评委一评分，签名及备注	队号： 10560	评委三评分，签名及备注
评委二评分，签名及备注	选题： C	评委四评分，签名及备注

题目：面向多层次需求的西安旅游线路优化设计

摘要

本文围绕暑假期间家长带领孩子到西安旅游，旅行路线的优化问题展开了研究，选取了西安十五个景点作为旅游景点代表，通过对旅游路线的费用、时间、游览景点数目的分析，制定出针对五种不同层次的旅游需求：（1）费用不限，花费时间最少，（2）时间不限，花费费用最少，（3）限定费用，竟可能多游览景点，（4）限定时间，尽可能多游览景点，（5）限定时间和费用，尽可能多游览景点，分别建立了相应的数学模型，制定了合理的旅游路线套餐。

针对需求（1）问题。首先，对旅游总消耗的时间进行分析，其主要由交通花费时间，景点停留时间和住宿时间 3 部分组成。鉴于节省时间，选择较为快捷的出租车作为游客出行的交通工具，并建立出租车到各景点间所需的时间表。其次，由于旅客游览各景点间的路线是典型的 TSP 问题。因此，我们基于 Hamilton 回路思想，建立了以最小化旅行时间为目标函数的优化模型。最后，通过 Lingo 编程，求解出该需求的最优旅游套餐，其最少旅游时间为 4 天 17 小时 30 分。

针对需求（2）问题。首先，对旅游费用进行分析，其主要由交通费用、住宿费用，景点门票费用和吃饭及其他费用 4 部分构成。鉴于节省费用，选择较为便宜的公交车作为游客出行交通工具，并建立公交车到各景点间所需的费用表。由于该问题本质上是与需求（1）问题一致，也是典型的 TSP 问题。因此，建立以最小化旅行费用为目标函数的优化模型。最后，通过编程求出相应的旅游套餐，其最少旅游总费用为 2080 元/人。

针对需求（3）问题。由于时间没有限制，因此我们选择公交车作为游客出行交通工具以便节约交通费。再而，由于该问题本质上是在需求（2）的基础上，对旅游费用进行约束.因此我们建立了受旅行费用约束，以最大化游览景点数目为目标函数的优化模型。最终分别求得限制旅游费用为 400 元，900 元的游客最多只能游览 5 个和 9 个景点，并为其制定了旅游行程表。

针对需求（4）问题。由于费用没有限制，我们选择较为快捷的出租车作为游客出行交通工具以便节省时间。该问题本质上是在需求（1）的基础上对旅游时间进行约束.因此，我们建立受旅行时间约束以最大化游览景点数目为目标函数的优化模型。最终分别求得限制旅游时间为 2 天，3 天和 4 天的游客最多只能游览 8，12 和 14 个景点，并以 3 天为例，制定了旅游行程表。

针对需求（5）问题。该问题本质上是需求（3）和需求（4）的结合，增加了对旅游时间和费用的约束。因此，同样建立以最大化游览景点数目为目标函数的优化模型。最后求解出不同时间和费用限制的旅行路线，并给出了 4 天 1300 元旅行的旅游行程表，其最多只能游览 12 个景点。

文末，对模型优缺点进行分析，提出了改进方案，使得模型更加吻合实际。

关键字：　旅游路线 不同需求　 费用 时间 景点个数

面向多层次需求的西安旅游线路优化设计

1 问题重述

暑假即将来临，很多家长会选择这个时间带孩子去某城市旅游，但不同的家庭有不同的需求(人数，费用限制，时间限制等)，请您任选一个旅游城市(比如你所在的城市)，综合考虑旅行路线，费用、时间以及其它你认为比较重要的因素，为有不同需求的家庭设计一份最佳旅游套餐。

古城西安作为华夏文明的发源地之一，旅游资源得天独厚，是著名的世界历史名城。因此，我们选择古城西安作为建模的旅游城市，以西安火车站作为游客游览西安的出发点，预选了秦始皇陵兵马俑、华清池、半坡遗址、骊山风景区、陕西省历史博物馆、大唐芙蓉园、曲江海洋馆、西安古城墙、大雁塔广场、钟鼓楼、曲江寒窑遗址公园、大唐不夜城、回民街、青龙寺和翠华山十五个最具西安代表性的旅游景点作为游览的地方，如图 1 所示。综合考虑旅行路线的费用、时间以及游览景点数目这些因素，依据人们对旅游的不同需求，制定出游玩西安的不同的旅游套餐，具体主要解决以下五个问题：

（1）针对费用不限，花费时间最少需求，建立相应数学模型，设计旅游行程表并给出相应的旅游套餐。

（2）针对时间不限，花费费用最少需求，建立相应数学模型，设计旅游行程表并给出相应的旅游套餐。

（3）针对限定费用，尽可能多游览景点需求，建立相关数学模型并设计旅游行程表。分别对旅游费用为 400 元，900 元的旅客制定最优的旅游套餐。

（4）针对限定时间，尽可能多游览景点需求，建立相应数学模型并设计旅游行程表。并为只有 3 天旅游时间的游客，制定最优的旅游套餐。

（5）针对限定时间和费用，尽可能多游览景点需求，建立相应数学模型并设计旅游行程表。并为限定 4 天 1300 元的游客，制定最优的旅游套餐。

图 1 西安景点分布图

2 模型的假设

暑假期间正是家长带领孩子旅游的黄金时期，西安各旅游景点吸引了大批游客前往观光。考虑到该游客的旅游路线尚存在一些不确定因素。为了研究方便，我们给出以下假设：

（1）旅客最先到达西安火车站，即从火车站出发开始观光，离开西安时也是从该火车站搭车返回原城市。

（2）西安地铁正处于修建中，通往景点的线路极少，因此市内交通工具假设以公交(含专线大巴、小巴)和出租车两种。

（3）家庭成员旅游路线相同，所需的时间，费用也相同。

（4）旅游费用包括交通费、住宿费、景点门票。晚上 20：00 至次日早晨 7：00 之间，如果在某地停留超过 6 小时，必须住宿，住宿费用不超过 150 元/人/天。吃饭等其它费用 60 元/人/天。

（5）各景点都有旅店可以住宿。

（6）假设出行途中无事故、无阻碍，没有交通阻塞。

（7）假设等待公交车或者出租车的时间很短，忽略不计；

（8）假设景点的开放时间为 8:00 至 18:00。

（9）假设旅游过程中天气条件良好，不影响行程

3 符号说明

符号	说明
i,j （i，j=0,1,2 ••••••• 15）	表示第 i 个景点或第 j 个景点
T	旅游花费的总时间
T_1	表示景点间所需的总交通时间；
T_2	表示在景点停留的总时间；
T_3	表示住宿的总时间；
m	旅途总花费
m_1	旅途交通总费用
m_2	旅途总景点门票费；
m_3	旅途总住宿费用
m_4	旅途总吃饭及其他费；
$M_{\max}$	限定的旅游费用
$T_{\max}$	限定的旅游时间

G_i	第 i 个景点的门票费用
c_{ij}	表示 i 景点到 j 景点之间的交通费用
t_{ij}	第 i 个景点到第 j 个景点所需的交通时间
t_i	在第 i 个景点停留时间
t	旅途总的住宿天数
Z_i	第 i 个景点的住宿费用
y_i	在第 i 个景点的住宿时间
n	游览景点数目
$r_{\mathrm{ij}}=1$ $r_{\mathrm{ij}}=0$	表示直接从景点 i 前往景点 j 表示不直接从景点 i 前往景点 j
$S_{\mathrm{i}}=1$ $S_{\mathrm{i}}=0$	表示在第 i 个景点住宿 表示不在第 i 个景点住宿

4 问题的分析

4．1 对问题一的分析

问题一要求在不限定费用的情况下，游览完十五个景点，并制定出花费时间最少的旅游套餐。总的旅游时间由交通花费时间，景点停留时间和住宿时间 3 部分组成，而出租车远快于公交车，因此在该问题中，我们尽量选择出租车作为交通工具。该问题属于典型的 TSP（旅行商）问题，因此我们构建以旅游时间最小为目标函数的优化模型，通过 Lingo 编程求解出最优方案。

4．2 对问题二的分析

问题二要求在不限定时间的情况下，游览完十五个景点，并制定出花费最少的旅游套餐。总的旅游费用由交通费用、住宿费用，景点门票费用和吃饭及其他费用 4 部分构成，而出租车费用普遍高于公交车，因此在该问题中，我们选择尽量使用公交车作为交通工具。该问题本质上是与问题一一致的，也属于典型的 TSP 问题，只是优化的目标函数变为费用最小，解决方法与问题一类似。

4．3 对问题三的分析

问题三要求在限定旅游费用的前提下，尽可能多游览景点。从问题二分析可知，总的旅游费用中包含交通费，而该问题对旅游时间没有限制，而且是要求限定旅游费用。鉴于公交车费用显著便宜与出租车，因此，在该问题中，我们以公交车作为交通工具。该问题是在问题二的基础上，加入对旅游费用的约束条件，因此，我们建立在旅游费用受约束条件下，以游览景点数目最多为目标函数的优化模型，利用 Lingo 编程求解出最优方案，并对不同费用约束进行分析求解。

4．4 对问题四的分析

问题四要求在限定旅游时间的前提下，尽可能多游览景点。从问题一分析可知，总的旅游时间包含交通花费时间，而该问题对旅游费用没有限制，而且是限定旅游时间。鉴于出租车的快捷性明显优于公交车。因此，在该问题中，我们以出租车作为通往景点间的交通工具。该问题实质上是在问题一的基础上，加入对旅游时间的约束条件，因此，我们建立在旅游时间受约束条件下，以游览景点数目最多为目标函数的优化模型并进行求解，给出对不同旅游时间的相应旅游套餐。

4．5 对问题五的分析

问题四要求在限定旅游时间个费用的前提下，尽可能多游览景点。该问题实质上是对问题三和问题四的进一步限制，同时对旅游时间和旅游费用进行约束。因此，我们建立在旅游时间和旅游费用受约束条件下，以游览景点数目最多为目标函数的优化模型，给出不同时间和费用约束的旅游套餐。

5 模型建立与求解

5．1 费用不限，花费时间最少问题

5．1．1 目标函数的确立

由于旅客最先到达西安火车站，从火车站出发开始观光。为使得描述更清晰和编程更方便，我们将西安火车站、秦始皇陵兵马俑、华清池、半坡遗址、骊山风景区、陕西省历史博物馆、大唐芙蓉园、曲江海洋馆、西安古城墙、大雁塔广场、钟鼓楼、曲江寒窑遗址公园、大唐不夜城、回民街、青龙寺和翠华山这十五个景点进行编号，分别对应编号为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15。西安火车站和十五个景点的交通路线形成图 2 所示的拓扑图。

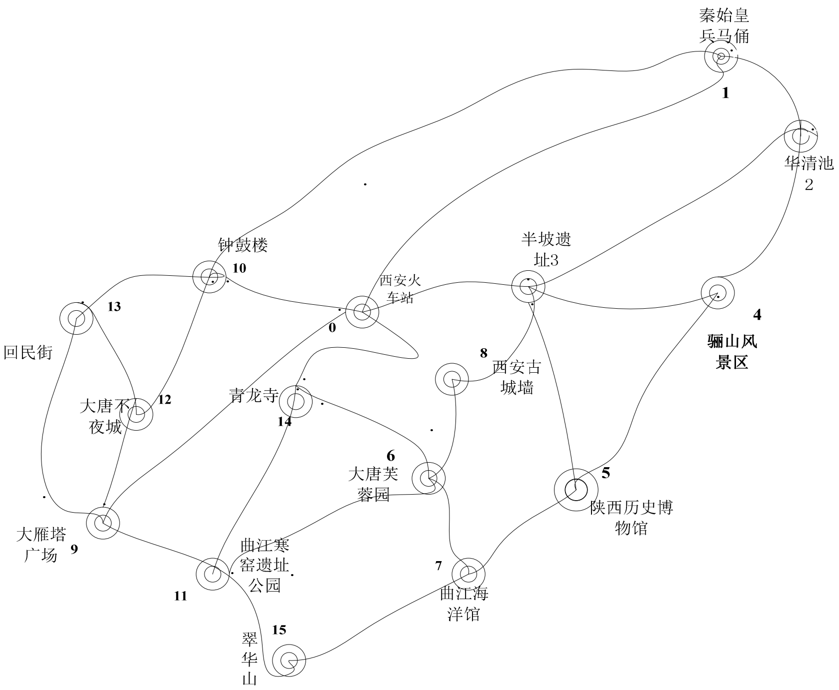

图 2　　火车站及景点拓扑图

在费用不限，游览完十五个景点，要求花费时间最少的需求中，该需求不限制旅游费用，而要求在最短时间游览完十五个景点。该问题是典型的TSP（旅行商问题）问题。由于旅游的总时间由景点间的交通花费时间、景点停留时间和住宿时间3部分组成

T——表示旅游总花费时间；

T_1——表示景点间所需的总交通时间；

T_2——表示在景点停留的总时间；

T_3——表示住宿的总时间；

因此，要求在游客游览完十五个景点的条件下，使得交通花费时间、景点停留时间和住宿时间之和最少，目标函数可表示为

$$\mathrm{Min\,T} = \mathrm{T_1} + \mathrm{T_2} + \mathrm{T_3}$$

（1）景点间所需的总交通时间

因为t_{ij}表示第 i 个景点到第 j 个景点所需的交通时间，而$\mathrm{r_{ij}}$是判断游客们是否从第 i 个景点直接到第 j 个景点的 0—1 变量，因此我们可以很容易的得到总交通时间为：

$$T_1 = \sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15} r_{ij} \times t_{ij}$$

（2）在景点停留的总时间

因为t_i表示在第 i 个景点停留的时间，而$\mathrm{r_{ij}}$是判断游客们是否从第 i 个景点直接到第 j 个景点的 0—1 变量，因此我们可以很容易的得到在景点停留的总时间为：

$$T_2 = \frac{1}{2}\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15} r_{ij} \times (t_i + t_j)$$

（3）住宿的总时间

由于变量s_i是断游客们是否从第 i 个景住宿的 0—1 变量，而y_i表示在第 i 个景点的

住宿时间，假设在每个景点住宿时间 $y_i \le 8$（小时），因此我们可以很容易的得到住宿的总时间为：

$$T_3 = \sum_{i=0}^{15} y_i s_i$$

通过以上分析，这种需求条件下目标函数可表示为：

$$\begin{aligned} \mathrm{Min\,T} &= \mathrm{T_1 + T_2 + T_3} \\ &= \sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15} r_{ij} \times t_{ij} + \frac{1}{2}\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15} r_{ij} \times (t_i + t_j) + \sum_{i=0}^{15} y_i s_i \end{aligned}$$

5．1．2 约束条件

（1）0-1 变量 $\mathrm{r_{ij}}$ 的约束

我们将所有的景点连成一个圈，而把每一个景点看做圈上一个点。对每个点来说，只允许最多一条边进入，同样只允许最多一条边出来，并且只要有一条边进入就要有一条边出去，形成了一个 Hamilton 回路。因此可得约束：

$$\sum_i r_{ij} = \sum_j r_{ij} \le 1 \qquad (i, j = 0,1,2,\cdots,15)$$

当 $i = 0$ 时，因为都是从火车站作为出发点，所以 $\sum_{i=0} r_{ij} = 1$；

当 $j = 0$ 时，因为游客最终要回到火车站，所以 $\sum_{j=0} r_{ij} = 1$。

综合以上可知，

$$\sum_i r_{ij} = \sum_j r_{ij} \le 1 \qquad (i, j = 0,1,2,\cdots,15)$$

$$\sum_{i=0} r_{ij} = 1$$

$$\sum_{j=0} r_{ij} = 1$$

同样，当 $i, j \ge 0$，时，根据题意不可能出现 $r_{ij} = r_{ji} = 1$，即不可能出现游客在两地间往返旅游，因为这样显然不满足游览景点尽量多的原则。因此我们可得约束：

$$r_{ij} \times r_{ji} = 0 \qquad (i, j = 0,1,2,\cdots,15)$$

（2）旅游景点数目约束

根据假设，整个旅游路线是环形，即最终要回到西安火车站，火车站并不算为旅游景点，因此 $\sum_{\mathrm{i=0}}^{15}\sum_{\mathrm{j=0}}^{15} \mathrm{r_{ij}} - 1$ 即表示旅游的景点数，这里我们假定要旅游的景点数为 n（n=1，2，3，……，15）。因此旅游景点数约束为：

$$\sum_{\mathrm{i=0}}^{15}\sum_{\mathrm{j=0}}^{15} \mathrm{r_{ij}} - 1 = \mathrm{n} \qquad （\mathrm{n} = 1,2,3,\cdots\cdots 15）$$

5．1．3 模型建立

综上所述，我们可以知道费用不限情况下，游览完十五个景点，要求花费最少时间的数学模型可为：

$$
\begin{aligned}
\mathrm{Min\,T} &= \mathrm{T_1 + T_2 + T_3} \\
&= \sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15} r_{ij} \times t_{ij} + \frac{1}{2}\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15} r_{ij} \times (t_i + t_j) + \sum_{i=0}^{15} y_i s_i
\end{aligned}
$$

约束条件为：

$$
s.t.\begin{cases}
\sum\limits_{\mathrm{i=0}}^{15}\sum\limits_{\mathrm{j=0}}^{15} \mathrm{r_{ij}} - 1 = \mathrm{n} & （\mathrm{n} = 15） \\
\sum\limits_{i} r_{ij} = \sum\limits_{j} r_{ij} \le 1 & (i, j = 0, 2, \cdots, 15) \\
\sum\limits_{i=0} r_{ij} = 1 & \\
\sum\limits_{j=0} r_{ij} = 1 & \\
r_{ij} \times r_{ji} = 0 & (i, j = 1, 2, \cdots, 15) \\
y_i \le 8 &
\end{cases}
$$

5．1．4 模型求解

考虑到现实中，出租车的快捷性，其所花费的时间远小于公交车，因此我们在这种需求中，我们选择了出租车作为交通工具，收集了十五个景点和火车站共十六个地点之间的出租车时间表，以及各景点停留的时间表，分别如表 1，表 2 所示：

表 1：十六个地点之间的出租车时间（单位“小时”）

单位（h）	火车站	秦始皇兵马俑博物馆	华清池	半坡博物馆	骊山风景区	省历史博物馆	大唐芙蓉园	曲江海洋馆	西安古城墙	大雁塔	钟鼓楼	寒窑遗址公园	大唐不夜城	回民街	青龙寺	翠华山
火车站	0	1.5	1.2	0.5	1.5	0.4	0.5	0.3	0.1	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	1.4
秦始皇兵马俑博物馆	1.5	0	0.5	1	0.5	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	2	1.5	1.3	1.5	2.5
华清池	1.2	0.5	0	1	1.5	1.5	1.5	1.4	1.2	1	1	1.1	1.2	1	1	2.5
半坡博物馆	0.5	1	1	0	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.5	0.4	0.4	1.5
骊山风景区	1.5	0.5	1.5	0.5	0	1.6	1.7	1.8	1.5	1.5	1.4	1.6	1.5	1.2	1.5	2.6
省历史	0.4	1.5	1.5	0.6	1.6	0	0.2	0.4	0.4	0.2	0.6	0.2	0.4	0.3	0.5	1.5

博物馆																
大唐芙蓉园	0.5	2	1.5	0.4	1.7	0.2	0	0.1	0.5	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	0.3	1.2
曲江海洋馆	0.4	1.5	1.4	0.5	1.8	0.4	0.1	0	0.4	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	0.2	0.9
西安古城墙	0.1	1.6	1	0.5	1.6	0.5	0.5	0.4	0	0.3	0.1	0.5	0.2	0.3	0.4	1.5
大雁塔	0.4	1.5	1	0.6	1.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0	0.4	0.3	0.1	0.4	0.3	0.8
钟鼓楼	0.2	1.5	1	0.6	1.4	0.6	0.4	0.4	0.2	0.4	0	0.4	0.4	0.1	0.4	0.9
寒窑遗址公园	0.4	2	1.1	0.8	1.6	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	0	0.3	0.5	0.3	0.6
大唐不夜城	0.3	1.5	1.2	0.5	1.5	0.4	0.2	0.2	0.3	0.1	0.4	0.3	0	0.4	0.2	0.8
回民街	0.2	1.3	1	0.4	1.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.4	0.1	0.5	0.4	0	0.4	0.9
青龙寺	0.3	1.5	1	0.4	1.5	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.4	0	0.7
翠华山	1.4	2.5	2.5	1.5	2.6	1.5	1.2	0.9	1.4	0.8	0.9	0.6	0.8	0.9	0.7	0

表 2. 十五个旅游景点停留时间

景点	在景点的最短停留时间
秦始皇陵兵马俑	4 小时
华清池	4 小时
半坡遗址	1 小时
骊山风景区	4 小时
陕西省历史博物馆	3 小时
大唐芙蓉园	4 小时
曲江海洋馆	3 小时
西安古城墙	1 小时
大雁塔广场	1 小时
钟鼓楼	1 小时
曲江寒窑遗址公园	3 小时
青龙寺大唐不夜城	4 小时
回民街	3 小时
青龙寺	2 小时
翠华山	8 小时

通过以上数学模型，运用通过 lingo 编程求出最优方案为：0→1→2→4→3（住宿）→15→11→7→6→12（住宿）→9→5→13→10（住宿）→14→8→0 即：西安火车站→秦始皇陵兵马俑→华清池→骊山风景区（住宿）→半坡遗址→翠华山→曲江寒窑遗址公园（住宿）→曲江海洋馆→大唐芙蓉园→大唐不夜城（住宿）→大雁塔广场→陕西省历史博物馆→回民街→钟鼓楼（住宿）→青龙寺→西安古城墙→西安火车站。总耗时为：4 天 17 小时 30 分。结合实际，具体的行程表可制定如下：

行程表	
时间	行程
第一天	早 7 点乘坐出租依次游览秦始皇陵兵马俑，华清池及骊山（住宿）。
第二天	游览半坡博物馆以及翠华山，并到达曲江（住宿）。
第三天	早 8 点开始游览曲江寒窑遗址公园，曲江海洋馆，晚上游览大唐不夜城（住宿）。
第四天	早 8 点坐出租到大雁塔，之后到省历史博物馆，回民街，以及钟楼（住宿）。
第五天	早 8 点开始游览青龙寺，之后游览西安古城墙。然后在火车站乘车返家。

5．2 时间不限，花费费用最少问题

5．2．1 目标函数的确立

不限定时间的情况下，游览完十五个景点，花费最少，该问题实在是与问题一致，也是典型的 TSP（旅行商问题）问题。由于游览的总旅游费用由交通费用、门票费用、住宿费用和吃饭及其他费用 4 部分组成，

m——旅途总花费；

m_1——旅途交通总费用；

m_2——旅途总景点门票费；

m_3——旅途总住宿费用；

m_4——旅途总的吃饭及其他费；

而门游览十五个景点门票费用是确定的，只需在游客游览完十五个景点的条件下使交通费用、住宿费用和吃饭及其他费用最少即可。因此我们的目标函数为

$$\mathrm{Min}\,\mathrm{m} = \mathrm{m}_1 + \mathrm{m}_2 + \mathrm{m}_3 + \mathrm{m}_4$$

（1）交通总花费

因为c_{ij}表示第 i 个景点到第 j 个景点所需的交通费用，而r_{ij}是判断游客们是否从第 i 个景点直接到第 j 个景点的 0—1 变量，因此我们可以很容易的得到交通总费用为：

$$m_1 = \sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15} r_{ij} \times c_{ij}$$

（2）旅游总景点门票费

十五个景点总共的门票费用是恒定的，通过查找相关数据，可知十五个景点的门票如表 3 所示：

表 3：十五个景点门票费用（单位：元/人）

景点	门票
秦始皇陵兵马俑	150 元
华清池	110 元
半坡遗址	65 元
骊山风景区	105 元
陕西省历史博物馆	免费
大唐芙蓉园	90 元

曲江海洋馆	100 元
西安古城墙	45 元
大雁塔广场	免费
钟鼓楼	35 元
曲江寒窑遗址公园	50 元
大唐不夜城	95 元
回民街	免费
青龙寺	10 元
翠华山	75 元

因此旅游景点总的门票费

$$m_2=\sum_{i=1}^{15}G_i=930$$

（3）总住宿费用

引入 0——1 变量 s_i 表示是否在第 i 个景点住宿，而 Z_i 表示第 i 个景点的住宿费用，因此我们可以很容易的得到住宿费用为：

$$m_3=\sum_{i=0}^{15}z_i s_i$$

（4）吃饭及其他费

人均吃饭及其他费假设都为 60 元，引入时间变量 t 表示旅游天数，因此我们可以很容易的得到吃饭及其他费为：

$$m_4=60t$$

通过以上分析，我们的目标函数可表示为：

$$\begin{aligned}\mathrm{Min\,m}&=\mathrm{m_1+m_2+m_3+m_4}\\&=\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times c_{ij}+930+\sum_{i=0}^{15}Z_i s_i+60t\end{aligned}$$

5．2．2 模型建立

由需求一模型的约束条件分析可知，问题二模型的约束与问题一模型约束是一致的。综上所述，我们可以知道，不限定时间的情况下，游览完十五个景点，花费最少的数学模型为：

$$\begin{aligned}\mathrm{Min\,m}&=\mathrm{m_1+m_2+m_3+m_4}\\&=\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times c_{ij}+930+\sum_{i=0}^{15}Z_i s_i+60t\end{aligned}$$

约束条件为：

$$
s.t.\begin{cases}
\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}\mathrm{r_{ij}}-1=\mathrm{n} \qquad (\mathrm{n}=15) \\
\sum_{i} r_{ij}=\sum_{j} r_{ij}\leq 1 \qquad (i,j=0,1,2,\cdots,15) \\
\sum_{i=0} r_{ij}=1 \\
\sum_{j=0} r_{ij}=1 \\
r_{ij}\times r_{ji}=0 \qquad (i,j=1,2,\cdots,15) \\
Z_i\leq 150 \\
t=[\frac{T}{24}]^{+} \qquad (\text{向上取整})
\end{cases}
$$

5．2．3 模型求解

考虑到现实中，出租车的费用远高于公交车，因此我们在这种需求中，我们选择了公交车作为交通工具，收集了十五个景点和火车站共十六个地点之间的公交费用表，如表 2 所示：

表 2：十六个地点的公交费用（单位“元”）

单位（元）	西安火车站	秦始皇兵马俑	华清池	半坡博物馆	骊山风景区	省历史博物馆	大唐芙蓉园	曲江海洋馆	西安古城墙	大雁塔广场	钟鼓楼	寒窑遗址公园	大唐不夜城	回民街	青龙寺	翠华山
西安火车站	0	20	10	3	5	4	4	6	1	5	3	4	5	2	4	16
秦始皇兵马俑	20	0	2	15	2	15	18	20	20	18	25	23	20	24	23	30
华清池	10	2	0	12	25	30	16	18	10	18	16	12	12	15	14	30
半坡博物馆	3	15	2	0	15	6	8	9	3	6	2	8	10	6	5	18
骊山风景区	5	2	25	15	0	15	15	16	5	6	14	15	14	13	15	30
省历史博物馆	4	15	30	6	15	0	2	3	4	2	2	4	4	6	4	10
大唐芙蓉园	4	18	16	8	15	2	0	2	4	5	6	4	2	4	3	10
曲江海洋馆	6	20	18	9	16	3	2	0	6	4	5	5	3	4	6	15
西安古城墙	1	19	10	2	6	4	5	5	1	5	5	4	5	3	5	15

大雁塔广场	5	18	18	6	6	2	4	4	5	0	4	4	4	5	8	18
钟鼓楼	2	25	16	2	14	2	6	5	2	3	0	4	5	0	3	15
寒窑遗址公园	4	23	12	8	15	4	4	5	4	4	4	0	3	4	6	15
大唐不夜城	5	20	12	10	14	4	2	3	5	4	5	3	0	5	7	14
回民街	2	24	15	6	13	2	4	4	2	5	1	4	5	0	4	15
青龙寺	4	23	14	5	15	4	3	6	4	8	3	6	7	4	0	17
翠华山	16	30	30	18	30	10	10	15	16	18	15	15	14	15	17	0

通过以上数学模型，运用通过 lingo 编程，求出最优方案为：0→8→10→13（住宿）→14→5→9→7（住宿）→11→6→12（住宿）→3→4→2（住宿）→1（住宿）→15→0，即西安火车站→西安古城墙→钟鼓楼→回民街（住宿）→青龙寺→陕西省历史博物馆→大雁塔广场→曲江海洋馆（住宿）→曲江寒窑遗址公园→大唐芙蓉园→大唐不夜城（住宿）→半坡遗址→骊山风景区→华清池（住宿）→秦始皇陵兵马俑（住宿）→翠华山→西安火车站。旅游总费用为 2080 元/人。结合实际，具体的行程表可制定如下：

行程表	
时间	行程
第一天	早上 8:00 前从西安火车站坐公交到西安古城墙入口(门票 45 元)，从 14 点点开始游览 3 小时后乘车到钟鼓楼（35 元门票）观赏 1 小时夜景，完后步行至回民街吃晚饭、小吃等，当晚在此住宿。
第二天	早上 8:00 从旅店出发乘车路至青龙寺（门票 10 元）游览 2 小时，之后乘车到陕西历史博物馆（持身份证免费领票）停留 2 小时，午饭午休后，下午 15：00 到达大雁塔广场看亚洲最大喷泉到停留 1 小时，乘车去曲江海洋馆游玩，当在此住宿。
第三天	早 8:00 出发去曲江寒窑遗址公园（门票 50 元）停留 3 小时，午饭午休后，15 点乘车去大唐芙蓉园（门票 90 元）停留 3 小时，吃饭后，去大唐不夜城（门票 95 元）停留 4 小时观看演出，当晚在此住宿。
第四天	早 8 点出发去半坡博物馆参观（门票 65 元）1 小时之后乘车去骊山风景区游玩（门票 105 元），之后前往华清池停游玩 3 小时，当晚在此住宿。
第五天	早上 8 点出发去秦始皇兵马俑参观（门票 150 元）4 小时并在附近景区游览，当晚在此住宿。
第六天	8:00 坐公交之翠华山（75 元），上下山预计 8 小时。完后当天返回至火车站。

5．3 限定费用，尽可能多游览景点

5．3．1 目标函数的确立与约束条件

需求三针对限定时间，费用不限情况，在此条件下尽可能多游览景点况。我们使用

单目标优化模型，以景点数目最多为目标，在需求二模型基础上加上总费用的限制条件，如限定费用为小于 $M_{\max}$ 的约束条件，并改变目标函数，建立模型如下，目标函数可表示为：

$$\max\ n=\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}\mathrm{r}_{ij}-1$$

约束条件为在需求二模型上加上总费用约束，

$$m=\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times c_{ij}+930+\sum_{i=0}^{15}Z_i s_i+60t\le M_{\max}$$

5．3．2 模型建立与求解

由需求二模型和上述分析，对限定旅游费用，时间不限的条件下，尽可能最多游览景点的最佳路线数学模型可为：

$$\max\ n=\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}\mathrm{r}_{ij}-1$$

约束条件为：

$$s.t\begin{cases}\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times c_{ij}+930+\sum_{i=0}^{15}Z_i s_i+60t\le M_{\max}\\ \sum_{i}r_{ij}=\sum_{j}r_{ij}\le 1 \qquad (i,j=0,2,\cdots,15)\\ \sum_{i=0}r_{ij}=1\\ \sum_{j=0}r_{ij}=1\\ r_{ij}\times r_{ji}=0 \qquad (i,j=1,2,\cdots,15)\\ Z_i\le 150\\ t=[\frac{T}{24}]^{+} \qquad (\text{向上取整})\end{cases}$$

在此问题中，由于时间不限，而费用有限，考虑到现实中，出租车的费用远高于公交车，因此我们在这种需求中也选择了公交车作为交通工具。公交车的费用表如表 2 所示。通过 lingo 编程求出最优方案为：

旅游景点数 n	4	5	6	7	8	9	10
总花费（元/人）	280	368	420	580	625	820	1200
路线	0→5→3→9→8→0	0→13→5→9→3	0→10→6→11→7	0→13→10→5→9→11→	0→13→10→5→6→11→7→9	0→13→5→6→12→11→	0→5→6→11→12→7

		→8→0	→5→8→0	3→8→0	→3→0	9→10→3→8→0	→9→15→14→3→8→0

由上表可知，对于旅游费用只有 400 元的游客，其最多只能浏览 5 个景点。行程为：0→13→5→9（住宿）→3→8→0，结合具体实际，制定出行程表如下：

行程表	
第一天	早上 8 点乘公交车至回民街（免费）游览，之后后去陕西省历史博物馆（免费），下午坐公交去大雁塔（免费）。当晚住在附近小旅馆。
第二天	早上 8 点乘公交车去半坡博物馆（门票 60 元），然后去西安古城墙（门票 45 元），下午返程回家。

对于旅游费用只有900元的游客，其最多只能浏览9个景点。行程为：0→13→5→6（住宿）→12→11→9（住宿）→10→3→8→0，结合具体实际，制定的行程表如下：

行程表	
第一天	早上 8 点乘公交车至回民街（免费）游览，之后后去陕西省历史博物馆（免费），下午去游览大唐芙蓉园（门票 90 元）。晚上住在附近小旅馆。
第二天	早上 8 点乘公交车去大唐不夜城（门票 95 元），然后去曲江寒窑遗址公园（门票 50 元），下午去游览大雁塔广场（免费），晚上在附近小旅馆住宿。
第三天	早上 8 点去钟鼓楼（门票 35 元）游览，接着乘公交车去半坡博物馆（门票 60 元）参观，之后返回火车站。

5．4 限定时间，尽可能多游览景点

5．4．1 目标函数的确立与约束条件

需求四针对限定时间，费用不限情况，在此条件下尽可能多游览景点。因此，我们依然建立以游览景点数为目标的单目标规划模型，并在需求一模型基础上加上总时间不大于 $T_{\max}$ 小时的约束条件，并改变以游览景点数目为目标函数，目标函数可表示为：

$$\max\ n=\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}\mathrm{r}_{ij}-1$$

约束条件为在需求一模型上加上总时间约束，

$$T=\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times t_{ij}+\frac{1}{2}\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times(t_i+t_j)+\sum_{i=0}^{15}y_i s_i\le T_{\max}$$

5．4．2 模型建立与求解

由需求一模型和上述分析，可知对限定时间，费用不限制的条件下尽可能多游览景点最佳路线的数学模型可为：

$$\max\ n=\sum_{\mathrm{i}=0}^{15}\sum_{\mathrm{j}=0}^{15}\mathrm{r}_{\mathrm{ij}}-1$$

约束条件为：

$$s.t\begin{cases}\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times t_{ij}+\frac{1}{2}\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times(t_i+t_j)+\sum_{i=0}^{15}y_i s_i\le T_{\max}\\ \sum_{i}r_{ij}=\sum_{j}r_{ij}\le 1\qquad (i,j=0,2,\cdots,15)\\ \sum_{i=0}r_{ij}=1\\ \sum_{j=0}r_{ij}=1\\ r_{ij}\times r_{ji}=0\qquad (i,j=1,2,\cdots,15)\\ y_i\le 8\end{cases}$$

在此问题中，由于费用不限，而时间有限，考虑到现实中，出租车的时间远快于公交车，因此我们在这种需求中也选择了出租车作为交通工具。出租车的时间表如表 1 所示。通过 lingo 编程求出最优方案为：

旅游景点数 n	8	10	12	14
时间（小时）	40	63	70	103
路线	0→8→13→14→5→9→7→11→6→12→0	0→8→10→13→14→5→6→7→12→9→10→0	0→8→10→13→5→7→14→6→9→11→12→3→4→0	0→8→10→14→5→7→13→6→12→9→11→3→4→2→1→0

由上表可知，对于旅游时间分别为 2 天，3 天，4 天的旅客，其最多分别能游览 8，12，14 个景点。我们以旅游只有 3 天旅游时间为例，结合实际制定出游客行程表如下：

行程表	
第一天	早上 8 点乘车至西安古城墙游览，接着去钟鼓楼游览，然后去回民街，再去陕西省历史博物，最后去曲江海洋馆当晚住在附近旅店。
第二天	早上 8 点乘车去青龙寺，然后去大唐芙蓉园，接着去大雁塔广场游览，最后去曲江寒窑遗址公园游玩，当晚住在附近旅店。
第三天	早上 8 点去大唐不夜城游览，接着去半坡遗址博物馆，午饭后去骊山游玩，之后到西安火车站返回家乡。

5．5 限定时间和费用，尽可能多游览景点

5．5．1 目标函数的确立与约束条件

需求五针对限定时间和费用的情况，在此条件下尽可能多游览景点。此需求是需求三和四的结合，因此，我们依然以景点数目作为优化目标，把旅游限制的旅游费用 $M_{\max}$ 和旅游时间 $T_{\max}$ 加入约束条件，目标函数可表示为：

$$\max\ n=\sum_{\mathrm{i=0}}^{15}\sum_{\mathrm{j=0}}^{15}\mathrm{r_{ij}}-1$$

新加的费用和时间约束条件为

$$T=\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times t_{ij}+\frac{1}{2}\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times(t_i+t_j)+\sum_{i=0}^{15}y_is_i\le T_{\max}$$

$$m=\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times c_{ij}+930+\sum_{i=0}^{15}Z_is_i+60t\le M_{\max}$$

5．5．2 模型建立与求解

由需求三、四模型和上述分析，可知对限定时间和费用的条件下，尽可能多游览景点最佳路线的数学模型可为：

$$\max\ n=\sum_{\mathrm{i=0}}^{15}\sum_{\mathrm{j=0}}^{15}\mathrm{r_{ij}}-1$$

约束条件为：

$$s.t\begin{cases}\displaystyle\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times t_{ij}+\frac{1}{2}\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times(t_i+t_j)+\sum_{i=0}^{15}y_is_i\le T_{\max}\\ \displaystyle\sum_{i=0}^{15}\sum_{j=0}^{15}r_{ij}\times c_{ij}+930+\sum_{i=0}^{15}Z_is_i+60t\le M_{\max}\\ \displaystyle\sum_{i}r_{ij}=\sum_{j}r_{ij}\le 1\qquad (i,j=0,2,\cdots,15)\\ \displaystyle\sum_{i=0}r_{ij}=1\\ \displaystyle\sum_{j=0}r_{ij}=1\\ r_{ij}\times r_{ji}=0\qquad (i,j=1,2,\cdots,15)\\ y_i\le 8\\ t=[\dfrac{T}{24}]^{+}\qquad (\text{向上取整})\end{cases}$$

在此问题中，由于费用和时间都有限，因此我们结合出租车和公交车两种交通用具，通过 lingo 编程求出最优方案为：

游览景点数(n)	9	10	12	13
时间（小时）	69	50	90	120
费用（元）	880	1120	1300	1700
路线	0→8→13→5→9→11→7→14→6→12→0	0→8→10→9→14→5→10→7→12→13→6→0	0→8→10→13→5→9→6→12→14→11→7→3→4→0	0→8→10→14→5→11→9→6→12→13→7→3→2→4→0

由上表可知，对于 4 天旅游时间 1300 元旅游费用限制的旅客，推荐其旅游路线为：0→8→10→13（住宿）→5→9→6→12（住宿）→14→11→7（住宿）→3→4→0，结合实际制定出游客行程表如下：

行程表	
第一天	早上 8 点乘车至西安古城墙游览，中饭后去钟鼓楼游览，下午步行去回民街吃晚饭小吃等。当晚住在附近旅店。
第二天	8:00 早上乘车去陕西历史博物馆，接着去大雁塔广场看喷泉，下午去大唐芙蓉园，晚上去大唐不夜城游玩，之后在当地旅店住宿。
第三天	早上 8 点乘车去青龙寺，接着乘车去曲江寒窑遗址公园游玩，下午乘车去曲江海洋馆，晚上游览当地景色，住在当地旅店。
第四天	早上 8 点乘车去半坡博物馆参观，接着去骊山景区游玩。晚上乘坐大巴车回火车站。

6 模型的结果分析

需求（1）：针对费用不限，游览完十五个景点，花费时间最少需求。

套餐为：西安火车站→秦始皇陵兵马俑→华清池→骊山风景区（住宿）→半坡遗址→翠华山→曲江寒窑遗址公园（住宿）→曲江海洋馆→大唐芙蓉园→大唐不夜城（住宿）→大雁塔广场→陕西省历史博物馆→回民街→钟鼓楼（住宿）→青龙寺→西安古城墙→西安火车站。旅游总耗时为：4 天 17 小时 30 分。

需求（2）：针对时间不限，游览完十五个景点，花费费用最少需求。

套餐为：西安火车站→西安古城墙→钟鼓楼→回民街（住宿）→青龙寺→陕西省历史博物馆→大雁塔广场→曲江海洋馆（住宿）→曲江寒窑遗址公园→大唐芙蓉园→大唐不夜城（住宿）→半坡遗址→骊山风景区→华清池（住宿）→秦始皇陵兵马俑（住宿）→翠华山→西安火车站。旅游总费用为 2080 元/人

需求（3）：针对限定旅游费用，尽可能多游览景点需求。

对于费用限制的套餐，由 5.3.2 模型建立与求解中给出，这里以 400 元和 900 套餐为例给出如下：

对于 400 元费用限制，套餐为：西安火车站→回民街→陕西历史博物馆→大雁塔广场（住宿）→半坡博物馆→西安古城墙→西安火车站，景点数目为 5 个。

对于 900 元费用限制，套餐为：西安火车站→回民街→陕西历史博物馆→大唐芙蓉园（住宿）→大唐不夜城→曲江寒窑遗址公园→大雁塔广场（住宿）→钟鼓楼→半坡博物馆→西安古城墙→西安火车站，景点数目为 9 个。

需求（4）：针对限定旅游时间，尽可能多游览景点的需求。

求解结果为：2 天，3 天，4 天的旅客，其最多分别能游览 8，12,14 个景点。具体套餐路线由 5.4.2 模型建立与求解中给出，这里以只有 3 天旅游时间为例，给出套餐如下：

套餐为：西安火车站→西安古城墙→钟鼓楼→回民街→陕西历史博物馆→曲江海洋馆（住宿）→青龙寺→大唐芙蓉园→大雁塔广场→曲江寒窑遗址公园（住宿）→大唐不夜城→半坡博物馆→骊山风景区→西安火车站。

需求（5）：针对限定旅游时间和费用，尽可能多游览景点的需求

对于时间和费用限制的套餐，由 5.5.2 模型建立与求解中给出，这里以限定 4 天 1300 元的游客为例，其最多只能旅游 12 个景点，具体套餐如下：

套餐为：西安火车站→西安古城墙→钟鼓楼→回民街（住宿）→陕西历史博物馆→大雁塔广场→大唐芙蓉园→大唐不夜城（住宿）→青龙寺→曲江寒窑遗址公园→曲江海洋馆（住宿）→半坡博物馆→骊山风景区→西安火车站。

通过以上求解的结果，与实际相符合，因此也验证了本文模型的正确性。本文通过对旅游路线的费用、时间和游览景点数目进行分析，基于 Hamilton 回路的旅游路线思想，引入 0-1 变量进行规划，建立五种需求的优化模型，最终求得五种不同需求的套餐符合实际，能不同程度满足游客需求。这也验证了我们所建立的模型的有效性和可行性。因此，该模型对制定暑假家庭旅游方案有着一定层度的参考意义。

7 模型的总结

（1）优点：本文根据游客的旅行路线进行了合理假设，简化了次要因素，考虑旅游费用，旅游时间和游览景点数目三个主要影响旅行路线的因素。从五个不同需求进行建模。思路清晰，模型恰当，得出的方案相对合理。

（2）缺点：由于对模型做了比较多的假设，如路况、天气和游客自身身体素质等都假设在相对简单的条件下，而这与实际生活有一定的差别。模型只从费用、时间和游览景点数目三个方面对需求进行讨论，而实际中，由于职业或者爱好不同，不同家庭对景点的倾向程度是不同的，因此，本文模型可以加入对景点的倾向程度权值进行扩展。

8 参考文献

[1]孙小军，焦建民，一种求解最少时间最小费用路问题的算法[J]计算机工程与科学，2008,7（3）：20-24。

[2]姜启源，谢金星，叶俊。数学模型[M].3 版.背景：高等教育出版社.2003

[3]刁在筠，郑汉鼎，运筹学，北京：高等教育出版社，2006.7。

[4]公交车时刻表，http://www.8684.cn/,2014 年 5 月 24 日。
[5]西安景点门票信息查询，http://www.cncn.com/xianlu/767003002939，2014 年 5 月 24 日。
[6]西安景点旅行乘车路线百度地图：http://map.baidu.com/

9 附录

主要代码：

```
sets:
jingdian/1..16/:c,t;
其中：1,2,...,16表示西安火车站、秦始皇陵兵马俑、华清池、半坡遗址、骊山风景区、陕西省历史博物馆、大唐芙蓉园、曲江海洋馆、西安古城墙、大雁塔广场、钟鼓楼、曲江寒窑遗址公园、大唐不夜城、回民街、青龙寺和翠华山这16个地方
c，t分别表示游客在各景点的吃住消费和逗留时间；
links(jingdian,jingdian):r,cc,tt;
!其中：r为0-1变量（0表示两景点不相连，1表示两景点相通）；cc为两景点之间的交通费用；tt为两景点之间的交通时间;
endsets
data；
! 十六个地点之间的出租车时间表
tt＝
```

0	1.5	1.2	0.5	1.5	0.4	0.5	0.3	0.1	0.3	0.2	0.4	0.3	0.2	0.3	1.4
1.5	0	0.5	1	0.5	1.5	2	1.5	1.5	1.5	1.5	2	1.5	1.3	1.5	2.5
1.2	0.5	0	1	1.5	1.5	1.5	1.4	1.2	1	1	1.1	1.2	1	1	2.5
0.5	1	1	0	0.5	0.5	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.5	0.4	0.4	1.5
1.5	0.5	1.5	0.5	0	1.6	1.7	1.8	1.5	1.5	1.4	1.6	1.5	1.2	1.5	2.6
0.4	1.5	1.5	0.6	1.6	0	0.2	0.4	0.4	0.2	0.6	0.2	0.4	0.3	0.5	1.5
0.5	2	1.5	0.4	1.7	0.2	0	0.1	0.5	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	0.3	1.2
0.4	1.5	1.4	0.5	1.8	0.4	0.1	0	0.4	0.2	0.4	0.2	0.2	0.4	0.2	0.9
0.1	1.6	1	0.5	1.6	0.5	0.5	0.4	0	0.3	0.1	0.5	0.2	0.3	0.4	1.5
0.4	1.5	1	0.6	1.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0	0.4	0.3	0.1	0.4	0.3	0.8
0.2	1.5	1	0.6	1.4	0.6	0.4	0.4	0.2	0.4	0	0.4	0.4	0.1	0.4	0.9
0.4	2	1.1	0.8	1.6	0.2	0.2	0.2	0.4	0.3	0.4	0	0.3	0.5	0.3	0.6
0.3	1.5	1.2	0.5	1.5	0.4	0.2	0.2	0.3	0.1	0.4	0.3	0	0.4	0.2	0.8
0.2	1.3	1	0.4	1.2	0.3	0.4	0.4	0.2	0.4	0.1	0.5	0.4	0	0.4	0.9
0.3	1.5	1	0.4	1.5	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.4	0	0.7

```
1.4   2.5   2.5  1.5   2.6  1.5   1.2   0.9   1.4   0.8   0.9   0.6   0.8   0.9   0.7   0

! 十六个地点之间的公交车费用表
cc=
 0  20  10   3   5   4   4   6   1   5   3   4   5   2   4  16
20   0   2  15   2  15  18  20  20  18  25  23  20  24  23  30
10   2   0  12  25  30  16  18  10  18  16  12  12  15  14  30
 3  15   2   0  15   6   8   9   3   6   2   8  10   6   5  18
 5   2  25  15   0  15  15  16   5   6  14  15  14  13  15  30
 4  15  30   6  15   0   2   3   4   2   2   4   4   6   4  10
 4  18  16   8  15   2   0   2   4   5   6   4   2   4   3  10
 6  20  18   9  16   3   2   0   6   4   5   5   3   4   6  15
 1  19  10   2   6   4   5   5   1   5   5   4   5   3   5  15
 5  18  18   6   6   2   4   4   5   0   4   4   4   5   8  18
 2  25  16   2  14   2   6   5   2   3   0   4   5   0   3  15
 4  23  12   8  15   4   4   5   4   4   4   0   3   4   6  15
 5  20  12  10  14   4   2   3   5   4   5   3   0   5   7  14
 2  24  15   6  13   2   4   4   2   5   1   4   5   0   4  15
 4  23  14   5  15   4   3   6   4   8   3   6   7   4   0  17
16  30  30  18  30  10  10  15  16  18  15  15  14  15  17   0
n=?;
!其中：n表示计划游玩的景点数目;
enddata
min=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)*(cc(i,j)+0.5*(c(i)+c(j)))));
min=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):100*w(j)*r(i,j)*(cc(i,j)+0.5*90*(c(i)
+c(j)))));
min=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)*(cc(i,j)+0.5*(c(i)+c(j)))));
@for(jingdian(i):r(i,i)=0);
@for(jingdian(i)|i#ge#2:@for(jingdian(j)|j#ge#2:r(i,j)+r(j,i)<1));
a=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)*(tt(i,j)+0.5*(t(i)+t(j)))));
@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)*(tt(i,j)+0.5*(t(i)+t(j)))))<120;
@for(jingdian(i):@sum(jingdian(j):r(i,j))=@sum(jingdian(j):r(j,i)));
@for(jingdian(i)|i#eq#1:@sum(jingdian(j):r(i,j))=1);
@for(jingdian(i)|i#ne#1:@sum(jingdian(j):r(i,j))<1);
@for(links:@bin(r));
@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)))=n;
@for(jingdian(i):@for(jingdian(j)|j#gt#1#and#j#ne#i:l(j)>=l(i)+r(i,j)-(n-2)
*(1-r(i,j))+(n-3)*r(j,i)));
@for(jingdian(i)|i#gt#1:l(i)<n-1-(n-2)*r(1,i);l(i)>1+(n-2)*r(i,1));
min=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):w(j)*r(i,j)*(cc(i,j)+0.95*c(j)*(1-rrv
```

```
(j)*(1-z)))))+@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):w2(j)*r2(i,j)*(cc(i,j)+0.95
*c(j)*(1-rrv(j)*(1-z)))));
feiyong=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)*(cc(i,j)+0.95*c(j)*(1-rrv(
j)*(1-z)))));
feiyong2=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r2(i,j)*(cc(i,j)+0.95*c(j)*(1-rr
v(j)*(1-z)))));
@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):w(j)*r(i,j)*(cc(i,j)+0.95*c(j)*(1-rrv(j)*
(1-z)))))+@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):w2(j)*r2(i,j)*(cc(i,j)+0.95*c(j)
*(1-rrv(j)*(1-z)))))>1493;
@for(jingdian(i):r(i,i)=0);@for(jingdian(i):r2(i,i)=0);
@for(jingdian(i)|i#ge#2:@for(jingdian(j)|j#ge#2:r(i,j)+r(j,i)<1));
@for(jingdian(i)|i#ge#2:@for(jingdian(j)|j#ge#2:r2(i,j)+r2(j,i)<1));
@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)*(tt(i,j)+t(j))))<120;
@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r2(i,j)*(tt(i,j)+t(j))))<120;
@for(jingdian(i):@sum(jingdian(j):r(i,j))=@sum(jingdian(j):r(j,i)));
@for(jingdian(i):@sum(jingdian(j):r2(i,j))=@sum(jingdian(j):r2(j,i)));
@for(jingdian(i)|i#eq#1:@sum(jingdian(j):r(i,j))=1);
@for(jingdian(i)|i#eq#1:@sum(jingdian(j):r2(i,j))=1);
@for(jingdian(i)|i#ne#1:@sum(jingdian(j):r(i,j))<1);
@for(jingdian(i)|i#ne#1:@sum(jingdian(j):r2(i,j))<1);
@for(links:@bin(r));
@for(links:@bin(r2));
@for(jingdian:@bin(rrv));
@for(links:@bin(rrr));
@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)))=n;
@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r2(i,j)))=n2;
!@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)))>n-0.5;
!@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r(i,j)))<n+0.5;
!@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r2(i,j)))<n2+0.5;
!@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):r2(i,j)))>n2-0.5;
@for(jingdian(i):@for(jingdian(j)|j#gt#1#and#j#ne#i:l(j)>=l(i)+r(i,j)-(n-2)
*(1-r(i,j))+(n-3)*r(j,i)));
@for(jingdian(i):@for(jingdian(j)|j#gt#1#and#j#ne#i:l2(j)>=l2(i)+r2(i,j)-(n
2-2)*(1-r2(i,j))+(n2-3)*r2(j,i)));
@for(jingdian(i)|i#gt#1:l(i)<n-1-(n-2)*r(1,i);l(i)>1+(n-2)*r(i,1));
@for(jingdian(i)|i#gt#1:l2(i)<n2-1-(n2-2)*r2(1,i);l2(i)>1+(n2-2)*r2(i,1));
@for(jingdian(i)|1#eq#i:v(i)=1;b(i)=0);
!@for(jingdian(k)|1#lt#k#and#k#le#n:@for(jingdian(i):@for(jingdian(j):x(k,i,
j)=@if(r(i,j)#eq#1#and#v(k-1)#eq#i,j,0)));!v(k)=@sum(jingdian(j):@sum(jingd
ian(i):x(k,i,j))));
@for(jingdian(k)|1#lt#k#and#k#le#n:@for(jingdian(i):@for(jingdian(j):x(k,i,
j)=@if(0.5#le#r(i,j)#and#r(i,j)#le#1.5#and#(i-0.5)#le#v(k-1)#and#v(k-1)#le#
(i+0.5),j,0)));v(k)=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):x(k,i,j))));
@for(jingdian(i)|1#eq#i:v2(i)=1;b2(i)=0);
!@for(jingdian(k)|1#lt#k#and#k#le#n2:@for(jingdian(i):@for(jingdian(j):x2(k,
```

```
i,j)=@if(r(i,j)#eq#1#and#v2(k-1)#eq#i,j,0)));!v2(k)=@sum(jingdian(j):@sum(j
ingdian(i):x2(k,i,j))));
@for(jingdian(k)|1#lt#k#and#k#le#n2:@for(jingdian(i):@for(jingdian(j):x2(k,
i,j)=@if(0.5#le#r2(i,j)#and#r2(i,j)#le#1.5#and#(i-0.5)#le#v2(k-1)#and#v2(k-
1)#le#(i+0.5),j,0)));v2(k)=@sum(jingdian(j):@sum(jingdian(i):x2(k,i,j))));
@for(jingdian(i)|2#le#i#and#i#le#(n):@for(jingdian(k):@for(jingdian(j):bb(k,
i,j)=@if(v(i)#eq#j#and#v(i-1)#eq#k,t(k)+tt(k,j),0)));b(i)=@sum(jingdian(j):
@sum(jingdian(k):bb(k,i,j))));
@for(jingdian(k)|k#le#n:tv(k)=@sum(jingdian(i)|i#le#(k):b(i))/12);
@for(jingdian(i)|2#le#i#and#i#le#(n2):@for(jingdian(k):@for(jingdian(j):bb2
(k,i,j)=@if(v2(i)#eq#j#and#v2(i-1)#eq#k,t(k)+tt(k,j),0)));b2(i)=@sum(jingdi
an(j):@sum(jingdian(k):bb2(k,i,j))));
@for(jingdian(k)|k#ne#1#and#k#le#n2:tv2(k)=@sum(jingdian(i)|i#le#(k):b2(i))
/12+4);
@for(jingdian(k)|k#eq#1#or#k#gt#n2:tv2(k)=0);
@for(jingdian(k)|k#le#n2:@for(jingdian(j)|j#le#n:rrr(j,k)=@if(v(j)#eq#v2(k)
#and#(tv2(k)-tv(j))#lt#1#and#(tv(j)-tv2(k))#lt#1,1,0)));
@for(links(j,k)|(j#gt#n#and#k#le#n2)#or#(j#le#n#and#k#gt#n)#or#(j#gt#n#and#
k#gt#n):rrr(j,k)=0);
@for(jingdian(j)|j#ge#2#and#j#le#n2:rrv(j)=@sum(jingdian(k):rrr(j,k)));
@for(jingdian(k)|k#eq#1#or#k#gt#n2:rrv(k)=0);
End
```