

西安电子科技大学 2017 年数学建模校内赛

承 诺 书

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们将受到严肃处理。

我们授权西安电子科技大学 2017 年数学建模校内赛竞赛组委会，可将我们的论文以任何形式进行公开展示（包括进行网上公示，在书籍、期刊和其他媒体进行正式或非正式发表等）。

我们参赛选择的题号是（从 A/B/深圳杯 A、深圳杯 B、深圳杯 C、深圳杯 D 中选择一项填写）： 深圳杯 C

参赛报名队号为 329

报名时所属学院（请填写完整的全名）： 电子工程学院

参赛队员姓名与学号（打印，用二号字，并签名）：

1. 李旭超 15020130035

2. 李雪娇 15050410028

3. 郑健 15130110047

日期： 2017 年 5 月 2 日

西安电子科技大学 2017 年大学生数学建模校内赛

评 阅 专 用 页

<div></div>	评 阅 人 1	评阅人 2	评阅人 3	总评
成绩				

深圳市生活垃圾处理社会总成本分析

摘要

垃圾处理一直是城市发展中不容忽视的因素之一，本文根据深圳市目前垃圾状况，建立社会总成本分析模型，得出社会垃圾处理总成本各参量分析结果，在分析四种垃圾处理模式后得出最优的垃圾处理模式并提出改进建议。

针对问题一，建立了社会总成本分析模型，在该模型中将社会总成本分为三类，即收运成本、垃圾处理成本和垃圾填埋场对周围地价的影响。

对于收运成本指标，将垃圾分类模式分为源头分类模式和末端分类模式。在末端分类时，模型忽略以往对可回收垃圾全部回收的作法，以垃圾回收净利润作为判断标准，对垃圾进行选择性的分类回收。

对于垃圾处理指标，将垃圾处理分为三种方式，即填埋处理、焚烧处理和湿垃圾生物处理。利用灰度预测，得到从 2017 年到 2026 年每年垃圾总量。针对焚烧处理，分析了成分比例不同的垃圾对单位焚烧成本的影响，建立多元线性回归模型，以此计算不同比例成分的垃圾单位焚烧成本。

考虑到垃圾填埋场对周围地价的影响，评估了垃圾填埋场的建立对间接的当下和远期社会成本的影响，由于垃圾填埋场对周围地价影响呈现中心辐射状态，距离填埋场越远，对地价影响最小。因此得到垃圾场建厂前后，土地价格总体变化，并将这种变化作为垃圾填埋场对社会的间接经济影响。

针对问题二，将问题一中建立的模型用于不同模式，计算出各模式未来十年的社会总成本分别为：880.24 亿元、867.98 亿元、908.58 亿元、809.28 亿元；并得出运输总成本比例和收集总成本比例随时间增加呈现递增状态；垃圾处理成本比例随时间增加呈现递减状态。

针对问题三，文章中利用层次分析法比较目前四种垃圾处理模式，在综合考虑技术更新、环境影响、社会总成本、健康成本和方案的可行性后，得出模式一时最优模式并给出对于分类制度建设的建议。

关键词：灰度预测、垃圾填埋场的潜在影响、多元线性回归、层次分析法

一、 问题重述

2017 年 3 月 18 日，国务院向全国发布了《生活垃圾分类制度实施方案》，这标志着中国垃圾分类制度建设开始了一个全新阶段，垃圾分类已成为推进社会经济绿色发展、提升城市管理和服务水平、优化人居环境的重要举措。为了保证这一目标能够顺利实现，必须对城市生活垃圾分类处理（包括但不限于分类投放、分类收集、分类运输、分类处理）的全过程总成本，进行科学计算及动态监测。科学计算垃圾处理总成本的能力，直接反映了城市管理、社会治理水平的高低，目前我国在这方面的欠缺较大。2017 年 3 月 22 日中国人民大学国家发展与战略研究院公布了《北京市城市生活垃圾焚烧社会成本评估报告》，虽然各方面对该报告有一些不同的意见和观点，但对于生活垃圾处理社会总成本（应包括直接的业务、经济技术成本以及间接的当下和远期社会成本）的分析估算，确实是一次有意义的探索实践。

要求解决下列问题：

- (1) 建立深圳市城市垃圾处理社会总成本分析模型；
- (2) 基于你的模型，完善附件 1 中提及的深圳市生活垃圾处理诸模式的直接成本估算方法；利用完善后的方法估算各模式的当期社会总成本以及未来十年的总成本数量、及诸模式下各分项成本比例的变化趋势；
- (3) 基于你的模型，通过远期成本效益分析设计深圳生活垃圾分类制度建设的优选模式；
- (4) 根据你的模型和分析结果给政府提出相应的决策建议（包括对深圳生活垃圾基础数据调查统计内容的评价和改进建议）。

二、 问题分析

本题针对深圳市生活垃圾处理的社会总成本问题，提出对城市垃圾处理社会总成本的分析问题、对已有直接成本估算方法的完善问题以及对未来社会总成本的预测问题。

2.1 问题一的分析

针对深圳市生活垃圾处理社会总成本的分类，我们选取了垃圾收运成本、处理成本以及主要垃圾处理场三个主要因素，进而分析深圳市生活垃圾处理总成本。我们认为对于垃圾的处理成本应该按其具体处理方式研究，主要方式有掩埋、焚烧和湿垃圾生物处理方式三种。分析处理成本要按照单位体积计算，并将垃圾分成九大类，考虑采用多元线性回归模型来做量化分析。由于判断垃圾的种类对于掩埋处理成本影响并不大，其不会因种类比例变化而改变单位处理成本，可将其设为常量。焚烧处理垃圾时要考虑对公众健康的影响，根据对附件二的分析，健

康成本主要是二噁英致癌健康损失。垃圾处理总量预测受到外界干扰过多，可采用灰色预测模型分析预测。

垃圾收运成本考虑了垃圾运输成本、垃圾源头收集分类成本和末端垃圾分类成本。源头收集分类方法包括垃圾混合收集方式和分类收集方式，源头收集采用混合收集方式时，此时末端采用垃圾分类模式。在末端垃圾分类模式中还要考虑是否进行回收操作，这由回收利润来判断，而回收利润由垃圾回收成本和垃圾处理成本判断。同时在混合收集成本里，通过对附件二的研究分析，我们考虑到政府对各种垃圾处理物的补贴，例如：底灰、飞灰和渗沥液；并且垃圾运输成本在一定范围内是运输成本随着运输距离（运距）的增加而增加。垃圾处理厂对周边地区的经济影响主要考虑对地价的影响，以垃圾场为中心，影响系数递减。

2.2 问题二的分析

考虑到在模式二、三中都需要垃圾中的干垃圾含量，就将其提炼为一个关键影响因素，并对此建立模型。干垃圾含量并不能直接求出，但因垃圾中干垃圾含量越高，垃圾的低位湿基热值越高，就可通过这个间接量求得干垃圾含量。通过对附件五中已有数据分析，发现其数据不全，就先用三线插值补全数据。分析数据得到，垃圾的低位湿基热值呈指数变化趋势，因此利用阻滞增长模型，拟合出低位湿基热值曲线。干垃圾含量的指数系数曲线与热值拟合曲线呈映射关系，由此得出干垃圾含量。

对于不同模式下的不同收运、处理方式，简化问题一中建立的模型具体分析。

2.3 问题三的分析

题目要求得出几个模式中的最优模式，就利用层次分析模型来判断最优的选择。至于其中不同模式对应不同准则的权重，由前面所建模型分析得出。

三、 符号说明

符号	说明
d_{vf}	单位垃圾焚烧成本
S_i	i 类垃圾的单位回收成本
T_i	每个垃圾处理厂回收垃圾的运输成本
α_i	垃圾处理厂对周边地价的处理系数
β_i	干垃圾含量的指数系数
$M^{(0)}(t)$	表示 t 年的预测垃圾总量

注：其它符号将在下文中给出具体说明。

四、 模型假设

- (1) 假设现有的垃圾焚烧厂处于正常运营状态即不会出现因生活垃圾量减少而产生垃圾焚烧工业垃圾以维持运营的状态。
- (2) 假设未经分类的各类垃圾成分比例不变。
- (3) 假设同一地区较小区域内土地价值相同。
- (4) 假设同一地区较小区域的人均日产生垃圾量相同，且人口均匀分布。
- (5) 假设所有物品的单位价格、各项服务收费、政府补贴在短期内不会发生较大波动。

五、 问题一模型的建立

为了分析深圳市城市垃圾处理社会总成本，本文从垃圾收运成本、处理成本以及主要垃圾处理场这三个主要因素出发，对现有的垃圾处理总成本进行分类，如图 1 所示。

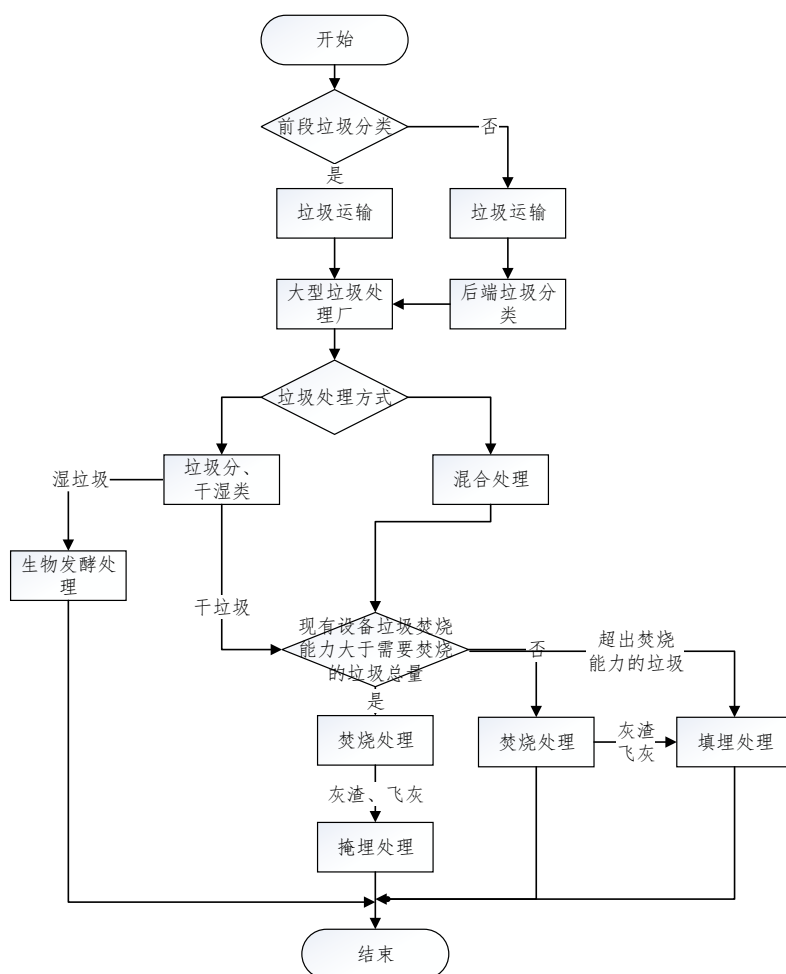


图 1.垃圾处理流程图

5.1 指标确立

根据附件和文献，我们将社会总成本 C 分为三大方面，并以这三个方面作为分析指标。

$$C = C_j + C_p + C_g \quad (1)$$

其中， C_j 代表垃圾收运成本， C_p 代表垃圾处理成本， C_g 代表垃圾处理厂对周围环境的经济影响。

5.2 指标一：垃圾收运成本

$$C_j = S + F + C_s \quad (2)$$

其中， S 表示垃圾末端收集分类成本， F 代表垃圾运输成本， C_s 表示源头垃圾收集分类成本，源头收集方式有混合收集和分类收集两种模式。利用自建的垃圾收运成本分析模型分析收集和运输成本。

5.2.1 垃圾末端分类成本模型：

垃圾末端分类主要考虑是否进行回收处理，若垃圾回收成本小于垃圾处理成本，则采用垃圾回收方式。若垃圾处理成本小于垃圾回收成本，则采用垃圾处理方式。同时在混合收集成本里，通过对附件二的研究分析，我们考虑到了政府对飞灰、底灰和渗沥液的补贴费用。

$$S = \sum_{i=1}^n m_i s_i \quad (3)$$

其中，垃圾分类成本，由 i 类垃圾的回收成本和形成， m_i 表示 i 类垃圾收集的重量， s_i 表示 i 类垃圾回收的单位成本。

$$s_i = \begin{cases} 0 & w_i < 0 \\ s_{con} & w_i > 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中， w_i 表示 i 类垃圾回收， s_{con} 表示回收垃圾的单位成本。 w_i 可表示为：

$$w_i = C_{p_i} - s_{con} \quad (5)$$

对于单位垃圾处理成本 C_{p_i} ，可表示为：

$$C_{p_i} = P_{ci} h_i w_j + P_{ci} b_i w_d + P_{ci} f_i w_f \quad (6)$$

其中, C_{p_i} 表示单位垃圾中 i 类垃圾处理成本, s_{con} 表示回收垃圾的单位成本, P_{c_i} 表示单位垃圾中含有 i 类垃圾的含量, h_i 表示单位 i 类垃圾中的水分含量, b_i 表示单位 i 类垃圾中的底灰含量, f_i 表示单位 i 类垃圾中的飞灰含量, w_j 表示单位污水处理补贴, w_d 表示单位底灰处理补贴, w_f 表示单位飞灰处理补贴。

5.2.2 垃圾运输成本模型:

根据附件一中城管部门的统计数据, 深圳市生活垃圾目前的基本收运成本大约为60元/吨(10公里以内), 10公里以外的增量收运成本为1元/吨公里, 20公里以外的增量收运成本为1.5元/吨公里。因此, 收运成本与运距相关。遂建立了下列方程组来表示在不同范围内的关系。

$$T = nT_i = \begin{cases} 60m_1 & s < 10km \\ (60 + [s-10])m_2 & 10km \leq s < 20km \\ (60 + 1.5*[s-20])m_3 & 20km \leq s < 40km \end{cases} \quad (7)$$

其中, 符号 $[]$ 表示取整, s 表示距垃圾处理厂的距离, m_1 表示 10km 以内垃圾处理厂回收垃圾总量, m_2 表示 10km 至 20km 之间垃圾处理厂回收垃圾总量, m_3 表示 20km 至 40km 之间垃圾处理厂回收垃圾总量, n 表示垃圾回收厂得数量, T_i 表示每个垃圾厂回收垃圾的运输成本。

在 F (垃圾运输成本) 中我们将其划分为一个个互不相交的区域, 各区域回收垃圾总量是垃圾总处理量的组成部分, 因为垃圾总处理量是一个随时间变化的时间变量, 所以各区域回收垃圾总量也是一个随时间变化的变量。在此还要考虑运距问题, 因为在一定范围内, 运距成本随距离的增大而增加。

5.3 指标二: 垃圾处理成本分析与模型建立

5.3.1 对垃圾处理成本的分析

$$C_p = C_{p_b} + C_{p_f} + C_{p_j} - M_s P_s \quad (8)$$

C_{p_b} 表示垃圾掩埋成本, C_{p_f} 表示垃圾焚烧成本, C_{p_j} 表示湿垃圾生物处理成, M_s 表示资源回收总量, P_s 表示单位回收垃圾效益。

其中, C_{p_b} 可表示为:

$$C_{p_b} = (M - M_f - M_s + M_{fs})D_{vb} + T_b \quad (9)$$

其中, M 表示垃圾处理总量, M_f 表示需要焚烧的量, M_{fs} 表示焚烧后的需要填埋的灰烬量, D_{vb} 表示单位垃圾掩埋处理成本, T_b 为固定成本(经分析也为常量)。

C_{pf} 可表示为:

$$C_{pf} = M_f D_{vf} + T_f + F_f + H_f \quad (10)$$

其中, D_{vf} 表示单位垃圾焚烧成本, 对此会建立一个多元线性回归模型细致分析。

F_f 为税收减免, 由附件二可得, 可设为一常量。

T_f 为垃圾焚烧固定成本:

$$T_f = L_f + B_f + F \quad (11)$$

其中, L_f 为土地成本, B_f 为建设成本, F 为设备成本, 根据附件二分析, 其可设为常量。

L_f 为土地成本, 可表示为:

$$L_f = U_f S_f \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (12)$$

其中, U_f 表示当年地价, S_f 表示土地面积, i 表示折现率, n 表示工业用地 50 年。

当折现率减少时, 土地成本也随之减少, 这是与实际符合的。

B_f 为建设成本:

$$B_f = \frac{h}{30} \quad (13)$$

h 为建设补贴, 当建设补贴增大时, 建设成本随之增加, 这是与实际相符合的。

H_f 为健康成本:

$$H_f = \sum_{i=1}^n \text{Canrisk}_i \cdot \text{dens} \cdot A_i \cdot (\text{Cost}_i + \text{Cost}_c) \quad (14)$$

i 表示不同浓度区域的编码, Canrisk_i 表示不同浓度区域的二噁英致癌风险, dens 表示每平方公里人口密度, A_i 为不同浓度区域所占的面积, Cost_i 表示个体生命价值, Cost_c 表示个体治疗费用。此式将致癌风险按照浓度不同分类, 当浓度大时, 风险变大, 这与实际情况相符。

5.3.2 利用多元线性回归模型分析单位垃圾焚烧成本

我们将单位垃圾焚烧成本按照生活垃圾物理组成来考虑, 同时考虑了不同主要垃圾处理厂之间还有一定的焚烧成本差异。综合考虑列出九个因子, x_1, x_2, \dots, x_9 , 分别代表具体九类垃圾在单位垃圾中所占的比例, 且各因子间为线性关系, 所以采用多元线性回归模型。

多元线性回归分析的模型为

$$\begin{cases} d_{vf} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_m x_m + \varepsilon \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma^2) \end{cases} \quad (15)$$

式中 d_{vf} 表示一次单位垃圾焚烧成本， x_1, x_2, \dots, x_m 表示 m 类垃圾在单位垃圾中所占比例， $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m, \sigma^2$ 都是与 x_1, x_2, \dots, x_m 无关的未知参数， ε 为预测单位垃圾焚烧成本与实际单位垃圾焚烧成本之间的误差。

从附件和文献中得到了 n 个独立观测数据，因为我们将其分为九类，所以 m 可取 8，可得

$$\begin{cases} d_{vfi} = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \cdots + \beta_m x_{im} + \varepsilon_i \\ \varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2), \quad i = 1, \dots, n \end{cases} \quad (16)$$

记：

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_{11} & \cdots & x_{19} \\ 1 & x_{21} & \cdots & x_{29} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & \cdots & x_{n9} \end{bmatrix} \quad D_{vf} = \begin{bmatrix} d_{vf1} \\ d_{vf2} \\ \vdots \\ d_{vfn} \end{bmatrix} \quad (17)$$

x_{ij} 表示第 i 次第 j 类垃圾在单位垃圾中所占比例。 d_{vfn} 表示第 n 次单位垃圾焚烧成本。

$$\begin{cases} \beta = [\beta_0 \quad \beta_1 \quad \cdots \quad \beta_9]^T \\ \varepsilon = [\varepsilon_1 \quad \varepsilon_2 \quad \cdots \quad \varepsilon_n]^T \end{cases} \quad (18)$$

表为：

$$\begin{cases} D_{vf} = X\beta + \varepsilon \\ \varepsilon \sim N(0, \sigma^2 E_n) \end{cases} \quad (19)$$

其中 E_n 为 n 阶单位矩阵， ε 服从方差为 $\sigma^2 E_n$ 的正态分布。

用这个模型要求优化出一个单位垃圾焚烧成本最小的量，则要对参数 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_m$ 采用最小二乘法估计，使误差平方和 Q 达到最小。为此，令误差平方和对各参数的偏微分方程值为 0，可得到一个方程组，再对其整理化为正规方程组，其矩阵形式为

$$X^T X \beta = X^T D_{vf} \quad (20)$$

进一步求解得到参数

$$\hat{\beta} = (X^T X)^{-1} \cdot X^T \cdot D_{vf} \quad (21)$$

将其代入原模型，可得到 D_{vf} 的估计值

$$\hat{d}_{vf} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \cdots + \hat{\beta}_9 x_9 \quad (22)$$

这组数据的拟合值为 $\hat{D}_{vf} = X\hat{\beta}$ ，残差为 $e = D_{vf} - \hat{D}_{vf}$ ，此可作为误差 ε 的估计，则残差平方和为：

$$Q = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (d_{vfi} - \hat{d}_{vfi})^2 \tag{23}$$

根据从附件九和文献[4]中得到的数据，如下表：

表 1 各垃圾焚烧厂生活垃圾组成成分及单位焚烧成本

垃圾 焚烧厂	生活垃圾物理组成 (%)										单位焚烧成本 (元/吨)
	厨余	纸类	橡塑	纺织	木竹	灰土	砖瓦	玻璃	金属	其它	
南山厂	63.54	12.7	15.91	3.22	1.82	0.72	0.56	1.5	0.03	0	175.0
盐田厂	43.43	19.03	19.14	1.64	10.99	2.01	0.20	1.87	1.43	0.26	186.3
老虎坑环境园	50.4	13.01	24.09	5.27	4.14	0.87	0.81	0.46	0.11	1.19	177.1
平湖厂	39.75	15.95	22.13	9.22	3.56	4.28	2.65	2.02	0.44	0.00	194.1
龙岗中心城	55.27	14.09	17.99	3.86	1.62	3.85	0.82	1.92	0.58	0.00	177.1

求出参数 $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_9$ 的值为

β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	β_6	β_7	β_8	β_8
0.0000	1.2040	5.5895	0.8998	3.8902	0.3676	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

可以看出单位焚烧成本主要受纸类、橡塑类和和木竹类的影响，此模型符合现实情况。

5.4 指标三：垃圾处理厂对周围环境的经济影响

5.4.1 垃圾处理厂对周围环境的经济影响的分析

垃圾处理厂对周围环境的经济影响根据现实考虑，呈现以垃圾场为半径，影响系数递减的趋势，采用了特征价格方程的方法。

通过建立特征价格模型，采用基本形式和对数形式分别对模型进行回归分析，得出显著影响住宅价格的特征变量，并对两种模型得化的结果进行分析和比较。进行综合考虑，最终采用了基本形式。在此基础上，对该垃圾焚烧厂对周边住宅的影响半径进行划分，对不同距离上的住宅小区进行分析，根据现实考虑，呈现以垃圾场为半径，影响系数递减的趋势。

5.4.2 垃圾处理厂对周围环境的经济影响的模型建立与分析求解

$$C_g = n \cdot P_{rice} \cdot \sum_{i=0}^5 \pi(r_i^2 - r_{i-1}^2) \cdot \alpha_i \tag{24}$$

其中, P_{rice} 为未建垃圾场时单位面积内的楼盘总价值, 此数据由分析资料[1]可知; r_i 为以垃圾场为中心的半径; α_i 为垃圾处理厂对周围房价的影响系数, 可从文献[2]中分析出。

表 2 垃圾处理厂对价格的影响比例

住宅距垃圾处理厂距离	价格影响比例
一公里以内	33.20%
1-2 公里	26.00%
2-3 公里	22.00%
3-4 公里	14.60%
4-5 公里	9.60%
5 公里以外	0.00%

结果表明: 该垃圾焚烧厂对周边住宅价格的影响半径约为 5 公里, 距离垃圾焚烧厂越近, 住宅价格受到的负面影响越大, 5 公里半径内影响程度呈递减趋势, 5 公里 W 外的住宅基本不受垃圾焚烧厂的影响。

在线性形式的模型中, 回归系数是常数, 主要是因为模型中的变量都是以线性形式表达的。使用线性形式进行模拟, 得出的回归系数为常数, 因而也就无法体现出经济规律中的边际效用递减规律。在边际效用递减规律下, 因变量随着自变量的增加而增加, 但是增化的速度却是逐渐放缓的。

5.5 灰色预测模型分析预测垃圾处理总量

从附件九中分析得到原始数据列 (此数据列表示 2000 年至 2014 年的垃圾处理总量, 为已知量):

$$\vec{M}^{(0)} = (M^{(0)}(1), M^{(0)}(2), \dots, M^{(0)}(n)) \quad (25)$$

$M^{(0)}(n)$ 表示第 n 年的已知垃圾处理总量, 根据现有材料分析统计, n 最大可取 15。

原始数据具有随机序列的波动性和随机性, 所以需要将原始数据累加以弱化这种不良影响, 得到新数据序列:

$$\vec{M}^{(1)} = \{M^{(1)}(1), M^{(1)}(2), M^{(1)}(3), \dots, M^{(1)}(n)\} \quad (26)$$

其中, $M^{(1)}(t)$ 中表示对应前几项数据的累加和:

$$M^{(1)}(t) = \sum_{k=1}^t M^{(0)}(k), t = 1, 2, \dots, n \quad (27)$$

对新数据 $M^{(1)}(t)$ 建立下述一阶线性微分方程: 即 GM(1, 1) 模型

$$\frac{dM^{(1)}}{dt} + aM^{(1)} = u \quad (28)$$

其中, a, u 为待定系数, 分别为发展系数和灰色作用量, $a \in (-2, 2)$, 并记 a, u 构成的矩阵为灰参数 $\vec{a} = \begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix}$ 。只要求出参数 a, u , 就能求出各数据对应前 t 项数据的累加和 $M^{(1)}(t)$, 进而求出对已有垃圾处理总量 $M^{(0)}$ 的未来预测值。

对累加生成数据做均值生成 B 与常数项向量 Y_n , 即

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(M^{(1)}(1) + M^{(1)}(2)) & 1 \\ -\frac{1}{2}(M^{(1)}(2) + M^{(1)}(3)) & 1 \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(M^{(1)}(n-1) + M^{(1)}(n)) & 1 \end{bmatrix} = 10^3 \times \begin{bmatrix} -3.115 & 0.0010 \\ -0.5315 & 0.0010 \\ \vdots & \vdots \\ -5.5745 & 0.0010 \end{bmatrix} \quad (29)$$

$$Y_n = \begin{bmatrix} M^{(0)}(2) \\ M^{(0)}(3) \\ \vdots \\ M^{(0)}(n) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 219 \\ 221 \\ \vdots \\ 541 \end{bmatrix} \quad (30)$$

再用最小二乘法求解灰参数 \vec{a} , 则

$$\vec{a} = (B^T B)^{-1} B^T Y_n \quad (31)$$

最后将算出的灰参数代入 GM(1, 1) 模型, 并对其求解, 可得到我们的最终灰色预测模型公式:

$$\vec{M}^{(1)}(t+1) = (M^{(0)}(1) - \frac{u}{a})e^{-at} + \frac{u}{a} \quad (32)$$

其中, $a = -0.0575, u = 252.0006$ 。

对函数表达式 $\vec{M}^{(1)}(t+1)$ 及 $\vec{M}^{(1)}(t)$ 进行离散, 并将二者做差以便还原 $M^{(0)}$ 原序列, 得到近似数据序列 $\vec{M}^{(0)}(t+1)$ 如下:

$$\vec{M}^{(0)}(t+1) = \vec{M}^{(1)}(t+1) - \vec{M}^{(1)}(t) \quad (33)$$

据此可在已知 2000 至 2015 年垃圾处理数量的基础上预测得到 2016 年至 2024 年的垃圾处理总量。

对此利用 MATLAB 求解, 得到 2000 年至 2024 年的垃圾处理总量如下表。

表 3 预测得到的未来十年垃圾处理总量

垃圾处理总量 (万吨/年)	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
	720.6	763.2	808.4	856.2	906.8	960.4	1017.2	1077.4	1141.1

从表 3 中可以发现，在未来十年中，垃圾处理总量呈线性变化，不断增大，这与实际相符合的。

六、 问题二模型分析和求解

题目要求完善附件一提及的深圳市生活垃圾处理诸模式的直接成本估算方法，并估算各模式的当期社会总成本以及未来十年的总成本数量、及诸模式下各分项成本比例的变化趋势。根据问题一中的模型再结合各模式的具体内容，我们对各模式都建立了一个模型，以估算它的具体成本。但在此之前，建立了一个求垃圾中干垃圾的量的模型。

6.1 对垃圾中干垃圾含量求解

6.1.1 分析

干垃圾含量并不能直接求出，但因垃圾中干垃圾含量越高，垃圾的低位湿基热值越高，就可通过这个间接量求得干垃圾含量。通过对附件五中已有数据分析，发现其数据不全，就先用三线插值补全数据。分析数据得到，垃圾的低位湿基热值呈指数变化趋势，因此利用阻滞增长模型，拟合出低位湿基热值曲线。干垃圾含量的指数系数曲线与热值拟合曲线呈映射关系，由此得出干垃圾含量。

6.1.2 建立模型与求解

$$M_g = (M - M_{fh}) \times 40\% \times e^{\beta_t - 1} \quad (34)$$

其中， M_g 表示干垃圾量， M 表示垃圾总量， M_{fh} 表示分类回收垃圾总量， β_t 为其系数。分析得知，垃圾中干垃圾含量越大，垃圾低位湿基热值也越大，可据此求解系数。

求垃圾低位湿基热值需要一系列原始数据，为了求解系数的普遍性，随机采集了一批数据（数据来源于附件五），数据如下表：

表 4 历年深圳市罗湖区垃圾低位湿基热值数据

年份	2005	2008	2010	2011
单位热值量 kJ/kg	4442	5437	5190	5459

总体来看，历年深圳市垃圾低位湿基热值呈现递增趋势，由于采集的数据缺少一些年份，根据数据特性，运用三线插值方法将数据补全。然后用 logistic 模

型对数据进行拟合。分析得出，系数曲线与热值拟合曲线呈映射关系，根据拟合结果可求得系数的表示公式：

$$\beta_t = 1 + 1.05005 \times 10^{-4} \times e^{2004-t} \times \frac{1}{5374.7} \tag{35}$$

6.2 对各模式成本估算方法的完善

附件一中各模式直接成本估算方法没有考虑单位垃圾中的成分比例对单位垃圾处理成本的影响，尤其是焚烧成本的影响，用建立的多元线性回归分析模型求出九大类型垃圾对单位垃圾焚烧成本的参数，得出木竹类、纸类和橡塑类对垃圾焚烧成本的影响最大。

它将收集和运输成本化为一体考虑，我们对其进行了细致分类。收集垃圾收运成本考虑了垃圾运输成本、垃圾源头收集分类成本和末端垃圾分类成本。源头收集分类方法包括垃圾混合收集方式和分类收集方式，当源头收集采用混合收集方式时，此时末端采用垃圾分类模式。在末端垃圾分类模式中还要考虑是否进行回收操作，这由回收利润来判断，而回收利润由垃圾回收成本和垃圾处理成本判断。同时在混合收集成本里，通过对附件二的研究分析，我们考虑到政府对各种垃圾处理物的补贴，例如：底灰、飞灰和渗沥液。对于垃圾运输成本，其只考虑了与运距之间的关系，没有考虑垃圾运输成本与垃圾总量有关，也是一个时间变量。

对于干垃圾的含量，它直接给出了一个比例。我们通过建立分析干垃圾含量的模型，对这个比例进行了准确化操作，还发现干垃圾含量与单位垃圾低位湿基热值相关。

6.3 对社会总成本的估算

根据所建的模型，我们考虑了税收减免、政府对垃圾处理物的补贴（处理物为渗沥液、底灰和飞灰）、健康成本、电价补贴及垃圾处理厂对周边的低价影响。

表 5 深圳市生活垃圾问题不同解决模式对比（单位:亿元）

	当期垃圾焚烧成本	当期垃圾掩埋成本	对周边的经济影响	当期垃圾收运成本	当期社会总成本	未来十年的社会总成本
P_1	26.93	2.02	201.0957	23.79	256.84	2690.10
P_2	20.30	2.06	201.0957	31.93	254.35	2677.84
P_3	20.38	2.06	201.0957	35.15	257.69	2718.44
P_4	23.13	4.32	201.0957	23.79	252.33	2619.14

P_1 为模式一， P_2 为模式二， P_3 为模式三， P_4 为现有模式。

在前三个模式中，垃圾掩埋成本几乎一样，但 P_4 的垃圾掩埋成本几乎为前三模式的两倍，因其采用了部分简易堆填和部分卫生填埋方法，而前三模式都不同程度的减少了需要掩埋的量。当期垃圾焚烧成本呈现 $P_1 > P_4 > P_3 > P_2$ ，因为在 P_1 中采取了全量焚烧模式，而 P_4 中采取了部分焚烧方法，但并没有细致分出干湿垃圾，所以比将干湿垃圾分开处理的 P_2 P_3 的需要焚烧处理量少。因垃圾处理厂的数目一致，所以其对周边的经济影响一致。对于当期垃圾收运成本， $P_3 > P_2 > P_1 > P_4$ ，说明末端分类并不如采用源头分类收集的效果好。

因此，从经济角度出发，现有模式为首选模式；从经济角度和资源化出发，模式二、模式一一样优秀。

6.4 估算诸模式下各分项成本比例变化趋势

各分项成本包括：收集成本、运输成本和处理成本，在考虑总成本时，不考虑对周边的经济影响。在四种模式下，收集成本和运输成本比例在增长，处理成本所占比例都在下降。

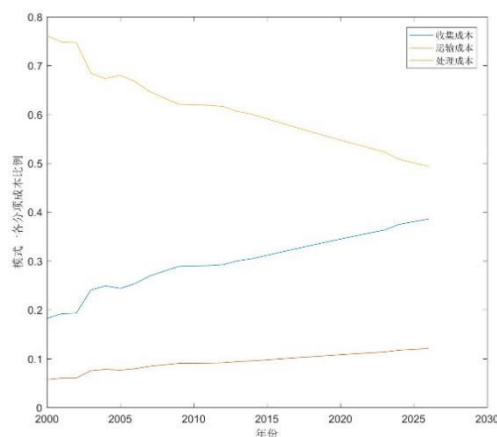


图 2 模式一各分项成本比例变化趋势

在二十五年内，处理成本仍是各项成本中最主要的部分，但收集成本增长速度较快，而运输成本仅随垃圾总量的增长而缓慢增长。

模式二、模式三下各分项成本比例变化趋势

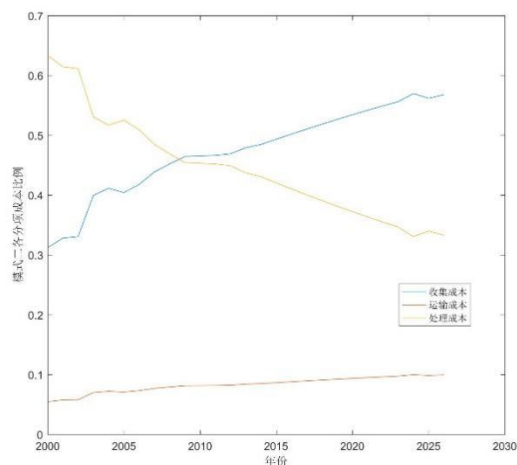


图 3 模式二各分项成本比例变化趋势

在模式二中，2008 年时收集成本就已经超过处理成本，各项成本中最重要的部分是垃圾收集成本，因为它采用的源头分类收集模式采用奖励政策作为主要工具，大幅提高了垃圾收运处理的成本。而垃圾分类后，根据垃圾不同特性采取不同处理技术处理，降低了综合处理成本。

模式三下各分项成本比例变化趋势

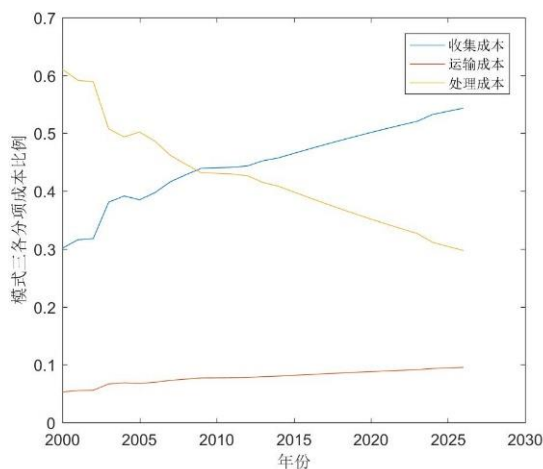


图 4 模型三各分享成本比例变化趋势

在模型三中，各分项成本比例变化趋势与模型二相近，这是因为其采用了末端分类方法，因为人工分选或压榨预处理相当于在末端增加了一个环节，也增加了收集成本。

现有模式下各分项成本比例变化趋势

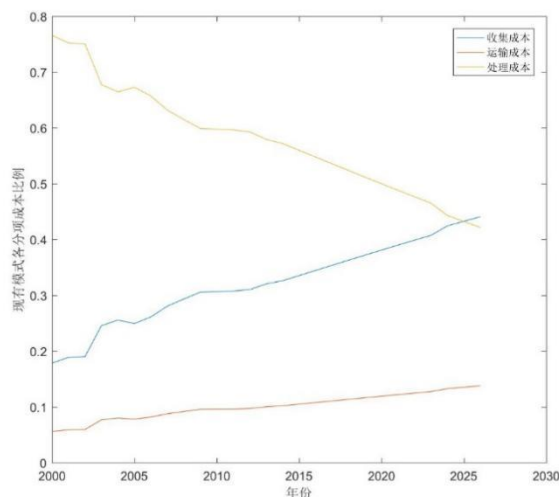


图 5 现有模式各分项成本比例变化趋势图

在十年后，收集成本将大于处理成本。因为其混合收集后又将超出现有垃圾焚烧能力之外的垃圾都采用填埋方式，这实际上也是一个粗略分类方式，而垃圾焚烧能力根据模型的限制条件，不能随着垃圾处理总量的增加而无限增加，所以其分出的量随着时间推移呈线性增加，所以垃圾收集成本会大于处理成本。

七、 问题三模型的建立与求解

7.1 问题分析

问题要求基于已建模型，选出深圳生活垃圾分类制度建设的优选模式，分析后采用层次分析模型，准则层权重之间的关系由上文模型判断。

7.2 模型建立及求解

将决策问题分解为三个层次，最上层为目标层，即选择优选模式，最下层为方案层，有模式一、模式二、模式三以及现有模式，四个供选择模式，中间层为准则层，有技术更新、环境影响、社会总成本、健康成本以及方案的可行性五个准则。

通过相互比较确立各准则对于目标的权重，得到矩成对比较矩阵 A

$$A = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{7} & \frac{1}{5} & \frac{1}{8} & \frac{1}{4} \\ 7 & 1 & 3 & 1 & 5 \\ 5 & \frac{1}{3} & 1 & \frac{1}{2} & 4 \\ 8 & 1 & 2 & 1 & 5 \\ 1 & 5 & \frac{1}{4} & \frac{1}{5} & 1 \end{bmatrix}$$

为求最佳模式，要求 A 的最大特征根 λ ， $\lambda = 8.22$

再求一致性指标

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (36)$$

其中， n 取 5。

求一致性比率

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (37)$$

其中， RI 为随机一致性指标。

因为求得的一致性比率 $CR < 0.1$ ，所以认为 A 的不一致程度在容许范围内，有满意的一致性，通过一致性检验。

根据公式

$$Aw = \lambda w \quad (38)$$

可求得最大特征根所对应的权向量 $w = [0.02 \quad 0.29 \quad 0.18 \quad 0.28 \quad 0.23]^T$ ，此为目标层对中间层的权重。

给出每一模式对应每一指标的权重，并对其进行归一化处理后，如下所示

$$\begin{bmatrix} 0.06 & 0.09 & 0.25 & 0.16 & 0.13 \\ 0.35 & 0.06 & 0.25 & 0.26 & 0.37 \\ 0.47 & 0.26 & 0.26 & 0.26 & 0.42 \\ 0.12 & 0.39 & 0.23 & 0.31 & 0.09 \end{bmatrix}$$

每一行表示一个模式，每一列表示一个准则。

最后求得 $P_1 = 0.15$ ， $P_2 = 0.29$ ， $P_3 = 0.30$ ， $P_4 = 0.27$ ，比较得出 P_1 是最小的，故模式一为最优模式。

其中 P_1 代表模式一， P_2 代表模式二， P_3 代表模式三， P_4 代表现有模型。

7.3 决策建议

根据所建模型和分析结果，建议我市尽快推行源头分类回收模式，虽然推行此模式会使垃圾收集成本大幅增长，但也减少了垃圾处理总量，同时减少了垃圾处理成本。且其带来的自然资源回收效益、土地资源效益超过其收集成本增量。减少垃圾处理总量也节约了土地资源，延长了现在的垃圾掩埋场运营时间。再配套以焚烧为主，掩埋和生物处理技术为辅的垃圾处理模式，虽然大量焚烧可能会产生二噁英致癌因子，但在使用源头分类回收模式后，焚烧的垃圾中将主要包含干垃圾，这样会有效提高待焚烧垃圾中的热值含量，热值含量高时，产生的二噁英致癌因子将大幅减少，这同时减少了健康成本。生物处理技术虽好但并不成熟，目前缺乏成功的案例可供借鉴；由于生物处理技术需要持续稳定控制微生物的生长状态，因此存在因中毒或温度过低而引发设施当机的风险；堆肥产品缺乏稳定

销售市场，堆肥产品有重金属超标风险，厌氧发酵的沼渣沼液处理难度大，低温碳化处理能耗高；生物处理技术用地规模大。这些都制约了生物处理技术的应用前景，保险考虑，不建议大比例应用此技术。

深圳生活垃圾基础数据调查统计内容对直接成本考虑的较全面，但建议其在统计时考虑一下统计社会总成本。根据建立的模型求得的解，直接成本模型和社会总成本模型中间的差值较大。

八、 模型评价

8.1 模型的优点

1. 灵活性高。该模型可用于计算各种不同垃圾处理模式的社会成本，在计算不同垃圾处理模式时，只需要进行少量的参数变动即可。
2. 准确度高。在问题一中我们对垃圾处理进行细致的划分，所求得社会总成本与实际误差很小
3. 该模型将垃圾填埋场对环境的影响作为潜在的当下的社会成本，使得社会成本组成更加合理化、多元化。

8.2 模型的缺点：

1. 问题一中使用灰度预测预测垃圾总量，只能进行短期的预测，长期预测会出现较大误差。
2. 问题三使用 AHP 进行决策分析，有较强的主观性

九、 模型改进与推广

在建模型时，直接假设各垃圾处理厂的运输区域互不相交，实际情况下，运输区域必会相交，改进时可根据它的实际位置进行分析。

根据对附件的分析，我们假定单位垃圾掩埋成本为常量，在考虑到政府对于渗沥液的补贴时，应该根据不同类型的单位垃圾在掩埋时产生的渗沥液含量不同，而对此进行分类分析。

十、 参考文献

- [1] 国土资源部土地利用管理司 中国土地勘测规划院，中国地价网，http://www.landvalue.com.cn/TheContent.aspx?ContentID=22388&Menu_ID=13，2017年4月30日。
- [2] 朱天骏，垃圾焚烧厂对周围住宅价格影响的特征价格研究—以杭州市为例，合肥工业大学，2015年。
- [3] 余胜威，MATLAB 优化算法案例分析与应用，北京；清华大学出版社，2014年。
- [4] 姜建生，廖利，毕珠洁，深圳市生活垃圾分类成本效益分析初探，环境卫生工程，20卷一期；2012年。

附录：

Garbage_amount.m:

%已知深圳市2000—2014年 的 生活垃圾清运量为(单位:万吨/年):
%[202 219 221 325 347 333 360 407 441 476 479 482 490 522 541],现在
要预测深圳市未来几年的垃圾清运情况

```
clear,clc
syms a u;
c=[a u]'; %灰参数c
A=[202 219 221 325 347 333 360 407 441 476 479 482 490 522
541]; %原始数据
Ago=cumsum(A); %原始数据一次累加
n=length(A); %原始数据个数

x0=[];x0(1)=Ago(1);
for i=2:n
    x0(i)=Ago(i)-Ago(i-1);%近似原始数据
end

for i=1:n
    e0(i)=abs(A(i)-x0(i));%残差检验
end

for i=1:n
    q0(i)=A(i)\e0(i);%相对误差检验
end

for i=1:(n-1)
    C(i)=(Ago(i)+Ago(i+1))/2; %生成累加矩阵
end % 计算待定参数的值

Yn=A;Yn(1)=[];
Yn=Yn';
E=[-C;ones(1,n-1)]; %对累加生成数据做均值生成B
c=inv(E*E')*E*Yn;
c=c';
a=c(1);u=c(2); % 预测后续数据
```

```
F=[];F(1)=A(1);
for i=2:(n+12)
    F(i)=(A(1)-u/a)/exp(a*(i-1))+u/a ;
end
G=[];G(1)=A(1);
```

```

for i=2:(n+12)
    G(i)=F(i)-F(i-1); %得到预测出来的数据
end
t1=2000:2014;
t2=2000:2026;
G,a,u %输出预测值、发展系数和灰色作用量
plot(t1,A,'o',t2,G); %原始数据与预测数据的比较
xlabel('年份')
ylabel('生活垃圾预测总量(万吨/年)')

```

HousePrices_change.m:

```

clc,clear
price=1562*10^6 %单位面积土地价值 单位：(元/平方公里)
alpha=[0.332 0.26 0.22 0.146 0.096] %对价格的影响系数
u=0.1; %参考比例
PC0(1)=0; %辅助变量
for i=1:5
    pc(i)=pi*(i^2-(i-1)^2)*alpha(i)*price*u
    PC0(i+1)=PC0(i)+pc(i);
end

x=1:5;
plot(x(1),PC0(2),'o',x(2),PC0(3),'o',x(3),PC0(4),'o',x(4),PC0(5),
'o',x(5),PC0(6),'o')
%随距离变化土地价格累计损失

PC=sum(pc); %单个垃圾处理厂影响范围内土地价值损失

n=10; %n-垃圾处理厂个数
C=n*PC/10^8 %垃圾处理厂影响范围内土地价值损失值(亿元)

```

Bt.m:

```

clc , clear

Y=[4442 4982.1 5320.1 5437 5263.5 5190 5459];%T=2005:2011;
% 线性化处理
for t = 1:7
    x(t)=exp(-t);
    y(t)=1/Y(t);
end
% 计算, 并输出回归系数B, 即计算回归方程  $y'=a+bx'$  中的a和b的值
c=zeros(7,1)+1;

```

```

X=[c,x'];%相当于7个方程组，求解a和b的值.
format long
B=inv(X'*X)*X'*y'
for i=1:7
% 计算回归拟合值
    z(i)=B(1,1)+B(2,1)*x(i);
% 计算离差
    s(i)=y(i)-sum(y)/7;
% 计算误差
    w(i)=z(i)-y(i);
end
% 计算离差平方和S
S=s*s';
% 回归误差平方和Q
Q=w*w';
% 计算回归平方和U
U=S-Q;
% 计算，并输出F检验值

F=5*U/Q ;
% 计算非线性回归模型的拟合值
for j=1:7
    Y(j)=1/(B(1,1)+B(2,1)*exp(-j)); %2005-2011热值
end

for j=1:10
    Y(j)=1/(B(1,1)+B(2,1)*exp(-j)); %2005-2014热值
end
format bank
for j=1:7
    B(j)=Y(j)/Y(10) %2005-2014热值
end
T=2005:2011;
plot(T,B)
axis([2005 2011 0.82 1.05])
xlabel('年份');
ylabel('系数 Bt')
legend('系数拟合曲线')
text(2005,0.83,'(2005,0.83)')
text(2006,0.93,'(2006,0.93)')
text(2008,0.99,'(2008,0.99)')

```

transportation_cost.m:

```
clc,clear
G=[202 219 221 325 347 333 360 407 441 476 479 482 490 522 541
572.65 606.52 642.4 680.4 720.6 763.2 808.4 856.2 906.8 1017.2
1077.4 1141.1]
%G 2000-2014 垃圾总量原始数据 2015-2026预测垃圾总量(万吨/年)
%m1:m2:m3=r1^2:(r2^2-r1^2):(r3^2-r1^2)-r1^2=1:3:12

m1=G.*(1/(1+3+12)); %m1:10km (r1) 以内回收垃圾总量
m2=G.*(3/(1+3+12)); %m2:10km-20km(r2) 范围内垃圾总量
m3=G.*(12/(1+3+12)); %m3:20km-40km(r3) 范围垃圾总量

C1=60; %10km以内运输单位成本 (元/吨)

for i=1:10
    r=i+10;
    C2(i)=60+1*(r-10); %10km-20km运输单位成本 (元/吨)
end
C2=sum(C2);
C2=C2/(20-10);

for i=1:20
    r=i+20;
    C3(i)=60+1*(r-10)+1.5*(r-20); %20km-40km运输单位成本 (元/吨)
end
C3=sum(C3);
C3=C3/(40-20);

%C 运输成本(亿元)
C=(m1*C1+m2*C2+m3*C3)*10^4/10^8
```

Regress_burnt.m:

```
clc , clear
x=[63.54 43.43 50.4 39.75 55.27
12.7 19.03 13.01 15.95 14.09
15.91 19.14 24.09 22.13 17.99
3.22 1.64 5.27 9.22 3.86
1.82 10.99 4.14 3.56 1.62
0.72 2.01 0.87 4.28 3.85
0.56 0.20 0.81 2.65 0.82
1.5 1.87 0.46 2.02 1.92
0.03 1.43 0.11 0.44 0.58
```



```

0 0.26 1.19 0.00 0.00]';
%相关因子数值：[厨余 纸类 橡塑 纺织 木竹 灰土 砖瓦 玻璃 金属 其他]T （附件9）
X=[ones(5,1) x];
Y=[ 175.0 186.3 177.1 194.1 177.1]'; %单位焚烧成本值（2012年）
% 南山厂 盐田厂 老虎坑 平湖厂 龙岗中心城 （姜建生）
[b,brint,r,rint,stats]=regress(Y,X);

```

NH.m:

```

clc,clear
%x=[2005 2008 2010 2011];
%y=[4442 5437 5090 5459];
%cx=interp1(x,y,[2006 2007 2009],'cubic')%4982.1 5320.1 5263.5
%x=2005:2011;
%y=[4442 4982.1 5320.1 5437 5263.5 5090 5459];%cubic

Y=[4442 4982.1 5320.1 5437 5263.5 5090 5459];
T=2005:2011;
% 线性化处理
for t = 1:7
    x(t)=exp(-t);
    y(t)=1/Y(t);
end
% 计算，并输出回归系数B,即计算回归方程  $y'=a+bx'$  中的a和b的值
c=zeros(7,1)+1;
X=[c,x'];%相当于7个方程组，求解a和b的值。
B=inv(X'*X)*X'*y';
format long
for i=1:7
% 计算回归拟合值
    z(i)=B(1,1)+B(2,1)*x(i);
% 计算离差
    s(i)=y(i)-sum(y)/7;
% 计算误差
    w(i)=z(i)-y(i);
end
% 计算离差平方和S
S=s*s';
% 回归误差平方和Q
Q=w*w';
% 计算回归平方和U
U=S-Q;
% 计算，并输出F检验值

```

```

F=5*U/Q ;
% 计算非线性回归模型的拟合值

for j=1:7
    Y(j)=1/(B(1,1)+B(2,1)*exp(-j));
end

A=[4442 4982.1 5320.1 5437 5263.5 5190 5459];
% 输出非线性回归模型的拟合曲线 (Logistic曲线)
plot(T,Y,T,A,'o')
legend('非线性回归拟合曲线','热值原始数据')
xlabel('年份');
ylabel('湿基低位热值(kJ/kg)');
text(2005,4500,'(2005,4449.95)')
text(2006,4990,'(2006,4992.77)')
text(2006.6,5200,'(2007,5227.35)')
text(2008,5350,'(2008,5319.29)')

```

Model0.m:

```

clc,clear
%garbage_amount_GM.m文件提供2000-2014垃圾总量原始数据+2015-2026预测垃圾
总量 (万吨)
G=[202 219 221 325 347 333 360 407 441 476 479 482 490 522 541
572.7 606.5 642.4 680.4 720.6 763.2 808.4 856.2 906.8 1017.2
1077.4 1141.1];

%transportation_cost.m文件结果提供2000-2026年运输成本数据 (亿元)
C0=[1.782 1.932 1.9496 2.8671 3.0612 2.9377 3.1759 3.5905 3.8904
4.1992 4.2257 4.2521 4.3227 4.6050 4.7726 5.0518 5.3506 5.6672
6.0024 6.3570 6.7329 7.1316 7.5533 7.9997 8.9736 9.5047 10.067];
%CF 源头混合收集成本 (亿元)
CF=G*0.0423*0.667;
%C1垃圾收运成本=垃圾运输成本+源头收集成本
C1=C0+CF;

Vf=0.0178;%单位垃圾焚烧成本 (亿元/万吨) 178元/吨
Tf=13;%焚烧税收减免 (亿元)
Hf=0;%焚烧健康成本 (亿元)
Ff=5.5;%焚烧固定成本 (亿元)
CPf=260*Vf+Tf+Hf+Ff;%CPf垃圾焚烧成本

M=G-260+G*0.12;%掩埋垃圾总量

```

```

Vb=0.0060;%单位掩埋成本(亿元/万吨)
Fb=1.56;%掩埋固定成本(亿元)
Hb=0;%掩埋健康成本
CPb=M*Vb+Fb+Hb;%垃圾掩埋成本(亿元)

CP=CPb+CPf;
%CP垃圾处理成本=CPf垃圾焚烧成本+CPb垃圾掩埋成本(亿元)

CG=201.0957;%CG 值由HousePrices_change.m文件提供
%垃圾处理厂对周围的经济影响(主要因素:土地价值)

C=C1+CP+CG %C社会总成本
T=2000:2026;

grid on
plot(T,C,T,C,'b^')
legend('现有模式')
xlabel('年份')
ylabel('垃圾处理社会总成本(亿元)')

for i=1:10
    H(i)=C(i+17);
end
H=sum(H)-9*CG %未来10年的社会总成本

%收集成本比例变化
CFB=CF./(C-CG)
%运输成本比例变化
C0B=C0./(C-CG)
%处理成本比例变化
CPB=CP./(C-CG)

plot(T,CFB,T,C0B,T,CPB)
legend('收集成本','运输成本','处理成本')
xlabel('年份')
ylabel('现有模式各分项成本比例')

```

Model1.m:

```

clc,clear
%garbage_amount_GM.m文件提供2000-2014垃圾总量原始数据+2015-2026预测垃圾
总量(万吨)

```

```

G=[202 219 221 325 347 333 360 407 441 476 479 482 490 522 541
572.7 606.5 642.4 680.4 720.6 763.2 808.4 856.2 906.8 1017.2
1077.4 1141.1];

%transportation_cost.m文件结果提供2000-2026年运输成本数据(亿元)
C0=[1.782 1.932 1.9496 2.8671 3.0612 2.9377 3.1759 3.5905 3.8904
4.1992 4.2257 4.2521 4.3227 4.6050 4.7726 5.0518 5.3506 5.6672
6.0024 6.3570 6.7329 7.1316 7.5533 7.9997 8.9736 9.5047 10.067];
%CF 源头混合收集成本(亿元)
CF=G*0.0423*0.667;
%Cl垃圾收运成本=垃圾运输成本+源头收集成本
Cl=C0+CF;

Vf=0.0178;%单位垃圾焚烧成本(亿元/万吨) 178元/吨
Tf=13;%焚烧税收减免(亿元)
Ff=5.5;%焚烧固定成本(亿元)
CPf=G*Vf+Tf+Hf;%CPf垃圾焚烧成本

M=G*0.12;%焚烧废渣
Vb=0.0060;%单位掩埋成本(亿元/万吨)
Fb=1.56;%掩埋固定成本(亿元)
CPb=M*Vb+Fb;%垃圾掩埋成本(亿元)

CP=CPb+CPf;
%CP垃圾处理成本=CPf垃圾焚烧成本+CPb垃圾掩埋成本(亿元)

CG=201.0957;
%CG 值由HousePrices_change.m文件提供
%垃圾处理厂对周围的经济影响(主要因素:土地价值)

C=Cl+CP+CG %C社会总成本
T=2000:2026;

grid on
plot(T,C,T,C,'b^')
legend('模式一')
xlabel('年份')
ylabel('垃圾处理社会总成本(亿元)')
%axis([2000 2026 210 255])

xlswrite('\\Mac\Home\Desktop\模型1数据',C)

for i=1:10

```

```

        H(i)=C(i+17);
end
H=sum(H)-9*CG %未来10年的社会总成本

%收集成本比例变化
CFB=CF./(C-CG)
%运输成本比例变化
C0B=C0./(C-CG)
%处理成本比例变化
CPB=CP./(C-CG)

plot(T,CFB,T,C0B,T,CPB)
legend('收集成本','运输成本','处理成本')
xlabel('年份')
ylabel('模式一各分项成本比例')

```

Model2:

```

clc,clear
%garbage_amount_GM.m文件提供2000-2014垃圾总量原始数据+2015-2026预测垃圾
总量 (万吨)
G=[202 219 221 325 347 333 360 407 441 476 479 482 490 522 541
572.7 606.5 642.4 680.4 720.6 763.2 808.4 856.2 906.8 1017.2
1077.4 1141.1];
a=0.5;%厨余比例
M0=G*a;
M1=M0+(G-M0)*1/(1+3+12);
M2=(G-M0)*3/(1+3+12);
M3=(G-M0)*12/(1+3+12);
%参考transportation_cost.m文件2000-2026年运输成本数据(亿元)计算模式
C1=60; %10km以内运输单位成本 (元/吨)
for i=1:10
    r=i+10;
    C2(i)=60+1*(r-10); %10km-20km运输单位成本 (元/吨)
end
C2=sum(C2);
C2=C2/(20-10);

for i=1:20
    r=i+20;
    C3(i)=60+1*(r-10)+1.5*(r-20); %20km-40km运输单位成本 (元/吨)
end
C3=sum(C3);

```

```

C3=C3/(40-20);

%C 运输成本(亿元)
C0=(M1*C1+M2*C2+M3*C3)*10^4/10^8;
%CF 源头分类收集成本 (亿元)
CF=G*423*10^-4;
%C1垃圾收运成本=垃圾运输成本+源头收集成本
C1=C0+CF;

t=2000:2026;
%Bt=(1/0.0001860705+0.000105065*exp(2004-t))/5374.7
Bt=[0.83 0.93 0.97 0.99 1.00];
Bt=[Bt ones(1,20) 0.8 0.8]
for i=1:27
    MG(i)=G(i)*0.4*exp(Bt(i));%干垃圾质量
end
Vf=0.009851;%单位垃圾焚烧成本 (亿元/万吨)
Tf=8;%焚烧税收减免 (亿元)
Ff=5.5;%焚烧固定成本 (亿元)
CPf=MG*Vf+Tf+Hf;%CPf垃圾焚烧成本

M=MG*0.12;%焚烧废渣
Vb=0.0060;%单位掩埋成本 (亿元/万吨)
Fb=1.56;%掩埋固定成本 (亿元)
CPb=M*Vb+Fb;%垃圾掩埋成本 (亿元)

Vd=200*10^-4;%湿垃圾处理单位成本200元/吨 (亿元/万吨)
for i=1:27
    CPd(i)=(G(i)-MG(i))*Vd;%湿垃圾生物处理成本
end
CP=CPb+CPf+CPd;
%CP垃圾处理成本=CPf垃圾焚烧成本+CPb垃圾掩埋成本+CPd湿垃圾生物处理 (亿元)

CG=201.0957;
%CG 值由HousePrices_change.m文件提供
%垃圾处理厂对周围的经济影响 (主要因素:土地价值)

grid on
C=C1+CP+CG %C社会总成本
T=2000:2026;
plot(T,C,T,C,'d')
legend('模式二')
xlabel('年份')
ylabel('垃圾处理社会总成本(亿元)')

```

```

%axis([2000 2026 210 255])
xlswrite('\\Mac\Home\Desktop\模型2数据',C)

for i=1:10
    H(i)=C(i+17);
end
H=sum(H)-9*CG %未来10年的社会总成本

%收集成本比例变化
CFB=CF./(C-CG)
%运输成本比例变化
C0B=C0./(C-CG)
%处理成本比例变化
CPB=CP./(C-CG)
plot(T,CFB,T,C0B,T,CPB)
legend('收集成本','运输成本','处理成本')
xlabel('年份')
ylabel('模式二各分项成本比例')

```

Model13.m:

```

clc,clear
%garbage_amount_GM.m文件提供2000-2014垃圾总量原始数据+2015-2026预测垃圾
总量 (万吨)
G=[202 219 221 325 347 333 360 407 441 476 479 482 490 522 541
572.7 606.5 642.4 680.4 720.6 763.2 808.4 856.2 906.8 1017.2
1077.4 1141.1];
a=0.5;%厨余比例
M0=G*a;
M1=M0+(G-M0)*1/(1+3+12);
M2=(G-M0)*3/(1+3+12);
M3=(G-M0)*12/(1+3+12);
%参考transportation_cost.m文件2000-2026年运输成本数据(亿元)计算模式
C1=60; %10km以内运输单位成本 (元/吨)

for i=1:10
    r=i+10;
    C2(i)=60+1*(r-10); %10km-20km运输单位成本 (元/吨)
end
C2=sum(C2);
C2=C2/(20-10);

for i=1:20

```

```

    r=i+20;
    C3(i)=60+1*(r-10)+1.5*(r-20);    %20km-40km运输单位成本 (元/吨)
end
C3=sum(C3);
C3=C3/(40-20);

C0=(M1*C1+M2*C2+M3*C3)*10^4/10^8;%C 运输成本(亿元)
CF=G*423*10^-4;%CF? 源头收集成本 (亿元)
Vr=0.0050;% 末端分类单位垃圾处理成本(亿元/万吨)
CR=G*Vr;%CR 末端分类成本
%Cl垃圾收运成本=垃圾运输成本+源头收集成本+末端分类成本
C1=C0+CF+CR;

t=2000:2026;
%Bt=(1/0.0001860705+0.000105065*exp(2004-t))/5374.7
Bt=[0.83 0.93 0.97 0.99 1.00];
Bt=[Bt ones(1,22)]
for i=1:27
    MG(i)=G(i)*0.4*exp(Bt(i));%干垃圾质量
end
Vf=0.009851;%单位垃圾焚烧成本 (亿元/万吨)
Tf=8;%焚烧税收减免 (亿元)
Hf=0;%焚烧健康成本 (亿元)
Ff=5.5;%焚烧固定成本 (亿元)
CPf=MG*Vf+Tf+Hf+Ff;%CPf垃圾焚烧成本

M=MG*0.12;%焚烧废渣
Vb=0.0060;%单位掩埋成本(亿元/万吨)
Fb=1.56;%掩埋固定成本(亿元)
Hb=0;%掩埋健康成本
CPb=M*Vb+Fb+Hb;%垃圾掩埋成本 (亿元)

Vd=0.0178;%湿垃圾处理单位成本?
CPd=(G-MG)*Vd;%湿垃圾生物处理成本

CP=CPb+CPf+CPd;
%CP垃圾处理成本=CPf垃圾焚烧成本+CPb垃圾掩埋成本+CPd湿垃圾生物处理 (亿元)

CG=201.0957;
%CG 值由HousePrices_change.m文件提供
%垃圾处理厂对周围的经济影响 (主要因素:土地价值)

grid on
C=C1+CP+CG %C社会总成本

```



```

T=2000:2026;
%plot(T,C,T,C,'gs')
xlabel('年份')
ylabel('垃圾处理社会总成本(亿元)')
legend('模式三')

for i=1:10
    H(i)=C(i+17);
end
H=sum(H)-9*CG %未来10年的社会总成本
xlswrite('\\Mac\Home\Desktop\模型3数据',C)

%收集成本比例变化
CFB=CF./(C-CG)
%运输成本比例变化
C0B=C0./(C-CG)
%处理成本比例变化
CPB=CP./(C-CG)

plot(T,CFB,T,C0B,T,CPB)
legend('收集成本','运输成本','处理成本')
xlabel('年份')
ylabel('模式三各分项成本比例')

```

ZHSJ.m:

```

clc,clear
%% 导入电子表格中的数据
% 用于从以下电子表格导入数据的脚本:
%
% 工作簿: \\Mac\Home\Desktop\模型1数据.xls
% 工作表: Sheet1
%
% 要扩展代码以供其他选定数据或其他电子表格使用, 请生成函数来代替脚本。
% 由 MATLAB 自动生成于 2017/05/01 23:12:29

%% 导入数据
Model1_data = xlsread('\\Mac\Home\Desktop\模型1数据.xls','Sheet1')
Model2_data = xlsread('\\Mac\Home\Desktop\模型2数据.xls','Sheet1')
Model3_data = xlsread('\\Mac\Home\Desktop\模型3数据.xls','Sheet1')

%% 清除临时变量
%clearvars raw;

```

```
T=2000:2026;
plot(T,Model1_data,'b^',T,Model1_data,T,Model2_data,'d',T,Model2_
data,T,Model3_data,'gs',T,Model3_data)
legend('模型一数据','模型一','模型二数据','模型二','模型三数据','模型三')
xlabel('年份')
ylabel('垃圾处理社会总成本(亿元)')
```