

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

旅游路线规划模型

摘 要：

本文研究了旅游爱好者选取不同出行方式时遍游景区的出游时间最短，费用最优和最佳旅游路线的规划。

在数据搜集与处理阶段，根据中国年鉴、拼车网和旅游官网等网络平台，搜集景点到临近城市的距离、城市到城市的距离及省内景点到景点的距离的数据，包括高速公路里程数、开车时间及过路费等信息。运用 K 最近距离邻近法和平均值填充法对空缺数据进行处理，对错误数据过滤操作，并测试数据准确性，确保数据的精确可靠。

针对问题一：首先，根据特征城市的优选原则，选取特定城市作为复杂高速交通网络的特征节点，在以特征节点为原点辐射，依据线路权重选取高速交通网络的线路，进而构造高速交通网络，对于城区内部的交通网络，采用 BA 无标度网络进行构网，构造市区交通网络，与高速交通网络组合构成复杂的旅游交通网络；然后，提出了三个目标：旅游时间最短、旅游路程最少和旅游的安全度最高。同时考虑每年出游次数、每次出游的天数和每年出游的天数，景区开放时间、省会逗留时间等因素的限制，建立了遍游 201 个 5A 级景区的线路规划多目标优化模型；最后，运用人工蚁群优化算法对模型进行求解，得到自驾游爱好者游遍全国 201 个 5A 级景区的需要的总时间为 12 年，旅行次数共 24 次，平均每次旅行时间为 12 天(以一次旅游为例)。

时间	出发时间	出发地点	游览景区 (目的地)	行车里 程(公里)	游览时 间(小时)	行车时 间(小时)	总时间 (小时)
第 1 天	7:00	西安市	苏州	1298.9		14	14

第 2 天							
第 3 天	7:00	苏州	苏州园林	13.6	8	0.5	8.5

针对问题二：首先，鉴于出行方式的多样性，在旅游中转站进行换乘时，换乘次数体现在特征城市选取，在此提出了考虑转乘因素影响的交通网络特征节点(特征城市)的选取，对城市选取作成特征节点进行重新构网；然后，在第一问基础上，再次提出了旅游总费用最少，游客满意度最大的两个目标，同时考虑每天乘高铁时间不超过6个小时，转乘的次数不能超过3次，旅游过程中的乘车时间和景区逗留时间，以及乘坐交通工具后的游玩时间等条件的限制，构建十年内景区的游览规划模型；最后，运用人工蚁群优化算法对模型进行求解，得到自驾游爱好者游遍全国201个5A级景区每年出游的最佳旅游线路和出游的相关参数(费用、路途时间、游览景区等)如下表所示。

指标	住宿总费用	门票总费用	旅游总里程	旅游总费用	旅游总年数
数值	13.54 万	5.11 万	32.28 万	64.9 万	8

针对问题三：首先，将问题二的模型用于不同城市出发游览全国5A级十年内游览规划模型进行求解，发现各城市之间有较大差异；然后，在问题二的基础上，建立以全国各地的成本均衡度、全国旅游舒适度指标、全国旅游乘车(包括乘坐高铁、飞机)舒适度、全国旅游花费的总时间均衡度、全国旅游总路程均衡度五项指标，建立旅游成本效益综合评价模型，利用模糊综合评价理论对模型进行求解，可得城市周边5A景点较少的城市出发的游客整体满意度较低(以北京、西安为例比较如下)。

北京				西安		
次数	时间安全度	里程安全度	游客舒适度	时间安全度	里程安全度	游客舒适度
1	0.78	0.71	0.6	0.72	0.78	0.46
2	0.66	0.61	0.55	0.81	0.66	0.51

针对全国各地“自驾游”爱好者在从不同地区出发整体的效益差异，从城市旅游及景点在“自驾游”中的影响力的差异，以“旅游补贴”为手段，以提高旅游舒适度、提高游客在景点逗留时间、提高旅游花费均衡度、城市、景点影响力为指标，利用系统动力学理论，建立基于系统动力学的“自驾游”补贴方案的综合分析模型，利用 Vensim 软件进行方针求解，发现在补贴后舒适度较低城市出发游客的整体舒适度有所上升，较高的有所下降。

北京			西安	
次数	补贴前游客舒适度	补贴后游客舒适度	补贴前游客舒适度	补贴后游客舒适度
1	0.6	0.59	0.46	0.50
2	0.55	0.53	0.51	0.53

针对问题四：在十年的有限旅游时间内，首先，对于5A级景区附近的4A级景区，采用便利旅游的策略进行游览，构建以5A级景区为中心的4A级景区网络结构模型；其次，利用复权理论对两类景区进行评分，作为游客所在城市距离作为分数加权指标；然后，以第二问目标为基础，考虑4A级景区的十年内游览的模式下，提出了增加单位时间旅游得分、单位时间旅游得分、单位里程旅游得分、单位成本得分增加率三个目标，的构建了十年内游玩5A级景区和4A级景区的多目标规划模型。

	住宿 总费用	门票 总费用	旅游 总里程费	旅游 总费用	旅游 总年数	总舒 适度
5A 景区	9.54 万	5.11 万	18.28 万	32.93 万	7.25	0.72
5A+4A 景区	10.8 万	8.34 万	22.4 万	41.54 万	8.5	0.93
变化率	11.66%	38.73%	22.53%	26.14%	17.24%	29.16%

关键词：自驾游路线规划；复杂交通网；多目标规划；模糊综合评价；系统动力学

1 问题重述

1.1 问题提出的背景

旅游活动正在成为全球经济发展的重要动力之一，它加速了国际资金的流转和信息、技术管理的传播，创造出高效率的消费行为模式、需求和价值等。目前，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到有益于身心健康的旅游活动中。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。

1.2 问题相关数据

(1)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；

(2) 旅游爱好者基于个人旅游偏好，确定了在每个 5A 级景区最少的游览时间，见附件一；

(3)从安全角度考虑，限定每天的行车时间介于 7:00 至 19:00 之间，且每天开车时间不超过 8 小时。针对每天的行程安排，若安排全天游览，则开车时间控制在 3 小时内，若安排半天游览，则开车时间控制在 5 小时内；

(4)景区开放时间统一为 8:00 至 18:00；

(5)旅游爱好者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；

(6)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）；

(7)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；

(8)住宿费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；

(9)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。

1.3 拟解决的问题

1、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）。

2、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。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（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）。

3、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。

4、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。

2 问题分析

2.1 问题一的分析

在考虑高速优先的策略下，首先选取与景区邻近的城市，同时考虑景区聚集空间集中度、城市人均消费水平和空间可达性等选取指标对城市进行优选。其次将优化出来的城市定义为交通网络中的特征节点，再根据附件中高速公路的信息，将特征节点上的高速线路连接成网，对于特征城市内部的市区交通网络，采用 BA 无标度网络进行构网，构造一个高速交通网络和特征市区的交通网络组合的复杂交通网络。

在复杂交通网络中，提出了三个目标：旅游时间最短、旅游路程最少和旅游的安全度最高。同时考虑每年出游次数、每次出游的天数和每年出游的天数，景区开放时间、省会逗留时间等因素的限制，建立了遍游 201 个 5A 级景区的线路规划多目标优化模型。运用人工蚁群优化算法，对各个特征城市连接的线路进行选取，根据每条线路上的权重对道路进行选择，最终确定自驾游爱好者的每年的出游路线，根据出游路线的规划，得到自驾游爱好者游遍全国 201 个 5A 级景区的需要的总时间。

2.2 问题二的分析

在问题一的基础上，由于出行方式的多种选择性，在构造交通网络中，就要考虑高铁、飞机和租车便利城市等因素的，而这些因素都会影响特征城市的选取，特别是游客在游玩过程中，需要在最短的时间内到达景区，这样就要求交通的便利性，主要体现在旅游中转站(汽车站、火车站和飞机场等)的转乘，转乘次数越少，旅游过程中游客的满

意度相应也会提高。

鉴于以上分析,本文提出了考虑转乘因素影响的交通网络特征节点(特征城市)的选取,对城市选取作成特征节点进行重新构网,提高复杂交通网络在出行方式多样性的基础上更为合理性。

在第一问的三个目标的基础上,再次提出了旅游总费用最少,游客满意度最大的两个增加的目标,同时考虑每天乘高铁时间不超过 6 个小时,转乘的次数不能超过 3 次,旅游过程中的乘车时间和景区逗留时间,以及乘坐交通工具后的游玩时间等条件的限制,构建十年内景区的游览规划模型。运用人工蚁群优化算法对模型进行求解,得到自驾游爱好者游遍全国 201 个 5A 级景区每年出游的最佳旅游线路和出游的相关参数(出发地、费用、路途时间、游览景区等)。

2.3 问题三的分析

在问题二的基础上,考虑在不同城市为出发点对旅游线路进行规划,可以发现从不同城市出发前往各地旅游的时间耗费、资金耗费均有所不同,并结合一般实际情况,发现“自驾游”爱好者一般会选择离自己较近的景点进行旅游,但时间和经费是游览过程中的重要考虑的因素。

基于以上分析,考虑对从各地出发至各旅游景点的费用情况、时间情况,对旅游爱好者的旅游成本与效益进行分析,建立不同地点出发“成本效益综合评价模型”,对于不同地点的旅客旅游的情况,将发现不同景点的不同地区旅游爱好者的吸引力不同。因此判定旅游景点在国内的影响力,景点吸引越多的远距离游客可以认为其的影响力越大,游客在景点逗留时间越长择景点影响力越大。同时,考虑到不同景点对国内不同人群的吸引力不同,将建立基于系统动力学的费用补贴模型,以此吸引远距离的“自驾游”爱好者,同时也会提高旅游者的整体旅游收益,进而使得不同城市出发的旅游者在有脸全国所有景点时均可获得较高的旅游收益。

2.4 问题四的分析

在考虑到 4A 景点后,不同城市“自驾游”爱好者在全国范围内旅游的线路规划方案不同。根据数据分析可知,5A 级景区周边存在 4A 级景区,因此认为在 5A 级景区为中心点构造的全国景点的交通网络,换言之,增加以 5A 级景区为中心的 4A 级景区网络簇,即游客在游览完 5A 级景区后,可以快速方便的对 4A 进行游玩。

在考虑到第二问的基础上,考虑的时间消耗、费用消耗、安全性、旅游满意度最大等问题后,可以考虑游客在增加 4A 级景区后其的旅游满意情况。拟使用旅游的分的的方式进行旅游满意情况刻画,假设在游客在游玩一个 5A 景点时,基础得分为 5 分,游玩一个 4A 景点的基础得分为 4 分。由于游客所常住的地方与景点的距离及在景点逗留时间对其在旅游经典获得的分数进行加权,得到各个景点的加权得分。

从同一城市出发,仅玩 5A 级景区游客的得分与同时完 5A 和 4A 级景区的得分变化情况,可从单位时间旅游得分、单位里程旅游得分、单位时间得分增加率、单位成本得分增加率四个方面,并结合第二问处理方法,构建多目标旅游线路规划模型,对考虑 4A 景区的十年内游览问题进行求解。

3 模型假设

假设一: 不考虑由交通严重拥堵或重大交通事故造成的停滞时间;

- 假设二：不考虑恶劣天气对旅游者的行程造成延误的情况；
 假设三：不考虑火车或飞机晚点给旅游者的时间安排造成的影响；
 假设四：不考虑因节假日高峰期而导致的交通压力增大和城市物价上涨；
 假设五：旅游者及其家人进行景区游览时，门票费用均按照成人票价收取。

4 符号说明

符号名称	符号说明
TJ_i	第 i 次旅行所用总时间
TD_i	第 i 个景区的逗留时间
SLJ_i	第 i 次旅行的景点编号
SLC_i	第 i 次旅行的城市编号
ST_i	第 i 个城市对应的景点集合
D_{ij}	第 i 个景点到第 j 个景点的距离
DC_{ij}	第 i 个城市到第 j 个城市的距离
DCG_{ij}	第 i 个城市到第 j 个城市的高速公路长度
DCP_{ij}	第 i 个城市到第 j 个城市的普通公路长度
ST_{ij}	第 i 个地点到第 j 个地点的距离
TQ_i	第 i 个省会城市的逗留时间
SXP_i	第 i 次旅行的普通公路的路的集合
SXG_i	第 i 次旅行的高速公路的路的集合
ADJ	单位路程的安全度
ADT_i	第 i 条线路的单位时间安全度
SLZ_i	第 i 次旅行对应的路段集合
$FB_{i,j}$	第 i 个地点到第 j 个地点又无飞机直达
SY_i	第 i 年所对应的旅游编号
$TS_{i,j}$	第 i 次旅行所对应的第 j 个地点的旅游出发时间
$TE_{i,j}$	第 i 次旅行所对应的第 j 个地点的旅游结束时间
$TS_{\min-i}$	第 i 个景点最少停留时间
$CT_{i,j}$	第 i 次旅行，第 j 个地点的租车费用
$TG_{i,t}$	第 i 次旅行，第 t 天坐高铁总时间
$SF_{i,t,j}$	第 i 次旅行，第 t 天，第 j 趟坐飞机的出发时间
$NF_{i,t}$	第 i 次旅行，第 t 天坐飞机总次数
$EF_{i,t,j}$	第 i 次旅行，第 t 天，第 j 趟坐飞机结束时间
P_g	高速公路油费单价
$PF_{i,j}$	第 i 个城市到第 j 个城市的飞机价
$PG_{i,j}$	第 i 个城市到第 j 个城市的高铁价
$QT_{i,t,j}$	第 i 次旅行，第 t 天，第 j 趟飞机的出发地

$RT_{i,t,j}$	第 i 次旅行, 第 t 天, 第 j 趟飞机的目的地
$VT_{i,t,j}$	第 i 次旅行, 第 t 天, 第 j 趟高铁的出发地
$WT_{i,t,j}$	第 i 次旅行, 第 t 天, 第 j 趟高铁的目的地
$ZT_{i,j}$	第 i 次旅行, 第 j 个地方的租车时间
$NL_{i,j}$	第 i 次旅行, 第 j 个地点的住宿天数
DS_i	第 i 次旅行的旅行满意度
$STL_{i,t}$	第 i 次旅行, 第 t 天用来旅游的时间长度

注：其他符号说明见正文模型。

5 数据的收集与处理

随着我国国民经济的快速发展, 人们生活水平不断提高, 越来越多的人选择将旅游作为享受生活的主要方式。近年来出行方式的多样化及交通工具的便捷化使游客的行程更为简单, 旅游路线的合理化也成为游客追求的目标。

5.1 数据的收集

国内景点众多, 景点与景点间的数据关系需要详细了解, 为行程规划提供依据。利用网络平台, 主要从百度网盘和拼车网等平台收集了关于景点到临近城市的距离、城市到城市的距离及省内景点到景点的距离的数据, 其中包括高速公路里程数、开车时间及过路费等信息, 并且通过当前市场油价和路程的长度计算出燃油费等信息。通过这些数据最终求出全国景点到景点的距离。

表 5-1 景点到临近城市的距离

	5A 级景点编号											
地级市	1	2	3	4	...	6	7	8	...	199	200	201
北京市	0	0	0	70	...	0	0	95	...	3160	3182	3199
天津市	126	121	145	193	...	129	135	130	...	3187	3206	3235
承德市	222	229	225	246	...	223	218	297	...	3396	3615	4668
秦皇 岛市	292	287	310	366	...	291	300	275	...	3439	3658	4717
石家 庄市	296	295	297	355	...	298	306	309	...	2884	3102	4161
保定市	159	158	159	217	...	161	169	172	...	3014	3233	4292
...
阜康市	3165	3157	3121	3149	...	3122	3130	3151	...	69	538	1597
乌鲁 木齐市	3150	3159	3161	3178	...	3163	3171	3180	...	48	460	1540
阿勒 泰市	3219	3602	3603	3641	...	3605	3613	3623	...	722	1183	1875
石河 子市	3304	3296	3297	3436	...	3299	3307	3418	...	153	587	1540
奎屯市	3403	3395	3396	3434	...	3398	3406	3416	...	252	585	1330

喀什市	4445	4443	4445	4482	...	4446	4454	4464	...	1547	1080	0
-----	------	------	------	------	-----	------	------	------	-----	------	------	---

表 5-2 城市到城市的距离

出发城市	到达城市	公里数	开车时间	油费	过路费
北京	天津	135.3 公里	1 小时 35 分钟	85 元	40 元
天津	承德	354.0 公里	4 小时 8 分钟	224 元	120 元
承德	秦皇岛	504.4 公里	4 小时 46 分钟	320 元	40 元
秦皇岛	石家庄	592.7 公里	5 小时 36 分钟	376 元	230 元
石家庄	保定	146.1 公里	1 小时 41 分钟	92 元	50 元
保定	大同	426.7 公里	5 小时 46 分钟	271 元	190 元
大同	忻州	208.7 公里	2 小时 15 分钟	132 元	70 元
...
酒泉	敦煌	392.9 公里	4 小时 57 分钟	249 元	95 元
敦煌	银川	1494.7 公里	15 小时 13 分钟	949 元	320 元
银川	兰州	439.7 公里	4 小时 5 分钟	279 元	135 元
兰州	西宁	247.4 公里	2 小时 44 分钟	157 元	90 元
西宁	阜康	1798.5 公里	1 天 1 小时 5 分钟	1142 元	195 元
乌鲁木齐	喀什	1469.1 公里	22 小时 31 分钟	933 元	65 元
阿勒泰	石河子	797.6 公里	10 小时 26 分钟	506 元	0 元
石河子	喀什	1623.2 公里	23 小时 59 分钟	1030 元	70 元
奎屯	喀什	1594.1 公里	1 天 8 小时 14 分钟	1012 元	95 元

表 5-3 景点到景点的距离

出发景点	目的景点	时间	距离 (公里)
故宫博物院	天坛公园	24 分钟	5.6
天坛公园	颐和园	1 小时 27 分钟	24.7
颐和园	八达岭—慕田峪长城旅游区	2 小时 34 分钟	75.8
八达岭—慕田峪长城旅游区	明十三陵景区(神路-定陵-长陵-昭陵)	1 小时 20 分钟	48.3
明十三陵景区(神路-定陵-长陵-昭陵)	恭王府景区	1 小时 16 分钟	41.9
恭王府景区	北京奥林匹克公园(鸟巢-水立方-中国科技馆-国家奥林匹克森林公园)	30 分钟	8.4
天津古文化街旅游区 (津门故里)	天津蓟县盘山风景名胜區	1 小时 35 分钟	120
大同云冈石窟	忻州五台山风景名胜區	3 小时 37 分钟	232
...
长白山景区	长春市长影世纪城景区	6 小时 24 分钟	478.6
长春伪满皇宫博物馆	长春净月潭景区	40 分钟	21.2
哈尔滨太阳岛景区	黑河五大连池景区	4 小时 34 分钟	378.4

牡丹江宁安市镜泊湖景区	伊春市汤旺河林海奇石景区	10 小时	753
		16 分钟	
东方明珠广播电视塔	上海野生动物园	1 小时	39.2
		1 分钟	
上海野生动物园	上海科技馆	40 分钟	34.1
苏州昆山周庄古镇景区	灵山胜境-游客中心	2 小时	135.6
		15 分钟	

5.2 数据的处理

在获取数据的数据量方面，由于其庞大的信息量，导致在收集数据的过程中一些数据不可避免的出现问题，需要在使用之前对他们进行一定的处理。因此，采用了统计数学的理论方法并结合大数据处理技术对所收集的数据进行了处理。

数据处理流程如下：

Step1、空缺数据的分析处理

1. 空缺数据产生的原因

对收集的样本数据进行处理时，某些样本的属性可能会空缺，这种空缺属性值的数据往往被称为空缺数据。空缺数据出现的原因主要有：

- 1) 有些信息暂时无法获取.例如城市间的高铁线路问题，并非所有城市间的出行都可以选择高铁和飞机，就致使一部分属性值空缺出来；
- 2) 有些信息是被缺失的.可能是因为输入时认为不重要、忘记填写或对数据理解错误而缺失，也可能是由于数据采集设备的故障、存储介质的故障、传输媒体的故障、一些人为因素等原因而丢失了；
- 3) 有些对象的某个或某些属性是不可用的.也就是说，对于这个对象来说，该属性值是不存在的；
- 4) 有些信息是不重要的。如一个属性的取值与给定语境是无关的；
- 5) 获取某些信息的代价太大；
- 6) 系统实时性能要求较高，即要求得到这些信息前迅速做出判断或决策。

2. 空缺数据的处理

1) K 最近距离邻法。先根据欧式距离或相关分析来确定距离具有缺失数据样本最近的 K 个样本，将这 K 个值加权平均来估计该样本的缺失数据；

2) 平均值填充。将信息表中的属性分为数值属性和非数值属性来分别进行处理.如果空缺值是数值型的，就根据该属性在其他所有对象的取值的平均值来填充该缺失的属性值；如果空值是非数值型的，就根据统计学中的众数原理，用该属性在其他所有对象的取值次数最多的值来补齐该缺失的属性值.也可以用条件平均值填充法.该方法缺失属性值的补齐是靠该属性在其他对象中的取值求平均得到，但不同的是用于求平均的值是从与该对象具有相同决策属性值的对象中取得。

Step2、错误数据的分析处理

1. 错误数据产生的原因

对收集的样本数据进行处理时，某些样本的属性可能会产生错误，这种错误属性值的数据往往被称为错误数据。错误数据出现的原因主要有：

- 1) 有些数据在电脑进行处理时，由于读取问题而产生内部错误，致使原始信息发生损坏，数据错误；
- 2) 有些信息是被错误的.可能是因为输入时不认真或对数据理解错误而填写，也可能

是由于数据采集设备的故障、存储介质的故障、传输媒体的故障、一些人为因素等原因而发生错误了；

3) 数据传送时,操作不当引发错误数据。

2、错误数据的处理

1) 对数据进行过滤操作。运用统计学的小概率事件排除原理对在统计上出错的数据进行纠正或删除；

2) 对改正后的数据进行测试，保证数据准确性。

Step3、确定数据精度。

避免精度要求匹配错误。不同的数据具有不同的精度要求，因此在相应精度的要求下需要对数据进行提取。错误精度数据在计算过程中会产生较大误差，因此一定要近习性数据精度处理。

6 复杂交通网络的构建

旅游线路从供给的角度出发，是由旅游经营者规划设计，将旅游吸引物进行合理串联，为旅游者设计的最佳游览线路，是由交通线把若干旅游点或旅游区域合理地贯穿起来的路线；从旅游者的角度出发，旅游线路是旅游者从居住地出行到一个或多个旅游目的地并返回居住地所经历的空间线路，从自驾游爱好者的角度，旅游线路的规划是一个复杂的问题，需要涉及到全国交通线路的重新规划。

一条经典的旅游路线是符合游客的需求选择和线路选取，线路的差异性体现出旅游费用的高低和游客游览过程中的舒适程度。旅游线路规划实际就是对游览路线上城市的选取，特别是对于景区附近的城市需要特别关注，它是决定去景区线路规划上的重要性。每次的行程路线都由若干个旅游节点排列组合而成，其中旅游节点是旅游过程的基本单位，为了完成旅游线路的设定，我们将景区邻近城市作为线路规划中的重要节点，称为特征节点，即把旅游过程中的各种旅游要素简化成节点进行研究。本文中将各个城市以及旅游景区作为旅游特征节点进行考虑，进而有利于规划整个旅游过程。

6.1 旅游路线的特征节点的优选

一条合理的旅游线路是有很多个游览城市和城市之间的交通道路组合而成，当多条线路选定后，不同线路之间必定会产生交错，线路之间的换乘情况也必定有一定的影响。在此，为了更为全面地展示旅游线路的选取，需要将整个交通网络进行简化处理，本文提出将景区邻近城市作为游览线路上的特征节点，再根据特征节点辐射构网，形成复杂的交通网络图。因而，旅游节点的选择在旅游路线构建过程中起着至关重要的作用，本文对旅游爱好者的旅游行程，对各个旅游节点进行优先选择，即利用科学的定量计算方法，按照一定的选择原则和选取指标对旅游节点进行优选，进而构建合理的复杂交通网络。

6.1.1 特征节点优选原则

原则一：遵循旅游者心理活动的原则

从旅游者本身的角度出发，可能由于个人旅游偏好的差异，而导致旅游路线中城市和景区的选择排列不同。因此，旅游者的心理活动，将直接的影响着整体的旅游规划。进而，提出循旅游者心理活动的原则，对每次旅游路线进行旅游节点的优选。

原则二：旅游市场需求导向原则

旅游作为第三服务产业，市场需求将对旅游者的心理产生一定的影响，进而影响旅游景区的选择，如在对城市进行选择时，旅游者会考虑一个城市的游客年接待量等因素。因此，在对旅游节点进行优先选择时，引入旅游市场需求的导向原则。

原则三：时间分配合理原则

考虑旅游爱好者时间的有限性，在对旅游路线进行规划设计时，需从时间角度出发，对各个路段进行合理的安排，每段路段由各个旅游节点组合而成，由此，引入时间分配合理原则，对旅游节点进行优选，使得各节点安排得当，旅游时间得以合理分配。

原则四：最短路径原则

在旅游的过程中，行驶路径的长短将影响着旅游者行驶的时间，进而影响着景区以及城市节点的选择，以最短路径为节点优先选择的原则，不仅能够选择出合理的节点，而且能使单次旅游的景区在空间上相对聚集。

原则五：综合考虑协同原则

对于旅游节点的优选，存在各个方面的影响因素，从单因素进行考虑，必然导致分析的片面性。对此，因从引入综合考虑协同原则，综合分析各个因素的影响，使得旅游节点的选择更加具有合理性。

6.1.2 特征节点优选的评价指标

交通网络中的特征节点即为邻近景区的特征城市，针对一个城市的评价可以从该城市到景区的距离、城市附近景区的数量、城市消费情况等角度考虑，对一个城市的优选即为对交通网络线路中的特征节点的选择，在选取的过程中，还需要对评价指标需要进行量化，便于对各种节点优选是定量处理，更加具有说服力和合理性。

1. 区位距离

区位距离就是该景区距离城区市中心的距离，该因素对旅游节点的筛选影响较大。在旅行过程中，自驾游爱好者在线路规划时主要集中在城区中的旅游区域，对于旅游区域内的距离有强烈的选择性，中国城市居民旅游和休闲出游市场，随着距离增加而衰减，80%的出游市场集中在距离城市 500km 以内的范围内，当区位距离过大时，根据旅游者出行习惯一般不会选择。

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{ij} \leq 500$$

D_{ij} 表示第 i 条线路第 j 段路程的距离

2. 景区空间聚集度

景区空间聚集度是描述城市区域内旅游景区的聚集程度。旅游者在旅行过程中倾向于先选择将空间相对聚集的景区进行组合游玩，以便于在短时间内能够游览到更多的景区，实现时间利用最大化。研究表明，当一个城市周边的景区多于 3 个时，该城市的客流量和旅游人数将会增加，相应的景区空间聚集度增大，该城市被选中的可能性更大。

$$\sum_{k=1}^n n_k \geq 3$$

n_k 表示城市周边景区的总个数。

3. 空间可达性

空间可达性与交通节点的道路关联程度有关，是旅游交通要素间的交通状况，在城市旅游交通过程中，特征城市需要交通更为便捷，路况较好，交通畅通，空间可达性对特征节点的选取起着关键性的作用。

4. 人均消费水平

在旅游规划过程中,在各旅游线路上的特征城市中的消费水平直接影响游客的选择性。从经济学角度而言,一般人均消费水平低的城市被游客选中的概率更大,经济利益最大化是游客游玩的首要考虑因素。

其中,人均消费水平指一定时期内(月、年)平均每人占有和享受的物质生活资料和服务的数量,人均年消费水平是居民个人消费总额与年均人口总数的比值。

$$\bar{C} = \frac{C_{\text{总}}}{N}$$

6.1.3 评价指标的模糊综合分析

对于特定对象的多指标的综合评价,由于其涉及因素众多,且各因素的影响因素不尽相同,还可能出现相互影响的情况。有的评价指标可以定量描述,而有的评价指标只能采用半定量或定性的方法进行描述。

针对这种多个评价指标对于单一目标的影响,本文采用模糊综合评价法(Fuzzy 综合评判),该方法可以考虑多层或单层目标的评价模型,在模糊综合评价模型中,模糊隶属度函数考虑客观事物的内部错综复杂的关系,考虑价值系统的模糊性,但是确定的模糊隶属函数和指标参数的模糊化会参杂人为因素,甚至丢失有用的信息,且各指标权重的确定,也存在过多的主观依赖性。

模糊综合评价法是建立在模糊数学基础上的专用于描述和处理模糊性问题的方法。模糊综合评价方法主要是根据模糊问题的各个评价因素、评价标准、自然状态以及各因素的相对重要程度建立模糊综合评价模型,然后对各评价对象进行综合评价。在确定方案评价指标体系各要素的权重后,就可以对评价对象进行评价。对于每一项指标而言,最终的评价结果由它的组合权重和它的指标值来确定。该评价方法是用于设计模糊因素的对象系统的综合评价方法,对某些事物的概念、边界等不易定量化处理,在进行评价时没有一个规范的标准对其进行评价。

模糊综合评价法步骤:

Step1 确定评定对象、因素集、评价集和测量标度向量。因素集 U 为被评价对象的影响因素 u_1, u_2, \dots 的集合;评价集 V 为不同等级 v_1, v_2, \dots 的集合;测量标度向量为 n 维实向量 $H = (h(v_1), h(v_2), \dots)$, 其中 h 为评价级 V 到闭区间 $[x, y]$ 中 n 个点的映射, 且 $h(v_i) = x + \frac{(i-1)(y-x)}{n-1}$, $i = 1, 2, \dots$;

Step2 确定各影响因素的权重 $W = (w_1, w_2, \dots)$;

Step3 建立各因素的评分隶属函数和综合评价矩阵 R , 并求出隶属度和 R 。

$$R = (b_1, b_2, \dots) \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots \\ r_{21} & r_{22} & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots \end{bmatrix}$$

r_{ij} 为影响因素 u_i 对等级 v_j 的隶属度

Step4 通过综合评价矩阵 R , 求模糊综合评价集 B 。其中 $B = W \# R$, 其中“#”表示根据实际问题选取的某种模糊乘积运算。

Step5 求出模糊评价结果。即依据测量标度 H 和 B 计算出评价对象的综合评价分

数 $P_i = BH = \sum_{i=1}^n r_i \times i$ ；然后按该分数的大小对对象进行评价。

6.1.4 模糊综合评价的结果

鉴于四个评价指标之间存在制约关系，因而需要运用模糊综合评价方法对四个指标进行分别打分，按照分数大小对四个指标进行评价，使游客根据自身需要，自行选择不同的指标之间的相互关系。

运用模糊综合评价法，对四个指标进行评分，评分值见表 6-1。

表 6-1 特定城市四个评价指标的评分值

特定城市	北京	上海	深圳	杭州	武汉	长沙	郑州	南京
区位距离	0.517	0.458	0.453	0.437	0.435	0.417	0.425	0.401
景区空间聚集度	0.43	0.49	0.52	0.54	0.55	0.56	0.57	0.57
空间可达性	0.32	0.42	0.50	0.54	0.59	0.62	0.65	0.67
人均消费水平	0.15	0.25	0.33	0.37	0.42	0.44	0.46	0.48
特定城市	西安	长春	哈尔滨	天津	成都	重庆	昆明	拉萨
区位距离	0.389	0.384	0.377	0.361	0.356	0.355	0.345	0.341
景区空间聚集度	0.58	0.58	0.58	0.59	0.59	0.59	0.60	0.60
空间可达性	0.73	0.75	0.76	0.78	0.79	0.80	0.81	0.83
人均消费水平	0.15	0.25	0.33	0.37	0.42	0.44	0.46	0.48

6.2 交通高速线路的构网

一个典型的交通高速线路的网络是有多个节点和连接节点之间的边组成。从图论上看，复杂交通网络可以看成由点集 v 和边集 E 组成的图 $G=(v, E)$ 。而从统计物理学的角度来看，复杂网络是一个包含了大量个体以及个体之间具有相互作用的系统，该系统是把某种现象或某种关系抽象为个体(顶点)，而个体之间的相互作用用边来表示。

若在给定的一个交通网络图里面任意节点对 (i, j) 与 (j, i) 对应同一条边，即节点之间的连接没有方向性，则该网络称为无向网络，否则称为有向网络。如果在给定的一个网络图里面给每条边都赋予相应的权值，那么该网络就称为加权网络，否则称为无权网络。

研究表明：在现实交通高速线路既有一定的规则性又有一定的随机性，既有较小的平均路径长度(类似随机网络)，所以仅从规则网络或随机网络来描述现实世界的真实交通高速线路网络似乎不太可能。根据交通网络的复杂性，在实际线路中不同路段之间存在一定差异性，特别是线路上交通车的拥有量和人流量直接影响高速线路上的交通运输能力，不同的城市之间也会因为交通网络的节点上，节点之间的连接能力随着网络规模的扩大而显示出更大的差异性。基于交通网络自身的特性，根据特征节点的选取原则，选取景区邻近城市作为交通网络中的特征节点，再依据特征节点与道路的权重(交通线路的重要性)连接成一定的网络，以此排除交通网络中次要线路，达到简化整体交通网络的目的。

对于交通高速网络特殊的网络而言，道路之间的运载能力具有传播互逆性，即一条高速道路可能堵塞造成司机选择其他高速路行驶，导致其他高速道路的运载能力加重，

使得整个交通网络的运载能力降低。传播过程中是以随机性的概率进行传播，因而网络边之间是赋以动态权值而构造复杂网络模型的。基于以上对于埃博拉病毒的传播分析，满足 BA 无标度网络以幂律分布函数为传播概率的网络边动态加权的无向加权复杂网络的特点。

BA 无标度网络模型有两个重要特性：

- (1) 增长特性：即网络的尺度随着时间不断增大；
- (2) 择优连接特性：即新加入的节点倾向于与那些具有较高连接度（更重要）的节点相连接。

BA 无标度网络的构造算法如下：

- (1) 初始：初始时为一个具有 m_0 个节点的全连接网络。
- (2) 增长：每一时步新增一个节点，并与网络中已经存在的 m ($m \leq m_0$) 个节点进行连接。
- (3) 择优连接：一个新节点按照择优选择概率 $P(k_i)$ 与一个已经存在的节点 i 相连接。
选择概率：

$$P(k_i) = k_i / \sum_j k_j \quad (3-5)$$

其中， k_i 表示节点 i 的度； k_j 表示节点 j 的度。

BA 无标度网络中节点度服从幂律分布： $P(k) = 2m^2 k^{-\gamma}$ ，其中幂律指数 $\gamma = 3$ 。在 BA 无标度网络中，大量节点具有较小的连接度，少量节点具有很高的连接度，因此网络中节点的连接关系是异质的或者非均匀网络。BA 网络中具有较小的平均路径长度，聚类系数也很小，当网络规模趋于无穷大时，聚类系数近似为零。

网络边的动态加权

在传染病传播过程中，疫情越来越严重时，个体在行为上会更谨慎，并采用相应的保护措施来保护自己不被感染，比如减少外出、减少接触时间、尽量避免身体接触等，这样的行为将会改变人类社会的复杂网络中节点的强度和边的权重，使得复杂网络的拓扑结构具有非均匀的无标度特性。对于埃博拉病毒的疫区社交接触网络上人与人之间的互联的形成网络边的权重，往往表示连接节点之间的亲密程度或接触时间长度，由此提出了“自适应权重”，即权重随着感染密度的增大而减少，据此建立 BA 无标度复杂网络。

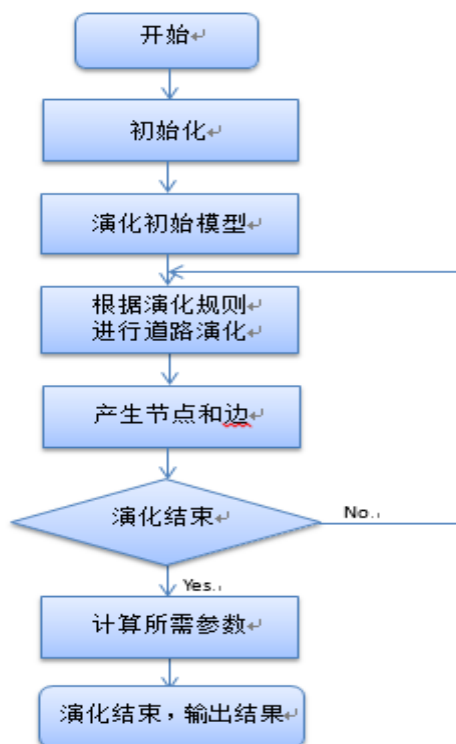


图 6.1 交通高速网络构建流程图

7 问题一:景区线路规划模型

根据全国的交通高速网路，将旅游交通线路散布在交通高速网络中，对于游遍全国 201 个 5A 级景区的线路规划有一定的参考作用。在旅游过程中，游客一般考虑出行费用、交通状况、景区门票价格、景区环境等因素，不同的城市的级别也对景区游客总量有一定的影响，城市级别较高相应的环境住宿、餐饮等服务行业标准高，可以适当增加游客旅游的满意度和舒适度。

7.1 行程线路的规划模型

鉴于自驾游爱好者特殊游览形式，本文根据自驾游爱好者游览过程中，一般最关心的是游览的总时间、游览总路程、开车是的安全度等，并对三个目标进行约束限制，建立景区路线规划的多目标优化模型。

7.1.1 目标函数

目标函数一：旅行时间最短

根据题意可知，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。由于每年旅游时间的限制和旅游次数较少，因此对于每次出游都应该对旅行时间做出合理的规划，争取在最短的时间内游玩更多的景区，如此一来才能在尽量短的时间内游遍 201 个 5A 级景区。

因而确定旅行时间最少的目标函数。

$$\min T = \sum_{i=1}^{N_l} TJ_i = \min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_j} TJ_i$$

$$TJ_i = \sum_{(i,k) \in SXP_i} \frac{ST_{i,k}}{V_p} + \sum_{(i,k) \in SXG_i} \frac{ST_{i,k}}{V_g} + \sum_{j \in SLJ_i} TD_j + \sum_{j \in SLP_i} TQ_j$$

其中,

T 表示 旅游总花费时间

$ST_{i,k}$ 表示 第 i 个城市对应的景点集合

TD_j 表示 在路上花费的时间

TQ_j 表示 第 j 次出游在景区话费的时间

SXP_i 表示第 i 次旅行的普通公路的路的集合

SXG_i 表示第 i 次旅行的高速公路的路的集合

目标函数二：总路程最短

自驾游爱好者出行时，对不同的行驶线路的总路程也不一样，路线不同，总共的路程也不同，产生的汽车耗油量也有所差别，进而影响整体的旅游线路的规划。确定旅游总路程最短的目标，

$$\min L = \min \sum_{i=1}^{N_i} L_i = \min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} L_i$$

$$L_i = \sum_{(i,k) \in SLZ_i} LT_{i,k}$$

其中

$LT_{i,k}$ 表示第 i 条路线第 k 时段内的行驶路程

SLZ_i 表示第 i 条线路集合

目标函数三：安全度最高

在自驾游过程中，最关心的还是人员出行安全性的问题，在安全第一的原则下，提出车辆行驶过程中的路程安全度，为了体现全局考虑，从单元路程安全度更为合理的反映整体的安全性。

在特定路段上行驶时，行驶的路程直接影响安全度，因此安全度是一个关于影响安全度的函数。

$$ADT_j = f(L_j) = \frac{L_j}{L_{\max}}$$

L_{\max} 表示安全度为 0 时的行车路程。

L_j 表示第 j 次行驶的路程

L_{\max} 表示某次出行的总路程

根据每次安全出行的函数，确定每次出行安全度的指标。

$$ADT_i = \frac{\sum_{(i,k) \in SLZ_i} [f(LT_{i,k}) \times LT_{i,k}]}{\sum_{(i,k) \in SLZ_i} LT_{i,k}}$$

其中

$LT_{i,k}$ 表示第 i 条路线上第 k 次出行的总路程

ADT_i 表示第 i 条路线出行的安全度

对于每次出行的安全度进行相关分析，总体安全度表示为各次出行的安全度和相应出行路程的乘积与总路程的比值。

$$\max ADT = \max \frac{\sum_{i=1}^{N_i} ADT_i \times L_i}{L} = \max \frac{\sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} ADT_i \times L_i}{L}$$

其中

L 表示线路规划完成后，线路完成后的总体路程。

ADT 表示形式路程的总体安全度

7.1.2 约束条件

约束条件一：每年旅游时间少于 30 天

$$\sum_{i \in SY_i} TL_i \leq 30$$

约束条件二：公路总长度等于高速公路长度加普通公路长度

$$DC_{ij} = DCG_{ij} + DCP_{ij}$$

约束条件三：每年旅行次数限制

$$NL_i \leq 4 \quad NL_i = \#SY \setminus \{1\} \neq \emptyset,$$

约束条件四：第 i 次旅游总路段等于普通和非普通之和

$$SLZ_i = SXP_i \cup SXG_i$$

约束条件五：游览时长与开车时长的关系

$$\begin{cases} KT_{ij} \leq 5 & LT_{i,t} \leq 4 \\ KT_{ij} \leq 3 & 4 \leq LT_{i,t} \leq 8 \end{cases}$$

约束条件六：行车时间的限制

$$7 \leq TS_{i,j} \leq 19$$

约束条件七：景点开放时间限制

$$8 \leq TJ_{i,j} \leq 18$$

约束条件八：每天开车总长

$$KT_{ij} \leq 8$$

约束条件九：每次旅游时间少于 15 天

$$TL_i \leq 15$$

约束条件十：省会逗留时间

$$TP_i \geq 24$$

约束条件十一：景点逗留时间多余最低要求

$$TS_i \geq TS_{\min-i}$$

约束条件十二：车辆的行驶速度

$$V_p = 40km/h \quad V_g = 90km/h$$

综上所述：行程线路的规划模型

$$\begin{cases}
\min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} TJ_i \\
\min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} L_i \\
\max \frac{\sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} ADT_i \times L_i}{L} \\
s.t. \begin{cases}
\sum_{i \in SY_i} TL_i \leq 30 & KT_{ij} \leq 8 \\
DC_{ij} = DCG_{ij} + DCP_{ij} \\
NL_i = \#SY_i \setminus \{1, 2\} = 2 & NL_i \leq 4 \\
SLZ_i = SXP_i \cup SXG_i \\
KT_{ij} \leq 5 & LT_{i,t} \leq 4 \\
KT_{ij} \leq 3 & 4 \leq LT_{i,t} \leq 8 \\
7 \leq TS_{i,j} \leq 19 & 8 \leq TJ_{i,j} \leq 18 \\
TL_i \leq 15 & TP_i \geq 24 \\
TS_i \geq TS_{\min-i} \\
V_g = 90km/h & V_p = 40km/h
\end{cases}
\end{cases}$$

7.2 基于人工蚁群优化算法对模型求解

7.2.1 人工蚁群优化算法

鉴于交通网络的复杂性，在复杂的交通网络中通过特定的节点和节点连线构成整个网络系统，并对各条连接边赋权构成有向图 $G(V,E)$ 。对于这种交通网络有向图，本文采用人工蚁群算法，根据各个特征节点处的特点，对线路进行选择。

人工蜂群优化算法^[7](Artificial Bee Colony, 简称 ABC)是 Karaboga 于 2005 年提出的一种基于群体智能的随机优化算法，该算法模仿蜜蜂群体智能行为而提出的全局优化算法。蜂群有一个很显著的特点，即在完成各项活动的过程中，每个蜜蜂的分工非常明确，而且是专职，不过由于遗传、变异等特殊情况的发生，某些蜜蜂的任务也是会发生相应变化的，这也为任务的动态分配提供了可能。蜜蜂根据各自的分工进行不同的活动，并实现蜂群信息的共享和交流，从而找到函数数值优化的最优解。

ABC 算法的具体步骤：

Step1: 初始化种群，根据公式(1)产生 M 个初始种群 X'_i 。

$$X'_i = X_{\min} + rand() \cdot (X_{\max} - X_{\min}) \quad (1)$$

其中， X_{\min} 、 X_{\max} 分别表示变量的下限和上限，随机数 $rand() \in [0,1]$ 。

Step2: 根据探索蜂的适应度值，选出 N 个优秀解作为蜂源。

Step3: 根据公式(2)在原蜂源附近，探索蜂搜索新的蜂源。

$$V_i^j = X_i^j + \phi_i^j (X_i^j - X_k^j) \quad (2)$$

其中，并且 $k=1,2,\dots$, $i \neq k$;随机数 $\phi_i^j \in [-1,1]$ 。

搜索完成之后，对新蜂源与当前蜂源位置的适应度值进行贪婪选择，选取较好的蜂源，搜索次数 $search_i = search_i + 1$ ， $search_i$ 表示在探索蜂在第 i 个食物源周围寻找新食物源的历史总次数。

Step 4：根据公式(3)计算跟随蜂选择某个食物源的概率。

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{i=1}^N fit_i} \quad (3)$$

其中， P_i 表示跟随蜂到第 i 个蜂源进行搜索的概率， fit_i 表示第 i 个蜂源的适应度值， N 表示蜂源的个数。

Step 5：若 $search_i > limit$ ，则放弃第 i 个蜜源，并且第 i 个蜂源附近的探索蜂变为侦查蜂。

Step 6：迭代总次数 $iteration = iteration + 1$ ，判断 $iteration > max_cycle$ 是否成立，若成立则迭代结束，记录保留的最佳蜂源，否则返回 *Step 3* 继续循环。

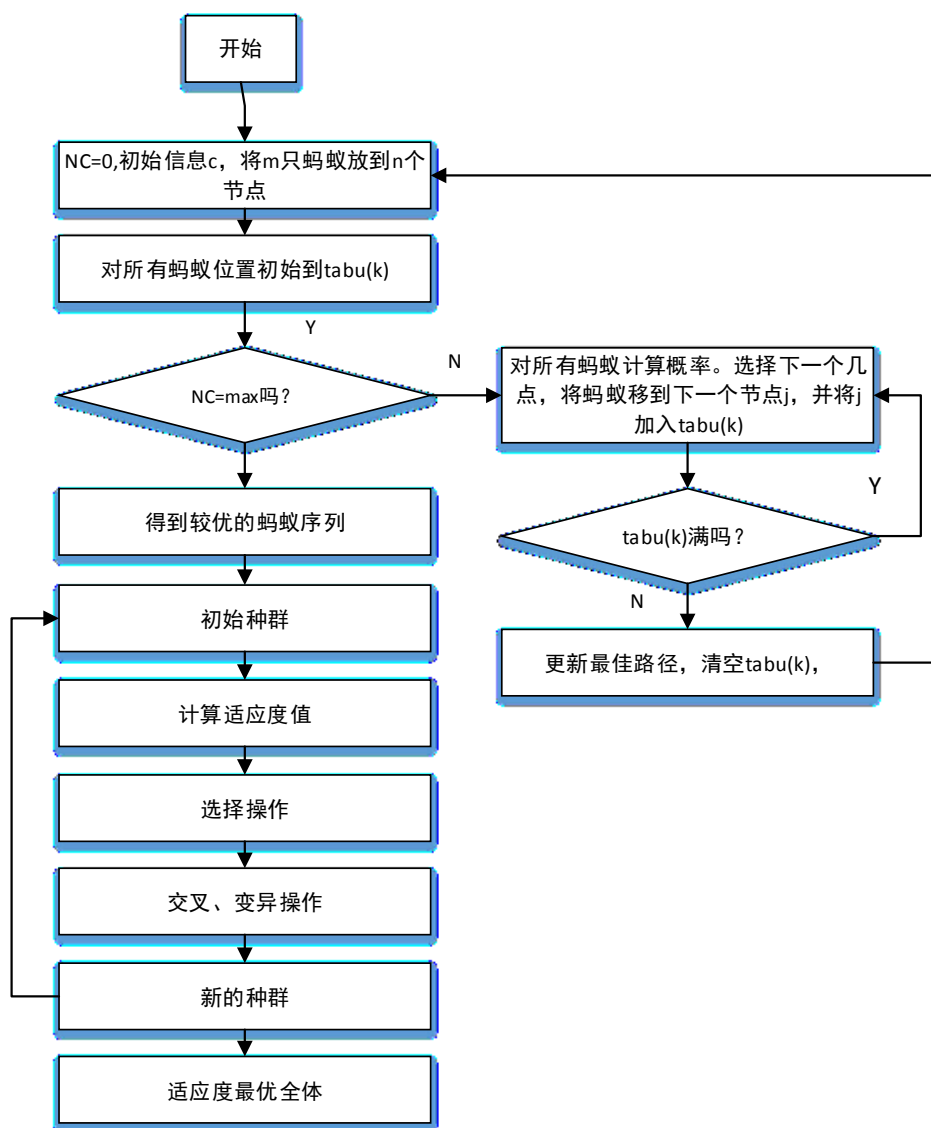


图 7.2 人工蚁群优化算法流程图

7.2.2 模型求解结果

通过人工蚁群求解最优路径模型，可以得到常住地在西安市的旅游爱好者遍游全国 5A 级景区的具体行程安排，该旅游者通过自驾的方式完成旅游计划至少需要 12 年。最优旅游路线中的出行具体安排如表 7.1 所示。

表 7.1 最优旅游路线中一次出游路线的具体行程安排

时间	出发时间	出发地点	游览景区 (目的地)	行车 里程 (公里)	游览 时间 (小时)	行车 时间 (小时)	总时间 (小时)
第 1 天 第 2 天	7:00	西安市	苏州	1298.9		14	14
第 3 天	7:00	苏州	苏州园林（拙政园—留园—虎丘）	13.6	8	0.5	8.5

第 4 天	7:00	苏州	苏州吴江同里古镇景区游玩	20	8	0.5	8.5
第 5 天	7:00	常熟	常熟沙家浜—虞山尚湖旅游区游玩	46.6	8	1.13	9.13
第 6 天	7:00	苏州昆山	苏州昆山周庄古镇景区游玩	122	6	3	9
第 7 天	7:00	苏州	苏州吴中太湖旅游区（旺山—穹窿山—东山）	51.7	6	1.27	7.27
第 8 天	7:00	无锡	中央电视台无锡影视基地三国水浒城景区游玩	48.4	7.5	1.12	8.62
第 9 天	7:00	湖州	湖州市南浔区南浔古镇景区游玩	115	5	3	8
第 10 天	7:00	桐乡	嘉兴桐乡乌镇古镇旅游区	66.3	7	1.57	8.57
第 11 天	7:00	嘉兴	嘉兴南湖旅游区	82.1	8	2	10
第 11 天	7:00	上海	东方明珠广播电视塔游玩	98.9	5	2.8	7.8
第 14 天	7:00	上海	上海野生动物园游玩	35	7	0.9	7.9
第 14 天	15:00	上海	常州	176		2	
第 13 天	7:00	常州市	常州环球恐龙城景区(中华恐龙园-恐龙谷温泉-恐龙城大剧院)	0	5		5
第 13 天	13:00	常州市	南京	299		3.4	3.4
第 15 天	7:00	南京	西安市	1105		12.3	12.3

其中，西安市旅游爱好者自驾出游的最优路线中各项指标如下：

表 7.2 最优路线的各项指标值结果值

指标	总年数 (年)	旅行次数 (次)	平均每次旅行 天数(天)	总里程 (公里)	单位时间安 全度	单位路程安 全度
指标值	12	24	12	1×10^5	0.81	0.72

每次的旅游线路中的游览景区及 5A 级景区的游览路线规划结果如下图。

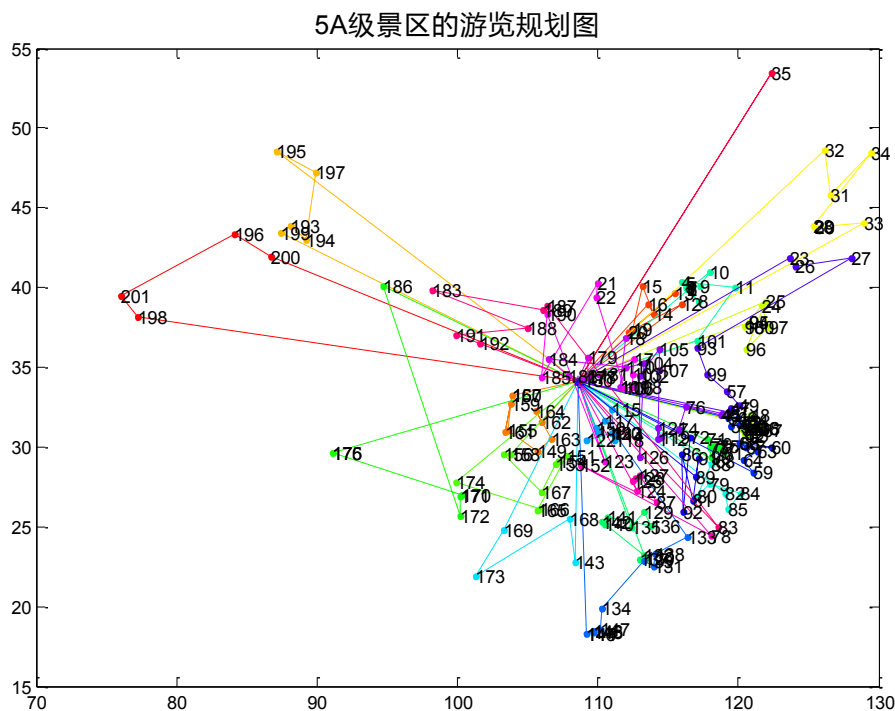


图 7.3 旅游者遍游 5A 级景区的旅游路线规划图

第 1 次旅游：武汉市黄陂木兰文化生态旅游区—武汉黄鹤楼公园—武汉市东湖景区—六安市金寨县天堂寨旅游景区—岳阳岳阳楼—君山岛景区—九江庐山风景名胜区—安庆潜山县天柱山风景区—阜阳市颍上县八里河风景区—宜昌三峡人家风景区—平顶山鲁山县尧山—中原大佛景区。

第 2 次旅游：舟山普陀山风景区—宁波奉化溪口—滕头旅游景区—上海野生动物园—上海科技馆—东方明珠广播电视塔—温州乐清市雁荡山风景区—苏州常熟沙家浜—虞山尚湖旅游区—南通市濠河风景区—无锡鼋头渚景区—常州环球恐龙城景区—杭州淳安千岛湖风景区。

第 3 次旅游：南阳西峡伏牛山老界岭·恐龙遗址园旅游区—鸡冠洞旅游区—洛阳嵩县白云山景区—洛阳龙门石窟景区—洛阳新安县龙潭大峡谷景区—十堰丹江口市武当山风景区—嵩山少林景区—渭南华阴市华山风景区—晋城阳城县皇城相府生态文化旅游区。

第 4 次旅游：颐和园—北京奥林匹克公园—恭王府景区—故宫博物院—天坛公园—明十三陵景区—八达岭—慕田峪长城旅游区—保定涞水县野三坡景区—天津蓟县盘山风景名胜区—保定安新白洋淀景区—天津古文化街旅游区。

第 5 次旅游：佛山西樵山景区—长鹿旅游休博园—广州长隆旅游度假区—广州白云山景区—深圳华侨城旅游度假区—惠州市罗浮山景区—清远连州地下河旅游景区—韶关仁化丹霞山景区—郴州市东江湖旅游区—桂林漓江风景区。

第 6 次旅游：长沙岳麓山—橘子洲旅游区—长沙市宁乡县花明楼景区—湘潭韶山旅游区—衡阳南岳衡山旅游区—吉安井冈山风景旅游区—张家界武陵源—天门山旅游区—宜昌长阳县清江画廊景区—宜昌三峡大坝旅游区—宜昌秭归县屈原故里文化旅游区—桂林兴安县乐满地度假世界。

第 7 次旅游：海南槟榔谷黎苗文化旅游区—保亭县呀诺达雨林文化旅游区—三亚南

山文化旅游区—三亚南山大小洞天旅游区—陵水县分界洲岛旅游区—深圳观澜湖休闲旅游区—南宁市青秀山旅游区—桂林独秀峰·靖江王城景区—黔南布依族苗族自治州荔波樟江景区。

第 8 次旅游：布尔津县喀纳斯景区—富蕴县可可托海景区—天山天池风景区—乌鲁木齐天山大峡谷—吐鲁番葡萄沟风景区。

第 9 次旅游：喀什地区噶尔老城景区—喀什地区泽普县金胡杨景区—伊犁地区新源县那拉提旅游风景区—巴音郭楞蒙古自治州博湖县博斯腾湖景区。

第 10 次旅游：杭州西溪湿地—杭州西湖—鲁迅故里—沈园—桐乡乌镇古镇—南浔古镇景区—嘉兴南湖—苏州吴中太湖—苏州吴江同里古镇—横店影视城—苏州昆山周庄古镇—无锡灵山大佛—苏州园林—常州溧阳市天目湖—苏州市金鸡湖国家商务旅游示范区—无锡影视基地三国水滸城。

第 11 次旅游：淮安市周恩来故里景区—扬州瘦西湖—泰州姜堰区溱湖国家湿地公园—镇江三山风景名胜区—中山陵风景名胜区—镇江句容茅山景区—枣庄台儿庄古城景区—青岛崂山景区—池州青阳县九华山风景区—泰安泰山景区。

第 12 次旅游：拉萨布达拉宫景区—拉萨大昭寺景区—迪庆藏族自治州香格里拉普达措国家公园—丽江玉龙雪山景区。

第 13 次旅游：邓小平故里—大足石刻景区—阆中古城—南川金佛山—神龙峡景区—武隆喀斯特景区—万盛黑山谷-龙鳞石海景区—剑门蜀道剑门关景区—恩施大峡谷景区。

第 14 次旅游：昆明石林风景区—安顺镇宁县黄果树瀑布景区—大理崇圣寺三塔文化旅游区—中科院西双版纳热带植物园—丽江古城景区。

第 15 次旅游：赣州市瑞金市共和国摇篮景区—福建土楼旅游景区—三明泰宁风景旅游区—梅州市梅县区雁南飞茶田景区—鹰潭市贵溪龙虎山风景名胜区—厦门鼓浪屿风景名胜区。

第 16 次旅游：秦皇岛山海关景区—承德避暑山庄及周围寺庙景区—大连老虎滩海洋公园—老虎滩极地馆—济宁曲阜明故城三孔旅游区—烟台蓬莱阁—三仙山—八仙过海旅游区—大连金石滩景区—烟台龙口南山景区—济南天下第一泉景区。

第 17 次旅游：焦作(云台山—神农山—青天河)风景区—开封清明上河园景区—安阳殷墟景区—石家庄平山县西柏坡景区—西安秦始皇兵马俑博物馆—山东沂蒙山旅游区—西安华清池景区—西安大雁塔—大唐芙蓉园景区—宝鸡扶风县法门寺佛文化景区—平凉崆峒山风景名胜区。

第 18 次旅游：鄂尔多斯伊金霍洛旗成吉思汗陵旅游区—平遥古城景区—乔家大院文化园区—绵山风景名胜区—大同云冈石窟—石嘴山平罗县沙湖旅游景区—银川市灵武水洞沟旅游区—五台山风景名胜区—延安黄陵县黄帝陵景区。

第 19 次旅游：大兴安岭地区漠河北极村旅游景区—黑河五大连池景区—伊春市汤旺河林海奇石景区—宁德市福鼎太姥山旅游区。

第 20 次旅游：景德镇古窑民俗博览区—上饶婺源县江湾景区—上饶三清山旅游景区—黄山市黟县皖南古村落—西递宏村—衢州市开化根宫佛国文化旅游区—黄山风景区—古徽州文化旅游区—宣城市绩溪县龙川景区—南平武夷山风景名胜区。

第 21 次旅游：乐山大佛景区—峨眉山景区—阿坝藏族羌族自治州汶川特别旅游区—都江堰旅游景区—黄龙风景名胜区—绵阳北川羌城旅游区—九寨沟景区—天水麦积山景区。

第 22 次旅游：酉阳桃花源旅游景区—恩施土家族苗族自治州巴东神龙溪纤夫文化旅游区—巫山小三峡—小小三峡旅游区—毕节市百里杜鹃景区—神农架生态旅游区—

安顺龙宫景区。

第 23 次旅游：宁德屏南（白水洋·鸳鸯溪）旅游景区—福州市三坊七巷景区—泉州市清源山风景名胜區。

第 24 次旅游：银川镇北堡西部影视城—中卫沙坡头旅游景区—西宁市湟中县塔尔寺景区—青海湖风景区—嘉峪关文物景区—酒泉市敦煌沙山月牙泉景区—威海刘公岛景区。

由于路由线路结果较多，在文中只给出了一次的结果形成安排，其他具体路由形成见附件。

7.3 结果分析

根据旅游路线以及本问上述各图表中数据可知：

(1)问题一所建模型中，未加入对餐饮、路途休息及交通状况等因素的考虑，因此按照题目所给条件，最优路径中的游览结束时间比实际生活中的旅游结束时间略有提前。但是在实际生活中，由于行车速度，公交等安排，可以使得实际结束时间早于计算机计算时间。因此旅游者若根据本问所提供的结果进行旅游，将会具有较多的旅游富余时间，用于欣赏景点其他风景。

(2)通过比较旅游者在 12 年的旅游周期，所有的出行具体路线，可以看出旅游者到达一个区域后，对周边景点以此展开旅行，其可以最大限度的减少旅游时间，符合高速优先的策略，同时这样的策略也避免了旅游者走回头路的风险，不会因走回头路而增加旅游时间。

(3)在表 7.2 最优路径的各项指标值中，可以发现该旅游者完成所有的“自驾游”旅游计划共需 12 年。由于其选择的自驾出游的方式进行出游，而且每次均是车去车回的策略进行，因此旅游者对旅游安全性要求极高，故将此因素进行考虑。从表 7.2 中可以看出，在 12 年的旅游过程中，该旅游爱好者的平均时间安全度为 0.81，单位里程安全度为 0.72，因此认为本文结果可以支持旅游者选取自身旅游路线。

8 问题二：十年内游览规划模型

随着各种旅游服务业的发展和全国便于的交通条件，游客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，该种旅游方式可以节省一些路途时间用于景区游览或休闲娱乐，越来越受到游客的欢迎和青睐。但是此种模式的旅游方式也会给旅游者带来一些弊端，比如旅游费用增加，换乘车的频繁，以及购票难等问题。

在此，综合考虑以上因素，建立了十年内游览 201 个 5A 级景区的游览规划模型，该模型实际上是在第一问的基础上，考虑出行方式的不同，游览总时间的限制下，对整体的游览规划模型进行重新建立，实际上也是对问题一景区线路规划模型的补充。

8.1 考虑换乘站选择的交通网络重构

对于全国交通网络系统，多种交通工具和出行方式的组合形成一个大的交通网络，除自驾游的旅游方式外，通常情况下，采用一种交通工具或同一条路线，不可能完成预定的旅游任务，因而，各种交通工具之间或同一工具不同路线间的相互转换时必不可少的。

当旅游者的出行方式有多种选择时，旅游线路的规划也会发生相应的改变，特别是

在线路改变的中转站(火车站、飞机场和汽车站等)的选择上就会发生改变,此时的中间城市的选择也会发生相应的变化,不仅要考虑景区的距离、景区的空间聚集程度还应该要考虑城市的等级和城市中的中转站的便利程度。以此尽量减少换乘次数,避免浪费太多的时间。

在此,考虑交通换乘站的次数和城市的级别,对交通网络进行重构,主要是对特征节点的选择有所差异,具体表现在不仅要考虑区位距离、景区空间聚集度和人均消费水平等,还要注意出行方式的便利性,主要是换乘站的规模和客流量,另外城市的等级越高,人员流动越大,相应的换乘站的就越多,交通会越便利。

基于以上指标,对特征节点(特征城市)进行重新选取,在以选定城市为节点向外辐射构造整个高速公路的交通网络,对于城市内部的交通网络,采用 BA 无标度网络进行重构,形成整个旅游路线的交通规划网络。

8.2 游览规划模型

采用多种出行方式后,旅游线路就相应的增加,此时选择性更多。游客在出游过程中首先考虑的就是出游的费用,同时考虑旅游的时间十年的特殊限制,尽量在有限的时间内游览更多的景区,这样才能在十年内游览 201 个 5A 级景区。另外,游客在游览过程中的游览满意度也是一个重要的目标,游客出游目的是为了放松心情,因此一次满意度较高的旅游路线才是最佳的游览规划路线。基于以上分析,建立十年内游览规划的多目标优化模型。

8.2.1 补充的目标函数

目标函数一: 旅游总费用最少

旅游者出游过程中会产生多种费用,特别是在可以考虑多种出行方式(飞机、火车、汽车等),游览产生的费用综合而言,分为三大类: 交通费用、租车费、旅游费。

交通费: 在旅游线路规划的后,由于出行方式的不同,产生的交通费包含乘坐高铁费用、乘坐飞机费用和租车过程中产生的租车费用。

$$P_1 = \sum_{t=1}^{TL_i} \sum_{j=1}^{NF_{i,t}} FJ(P_{i,t,j}, Q_{i,t,j}) + \sum_{t=1}^{TL_i} \sum_{j=1}^{NG_{i,t}} GT(X_{i,t,j}, Y_{i,t,j})$$

其中

$PT_{i,t,j}$ 表示第 i 条路线第 j 次坐飞机的出发地点

$QT_{i,t,j}$ 表示第 i 条路线第 j 次坐飞机的终点

$FJ(P_{i,t,j}, Q_{i,t,j})$ 表示从出发地到终点的乘坐飞机产生的费用

租车费: 每次旅游线路上游客租车游览时,产生的费用包含租车使用费、过路费和油耗费。其中油耗费是车辆行驶的里程数乘以单位里程的油耗单价,过路费包含普通公路的过路费和高速公路的过路费。

$$P_2 = \sum_{(i,k) \in SXP_i} ST_{i,k} \times P_n + \sum_{(i,k) \in SXG_i} ST_{i,k} \times P_g + \sum_{j \in SL_i} ZCT_{i,j} \times ZCP$$

旅游费: 在游客游览的过程中,游览景区的门票费用是必然需要考虑的,与此同时,游客可能由于当天不能及时赶回出发地,或由于个人喜好等因素导致在景区或城市逗留时间超过一天,而选择在当地住宿,进而产生的相应的住宿费用。对此,游览费用即为景区门票费用和服务费(餐饮、住宿和娱乐等)用的累加。

$$P_3 = \sum_{i \in SL_i} PJM_i + \sum_{j \in SL_i} PFL(V_i) \times NFL_{i,j}$$

其中

PJM_i 表示第 i 条路线上景区门票的价格

$NFL_{i,j}$ 表示第 i 条线路上第 j 次服务费

旅游总费用最少模型为：

$$\min P = \min \sum_{i=1}^3 P_i$$

目标函数二：旅游满意度最大

游客在游览过程中的游览满意度也是一个重要的目标，游客出游目的是为了放松心情，因此一次满意度较高的旅游路线才是最佳的游览规划路线。

在游览的过程中，游客的满意度会随着游览时间的长短发生变化的，当整体满意度降低到一定的值，景区的客流量将会大幅减少。根据研究表明可得游览时间的长短与游客的舒适度呈现类似的正太分布关系。在此，用正态分布的函数表示如下：

$$f(DM) = e^{-\frac{(TS - TS_{best})^2}{2}} = e^{-\frac{(TS - TS_{best})^2}{2}} = O(TL)$$

每次旅游路线的游览满意度：

$$DM_i = \frac{\sum_{t \in STL_i} O(t) \times t}{\sum_{t \in STL_i} t}$$

旅游路线的综合游览满意度最大：

$$\max DM = \max \frac{\sum_{i=1}^{N_l} DM_i \times TE_i}{\sum_{i=1}^N TE_i}$$

其中

TS ：游览观光时间；

DS ：各次旅游路线的综合游览舒适度；

TS_{best} ：舒适度最高的旅游时长；

$f(DM)$ ：游客的游览舒适度函数；

DM_i ：第 i 次旅游路线的游览舒适度。

8.2.2 约束条件

采用多种出行方式后，旅游线路就相应的增加，此时选择性更多，但是出行过程中需要有一定的条件限制，在乘坐高铁或飞机是乘车的时间直接影响当天的游览时间，由于游览总时间十年的限制，每个景区的游览时间相应的就应控制。从费用角度考虑，尽量选择交通便利而且便宜的出行方式，住宿和餐饮费用可以相应合理规划，对于景区门票价格等因素都应该考虑限制。

约束条件一： 景点逗留时间不超过最少逗留时间的二倍

$$TS_i \leq 2 \times TS_{\min-i}$$

约束条件二:年数少于 10 年

$$N_i \leq 10$$

约束条件三:每天乘高铁时间不超过 6 个小时

$$\sum_{j=1}^{NG_{i,t}} TT_{i,t,j} \leq 6$$

约束条件四:乘坐高铁或飞机的当天至多安排半天的景区游览

$$\begin{cases} STL_{i,t} \leq 4 & TG_{i,t} \geq 0 \\ STL_{i,t} \leq 4 & TF_{i,t} \geq 0 \end{cases}$$

约束条件五:第 i 次旅行中, 旅游总时间=乘车时间+旅游时间+开车时间

$$TE_i = TCC_i + TLY_i + TKC_i$$

约束条件六:住宿费根据城市等级的大小而有所差异

$$PL = \begin{cases} 200 & V_i = 1 \\ 150 & V_i = 2 \\ 100 & V_i = 3 \end{cases}$$

约束条件七:乘坐交通方式的时间

乘坐高铁的时间

$$TG_{i,t,j} = EGT_{i,t,j} - SGT_{i,t,j}$$

其中

$TG_{i,t,j}$ 乘坐高铁的时间; $EGT_{i,t,j}$ 高铁出发的时间; $SGT_{i,t,j}$ 到达目的地的时间

乘坐飞机的时间

$$TF_{i,t,j} = EFT_{i,t,j} - SFT_{i,t,j}$$

注: $TF_{i,t,j}$ 乘坐飞机的时间; $EFT_{i,t,j}$ 飞机出发的时间; $SFT_{i,t,j}$ 飞机到达目的地的时间

约束条件八:第 i 条线路每天景区游览时间之和

$$STL_i = \sum_{t=1}^{TL_i} STL_{i,t}$$

综上所述: 十年内游览规划模型是在第一问中景区线路规划模型的基础上增加两个目标函数构成的综合模型。

$$\begin{aligned}
& \left\{ \begin{array}{l} \min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} TJ_i \\ \min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} L_i \\ \max \frac{\sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} ADT_i \times L_i}{L} \\ \min \sum_{i=1}^3 P_i \\ \max \frac{\sum_{i=1}^{N_l} DM_i \times TE_i}{\sum_{i=1}^{N_l} TE_i} \end{array} \right. \\
& \left. \begin{array}{l} \sum_{i \in SY_i} TL_i \leq 30 \quad KT_{ij} \leq 8 \\ DC_{ij} = DCG_{ij} + DCP_{ij} \\ NL_i = \#SY_i \# \{1, 2, \} = 2 \quad NL_i \leq 4 \\ SLZ_i = SXP_i \cup SXG_i \\ KT_{ij} \leq 5 \quad LT_{i,t} \leq 4 \\ KT_{ij} \leq 3 \quad 4 \leq LT_{i,t} \leq 8 \\ 7 \leq TS_{i,j} \leq 19 \quad 8 \leq TJ_{i,j} \leq 18 \\ TL_i \leq 15 \quad TP_i \geq 24 \\ TS_i \geq TS_{\min-i} \\ V_g = 90km/h \quad V_p = 40km/h \\ P_1 = \sum_{t=1}^{TL_i} \sum_{j=1}^{NF_{i,t}} FJ(P_{i,t,j}, Q_{i,t,j}) + \sum_{t=1}^{TL_i} \sum_{j=1}^{NG_{i,t}} GT(X_{i,t,j}, Y_{i,t,j}) \\ P_2 = \sum_{(i,k) \in SXP_i} ST_{i,k} \times P_n + \sum_{(i,k) \in SXG_i} ST_{i,k} \times P_g + \sum_{j \in SL_i} ZCT_{i,j} \times ZCP \\ P_3 = \sum_{i \in SLT_i} PJM_i + \sum_{j \in SL_i} PFL(V_i) \times NFL_{i,j} \\ TS_i \leq 2 \times TS_{\min-i} \quad N_l \leq 10 \\ TG_{i,t,j} = EGT_{i,t,j} - SGT_{i,t,j} \quad TF_{i,t,j} = EFT_{i,t,j} - SFT_{i,t,j} \\ \sum_{j=1}^{NG_{i,t}} TT_{i,t,j} \leq 6 \quad STL_i = \sum_{t=1}^{TL_i} STL_{i,t} \\ STL_{i,t} \leq 4 \quad TG_{i,t} \geq 0 \\ STL_{i,t} \leq 4 \quad TF_{i,t} \geq 0 \end{array} \right.
\end{aligned}$$

8.3 模型求解

运用人工求解十年内遍游景区的规划模型,得到该旅游者十年内遍游全国 201 个 5A 级景区的最优旅游路线、旅游时的各项指标和 16 次旅游路线。

表 8-1 总旅游路线指标

指标	住宿总费用	门票总费用	旅游总里程	旅游总费用	旅游总年数
数值	13.54 万	5.11 万	32.28 万	64.9 万	8

表 8-2 乘车时间和游览时间

路线编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9
乘车时间	33.6	55.1	55.6	61.8	54.6	56.4	53.1	44.2	74.8
游览时间	81.2	64.5	68.6	56.1	92.1	68.4	64.3	52.5	48.8
路线编号	10	11	12	13	14	15	16	17	
乘车时间	56.2	48.32	47.5	48.5	31.5	60.0	39.1	67.6	
游览时间	76.2	68.3	60.4	48.1	88.5	48.9	76.3	36.9	

表 8-3 每次旅游路线的相关参数

旅游次数	单位时间安全度	单位里程安全度	游客舒适度
1	0.72	0.78	0.46
2	0.81	0.66	0.51
3	0.71	0.82	0.56
4	0.64	0.69	0.69
5	0.71	0.71	0.44
6	0.82	0.79	0.49
7	0.69	0.61	0.41
8	0.68	0.66	0.55
9	0.8	0.68	0.55
10	0.73	0.63	0.61
11	0.71	0.8	0.52
12	0.8	0.67	0.6
13	0.68	0.59	0.44
14	0.79	0.52	0.49
15	0.8	0.72	0.59
16	0.69	0.59	0.6

表 8-4 不同出游模式下的指标对比

指标	总时间安全度	总里程安全度	总舒适度
多种出行方式	0.77	0.69	0.6
自驾游	0.49	0.44	0.37
变化率	57.14%	56.81%	62.16%

总共 16 次的旅游路线安排如下:

第 1 次路线: 故宫博物院一天坛公园一恭王府景区一北京奥林匹克公园(鸟巢、水立方、中国科技馆、国家奥林匹克森林公园)一颐和园一明十三陵景区(神路、定陵、长陵、昭陵)一八达岭一慕田峪长城旅游区一天津蓟县盘山风景名胜区一保定涞水县野三

坡景区(百里峡、白草畔、鱼谷洞、龙门天关)—保定安新白洋淀景区(文化苑、大观园、鸳鸯岛、元妃荷园、嘎子印象、渔人乐园)—天津古文化街旅游区(津门故里)—承德避暑山庄及周围寺庙景区(普陀宗乘、须弥福寿、普宁寺、普佑寺)—石家庄平山县西柏坡景区—忻州五台山风景名胜區。

第 2 次路线：东方明珠广播电视塔—上海科技馆—上海野生动物园—苏州昆山周庄古镇景区—苏州吴江同里古镇景区—苏州市金鸡湖国家商务旅游示范区—嘉兴南湖旅游区—苏州园林(拙政园—留园—虎丘)—苏州常熟沙家浜—虞山尚湖旅游区—南通市濠河风景区—嘉兴桐乡乌镇古镇旅游区—湖州市南浔区南浔古镇景区—苏州吴中太湖旅游区(旺山—穹窿山—东山)—中央电视台无锡影视基地三国水浒城景区—无锡鼋头渚景区—无锡灵山大佛景区—绍兴市鲁迅故里—沈园景区—宁波奉化溪口—滕头旅游景区—舟山普陀山风景区—常州环球恐龙城景区(中华恐龙园、恐龙谷温泉、恐龙城大剧院)—杭州西湖风景区—杭州西溪湿地旅游区—泰州姜堰区溱湖国家湿地公园。

第 3 次路线：(高铁出发)晋中市乔家大院文化园区—晋中市平遥县平遥古城景区—晋中市介休市绵山风景名胜区—焦作(云台山—神农山—青天河)风景区—晋城阳城县皇城相府生态文化旅游区—开封清明上河园景区—郑州登封嵩山少林景区—洛阳新安县龙潭大峡谷景区—洛阳龙门石窟景区—平顶山鲁山县尧山—中原大佛景区—枣庄台儿庄古城景区—鄂尔多斯伊金霍洛旗成吉思汗陵旅游区—鄂尔多斯达拉特旗响沙湾旅游景区—洛阳嵩县白云山景区—洛阳栾川县老君山—鸡冠洞旅游区—南阳西峡伏牛山老界岭—恐龙遗址园旅游区。

第 4 次路线：阿勒泰地区布尔津县喀纳斯景区—阿勒泰地区富蕴县可可托海景区—伊犁地区新源县那拉提旅游风景区—喀什地区泽普县金胡杨景区—喀什地区噶尔老城景区。

第 5~16 次路线见附录

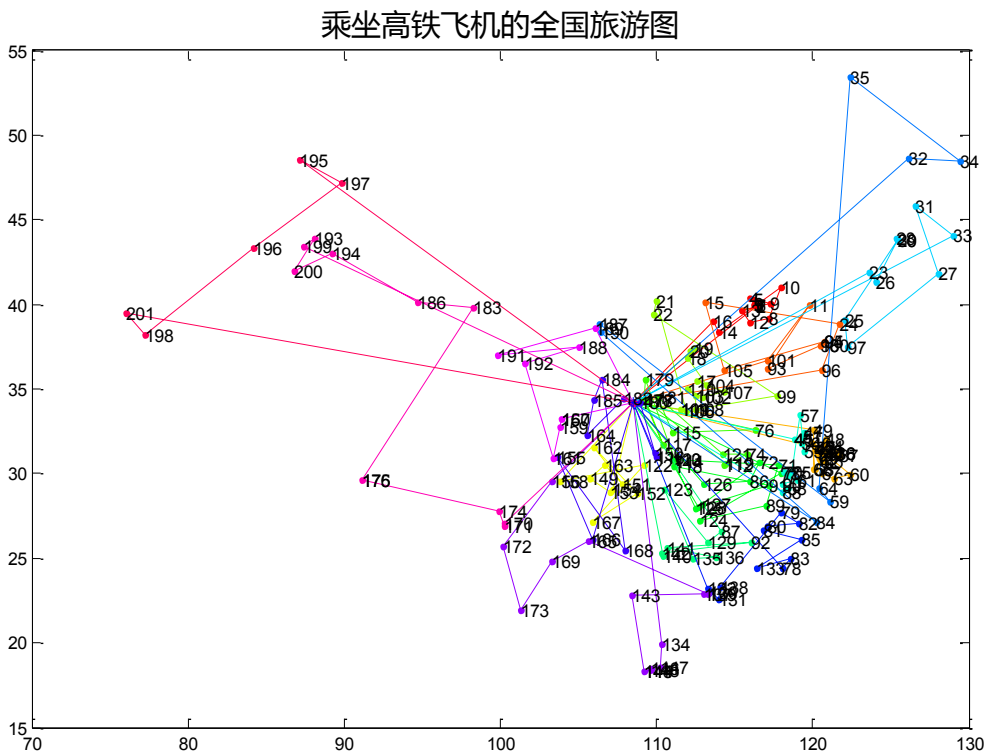


图 8-1 乘坐高铁、飞机的全国旅游路线图

8.3 结果分析

(1) 整体看来,选择乘坐高铁或者飞机出行,对全国 201 个 5A 级景区进行游玩花费的总时间消耗减少了 4 年,使得出行效率有较大幅度的提高。这种直接选择高铁或飞机到达一个地方后,然后租车旅游的“自驾游”方式应该是“自驾游”的主要模式,这样不但可以节约旅游时间,同时也提高了旅游者的舒适度及旅游安全度,也使得旅游便利性得到大幅度的提高。

(2) 从资金花费上来看,整体花费下降了近 10 万元。可以说明选乘高铁或飞机有利于减少“自驾游”出游者成本压力,这些结果是未考虑机票打折情况下的结果。从另一方面说交通网络结构的发达有利于减少人们的出行成本,这一事实在“自驾游”上也得以体现。

(3) 从“自驾游”爱好者安全角度出发,减少路途开车,明显的提高了路途安全度。“自驾游”爱好者全程开车,会产生较大的疲惫感,进而影响了旅游舒适度,因此不建议全程开车,建议使用乘坐高铁或飞机到达景点临近城市,以自驾的方式进行下一步旅游。

9 问题三:基于系统动力学“自驾游”旅行综合分析模型为

由于道路条件及我国 5A 景点的分布不同,导致自驾游者从全国不同地点出发引起时间成本、资金成本、旅游舒适度不同。为进一步旅游爱好者和旅游有关部门提出建议,因此在第三问参照第二问对从北京出发进行求解后,对从全国不同地点出发的旅游成本及收益进行综合评价,力争使用该综合评价模型对从不同地点出发的成本效益给出综合评价,同步可以考虑对不同城市出发的旅游者给与不同的补贴,使得更容易吸引旅游者,同时增加旅游景点的影响力。

9.1 问题三第一小问:不同地点出发“成本效益综合评价模型”

本部分构建五个评价指标对全国各地的成本均衡度、全国旅游舒适度指标、全国旅游乘车(包括乘坐高铁、飞机)舒适度模型、全国旅游时间成本均衡度模型、全国旅游总路程均衡度分析模型。然后利用模糊综合评价理论构建模糊综合评价模型。

各个评价指标使用基于马氏距离的均衡度评价

马氏距离是由印度统计学家马哈拉诺比斯提出的,表示数据的协方差距离。它是一种有效的计算两个未知样本集的相似度的方法。其重要的指标满意度距离系数为方案最终确定的各种房型的数目所占比例距离目标比例的方差。

9.1.1“旅游成本效益综合评价模型”的构建

评价指标一:全国各地的成本均衡度

成本高低度测算:

$$CSD_i = \frac{CTS_i}{CTS_{\max}}$$

其中 CTS_{\max} ，表示景点所在地游玩的最高花费， CTS_i ，表示第 i 个景点的花费，

$$CTS_{\max} = \{CTS_i, i \in NS\}$$

全国景点花费均值：

$$\overline{CSD}_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{NS} CSD_i}{NS}$$

花费成本均衡度模型：

$$CDJ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NS} (CSD_i - \overline{CSD}_{\max})^2}{NS}}$$

评价指标二：全国旅游舒适度指标

使用 DSS_i ，表示以第 i 个地点出发的旅游舒适度。

整体旅游舒适度均值为：

$$\overline{DSS}_i = \frac{\sum_{i=1}^{NS} DSS_i}{NS}$$

舒适度均衡度模型：

$$DSJ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NS} (DSS_i - \overline{DSS}_{\max})^2}{NS}}$$

评价指标三：全国旅游乘车(包括乘坐高铁、飞机)舒适度模型

使用 DKS_i ，表示以第 i 个地点出发的旅游的乘车舒适度。

整体旅游乘车舒适度均值为：

$$\overline{DKS}_i = \frac{\sum_{i=1}^{NS} DKS_i}{NS}$$

整体旅游乘舒适度均衡度模型：

$$DKJ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NS} (DKS_i - \overline{DKS}_{\max})^2}{NS}}$$

评价指标四：全国旅游花费的总时间均衡度模型

时间成本高低度测算：

$$TSD_i = \frac{TS_i}{TS_{\max}}$$

其中 TSD_{\max} ，表示景点所在地游玩的最高时间花费， TS_i ，表示以第 i 个地点出发的旅游对应的时间花费。

$$TS_{\max} = \{TS_i, i \in NS\}$$

全国景点旅游的时间花费均值：

$$\overline{TSD}_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{NS} TSD_i}{NS}$$

花费成本均衡度模型：

$$TSJ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NS} (TSD_i - \overline{TSD_{\max}})^2}{NS}}$$

评价指标五：全国旅游总路程均衡度分析模型

LS_i ，表示以第*i*个地点出发的旅游对应的时间花费。

$LS_{\max} = \{LS_i, i \in NS\}$ ，从不同地点出发对应的旅行路程最大值。

全国旅游总路程均值：

$$\overline{LSD_{\max}} = \frac{\sum_{i=1}^{NS} LSD_i}{NS}$$

全国旅游总路程均衡度模型：

$$LSJ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NS} (LSD_i - \overline{LSD_{\max}})^2}{NS}}$$

约束条件：同第二问。此处不再赘述。

9.1.2 不同地点出发“成本效益综合评价模型”的求解

求解方法与问题 2 相同，在此不再赘述。

表 9-1 北京市每次旅游路线的相关参数

旅游次数	单位时间安全度	单位里程安全度	游客舒适度
1	0.78	0.71	0.6
2	0.66	0.61	0.55
3	0.69	0.55	0.67
4	0.71	0.69	0.6
5	0.7	0.67	0.62
6	0.79	0.79	0.49
7	0.81	0.6	0.55
8	0.66	0.59	0.58
9	0.78	0.7	0.55
10	0.67	0.61	0.59
11	0.71	0.81	0.67
12	0.78	0.77	0.54
13	0.8	0.78	0.62
14	0.73	0.55	0.55
15	0.81	0.66	0.69
16	0.67	0.71	0.61

总共 16 次的旅游路线安排如下：

第 1 次路线：十堰丹江口市武当山风景区—神农架生态旅游区—宜昌秭归县屈原故里文化旅游区—巫山小三峡—小小三峡旅游区—恩施土家族苗族自治州巴东神龙溪纤夫文化旅游区—广元市剑门蜀道剑门关旅游景区—衡阳南岳衡山旅游区—郴州市东江湖旅游区—清远连州地下河旅游景区—韶关仁化丹霞山景区。

第2次路线：石家庄平山县西柏坡景区—忻州五台山风景名胜区—保定安新白洋淀景区(文化苑、大观园、鸳鸯岛、元妃荷园、嘎子印象、渔人乐园)—保定涞水县野三坡景区(百里峡、白草畔、鱼谷洞、龙门天关)—安阳殷墟景区—晋中市乔家大院文化园区—晋中市平遥县平遥古城景区—大同云冈石窟—颐和园—天坛公园—故宫博物院—恭王府景区—北京奥林匹克公园(鸟巢、水立方、中国科技馆、国家奥林匹克森林公园)—八达岭—慕田峪长城旅游区。

第3次路线：晋城阳城县皇城相府生态文化旅游区—焦作(云台山—神农山—青天河)风景区—洛阳新安县龙潭大峡谷景区—洛阳龙门石窟景区—郑州登封嵩山少林景区—晋中市介休市绵山风景名胜区—平顶山鲁山县尧山—中原大佛景区—开封清明上河园景区—洛阳嵩县白云山景区—洛阳栾川县老君山—鸡冠洞旅游区—南阳西峡伏牛山老界岭·恐龙遗址园旅游区。

第4次路线：明十三陵景区(神路、定陵、长陵、昭陵)—天津蓟县盘山风景名胜区—天津古文化街旅游区(津门故里)—承德避暑山庄及周围寺庙景区(普陀宗乘、须弥福寺、普宁寺、普佑寺)—山东沂蒙山旅游区(沂山景区—龟蒙景区—云蒙景区)—秦皇岛山海关景区(老龙头、山海关古城、天下第一关、孟姜女庙)—泰安泰山景区—烟台龙口南山景区—济南天下第一泉景区(趵突泉—大明湖—五龙潭—环城公园、黑虎泉)—烟台蓬莱阁—三仙山—八仙过海旅游区—济宁曲阜明故城三孔旅游区。

第5次路线：武汉黄鹤楼公园—武汉市东湖景区—武汉市黄陂木兰文化生态旅游区—岳阳岳阳楼—君山岛景区—九江庐山风景名胜区—长沙岳麓山—橘子洲旅游区—长沙市宁乡县花明楼景区—宜昌三峡人家风景区—宜昌长阳县清江画廊景区—景德镇古窑民俗博览区—湘潭韶山旅游区—宜昌三峡大坝旅游区。

第6次路线：乌鲁木齐天山大峡谷—昌吉州阜康市天山天池风景名胜区—吐鲁番葡萄沟风景区—巴音郭楞蒙古自治州博湖县博斯腾湖景区—伊犁地区新源县那拉提旅游风景区—阿勒泰地区富蕴县可可托海景区—阿勒泰地区布尔津县喀纳斯景区。

第6~16次路线见附录。

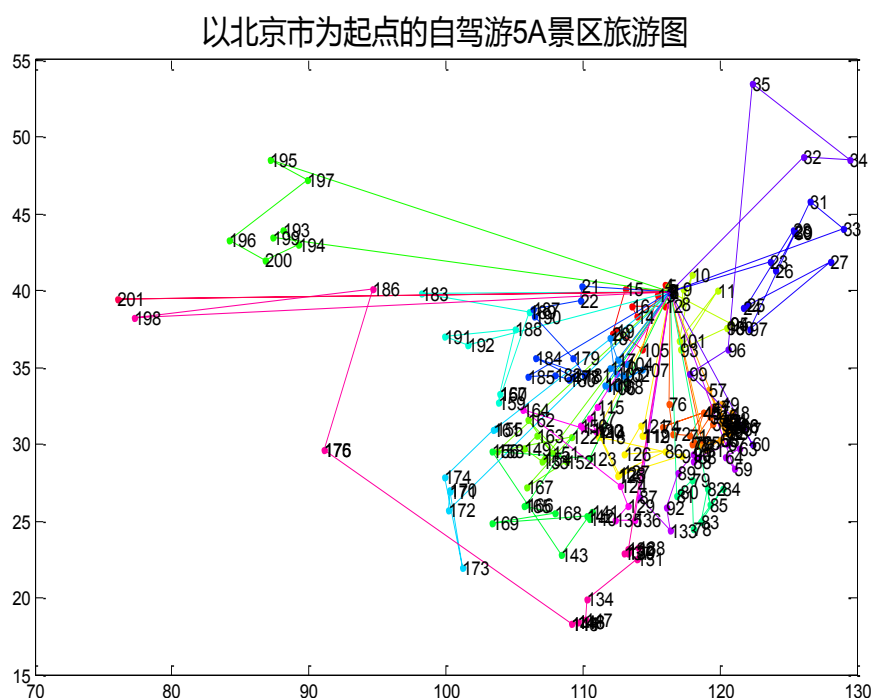


图 9-1 以北京市为起点的自驾游 5A 景区旅游图

全国各地为起点旅游对比结果：

9-2 西安、北京市每次旅游路线的相关参数对比

次数	北京			西安		
	时间安全度	里程安全度	游客舒适度	时间安全度	里程安全度	游客舒适度
1	0.78	0.71	0.6	0.72	0.78	0.46
2	0.66	0.61	0.55	0.81	0.66	0.51
3	0.69	0.55	0.67	0.71	0.82	0.56
4	0.71	0.69	0.6	0.64	0.69	0.69
5	0.7	0.67	0.62	0.71	0.71	0.44
6	0.79	0.79	0.49	0.82	0.79	0.49
7	0.81	0.6	0.55	0.69	0.61	0.41
8	0.66	0.59	0.58	0.68	0.66	0.55
9	0.78	0.7	0.55	0.8	0.68	0.55
10	0.67	0.61	0.59	0.73	0.63	0.61
11	0.71	0.81	0.67	0.71	0.8	0.52
12	0.78	0.77	0.54	0.8	0.67	0.6
13	0.8	0.78	0.62	0.68	0.59	0.44
14	0.73	0.55	0.55	0.79	0.52	0.49
15	0.81	0.66	0.69	0.8	0.72	0.59
16	0.67	0.71	0.61	0.69	0.59	0.6

表 9-4 仅写出了西安与北京的对比结果表，但从遍历所有城市的求解结果来看，这从每个城市出发，的相关参数差异较大，因此本问将考虑“自驾游”补贴的方式，将旅游各地出游情况进行改进，促进不同地区人员对自驾游的整体均衡。根据结果统计，发下出发城市周边 5A 级景点少的城市其游客整体舒适度略低于周边 5A 级景点较多的城市。

9.2 基于系统动力学的不同地区“自驾游”补贴方案综合分析模型

由于不同地点的旅客，在前往不同地区的景点的时间、资金、以及舒适度的差异化导致部分“自驾游”旅游者放弃或推迟前往该景点旅游，因此不同景点可以针对来自不同地区的“自驾游”爱好者进行差异化补贴，使“自驾游”爱好者，更方便的前往该景点旅游，进而提高该景点的知名度，同时对于一个城市来说也会带来新的消费，因此本问题第二小文对考虑来自不同地区的人群进行补贴。

补贴主要考虑为，燃油费用补贴、门票费用补贴、高速过路费补贴等。

9.2.1 基于系统动力学的“自驾游”补贴方案综合分析(城市旅游综合影响力分析)

一个合理的补贴方案，需要考虑经济效益、供求量和服务质量等影响因素。有些变量之间的关系较复杂，可根据经验公式或则用多项式函数或分段函数进行逼近，其中变量间关系的参数可以通过经验公式取得或则是通过计算机寻优求得。建立系统动力学模型，分析各类影响因素之间的相互作用，及造成的补贴方案差异性。对于多种因素影响的单一目标，采用系统动力学综合分析，评价补贴方案是否对“缓解打车难”有帮助。

系统动力学模型是一种基于控制论、系统论和信息论的模型，主要研究反馈系统结构、功能和动态情况，能够对复杂系统进行较为真实的动态仿真实验，并就不同因素与

参数间的动态变化及时模拟。根据问题三的第一小问，可知全国各地的成本均衡度、全国旅游舒适度指标、全国旅游乘车(包括乘坐高铁、飞机)舒适度模型、全国旅游时间成本均衡度模型、全国旅游总路程均衡度分析模型，均有所不同。导致全国不同地方的“自驾游”爱好者会选择不同的旅游地点的旅游方式，如：北京的旅游爱好者较为喜欢在北京周边旅游等，造成了各个景区在全国内的影响力不同。

但是从城市自身及景点自身的影响力出发需要引导来自于全国不同地点的游客前来游玩，因此各个景点可以考虑对来自于不同城市的人员进行差异化补贴，结合前两问及第一小问，可以确定全国各地的成本均衡度、全国旅游舒适度指标、全国旅游乘车(包括乘坐高铁、飞机)舒适度模型、全国旅游时间成本均衡度模型、全国旅游总路程均衡度分析模型为影响指标，以舒适度及花费刻画旅游满意度。

(1)城市旅游综合影响力分析

城市旅游综合影响力，主要考虑来自于不同城市的人群到旅游景点游玩的人数，总人数会因为据称城市之间的距离、每次旅游的花费等因素出现一定变化，因此使用系统动力学模型以考虑提高前往城市旅游的人群数，进而提高城市的旅游影响力，可靠率补贴的方式进行提高。

1)前往城市人群决定因素

No.1 城市旅游综合影响力

解决“打车难”的主要因素为出租车存在拒载的情况，为此打车软件服务平台提出的补贴政策，即产生的经济效益主要针对出租车的收益情况。

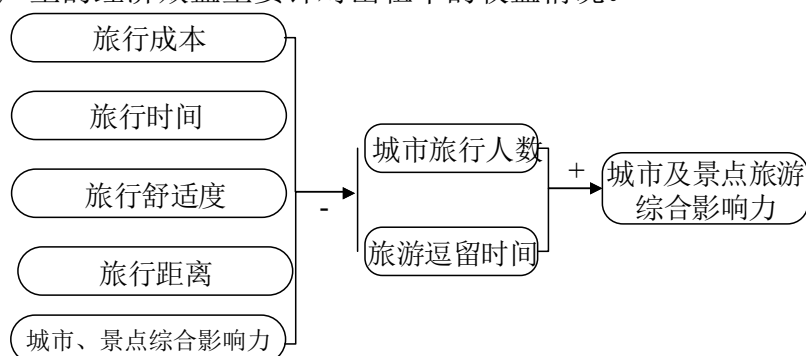


图 9-2 城市、景点综合影响力

由图可知，城市、景点综合影响力存在正反馈与负反馈，到城市旅游的人群数量、旅游逗留时间决定城市、景点综合影响，对城市、景点综合影响力起正反馈作用；旅行成本、旅行时间、旅行舒适度、旅行距离、城市、景点综合影响力会影响城市或景点的旅行人数及旅行逗留时间。进而对城市旅行人数及逗留时间形成负反馈，进而城市及景点的综合影响力水平。

No.2 旅行舒适度

可以使用旅游舒适的描绘到该城市或景点的旅游人数。

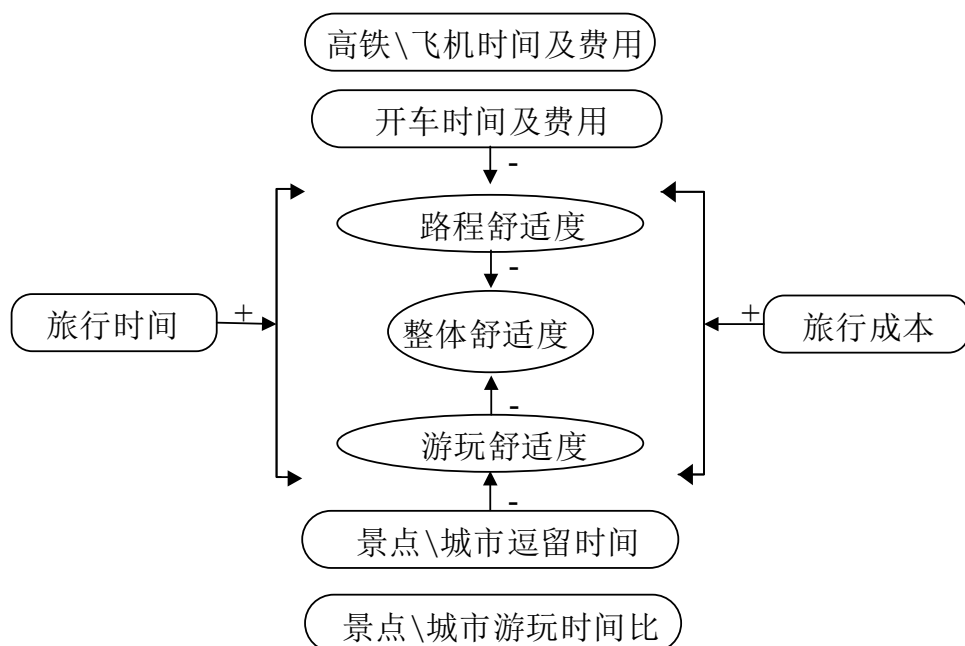


图 9-3 供给需求关系图

旅行时间主要取决于旅行过程中的时间消耗及在所在景点消耗的时间。路程舒适度与在过程中消耗的时间有关，成负反馈关系；游玩舒适度与，在景点游玩时间及游玩时间比有较大关系，游玩时间及比例偏小，择游玩舒适度有所下降。

No.3 城市景点自影响水平

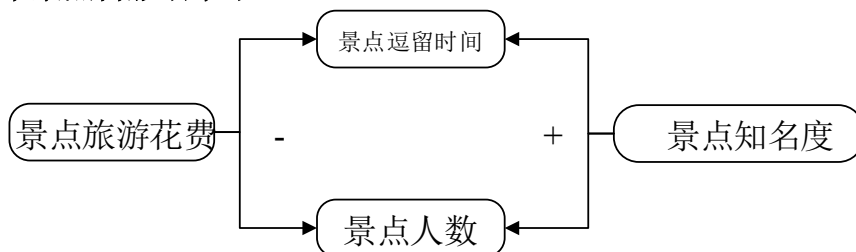


图 9-4 城市规划水平匹配度

景点的自影响水平将会引导景点逗留时间及到景点旅游人数，其与景点的旅游花费及景点知名度有较大关系，景点知名度越高在景点旅游的人数越多，逗留时间越长，同时当景点的花费较高时，旅游人数及逗留时间将有所下降。

9.2.2“自驾游”补贴方案的综合分析模型

(1) “自驾游”综合分析模型的构建

游客在“自驾游”时，旅游舒适度是关注的首要因素(主要指在旅游过程中的旅游体验)，其影响游客在游玩地逗留时间。同时城市或景点的影响力、景点逗留成本均会影响游客在该景点游玩时间。这反过来影响景点的影响力，为此提高旅游舒适度、提高游客在景点逗留时间、提高旅游花费均衡度和提高景点影响力四个指标，利用系统动力学原理，对以四类指标为目标函数的“自驾游”补贴方案综合分析模型进行求解。

(2)综合评价指标的确立

针对各个景点或城市的综合影响力差异，分析各景点的旅游人数的差异，结合本问题的第一小问基本结果，构建四项指标，对“自驾游”补贴方案的综合分析模型现状进

行探究。

评价指标一：提高旅游舒适度

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^{N_l} DM_i \times TE_i}{\sum_{i=1}^{N_l} TE_i}$$

其中

TS ：游览观光时间；

DS ：各次旅游路线的综合游览舒适度；

TS_{bes} ：舒适度最高的旅游时长；

$f(DM)$ ：游客的游览舒适度函数；

DM_i ：第 i 次旅游路线的游览舒适度。

评价指标二：提高游客在景点逗留时间

游客在旅游过程中总时间有限，可以通过尽可能的减少每次旅游的交通消耗时间，来提高旅客在景点或景点所在城市的逗留时间。

$$T = \sum_{i=1}^{N_l} TJ_i = \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} TJ_i$$

$$TJ_i = \sum_{(i,k) \in SXP_i} \frac{ST_{i,k}}{V_p} + \sum_{(i,k) \in SXG_i} \frac{ST_{i,k}}{V_g} + \sum_{j \in SLJ_i} TD_j + \sum_{j \in SLP_i} TQ_j$$

其中，

T 表示 旅游总花费时间

$ST_{i,k}$ 表示 第 i 个城市对应的景点集合

TD_j 表示 在路上花费的时间

TQ_j 表示 第 j 次出游在景区话费的时间

SXP_i 表示第 i 次旅行的普通公路的路的集合

SXG_i 表示第 i 次旅行的高速公路的路的集合

评价指标三：提高旅游花费均衡度

成本高低度测算：

$$CSD_i = \frac{CTS_i}{CTS_{\max}}$$

其中 CTS_{\max} ，表示景点所在地游玩的最高花费， CTS_i ，表示第 i 个景点的花费，

$$CTS_{\max} = \{CTS_i, i \in NS\}$$

全国景点花费均值：

$$\overline{CSD}_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^{NS} CSD_i}{NS}$$

花费成本均衡度模型：

$$CDJ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NS} (CSD_i - \overline{CSD}_{\max})^2}{NS}}$$

评价指标四：城市、景点影响力

景点影响力可以考虑为，到该景点旅游游客的距离、人数以及逗留时间决定景点的影响力。

1)游客距离的影响力函数：

$$f_1(L) = \begin{cases} \frac{1}{a_1} \int_0^{l_i} e^{-\frac{l_i^2}{b_1}} dl_i & 0 \leq l_i \leq l_{si} \\ \ln l + c_1 & l_{si} \leq l_i \end{cases}$$

其中， a_1 、 b_1 、 c_1 为影响力函数的相关系数。 l 为所在城市据景点的距离； l_s 最适距离一般选取高铁3小时之内的距离。

2)人数的影响力函数：

$$f_2(M) = \begin{cases} \frac{1}{a_2} \int_0^{m_i} e^{-\frac{m_i^2}{b_2}} dm_i & 0 \leq m_i \leq m_{si} \\ \ln m_i + c_2 & m_{si} \leq m_i \end{cases}$$

其中， a_2 、 b_2 、 c_2 为人数影响力函数的相关系数。 m_i 为第*i*个城市到该景点的旅游人数； m_{si} 为到该景点旅游人数的百分比30%(可旅游相关文献进行参数更换)。

3)逗留时间的影响力函数：

$$f_3(T) = \begin{cases} \frac{1}{a_3} \int_0^{t_i} e^{-\frac{t_i^2}{b_3}} dt_i & 0 \leq t_i \leq t_{si} \\ \ln t_i + c_3 & t_{si} \leq t_i \end{cases}$$

其中， a_3 、 b_3 、 c_3 为逗留时间影响力函数的相关系数。 t_i 为第*i*个城市到该景点的旅游者的平均逗留时间； t_{si} 为到该景点旅游者逗留的最短时间的两倍。

综上所述，得出的城市、景点影响力模型如下：

$$Z_{hy} = f_1(L) * f_2(M) * f_3(T)$$

式中，

Z_{hy} —城市、景点影响力；

综上所述，基于系统动力学“自驾游”补贴方案的综合分析模型为：

$$\left\{ \begin{array}{l} DM = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} DM_i \times TE_i}{\sum_{i=1}^{NI} TE_i} \\ T = \sum_{i=1}^{N_i} TJ_i = \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} TJ_i \\ CDJ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{NS} (CSD_i - \overline{CSD_{\max}})^2}{NS}} \\ Z_{hy} = f_1(L) * f_2(M) * f_3(T) \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in SY_i} TL_i \leq 30 \quad KT_{ij} \leq 8 \\
& DC_{ij} = DCG_{ij} + DCP_{ij} \\
& NL_i = \#SY_i \# \{1, 2, \} = 2 \quad NL_i \leq 4 \\
& SLZ_i = SXP_i \cup SXG_i \\
& KT_{ij} \leq 5 \quad LT_{i,t} \leq 4 \\
& KT_{ij} \leq 3 \quad 4 \leq LT_{i,t} \leq 8 \\
& 7 \leq TS_{i,j} \leq 19 \quad 8 \leq TJ_{i,j} \leq 18 \\
& TL_i \leq 15 \quad TP_i \geq 24 \\
& TS_i \geq TS_{\min-i} \\
& V_g = 90km/h \quad V_p = 40km/h \\
s.t. \left\{ \begin{aligned}
& P_1 = \sum_{t=1}^{TL_i} \sum_{j=1}^{NF_{i,t}} FJ(P_{i,t,j}, Q_{i,t,j}) + \sum_{t=1}^{TL_i} \sum_{j=1}^{NG_{i,t}} GT(X_{i,t,j}, Y_{i,t,j}) \\
& P_2 = \sum_{(i,k) \in SXP_i} ST_{i,k} \times P_n + \sum_{(i,k) \in SXG_i} ST_{i,k} \times P_g + \sum_{j \in SL_i} ZCT_{i,j} \times ZCP \\
& P_3 = \sum_{i \in SLT_i} PJM_i + \sum_{j \in SL_i} PFL(V_i) \times NFL_{i,j} \\
& TS_i \leq 2 \times TS_{\min-i} \quad N_i \leq 10 \\
& TG_{i,t,j} = EGT_{i,t,j} - SGT_{i,t,j} \quad TF_{i,t,j} = EFT_{i,t,j} - SFT_{i,t,j} \\
& \sum_{j=1}^{NG_{i,t}} TT_{i,t,j} \leq 6 \quad STL_i = \sum_{t=1}^{TL_i} STL_{i,t} \\
& STL_{i,t} \leq 4 \quad TG_{i,t} \geq 0 \\
& STL_{i,t} \leq 4 \quad TF_{i,t} \geq 0
\end{aligned} \right.
\end{aligned}$$

9.3 综合分析模型求解

从提高旅游舒适度、提高游客在景点逗留时间、提高旅游花费均衡度、城市、景点影响力出发各变量之间存在的较为复杂的相互关系，这样就组成了一个关系系统。有直接或间接关系的量，分析它们之间的相互影响关系，因而构成一个关系动力系统。利用经验公式、多项式函数或分段函数进行逼近，并通过计算机寻求最优的变量与变量间关系的参数。基于上述三种主要因果关系，运用 Vensim 软件，创建所有变量间的关系系统，构建打车软件系统的动力系统网络。

9.4 结果分析

补贴前后结果对比如下图所示：

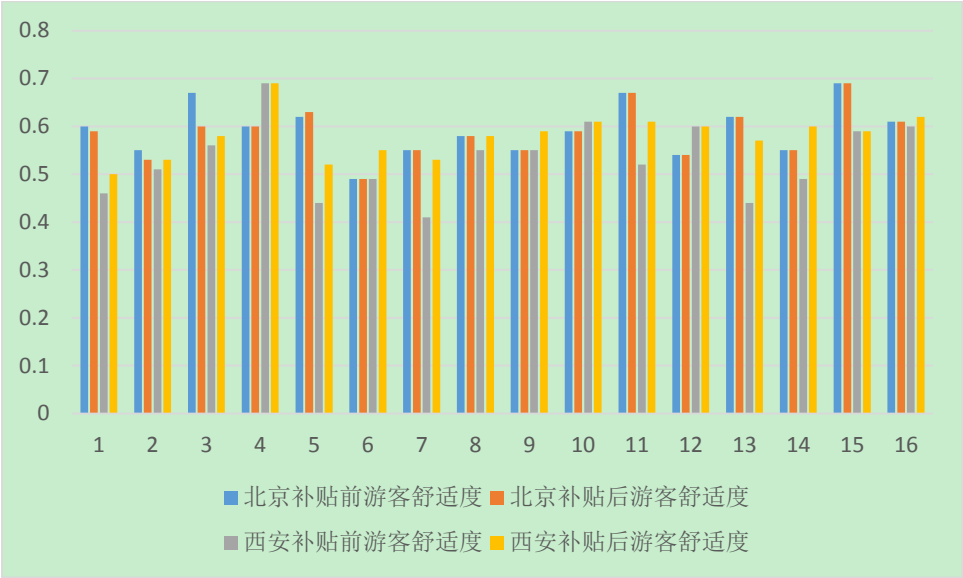


图 9-6 西安、北京市补贴前后游客舒适度对比图

北京的游客舒适度有所降低，西安游客有所上升，因为在文中对城市周边 5A 级较少的城市补贴略多余城市周边 5A 较多的城市，引起心里预期收益的一定变化。

9.5 给旅游有关部门的建议书

目前国内旅游出行方式出现了多元化的选择，城市交通网络也形成了“空-铁-公路”三位一体的交通模式，同时租车的便捷性，也使得“自驾游”爱好者可以选择多种模式进行旅游，本文从(出行方式、线路规划角度)利用五个评价指标(旅游总时间、旅游总路程、旅游安全度、旅游花费、旅游满意度)，对从不同城市出发游遍全国 5A 级景点进行求解，并进行综合分析，实现了各个城市之间的旅游线路最优。

同时也发现不同城市出发，对结果影响较大，如：从哈尔滨出发其旅游费用最高，旅游满意度较低，同时耗时也较长。为此在也考虑为不同城市提出相应的补贴手段，吸引外地游客，补贴手段有(油费补贴、高速过路费补贴等)，进而提高景点知名度，吸引更多的游客。

根据以上分析对旅游路线的优化，向旅游爱好者和旅游部门提出了如下相关建议。

(1)给旅游爱好者的建议：

- 1)、针对不同景点簇，选取核心节点，以飞机或高铁的方式到达该地区，然后在结合路线情况选择租车模式。如：纯开车则时间耗费为 12 年，借助高铁或飞机择时间耗费将降低至 8 年左右。
- 2)、选择具有较高安全度的方式出游，长时间开车会导致安全度的急速下降，如：在全开车模式下安全度为 0.49，而混合出行模式安全度为 0.77。同时实际生活中纯自驾的方式也会将旅游搞的非常疲倦，建议使用混合交通方式出游。
- 3)、多人出行，在开车人均 4 小时内，可以考虑纯开车旅游，由于机票等价格较高，如：从西安到河南郑州，开车总成本 300 元，而高铁需要 687 元，成本明显上升，因此在三人及以上同行的情况下可以选择纯自驾形式进行出游。

(2)给旅游部门的建议:

1)、对自驾游爱好者在道路上进行多次提醒安全驾驶,同时也提供多个“自驾游”爱好者休息及集散中心,让自驾游爱好者可以组队自驾出游,一方面可以节约自驾游爱好这成本,另一方面可以提高自驾游整体的安全性。

2)、对路程较远的景点可以设置机场、高铁站到景点的免费接驳车(作为另一种形式的补贴),一方面降低了出游者的成本,同时也提高了旅游者对景点的满意度,无形中会增加景点在游客中的影响力。

3)、实现不同景点择组合购票:如:旅游一个 5A 景点之后,可以快速的游览周边的 4A 景点服务,可考虑实现多景点择组合票价,降低出游者成本,甚至可以考虑为稍微较远的 4A 景点设置免费的接驳车,这样会提高整体的满意度。

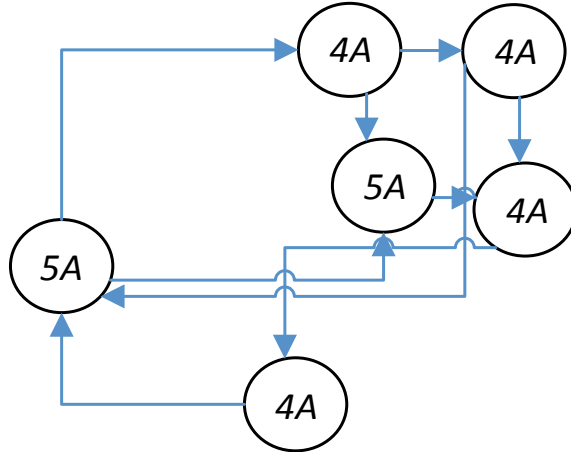
4)、提供多种补贴手段,吸引较远距离的游客,增加景点及城市的旅游影响力。系统动力学方针结果显示,对路途较远的游客进行补贴,有利于其在景点逗留时间的延长,和来自于远距离旅客的增加。

10 问题四: 考虑 4A 景区的十年内游览规划模型

问题四,是在考虑到 201 家景区为国家 5A 级旅游景区,的情况下,同时考虑国家 4A 级景区,为“自驾游”爱好者制定旅行计划。因此在第二问模型的基础上,增加考虑 4A 级景区的旅游路径规划。

10.1 考虑 4A 景区的游览结构

一般情况下,在一个城市具有 5A 景区后,会在周边具有一些相应的 4A 级景区,因此在旅游过程中,游客可以进行如下路径考虑。



第二问中,各个城市由于所距的距离较劲(动车 2 小时内或 3 小时内),可以构成旅游 5A 级景区的城市簇网络,旅客可以选择在飞往某个中心城市后,自驾或采用高铁在周边旅游。因此在该模型中可以考虑以 5A 景点为中心,以 4A 景点为过程的 4A 与 5A 景点旅游景点簇。

10.2 考虑 4A 景区的十年内游览多目标规划模型

10.2.1 原始目标函数

目标一：旅游总费用最少(与第二问相同)：

$$\min P = \min \sum_{i=1}^3 P_i$$

目标二：旅游满意度最大(与第二问相同)：

$$\max DM = \max \frac{\sum_{i=1}^{N_i} DM_i \times TE_i}{\sum_{i=1}^{N_i} TE_i}$$

目标三：安全度最高(与第一问相同)：

$$ADT_i = \frac{\sum_{(i,k) \in SLZ_i} [f(LT_{i,k}) \times LT_{i,k}]}{\sum_{(i,k) \in SLZ_i} LT_{i,k}}$$

目标四：旅行时间最短(在第二问的基础上增加 4A 级景点的游玩时间)

$$\min T = \sum_{i=1}^{N_i} TJ_i = \min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} TJ_i$$

$$TJ_i = \sum_{(i,k) \in SXP_i} \frac{ST_{i,k}}{V_p} + \sum_{(i,k) \in SXG_i} \frac{ST_{i,k}}{V_g} + \sum_{j \in SLJ_i} TD_j + \sum_{j \in SLP_i} TQ_j$$

其中，

T 表示 旅游总花费时间

$ST_{i,k}$ 表示 第 i 个城市对应的景点集合

TD_j 表示 在路上花费的时间

TQ_j 表示 第 j 次出游在景区花费的时间

SXP_i 表示第 i 次旅行的普通公路的路的集合

SXG_i 表示第 i 次旅行的高速公路的路的集合

目标五：总路程最短(在第二问的基础上增加 4A 级景点的游玩时间)

$$\min L = \min \sum_{i=1}^{N_i} L_i = \min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} L_i$$

$$L_i = \sum_{(i,k) \in SLZ_i} LT_{i,k}$$

其中

$LT_{i,k}$ 表示第 i 条路线第 k 时段内的行驶路程

SLZ_i 表示第 i 条线路集合

9.2.2 补充目标函数

假设在游客在游玩一个 5A 景点时，基础得分为 5 分，游玩一个 4A 景点的基础得分为 4 分，因此可以认为游客在游玩过程中总得分为：

$$SF_{4,5} = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N4j} S4_{i,j} + \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N5j} S5_{i,j}$$

其中： $SF_{4,5}$ 表示 4A 级景点及 5A 级景点总得分； $\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N4j} S4_{i,j}$ 为 4A 级景点得分，
 $\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N5j} S5_{i,j}$ 为 5A 级景点的分。

同时考虑到旅客在景点停留时间，会影响旅客对景点的得分；考虑第三问的旅游时间对影响力的影响函数，用于此处刻画游客旅游得分情况：

$$f_3(T) = \begin{cases} \frac{1}{a_3} \int_0^{t_i} e^{-\frac{t^2}{b_3}} dm & 0 \leq t_i \leq t_{si} \\ \ln t_i + c_3 & t_{si} \leq t_i \end{cases}$$

其中， a_3 、 b_3 、 c_3 为逗留时间影响力函数的相关系数。 t_i 为第 i 个城市到该景点的旅游者的平均逗留时间； t_{si} 为到该景点旅游者逗留的最短时间的两倍。

因此旅客旅游的分总分为：

$$SF_{4,5} = \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N4j} S4_{i,j} f(t_{4a,i}) + \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N5j} S5_{i,j} f(t_{5a,i})$$

其中： $t_{4a,i}$ 表示在第 i 个 4A 级景点逗留时间； $t_{5a,i}$ 表示在第 i 个 5A 级景点逗留时间。

因此针对增加 4A 级景点后，可以考虑旅客在单位时间及单位里程得分情况：

目标六：单位时间旅游得分

$$ST_{4,5} = \frac{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N4j} S4_{i,j} f(t_{4a,i}) + \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N5j} S5_{i,j} f(t_{5a,i})}{T}$$

其中： $ST_{4,5}$ 表示单位时间旅行总得分； T 表示总的旅行时间。

目标七：单位里程旅游得分

$$SL_{4,5} = \frac{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N4j} S4_{i,j} f(t_{4a,i}) + \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N5j} S5_{i,j} f(t_{5a,i})}{L}$$

其中： $SL_{4,5}$ 表示单位里程旅行总得分； L 表示总的旅行总里程。

目标八：单位时间得分增加率

$$IR_{4,5} = \frac{SF_{4,5} - SF_5}{T_{4,5} - T_5}$$

其中：

$IR_{4,5}$ ：表示 4A 级景点及 5A 级景点单位时间得分增加率；

$SF_{4,5}$ ：表示 4A 级景点及 5A 级景点总得分；

SF_5 ：表示 5A 级景点得分；

$T_{4,5}$ ：表示 4A 级景点及 5A 级景点总游玩时间。

T_5 ：表示 5A 级景点总游玩时间。

目标九：单位成本得分增加率

$$IRC_{4,5} = \frac{SF_{4,5} - SF_5}{C_{4,5} - C_5}$$

其中：

$IRC_{4,5}$ ：表示 4A 级景点及 5A 级景点单位成本得分增加率；

$SF_{4,5}$ ：表示 4A 级景点及 5A 级景点总得分；

SF_5 ：表示 5A 级景点等分；

$C_{4,5}$ ：表示游览 4A 级景点及 5A 级景点总花费。

C_5 ：表示仅游览 5A 级景点总花费。

综上可得：考虑 4A 景区的十年内游览规多目标划模型为

$$\left\{ \begin{array}{l} \min P = \min \sum_{i=1}^3 P_i \\ \max DM = \max \frac{\sum_{i=1}^{N_i} DM_i \times TE_i}{\sum_{i=1}^{NI} TE_i} \\ ADT_i = \frac{\sum_{(i,k) \in SLZ_i} [f(LT_{i,k}) \times LT_{i,k}]}{\sum_{(i,k) \in SLZ_i} LT_{i,k}} \\ \min T = \sum_{i=1}^{N_i} TJ_i = \min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} TJ_i \\ \min L = \min \sum_{i=1}^{N_i} L_i = \min \sum_{j=1}^{10} \sum_{i \in SY_i} L_i \\ \max ST_{4,5} = \frac{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N4j} S4_{i,j} f(t_{4a,i}) + \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N5j} S5_{i,j} f(t_{5a,i})}{T} \\ \max SL_{4,5} = \frac{\sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N4j} S4_{i,j} f(t_{4a,i}) + \sum_{j=1}^4 \sum_{i=1}^{N5j} S5_{i,j} f(t_{5a,i})}{L} \\ \max IR_{4,5} = \frac{SF_{4,5} - SF_5}{T_{4,5} - T_5} \\ \max IRC_{4,5} = \frac{SF_{4,5} - SF_5}{C_{4,5} - C_5} \end{array} \right.$$

$$\begin{aligned}
& \sum_{i \in SY_i} TL_i \leq 30 \quad KT_{ij} \leq 8 \\
& DC_{ij} = DCG_{ij} + DCP_{ij} \\
& NL_i = \#SY_i \# \{1, 2, \} = 2 \quad NL_i \leq 4 \\
& SLZ_i = SXP_i \cup SXG_i \\
& KT_{ij} \leq 5 \quad LT_{i,t} \leq 4 \\
& KT_{ij} \leq 3 \quad 4 \leq LT_{i,t} \leq 8 \\
& 7 \leq TS_{i,j} \leq 19 \quad 8 \leq TJ_{i,j} \leq 18 \\
& TL_i \leq 15 \quad TP_i \geq 24 \\
& TS_i \geq TS_{\min-i} \\
& V_g = 90km/h \quad V_p = 40km/h \\
s.t. \quad & P_1 = \sum_{t=1}^{TL_i} \sum_{j=1}^{NF_{i,t}} FJ(P_{i,t,j}, Q_{i,t,j}) + \sum_{t=1}^{TL_i} \sum_{j=1}^{NG_{i,t}} GT(X_{i,t,j}, Y_{i,t,j}) \\
& P_2 = \sum_{(i,k) \in SXP_i} ST_{i,k} \times P_n + \sum_{(i,k) \in SXG_i} ST_{i,k} \times P_g + \sum_{j \in SL_i} ZCT_{i,j} \times ZCP \\
& P_3 = \sum_{i \in SL_i} PJM_i + \sum_{j \in SL_i} PFL(V_i) \times NFL_{i,j} \\
& TS_i \leq 2 \times TS_{\min-i} \quad N_i \leq 10 \\
& TG_{i,t,j} = EGT_{i,t,j} - SGT_{i,t,j} \quad TF_{i,t,j} = EFT_{i,t,j} - SFT_{i,t,j} \\
& \sum_{j=1}^{NG_{i,t}} TT_{i,t,j} \leq 6 \quad STL_i = \sum_{t=1}^{TL_i} STL_{i,t} \\
& STL_{i,t} \leq 4 \quad TG_{i,t} \geq 0 \\
& STL_{i,t} \leq 4 \quad TF_{i,t} \geq 0
\end{aligned}$$

10.3 模型的求解

由于问题 4 的模型目标较多,无法计算解析解,因此考虑借助智能优化算法进行计算。在使用智能优化算法前需要将多目标问题转化为单目标进行求解,因此本文借助模糊加权模型将多目标转化为单目标问题;同时使用人工鱼群算法与粒子群算法进行求解。

10.3.1 综合加权旅游线路规划问题处理

对于第 i 个目标函数 $f_i(G)$, G 代表每一个目标函数。设 $f_{i,\min}$ 为第 i 个目标的最优解,满足 $f_{i,\min} > 0$, β_i 为第 i 个目标的弹性程度,其弹性区间为 $(-\infty, f_{i,\min} + \beta_i f_{i,\min})$, 则目标函数 $f_i(G)$ 的转换函数 $v(f_i(G))$ 为:

$$v(f_i(G)) = \begin{cases} 1 & f_i(G) < f_{i,\min} \\ \frac{f_{i,\min} + \beta_i f_{i,\min} - f_i(G)}{\beta_i f_{i,\min}} & f_{i,\min} \leq f_i(G) \leq f_{i,\min} + \beta_i f_{i,\min} \\ 0 & f_i(G) > f_{i,\min} + \beta_i f_{i,\min} \end{cases}$$

转化后的函数为:

$$\max \frac{[\alpha_2 v(f_2(DM)) + \alpha_3 v(f_3(ADT_i)) + \alpha_6 v(f_6(ST_{4,5})) + \alpha_7 v(f_7(SL_{4,5})) + \alpha_8 v(f_8(IR_{4,5})) + \alpha_9 v(f_9(IRC_{4,5}))]}{\alpha_1 v(f_1(P))P + \alpha_4 v(f_4(T))T + \alpha_5 v(f_5(L))L}$$

其中, α_i 为各目标函数相对重要性的权系数, 满足 $0 \leq \alpha_i \leq 1$, $i=1,2,\dots,9$, $\sum_{i=1}^9 \alpha_i = 1$

10.3.2 人工鱼群算法与粒子群算法混合算法设计

该算法是基于对粒子群模仿了鸟群飞行觅食行为, 通过鸟群集体的协作使群体达到最优。但粒子群在搜索食物时的速度转换策略, 以粒子的“飞行”速度、粒子迄今为止搜索到的最优位置称为个体极值、整个粒子群迄今为止搜索到的最优位置为全局极值为三个子速度进行加权求和计算得到下一步的飞行速度。

本文在原本的鸟儿速度改变的模式的情况下, 再引入人工鱼群算的速度改变策略, 觅食行为、聚群行为、追尾行为、随机行为、公告板等觅食策略。进而避免智能粒子群的结果早熟, 和局部最优的出现。而依靠鸟儿更新位置和速度来不断进化加速了智能粒子群的收敛。使得混合后的算法不仅具有快速的局部搜索速度, 而且保证具有全局收敛性能。

假设在一个 D 维的目标搜索空间中, 有 N 个粒子组成一个群落, 其中第 i 个粒子表示为一个 D 维的向量:

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}), \quad i=1,2,\dots,N$$

第 i 个粒子的“飞行”速度也是一个 D 维的向量, 记为

$$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}), \quad i=1,2,\dots,N$$

第 i 个粒子迄今为止搜索到的最优位置称为个体极值, 记为

$$p_{best} = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD}), \quad i=1,2,\dots,N$$

整个粒子群迄今为止搜索到的最优位置为全局极值, 记

$$g_{best} = (p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD})$$

在找到这两个最优值时, 粒子根据如下的公式(1)来更新自己的速度和位置:

在以上变换完之后, 根据 AF_prey_1 或 AF_prey_2 变换粒子所在位置。变换后速度和位置为:

$$\begin{cases} v_{id} = w * v_{id} + c_1 r_1 (p_{id} - x_{id}) + c_2 r_2 (p_{gd} - x_{id}) \\ x_{id} = \alpha x_{id} + \beta (AF_prey_1) + \gamma (AF_prey_2) \end{cases} \quad (2)$$

其中: α 和 β (其中 β 与 γ 有且只有一个非零)为位置转换权重 ($\alpha + \beta = 1$), 使用该权重主要是避免粒子群的早熟, 或局部最优解。该犬种在变化时, α 的值为增函数。

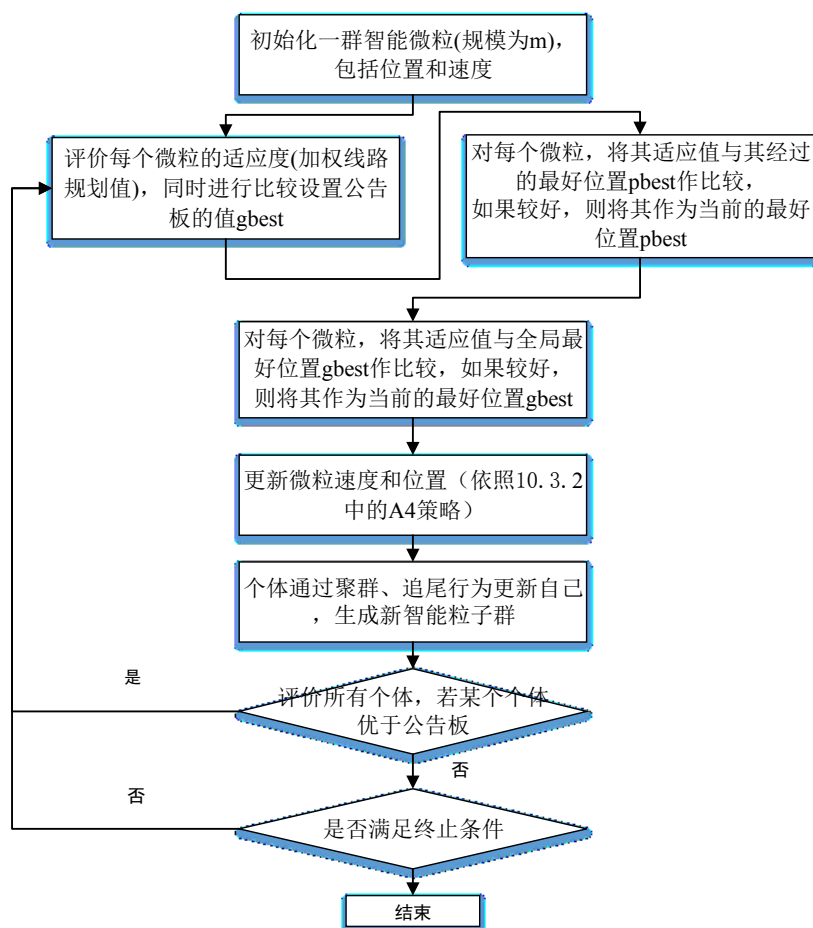


图 10-1 粒子群-人工鱼群算法流程

人工鱼群算法与粒子群算法求解考虑 4A 景区的十年内游览规划模型, 得出十年内从西安市出发, 对 5A 和 4A 景点的最优旅游路线、旅游时的各项指标见表 10-2 和表 10-3。

表 10-1 该旅游者在多种出行方式下路线指标

	住宿 总费用	门票 总费用	旅游 总里程费	旅游 总费用	旅游 总年数	总舒 适度
5A 景区	9.54 万	5.11 万	18.28 万	32.93 万	7.25	0.72
5A+4A 景区	10.8 万	8.34 万	22.4 万	41.54 万	8.5	0.93
变化率	11.66%	38.73%	22.53%	26.14%	17.24%	29.16%

表 10-2 该旅游者每次旅游 4A 景区的数量

第 i 次 出行	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
游览 数量	6	8	4	5	2	4	5	9	6	4
第 i 次 出行	11	12	13	14	15	16	17			
游览	7	5	8	4	6	2	6			

“5A+4A 景区”的部分路线展示

路线 1: 南通市濠河风景区—苏州常熟沙家浜—虞山尚湖旅游区—苏州市金鸡湖国家商务旅游示范区—苏州园林（拙政园、留园、虎丘）—无锡鼋头渚景区—中央电视台无锡影视基地三国水浒城景区—苏州吴江同里古镇景区—……—上海科技馆—湖州市南浔区南浔古镇景区—嘉兴南湖旅游区—上海野生动物园—嘉兴桐乡乌镇古镇旅游区—镇江三山风景名胜区（金山、北固山、焦山）。

路线 2: 保定涞水县野三坡景区(百里峡、白草畔、鱼谷洞、龙门天关)—颐和园—八达岭—慕田峪长城旅游区—保定安新白洋淀景区(文化苑、大观园、鸳鸯岛妃荷园、嘎子印象、渔人乐园)—明十三陵景区(神路、定陵、长陵、昭陵)—恭王府景区—故宫博物院—天坛公园—……—天津蓟县盘山风景名胜区—忻州五台山风景名胜区—石家庄平山县西柏坡景区。

其余路线见附录

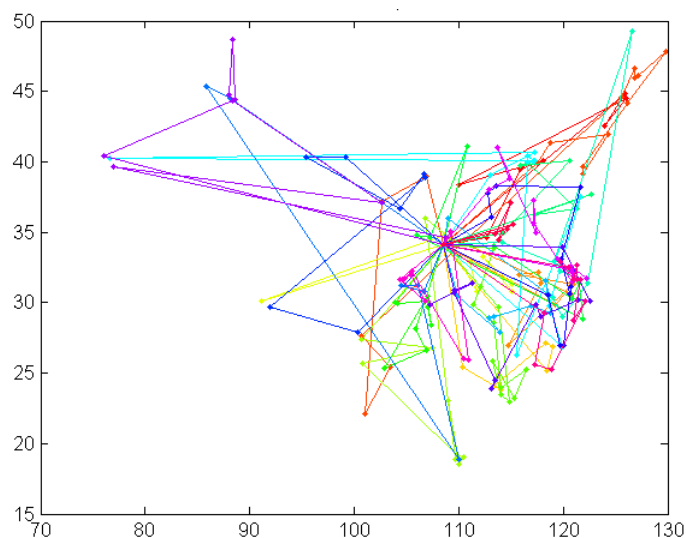


图 10-2 游览 5A+4A 景区的线路图

10.4 结果分析

(1)4A 级景点与 5A 级景点同时游玩时，可游玩的景点更多，也代表者选择更多，因此其成本会相应上升，一般情况下游客在游览完 5A 景点，顺道对 4A 景点进行游玩，提高了旅客的游玩效率，同时也增加了旅客的游玩舒适度。

(2)整体游览满意度有较大提高，游览对象的增加，游客可以做更多的选择，而避免过于单一的 5A 级具有较好的优势，我们可以认为“自驾游”爱好者可以避开票价较高但是综合评价不高的部分 5A 级景点。因此游客不仅提高的自身的满意度，同时也提高了单位成本满意度、单位路程满意度。

11 模型的评价与推广

11.1 模型的评价

(1)模型优点:

本文将各个城市以及旅游景区作为游览线路上的特征节点,运用模糊综合评价法对特征节点进行定量评价,进而筛选出满足要求的特征节点,并根据筛选后的特征节点辐射构网,形成复杂的交通网络图。该网络的构建有利于对旅游过程的整体规划,大大提高了最优路径搜寻的效率。

此外,在规划景区线路时,本文不仅提出了出行费用、交通状况、景区门票价格、景区环境等传统因素对线路规划的影响,还创新地提出了城市的级别对的影响,通常情况下,城市级别较高相应的环境住宿、餐饮等服务行业标准高,可以适当增加游客旅游的满意度和舒适度。

(2)模型缺点:

本文建立的最优路径模型缺少对旅游者个人身体素质和突发状况(如天气恶劣、车辆故障、飞机晚点等)处理时间的考虑,可能给旅行者带来体力分配不均、整体形成延误等影响。因此,为了使行程更加人性化,可以适当在旅游过程中增加休息的时间,还可将耗费体力较大景点(如森林,高山等自然风景区)的游览和耗费体力较少景点(如博物馆、历史遗址等人文景观)的游览间隔安排开来。此外,在安排旅游计划时,应预留一定的突发状况处理时间,使整个行程更加合理可靠,提高旅游者的满意度。

11.2 模型的推广

该模型不仅能够为旅游者规划具有高参考价值的行程安排,还可推广到家电配送、信件邮递、应急物资的发放等问题的研究应用中。

参考文献

- [1]李春清.城市公共交通换乘系统关键问题及评价研究[D].北京交通大学,2008.
- [2]曹阳.城市旅游规划行程链的模型构建及其应用研究[D].南京师范大学,2014.
- [3]叶君.宁波市自驾游地理信息系统研究[D].宁波大学,2011
- [4]胡军国,祁亨年,董峰,汪杭军.一种改进蚁群算法研究和旅游景区路径规划问题求解[J]. 计算机应用研究. 2011(05)
- [5]史春云,朱传耿,赵玉宗,朱明,袁欣.国外旅游线路空间模式研究进展[J]. 人文地理. 2010(04)
- [6]刘晓燕. 旅行社旅游线路设计初探[J]. 成功(教育). 2010(03)
- [7]方冬云.图论在旅游线路选择中的应用[J]. 长春工业大学学报(自然科学版). 2009(05)
- [8] 刘峙麟,李臣,王露.基于层次分析和图论模型的旅游线路设计及其评估[J]. 经营管理者. 2009(15)
- [9] 林俊,杜军平. 智能旅游行程导航系统[J]. 计算机应用. 2009(S1)
- [10] 吴必虎. 中国作为多目的地的国际营销战略[J]. 旅游学刊. 2009(05)
- [11] 凡丹. 旅游线路的创新探讨[J]. 吕梁教育学院学报. 2009(01)
- [12] Xin Ye,Ram M. Pendyala,Giovanni Gottardi. An exploration of the relationship between mode choice and complexity of trip chaining patterns[J]. Transportation Research Part B . 2006 (1)
- [13] McKercher B,Lau G.Movement Patterns of Tourists within aDestination. Tourism Geographies . 2008
- [14] LUNDGREN J O J.The development of tourist travel system:a metropolitan economic hegemony par excellence. Tourism Review . 1973
- [15] Dianne Dredge. Destination place planning and design[J]. Annals of Tourism Research . 1999 (4)
- [16]王学文. 复杂网络的演化模型研究[D].上海大学,2013.
- [17]李萍. 复杂网络中若干模型上的传播特性研究[D].山东师范大学,2013.
- [18]韩中庚,郭晓丽,杜剑平等.美国大学生数学建模竞赛题解析与研究(第2辑)[M].北京:高等教育出版社,2013,250—346.
- [19]夏承遗,刘忠信,陈增强等. 复杂网络上的传播动力学及其新进展[J]. 智能系统学报,2009,05:392-397.
- [20]杨琳,孔峰. 嵌入粒子群优化算法的混合人工蜂群算法[J]. 自动化仪表,2013,01:50-53.
- [21] KHOSLA Arun,KUMARShakti,AGGARWAL K.K.. Identification of strategy parameters for particle swarm optimizer through Taguchi method[J]. Journal of Zhejiang University Science A(Science in Engineering),2006,12:1989-1994.
- [22]银建霞,孟红云. 具有混沌差分进化搜索的人工蜂群算法[J]. 计算机工程与应用,2011,29:27-30.
- [23]袁光辉,樊重俊,张惠珍,王斌,覃太贵. 一种新的粒子群算法与人工鱼群算法的混合算法[J]. 上海理工大学学报,2014,03:223-226+238.