} X_{lnj}=1, n=m_l, l=1, 2, \dots, P$ ， m_l 表示旅游爱好者第 l 次旅游遍历的区域个数。

(2) 任何一个区域有且只在旅游爱好者某一次出行时到达一次，即 $\sum_{l=1}^P \sum_{n=1}^{m_l} X_{lnj}=1, j=1, 2, \dots, 31$ 。

(3) 每次旅游的时间不超过 15 天，即

$$L_l = \sum_{j=1}^{31} l_j \cdot (X_{lj} + X_{m_l j}), l=1, 2, \dots, P \quad (6-7)$$

$$H_l = \sum_{n=1}^{m_l-1} \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^{31} C_{ij} \cdot X_{lni} \cdot X_{l,n+1,j}, l=1, 2, \dots, P \quad (6-8)$$

$$L_l + H_l + \sum_{j=1}^{31} X_{lj} \cdot T_j \leq 15, l=1, 2, \dots, P \quad (6-9)$$

其中，区域 j 的旅游时间为 T_j ， H_l 为第 l 次的行驶总时间， L_l 表示第 l 次旅游时从最后一个旅游区域返回西安的行驶时间。 $\sum X_{lj} \cdot T_j$ 表示第 l 次旅游在各个区域内游玩的时间总和， C_{ij} 表示已知的 31 个区域之间行程的最短时间。

(4) 旅游爱好者在 P 次旅游时间内恰好游遍 31 个区域(即全国 201 个 5A 景点)，即 $m_1 + m_2 + \dots + m_p = 31$ 。

其中，区域 j 的旅游花费为 E_j ， B_l 为第 l 次的行程花费(包括住宿、油费和路费)， A_l 表示第 l 次旅游时从最后一个旅游区域返回西安的行程花费(包括住宿、油费)。 $\sum_{j=1}^{31} X_{lj} \cdot E_j$ 表示第 l 次旅游在各个区域内游玩的花费总和(包括住宿、油费、

租车费), b_{ij} 表示已知的 31 个区域两两之间行程的最少花费。

建立如下数学模型:

$$\begin{aligned} \min \quad & Q = \sum_{l=1}^P (A_l + B_l + \sum_{j=1}^{31} X_{lj} \cdot E_j) \\ \text{s.t.} \quad & \begin{cases} \sum_{j=1}^{31} X_{lnj} = 1, n = m_l, l = 1, 2, \dots, P \\ \sum_{l=1}^P \sum_{n=1}^{m_l} X_{lnj} = 1, j = 1, 2, \dots, 31 \\ L_l = \sum_{j=1}^{31} l_j \cdot (X_{lj} + X_{m_lj}), l = 1, 2, \dots, P \\ H_l = \sum_{n=1}^{m_l-1} \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^{31} C_{ij} \cdot X_{lni} \cdot X_{l,n+1,j}, l = 1, 2, \dots, P \\ L_l + H_l + \sum_{j=1}^{31} X_{lj} \cdot T_j \leq 15, l = 1, 2, \dots, P \\ A_l = \sum_{j=1}^{31} a_j \cdot (X_{lj} + X_{m_lj}), l = 1, 2, \dots, P \\ B_l = \sum_{n=1}^{m_l-1} \sum_{i=1}^{31} \sum_{j=1}^{31} b_{ij} \cdot X_{lni} \cdot X_{l,n+1,j}, l = 1, 2, \dots, P \\ X_{lnj} = 0 \text{ 或 } 1, l = 1, 2, \dots, P \\ X_{lj} = \sum_{n=1}^{m_l} X_{lnj}, l = 1, 2, \dots, P \\ m_1 + m_2 + \dots + m_p = 31 \end{cases} \end{aligned} \quad (6-10)$$

该模型求解可得到 P 条使得总花费最小、旅游体验最好的出游路线, 可根据“每年外出旅游时间不超过 30 天, 且每年外出旅游的次数不超过 4 次”的原则, 即

$$h \leq 30, n \leq 4$$

其中, h 表示每年旅游的总天数, n 表示每年旅游的总次数。

将 P 条线路组合成旅游年数最短的方案, 即得到满足十年内游遍所有 201 个 5A 景区、费用最优、旅游体验最好的旅游线路规划。

6.4 问题二模型的求解和结果分析

将模型运用 LINGO 软件编程求解, 得到十年游遍所有 201 个 5A 景区、费用最优、旅游体验最好的旅游线路, 该结果见下: (考虑到部分景点名称比较长, 在说明路线规划上有所不简洁, 所以景点名称用字母与数字组合编号见下表 6.4)

5A 景区名称编号见下表。

表 6.4 5A 景区名称编号

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	北京	A01	沈阳	A08	无锡	A14	绍兴	A19	景德镇	A28	武汉	A35	佛山	A40	乐山	A47	嘉峪关	A54
2	故宫博物院	A01-1	沈阳植物园	A08-1	中央电视台无锡	A14-1	绍兴市鲁迅故里一	A19-1	九江庐山风景名胜	A28-1	武汉黄鹤楼公园	A35-1	佛山市德	A40-1	乐山峨眉	A47-1	嘉峪关文物景	A54-1
3	天坛公园	A01-2	大连老虎滩海洋	A08-2	无锡灵山大佛景	A14-2	金华东阳横店影视	A19-2	景德镇古窑民俗	A28-2	武汉市东湖景区	A35-2	佛山西樵	A40-2	乐山乐山	A47-2	酒泉市敦煌沙	A54-2
4	颐和园	A01-3	大连金石滩景区	A08-3	无锡鼋头渚景区	A14-3	合肥	A20	上饶	A29	武汉市黄陂木兰文化	A35-3	桂林	A41	阿坝	A48	兰州	A55
5	八达岭—慕田峪	A01-4	本溪市本溪水洞	A08-4	南通市濠河风景	A14-4	阜阳市颍上县八里河	A20-1	上饶三清山旅游	A29-1	宜昌	A36	桂林漓江	A41-1	阿坝藏族	A48-1	平凉崆峒山风	A55-1
6	明十三陵景区	A01-5	长春	A09	常州环球恐龙城景	A14-5	黄山	A21	上饶婺源县江湾	A29-2	宜昌三峡大坝旅游	A36-1	桂林兴安	A41-2	阿坝藏族	A48-2	天水麦积山景	A55-2
7	恭王府景区	A01-6	长白山景区	A09-1	扬州	A15	黄山市黄山风景区	A21-1	烟台蓬莱阁—三	A30-1	宜昌三峡人家风景	A36-2	桂林独秀	A41-3	贵阳	A49	银川	A56
8	北京奥林匹克公	A01-7	长春伪满皇宫博	A09-2	泰州姜堰区溱湖国	A15-1	黄山市黟县皖南古村	A21-2	烟台莱阳—二	A30-2	十堰丹江口市武当山	A36-3	南宁	A42	安顺镇宁	A49-1	石嘴山平罗县	A56-1
9	天津	A02	长春净月潭景区	A09-3	镇江三山风景名胜	A15-2	黄山市古徽州文化	A21-3	青岛崂山景区	A30-2	恩施土家族苗族自治	A36-4	南宁市青	A42-1	安顺龙宫	A49-2	中卫沙坡头旅	A56-2
10	天津古文化街旅	A02-1	长春市长影世纪	A09-4	镇江句容茅山景区	A15-3	宣城市绩溪县龙川	A21-4	威海刘公岛景区	A30-3	神农架生态旅游区	A36-5	海口	A43	毕节市百	A49-3	银川镇北堡西	A56-3
11	天津蓟县盘山风	A02-2	哈尔滨	A10	扬州瘦西湖风景	A15-4	安庆	A22	烟台龙口南山景	A30-4	宜昌长阳县清江画廊	A36-6	三亚	A44	黔南布依	A49-4	银川市灵武水	A56-4
12	石家庄	A03	哈尔滨太阳岛景	A10-1	南京	A16	安庆潜山县天柱山	A22-1	济南	A31	恩施土家族苗族自治	A36-7	三亚南山	A44-1	昆明	A50	西宁	A57
13	保定安新白洋淀	A03-1	牡丹江宁安市镜	A10-2	淮安市周恩来故里	A16-1	池州青阳县九华山	A22-2	泰安泰山景区	A31-1	宜昌秭归屈原故里	A36-8	三亚南山	A44-2	昆明石林	A50-1	青海湖风景区	A57-1
14	保定涞水县野三	A03-2	五大连池	A11	常州溧阳市天目湖	A16-2	六安市金寨县天堂寨	A23	济宁曲阜明故城	A31-2	张家界武陵源—天门	A37-1	保亭县呀	A44-3	中科院西	A50-2	西宁市湟中县	A57-2
15	石家庄平山县西	A03-3	黑河五大连池景	A11-1	南京钟山—中山陵	A16-3	厦门	A23	枣庄台儿庄古城	A31-3	张家界武陵源—天门	A37-1	陵水县分	A44-4	丽江	A51	乌鲁木齐	A58
16	秦皇岛	A04	伊春市汤旺河林	A11-2	南京夫子庙—秦淮	A16-4	厦门鼓浪屿风景名	A23-1	济南天下第一泉	A31-4	长沙	A38	保亭县海	A44-5	丽江玉龙	A51-1	昌吉州阜康市	A58-1
17	秦皇岛山海关景	A04-1	大兴安岭地区漠	A11-3	杭州	A17	福建土楼旅游景区	A23-2	山东沂蒙山旅游	A31-5	衡阳南岳衡山旅游	A38-1	重庆	A45	丽江古城	A51-2	吐鲁番葡萄沟	A58-2
18	承德避暑山庄及	A04-2	上海	A12	杭州西湖风景区	A17-1	宁德	A24	郑州	A32	湘潭韶山旅游区	A38-2	大足石刻	A45-1	大理崇圣	A51-3	伊犁地区新源	A58-3
19	太原	A05	东方明珠广播电	A12-1	杭州淳安千岛湖	A17-2	宁德市福鼎太姥山	A24-1	郑州登封高山少	A32-1	岳阳岳阳楼—君山岛	A38-3	巫山小三	A45-2	迪庆藏族	A51-4	乌鲁木齐天山	A58-4
20	大同云冈石窟	A05-1	上海野生动物园	A12-2	嘉兴桐乡乌镇古镇	A17-3	宁德屏南旅游景区	A24-2	焦作风景区	A32-2	长沙岳麓山—橘子洲	A38-4	武隆喀斯	A45-3	拉萨	A52	巴音郭楞蒙古	A58-5
21	晋城阳城县皇城	A05-2	上海科技馆	A12-3	杭州西溪湿地旅游	A17-4	南平武夷山风景名胜	A24-3	安阳殷墟景区	A32-3	长沙市宁乡县花明楼	A38-5	酉阳桃花	A45-4	拉萨布达	A52-1	石河子	A59
22	晋中市介休市绵	A05-3	苏州	A13	嘉兴南湖旅游区	A17-5	三明泰宁风景旅游	A24-4	开封清明上河园	A32-4	柳州市东江湖旅游	A38-6	万盛黑山	A45-5	拉萨大昭	A52-2	阿勒泰地区富	A59-1
23	晋中市乔家大院	A05-4	苏州园林	A13-1	衢州市开化根宫佛	A17-6	泉州	A25	平顶山	A33	广州	A39	南川金佛	A45-6	西安	A53	阿勒泰地区布	A59-2
24	晋中市平遥县平	A05-5	苏州昆山周庄古	A13-2	湖州市南浔区南浔	A17-7	泉州市清源山风景	A25-1	南阳西峡伏牛山	A33-1	广州长隆旅游度假区	A39-1	成都	A46	西安秦始	A53-1	喀什	A60
25	五台	A06	苏州吴江同里古	A13-3	宁波	A18	福州	A26	平顶山鲁山县尧	A33-2	深圳华侨城旅游度假	A39-2	成都青城	A46-1	西安华清	A53-2	喀什地区噶尔	A60-1
26	忻州五台山风景	A06-1	苏州吴中太湖旅	A13-4	舟山普陀山风景	A18-1	福州市三坊七巷景	A26-1	洛阳	A34	广州白云山景区	A39-3	阿坝藏族	A46-2	延安黄陵	A53-3	喀什地区泽普	A60-2
27	呼和浩特	A07	苏州常熟沙家浜	A13-5	宁波奉化溪口—滕	A18-2	南昌	A27	洛阳栾川县老君	A34-1	梅州市梅县区雁南	A39-4	绵阳北川	A46-3	西安大雁	A53-4		
28	鄂尔多斯达拉特	A07-1	苏州市金鸡湖国	A13-6	温州乐清市雁荡山	A18-3	吉安井冈山风景旅游	A27-1	洛阳新安县龙潭	A34-2	深圳观澜湖休闲旅游	A39-5	南充市阆	A46-4	渭南华阴	A53-5		
29	鄂尔多斯伊金霍	A07-2					鹰潭市贵溪龙虎山	A27-2	洛阳高县白云山	A34-3	清远连州地下河旅游	A39-6	广安市邓	A46-5	宝鸡扶风	A53-6		
30							赣州市瑞金市共和	A27-3	洛阳龙门石窟景	A34-4	韶关仁化丹霞景区	A39-7	广元市剑	A46-6				
31											惠州市罗浮山景区	A39-8						

备注：①其中 A###代表了景区编号（下页可以查找得到）；②部分路线经过人工优化处理；③一共 20 条线路，每条线路花费时间见下表 6.2；④经过计算总共花费时间为 10 年，即该旅游爱好者一家 3 人游览完 5A 景区需要 10 年；⑤为了进一步说明该旅游爱好者一家 3 人规划路线和行程，图 6.5 和表 6.6 给出了线路 7（交通方式：飞机和租车自驾）的具体行程路线及安排。每条线路的线路规划和行程安排，总年限和总费用见下表 6.5。

表 6.5 20 条路线花费费用表

路线	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
总费用 (元)	9100	8510	8140	8386	8870	29070	12063	11134	11130	13512
路线	11	12	13	14	15	16	17	18	19	19
总费用 (元)	18810	20008	21740	7450	13710	18980	15429	16081	16481	14392

可以从上表规划得到该该旅游爱好者一家 3 人需要 10 年时间遍游完 5A 景区，花费费用为 283996 元。

路线 1：住宿费 6300 元、油费 2800 元；

西安 →（自驾 1 天）→石家庄[3 天]（路线：A03-1, A03-2, A03-3）→（自驾 0.5 天）→秦皇岛[2 天]（路线：A04-1, A04-2）→（自驾 0.5 天）→天津[5 天]→五台[2 天]→（自驾 0.5 天）→太原[2 天]（路线：路线：A05-1, A05-4, A05-2, A05-3, A05-5）→西安。

路线 2：住宿费 5850 元、油费 2670 元；

西安 →（自驾 1 天）→重庆[7 天]（路线：A45-2, A45-4, A45-3, A45-5, A45-6）→（自驾 0.5 天）→贵阳[4 天]（路线：A49-3, A49-2, A49-1, A49-4）→（自驾 1.5 天）→西安。

路线 3：住宿费 6300 元、油费 2840 元；

西安 →（自驾 1 天）→成都[3 天]（路线：A46-1, A46-3, A46-6, A46-4, A46-5）→（自驾 0.5 天）→乐山[3 天]（路线：A47-1, A47-2）→（自驾 1 天）→阿坝[4 天]（路线：A48-1, A48-2）→（自驾 1.5 天）→西安。

路线 4：住宿费 4950 元、油费 3436 元；

西安 →（自驾 1 天）→兰州[3 天]（路线：A55-1, A55-2）→（自驾 1 天）→嘉峪关[3 天]（路线：A54-1, A54-2）→（自驾 1 天）→西宁[3 天]（路线：A57-1, A57-2）→（自驾 1.5 天）→西安。

路线 5：住宿费 6300 元、油费 2570 元；

西安 →（自驾 1 天）→银川[3.5 天]（路线：A56-1, A56-3, A56-2, A56-4）→（自驾 1.5 天）→呼和浩特[3 天]（路线：A07-1, A07-2）→（自驾 1.5 天）→西安。

路线 6：住宿费 6300 元、油费 900 元、交通费用 20070 元；

西安 →（飞机 0.5 天）→拉萨[2 天]（路线：A52-1, A52-2）→（飞机）→昆明[3 天]（路线：A50-1, A50-2）→（自驾）→丽江[5 天]（路线：A51-3, A51-2, A51-1, A51-4）→（自驾 0.5 天）→昆明→（飞机 0.5 天）→南宁[1.5

天] (路线: A42-1) → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 7: 住宿费 5400 元、交通费用 6663 元;

西安 → (高铁 0.5 天) → 北京[6.5 天] (路线: A01-2, A01-3, A01-4, A01-5, A01-7, A01-6, A01-1) → (高铁 0.5) → 沈阳[4 天] (路线: A08-2, A08-3, A08-4, A08-1) → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 8: 住宿费 6300 元、油费 460 元、租车费 3000、交通费用 1374 元;

西安 → (高铁 0.5 天) → 郑州[4 天] (路线: A32-1, A32-2, A32-3, A32-4) → (自驾 0.5) → 平顶山[4 天] → (自驾 0.5 天) → 洛阳[4.5 天] (路线: A34-3, A34-1, A34-2, A34-4) → (自驾 0.5 天) → 洛阳 → (自驾 0.5 天) → 郑州 → 西安。

路线 9: 住宿费 5400 元、油费 600 元、租车费 2400、交通费用 2730 元;

西安 → (高铁 0.5 天) → 武汉[4 天] (路线: A35-1, A35-2, A35-3) → (自驾 0.5) → 宜昌[7 天] (路线: A36-6, A36-1, A36-2, A36-3, A36-5, A36-4, A36-7, A36-8) → (自驾 0.5 天) → 武汉 → (高铁 0.5) → 西安。

路线 10: 住宿费 5850 元、油费 1440 元、租车费 2700、交通费用 3522 元;

西安 → (高铁 0.5 天) → 长沙[3.5 天] (路线: A38-5, A38-2, A38-1, A38-6, A38-4, A38-3) → (自驾 0.5) → 张家界[4 天] (路线: A37-1) → (自驾 1 天) → 桂林[2.5 天] → (自驾 1 天) → 长沙 → (高铁 0.5 天) → 西安。

路线 11: 住宿费 5850 元、油费 600 元、租车费 1950、交通费用 10410 元;

西安 → (飞机 0.5 天) → 广州 [5 天] (路线: A39-1, A39-2, A39-5, A39-8, A39-4, A39-7, A39-6, A39-3) → (自驾) → 佛山[3 天] (路线: A40-1, A40-2) → (自驾) → 广州 → (飞机 0.5 天) → 海口 → (自驾 0.5 天) → 三亚[2.5 天] (路线: A44-1, A44-2, A44-3, A44-4, A44-5) → (自驾 0.5 天) → 海口 → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 12: 住宿费 3650 元、租车费 3150、交通费用 13200 元;

西安 → (飞机 0.5 天) → 乌鲁木齐[3.5 天] (路线: A58-1, A58-2, A58-5, A58-3, A58-4) → (自驾 1.5) → 喀什[3 天] → (自驾 2 天) → 石河子[3 天] (路线: A59-1, A59-2) → (自驾 1 天) → 乌鲁木齐 → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 13: 住宿费 6300 元、油费 1400 元、租车费 3000、交通费用 11040 元;

西安 → (飞机 0.5 天) → 哈尔滨 [4 天] (路线: A10-1, A10-2) → (自驾 1 天) → 五大连池[3.5 天] (路线: A11-1, A11-3, A11-2) → (自驾 1 天) → 长春[4 天] (路线: A09-1, A09-2, A09-3, A09-4) → (自驾 0.5 天) → 哈尔滨 → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 14: 住宿费 4950 元、油费 2500 元;

西安 → (自驾 1.5 天) → 济南[5 天] (路线: A31-1, A31-2, A31-3, A31-4, A35-3) → (自驾 0.5 天) → 烟台[3 天] (路线: A30-3, A30-1, A30-4, A30-2) → (自驾 2 天) → 西安。

路线 15: 住宿费 4950 元、油费 600 元、租车费 2100、交通费用 6060 元;

西安 → (飞机 0.5 天) → 南昌 [4 天] (路线: A27-1, A27-2, A27-3) → (自驾 0.5 天) → 景德镇[3 天] (路线: A28-1, A28-2) → (自驾 0.5 天) → 上饶[2.5 天] (路线: A29-1, A29-2) → (自驾 0.5 天) → 南昌 → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 16: 住宿费 5850 元、油费 950 元、租车费 3000、交通费用 9180 元;

西安 → (飞机 0.5 天) → 福州 [3 天] (路线: A26-1) → (自驾 0.5 天) → 宁德[3 天] (路线: A24-1, A24-2, A24-3, A24-4) → (自驾 0.5 天) → 泉州[2.5 天] (路线: A25-1) → (自驾 0.5 天) → 厦门[3 天] (路线: A23-1, A23-2) →

(自驾 0.5 天) → 福州 → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 17: 住宿费 5400 元、油费 819 元、租车费 2850、交通费用 6360 元;

西安 → (飞机 0.5 天) → 合肥 [2 天] (路线: A20-1) → (自驾 0.5 天) → 黄山[3.5 天] (路线: A21-4, A21-1, A21-2, A21-3) → (自驾 0.5 天) → 安庆[4.5 天] (路线: A22-1, A22-3, A22-2) → (自驾 0.5 天) → 合肥 → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 18: 住宿费 5850 元、油费 415 元、租车费 2100、交通费用 7680 元;

西安 → (飞机 0.5 天) → 杭州 [5.5 天] (路线: A17-1, A17-3, A17-7, A17-4, A17-6) → (自驾 0.5 天) → 宁波[3 天] (路线: A18-1, A18-2, A18-3) → (自驾 0.5 天) → 绍兴[2.5 天] (路线: A19-1, A19-2) → (自驾 0.5 天) → 杭州 → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 19: 住宿费 5850 元、油费 551 元、租车费 3000、交通费用 7080 元;

西安 → (飞机 0.5 天) → 南京[5.5 天] (路线: A16-1, A16-2, A16-3, A16-4) → (自驾 0.5 天) → 无锡[5 天] (路线: A14-1, A14-2, A14-4, A14-5, A14-3) → (自驾 0.5 天) → 扬州[3.5 天] → (自驾 0.5 天) → 南京 → (飞机 0.5 天) → 西安。

路线 20: 住宿费 4050 元、油费 202 元、租车费 1800、交通费用 8340 元;

西安 → (飞机 0.5 天) → 上海[5.5 天] (路线: A12-3, A12-2, A12-1) → (自驾 0.5 天) → 苏州[5 天] (路线: A13-4, A13-1, A13-5, A13-6, A13-2, A13-3) → (自驾 0.5 天) → 上海 → (飞机 0.5 天) → 西安。

例子: (飞机+租车自驾) 路线 6: 住宿费 6300 元、油费 900 元、交通费用 20070 元; 西安 → (飞机 0.5 天) → 拉萨[2 天] (路线: A52-1, A52-2) → (飞机) → 昆明[3 天] (路线: A50-1, A50-2) → (自驾) → 丽江[5 天] (路线: A51-3, A51-2, A51-1, A51-4) → (自驾 0.5 天) → 昆明 → (飞机 0.5 天) → 南宁[1.5 天] (路线: A42-1) → (飞机 0.5 天) → 西安。



图 6.5 路线 6 (西安→拉萨→昆明→丽江→昆明→西安) 游览路线规划图

表 6.6 路线 6（西安→拉萨→昆明→丽江→昆明→西安）游览路线规划表

	地区		花费时间
出发地	西安		
出行方式	↓	飞机	0.5 天
游览景区	拉萨布达拉宫景区		半天（4 个小时）
	↓	自驾	2 小时内
游览景区	拉萨大昭寺景区		半天（4 个小时）
	↓	飞机	0.5 天
游览景区	中科院西双版纳热带植物园		全天（8 个小时）
	↓	自驾	2 小时内
游览景区	昆明石林风景区		半天（4 个小时）
	↓	自驾	3 小时内
游览景区	大理崇圣寺三塔文化旅游区		全天（8 个小时）
	↓	自驾	2 小时内
游览景区	丽江古城景区		半天（4 个小时）
	↓	自驾	3 小时内
游览景区	丽江玉龙雪山风景区		全天（8 个小时）
	↓	自驾	
游览景区	香格里拉普达措国家公园		全天（8 个小时）
	↓	自驾	
游览景区	昆明		
	↓	飞机	0.5 天
返回地	西安		
至少停留 24 小时			1~2 天
总共停留时间			10 天~11 天

综上得到了游览规划行程线路共 20 条，每条线路规划行程见上表，该北京市旅行爱好者游遍全部 5A 景区需要 10 年时间，花费费用为 283996 元。

七、问题三模型的建立与求解

7.1 问题三的分析

本文第二问中的单目标优化模型是在对多目标优化模型简化的基础上得到的，简化的方法是将原始数据进行预处理，预处理的方法采用了基于量化以后的旅游体验指标的交通工具筛选模型，同时进行了景区逗留时间修正。该模型不仅适合于为西安的旅游爱好者规划旅游路线，而且适用于为全国的旅游爱好者提供一套完整的十年旅游计划。但是，第二问中的旅游爱好者并非特指的自驾旅游爱好者，对于自驾旅游爱好者来说，在外出旅游时应该更多的考虑其自驾旅游的时间，更少的使用高铁或者飞机出行。

因此，在将问题二模型推广到可以为全国的自驾游爱好者规划设计类似的旅游线路时，应该更多的考虑使用自驾方式出游，在满足旅游费用最优和旅游体验最好的前提下，尽可能的增加自驾时间在整个十年计划时间中所占的比重。在得到推广的模型之后，就可以解出常驻地在北京市的自驾游爱好者的十年旅游规划。

对旅游爱好者和旅游有关部门的建议，是根据问题一到问题三得出的结果进行对比分析的基础上得到的，主要的分析角度有交通方式的选择、住宿地点的选择、线路的选择三个方面，从这些分析角度进行多层次的深入分析，提出一些对于旅游爱好者和旅游有关部门最有价值的意见。

7.2 问题三模型的推广

7.2.1 西安（常住地）推广到全国自驾的适应条件

旅游是人们为寻求精神上的愉快感受而进行的非定居性旅行和在游览过程中所发生的一切关系和现象的总和。通常旅游要包含两方面的内容旅行和游览，旅行是为实现某一目的而从空间上从甲地到乙地的行进过程，游览是指在目的地外出观光和娱乐。因此旅游路线规划问题的对象即为旅行的路程和旅游的目的地，针对这两种对象，对旅游路线进行规划还要考虑很多因素^[5]。

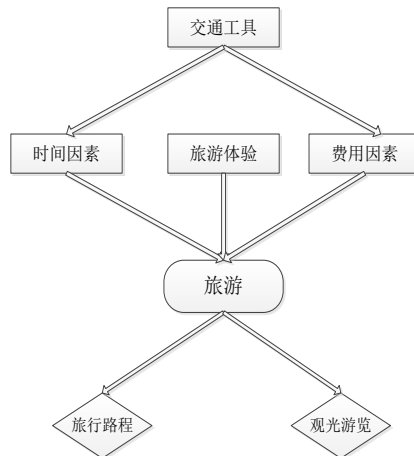


图 7.1 旅游规划关系图

第三问要求将问题二模型推广到可以为全国的自驾游爱好者规划设计类似的旅游线路，考虑因素有如下：

- 1、增加自驾时间在整个十年计划时间中所占的比重；
- 2、重新计算公路路网矩阵、距离矩阵和时间矩阵；
- 3、查询该自驾游爱好者地区相关公路路网资料，进一步优化出行交通工具。

7.2.2 推广模型的建立

这里我们考虑了第 1 条进行相关说明：对于从全国任何一个地方的自驾旅游爱好者来说，增加其自驾时间比重等同于尽可能的减少乘坐飞机和高铁的时间，将更多的行程安排成自驾游的方式。从另一角度看，即是在满足旅游费用最优和旅游体验最好的前提下，尽可能增加十年计划的旅游总时间。

因此，在第二问模型的基础上，应该增加一个限制每次旅游时间不低于一个最小天数的约束条件，使得每次旅游时间尽可能大。即

$$S_l \geq 10, l = 1, 2, \dots, P \quad (7-1)$$

采用西安（常住地）推广到全国自驾的适应条件后，即增加了多条优化条件和修改了该地区与其他地区相关交通出行方式。

推广后的数学模型和问题二保持一致如下：

$$\min Q = \sum_{l=1}^P (A_l + B_l + \sum_{j=1}^{31} X_{lj} \cdot E_j) \quad (7-2)$$

推广增加相应约束条件： $S_l \geq 10, l = 1, 2, \dots, P$

其中， S_l 表示第 l 次旅游花费的时间总和。

该模型求解可得到 P 条使得总花费最小、旅游体验最好的出游路线，可根据“每年外出旅游时间不超过 30 天，且每年外出旅游的次数不超过 4 次”的原则，即

$$h \leq 30, n \leq 4 \quad (7-3)$$

其中， h 表示每年旅游的总天数， n 表示每年旅游的总次数。

将 P 条线路组合成旅游年数最短的方案，即得到满足十年内全国的自驾游爱好者游遍所有 201 个 5A 景区、费用最优、旅游体验最好的旅游线路规划。

7.3 北京市自驾游爱好者十年旅游计划的制定

通过问题 3 模型的推广，综合考虑到常住地在北京的该旅游爱好者自驾（可以采用在省会城市租车自驾）需求以及费用最低、旅游体验最好，运用 LINGO 软件编程计算，制定了北京市自驾游爱好者十年旅游计划，该结果见下：（考虑到部分景点名称比较长，在说明路线规划上有所不简洁，所以景点名称用字母与数字组合编号见下表 7.1）

5A 景区名称编号见下表。

表 7.1 5A 景区名称编号

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	北京	A01	沈阳	A08	无锡	A14	绍兴	A19	景德镇	A28	武汉	A35	佛山	A40	乐山	A47	嘉峪关	A54
2	故宫博物院	A01-1	沈阳植物园	A08-1	中央电视台无锡	A14-1	绍兴市鲁迅故里一	A19-1	九江庐山风景名胜	A28-1	武汉黄鹤楼公园	A35-1	佛山市德	A40-1	乐山峨眉	A47-1	嘉峪关文物景	A54-1
3	天坛公园	A01-2	大连老虎滩海洋	A08-2	无锡灵山大佛景区	A14-2	金华东阳横店影视	A19-2	景德镇古窑民俗	A28-2	武汉市东湖景区	A35-2	佛山西樵	A40-2	乐山乐山	A47-2	酒泉市敦煌沙	A54-2
4	颐和园	A01-3	大连金石滩景区	A08-3	无锡鼋头渚景区	A14-3	合肥	A20	上饶	A29	武汉市黄陂木兰文	A35-3	桂林	A41	阿坝	A48	兰州	A55
5	八达岭—慕田峪	A01-4	本溪市本溪水洞	A08-4	南通市濠河风景	A14-4	阜阳市颍上县八里	A20-1	上饶三清山旅游	A29-1	宜昌	A36	桂林漓江	A41-1	阿坝藏族	A48-1	平凉崆峒山风	A55-1
6	明十三陵景区	A01-5	长春	A09	常州环球恐龙城景	A14-5	黄山	A21	上饶婺源县江湾	A29-2	宜昌三峡大坝旅游	A36-1	桂林兴安	A41-2	阿坝藏族	A48-2	天水麦积山景	A55-2
7	恭王府景区	A01-6	长白山景区	A09-1	扬州	A15	黄山市黄山风景区	A21-1	烟台蓬莱阁—三	A30-1	宜昌三峡人家风景	A36-2	桂林独秀	A41-3	贵阳	A49	银川	A56
8	北京奥林匹克公	A01-7	长春伪满皇宫博	A09-2	泰州姜堰区溱湖国	A15-1	黄山市黟县皖南古	A21-2	烟台莱阳—三	A30-2	十堰丹江口市武当山	A36-3	南宁	A42	安顺镇宁	A49-1	石嘴山平罗县	A56-1
9	天津	A02	长春净月潭景区	A09-3	镇江三山风景名胜	A15-2	黄山市古徽州文化	A21-3	青岛崂山景区	A30-2	恩施土家族苗族自	A36-4	南宁市青	A42-1	安顺龙宫	A49-2	中卫沙坡头旅	A56-2
10	天津古文化街旅	A02-1	长春市长影世纪	A09-4	镇江句容茅山景区	A15-3	宣城市绩溪县龙川	A21-4	威海刘公岛景区	A30-3	神农架生态旅游区	A36-5	海口	A43	毕节市百	A49-3	银川镇北堡西	A56-3
11	天津蓟县盘山风	A02-2	哈尔滨	A10	扬州瘦西湖风景	A15-4	安庆	A22	烟台龙口南山景	A30-4	宜昌长阳县清江画廊	A36-6	三亚	A44	黔南布依	A49-4	银川市灵武水	A56-4
12	石家庄	A03	哈尔滨太阳岛景	A10-1	南京	A16	安庆潜山县天柱山	A22-1	济南	A31	恩施土家族苗族自	A36-7	三亚南山	A44-1	昆明	A50	西宁	A57
13	保定安新白洋淀	A03-1	牡丹江宁安市镜	A10-2	淮安市周恩来故里	A16-1	池州青阳县九华山	A22-2	泰安泰山景区	A31-1	宜昌秭归县屈原故里	A36-8	三亚南山	A44-2	昆明石林	A50-1	青海湖风景区	A57-1
14	保定涞水县野三	A03-2	五大连池	A11	常州溧阳市天目湖	A16-2	六安市金寨县天堂寨	A23	济宁曲阜明故城	A31-2	张家界武陵源—天	A37-1	保亭县呀	A44-3	中科院西	A50-2	西宁市湟中县	A57-2
15	石家庄平山县西	A03-3	黑河五大连池景	A11-1	南京钟山—中山陵	A16-3	厦门	A23	枣庄台儿庄古城	A31-3	张家界武陵源—天	A37-1	陵水县分	A44-4	丽江	A51	乌鲁木齐	A58
16	秦皇岛	A04	伊春市汤旺河林	A11-2	南京夫子庙—秦淮	A16-4	厦门鼓浪屿风景名	A23-1	济南天下第一泉	A31-4	长沙	A38	保亭县海	A44-5	丽江玉龙	A51-1	昌吉州阜康市	A58-1
17	秦皇岛山海关景	A04-1	大兴安岭地区漠	A11-3	杭州	A17	福建土楼旅游景区	A23-2	山东沂蒙山旅游	A31-5	衡阳南岳衡山旅游	A38-1	重庆	A45	丽江古城	A51-2	吐鲁番葡萄沟	A58-2
18	承德避暑山庄及	A04-2	上海	A12	杭州西湖风景区	A17-1	宁德	A24	郑州	A32	湘潭韶山旅游区	A38-2	大足石刻	A45-1	大理崇圣	A51-3	伊犁地区新源	A58-3
19	太原	A05	东方明珠广播电	A12-1	杭州淳安千岛湖	A17-2	宁德市福鼎太姥山	A24-1	郑州登封高山少	A32-1	岳阳岳阳楼—君山	A38-3	巫山小三	A45-2	迪庆藏族	A51-4	乌鲁木齐天山	A58-4
20	大同云冈石窟	A05-1	上海野生动物园	A12-2	嘉兴桐乡乌镇古镇	A17-3	宁德屏南旅游景区	A24-2	焦作风景区	A32-2	长沙岳麓山—橘子洲	A38-4	武隆喀斯	A45-3	拉萨	A52	巴音郭楞蒙古	A58-5
21	晋城阳城县皇城	A05-2	上海科技馆	A12-3	杭州西溪湿地旅游	A17-4	南平武夷山风景名胜	A24-3	安阳殷墟景区	A32-3	长沙市宁乡县花明楼	A38-5	酉阳桃花	A45-4	拉萨布达	A52-1	石河子	A59
22	晋中市介休市绵	A05-3	苏州	A13	嘉兴南湖旅游区	A17-5	三明泰宁风景旅游	A24-4	开封清明上河园	A32-4	柳州市东江湖旅游	A38-6	万盛黑山	A45-5	拉萨大昭	A52-2	阿勒泰地区富	A59-1
23	晋中市乔家大院	A05-4	苏州园林	A13-1	衢州市开化根宫佛	A17-6	泉州	A25	平顶山	A33	广州	A39	南川金佛	A45-6	西安	A53	阿勒泰地区布	A59-2
24	晋中市平遥县平	A05-5	苏州昆山周庄古	A13-2	湖州市南浔区南浔	A17-7	泉州市清源山风景	A25-1	南阳西峡伏牛山	A33-1	广州长隆旅游度假区	A39-1	成都	A46	西安秦始	A53-1	喀什	A60
25	五台	A06	苏州吴江同里古	A13-3	宁波	A18	福州	A26	平顶山鲁山县尧	A33-2	深圳华侨城旅游度假	A39-2	成都青城	A46-1	西安华清	A53-2	喀什地区噶尔	A60-1
26	忻州五台山风景	A06-1	苏州吴中太湖旅	A13-4	舟山普陀山风景	A18-1	福州市三坊七巷景	A26-1	洛阳	A34	广州白云山景区	A39-3	阿坝藏族	A46-2	延安黄陵	A53-3	喀什地区泽普	A60-2
27	呼和浩特	A07	苏州常熟沙家浜	A13-5	宁波奉化溪口—滕	A18-2	南昌	A27	洛阳栾川县老君	A34-1	梅州市梅县区雁南	A39-4	绵阳北川	A46-3	西安大雁	A53-4		
28	鄂尔多斯达拉特	A07-1	苏州市金鸡湖国	A13-6	温州乐清市雁荡山	A18-3	吉安井冈山风景旅游	A27-1	洛阳新安县龙潭	A34-2	深圳观澜湖休闲旅游	A39-5	南充市阆	A46-4	渭南华阴	A53-5		
29	鄂尔多斯伊金霍	A07-2					鹰潭市贵溪龙虎山	A27-2	洛阳嵩县白云山	A34-3	清远连州地下河旅游	A39-6	广安市邓	A46-5	宝鸡扶风	A53-6		
30							赣州市瑞金市共和	A27-3	洛阳龙门石窟景	A34-4	韶关仁化丹霞景区	A39-7	广元市剑	A46-6				
31											惠州市罗浮山景区	A39-8						

备注：①其中 A###代表了景区编号（下页可以查找得到）；②部分路线经过人工优化处理；③一共 19 条线路，每条线路花费时间见下表 7.2；④经过计算总共花费时间为 9 年，即该北京市旅行爱好者游览完 5A 景区需要 9 年；⑤为了进一步说明该北京市旅游爱好者规划路线和行程，图 7.2 和表 7.3 给出了线路 7（交通方式：飞机和租车自驾）的具体行程路线及安排。每条线路的线路规划和行程安排，总年限和总费用见下表 7.2。

表 7.2 19 条路线花费时间和费用表

路线	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
总时间(天)	15	12	12.5	10	15	13	11	15	11	10
总费用(元)	9630	10710	9580	9020	11360	9650	8890	10760	10010	5200
路线	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
总时间(天)	10	12	14	12	13.5	11.5	12.5	12	13	总：9年
总费用(元)	10030	6940	7352	8547	7000	5460	3286	2668	7036	总 153219

可以从上表规划得到该北京市旅游爱好者需要 9 年时间遍游完 5A 景区，花费费用为 153219 元。

路线 1：总费用 12260 元（住宿费用 2800 元）；

北京 →（飞机：2630 元）→乌鲁木齐[4 天、费用 1200 元]（路线：A58-1, A58-2, A58-5, A58-3, A58-4）→（租车）→石河子[5 天、费用 1500 元]（路线：A59-1, A59-2）→（租车）→喀什[5 天、费用 1500 元] →乌鲁木齐→（飞机：2630 元）→北京。

路线 2：总费用 10710 元（住宿费用 2600 元）；

北京 →（飞机：2180 元）→昆明[3 天、费用 900 元]（路线：A50-1, A50-2）→（租车）→丽江[5 天、费用 1500 元]（路线：A51-3, A51-2, A51-1, A51-4）→（租车）→昆明→（飞机：1500 元）→拉萨[2 天、费用 1500 元]（路线：A52-1, A52-2）→（飞机：2930）→北京。

路线 3：总费用 9580 元（住宿费用 2700 元）；

北京 →（飞机：1980 元）→贵阳[4 天、费用 1200 元]（路线：A49-3, A49-2, A49-1, A49-4）→（租车）→南宁[1.5 天、费用 800 元]（路线：A42-1）→（租车）→桂林[2.5 天、费用 900 元]→（租车）→海口[1 天、费用 600 元]（路线：A43）→（租车）→三亚[2.5 天、费用 450 元]（路线：A44-1, A44-2, A44-3, A44-4, A44-5）→南宁→（飞机：2150 元）→北京。

路线 4：总费用 9020 元（住宿费用 2500 元）；

北京 →（飞机：1980 元）→广州[5 天、费用 1500 元]（路线：A39-1, A39-2, A39-5, A39-8, A39-4, A39-7, A39-6, A39-3）→（租车）→佛山[3 天、费用 900 元]（路线：A40-1, A40-2）→广州→（飞机：1910 元）→北京。

路线 5：总费用 11360 元（住宿费用 2900 元）；

北京 →（飞机：1680 元）→厦门[4 天、费用 1200 元]（路线：A23-1, A23-2）→（租车）→泉州[3 天、费用 900 元]（路线：A25-1）→（租车）→福州[4.5 天、费用 1500 元]（路线：A26-1）→（租车）→宁德[3 天、费用 1050 元]（路线：A24-1, A24-2, A24-3, A24-4）→（租车）→厦门→（飞机：1680 元）→北京。

路线 6：总费用 9650 元（住宿费用 2700 元）；

北京 →（飞机：550 元）→呼和浩特[3 天、费用 900 元]（路线：A07-1,

A07-2) → (飞机: 1500 元) → 哈尔滨[4 天、费用 1200 元] (路线: A10-1, A10-2) → (租车) → 五大连池[5 天、费用 1600 元] (路线: A11-1, A11-3, A11-2) → 哈尔滨 → (飞机: 1000 元) → 北京。

路线 7: 总费用 8890 元 (住宿费用 2700 元);

北京 → (飞机: 1470 元) → 沈阳[4 天、费用 1200 元] (路线: A08-2, A08-3, A08-4, A08-1) → (租车) → 长春[5.5 天、费用 1800 元] (路线: A09-1, A09-2, A09-3, A09-4) → (租车) → 沈阳 → (飞机: 1470 元) → 北京。

路线 8: 总费用 10760 元 (住宿费用 2700 元);

北京 → (飞机: 1690 元) → 成都[3 天、费用 900 元] (路线: A46-1, A46-3, A46-6, A46-4, A46-5) → (租车) → 乐山[3 天、费用 900 元] (路线: A47-1, A47-2) → (租车) → 阿坝[4 天、费用 1200 元] (路线: A48-1, A48-2) → 成都 → (飞机: 1180 元) → 西宁[3 天、费用 900 元] (路线: A57-1, A57-2) → (飞机: 1740 元) → 北京。

路线 9: 总费用 10010 元 (住宿费用 2400 元);

北京 → (飞机: 1390 元) → 兰州[3 天、费用 900 元] (路线: A55-1, A55-2) → (租车) → 嘉峪关[2 天、费用 600 元] (路线: A54-1, A54-2) → 兰州 → 银川[4 天、费用 840 元] (路线: A56-1, A56-3, A56-2, A56-4) → (飞机: 1180 元) → 北京。

路线 10: 总费用 7500 元 (住宿费用 2300 元);

北京 → (飞机: 1450 元) → 长沙[3.5 天、费用 1050 元] (路线: A38-5, A38-2, A38-1, A38-6, A38-4, A38-3) → (租车) → 张家界[4 天、费用 1200 元] (路线: A37-1) → 长沙 → (飞机: 1450 元) → 北京。

路线 11: 总费用 10030 元 (住宿费用 2400 元);

北京 → (飞机: 1650 元) → 重庆[7 天、费用 4350 元] (路线: A45-2, A45-4, A45-3, A45-5, A45-6) → (飞机: 1650 元) → 北京。

路线 12: 总费用 6940 元 (住宿费用 2600 元);

北京 → (高铁: 520 元) → 武汉[4 天、费用 3300 元] (路线: A35-1, A35-2, A35-3) → (租车) → 宜昌[7 天] (路线: A36-6, A36-1, A36-2, A36-3, A36-5, A36-4, A36-7, A36-8) → 武汉 → (高铁: 520 元) → 北京。

路线 13: 总费用 7352 元 (住宿费用 2800 元);

北京 → (高铁: 626 元) → 杭州[5.5 天、费用 3300 元] (路线: A17-1, A17-3, A17-7, A17-4, A17-6) → (租车) → 宁波[3 天] (路线: A18-1, A18-2, A18-3) → 绍兴[2.5 天] (路线: A19-1, A19-2) → 杭州 → (高铁: 626 元) → 北京。

路线 14: 总费用 8547 元 (住宿费用 2900 元);

北京 → (飞机: 427 元) → 合肥[2 天、费用 3000 元] (路线: A20-1) → (租车) → 黄山[3.5 天] (路线: A21-4, A21-1, A21-2, A21-3) → 安庆[4.5 天] (路线: A22-1, A22-3, A22-2) → 合肥 → (飞机: 980 元) → 上海[3 天] (路线: A12-3, A12-2, A12-1) → (飞机: 1240 元) → 北京。

路线 15: 总费用 7000 元 (住宿费用 2800 元);

北京 → (自驾: 427 元) → 天津[2 天、费用 4200 元] (路线: A02-1, A02-2) → (自驾) → 石家庄[3 天] (路线: A03-1, A03-2, A03-3) → 秦皇岛[3 天] (路线: A04-1, A04-2) → 太原[2 天] (路线: A05-1, A05-4, A05-2, A05-3, A05-5) → 五台[2.5 天] (路线: A06-1) → (自驾: 1240 元) → 北京。

路线 16: 总费用 5460 元 (住宿费用 2600 元);

北京 → (飞机: 1430 元) → 南昌[4 天、费用 3300 元] (路线: A27-1, A27-2, A27-3) → (租车) → 上饶[2.5 天] (路线: A29-1, A29-2) → 景德镇[3 天] (路线: A28-1, A28-2) → 南昌 → (飞机: 1430 元) → 北京。

路线 17: 总费用 3286 元 (住宿费用 2400 元);

北京 → (高铁: 443 元) → 南京[3 天、费用 2700 元] (路线: A16-1, A16-2, A16-3, A16-4) → (租车) → 苏州[5 天] (路线: A13-4, A13-1, A13-5, A13-6, A13-2, A13-3) → 南京[3 天] → (高铁: 443 元) → 北京。

路线 18: 总费用 2668 元 (住宿费用 2300 元);

北京 → (高铁: 184 元) → 济南[3 天、费用 2550 元] (路线: A31-1, A31-2, A31-3, A31-4, A35-3) → (租车) → 烟台[5 天] (路线: A30-3, A30-1, A30-4, A30-2) → 济南[3 天] → (高铁: 184 元) → 北京。

路线 19: 总费用 7036 元 (住宿费用 2500 元);

北京 → (高铁: 318 元) → 郑州[4 天、费用 3900 元] (路线: A32-1, A32-2, A32-3, A32-4) → (租车) → 洛阳[4.5 天] (路线: A34-3, A34-1, A34-2, A34-4) → 平顶山[4 天] → 郑州 → (高铁: 318 元) → 北京。

例子: (飞机+租车自驾) ①路线 7: 总费用 8890 元 (住宿费用 2700 元); 北京 → (飞机: 1470 元) → 沈阳[4 天、费用 1200 元] (路线: A08-2, A08-3, A08-4, A08-1) → (租车) → 长春[5.5 天、费用 1800 元] (路线: A09-1, A09-2, A09-3, A09-4) → (租车) → 沈阳 → (飞机: 1470 元) → 北京。

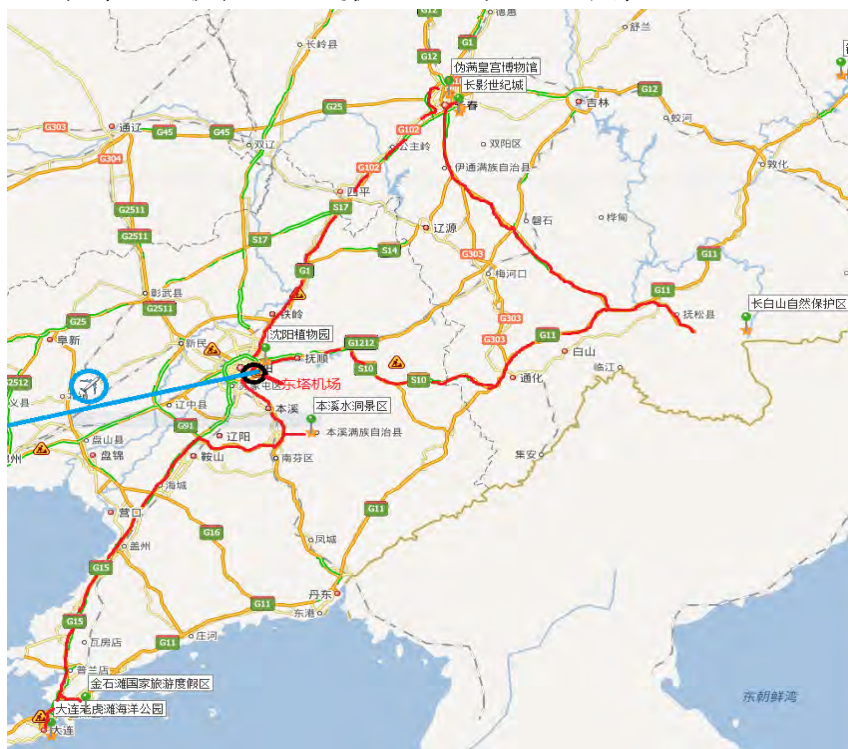


图 7.2 路线 7 (北京 → 沈阳 → 长春 → 沈阳 → 北京) 游览路线规划图

表 7.3 路线 7（北京 →沈阳→长春→沈阳→北京）游览路线规划表

	地区	地点	时间	花费(元)
出发地	北京			
出行方式	↓	飞机		1470
	↓	沈阳植物园		
游览景区	沈阳（租车自驾）	大连老虎滩海洋公园 大连金石滩景区	4 天	1200
	↓	本溪市本溪水洞景区		
出行方式	↓	租车自驾	2 小时内	
	↓	长白山景区		
游览景区	长春（租车自驾）	长春伪满皇宫博物馆 长春净月潭景区	5.5 天	1800
	↓	长春市长影世纪城景区		
出行方式	↓	飞机		1470
返回地	北京			
住宿费				2700
至少停留 24 小时			1~2 天	
总共			11 天	8890 元

综上得到了游览规划行程线路共 19 条，每条线路规划行程见上表，该北京市旅行爱好者游遍全部 5A 景区需要 9 年时间，花费费用为 153219 元。

7.4 基于结果对比分析的旅游建议

7.4.1 结果对比分析

首先，时间因素通常是最重要的影响因素，影响旅游线路规划的时间因素包括从出发地到目的地行进的时间、在目的地逗留的时间、住宿休息的时间以及由一些客观因素导致的冗余时间；其次，费用问题也是重要的影响因素之一，不同的旅游路线规划会产生不同的旅游花费，每个旅行者都希望使花费得到最大限度地利用，这就要求在尽可能满足旅游目的的前提下最好的节约费用；然后，旅游的体验感也不可忽略，体验感是旅者对线路规划优略的最直接感受，通常包含旅途产生的累积疲惫感最小、在观光景点逗留充足的时间等方面的因素；最后，选择合适的出行方式也会影响到旅游路线的规划，这种影响是间接的，出行方式的选择会影响到行程时间和行程费用，从而间接的对整个旅游线路规划的问题产生了比较大的影响。

前三问中涉及到的旅游线路规划的问题，就是对这四种因素从不同的角度入手进行考虑，通过本文前三问建立优化模型计算的结果分析，可以得到很多对旅游爱好者和旅游有关部门很有价值的结论，根据这些结论可以向旅游爱好者和旅游有关部分提出建设性的建议。

7.4.2 对旅游爱好者提出的建议

- (1) 合理安排路程，避免时间浪费

从第一问的建模计算和结果分析上来看,对于每个旅游爱好者来说,总的旅行时间和每年的旅游时间通常都是有限的,如何合理的进行旅行路线上时间的安排非常重要,因为从第一问的结果上来看,不同的线路规划造成总体的时间差别是非常大的。我们的建议是事先对目标城市进行分类,对同一类的目标城市采用最短路遍历的手段,同时要综合考虑一些其他的限制因素,对于不同类的目标城市最好在按照一定的区划分区,每次都在一个区域内选择目的地的最优组合,然后把区内的规划和类内的规划互相结合,通过这两个层次的规划通常就是最节省时间的规划。在进行规划的时候,要遵循一些基本的原则,例如尽量走两点间最短路,尽量少走重复路线等等^[6]。

(2) 综合考虑费用和旅游体验的因素,选择适当的交通工具

目前我国国内大中型城市间的交通通行情况已经相当便利,很多城市间都有高速公路、高速铁路和直通航班,不同的交通方式的使用成本不同。通常来说,对于长距离的路线飞机是比较经济的出行方式,同时能节省大量的时间,中程的路线高速铁路也是很好的选择,选择高速铁路会在同样成本的情况下比自驾节省更多的时间,而对于短程来说自驾出行也是不二之选,自驾出行经济便捷,不需要考虑目的地同机场或者车站的接驳问题。从问题二的结果上来看,不同交通方式的组合会导致最终旅行产生的实际花费和耗时有很大的差异,交通工具的选择对此产生了极大的影响。因此,旅行者应该根据旅行目的地的距离,再结合自身的经济情况,选择最适合自己的交通工具。

(3) 选择适当的景点,在景点逗留充足的时间

不同的旅游爱好者都有自己不同的旅行偏好,每个人都喜欢不同风格的景区,因此在选择旅游目的地上要做足功课,选择自己比较喜欢的景区,舍弃不适合自己的景区,同时在最感兴趣的景区预留出充足的逗留时间,而一般性的景区则只做常规性的旅游规划。在制定好每个目标景区所需逗留时间后,才可以更有效的进行合理的旅游线路规划,而且可以提升旅游体验度。

(4) 综合考虑各方面的因素,避免过多冗余的时间和花费

在进行线路的规划以及实际的旅行当中,由于种种的限制因素的影响,会产生一些冗余的时间,部分冗余时间又会导致一些冗余的花费。例如,问题一和问题二当中,由于考虑到行车安全性和驾驶员的疲劳等问题,有时不得不在某一地点留更多的时间,有时会因为过夜住宿而花费更多的钱。在旅游路线规划过程中,要充分的考虑各种因素,对旅行路线进行优化组合,以产生最少的时间和花费为目的,得到更加优化的路线规划。

7.4.3 对旅游有关部分提出的建议

(1) 做好景区与大中型城市或者交通枢纽的接驳

对于旅行者来说,通常从出发地出发采用某种交通工具抵达据目的地比较近的城市,然后再由该城市抵达景区,因此充分做好景区到重要交通枢纽以及交通站点的接驳非常重要,做好了这项工作,才可以充分利用高速公路、铁路以及航空的效率优势,这样才能提高客流效率和速度,从而提高景区的年平均客流量。采取的措施可以是设立城际或者城内的旅游专线,或者建立景区到交通枢纽的专用快速通道等。

(2) 优化景区信息平台,提供全面的信息和方便的线上预约系统

景区也要做好自己信息平台的建设工作,在自己的门户网站上为游客尽可能多的提供更多与景区相关的信息,例如交通路线、餐饮食宿价格等等。而且还要做好景区内部所有住宿、餐饮以及其他设施的线上预约系统,方便旅客在出行之

前提前制定自己在该景区内部的行程安排。做好了信息系统，可以方便旅游爱好者在出行之前，充分的考虑景区与其他地的交通信息、景区内部的食宿信息等重要参数，提前做好自己的线路规划和费用预算。

（3）地区级旅游相关部分为本地的旅游爱好者制定专业的线路规划

作为一个普通的旅游爱好者很难对旅游地的详细信息以及旅游线路的专业规划有一个很好的把握，因此各地的旅游相关部门如旅游局，可根据自己本地的特点，为本地的旅游爱好者制定一些详细专业的旅游线路规划，以供旅者查阅信息时参考选择。同时，相关部分也可鼓励组建专业的旅游咨询公司，专门为偏好自助出游的旅客提供专业的建议或者详细的线路规划。

八、问题四的模型建立与求解

8.1 问题四的分析

问题四给出了国家 5A 级旅游景区评定的相关信息和 4A 级景区的名单，要求在此基础上更合理的对西安的旅游爱好者制定十年旅游计划。附件 6 提到了 5A 级旅游景区评定获批历程，5A 级景区的评定是从 2007 年开始，有相当数量的景区的等级评定以及过去了相当长的时间，评定等级的有效性难以确定。而且随着时间的推移和 5A 级景区数量的增多，5A 级景区评定的标准会变得越来越严格，4A 级景区通过等级评定升格的难度越来越大，这就导致了评为 5A 时间较长的旅游景区同 4A 旅游景区难以加以比较，不能确定孰优孰劣。又加上部分 5A 景区今年已经被警告整改，说明完全用等级来评定一个旅游景区的好坏已经不科学。

这就要求必须建立一个评价模型，重新对所有的 5A 和 4A 级景区的优劣进行评定，评价指标从附件 6 中从评定的结果中筛选出排在前列的旅游景区作为十年旅游计划的目标城市，然后再根据前面问题中建立的模型进行求解，才能解除更为合理的十年旅游计划。

思路流程图如下：

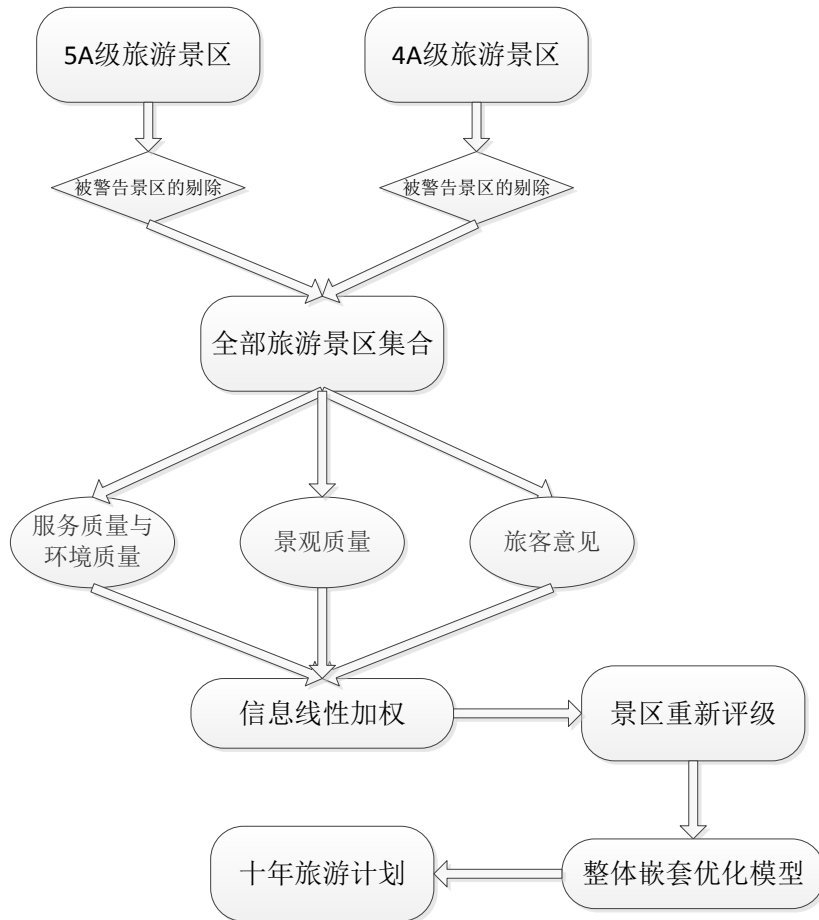


图 8.1 思路流程图

8.2 问题四数据的预处理

8.2.1 数据剔除

从附表 6 给出资料可以得到，有 9 个 5A 级景区已经被警告整改，2 个 4A 级景区已经被摘牌，这些景点可能会对游客的旅游体验感产生负面的影响，因此首先要对这些旅游景点采取剔除处理。具体剔除的景区如下表所示：

表 8.1 剔除数据列表

旅游景区	剔除原因	等级
河北省保定安新白洋淀景区	被警告整改	5A
山西忻州市五台山风景名胜区	被警告整改	5A
黑龙江哈尔滨市太阳岛公园	被警告整改	5A
江苏南京夫子庙秦淮风光带景区	被警告整改	5A
浙江杭州市千岛湖风景名胜区	被警告整改	5A
山东枣庄市台儿庄古城景区	被警告整改	5A
河南洛阳市龙潭大峡谷景区	被警告整改	5A
陕西渭南市华山景区	被警告整改	5A
广东清远市连州地下河旅游景区	被警告整改	5A
邢台临城丰乐园景区	被摘牌	4A
南昌宝葫芦农庄	被摘牌	4A

8.2.2 评价指标的建立

据国家 5A 级景区质量等级评定体系中制定的评定标准，将其中三大类评定标准作为本问中评价模型的评价指标，分别是服务质量与环境质量、景观质量和游客意见。其中服务质量与环境质量又包含旅游交通、游览、旅游安全、卫生、邮电服务、旅游购物、综合管理和资源与环境保护 8 项；景观质量由资源吸引力和市场影响力 2 项构成；游客意见则由 16 项综合意见和总体印象构成。具体的分值构成情况如下图所示：



图 8.2 评价指标构成图

则依次记上述评价指标为 x_1, x_2, x_3 ，并引入指标向量 $x = (x_1, x_2, x_3)$ 。基于以上评价指标，从收集到的历年《中国旅游统计年鉴》和各地方的旅游统计年鉴上的数据，得出并整理了部分景区的各项指标的分值如下表所示：

表 8.2 部分景区各项指标的分值情况表

指标	九寨沟	故宫博物院	苏州园林	五大连池	刘公岛	武威沙漠公园	格尔木昆仑	滚钟口	固原博物馆	库车王府	
服务质量与 环境 质量	旅游交通	128	128	126	125	125	120	122	117	120	115
	游览	232	232	231	228	230	202	215	225	221	216
	旅游安全	78	80	80	77	75	70	65	64	78	78
	卫生	138	140	137	136	135	122	124	128	124	130
	邮电服务	20	20	20	19	18	18	19	19	18	19
	旅游购物	45	47	45	46	47	46	43	45	43	41
	综合管理	190	185	188	186	189	175	179	163	168	169
	环境保护	142	143	140	138	141	140	138	132	130	138
	总计	973	975	967	955	960	893	905	893	902	906
	景观 质量	资源吸引力	64	62	64	60	59	54	51	55	54
市场影响力		32	33	33	32	32	25	27	24	27	25
总计		96	95	97	92	91	79	78	79	81	77
游客 意见	总体印象	20	20	20	17	16	12	15	15	13	16
	其他意见	78	79	78	76	75	63	67	63	67	70
	总计	98	99	98	93	91	75	82	78	80	86

8.2.3 评价指标的归一化处理

为了避免所选取的评价指标存在不可公度性,本问中评价模型选取的评价指标就存在数量级上的差异,因此在综合评价模型建立之前,先对指标数据进行规范化处理。本文采用的方法极差化法,在此假设所选取的指标值均已做了类型一致化处理^[7]。

设共有 n 个被评价对象,则评价指标为 $x_{ij} (i=1,2,\dots,n; j=1,2,3)$, 令

$$M_j = \max \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\} \quad (8-1)$$

$$m_j = \min \{x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj}\} \quad (8-2)$$

则归一化后的指标为

$$x_{ij}^* = \frac{x_{ij} - m_j}{M_j - m_j} \in [0,1] \quad (i=1,2,\dots,n; j=1,2,3) \quad (8-3)$$

式中, x_{ij}^* 为评价指标的归一化值, i 代表评价对象个数, j 代表评价指标个数。

8.3 问题四模型建立（秩和比综合评价法）

8.3.1 原理

秩和比综合评价法基本原理是在一个 n 行 m 列矩阵中，通过秩转换，获得无量纲统计量 RSR。在此基础上，运用参数统计分析的概念与方法，研究 RSR 的分布，以 RSR 值对评价对象的优劣直接排序或者分档排序。从而对评价对象做出综合评价^[8]。

8.3.2 样本秩

设 x_1, x_2, \dots, x_n 是从一元总体抽取的容量为 n 的样本，其从小到大顺序统计量是 $x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}$ ，若 $x_i = x_{(k)}$ ，则称 k 是 x_i 在样本中的秩，记作 R_i 。对每一个 $i=1, 2, \dots, n$ ，称 R_i 是第 i 个秩统计量。 R_1, R_2, \dots, R_n 总称为秩统计量。

8.3.3 步骤

a、编秩

将 n 个评价对象的 m 个评价指标排列成 n 行 m 列的原始数据表，编出每个指标各评价对象的秩，其中效益性指标从小到大编秩，成本型指标从大到小编秩，同一指标数据相同者编平均秩，得到的秩矩阵记为 $R = (R_{ij})_{n \times m}$ 。

b、计算秩和比（RSR）

根据公式

$$RSR_i = \frac{1}{mn} \mathring{a} \sum_{j=1}^m R_{ij} \quad (8-4)$$

计算秩和比。当各评价指标的权重不同时，计算加权秩和比（WRSR），其计算公式为

$$WRSR_i = \frac{1}{n} \mathring{a} \sum_{j=1}^m w_j R_{ij} \quad (8-5)$$

$$\mathring{a} \sum_{j=1}^m w_j = 1 \quad (8-6)$$

其中： w_j 为第 j 个评价指标的权重。

c、计算概率单位

编制 RSR(或 WRSR) 频率分布表，列出各组频数 f_i ，计算各组累积频数 cf_i ，计算累积频率 $p_i = cf_i / n$ ，将 p_i 转换为频率单位 Probit _{i} ，Probit _{i} 为标准正态分布的 p_i 分位数加 5。

d、计算直线回归方程

以累积频率所对应的概率单位 Probit _{i} 为自变量，以 RSR _{i} (或 WRSR _{i}) 值为自变量，计算直线回归方程，即

$$RSR(WRSR) = a + b \hat{\text{Probit}} \quad (8-7)$$

8.3.4 信息量权数法

这种权数的设计思想是：评价指标是用来区分各被评价对象的，如果某指标

数值能明确地区分开各被评价对象,则说明该指标数值在这项评价上分辨信息量比较丰富;反过来,若某项指标数值在各被评价对象上都相同,那么,这项指标就无助于区分各被评价对象,就不具备什么分辨信息,在评价中就该淘汰,也就应将这项指标权数定为零。

对于服务质量与环境质量、景观质量和游客意见三个指标,这一类数据的权重则可采用上述方法确定。

设指标体系包含 m 个指标 x_1, x_2, x_3 ; 有 n 个被评价单位。求得各指标的均数 \bar{x}_i 与标准差 S_i , 则各指标变异系数为

$$CV_i = S_i / \bar{x}_i (i=1,2,3) \quad (8-8)$$

将 CV_i 归一化处理, 即得各指标的信息量权数

$$W_i = CV_i / \sum_{i=1}^m CV_i (i=1,2,3) \quad (8-9)$$

式中 W_i 即为各个指标的权重。

服务质量与环境质量、景观质量和游客意见这三个评价指标的合理性打分值为:

$$K_i = \sum_{i=1}^8 W_i x_i \quad (8-10)$$

从而可以对各个旅游景区进行评价,数值越大旅游景区越好,反之数值越小则旅游景区越差。

8.4 基于景区评价模型的十年旅游规划

在得出了上述 5A 级和 4A 级景区重新评价结果的基础上,筛选出排在前 201 的景区,作为该旅游爱好者制定更为合理的十年规划的目标景区。将筛选出的结果利用问题二中基于费用最优和旅游体验最佳的 0-1 整数规划模型求解,解出的结果就是本问所要求的考虑 5A 级旅游景区和 4A 级旅游景区重新进行评价的基础上,得到更为合理的未来 10 年的旅游线路规划。

九、模型的评价与推广

9.1 模型的评价

本文是在多条件约束下规划了旅游爱好者遍历全国 201 个 5A 级景区的路线。分别建立了绑定区域内优化模型和全局区域嵌套优化模型，并采用分区搜索的模拟退火算法对模型进行求解，可以更加准确迅速的获得模型优化结果。其次，提出了运用秩和比综合评价法和信息量权重法综合评价法对全国所有 5A 景区和 4A 景区进行评价排序，获取最佳的 201 个景区，然后再运用基于 0-1 规划的费用最优模型进行十年旅游路线规划。

针对问题一，在规划年数最短的旅游路线时，全面考虑到了行车时间、全天游览、半天游览、行车时速、每次旅游的天数最大值等一系列条件的限制。同时，还运用了合理的景点分区方法，对模型进行了简化，大大降低了模型的计算量；

针对问题二，在对规划费用最优、旅游体验最好的十年旅游计划时，不仅问题一中的所有条件，而且考虑到乘坐飞机和高铁、租车自驾以及住宿等对规划结果的影响，同时还将费用最优、旅游体验最好这个双目标规划模型合理地转化成单目标问题进行建模求解，减小了建模和求解的工作量；

针对问题三，在第二问模型的基础进行全国范围内的推广，我们除了考虑问题二中旅游爱好者规划旅行的所有条件外，还考虑到了对于自驾旅游爱好者在规划旅游路线时应该尽可能多的采用自驾方式，增加了模型的约束条件，使得结果更加合理；

针对问题四，该问是在前三问基础上的一个拓展，景区数量在原先的基础上又增加了所有的 4A 景区，旅游爱好者不可能在十年之内游遍所有景区。为了给旅游爱好者规划一个合理的十年计划，在规划路线之前，先采用了秩和比综合评价法和信息量权重法综合评价法获取所有景区中最佳的 201 个景区。

不足之处：由于本文要求搜索的景区及省会之间行程的信息量很大，搜集到的数据难免有缺失或错误，只能通过经纬度转化等方法对数据进行补充及修正。订正的数据可能和实际数据存在一定的差距，所以导致最后获得的结果可能存在微小的误差。

9.2 模型的推广

在实际应用中，限制我们规划旅游爱好者的旅游路线的条件远不止本题中所涉及的这些，这时我们可以将有些条件引入到数据处理过程中，另外一些不能在数据处理阶段被考虑的的条件可以参数化，列入模型的约束条件中，这样得到一个比较准确的结果。

十、参考文献

- [1] 姜启源等编, 数学建模案例选集[M](第 1 版), 北京, 高等教育出版社, 2006. 1.
- [2] 姜启源等编, 数学模型[M](第 3 版), 北京, 高等教育出版社, 2003. 8.
- [3] 谢金星等编, 优化建模与 LINDO/LINGO 软件, 北京, 清华大学出版社, 2005. 7.
- [4] 金键, 驾驶疲劳机理及馈选模式研究[D], 成都, 西南交通大学学位论文, U493. 31:656, 15-20 页, 2002.
- [5] 郭为等, 旅游规划: 走向科学实证与概念创意的融合[J], 旅游学刊, 2008 (07) .
- [6] 吴承照, 中国旅游规划 30 年回顾与展望[J], 旅游学刊, 2009 (01) .
- [7] 韩中庚编, 数学建模方法及其应用[M], 北京, 高等教育出版社, 2005. 6.
- [8] 陈光亭等编, 数学建模[M], 北京, 高等教育出版社, 2014. 1.

十一、附录

附录清单

问题一的附录：

- 11.1.1 各地区景点经纬度坐标表
- 11.1.2 部分城市距离矩阵表
- 11.1.3 模型 I MATLAB 程序
- 11.1.4 模型 II MATLAB 程序
- 11.1.5 区域模型线路规划图

问题二的附录：

- 11.2.1 景区游览时间增加情况表
- 11.2.2 问题 2 的 LINGO 程序

问题三的附录：

- 11.3.1 问题 3 的 LINGO 程序
- 11.3.2 问题 3 的线路规划表

问题四的附录：

- 11.4.1 问题 4 的秩和比程序

附录正文

11.1.1 各地区景点经纬度坐标表

省份	名称	坐标	
北京	故宫博物院	116.40357	39.91927
	天坛公园	116.417003	39.886474
	颐和园	116.27487	39.998473
	八达岭—慕田峪长城旅游区	116.016033	40.364229
	明十三陵景区	116.227301	40.255038
	恭王府景区	116.392861	39.941954
	北京奥林匹克公园	116.399967	40.004166
天津	天津古文化街旅游区	117.198268	39.149532
	天津蓟县盘山风景名胜区	117.274085	40.089088
河北	承德避暑山庄及周围寺庙景区	117.947016	40.990196
	秦皇岛山海关景区	119.763847	40.013561
	保定安新白洋淀景区	115.973929	38.947949
	保定涞水县野三坡景区	115.440379	39.676162
	石家庄平山县西柏坡景区	113.960951	38.359704
山西	大同云冈石窟	113.139459	40.117185
	忻州五台山风景名胜区	113.596375	38.98439
	晋城阳城县皇城相府生态文化旅游区	112.588732	35.519609
	晋中市介休市绵山风景名胜区	111.998802	36.873971
	晋中市乔家大院文化园区	112.446017	37.411224
	晋中市平遥县平遥古城景区	112.190081	37.21041
内蒙古	鄂尔多斯达拉特旗响沙湾旅游景区	109.958322	40.249725
	鄂尔多斯伊金霍洛旗成吉思汗陵旅游区	109.834573	39.369816

辽宁	沈阳植物园	123.660821	41.871651
	大连老虎滩海洋公园—老虎滩极地馆	121.684126	38.882397
	大连金石滩景区	122.012502	39.091863
	本溪市本溪水洞景区	124.090355	41.308561
吉林	长白山景区	126.570167	43.849089
	长春伪满皇宫博物馆	125.355504	43.910579
	长春净月潭景区	125.465022	43.80385
	长春市长影世纪城景区	125.453308	43.779394
黑龙江	哈尔滨太阳岛景区	126.603014	45.797857
	黑河五大连池景区	126.160213	48.659875
	牡丹江宁安市镜泊湖景区	128.973949	44.049883
	伊春市汤旺河林海奇石景区	129.464252	48.467367
	大兴安岭地区漠河北极村旅游景区	122.361901	53.467054
上海	东方明珠广播电视塔	121.50626	31.245369
	上海野生动物园	121.723586	31.05928
	上海科技馆	121.54785	31.224219
江苏	苏州园林	120.625548	31.329431
	苏州昆山周庄古镇景区	120.858204	31.120704
	南京钟山—中山陵风景名胜區	118.861055	32.070422
	中央电视台无锡影视基地三国水浒城景区	120.24477	31.489975
	无锡灵山大佛景区	120.102223	31.436611
	苏州吴江同里古镇景区	120.725982	31.161858
	南京夫子庙—秦淮河风光带	118.795398	32.02697
	常州环球恐龙城景区	120.007872	31.829972
	扬州瘦西湖风景区	119.433241	32.408033
	南通市濠河风景区	120.863695	32.027965
	泰州姜堰区溱湖国家湿地公园	120.090103	32.621291
	苏州市金鸡湖国家商务旅游示范区	120.714024	31.317076
	镇江三山风景名胜區	119.399566	32.219891
	无锡鼋头渚景区	120.233462	31.531296
	苏州吴中太湖旅游区	120.450245	31.226369
	苏州常熟沙家浜—虞山尚湖旅游区	120.807985	31.559447
	常州溧阳市天目湖景区	119.452306	31.324063
	镇江句容茅山景区	119.30566	31.796749
	淮安市周恩来故里景区	119.149233	33.513285
	浙江	杭州西湖风景区	120.139058
温州乐清市雁荡山风景区		121.074048	28.378688
舟山普陀山风景区		122.38611	29.98092
杭州淳安千岛湖风景区		119.016777	29.593633
嘉兴桐乡乌镇古镇旅游区		120.494407	30.75454
宁波奉化溪口—滕头旅游景区		121.396785	29.706419
金华东阳横店影视城景区		120.369808	29.163553
嘉兴南湖旅游区		120.77099	30.747859

	杭州西溪湿地旅游区	120.074007	30.274621
	绍兴市鲁迅故里—沈园景区	120.592635	29.998539
	衢州市开化根宫佛国文化旅游区	118.400332	29.139154
	湖州市南浔区南浔古镇景区	120.437514	30.874776
安徽	黄山市黄山风景区	118.176924	30.134073
	池州青阳县九华山风景区	117.805714	30.550854
	安庆潜山县天柱山风景区	116.5739	30.642681
	黄山市黟县皖南古村落—西递宏村	118.193883	30.098264
	六安市金寨县天堂寨旅游景区	115.787575	31.136299
	宣城市绩溪县龙川景区	118.674492	30.081468
	阜阳市颍上县八里河风景区	116.300423	32.574582
	黄山市古徽州文化旅游区	118.308664	29.863671
福建	厦门鼓浪屿风景名胜区	118.079906	24.45273
	南平武夷山风景名胜区	117.98482	27.647245
	三明泰宁风景旅游区	117.108374	26.869937
	福建土楼（永定·南靖）旅游景区	116.99049	24.668655
	宁德屏南（白水洋·鸳鸯溪）旅游景区	119.082876	27.09868
	泉州市清源山风景名胜区	118.608168	24.949825
	宁德市福鼎太姥山旅游区	120.199581	27.107982
	福州市三坊七巷景区	119.303749	26.086185
江西	九江庐山风景名胜区	116.051022	29.69867
	吉安井冈山风景旅游区	114.176209	26.571606
	上饶三清山旅游景区	118.075981	28.915377
	鹰潭市贵溪龙虎山风景名胜区	116.987641	28.123592
	上饶婺源县江湾景区	118.058037	29.373708
	景德镇古窑民俗博览区	117.190701	29.289478
	赣州市瑞金市共和国摇篮景区	116.076083	25.908007
山东	泰安泰山景区	117.110886	36.213385
	烟台蓬莱阁—三仙山—八仙过海旅游区	120.76022	37.833355
	济宁曲阜明故城三孔旅游区	116.998941	35.597525
	青岛崂山景区	120.6136	36.127996
	威海刘公岛景区	122.197255	37.511214
	烟台龙口南山景区	120.481974	37.572253
	枣庄台儿庄古城景区	117.732507	34.56167
	济南天下第一泉景区	117.022975	36.678402
	山东沂蒙山旅游区	117.982011	35.566578
河南	郑州登封嵩山少林景区	112.947675	34.51523
	洛阳龙门石窟景区	112.479566	34.564212
	焦作(云台山—神农山—青天河)风景区	113.385754	35.420846
	安阳殷墟景区	114.331536	36.12597
	洛阳嵩县白云山景区	111.853424	33.686001
	开封清明上河园景区	114.346501	34.813559
	平顶山鲁山县尧山—中原大佛景区	112.463543	33.779757

	洛阳栾川县老君山—鸡冠洞旅游区	111.574703	33.793566
	洛阳新安县龙潭大峡谷景区	112.022289	34.980692
	南阳西峡伏牛山老界岭·恐龙遗址园旅游区	111.837109	33.641786
湖北	武汉黄鹤楼公园	114.311155	30.549159
	宜昌三峡大坝旅游区	111.059414	30.841024
	宜昌三峡人家风景区	111.167699	30.786011
	十堰丹江口市武当山风景区	111.015329	32.402401
	恩施土家族苗族自治州巴东神龙溪纤夫文化旅游区	110.338558	31.045457
	神农架生态旅游区	110.458717	31.70156
	宜昌长阳县清江画廊景区	111.146757	30.470379
	武汉市东湖景区	114.402477	30.57273
	宜昌秭归县屈原故里文化旅游区	110.992628	30.830342
	武汉市黄陂木兰文化生态旅游区	114.263085	31.18663
	恩施土家族苗族自治州恩施大峡谷景区	109.179722	30.47118
	湖南	张家界武陵源—天门山旅游区	110.487993
衡阳南岳衡山旅游区		112.741952	27.24346
湘潭韶山旅游区		112.526604	27.91507
岳阳岳阳楼—君山岛景区		113.014635	29.356435
长沙岳麓山—橘子洲旅游区		112.962935	28.204336
长沙市宁乡县花明楼景区		112.651541	28.037708
郴州市东江湖旅游区		113.272037	25.939429
广东	广州长隆旅游度假区	113.337892	23.002646
	深圳华侨城旅游度假区	114.130527	22.546727
	广州白云山景区	113.306262	23.191472
	梅州市梅县区雁南飞茶田景区	116.374316	24.388603
	深圳观澜湖休闲旅游区	114.082141	22.740869
	清远连州地下河旅游景区	112.33077	25.008823
	韶关仁化丹霞山景区	113.767618	25.051957
	佛山西樵山景区	112.984168	22.932411
	惠州市罗浮山景区	114.072244	23.265504
	佛山市德顺区长鹿旅游休博园	113.294206	22.883549
广西	桂林漓江风景区	110.438282	25.153169
	桂林兴安县乐满地度假世界	110.682101	25.588829
	桂林独秀峰·靖江王城景区	110.305678	25.289462
	南宁市青秀山旅游区	108.395117	22.79308
海南	三亚南山文化旅游区	109.219445	18.312013
	三亚南山大小洞天旅游区	109.186963	18.307148
	保亭县呀诺达雨林文化旅游区	109.669856	18.449693
	陵水县分界洲岛旅游区	110.206451	18.582197
	保亭县海南槟榔谷黎苗文化旅游区	109.667457	18.403638
重庆	大足石刻景区	105.716678	29.718935
	巫山小三峡—小小三峡旅游区	109.871396	31.227299
	武隆喀斯特旅游区	107.773314	29.423324

	酉阳桃花源旅游景区	108.770241	28.859621
	万盛黑山谷-龙鳞石海风景区	107.008268	28.894072
	南川金佛山-神龙峡风景区	107.207362	29.104603
四川	成都青城山-都江堰旅游景区	103.620123	31.006855
	乐山峨眉山景区	103.342028	29.522827
	阿坝藏族羌族自治州九寨沟景区	103.928015	33.271447
	乐山乐山大佛景区	103.779093	29.550402
	阿坝藏族羌族自治州松潘县黄龙风景名胜	103.83014	32.754781
	绵阳北川羌城旅游区	104.45982	31.614307
	阿坝藏族羌族自治州汶川特别旅游区	103.425936	30.937629
	南充市阆中古城旅游景区	105.963732	31.571861
	广安市邓小平故里旅游区	106.643774	30.524531
	广元市剑门蜀道剑门关旅游景区	105.857136	32.432325
	贵州	安顺镇宁县黄果树瀑布景区	105.676445
安顺龙宫景区		105.895189	26.098328
毕节市百里杜鹃景区		105.941117	27.18131
黔南布依族苗族自治州荔波樟江景区		107.953577	25.484112
云南	昆明石林风景区	103.332585	24.823046
	丽江玉龙雪山景区	100.270093	27.034011
	丽江古城景区	100.240547	26.881159
	大理崇圣寺三塔文化旅游区	100.147435	25.709284
	中科院西双版纳热带植物园	101.260734	21.93401
	迪庆藏族自治州香格里拉普达措国家公园	99.91451	27.807468
西藏	拉萨布达拉宫景区	91.124882	29.661235
	拉萨大昭寺景区	91.140376	29.656057
陕西	西安秦始皇兵马俑博物馆	109.291934	34.39444
	西安华清池景区	109.22009	34.370398
	延安黄陵县黄帝陵景区	109.280487	35.587062
	西安大雁塔-大唐芙蓉园景区	108.980379	34.218454
	渭南华阴市华山风景区	110.088712	34.532242
	宝鸡扶风县法门寺佛文化景区	107.911678	34.439422
甘肃	嘉峪关文物景区	98.227809	39.811616
	平凉崆峒山风景名胜	106.531725	35.562835
	天水麦积山景区	106.014813	34.356534
	酒泉市敦煌沙山月牙泉景区	94.68349	40.099644
宁夏	石嘴山平罗县沙湖旅游景区	106.370657	38.830482
	中卫沙坡头旅游景区	105.010609	37.47778
	银川镇北堡西部影视城	106.076956	38.620724
	银川市灵武水洞沟旅游区	106.42246	38.352453
青海	青海湖风景区	99.864262	36.990075
	西宁市湟中县塔尔寺景区	101.576298	36.494459
新疆	昌吉州阜康市天山天池风景名胜	88.139294	43.894016
	吐鲁番葡萄沟风景区	89.225201	42.977191

	阿勒泰地区布尔津县喀纳斯景区	87.152188	48.49875
	伊犁地区新源县那拉提旅游风景区	84.172118	43.314009
	阿勒泰地区富蕴县可可托海景区	89.877627	47.217401
	喀什地区泽普县金胡杨景区	84.883754	45.609998
	乌鲁木齐天山大峡谷	87.382364	43.43729
	巴音郭楞蒙古自治州博湖县博斯腾湖景区	86.761691	41.9721
	喀什地区噶尔老城景区	75.999667	39.483268

11.1.2 部分城市距离矩阵表

Km	北京	天津	石家庄	秦皇岛	太原	五台	呼和浩特	沈阳	长春	哈尔滨	五大连池
北京	0	132	335	305	530	470	516	722	998	1221	1457
天津	132	0	337	229	552	511	620	690	992	1234	1499
石家庄	335	337	0	563	217	198	444	1027	1322	1553	1790
秦皇岛	305	229	563	0	780	739	820	472	789	1045	1342
太原	530	552	217	780	0	94	404	1240	1527	1750	1967
五台	470	511	198	739	94	0	317	1188	1466	1681	1888
呼和浩特	516	620	444	820	404	317	0	1199	1424	1599	1745
沈阳	722	690	1027	472	1240	1188	1199	0	335	608	958
长春	998	992	1322	789	1527	1466	1424	335	0	277	651
哈尔滨	1221	1234	1553	1045	1750	1681	1599	608	277	0	393
五大连池	1457	1499	1790	1342	1967	1888	1745	958	651	393	0

11.1.3 模型 I MATLAB 程序

```

clc,clear
d=load('景区相关信息.txt');
for ii=1:length(ddd)
n=length(d(:,1));
S0=[];
Sum=inf;
rand('state',sum(clock));
for j=1:8000
    S=[1,1+randperm(n-2),n];
    temp=0;
    for i=1:n-1

```

```

        temp=temp+d(S(i),S(i+1));
    end
    if temp<Sum
        S0=S;
        Sum=temp;
    end
end

e=0.1^30;L=20000;at=0.999;T=1;
%退火过程
for k=1:L
    %产生新解
    c=2+floor((n-2)*rand(1,2));
    c=sort(c);
    c1=c(1);c2=c(2);
    %计算代价函数值
    df=d(S0(c1-1),S0(c2))+d(S0(c1),S0(c2+1))-d(S0(c1-1),S0(c1))-d(S0(c2),S0(c2+1));
    %接受准则
    if df<0
        S0=[S0(1:c1-1),S0(c2:-1:c1),S0(c2+1:n)];
        Sum=Sum+df;
    elseif exp(-df/T)>rand(1)
        S0=[S0(1:c1-1),S0(c2:-1:c1),S0(c2+1:n)];
        Sum=Sum+df;
    end
    T=T*at;
    if T<e break;
end
end
%%输出排列顺序和时间
S0,Sum

```

11.1.4 模型 II MATLAB 程序

```

cd C:\Users\Administrator\Desktop
dddd=load('景区相关信息.txt');
xx=[dddd(53,4);dddd(:,4);dddd(53,4)];
yy=[dddd(53,3);dddd(:,3);dddd(53,3)];
S_liu=dddd(:,2);
for ijn=1:length(xx)

```

```

for ijm=1:length(yy)

DD(ijn,ijm)=6370*acos(cos(xx(ijn)*pi/180-xx(ijm)*pi/180)*cos(yy(ijn)*pi/180)*cos(yy(ijm)*pi/
180)+sin(yy(ijn)*pi/180)*sin(yy(ijm)*pi/180));
end
end
dd=1.2*real(DD);
%%%%%%%%dd=load('.txt');    %%点距离矩阵  两端西安
%%%%%%%%dd=[1 2 3 4 5;1 2 3 4 5;1 2 3 4 5;1 2 3 4 5;1 2 3 4 5];
%%%%%%%%%S_liu=[11 22 33 44 55 66];          %%%城市停留矩阵（一维矩阵） 不包括西安
nnn=1:length(S_liu);          %%%城市编号
pl=nchoosek(nnn,2);          %%城市排列组合  不包括西安
for ii=1:length(pl(:,1))
pp=pl(ii,:)+1;
ppp=[1,pp,length(dd)];
d=dd(ppp,ppp);    %%提出点距离矩阵
n=length(d(:,1));
S0=[];
Sum=inf;
rand('state',sum(clock));
for j=1:8000
    S=[1,1+randperm(n-2),n];
    temp=0;
    for i=1:n-1
        temp=temp+d(S(i),S(i+1));
    end
    if temp<Sum
        S0=S;
        Sum=temp;
    end
end
end

e=0.1^30;L=20000;at=0.999;T=1;
%退火过程
for k=1:L
    %产生新解
    c=2+floor((n-2)*rand(1,2));
    c=sort(c);
    c1=c(1);c2=c(2);
    %计算代价函数值
    df=d(S0(c1-1),S0(c2))+d(S0(c1),S0(c2+1))-d(S0(c1-1),S0(c1))-d(S0(c2),S0(c2+1));
    %接受准则
    if df<0
        S0=[S0(1:c1-1),S0(c2:-1:c1),S0(c2+1:n)];
    end
end

```

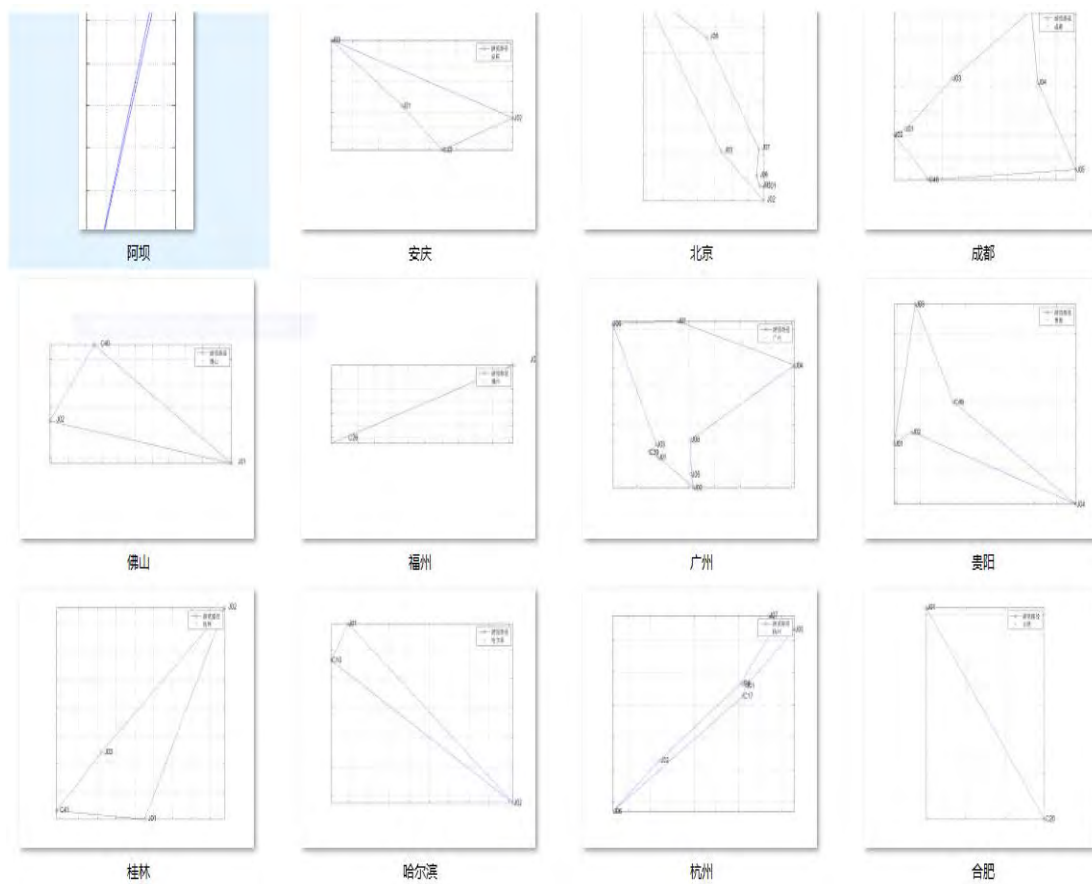
```

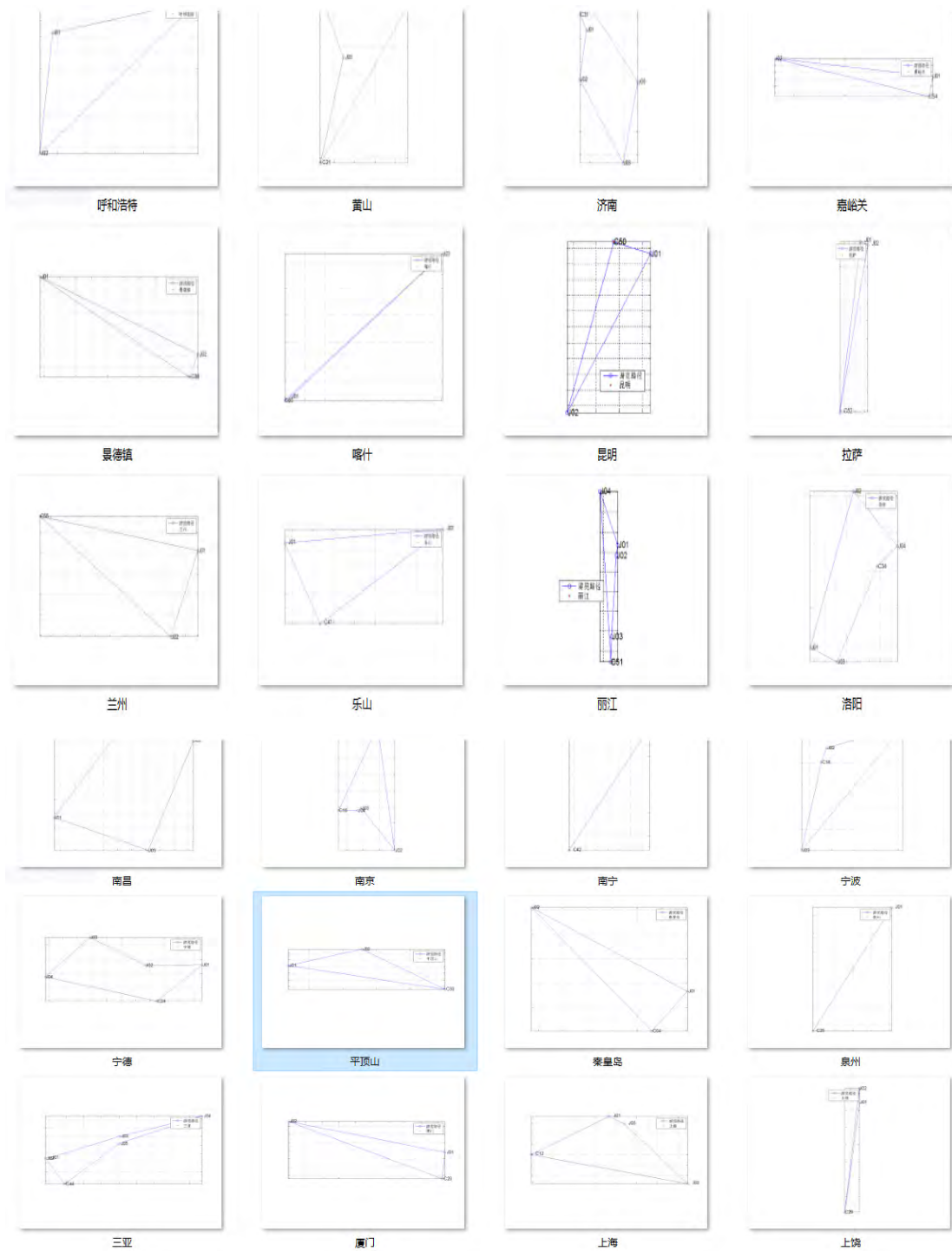
Sum=Sum+df;
elseif exp(-df/T)>rand(1)
    S0=[S0(1:c1-1),S0(c2:-1:c1),S0(c2+1:n)];
    Sum=Sum+df;
end
T=T*at;
if T<e break;
end
end

% 输出路径及路径长度
SSS0(ii,:)=S0;
SSSum(ii,1)=Sum;
Ppl=pl(ii,:);
city_time=sum(S_liu(Ppl));
city_totalltime(ii,1)=Sum./(90*8)+city_time;    %%%总时间
S_S0=S0(2:length(ppp))-1
SSS0_sx(ii,:)=Ppl(S_S0);    %%%顺序
end

```

11.1.5 区域模型线路规划图





11.2.1 景区游览时间增加情况表

景区	景区排名	最少逗留时间	增加后逗留时间
九寨沟景区	2	1天	2天
峨眉山景区	32	1天	1.5天
丽江古城景区	5	0.5天	1天
张家界景区	8	2天	3天
中原大佛景区	112	1天	1天
邓小平故里	151	0.5天	0.5天

11.2.2 问题 2 的 LINGO 程序

```

MODEL:
SETS:
    STATION/1..31/: JL,T,a,E;
    STEP1/1..8/;    STEP2/1..10/;    STEP3/1..13/;
    LINE1( STEP1, STATION): X1;
    LINE2( STEP2, STATION): X2;
    LINE3( STEP3, STATION): X3;
    LINKS(STATION,STATION):C,b;
ENDSETS
DATA:
    JL=;
    a=
    T=;
    E=
    C=;
    B=;
ENDDATA
    @FOR( LINE1 : @BIN( X1)); @FOR( LINE2 : @BIN( X2)); @FOR( LINE3 :
@BIN( X3));
    M1=@SIZE(STEP1); M2=@SIZE(STEP2); M3=@SIZE(STEP3);
    @FOR(STATION(I): @SUM(STEP1(N): X1(N,I))+@SUM(STEP2(N):
X2(N,I))+@SUM(STEP3(N): X3(N,I)) = 1);
    @FOR(STEP1(N):@SUM(STATION(I):X1(N,I)=1);
    @FOR(STEP2(N):@SUM(STATION(I):X2(N,I)=1);
    @FOR(STEP3(N):@SUM(STATION(I):X3(N,I)=1);
    L1=@SUM(STATION(I):(X1(1,I)+X1(M1,I))*JL(I));
    L2=@SUM(STATION(I):(X2(1,I)+X2(M2,I))*JL(I));
    L3=@SUM(STATION(I):(X3(1,I)+X3(M3,I))*JL(I));
    H1=@SUM(STEP1(N)|N#LT#M1:@SUM(LINKS(I,J):C(I,J)*X1(N,I)*X1(N+1,J)));
    H2=@SUM(STEP2(N)|N#LT#M2:@SUM(LINKS(I,J):C(I,J)*X2(N,I)*X2(N+1,J)));
    H3=@SUM(STEP3(N)|N#LT#M3:@SUM(LINKS(I,J):C(I,J)*X3(N,I)*X3(N+1,J)));
    L1+H1+@SUM(STATION(I):X1(1,I) *T(I))<=15; L2+H2+@SUM(STATION(I):X2(1,I)
*T(I))<=15; L3+H3+@SUM(STATION(I):X3(1,I) *T(I))<=15;
    A1=@SUM(STATION(I):(X1(1,I)+X1(M1,I))*a(I));
    A2=@SUM(STATION(I):(X2(1,I)+X2(M2,I))*a(I));
    A3=@SUM(STATION(I):(X3(1,I)+X3(M3,I))*a(I));
    B1=@SUM(STEP1(N)|N#LT#M1:@SUM(LINKS(I,J):b(I,J)*X1(N,I)*X1(N+1,J)));

```



```

B2=@SUM(STEP2(N)|N#LT#M2:@SUM(LINKS(I,J):b(I,J)*X2(N,I)*X2(N+1,J)));
B3=@SUM(STEP3(N)|N#LT#M3:@SUM(LINKS(I,J):b(I,J)*X3(N,I)*X3(N+1,J)));
M1+M2+M3=31;
MIN= A1+B1+@SUM(STATION(I):X1(1,I) *E(I))+
A2+B2+@SUM(STATION(I):X2(1,I) *E(I))+ A3+B3+@SUM(STATION(I):X3(1,I) *E(I));
END

```

11.3.1 问题 3 的 LINGO 程序

```

MODEL:
SETS:
    STATION/1..31/: JL,T,a,E;
    STEP1/1..8/; STEP2/1..10/; STEP3/1..13/;
    LINE1( STEP1, STATION): X1;
    LINE2( STEP2, STATION): X2;
    LINE3( STEP3, STATION): X3;
    LINKS(STATION,STATION):C,b;
ENDSETS
DATA:
    JL=;
    a=
    T=;
    E=
    C=;
    B=;
ENDDATA
@FOR( LINE1 : @BIN( X1)); @FOR( LINE2 : @BIN( X2)); @FOR( LINE3 : @BIN( X3));
M1=@SIZE(STEP1); M2=@SIZE(STEP2); M3=@SIZE(STEP3);
@FOR(STATION(I): @SUM(STEP1(N): X1(N,I))+@SUM(STEP2(N): X2(N,I))+@SUM(STEP
3(N): X3(N,I)) = 1);
@FOR(STEP1(N):@SUM(STATION(I):X1(N,I))=1);
@FOR(STEP2(N):@SUM(STATION(I):X2(N,I))=1);
@FOR(STEP3(N):@SUM(STATION(I):X3(N,I))=1);
L1=@SUM(STATION(I):(X1(1,I)+X1(M1,I))*JL(I));
L2=@SUM(STATION(I):(X2(1,I)+X2(M2,I))*JL(I));
L3=@SUM(STATION(I):(X3(1,I)+X3(M3,I))*JL(I));
H1=@SUM(STEP1(N)|N#LT#M1:@SUM(LINKS(I,J):C(I,J)*X1(N,I)*X1(N+1,J)));
H2=@SUM(STEP2(N)|N#LT#M2:@SUM(LINKS(I,J):C(I,J)*X2(N,I)*X2(N+1,J)));
H3=@SUM(STEP3(N)|N#LT#M3:@SUM(LINKS(I,J):C(I,J)*X3(N,I)*X3(N+1,J)));

```

$L1+H1+\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):X1(1,\text{I}) *T(\text{I}))\leq 15$; $L2+H2+\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):X2(1,\text{I}) *T(\text{I}))\leq 15$; $L3+H3+\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):X3(1,\text{I}) *T(\text{I}))\leq 15$;
 $L1+H1+\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):X1(1,\text{I}) *T(\text{I}))\geq 10$; $L2+H2+\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):X2(1,\text{I}) *T(\text{I}))\geq 10$; $L3+H3+\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):X3(1,\text{I}) *T(\text{I}))\geq 10$;
 $A1=\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):(X1(1,\text{I})+X1(\text{M}1,\text{I})) *a(\text{I}))$;
 $A2=\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):(X2(1,\text{I})+X2(\text{M}2,\text{I})) *a(\text{I}))$;
 $A3=\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):(X3(1,\text{I})+X3(\text{M}3,\text{I})) *a(\text{I}))$;
 $B1=\text{@SUM}(\text{STEP}1(\text{N})|\text{N}\#\text{LT}\#\text{M}1:\text{@SUM}(\text{LINKS}(\text{I},\text{J}):b(\text{I},\text{J}) *X1(\text{N},\text{I}) *X1(\text{N}+1,\text{J})))$;
 $B2=\text{@SUM}(\text{STEP}2(\text{N})|\text{N}\#\text{LT}\#\text{M}2:\text{@SUM}(\text{LINKS}(\text{I},\text{J}):b(\text{I},\text{J}) *X2(\text{N},\text{I}) *X2(\text{N}+1,\text{J})))$;
 $B3=\text{@SUM}(\text{STEP}3(\text{N})|\text{N}\#\text{LT}\#\text{M}3:\text{@SUM}(\text{LINKS}(\text{I},\text{J}):b(\text{I},\text{J}) *X3(\text{N},\text{I}) *X3(\text{N}+1,\text{J})))$;
 $M1+M2+M3=31$;
 $\text{MIN}=\text{A}1+\text{B}1+\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):X1(1,\text{I}) *E(\text{I}))+\text{A}2+\text{B}2+\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):X2(1,\text{I}) *E(\text{I}))+\text{A}3+\text{B}3+\text{@SUM}(\text{STATION}(\text{I}):X3(1,\text{I}) *E(\text{I}))$;
 END

11.3.2 问题 3 的线路规划表

1	北京	0.5	乌鲁木齐	石河子	喀什	0.5	北京	15	住宿	2800	总费用	12260					
		2630	4	1500	5	1500	5	2630									
			1200														
2	北京	0.5	昆明	0.5	丽江	0.5	昆明	拉萨	0.5	北京	12	住宿	2600	总费用	10710		
		2180	3	1500	5			1500	2	2930							
			900														
3	北京	0.5	贵阳	南宁	0.5	桂林	1	海口	0.5	三亚	1	南宁	北京	住宿	2700		
		1980	4	800	1.5	900	2.5	600	1	150	2.5	300	2150				
			1200	450													
4	北京	0.5	广州	0.5	佛山	0.5	广州	0.5	北京	10	住宿	2500	总费用	9020			
		1910	5	150	3	150		1910									
			1500	900													
5	北京	0.5	厦门	0.5	泉州	0.5	福州	0.5	宁德	1.5	厦门	0.5	北京	15	住宿	2900	总费用
		1680	4	900	3	1500	4.5	1050	3	450		1680					
			1200														
6	北京		呼和浩特		哈尔滨	0.5	五大连池	0.5	哈尔滨		北京	住宿	2700	总费用	9650		
		550	3	1500	4	1650	5	150		1000							
			900		1200												
7	北京		沈阳	0.5	长春	0.5	沈阳		北京	住宿	2800	总费用	8890				
		1470	4	1800	5.5	150		1470									
			1200														
8	北京	0.5	成都	0.5	乐山	0.5	阿坝	1	成都		西宁	0.5	北京	16	住宿	2700	总费用
		1690	3		3		4			1180	3	1740					
				2550							900						
9	北京				兰州		嘉峪关		兰州		银川		北京	住宿	2400	总费用	10010
					1390	3		2		840	4	1180					
			4200														
10	北京	0.5	长沙	0.5	张家界	0.5	长沙	0.5	北京	住宿	2300	总费用	5200				
		1450	3.5		4			1450									
11	北京	0.5	重庆	0.5	北京	住宿	2400	总费用	10030								
		1640	7	1640													
			4350														
12	北京	0.5	武汉	0.5	宜昌	0.5	武汉	0.5	北京	住宿	2600	总费用	6940				
		520	4		7			520									
			3300														
13	北京	0.5	杭州	0.5	宁波	0.5	绍兴	1	杭州	0.5	北京	住宿	2800	总费用	7352		
		626	5.5		3		2.5		626								
			3300														
14	北京	0.5	合肥	0.5	黄山	0.5	安庆	1	合肥	上海	北京	住宿	2900	总费用	8547		
		427	2		3.5		4.5		980	3	1240						
			3000														
15	北京		天津	0.5	石家庄		秦皇岛	0.5	太原	0.5	五台	0	北京	住宿	2800	总费用	7000
			2		3		3		2	2.5	0.5						

11.4.1 问题 4 的秩和比程序

```
clc,clear
aw=load('zhh.txt');
w=aw(end,:);
a=aw([1:end-1],:);
a(:,[2,6])=-a(:,[2,6]);
ra=tiedrank(a)
[n,m]=size(ra);
rsr=mean(ra,2)/n
w=repmat(w,[n,1]);
wrsr=sum(ra.*w,2)/n
p=[1:n]/n;
p(end)=1-1/(4*n)
probit=norminv(p,0,1)+5
x=[ones(n,1),probit'];
[ab,abint,r,rint,stats]=regress(wrsr,x)
wrsrfit=ab(1)+ab(2)*probit
[swrsrfit,ind]=sort(wrsrfit,'descend')
```